

Učinci fasadnih sustava na energetska učinkovitost

Ćubelić, Nino

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:635395>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Nino Čubelić

Učinci fasadnih sustava na energetska učinkovitost

Završni rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Stručni prijediplomski studij
Građevinarstvo
Osnove projektiranja II**

**Nino Ćubelić
JMBAG: 0114024909**

Učinci fasadnih sustava na energetske učinkovitost

Završni rad

Rijeka, rujan 2023.

IZJAVA

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

Nino Ćubelić

U Rijeci, 11.09.2023.

Sadržaj

1. Uvod	5
1.1. Kontekst istraživanja	5
1.2. Cilj istraživanja	5
2. Vrste fasada i njihovi učinci na energetska učinkovitost	7
2.1. Toplinska izolacija	8
2.1.1 Izolacijski materijali za fasade	8
2.1.2 Učinak debljine izolacije na energetska učinkovitost	9
2.2. Termalna regulacija.....	9
2.2.1. Pasivno hlađenje i grijanje	11
2.2.2. Ventilirane fasade	12
2.3. Solarna apsorpcija.....	12
2.3.1. Fasadni materijali i njihova sposobnost apsorpcije sunčeve energije.....	13
2.3.2. Refleksija sunčeve svjetlosti i hlađenje zgrade	13
3. Primjeri vrsta fasada i njihova energetska učinkovitost	14
3.1. Klasične fasade s toplinskom izolacijom	14
3.2. Ventilirane fasade s prirodnim materijalima	16
3.3. Ventilirane fasade s suvremenim materijalima	17
3.4. Fasade s ostakljenim panelima i reflektirajućim premazima	18
3.5. Integrirane solarno – fotovoltaične fasade.....	20
3.6. Zelene fasade – vertikalno zelenilo.....	22
4. Analiza energetske učinkovitosti kroz simulacije	24
4.1 Metodologija simulacija	24
4.2 Simulacija različitih vrsta fasadnih sustava	25
4.2.1 Analiza simulacija za ishodišni zatvoreni volumen	26
4.2.2 Analiza simulacija za kontaktnu - klasičnu fasadu.....	31
4.2.3 Analiza simulacija za ventiliranu fasadu	41
4.2.4 Analiza simulacija za zelenu ventiliranu fasadu	51
4.3 Usporedba energetske učinkovitosti	61
5. Zaključak.....	63

1. Uvod

1.1. Kontekst istraživanja

Cilj ovog istraživanja je analiziranje odnosa između građevinskih fasadnih sustava i njihova energetska učinkovitost. Same građevine se danas projektiraju kako bi bile što više energetske učinkovite. Sam odabir građevinskih materijala prilikom projektiranja zgrada je ključan da bi se postigla što veća učinkovitost. Jedan od najvećih utjecaja pri energetske učinkovitosti je upravo vanjska ovojnica točnije fasada građevine.

1.2. Cilj istraživanja

U ovom radu se analiziraju učinci različitih vrsta fasada na građevini u svrhu određivanja vrijednosti energetske učinkovitosti, s naglaskom na toplinsku izolaciju, termalnu regulaciju i solarnu apsorpciju. S obzirom da puno čimbenika utječe na sam izračun, potrebno je pretpostaviti mikro lokaciju predmetne građevine kako bi dobili relevantne pokazatelje. Potrebno je pretpostaviti element pasivnog hlađenja koji je povezan s samom ovojnicom građevine. Prilikom zagrijavanja ovojnice elementi koji se nalaze s vanjske strane mogu apsorbirati energiju prema unutrašnjosti građevine te samim time smanjiti ili poboljšati energetske učinkovitost. Predložene konstrukcijske metode uključivati će klasične fasade, ventilirane fasade, zelene fasade, takozvane svijetle fasade s reflektirajućim premazima i integrirane foto-naponske fasade s održivim materijalima. Pri analiziranju fasadnih sustava i materijala koristit će se tehnologija dinamičke energetske simulacije zgrade pomoću računalnog programa Archicad 26 – Energy Evaluation – EcoDesigner Star koja je standardizirana i usklađena sa normom EN ISO 13790:2008 – Energy Performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling i donesenom Direktivom o energetske svojstvima zgrada broj: 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća o energetske učinkovitosti zgrada (zadnja izmjena: 01.01.2021.).

Energetska simulacija koristi se za procjenu utroška energije, omogućuje praćenje i kontrolu svih parametara arhitektonskog projektiranja koji utječu na energetske učinkovitost zgrade, utjecaj ugljičnog otiska zgrade i mjesečnu energetske bilancu kako bi zadovoljili određene propise i predviđene ekološke norme. Pri samoj analizi, pomoću računalnog programa koriste se podatci o geometriji zgrade, njezinim materijala i komponentama. Kao rezultat provedene analize uključeni su parametri poput toplinskih gubitaka, toplinske provodljivosti materijala, propusnosti zraka, koeficijenti prolaska sunčeve svjetlosti. Na temelju procjene energetske potrošnje možemo očitati očekivanu energetske potrošnju za sustav grijanja, hlađenja i ventilacije.

Ovim završnim radom razmatrati će se utjecaj različitih fasadnih sustava i materijala na odabranoj tipskoj građevini kako bi proizašli relativni podatci pri različitim sustavima. Namjena same tipske građevine neće biti prethodno određena već će se pretpostaviti zadani parametri o njezinom korištenju i predvidjeti sustav grijanja i hlađenja koji će također utjecati na same rezultate istraživanja.

Putem dobivenih analiza i provedbom istraživanja biti će omogućen cjeloviti uvid u učinke energetske učinkovitosti fasadnih sustava na zgrade i okoliš, njihov doprinos i potencijal za energetske uštedu i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. Pri provedenim simulacijama različitih sustava biti će moguće odrediti preporučene smjernice i preporuke za odabir odgovarajuće vrste fasade pri određenim pretpostavljenim uvjetima kao pri odabranoj mikrolokaciji.

2. Vrste fasada i njihovi učinci na energetska učinkovitost

Energetska učinkovitost je postala ključan faktor u projektiranju i oblikovanju građevina, s obzirom na potrebu za smanjenjem potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova. Jedan od važnih aspekata u postizanju energetske učinkovitosti građevina je izbor fasadnog sustava. Fasada ima ključnu ulogu u termičkoj zaštiti, kontroli prolaska svjetlosti i ventilacije, što utječe na ukupnu energetska potrošnju zgrade. Danas fasade dijelimo na tradicionalne fasade sa žbukom, suvremene sustave postavljanja izolacijskih materijala i ozelenjene zidove točnije zelene fasade. Tradicionalne fasade su najčešće sastavljene od opeke, kamena ili drvenih elemenata. Ove fasade nemaju zadovoljavajuće toplinske karakteristike i sposobnost akumulacije topline, što ih čini u današnje vrijeme neučinkovitim u održavanju unutarnje temperature. Klasične fasade se danas izvode isključivo kod sanacije postojećih objekata koji su zaštićeni kao kulturno dobro, gdje se energetska učinkovitost mora zadovoljiti postavljanjem toplinske izolacije s unutarnje strane prostora, s obzirom da na zaštićenim objektima nije dozvoljeno mijenjati izgled i strukturu originalnog fasadnog sustava te se upotrebljavaju vapnene žbuke i kamene obloge.¹

Suvremena rješenja fasadnih sustava koriste izolacijske materijale poput stiropora, mineralne vune, poliuretanske ploče, ploče od laganih drvenih vlakana, ploče od konopljinih vlakana te eksperimentalne suvremene materijale poput aerogela, plinom ispunjenih ploča (GFP) ili vakuum izolacijske ploče (VIP). Ovi materijali pružaju visoku razinu toplinske izolacije, smanjujući gubitak topline i potrebu za grijanjem ili hlađenjem. Suvremeni fasadni sustavni poput kontaktnih, ventiliranih ili ostakljenih fasada također poboljšavaju zvučnu izolaciju i mogu smanjiti troškove energije za klimatizaciju. Međutim, zeleni zidovi, ili zidovi s biljnim pokrovom, sve više dobivaju na popularnosti kao ekološki prihvatljiva opcija. Ovi zidovi obično koriste biljke koje se mogu vertikalno uzgajati, poput penjačica ili drugih biljnih vrsta koje mogu preživjeti na vertikalnim površinama. Zeleni

¹ <https://www.fzoeu.hr/hr/energetska-ucinkovitost/1343>, dostupno: 13.07.2023.

zidovi pružaju dodatnu toplinsku izolaciju, apsorbiraju sunčevu energiju te smanjuju protok topline i zvuka.²

Utjecaj fasada na energetska učinkovitost može biti značajan. Suvremene kontaktne izolirane fasade su najučinkovitije u smanjenju gubitka topline, s obzirom na visoku toplinsku izolacijsku vrijednost materijala koji se koriste dok ventilirane, ostakljene ili zelene fasade mogu dodatno pružiti pasivno hlađenje zgrade protokom zraka i smanjiti potrebu za klimatizacijom.

2.1. Toplinska izolacija

Toplinska izolacija ima ključnu ulogu u smanjenju gubitaka topline kroz fasade i poboljšanju energetske učinkovitosti zgrada. Dobar izbor izolacijskog materijala za fasadu može značajno smanjiti energetska potrošnja za grijanje i hlađenje prostora, ovakva izolacija omogućuje smanjenje toplinskih gubitaka zimi, onemogućuje pregrijavanje prostora ljeti te štiti nosivu konstrukciju od vanjskih uvjeta i jakih temperaturnih naprezanja. Toplinska izolacija na zgradi je ugodnija, produžuje joj životni vijek, ali i doprinosi zaštiti okoliša. Toplinski gubici kroz građevni element ovise o sastavu elementa, orijentaciji i koeficijentu toplinske vodljivosti. Što je koeficijent prolaska topline manji, to je toplinska zaštita zgrade bolja.

2.1.1 Izolacijski materijali za fasade

Postoje različiti izolacijski materijali koji se koriste za fasade, a svaki od njih ima svoje prednosti i karakteristike. Staklena vuna i mineralna vuna su široko korišteni materijali koji pružaju dobru toplinsku izolaciju. Oni su otporni na vatru, upijaju vlagu i mijenjaju svojstva, čime održavaju svoje izolacijske karakteristike tijekom vremena. Ekspandirani polistiren (EPS) i ekstrudirani polistiren (XPS) također su najviše zastupljeni materijali zbog svoje visoke toplinske izolacije i niske apsorpcije vlage, prilikom koje (EPS) upija vlagu i mijenja svojstva, dok (XPS) ne upija vlagu i koristi se ukopanim dijelovima građevine koje

² <https://www.roefix.hr/trendovi-i-rjesenja/novogradnja-toplinsko-izolacijski-sustavi/roefix-sustavi>, dostupno: 15.07.2023.

su u direktnom dodiru sa zemljom. Poliuretanska pjena (PUR/PIR) je još jedan materijal koji se često koristi zbog svoje visoke toplinske provodljivosti i mogućnosti prilagodbe različitim oblicima fasade. Najčešće se pojavljuju u obliku ploča koje se postavljaju na nosivu konstrukciju građevine

Važan faktor pri odabiru izolacijskog materijala je i ekološka prihvatljivost. Celuloza, prirodni materijali poput drva i pluta te kombinacije više materijala sve više dobivaju na popularnosti zbog svoje ekološke održivosti i smanjenog utjecaja na okoliš.

2.1.2 Učinak debljine izolacije na energetska učinkovitost

Debljina izolacije također ima značajan utjecaj na energetska učinkovitost fasade. Povećanje debljine izolacije smanjuje toplinske gubitke kroz zidove, čime se smanjuje potreba za grijanjem i hlađenjem, te se energetska učinkovitost linearno povećava sa debljinom. Svakako je potrebno je napraviti energetska proračun točnije fiziku zgrade kako bi se definirala potrebna debljina izolacije za poboljšanje energetske učinkovitosti. Sastavni dio proračuna se temelji i na klimatskim uvjetima lokacije, vrsti izolacijskog materijala i ostalim definiranim energetska zahtjevima zgrade. Stoga je važno provesti analizu energetske učinkovitosti kako bi se odredila optimalna debljina izolacije koja će osigurati najbolji omjer između energetske učinkovitosti i troškova.

2.2. Termalna regulacija

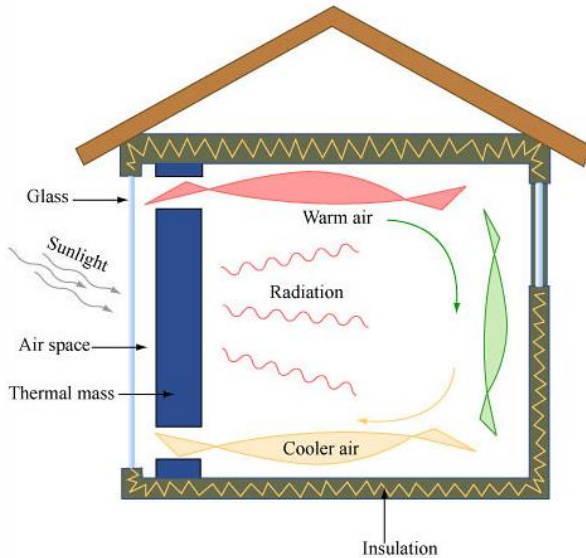
Termalna regulacija fasade odnosi se na sposobnost fasade da zadržava i regulira toplinsku energiju unutar prostora. Postoje različiti mehanizmi i tehnike koje se koriste za postizanje optimalne termalne regulacije. Termalna regulacija fasada ima značajnu ulogu u održavanju optimalne temperature unutar zgrade, čime se postiže energetska učinkovitost i udobnost prostora. Različiti mehanizmi i tehnike koriste se za postizanje termalne regulacije fasada, uključujući pasivne strategije hlađenja i grijanja te upotrebu ventiliranih fasada i termalne mase.³

³ Buratti, C., Moretti, E., Belloni, E., & Cotana, F. (2013). Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings. *Building and Environment*, 59, 482-491

Pasivne strategije hlađenja i grijanja temelje se na iskorištavanju prirodnih elemenata i principa kako bi se regulirala temperatura unutar zgrade. Na primjer, dobro smješteni prozori omogućavaju maksimalno iskorištavanje prirodnog osvjetljenja i toplinske energije sunca tijekom zime, čime se postiže pasivno grijanje prostora. Istovremeno, uključivanje elemenata poput zasjenjivanja ili reflektirajućih površina na prozorima može smanjiti pregrijavanje prostora tijekom ljetnih mjeseci. Osim toga, dobra izolacija fasade sprječava prodor topline izvana ili gubitak topline iznutra, što doprinosi održavanju stabilne temperature prostora. Termalna masa je još jedan važan faktor u termalnoj regulaciji fasada. Materijali s visokom gustoćom poput zidova od opeke ili betona imaju sposobnost akumulacije i otpuštanja topline tijekom određenog vremenskog razdoblja. Tijekom sunčanih perioda, termalna masa može akumulirati toplinsku energiju, čime se sprječava pregrijavanje prostora. Noću ili tijekom hladnijih razdoblja, termalna masa može otpustiti akumuliranu toplinu, doprinoseći održavanju ugodne temperature u zgradi.

Primjer ovakvog sustava možemo vidjeti na Trombeovom zidu koji se postavlja na način da je okrenu prema izvoru sunčeve svjetlosti na južnoj ili zapadnoj strani. Funkcija zida koji se izvodi iz opeke, armiranog betona ili kamena je zagrijavanje ili hlađenje prostora. Između nosive konstrukcije i stakla nalazi se međuprostoru u razmaku od 15 - 20 cm. Prenošnje topline s vanjske na unutarnju stranu zida ovisi o materijalima od kojih je zid napravljen ali i od njegove debljine. Kako bi se smanjila brzina i spriječilo pretjerano zagrijavanje prostorija ili gubitak topline ispred ili iza Trombeovog zida, postavljaju se odgovarajući toplinski zastori, te se na taj način povećava iskorištenost Trombeovog zida. Prilikom primjene sustava Trombeovog zida moguće do postići 25-30 % uštede energije potrebne za grijanje prostora.⁴

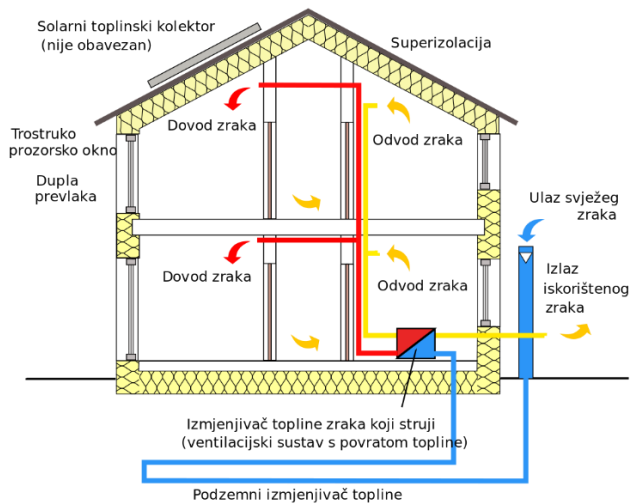
⁴ Čehajić, N., Pasivno korištenje Sunčeve energije u zgradarstvu – Trombov zid, 2013.



Grafički izvor 1. Primjer sustava Trombeovog zida

2.2.1. Pasivno hlađenje i grijanje

Pasivno hlađenje i grijanje temelje se na iskorištavanju prirodnih elemenata i principa kako bi se regulirala temperatura unutar zgrade. Prirodno strujanje zraka, adekvatno smješteni prozori za maksimiziranje prirodnog osvjetljenja i toplinske energije sunca te upotreba termalno izoliranih materijala koji zadržavaju ili otpuštaju toplinu prema potrebi, sve su to tehnike koje se mogu primijeniti u pasivnom hlađenju i grijanju fasade. Na primjer, dobro smješteni prozori mogu omogućiti ulazak sunčeve svjetlosti tijekom zime, što dovodi do zagrijavanja prostora, dok istovremeno smanjuju pregrijavanje tijekom ljeta.



Grafički izvor 2. Primjer pasivnog sustava na kući

2.2.2. Ventilirane fasade

Ventilirane fasade su sustavi u kojima se između vanjskog sloja fasade i unutarnjeg zida stvara zračni prostor. Ovaj zračni prostor služi kao toplinski izolator i omogućuje kontroliranu ventilaciju zgrade. Ventilirane fasade mogu smanjiti toplinsko opterećenje na zgradu tako što stvaraju termalnu barijeru između vanjskog okoliša i zida sa toplinskom izolacijom. Ventilirane fasade predstavljaju učinkovit sustav termalne regulacije koji uključuje stvaranje zračnog prostora između vanjskog sloja fasade i unutarnjeg zida. Ventilacija pomaže u reguliranju temperature unutar zgrade tako što uklanja višak topline ili hladnoće iz prostora putem prirodne cirkulacije zraka. Također, sustav dvostruke završne ovojnice ventilirane fasade uspješno sprečavaju kondenzaciju vlage na vanjskoj i na unutarnjoj površini fasade, čime se održava kvaliteta materijala i unutarnjeg zraka.⁵

2.3. Solarna apsorpcija

Solarna apsorpcija je važan aspekt termalne regulacije fasada i može značajno utjecati na energetske učinkovitost zgrade. Fasadni materijali igraju ključnu ulogu u apsorpciji sunčeve energije, dok refleksija sunčeve svjetlosti može pridonijeti hlađenju zgrade i održavanju niže temperature unutar zgrade.

⁵ Gökşen, F., Ayçam, I., Procjena toplinske učinkovitosti neprozirnih ventiliranih fasada za stambene zgrade u vrućim i vlažnim klimatskim područjima, Građevinar, 2023.

2.3.1. Fasadni materijali i njihova sposobnost apsorpcije sunčeve energije

Različiti fasadni materijali imaju različite karakteristike apsorpcije sunčeve energije. Tamniji materijali, poput tamnih boja ili materijala s većom površinskom apsorpcijom, imaju veću sposobnost apsorpcije sunčeve energije. Oni apsorbiraju veći dio dolazne sunčeve svjetlosti i pretvaraju je u toplinsku energiju. S druge strane, svjetliji materijali s manjom površinskom apsorpcijom reflektiraju veći dio sunčeve svjetlosti. Primjeri fasadnih materijala koji imaju visoku sposobnost apsorpcije sunčeve energije uključuju crne pločice od kamenih materijala, metalne obloge tamnih boja i fasadne panele s tamnim premazima.⁶

Ovi materijali mogu akumulirati toplinsku energiju iz sunčeve svjetlosti tijekom dana i otpustiti je tijekom noći ili u hladnijim razdobljima. Ova sposobnost apsorpcije sunčeve energije može pomoći u pasivnom grijanju zgrade i smanjiti potrebu za aktivnim sustavima grijanja.

2.3.2. Refleksija sunčeve svjetlosti i hlađenje zgrade

Refleksija sunčeve svjetlosti igra važnu ulogu u hlađenju zgrade, posebno tijekom toplih ljetnih mjeseci. Materijali s visokom sposobnošću refleksije sunčeve svjetlosti odbijaju veći dio dolazne svjetlosti, čime smanjuju toplinsko opterećenje fasade i unutarnjih prostora. Odabir svjetlijih fasadnih materijala ili materijala s reflektirajućim premazom može smanjiti apsorpciju sunčeve energije i time smanjiti potrebu za aktivnim hlađenjem prostora. Primjeri takvih materijala uključuju bijele pločice, fasadne panele s reflektirajućim premazima i staklene površine s niskim faktorom propusnosti topline. Ovi materijali reflektiraju veći dio sunčeve svjetlosti, čime se smanjuje ulazak toplinske energije u zgradu i održava niža temperatura unutar prostora.

⁶ Bukarica, V., Dović, D., i dr., Priručnik za energetske savjetnike, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj

3. Primjeri vrsta fasada i njihova energetska učinkovitost

3.1. Klasične fasade s toplinskom izolacijom

Ovo je vrsta fasade koja se često koristi za poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada. Klasična fasada s toplinskom izolacijom predstavlja kombinaciju tradicionalnog izgleda uz dodatak sloja toplinske izolacije kako bi se smanjio gubitak topline kroz zidove. Za postavljanje klasične fasade s toplinskom izolacijom potrebno je pripremiti površinu na način da se površina zida pripremi čišćenjem i uklanjanjem eventualnih premaza kako bi se osiguralo dobro prijanjanje izolacijskih materijala. Nakon pripreme površine postavlja se toplinska izolacija na način da se na vanjski zid zgrade postavi izolacijski materijal. Za toplinsku izolaciju koriste se materijali poput mineralne vune, ekspaniranog poliestera, poliuretanske pjene i slično. Navedeni materijali se za zid pričvršćuju pomoću ljepila, sidrenih elemenata ili kombinacije. Sidreni elementi se postavljaju kroz izolacijski materijal i pričvršćuju u samu nosivu konstrukciju. Kada je toplinska izolacija postavljena, na nju se nanosi zaštitni sloj koji može biti mrežica ili armirana žbuka. Taj sloj pruža dodatnu zaštitu izolaciji, ali i osigurava ravnu površinu za daljnju obradu fasade. Na kraju dolazi završni sloj fasade koji može biti različitih materijala, poput dekorativnih premaza, žbuke, kamena, drva, metala i slično. Ovaj sloj utječe na arhitektonsko oblikovanje zgrade stoga se često materijali završnog sloja biraju sukladno arhitektonskim preferencijama ili zahtjevima projekta.⁷

⁷ Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunc J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.



Grafički izvor 3. Primjer slojeva klasične fasade

Klasična fasada s toplinskom izolacijom pruža niz prednosti, uključujući poboljšanu energetska učinkovitost, smanjenje troškova grijanja i hlađenja, povećanu udobnost unutarnjeg prostora i zaštitu zidova od kondenzacije i oštećenja. Ova vrsta fasade je popularna za poboljšanje energetske svojstava postojećih zgrada ili kao dio novogradnje.⁸

U nastavku će se istaknuti neki od načina na koje klasična fasada s toplinskom izolacijom može utjecati na energetska učinkovitost zgrade:

- smanjenje gubitka topline – toplinska izolacija na vanjskom zidu smanjuje gubitak topline iz zgrade čime se postiže ušteda energije i smanjenje troškova za grijanje,
- smanjenje potrošnje energije za grijanje i hlađenje – zbog poboljšane toplinske izolacije
- smanjuje se potrošnja energije za grijanje i hlađenje što dovodi do smanjenja opterećenja sustava za grijanje i hlađenje,
- povećanje energetske razreda zgrade – poboljšanje energetske učinkovitosti fasade može imati pozitivan utjecaj na ukupnu ocjenu energetske razreda zgrade,
- sprječavanje kondenzacije – ova vrsta fasade smanjuje mogućnost kondenziranja vlage unutar zidova, čime smanjuje mogućnost pojave plijesni i oštećenja konstrukcije

⁸ <https://korak.com.hr/korak-040-prosinac-2012-bachl-pir-toplinska-izolacija-za-svaku-namjenu-2>

Sve prethodno navedeno može se smatrati prednostima klasične fasade s toplinskom izolacijom, a postoje još mnogobrojne prednosti ove vrste fasade, no važno je napomenuti da učinkovitost zapravo ovisi o kvalitetnoj izvedbi, ali i kasnijem pravilnom održavanju.

Unatoč mnogim prednostima ove vrste fasade, potrebno je istaknuti i neke nedostatke. Jedan od najvećih nedostataka se pronalazi pri promjeni u oblikovanju zgrade i debljini fasade. Dodavanje sloja toplinske izolacije na vanjski zid može značajno povećati debljinu fasade, ali dovesti i do promjene u vanjskom izgledu zgrade. Ovaj nedostatak ponajviše predstavlja problem kada se fasada nalazi u zaštićenom ili povijesnom području. Kao što smo već ranije istaknuli, vrlo je važna sama izvedba fasade, kako ne bi došlo do mostova topline ili kondenzacije unutar zidova, sve navedeno predstavlja još jedan nedostatak ove vrste fasade s obzirom da postavljanje iste predstavlja tehnički izazov.

3.2. Ventilirane fasade s prirodnim materijalima

Ventilirane fasade s prirodnim materijalima predstavljaju fasade koje koriste održive i ekološki prihvatljive materijale u kombinaciji sa sustavom ventilacije, što zapravo znači da ova vrsta fasade omogućuje protok zraka između vanjskog zida i sloja fasadne obloge. Upravo taj ventilacijski prostor doprinosi energetske učinkovitosti zgrade s obzirom da regulira vlažnost, smanjuje kondenzaciju i poboljšava toplinsku izolaciju, posebice ako se u ventilacijski kanal postavi dodatni sloj zaštite, poput drvenih ili mineralnih vlakana. Takav način dodatnog postavljanja toplinske izolacije se najčešće primjenjuje u praksi radi svojih visokih energetske vrijednosti i niže ekonomske vrijednosti investicije za razliku od uporabe ostalih suvremenih toplinskih materijala.

Za izvedbu ove vrste fasade koriste se materijali poput drva, slame, kamena i slično. Ključno obilježje ovih materijala je da su prihvatljivi, obnovljivi i imaju male ili u potpunosti nemaju emisije štetnih tvari. Uporabom prirodnih materijala poput drva ili vlaknastih ploča dovodimo fasadu do prirodne otpornosti na vanjske utjecaje koji mogu apsorbirati i otpuštati vlagu što omogućava regulaciju i održavanje razine vlage, dok materijali poput kamena i drva mogu biti i estetski vrlo privlačni. Ukoliko se pravilno

održavaju, prirodni materijali mogu biti izdrživi i dugotrajni bez da gube svoje karakteristike.⁹

Ventilacija se na fasadi postiže otvorima na gornjem ili donjem djelu fasade, a otvori omogućuju ulazak svježeg zraka te izlazak vlažnog zraka. Ovakav sustav pridonosi održavanju zdravog unutarnjeg okoliša, odnosno smanjuje mogućnost nastanka kondenzacije i plijesni. Upravo ovaj sustav ventilacije pridonosi energetskej učinkovitosti zgrade, s obzirom da su takve zgrade samoodržive i zdrave.



Grafički izvor 4. Primjer građevine sa ventiliranom fasadom i kamenom oblogom

Ventilirana fasada s prirodnim materijalima ima niz prednosti, stoga se u nastavku nalaze njihove karakteristike. Najvažnija prednost ove fasade je energetska učinkovitost. Ova vrsta fasade pridonosi smanjenju gubitka topline kroz zidove te time pruža bolju toplinsku izolaciju i sprječavanje pretjeranog zagrijavanja građevine. Obzirom da se koriste prirodni materijali, oni imaju prirodnu zvučnu i toplinsku izolaciju što pomaže kako bi se smanjio prijenos buke iz okoline, te kako bi se održala ugodna temperatura prostorije.

3.3. Ventilirane fasade s suvremenim materijalima

Ventilirane fasade sa suvremenim završnim materijalima su predstavnici tehnološkog razvoja industrije i eksperimentiranje sa različitim materijalima kako bi se poboljšala

⁹ Kragh, M., et al. (2020). "Ventilated Façade Systems: A Review of Their Advantages, Disadvantages and Recent Developments." *Energy Procedia*, 170, 685-692.

karakteristična svojstva samog završnog proizvoda. Također zbog neprestanog razvoja u mogućnosti smo prilagoditi završnu estetsku oblogu prema posebnim željama i zahtjevima. Izbor podkonstrukcije ovisi o projektiranom vanjskom opterećenju građevine te lokacije na kojoj se nalazi, a razlikujemo aluminijsku, drvenu i čeličnu. *(grafički izvor 5)* Zračnim tj. ventiliranim slojem omogućuje se cirkulacija između fasadne obloge i nosivog dijela građevine. Paropropusnost se zadovoljava postavljanjem membrane na vanjskoj strani izolacijskog sloja kako bi se spriječio prodor vlage u materijal, te istovremeno omogućuje isparavanje vodene pare unutar same fasade.¹⁰

Završne obloge se međusobno razlikuju po materijalu, karakterističnim svojstvima i samom obliku. Najzastupljenije obloge su kompaktne ploče od prešanog laminata (HPL), vlaknasto cementne ploče, aluminijske kompozitne ploče s jezgrom *(grafički izvor 6)*, keramičke ploče, kamene ploče, profilirani limovi i stakleno-valjani profili. Najvažnije karakteristike koje zadovoljavaju suvremene ventilirane fasade su zrakopropusnost, paropropusnost, dugovječnost, otpornost na vremenske uvjete, UV zračenje, koroziju i mehanička oštećenja.

3.4. Fasade s ostakljenim panelima i reflektirajućim premazima

Još jedna vrsta fasade koja ima veliku ulogu u energetske učinkovitosti je fasada s ostakljenim panelima. U samom fasadnom sistemu razlikujemo različite sustave koji se mogu ugrađivati:

- Prozorski sustav
- Panelni sustav sa ispunom od toplinske izolacije
- Stakleni panel

Kod prozorskih sustava je najuobičajeniji materijal aluminij, PVC ili drvo sa staklenom ispunom. Koriste se sustavi sa jednostrukim, dvostrukim i trostrukim staklima. Moguće su razne opcije otvaranja poput otklopnih, zaokretnih, kliznih, klizno okretnih prozora. Stakleni paneli su osnovni elementi sistema ostakljenih fasada te se pretežito proizvode

¹⁰ brošura Rockwool: Izolacija ventiliranih fasada, rujan 2019

kao modularna struktura staklene ispune i aluminijskih nosivih profila. Prednosti ostakljene fasade su zdravo i ugodno radno okruženje zbog prolaska velike količine sunčeve svjetlosti koju omogućuje transparentnost staklenih površina. Ostakljene fasade koriste različite vrste stakla kao glavni prozorski materijal. To mogu biti jednostavna stakla, energetska učinkovita stakla, niskoemisivna stakla (Low-E), reflektirajuća stakla, sigurnosna ili kombinacija različitih vrsta stakala. *(grafički izvor 7)*

Suvremeni način kojim također smanjujemo energetska učinkovitost staklenih površina se izvodi s dodanim premazima. Na staklenu površinu se dodatno postavljaju premazi koji su napravljeni od materijala koji imaju sposobnost odbijanja sunčeve svjetlosti i topline. Reflektirajući premazi su najčešće napravljeni od metala, poput aluminijska, bakra ili čelika. Premaz se nanosi na površinu fasadnog materijala. Reflektirajući premazi energetska utječu na zgradu na način da smanjuju toplinsko opterećenje, odnosno reflektiraju sunčevu energiju i na taj način sprječavaju da se toplina apsorbira u zgradu. *(grafički izvor 8)*

Osim smanjenja toplinskog opterećenja odbijanjem sunčeve energije i topline, ova vrsta fasade ima i niz drugih prednosti. Prvenstveno gore navedena prednost utječe na smanjenje potrebe za korištenjem klimatizacijskih sustava i time izravno utječe na smanjenje troškova koji bi se inače utrošili na hlađenje. Suvremene ostakljene fasade su razvojem tehnologije i povećanjem energetske učinkovitosti materijala puno više učinkovite od dosadašnjih ostakljenih fasada koje spadaju u kategoriju energetska neučinkovitih sustava. Upravo iz navedenog proizlazi povećanje energetske učinkovitosti zgrade jer se smanjuje toplinsko opterećenje i samim time koristi manje energije za hlađenje. Navedeno smanjenje toplinskog opterećenja dovodi i do ugodnije temperature unutar zgrade, s obzirom da reflektirajuća fasada sprječava pregrijavanje prostora. Reflektirajući premaz na fasadi pruža i zaštitu od UV zračenja, čime se produljuje kvaliteta fasadnog materijala, čuva boja, odnosno produljuje se vijek trajanja fasade, čime se ujedno smanjuju troškovi održavanja fasade. Još jedna od prednosti ove vrste fasade je moderan i atraktivan izgled reflektirajućih premaza, koji su dostupni u različitim bojama i završnim obradama, a također se lako uklapaju arhitektonskom stilu i zahtjevima

projekta. Kako bi se postigle navedene prednosti, važno je odabrati odgovarajuću vrstu premaza, ali i kvalitetno instalirati i održavati postavljenu fasadu.¹¹

Troškovi fasade s reflektirajućim premazima su u početku veći u odnosu na neke druge tradicionalne fasade jer su materijali s reflektirajućim premazima skupi, a često je teško pronaći i stručnjake za postavljanje iste. Iako ova vrsta fasade zahtjeva manje održavanja od neke tradicionalne, opet je održavanje potrebno kako bi se dugoročno održala ista sposobnost reflektiranja premaza.

Ova vrsta fasade najčešće se primjenjuje na komercijalnim zgradama, poput trgovačkih centara ili hotela, zbog velike površine izložene suncu, na visokogradnji, zbog veće izloženosti suncu a time i većeg toplinskog opterećenja, u područjima s toplim klimatskim uvjetima te u zgradama u kojima se želi postići visoka energetska učinkovitost. Kako bi se energetska učinkovitost ove fasade postigla u potpunosti, reflektirajući premazi mogu se koristiti i na krovovima zgrada radi smanjenja toplinskog opterećenja. Ovi premazi se često primjenjuju na komercijalnim zgradama, ali i na stambenim objektima.

3.5. Integrirane solarno – fotovoltaične fasade

Integrirane solarno – fotovoltaične fasade predstavljaju novu tehnologiju i inovativno rješenje koje se aktivno upotrebljava posljednjih desetak godina. Ova vrsta fasade podrazumijevaju ugradnju solarnih panela izravno u samu fasadnu površinu zgrade (*grafički izvor 9*). Razvoj ovih fasada pokrenut je zbog potrebe proizvodnje vlastite električne energije uz održavanje estetike i funkcionalnosti zgrade. Estetika se postiže na način da se solarni paneli ugrađuju u fasadni materijal poput stakla, keramike, metalnih ploča i slično. Količina proizvedene električne energije ovisi o veličini i orijentaciji fasade, odnosno izloženosti suncu. Ovakva fasada ima veliki utjecaj na energetska učinkovitost zgrade s obzirom da se koristi obnovljiva energija iz sunčeve svjetlosti.¹²

¹¹ Stanuga, G., Staklo na fasadama, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1993.

¹²https://www.solarenergygroup.eu/?gclid=EAIaIQobChMI7amGm8OagQMVbJCDBx3L8gvkEAAYAiAAEgL-RvD_BwE

Već gore navedene karakteristike fasade dovode nas do prednosti izabranog sustava, te je svakako važno istaknuti najveću prednost sustava o samostalnoj proizvodnji električne energije, koja može biti djelomična ili čak u potpunosti dovoljna za potrebe građevine. Ova karakteristika smanjuje ovisnost o tradicionalnim izvorima energije. Integracija solarnih panela u samu fasadu može biti estetski privlačno rješenje, jer se paneli mogu prilagoditi različitim oblicima, bojama i materijalima fasade. Osim za proizvodnju električne energije integrirani solarno – fotovoltaični paneli mogu imati i druge funkcionalnosti, poput djela pametnog sustava, senzora za regulaciju unutarnje rasvjete, sustave upravljanja zgradom i slično. Ovakve nekretnine postaju sve atraktivnije na tržištu i dugoročno povećavaju vrijednost, s obzirom da se sve više implementiraju održivi i neovisni sustavi tehnološkog procesa građevine.

Uz niz navedenih prednosti, u obzir se trebaju uzeti i neki nedostaci ove vrste fasade. Postavljanje ove vrste fasade iziskuje visoke početne troškove u usporedbi s nekom vrstom konvencionalnog fasadnog rješenja. Integracija solarnih panela u fasadu zahtjeva visoku stručnost prilikom odabira i postavljanja panela. Postavljanje ovih panela iziskuje mnoge tehničke izazove, poput optimalne orijentacije panela, osiguranje propisanog električnog povezivanja, zaštita panela od vanjskih utjecaja i slično. Efikasnost solarno-fotovoltaičnih fasada ovisi o dostupnosti sunčeve svjetlosti, pa o istome ovisi i količina proizvedene električne energije. Nedostatak sunčeve svjetlosti utječe na učinkovitost cijelog sistema. Dugoročno gledano, solarna tehnologija brzo napreduje, stoga ugrađeni paneli brzo mogu postati zastarjeli ili čak manje učinkoviti tijekom dugoročnog razdoblja. Navedeni nedostaci ovise o specifičnom projektu stoga se u pojedinim slučajevima mogu razlikovati.

Za postavljanje integrirane solarno-fotovoltaične fasade potrebno je nekoliko koraka. Prvi korak je projektiranje i planiranje, koji uključuje odabir odgovarajućeg sustava solarnih panela, određivanje orijentacije i nagiba panela, ali i odabir fasadnog materijala u koji će se integrirati paneli. Kao i prilikom postavljanje bilo koje druge vrste fasade, fasadna površina na koju će se postavljati solarni paneli treba se pripremiti, odnosno očistiti, ukloniti eventualne postojeće premaze i slično. Potom slijedi sama postava panela

koji se mogu integrirati izravno u fasadni materijal ili se mogu montirati na posebne nosače koji se pričvršćuju u fasadu. Kada su paneli postavljeni potrebno ih je električno povezati zbog omogućavanja prijenosa proizvedene električne energije. U tom koraku povezuju se paneli sa električkim sustavom zgrade. Po završetku postavljanja i povezivanja provodi se testiranje i provjera funkcioniranja integrirane solarne-fotovoltaične fasade.

3.6. Zelene fasade – vertikalno zelenilo

Zelena fasada je zid potpuno ili djelomično prekriven zelenilom. Zelena fasada s biljkama penjačicama koristi sustav rešetki za držanje loza biljaka koje su ukorijenjene u tlu ili kontejnerima. Zelene fasade nude ekonomske, ekološke, estetske i fiziološke koristi urbanom okruženju. Za razliku od zelenih panela koji se mogu integrirati u zgradu samo ako su projektirani da izdrže težinu (80-100 kg/m³), ova vrsta zelenih fasada može se posaditi u tlo/kontejner i pomoću rešetkastog sustava pričvrstiti na bilo koju zgradu ili konstrukciju. Prednost je u tome što zauzima malo prostora u već intenzivno korištenom urbanom području, a istovremeno pruža mnogo vertikalnog zelenila.

Mogu se razlikovati tri vrste vegetacije:

- Biljke koje se same penju, koje se penju pomoću vitica, vijugavih stabljika ili izdanaka;
- Penjačice koje trebaju konstrukciju postavljenu ispred zida uz koju mogu rasti i penjati se;
- Viseće biljke koje rastu iz posuda na krovu ili balkonu (ove biljke zahtijevaju veću njegu: gnojivo, zalijevanje i zaštita od mraza);
- Zeleni fasadni vrtovi, pri čemu biljke rastu prema gore iz posuda pričvršćenih na fasadu ili iz supstrata pričvršćenog na nju.¹³

Vertikalna vegetacija štiti zidove od izravnog sunčevog zračenja. Fasada se manje zagrijava, manje upija toplinu i manje emitira toplinu noću. Biljke također ispuštaju vodenu paru isparavanjem, što također pojačava učinak hlađenja u okolnom prostoru.

¹³ <https://www.ekologija.com.hr/zelene-fasade/>

Ukratko, vertikalna vegetacija ima temperirajući učinak na maksimalne temperature. Za sjenu se mogu koristiti i penjačice za pergole.

Vertikalni vrtovi sastoje se od montažnih fasadnih elemenata koji se postavljaju ispred fasade i nisu povezani s tlom u zemlji (*grafički izvor 10*). Modularni su fasadni elementi ispunjeni podlogom. Uvijek dolaze opremljeni sustavom za navodnjavanje/otjecanje, koji se pokreće pomoću automatike. Senzori vlažnosti osiguravaju potrebno navodnjavanje/otjecanje i hranu za biljke s automatskim sustavima.¹⁴

Na fasadi mora biti postavljena podkonstrukcija na koju se mogu pričvrstiti modularni elementi. Nedostatke vertikalnog vrta nalazimo u potrebama za većim održavanjem zelenila, navodnjavanja i sustava njege, te veće cijene u odnosu na konvencionalne zelene fasade s biljkama penjačicama. Prednost je u tome što sustav ne treba tlo i stoga je prikladan za svaku situaciju. Vertikalni živi zid koristi ventilirani sistem na koju se postavlja vodonepropusna folija kako bi se spriječio daljnji prodor vode u konstrukciju. Sustav pomoću žica i kabela ili rešetki obuhvaća potpurnu konstrukciju za penjanje biljaka, koji nudi fleksibilnost sustava. Dodatno se mogu postaviti žardinjere na određenim razinama fasade, gdje se biljni materijal postavlja unutar posuda. Modularni prefabricirani sistem živućeg zida mogu koristiti različite sustave postavljanja poput ladica, posuda, plantažnih ploča.

¹⁴ D. Jurić: Energetska učinkovitost: Vertikalno ozelenjavanje, Hausbau, br. nepoznat, kolovoz 2012.

4. Analiza energetske učinkovitosti kroz simulacije

4.1 Metodologija simulacija

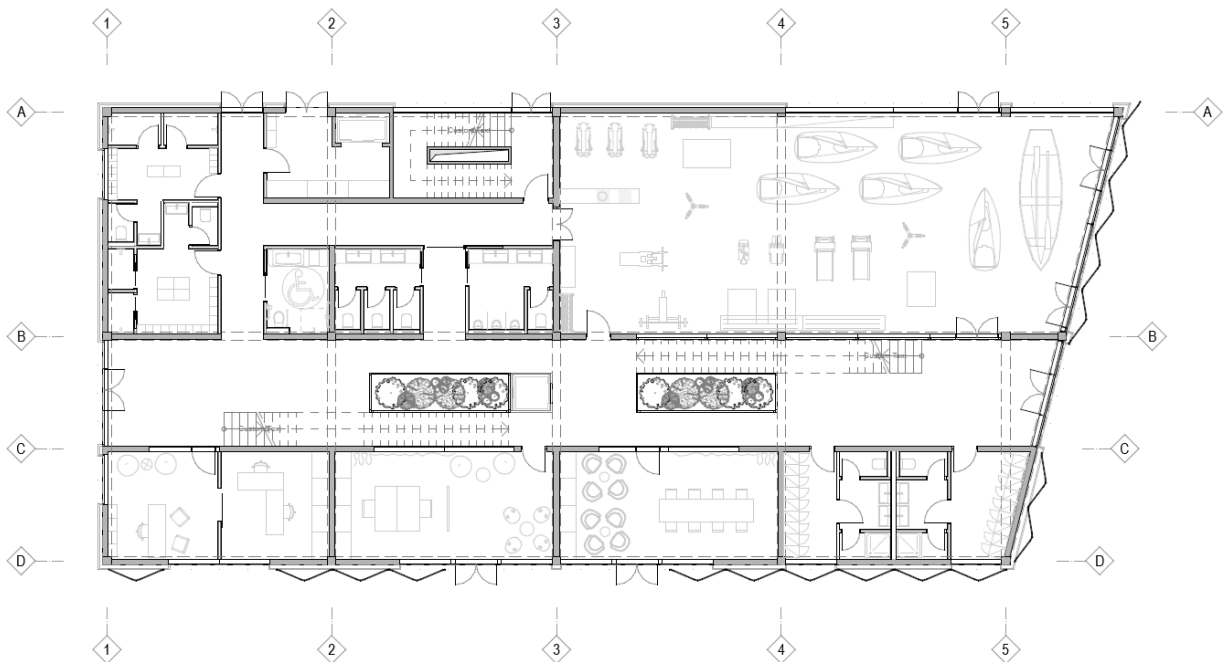
Odabrana mikrolokacija za postupak provedbe analiza i simulacija se nalazi u gradu Rijeci, na priobalnom dijelu točnije unutar sportsko-rekreacijske zone Kantrida. Sama odabrana lokacija je definirana svojim karakterističnim prirodnim uvjetima, velikim utjecajem sunčeve apsorpcije, malim ili nepostojećim utjecajem prirodnog zasjenjivanja, utjecajem vjetra, naletima soli i izloženosti vanjskim utjecajima mora. Samim time što se na lokaciji nalazi puno prirodnih meteoroloških parametara koje možemo pronaći u većini lokacija na Mediteranu uz priobalje, mogu se analizirati svi prirodni utjecaji na energetska učinkovitost građevina koje se nalaze u istim ili sličnim uvjetima. Upravo zbog tih karakterističnih vrijednosti biti će moguće donijeti utemeljene zaključke i smjernice pri projektiranju građevina koje se nalaze u istim ili sličnim mikro uvjetima lokacije.

U postupanju metodologije istraživanja fasadnih sustava treba jasno i nedvosmisleno definirati parametre koje će se promatrati i mjeriti. U ovom radu prikazati će se parametri sustava za grijanje i hlađenje, ventilacija i osvjetljenje, pomoću računalnog programa Archicad 26 – Energy Evaluation – EcoDesigner Star. Pri simulaciji klimatskih uvjeta koristiti će se meteorološki podatci kako bi postavili stvarne uvjete na samoj lokaciji tipske građevine. Sami podatci uključuju vanjsku temperaturu, relativnu vlažnost, brzinu vjetra i sunčevu radijaciju. Izradom simulacija biti će nam omogućena preciznija procjena energetske učinkovitosti građevine u stvarnim uvjetima.

Nakon definiranih potrebnih ulaznih parametara i vrijednosti potrebno je napraviti analizu i interpretaciju dobivenih rezultata simulacijama računalnim programom. Dobiveni podatci se analiziraju preko grafičkih prikaza, grafikona i tabličnih podataka za jednostavniji prikaz dobivenih vrijednosti. Na temelju rezultata dobivenih analiza mogu se definirati smjernice za poboljšanje energetske učinkovitosti građevine. To uključuje prijedloge i preporuke pri izboru samih materijala, odabiru najpovoljnijih fasadnih sustava kako bi postigli optimizaciju sustava za grijanje, hlađenje i ventilaciju te samim time doveli do smanjenja potrošnje energije i ekološkog utjecaja građevine na okoliš.

4.2 Simulacija različitih vrsta fasadnih sustava

Odabrana lokacija prema kojoj će se definirati ulazni parametri i preuzeti meteorološki podatci nalazi se u Rijeci, točnije na području Kantride neposredno uz bazenski kompleks Kantrida. Prilikom definiranja ulaznih parametara predviđeni su parametri za stambene prostore i bivanje ljudi unutar građevine dužeg vremenskog perioda. Odabrani objekt je veličine cca 32x16 m i visine 21 m što odgovara prosječnoj dimenziji samostalne mješovite namjene građevine. Objekt je orijentacijski postavljen u smjeru sjever / jug neposredno uz obalnu liniju kako bi dobili najnepovoljnije rezultate simulacija pri meteorološkim uvjetima (nalet vjetera, soli, velika izloženost suncu bez zasjenjenja). Vrsta tla pri predmetnoj lokaciji je stijena ili stijenski materijal, uključujući najviše 5 m trošne zone od površine terena, te spada u A skupinu tla, sa povoljnim nosivim svojstvima tla, ali bez mogućnosti korištenja geotermalnih potencijala (izvori vode, toplina tla).



Grafički izvor 11. Tlocrt odabrane građevine za izradu simulacija

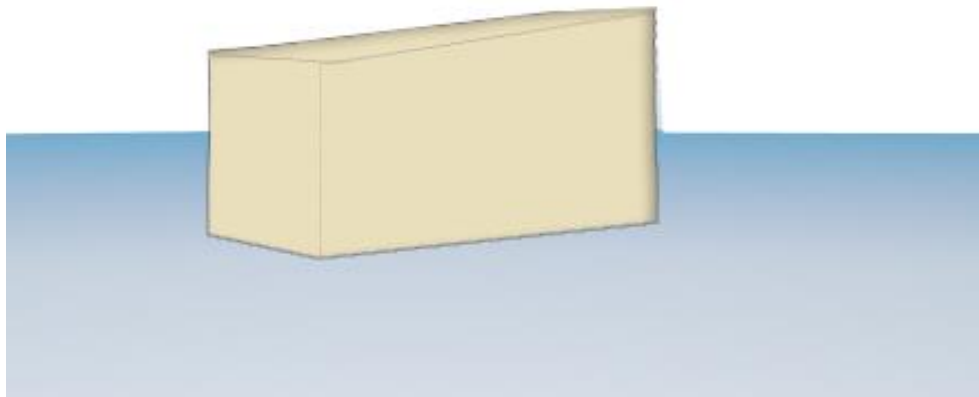
Pretpostavljeni ulazni parametri koji su potrebni za prikaz energetske učinkovitosti sustava građevine te posljedično utjecaj različitog izbora fasada na ukupnu energetske bilancu građevine.

- *Povećanje ljudske topline – 150 w / po glavi stanovnika*
- *Servisno opterećenje tople vode 60 l / dan*
- *Maksimalna temperatura u okolišu – 38 °C*
- *Minimalna temperatura u okolišu - -4 °C*
- *Prosječna središnja temperatura u okolišu - 14 °C*
- *HVAC sistemi*
- *Predviđeni sustav za grijanje + topla voda – dizalica topline zrak / voda – snaga 5000 W*
- *Faktor grijanja (COP) - 4,60*
- *Temperatura vode - Hladna voda 10 °C / Topla voda 60 °C*
- *Sustav hlađenja – split sustav snage 3000W*
- *Toplinski faktor (COP) 3,5-2,5*
- *Prirodna ventilacija prostora - 1 izmjena zraka u satu*
- *Unutarnja Led rasvjeta*

4.2.1 Analiza simulacija za ishodišni zatvoreni volumen

1. Ishodišna simulacija – 0 – građevina bez vanjskih otvora

Grafički prikaz građevine



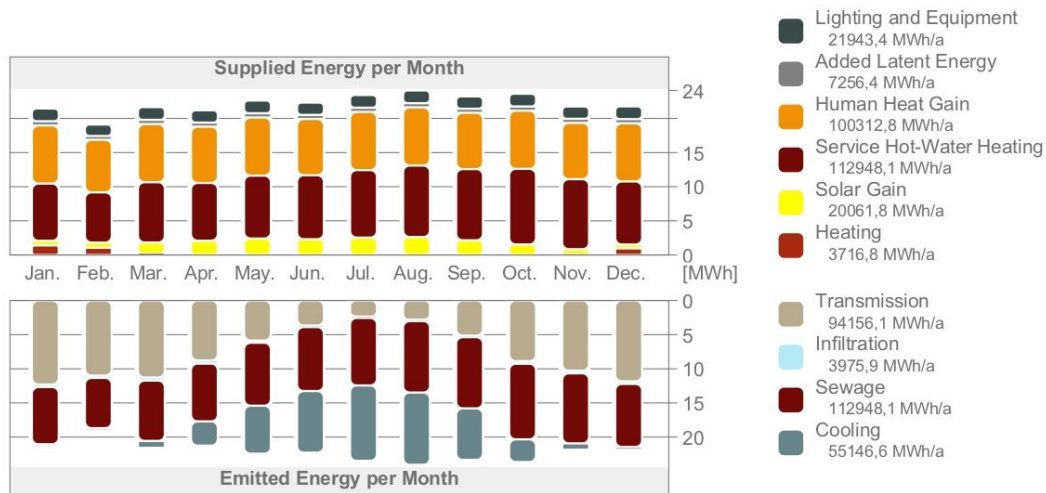
Grafički izvor 12. Prostorski prikaz – Ishodišni volumen bez otvora

Analitički iskaz simulacije

Key Values

General Project Data		Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	SIMULACIJA 0	Building Shell Average:	3,43		
City Location:		Floors:	--		
Latitude:	45° 34' 47" N	External:	1,17 - 4,66		
Longitude:	14° 22' 30" E	Underground:	--		
Altitude:	0,00 m	Openings:	2,11 - 3,89		
Climate Data Source:	RIJEKA_CROATIA.epw	Specific Annual Values			
Evaluation Date:	10.7.2023. 17:22	Net Heating Energy:	20,59	kWh/m ² a	
		Net Cooling Energy:	19,26	kWh/m ² a	
		Total Net Energy:	20,56	kWh/m ² a	
		Energy Consumption:	67,68	kWh/m ² a	
		Fuel Consumption:	50,83	kWh/m ² a	
		Primary Energy:	101,74	kWh/m ² a	
		Fuel Cost:	3,15	€/m ² a	
		CO ₂ Emission:	19,47	kg/m ² a	
Building Geometry Data		Degree Days			
Gross Floor Area:	2878,50 m ²	Heating (HDD):	3288,50		
Treated Floor Area:	2862,81 m ²	Cooling (CDD):	1477,68		
External Envelope Area:	291,88 m ²				
Ventilated Volume:	9455,96 m ³				
Glazing Ratio:	0 %				
Building Shell Performance Data					
Infiltration at 50Pa:	0,12 ACH				

Project Energy Balance



Thermal Blocks

Thermal Block	Zones Assigned	Operation Profile	Gross Floor Area m ²	Volume m ³
SIMULACIJA 0	44	Mixed use	2176,06	6702,8
Total:	62		2176,06	6702,8

SIMULACIJA 0 - Key Values

Geometry Data

Gross Floor Area:	2878,50	m ²
Treated Floor Area:	2862,81	m ²
Building Shell Area:	291,88	m ²
Ventilated Volume:	9455,96	m ³
Glazing Ratio:	13	%

Internal Temperature

Min. (06:00 Feb. 08):	7,59	°C
Annual Mean:	24,48	°C
Max. (01:00 Jul. 28):	39,34	°C

Unmet Load Hours

Heating:	360	hrs/a
Cooling:	134	hrs/a

Heat Transfer Coefficients

	U value	[W/m ² K]
Floors:	-	
External:	1,17 - 4,66	
Underground:	-	
Openings:	2,11 - 3,89	

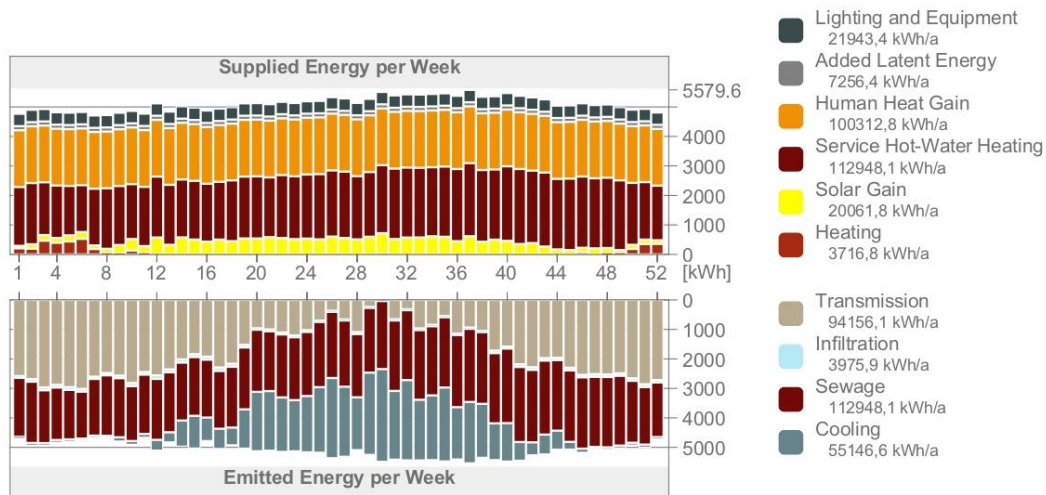
Annual Supplies

Heating:	3716,83	kWh
Cooling:	55146,64	kWh

Peak Loads

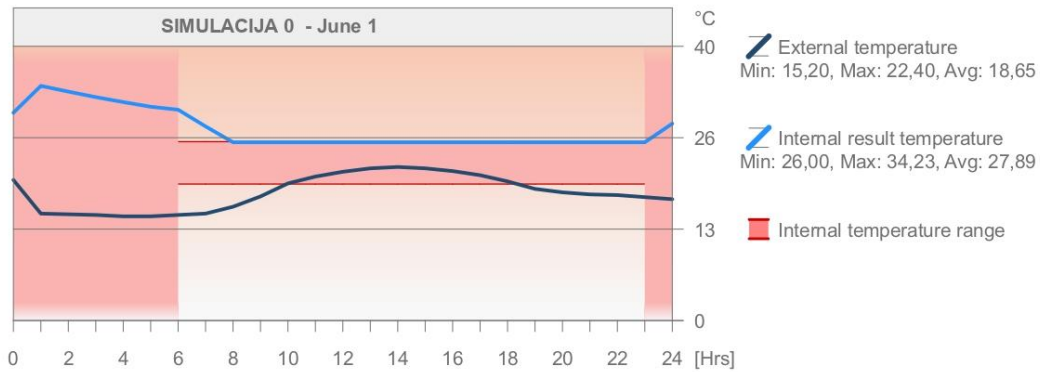
Heating (09:00 Jan. 01):	5,00	kW
Cooling (19:00 Jul. 27):	31,61	kW

SIMULACIJA 0 Energy Balance



Daily Temperature Profile





HVAC Design Data

Thermal Block	Heating Demand		Cooling Demand		Internal Temperature	
	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
SIMULACIJA 0	3716	5.0 09:00 Jan. 01	55146	31.6 19:00 Jul. 27	7.6 06:00 Feb. 08	39.3 25:00 Jul. 27
All Thermal Blocks:	3716	5.0 09:00 Jan. 01	55146	31.6 19:00 Jul. 27		

Number of Used Hours in Year:

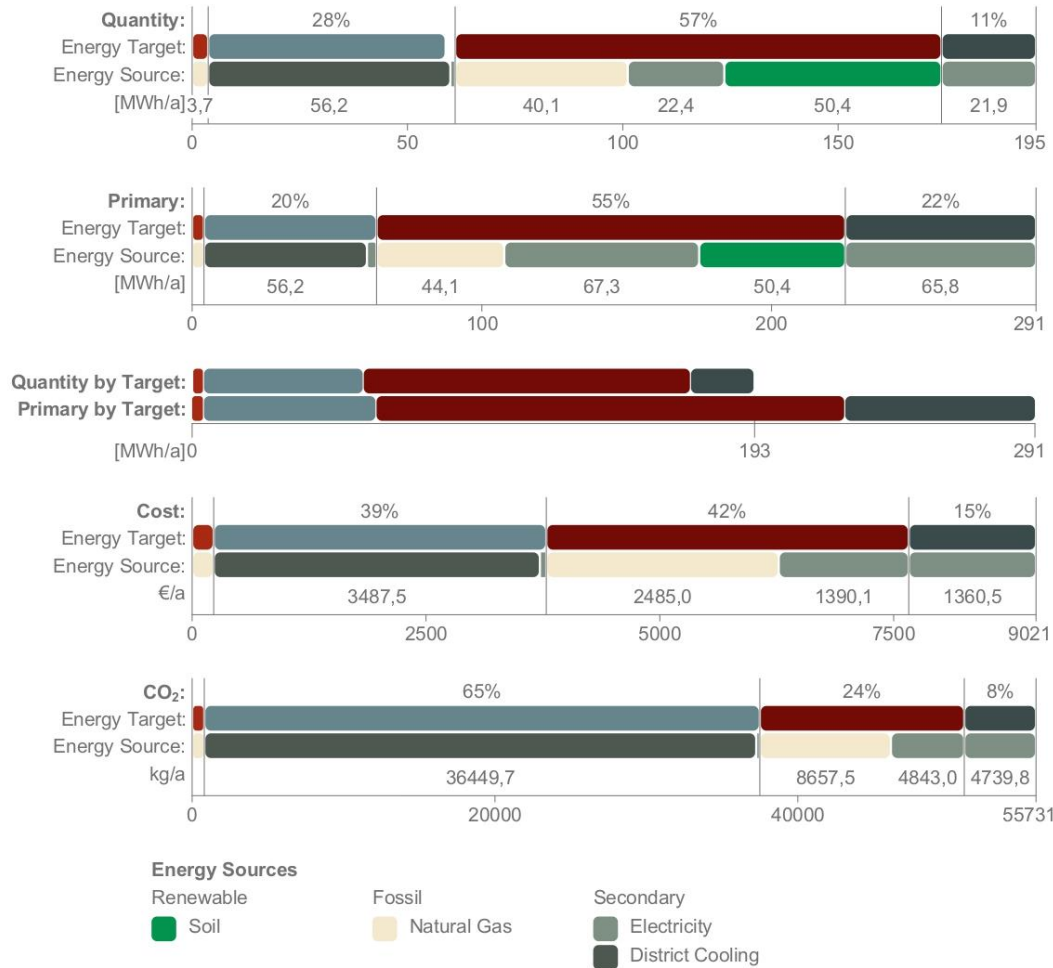
Heating: 1086 hrs
Cooling: 4754 hrs

Unmet Load Hours in Year:

Heating: 360 hrs
Cooling: 134 hrs

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	Emission kg/a
Heating	3	4	230	802
Cooling	55	59	3555	36687
Service Hot-Water	112	161	3875	13500
Ventilation Fans	0	0	0	0
Lighting & Appliances	21	65	1360	4739
Total:	193	291	9021	55731



Environmental Impact

Source Type	Source Name	Primary Energy MWh/a	CO ₂ emission kg/a
Renewable	Soil	50	0
Fossil	Natural Gas	48	9460
Secondary	Electricity	136	9821
	District Cooling	56	36449
Total:		290	55730

4.2.2 Analiza simulacija za kontaktnu - klasičnu fasadu

1. Simulacija I – građevina sa vanjskim otvorima – bez zasjenjenja

Dodani parametri:

- *Aluminijska bravarija – $U = 1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ – dvoslojno izo staklo*
- *Kontaktna fasada sa kamenom vunom $d=15 \text{ cm}$ – toplinska provodljivost $0,025 \text{ W/mK}$*

Grafički prikaz građevine



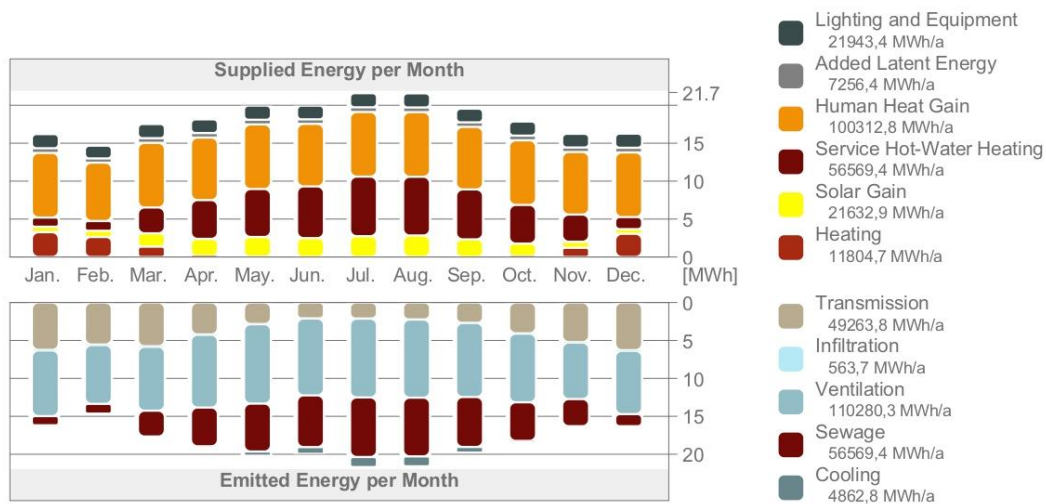
Grafički izvor 13. Prostorski prikaz – Kontaktna fasada bez zasjenjenja

Analitički iskaz simulacije

Key Values

General Project Data		Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	SIMULACIJA I	Building Shell Average:	3,38		
City Location:		Floors:	--		
Latitude:	45° 34' 47" N	External:	1,17 - 4,66		
Longitude:	14° 22' 30" E	Underground:	--		
Altitude:	0,00 m	Openings:	2,11 - 3,89		
Climate Data Source:	RIJEKA_CROATIA.epw	Specific Annual Values			
Evaluation Date:	10.7.2023. 16:28	Net Heating Energy:	4,12	kWh/m ² a	
		Net Cooling Energy:	1,70	kWh/m ² a	
		Total Net Energy:	5,82	kWh/m ² a	
		Energy Consumption:	36,08	kWh/m ² a	
		Fuel Consumption:	18,23	kWh/m ² a	
		Primary Energy:	73,63	kWh/m ² a	
		Fuel Cost:	1,13	€/m ² a	
		CO ₂ Emission:	3,94	kg/m ² a	
Building Geometry Data		Degree Days			
Gross Floor Area:	2872,47 m ²	Heating (HDD):	3288,50		
Treated Floor Area:	2862,81 m ²	Cooling (CDD):	1477,68		
External Envelope Area:	201,71 m ²				
Ventilated Volume:	9455,96 m ³				
Glazing Ratio:	20 %				
Building Shell Performance Data					
Infiltration at 50Pa:	0,11 ACH				

Project Energy Balance



Thermal Blocks

Thermal Block	Zones Assigned	Operation Profile	Gross Floor Area m ²	Volume m ³
SIMULACIJA I	44	Mixed use	2872,47	9455,96
Total:	44		2872,47	9455,96

SIMULACIJA I - Key Values

Geometry Data

Gross Floor Area:	2872,47	m ²
Treated Floor Area:	2862,81	m ²
Building Shell Area:	201,71	m ²
Ventilated Volume:	9455,96	m ³
Glazing Ratio:	20	%

Internal Temperature

Min. (06:00 Feb. 08):	2,11	°C
Annual Mean:	21,43	°C
Max. (14:00 Jul. 25):	37,09	°C

Unmet Load Hours

Heating:	1408	hrs/a
Cooling:	1253	hrs/a

Heat Transfer Coefficients

	U value	[W/m ² K]
Floors:	-	
External:	1,17 - 4,66	
Underground:	-	
Openings:	2,11 - 3,89	

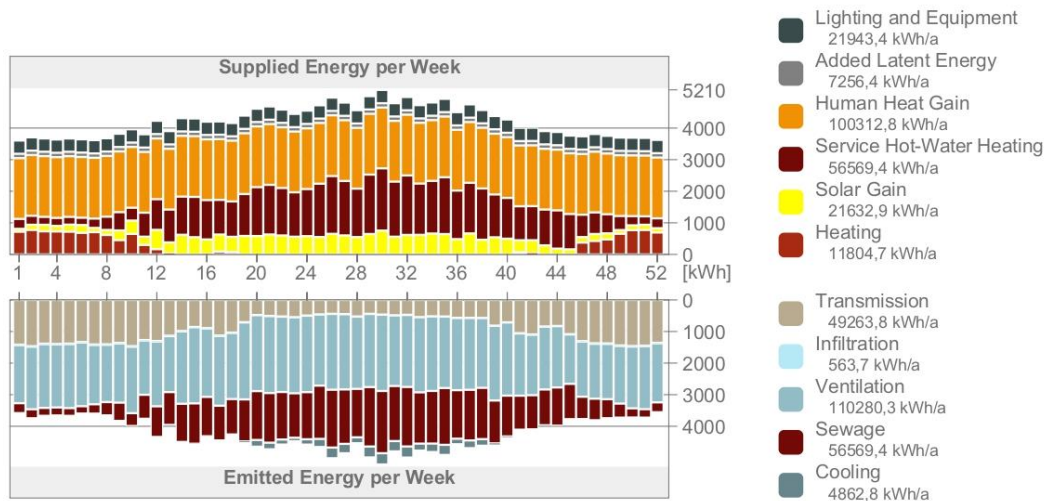
Annual Supplies

Heating:	11804,74	kWh
Cooling:	4862,75	kWh

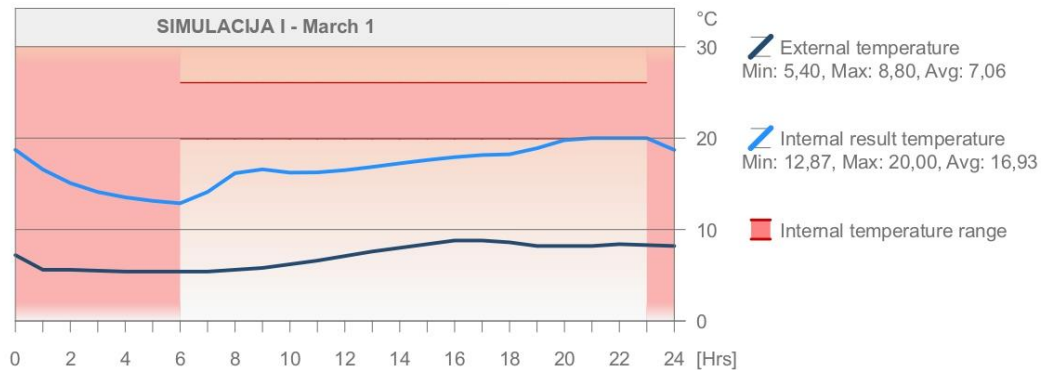
Peak Loads

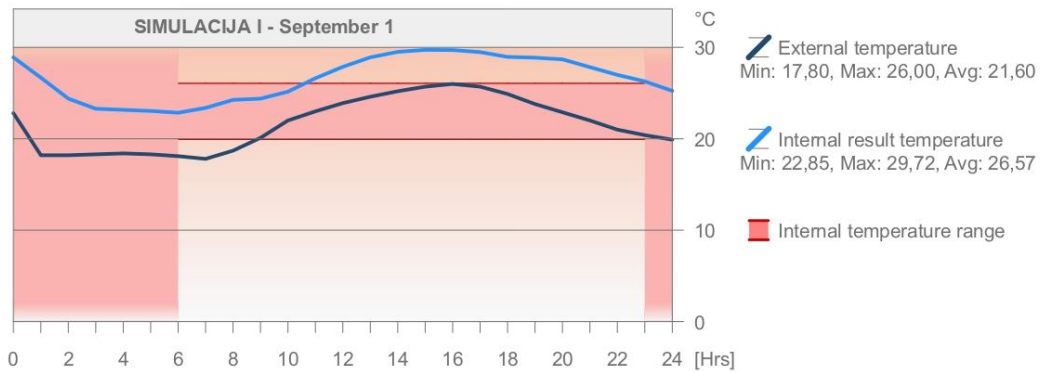
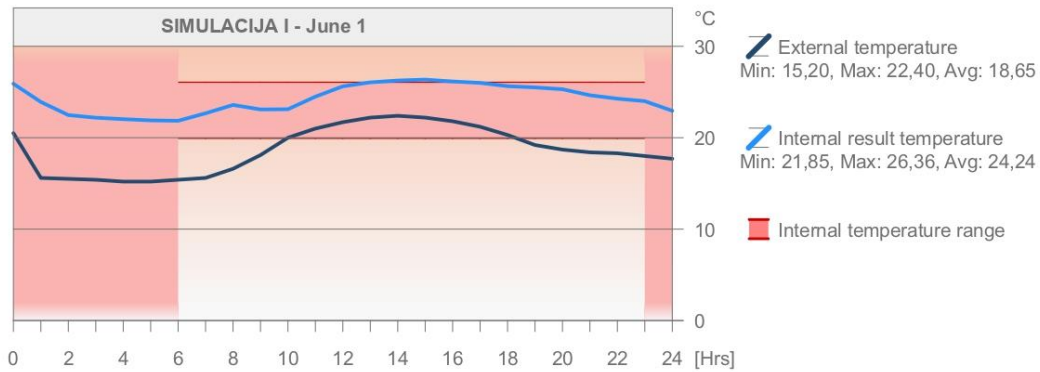
Heating (15:00 Dec. 19):	7,90	kW
Cooling (18:00 Jun. 29):	3,00	kW

SIMULACIJA I Energy Balance



Daily Temperature Profile





HVAC Design Data

Thermal Block	Heating Demand		Cooling Demand		Internal Temperature	
	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
SIMULACIJA I	11804	7.9 15:00 Dec. 19	4862	3.0 18:00 Jun. 29	2.1 06:00 Feb. 08	37.1 14:00 Jul. 25
All Thermal Blocks:	11804	7.9 15:00 Dec. 19	4862	3.0 18:00 Jun. 29		

Number of Used Hours in Year:

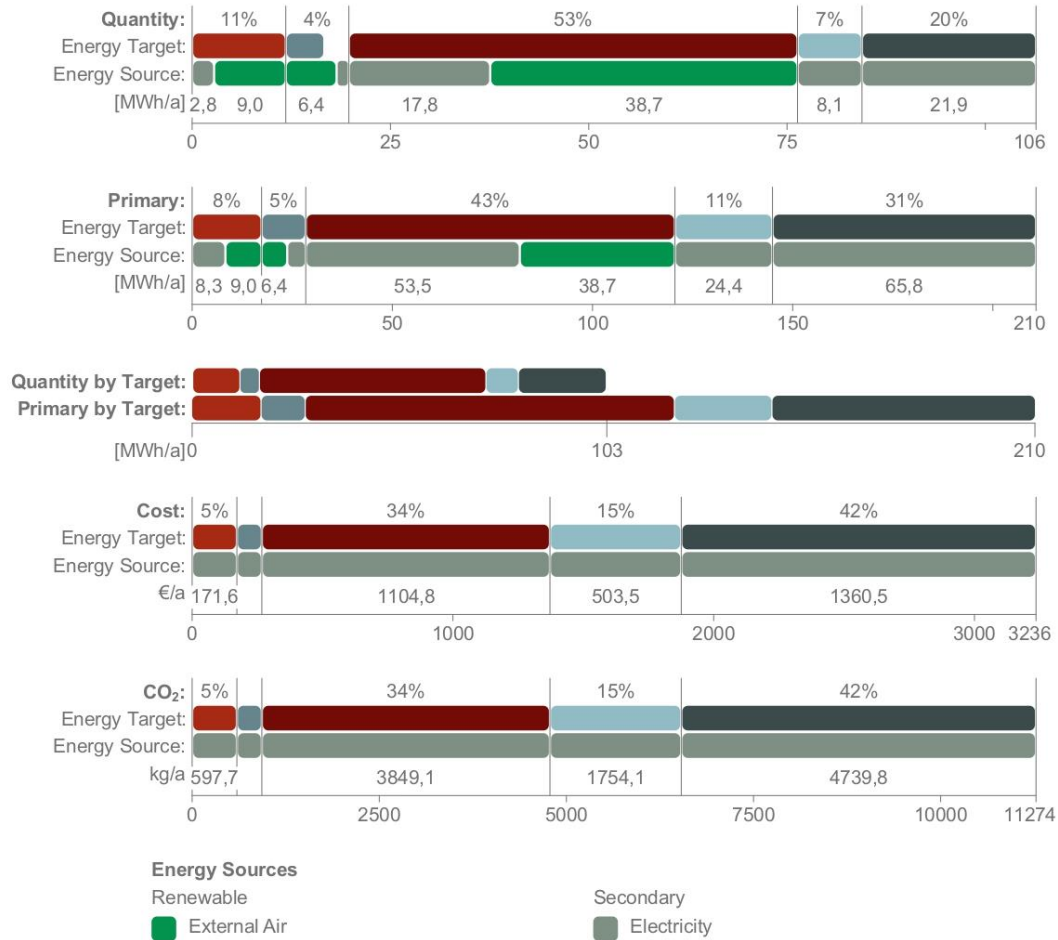
Heating: **2092** hrs
Cooling: **1715** hrs

Unmet Load Hours in Year:

Heating: **1408** hrs
Cooling: **1253** hrs

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	
Heating	11	17	171	597
Cooling	4	11	95	333
Service Hot-Water	56	92	1104	3849
Ventilation Fans	8	24	503	1754
Lighting & Appliances	21	65	1360	4739
Total:	103	210	3236	11274



Environmental Impact

Source Type	Source Name	Primary Energy MWh/a	CO ₂ emission kg/a
Renewable	External Air	54	0
Secondary	Electricity	156	11274
Total:		210	11274

2.Simulacija II – građevina sa vanjskim otvorima – sa dodatnim sjenilima i nadstrešnicom

Dodani parametri:

- *Aluminijska bravarija – $U = 1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ – dvoslojno izo staklo*
- *Kontaktna fasada sa kamenom vunom $d=15 \text{ cm}$ – toplinska provodljivost $0,025 \text{ W/mK}$*
- *HPCL prefabricirana sjenila – nepomični brisoleji*
- *Nadstrešnica*

Grafički prikaz građevine



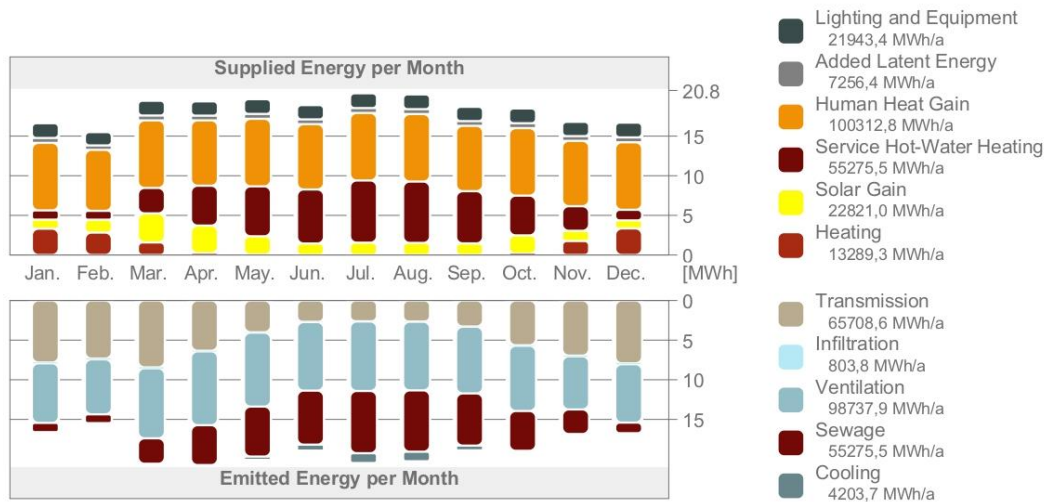
Grafički izvor 14. Prostorski prikaz – Kontaktna fasada sa dodanim zasjenjenjem

Analitički iskaz simulacije

Key Values

General Project Data		Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	SIMULACIJA II	Building Shell Average:	3,22		
City Location:		Floors:	--		
Latitude:	45° 34' 47" N	External:	1,17 - 4,66		
Longitude:	14° 22' 30" E	Underground:	--		
Altitude:	0,00 m	Openings:	2,11 - 3,89		
Climate Data Source:	RIJEKA_CROATIA.epw	Specific Annual Values			
Evaluation Date:	10.7.2023. 17:32	Net Heating Energy:	4,64	kWh/m ² a	
		Net Cooling Energy:	1,47	kWh/m ² a	
		Total Net Energy:	6,11	kWh/m ² a	
		Energy Consumption:	35,92	kWh/m ² a	
		Fuel Consumption:	18,09	kWh/m ² a	
		Primary Energy:	73,04	kWh/m ² a	
		Fuel Cost:	1,12	€/m ² a	
		CO ₂ Emission:	3,91	kg/m ² a	
Building Geometry Data		Degree Days			
Gross Floor Area:	2879,86 m ²	Heating (HDD):	3288,50		
Treated Floor Area:	2862,81 m ²	Cooling (CDD):	1477,68		
External Envelope Area:	313,53 m ²				
Ventilated Volume:	9455,96 m ³				
Glazing Ratio:	42 %				
Building Shell Performance Data					
Infiltration at 50Pa:	0,20 ACH				

Project Energy Balance



Thermal Blocks

Thermal Block	Zones Assigned	Operation Profile	Gross Floor Area m ²	Volume m ³
SIMULACIJA II	44	Mixed use	2879,86	9455,96
Total:	44		2879,86	9455,96

SIMULACIJA II - Key Values

Geometry Data

Gross Floor Area:	2879,86	m ²
Treated Floor Area:	2862,81	m ²
Building Shell Area:	313,53	m ²
Ventilated Volume:	9455,96	m ³
Glazing Ratio:	42	%

Internal Temperature

Min. (06:00 Feb. 08):	1,03	°C
Annual Mean:	20,66	°C
Max. (15:00 Jul. 25):	35,62	°C

Unmet Load Hours

Heating:	1657	hrs/a
Cooling:	1056	hrs/a

Heat Transfer Coefficients

	U value	[W/m ² K]
Floors:	-	
External:	1,17 - 4,66	
Underground:	-	
Openings:	2,11 - 3,89	

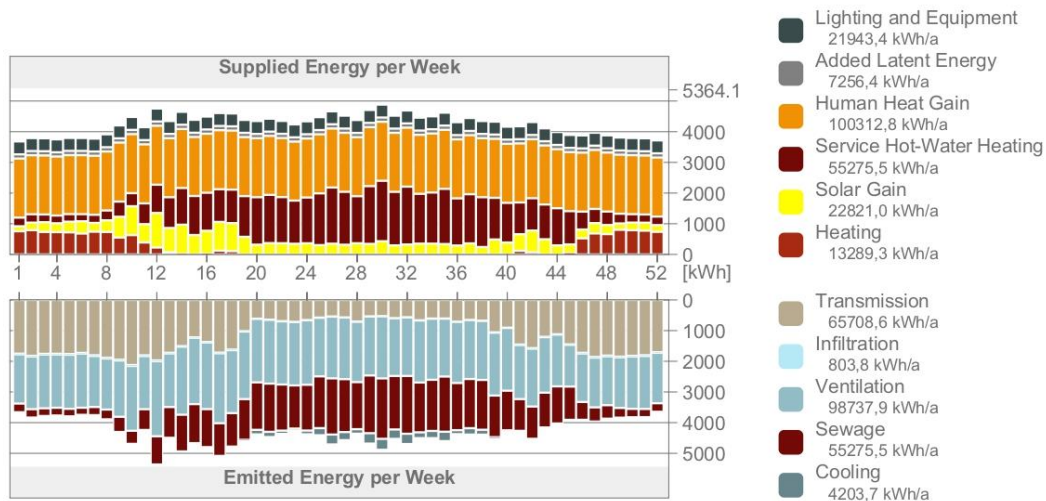
Annual Supplies

Heating:	13289,27	kWh
Cooling:	4203,68	kWh

Peak Loads

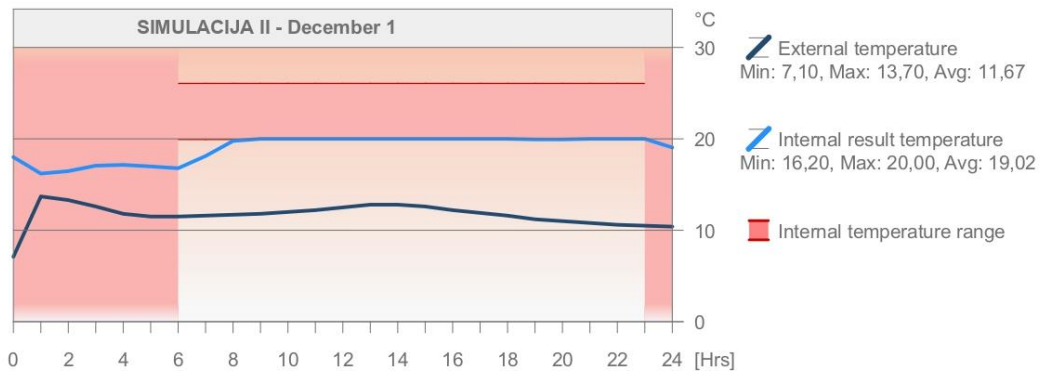
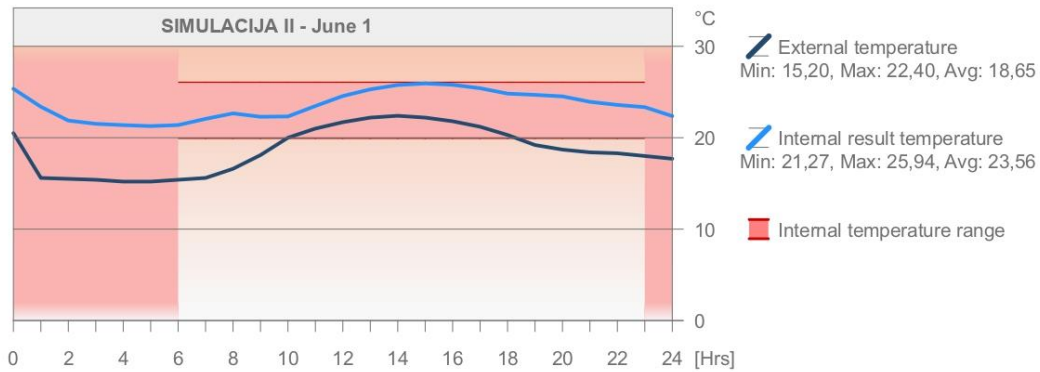
Heating (14:00 Dec. 15):	7,91	kW
Cooling (18:00 Jun. 29):	3,00	kW

SIMULACIJA II Energy Balance



Daily Temperature Profile





HVAC Design Data

Thermal Block	Heating Demand		Cooling Demand		Internal Temperature	
	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
SIMULACIJA II	13289	7.9 14:00 Dec. 15	4203	3.0 18:00 Jun. 29	1.0 06:00 Feb. 08	35.6 15:00 Jul. 25
All Thermal Blocks:	13289	7.9 14:00 Dec. 15	4203	3.0 18:00 Jun. 29		

Number of Used Hours in Year:

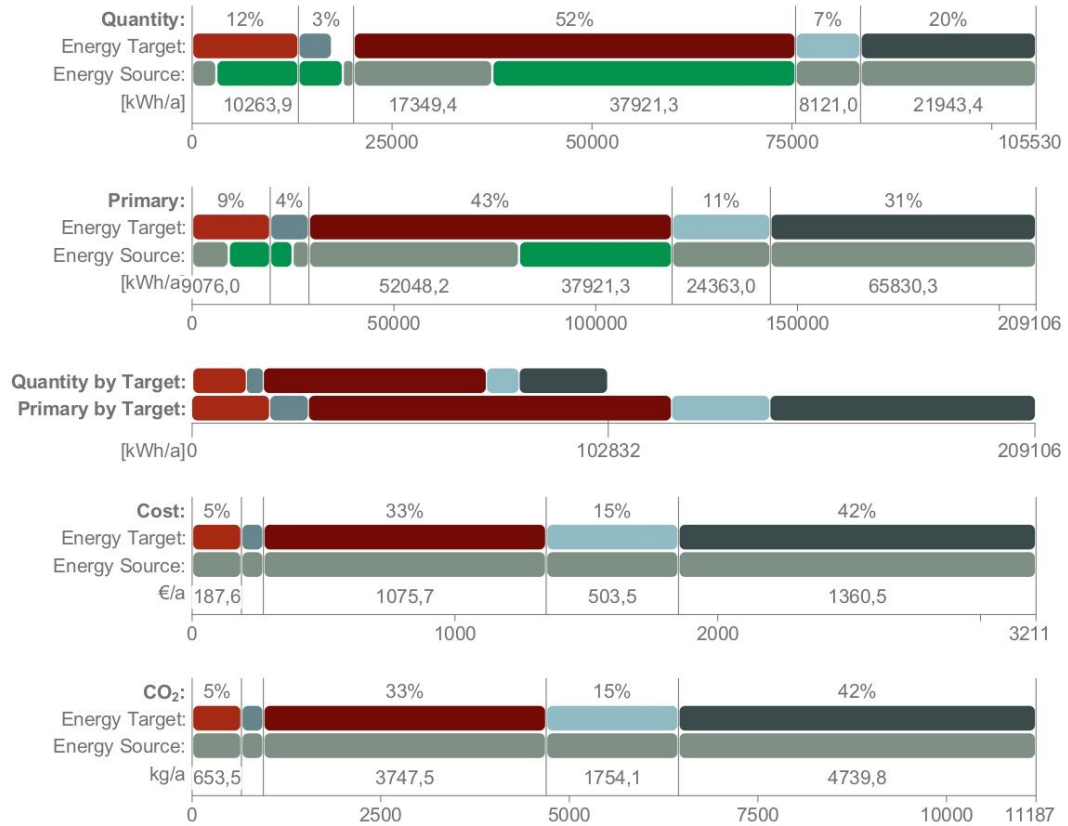
Heating: **2228** hrs
Cooling: **1486** hrs

Unmet Load Hours in Year:

Heating: **1657** hrs
Cooling: **1056** hrs

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity kWh/a	Primary kWh/a	Cost €/a	
Heating	13289	19339	187	653
Cooling	4203	9598	83	291
Service Hot-Water	55275	89974	1075	3748
Ventilation Fans	8121	24363	503	1754
Lighting & Appliances	21943	65830	1360	4739
Total:	102832	209106	3211	11187



Environmental Impact

Source Type	Source Name	Primary Energy kWh/a	CO ₂ emission kg/a
Renewable	External Air	53737	0
Fossil	Natural Gas	5	1
Secondary	Electricity	155363	11186
Total:		209105	11187

4.2.3 Analiza simulacija za ventiliranu fasadu

1.Simulacija III – građevina sa vanjskim otvorima – bez zasjenjenja

Dodani parametri:

- *Aluminijska bravarija – $U = 1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ – dvoslojno izo staklo*
- *Ventilirana fasada sa kamenom vunom $d=15 \text{ cm}$ i završnom kamenom oblogom – toplinska provodljivost $0,025 \text{ W/mK}$*

Grafički prikaz građevine



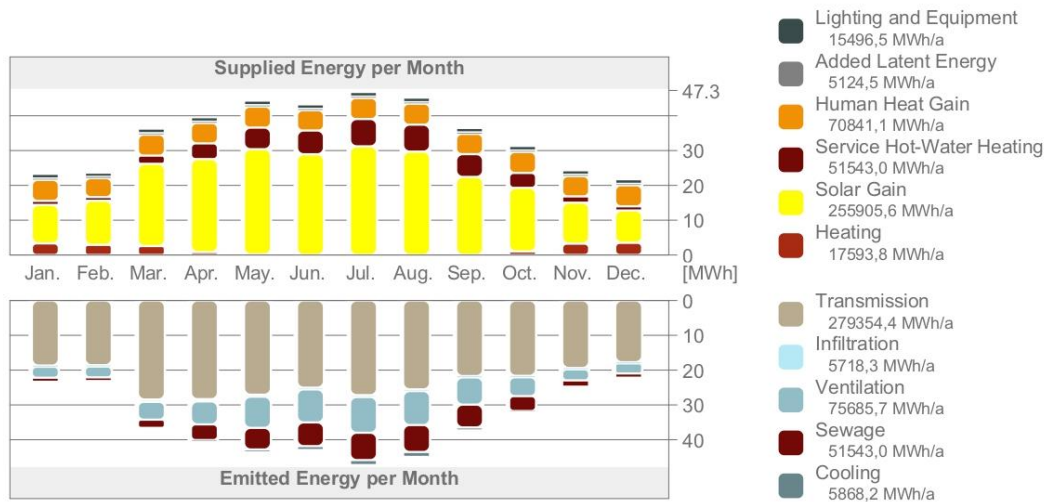
Grafički izvor 15. Prostorski prikaz – Ventilirana fasada bez zasjenjenja

Analitički iskaz simulacije

Key Values

General Project Data		Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	SIMULACIJA III	Building Shell Average:	2,43		
City Location:		Floors:	-		
Latitude:	45° 34' 47" N	External:	0,19 - 5,13		
Longitude:	14° 22' 30" E	Underground:	-		
Altitude:	0,00 m	Openings:	2,11 - 10,13		
Climate Data Source:	RIJEKA_CROATIA.epw	Specific Annual Values			
Evaluation Date:	5.9.2023. 18:58	Net Heating Energy:	8,70	kWh/m ² a	
		Net Cooling Energy:	2,90	kWh/m ² a	
		Total Net Energy:	11,60	kWh/m ² a	
		Energy Consumption:	47,61	kWh/m ² a	
		Fuel Consumption:	21,19	kWh/m ² a	
		Primary Energy:	91,81	kWh/m ² a	
		Fuel Cost:	1,31	€/m ² a	
		CO ₂ Emission:	4,58	kg/m ² a	
Building Geometry Data		Degree Days			
Gross Floor Area:	2176,06 m ²	Heating (HDD):	3288,50		
Treated Floor Area:	2021,72 m ²	Cooling (CDD):	1477,68		
External Envelope Area:	1563,61 m ²				
Ventilated Volume:	6702,80 m ³				
Glazing Ratio:	44 %				
Building Shell Performance Data					
Infiltration at 50Pa:	1,38 ACH				

Project Energy Balance



Thermal Blocks

Thermal Block	Zones Assigned	Operation Profile	Gross Floor Area m ²	Volume m ³
SIMULACIJA III	62	Mixed use programe	2176,06	6702,80
Total:	62		2176,06	6702,80

SIMULACIJA III - Key Values

Geometry Data

Gross Floor Area:	2176,06	m ²
Treated Floor Area:	2021,72	m ²
Building Shell Area:	1563,61	m ²
Ventilated Volume:	6702,80	m ³
Glazing Ratio:	44	%

Internal Temperature

Min. (06:00 Feb. 08):	0,31	°C
Annual Mean:	20,21	°C
Max. (15:00 Jul. 25):	40,69	°C

Unmet Load Hours

Heating:	2343	hrs/a
Cooling:	1672	hrs/a

Heat Transfer Coefficients U value [W/m²K]

Floors:	-
External:	0,19 - 5,13
Underground:	-
Openings:	2,11 - 10,13

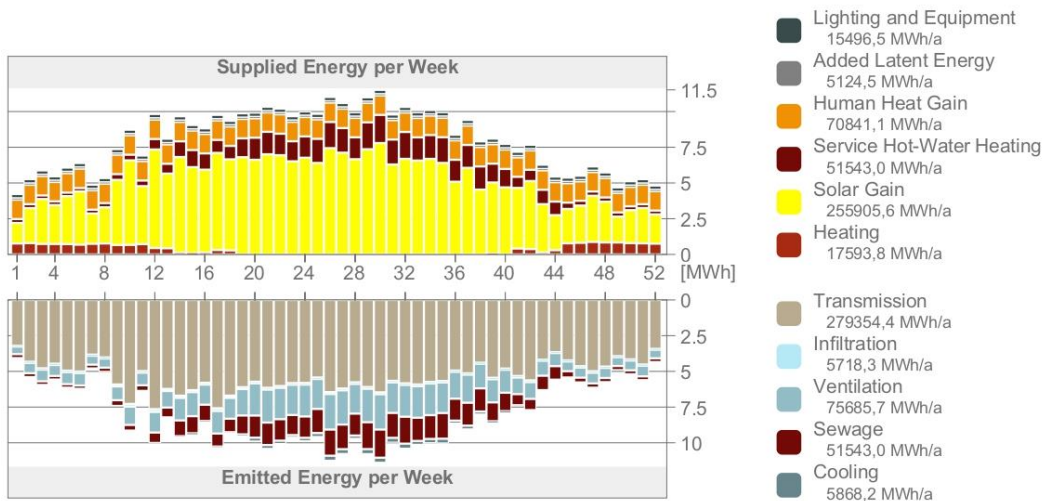
Annual Supplies

Heating:	17593,82	kWh
Cooling:	5868,15	kWh

Peak Loads

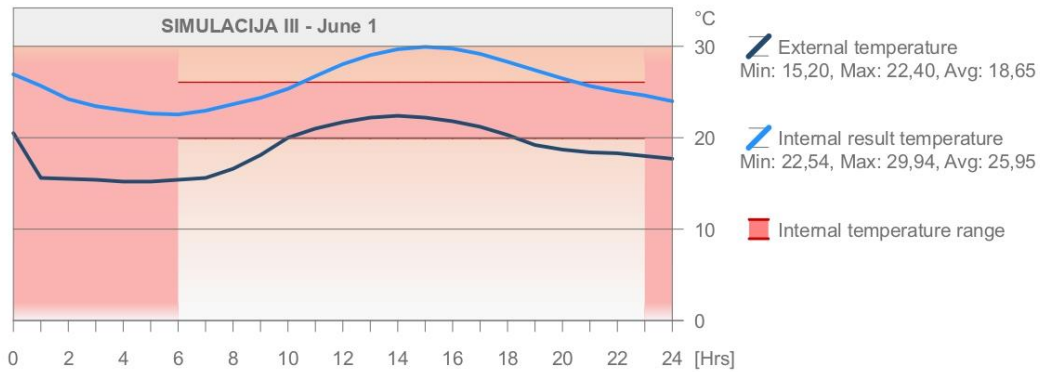
Heating (09:00 Nov. 10):	8,72	kW
Cooling (18:00 Jun. 29):	3,00	kW

SIMULACIJA III Energy Balance



Daily Temperature Profile





HVAC Design Data

Thermal Block	Heating Demand		Cooling Demand		Internal Temperature	
	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
SIMULACIJA III	17593	8.7 09:00 Nov. 10	5868	3.0 18:00 Jun. 29	0.3 06:00 Feb. 08	40.7 15:00 Jul. 25
All Thermal Blocks:	17593	8.7 09:00 Nov. 10	5868	3.0 18:00 Jun. 29		

Number of Used Hours in Year:

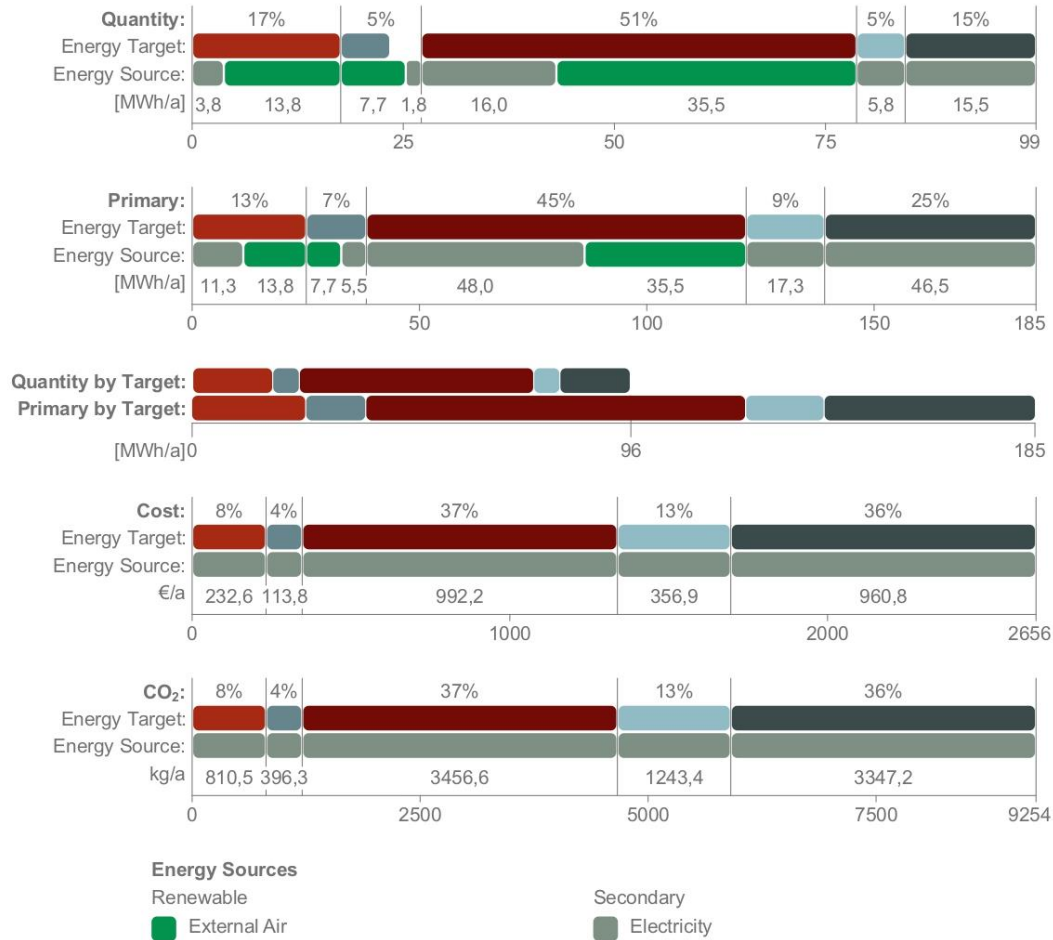
Heating: **2691** hrs
Cooling: **1990** hrs

Unmet Load Hours in Year:

Heating: **2343** hrs
Cooling: **1672** hrs

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	
Heating	17	25	232	810
Cooling	5	13	113	396
Service Hot-Water	51	83	992	3456
Ventilation Fans	5	17	356	1243
Lighting & Appliances	15	46	960	3347
Total:	96	185	2656	9254



Environmental Impact

Source Type	Source Name	Primary Energy MWh/a	CO ₂ emission kg/a
Renewable	External Air	57	0
Secondary	Electricity	128	9254
Total:		185	9254

2.Simulacija IV – građevina sa vanjskim otvorima - sa dodatnim sjenilima i nadstrešnicom

Dodani parametri:

- *Aluminijska bravarija – $U = 1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ – dvoslojno izo staklo*
- *Ventilirana fasada sa kamenom vunom $d=15 \text{ cm}$ i završnom kamenom oblogom – toplinska provodljivost $0,025 \text{ W/Mk}$*
- *HPCL prefabricirana sjenila – nepomični brisoleji*
- *Nadstrešnica*

Grafički prikaz građevine



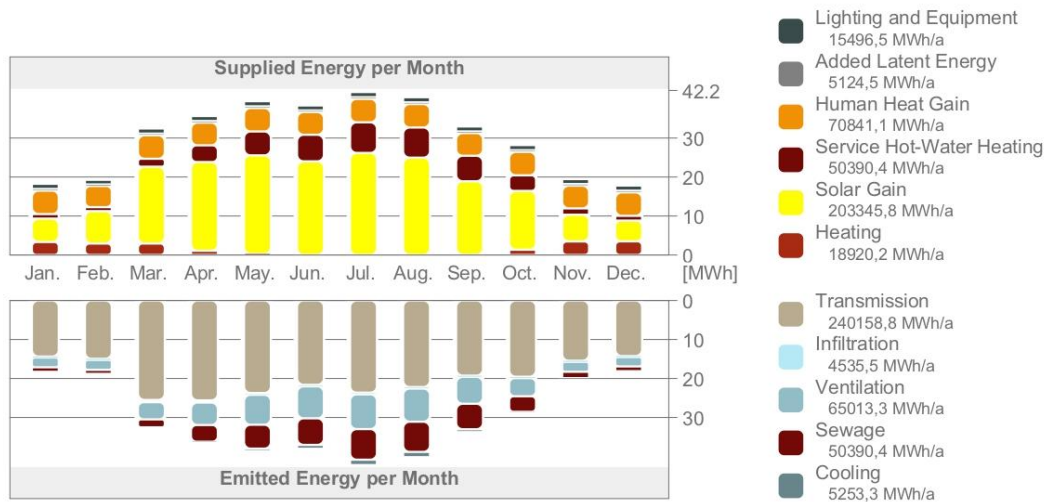
Grafički izvor 16. Prostorski prikaz – Ventilirana fasada sa dodanim zasjenjenjem

Analitički iskaz simulacije

Key Values

General Project Data		Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	SIMULACIJA IV	Building Shell Average:	2,43		
City Location:		Floors:	-		
Latitude:	45° 34' 47" N	External:	0,19 - 5,13		
Longitude:	14° 22' 30" E	Underground:	-		
Altitude:	0,00 m	Openings:	2,11 - 10,13		
Climate Data Source:	RIJEKA_CROATIA.epw	Specific Annual Values			
Evaluation Date:	5.9.2023. 18:53	Net Heating Energy:	9,36	kWh/m ² a	
		Net Cooling Energy:	2,60	kWh/m ² a	
		Total Net Energy:	11,96	kWh/m ² a	
		Energy Consumption:	47,39	kWh/m ² a	
		Fuel Consumption:	21,01	kWh/m ² a	
		Primary Energy:	91,06	kWh/m ² a	
		Fuel Cost:	1,30	€/m ² a	
		CO ₂ Emission:	4,54	kg/m ² a	
Building Geometry Data		Degree Days			
Gross Floor Area:	2176,06 m ²	Heating (HDD):	3288,50		
Treated Floor Area:	2021,72 m ²	Cooling (CDD):	1477,68		
External Envelope Area:	1563,61 m ²				
Ventilated Volume:	6702,80 m ³				
Glazing Ratio:	44 %				
Building Shell Performance Data					
Infiltration at 50Pa:	1,38 ACH				

Project Energy Balance



Thermal Blocks

Thermal Block	Zones Assigned	Operation Profile	Gross Floor Area m ²	Volume m ³
SIMULACIJA IV	62	Mixed use	2176,06	6702,80
Total:	62		2176,06	6702,80

SIMULACIJA IV - Key Values

Geometry Data

Gross Floor Area:	2176,06	m ²
Treated Floor Area:	2021,72	m ²
Building Shell Area:	1563,61	m ²
Ventilated Volume:	6702,80	m ³
Glazing Ratio:	44	%

Internal Temperature

Min. (06:00 Feb. 08):	-0,79	°C
Annual Mean:	19,42	°C
Max. (15:00 Jul. 25):	40,17	°C

Unmet Load Hours

Heating:	2510	hrs/a
Cooling:	1454	hrs/a

Heat Transfer Coefficients

	U value	[W/m ² K]
Floors:	-	
External:	0,19 - 5,13	
Underground:	-	
Openings:	2,11 - 10,13	

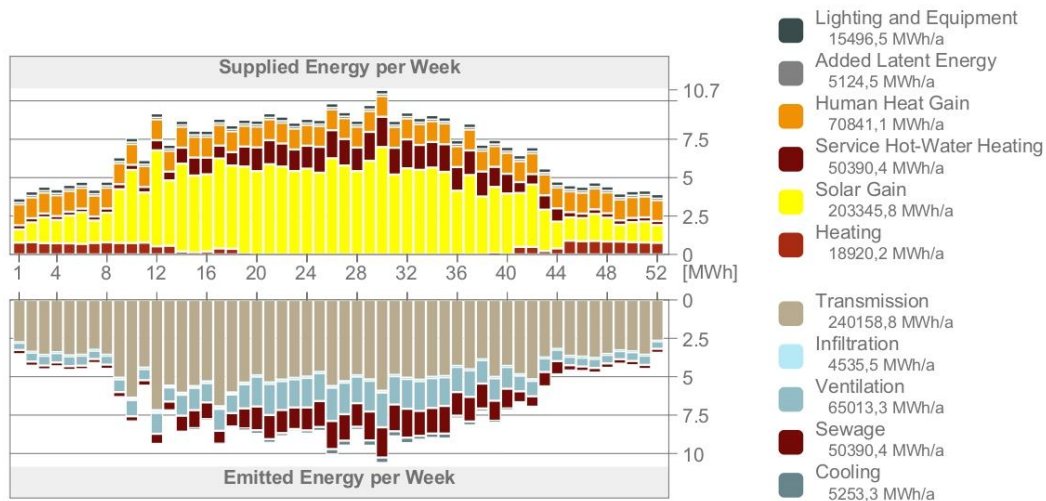
Annual Supplies

Heating:	18920,15	kWh
Cooling:	5253,25	kWh

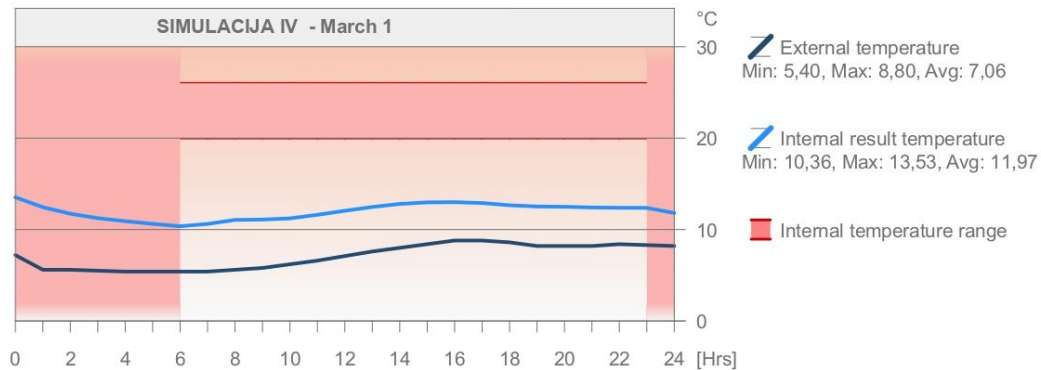
Peak Loads

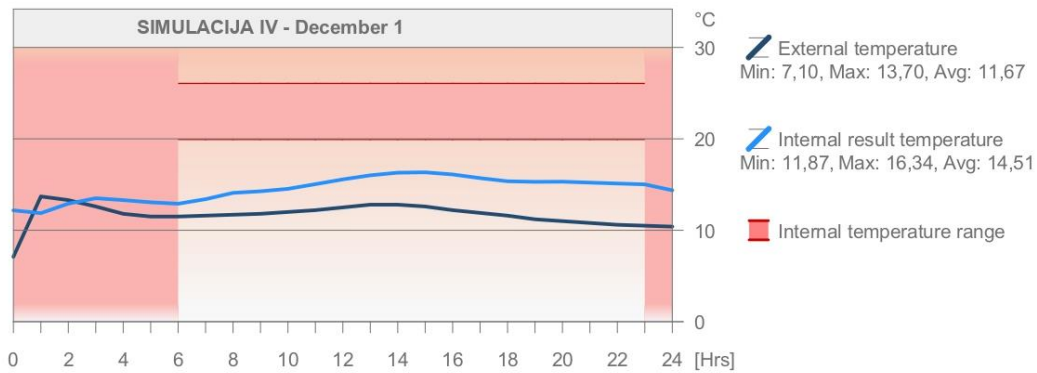
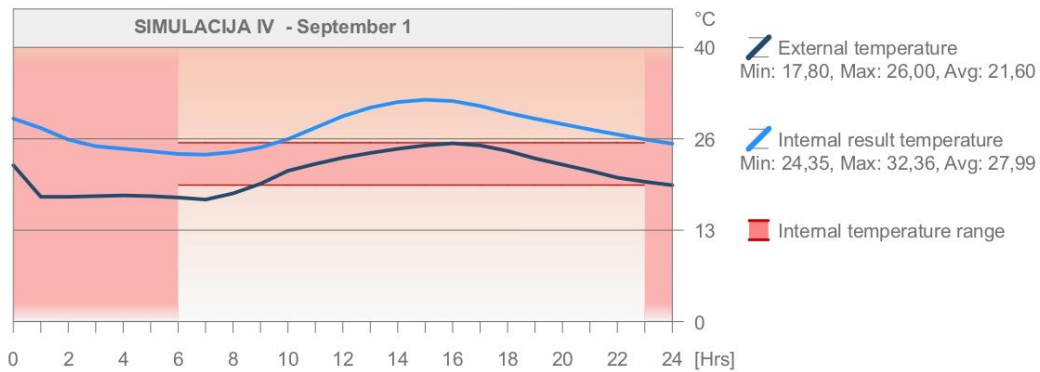
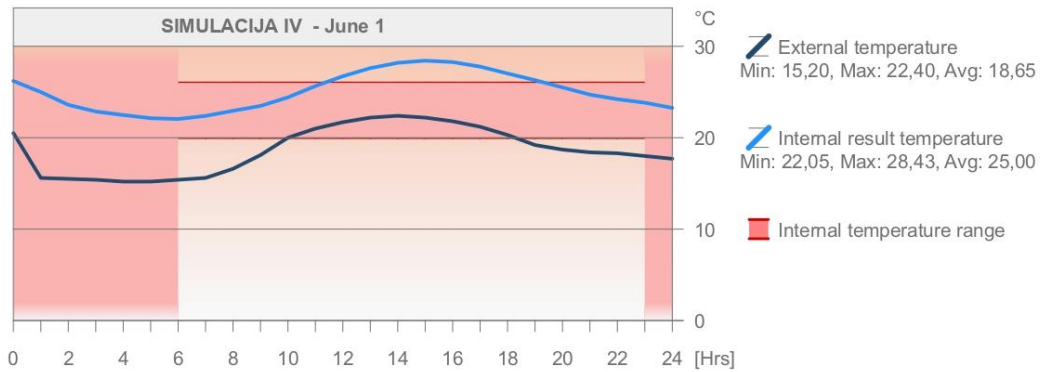
Heating (17:00 Nov. 10):	9,26	kW
Cooling (18:00 Jun. 29):	3,00	kW

SIMULACIJA IV Energy Balance



Daily Temperature Profile





HVAC Design Data

Thermal Block	Heating Demand		Cooling Demand		Internal Temperature	
	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
SIMULACIJA IV	18920	9.3 17:00 Nov. 10	5253	3.0 18:00 Jun. 29	-0.8 06:00 Feb. 08	40.2 15:00 Jul. 25
All Thermal Blocks:	18920	9.3 17:00 Nov. 10	5253	3.0 18:00 Jun. 29		

Number of Used Hours in Year:

Heating: **2866** hrs
Cooling: **1777** hrs

Unmet Load Hours in Year:

Heating: **2510** hrs
Cooling: **1454** hrs

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity kWh/a	Primary kWh/a	Cost €/a	
Heating	18920	26896	247	861
Cooling	5253	11883	102	358
Service Hot-Water	50390	81557	966	3366
Ventilation Fans	5756	17269	356	1243
Lighting & Appliances	15496	46489	960	3347
Total:	95816	184096	2633	9176



Environmental Impact

Source Type	Source Name	Primary Energy kWh/a	CO ₂ emission kg/a
Renewable	External Air	56649	0
Secondary	Electricity	127446	9176
Total:		184095	9176

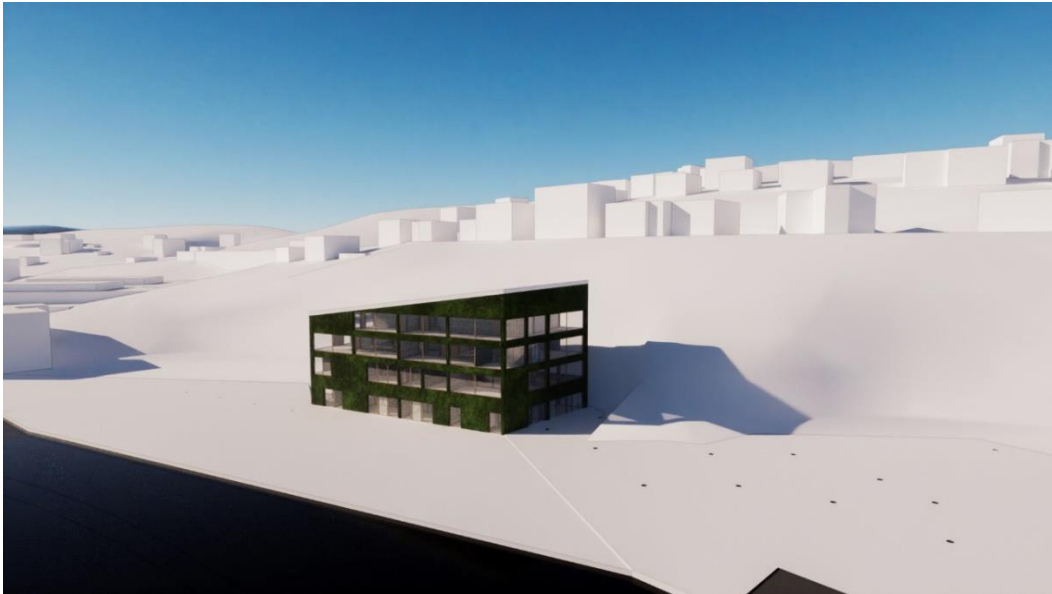
4.2.4 Analiza simulacija za zelenu ventiliranu fasadu

1. Simulacija V – građevina sa vanjskim otvorima – bez zasjenjenja

Dodani parametri:

- *Aluminijska bravarija – $U = 1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ – dvoslojno izo staklo*
- *Zelena ventilirana fasada sa kamenom vunom $d=15 \text{ cm}$ vertikalnim zelenilom – toplinska provodljivost $0,025 \text{ W/mK}$*

Grafički prikaz građevine



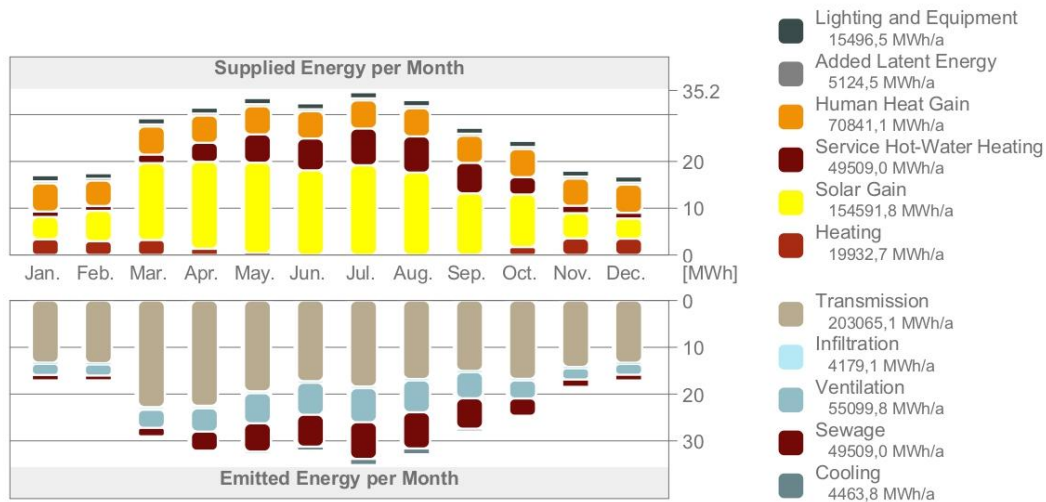
Grafički izvor 17. Prostorski prikaz – Zelena ventilirana fasada bez zasjenjenja

Analitički iskaz simulacije

Key Values

General Project Data		Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m²K]
Project Name:	SIMULACIJA V	Building Shell Average:	2,45		
City Location:		Floors:	–		
Latitude:	45° 34' 47" N	External:	0,19 - 5,13		
Longitude:	14° 22' 30" E	Underground:	–		
Altitude:	0,00 m	Openings:	2,11 - 10,13		
Climate Data Source:	RIJEKA_CROATIA.epw	Specific Annual Values			
Evaluation Date:	5.9.2023. 19:18	Net Heating Energy:	10,21	kWh/m²a	
		Net Cooling Energy:	2,45	kWh/m²a	
		Total Net Energy:	12,31	kWh/m²a	
		Energy Consumption:	47,62	kWh/m²a	
		Fuel Consumption:	20,92	kWh/m²a	
		Primary Energy:	90,54	kWh/m²a	
		Fuel Cost:	1,29	€/m²a	
		CO ₂ Emission:	4,53	kg/m²a	
Building Geometry Data		Degree Days			
Gross Floor Area:	2172,97 m²	Heating (HDD):	3288,50		
Treated Floor Area:	2021,72 m²	Cooling (CDD):	1477,68		
External Envelope Area:	1503,64 m²				
Ventilated Volume:	6702,80 m³				
Glazing Ratio:	20 %				
Building Shell Performance Data					
Infiltration at 50Pa:	1,55 ACH				

Project Energy Balance



Thermal Blocks

Thermal Block	Zones Assigned	Operation Profile	Gross Floor Area m²	Volume m³
SIMULACIJA V	62	Mixed use	2172,97	6702,80
Total:	62		2172,97	6702,80

SIMULACIJA V - Key Values

Geometry Data

Gross Floor Area:	2172,97	m ²
Treated Floor Area:	2021,72	m ²
Building Shell Area:	1503,64	m ²
Ventilated Volume:	6702,80	m ³
Glazing Ratio:	41	%

Internal Temperature

Min. (06:00 Feb. 08):	-0,94	°C
Annual Mean:	18,83	°C
Max. (16:00 Jul. 25):	37,54	°C

Unmet Load Hours

Heating:	2618	hrs/a
Cooling:	1174	hrs/a

Heat Transfer Coefficients

	U value	[W/m ² K]
Floors:	-	
External:	0,19 - 5,13	
Underground:	-	
Openings:	2,11 - 10,13	

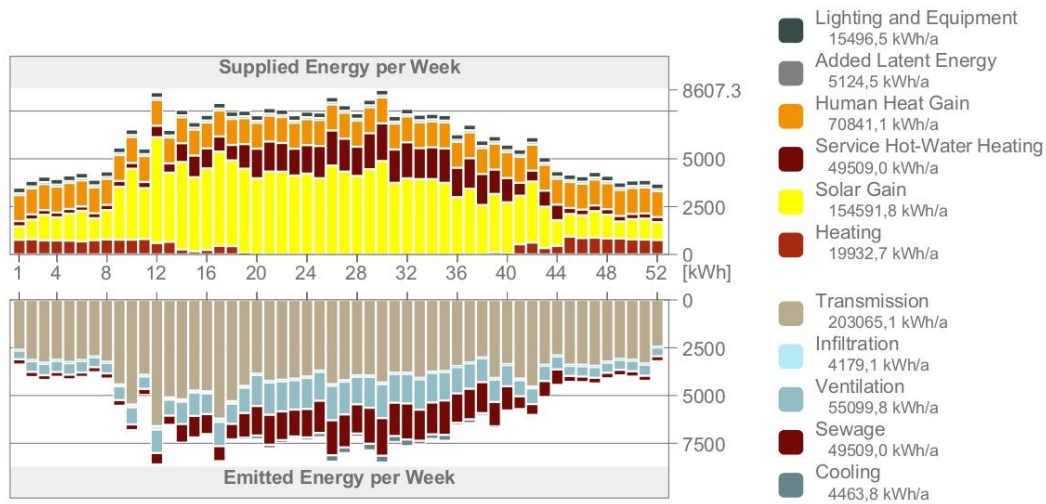
Annual Supplies

Heating:	19932,73	kWh
Cooling:	4463,79	kWh

Peak Loads

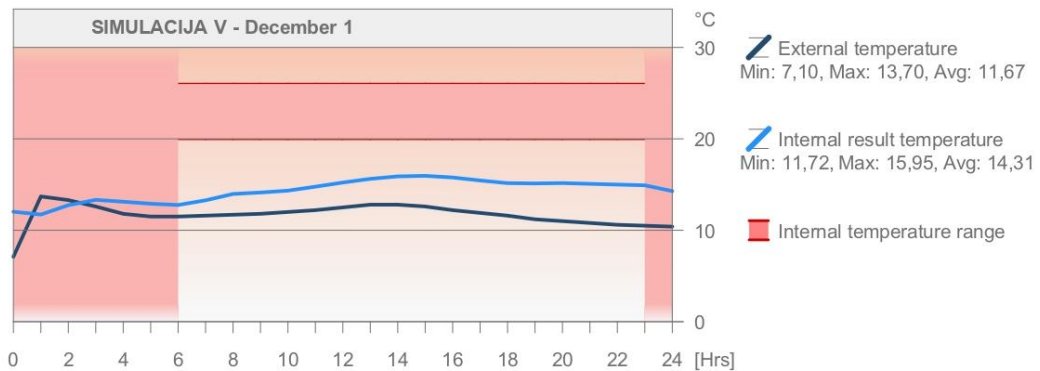
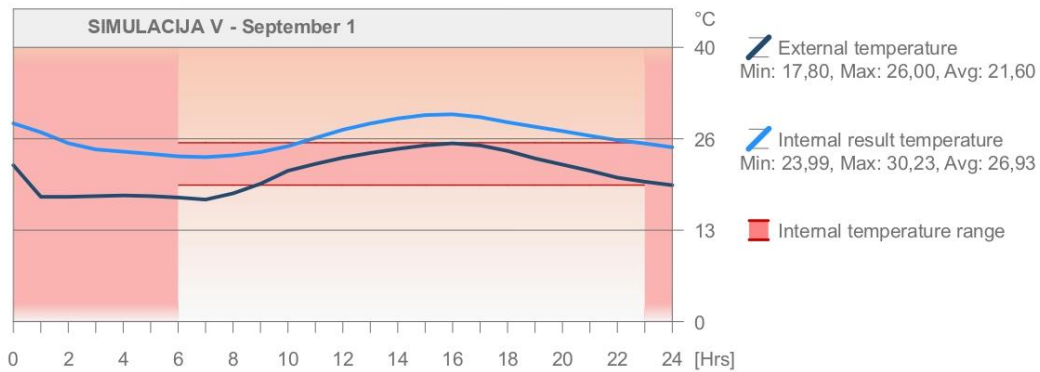
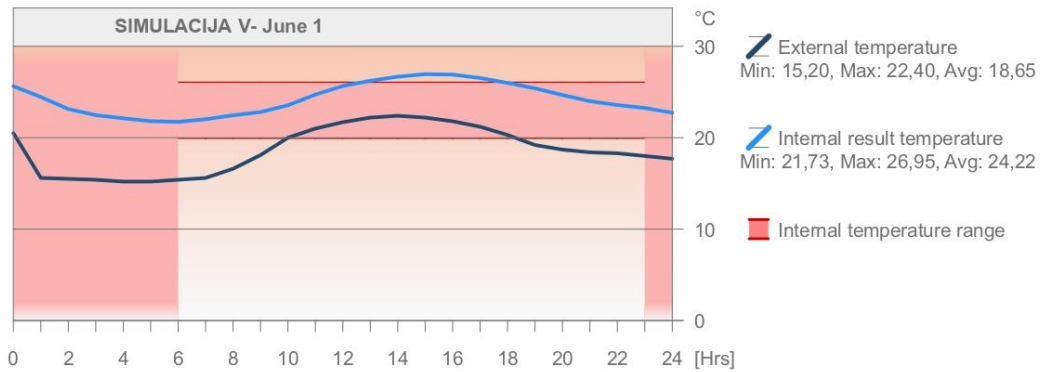
Heating (16:00 Nov. 10):	9,51	kW
Cooling (18:00 Jun. 29):	3,00	kW

SIMULACIJA V Energy Balance



Daily Temperature Profile





HVAC Design Data

Thermal Block	Heating Demand		Cooling Demand		Internal Temperature	
	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
SIMULACIJA V	19932	9.5 16:00 Nov. 10	4463	3.0 18:00 Jun. 29	-0.9 06:00 Feb. 08	37.5 16:00 Jul. 25
All Thermal Blocks:	19932	9.5 16:00 Nov. 10	4463	3.0 18:00 Jun. 29		

Number of Used Hours in Year:

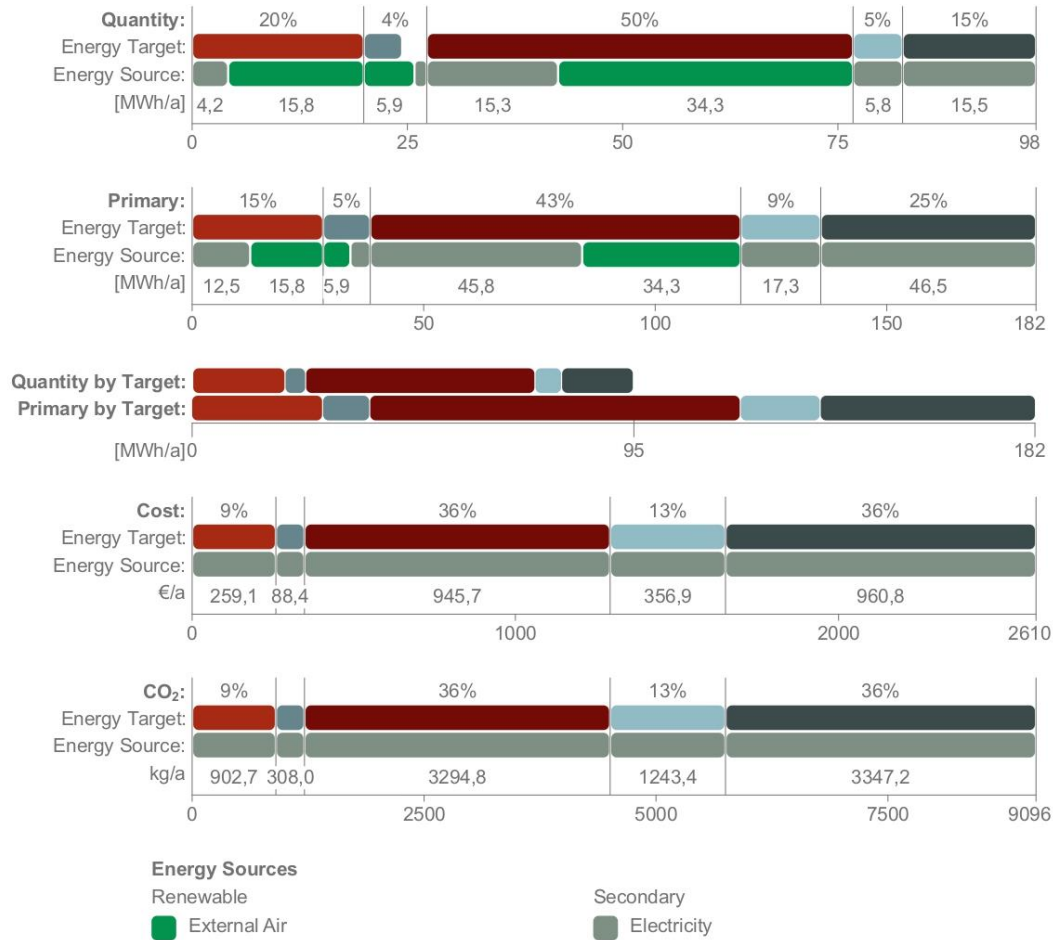
Heating: **3024** hrs
Cooling: **1532** hrs

Unmet Load Hours in Year:

Heating: **2618** hrs
Cooling: **1174** hrs

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	
Heating	19	28	259	902
Cooling	4	10	88	308
Service Hot-Water	49	80	945	3294
Ventilation Fans	5	17	356	1243
Lighting & Appliances	15	46	960	3347
Total:	95	182	2610	9096



Environmental Impact

Source Type	Source Name	Primary Energy MWh/a	CO ₂ emission kg/a
Renewable	External Air	55	0
Secondary	Electricity	126	9096
Total:		181	9096

2.Simulacija VI – građevina sa vanjskim otvorima - sa dodatnim sjenilima i nadstrešnicom

Dodani parametri:

- *Aluminijska bravarija – $U = 1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ – dvoslojno izo staklo*
- *Zelena ventilirana fasada sa kamenom vunom $d=15 \text{ cm}$ vertikalnim zelenilom – toplinska provodljivost $0,025 \text{ W/mK}$*
- *HPCL prefabricirana sjenila – nepomični brisoleji*
- *Nadstrešnica*

Grafički prikaz građevine



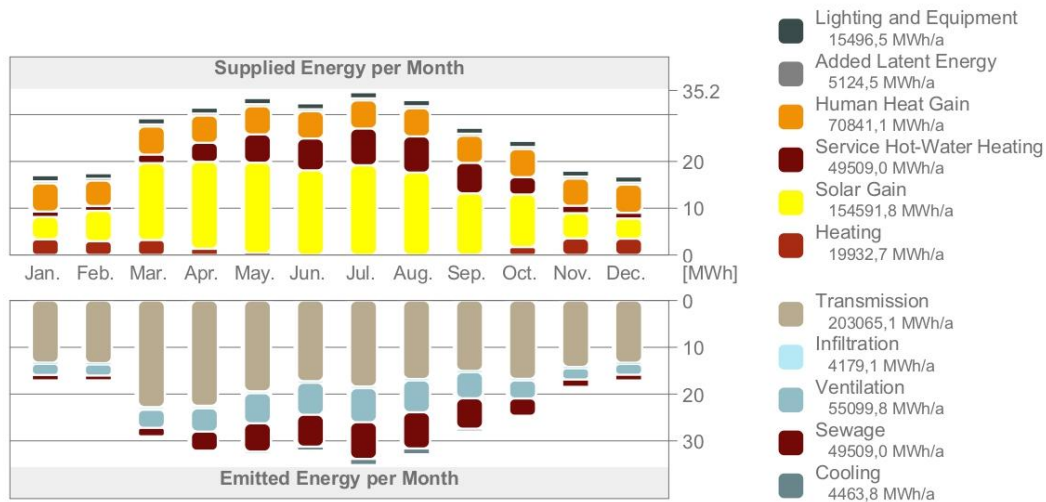
Grafički izvor 18. Prostorski prikaz – Zelena ventilirana fasada sa dodanim zasjenjenjem

Analitički iskaz simulacije

Key Values

General Project Data		Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	SIMULACIJA VI	Building Shell Average:	2,45		
City Location:		Floors:	-		
Latitude:	45° 34' 47" N	External:	0,19 - 5,13		
Longitude:	14° 22' 30" E	Underground:	-		
Altitude:	0,00 m	Openings:	2,11 - 10,13		
Climate Data Source:	RIJEKA_CROATIA.epw	Specific Annual Values			
Evaluation Date:	5.9.2023. 19:18	Net Heating Energy:	9,86	kWh/m ² a	
		Net Cooling Energy:	2,21	kWh/m ² a	
		Total Net Energy:	12,07	kWh/m ² a	
		Energy Consumption:	47,07	kWh/m ² a	
		Fuel Consumption:	20,83	kWh/m ² a	
		Primary Energy:	90,14	kWh/m ² a	
		Fuel Cost:	1,29	€/m ² a	
		CO ₂ Emission:	4,50	kg/m ² a	
Building Geometry Data		Degree Days			
Gross Floor Area:	2172,97 m ²	Heating (HDD):	3288,50		
Treated Floor Area:	2021,72 m ²	Cooling (CDD):	1477,68		
External Envelope Area:	1503,64 m ²				
Ventilated Volume:	6702,80 m ³				
Glazing Ratio:	41 %				
Building Shell Performance Data					
Infiltration at 50Pa:	1,55 ACH				

Project Energy Balance



Thermal Blocks

Thermal Block	Zones Assigned	Operation Profile	Gross Floor Area m ²	Volume m ³
SIMULACIJA VI	62	Mixed use	2172,97	6702,80
Total:	62		2172,97	6702,80

SIMULACIJA VI - Key Values

Geometry Data

Gross Floor Area:	2172,97	m ²
Treated Floor Area:	2021,72	m ²
Building Shell Area:	1503,64	m ²
Ventilated Volume:	6702,80	m ³
Glazing Ratio:	41	%

Internal Temperature

Min. (06:00 Feb. 08):	-0,94	°C
Annual Mean:	18,83	°C
Max. (16:00 Jul. 25):	37,54	°C

Unmet Load Hours

Heating:	2618	hrs/a
Cooling:	1174	hrs/a

Heat Transfer Coefficients

	U value	[W/m ² K]
Floors:	-	
External:	0,19 - 5,13	
Underground:	-	
Openings:	2,11 - 10,13	

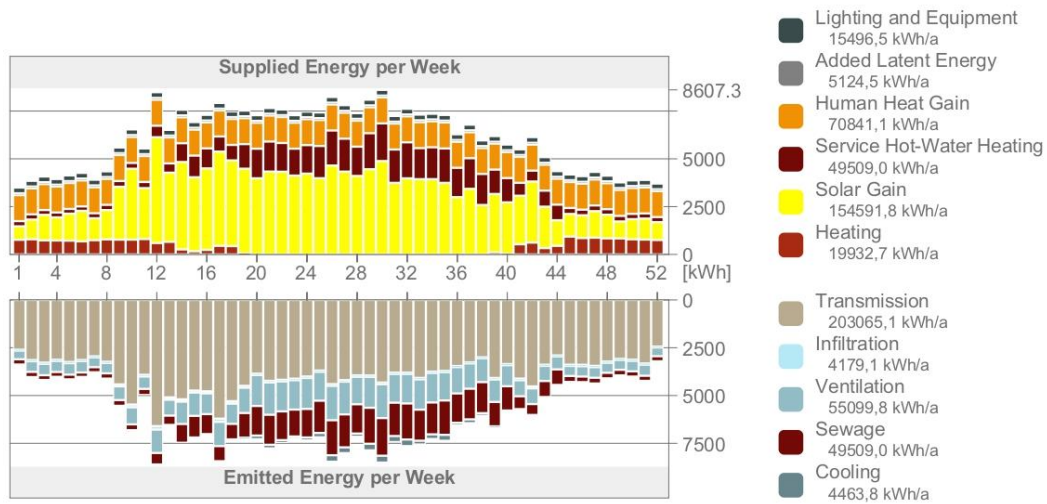
Annual Supplies

Heating:	19932,73	kWh
Cooling:	4463,79	kWh

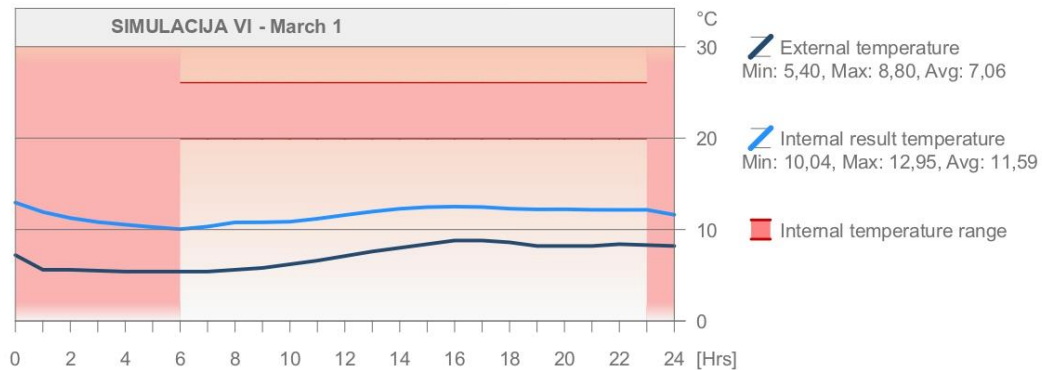
Peak Loads

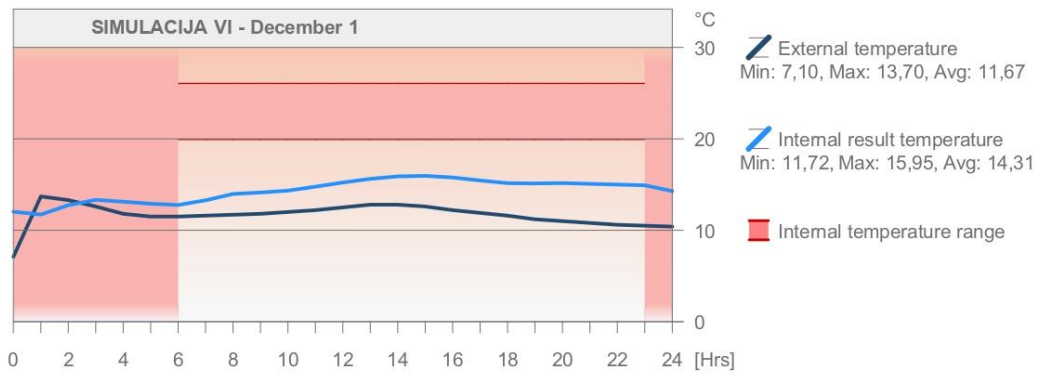
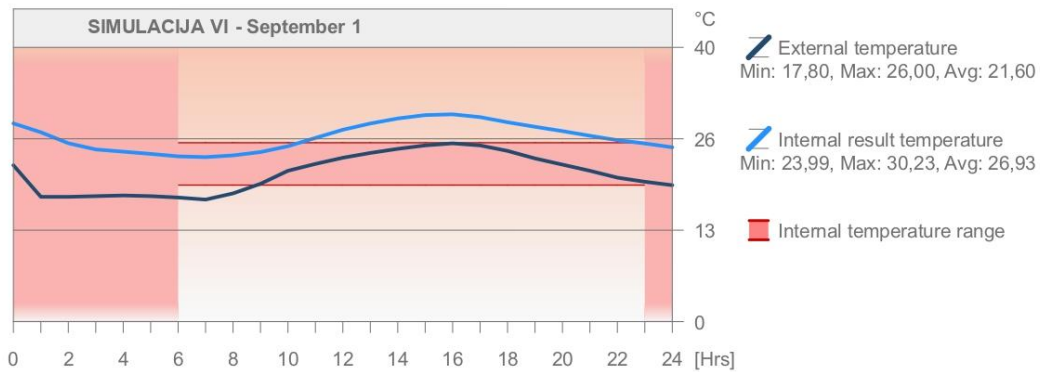
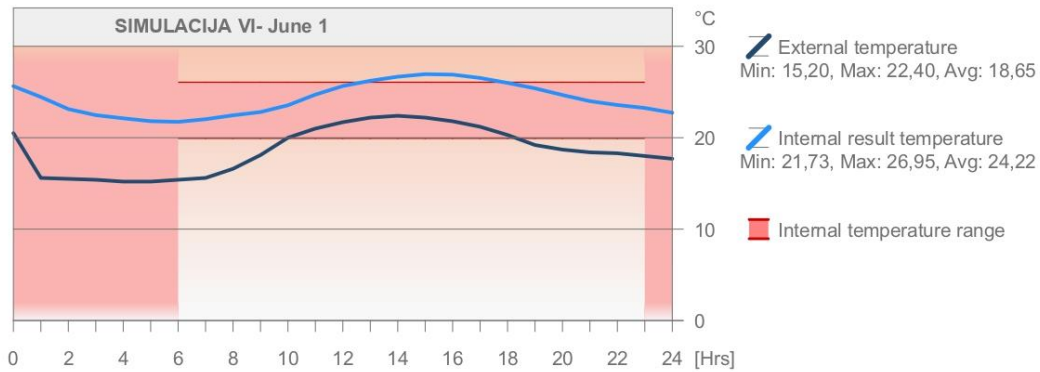
Heating (16:00 Nov. 10):	9,51	kW
Cooling (18:00 Jun. 29):	3,00	kW

SIMULACIJA VI Energy Balance



Daily Temperature Profile





HVAC Design Data

Thermal Block	Heating Demand		Cooling Demand		Internal Temperature	
	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Yearly [kWh]	Hourly Peak [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
SIMULACIJA VI	19932	9.5 16:00 Nov. 10	4463	3.0 18:00 Jun. 29	-0.9 06:00 Feb. 08	37.5 16:00 Jul. 25
All Thermal Blocks:	19932	9.5 16:00 Nov. 10	4463	3.0 18:00 Jun. 29		

Number of Used Hours in Year:

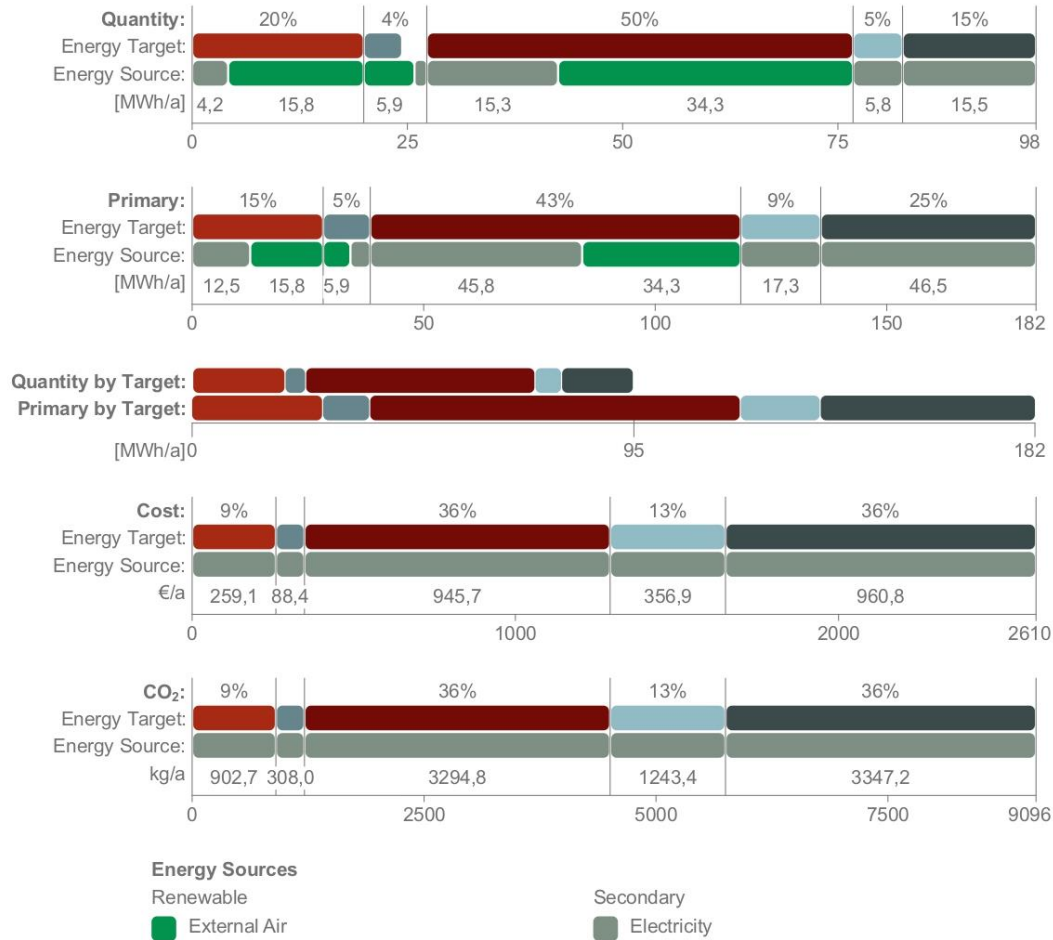
Heating: **3024** hrs
Cooling: **1532** hrs

Unmet Load Hours in Year:

Heating: **2618** hrs
Cooling: **1174** hrs

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	
Heating	19	28	259	902
Cooling	4	10	88	308
Service Hot-Water	49	80	945	3294
Ventilation Fans	5	17	356	1243
Lighting & Appliances	15	46	960	3347
Total:	95	182	2610	9096



Environmental Impact

Source Type	Source Name	Primary Energy MWh/a	CO ₂ emission kg/a
Renewable	External Air	55	0
Secondary	Electricity	126	9096
Total:		181	9096

4.3 Usporedba energetske učinkovitosti

Nakon provedenih simulacija na odabranom modelu točnije građevini sa postavljenim ulaznim parametrima koji se odnose na same vrste fasadnog sustava, meteorološke podatke određene za predmetnu mikrolokaciju i utjecaj zasjenjenja dobili smo relevantne podatke iz analiza o ukupnoj potrošnji energije koja je potrebna za grijanje, hlađenje, ventiliranje same građevine, ali i također koji su utjecaji sunčeve svjetlosti i topline koju možemo iskoristiti za proizvodnju same potrebne energije. Uz same analitičke izračune također relevantni dobiveni podatci se odnose i na ukupni otisak ugljikovog dioksida (CO₂) u atmosferu. Fasadni sustavi koji su obuhvaćeni prethodnim analizama poput kontaktne fasade sa toplinskom izolacijom, ventilirane fasade sa toplinskom izolacijom i zelene ventilirane fasade su uobičajena projektantska rješenja te kao takva nam mogu ponuditi najoptimalnije rezultate pri odabiru najučinkovitijeg energetskeg sustava na određenoj lokaciji. S obzirom na odabranu lokaciju ključni parametri koju su utjecali su vjetar, izloženost sunčevoj energiji te oborinske padaline koje su česta pojava na tom prostoru.

Ukoliko usporedimo sve analitičke iskaze, dolazimo do zaključka da je najviše energetske učinkovita zelena ventilirana fasada, s obzirom da se u sustavu nalazi sloj toplinske izolacije (kamena vuna) od 15 cm te vanjsko ekstenzivno zelenilo ima ulogu završnu obloge fasade. Najmanje učinkoviti sustav je kontaktna (ETICS) fasada koja je najčešće zastupljena na većini građevina iz razloga što je cjenovno najpristupačnija, te ne zahtjeva detaljnije projektiranje sistemskih detalja poput kompleksnijih sustava.

Iz samih analiza je moguće očitati parametre koji ukazuju kako je ETICS sustav fasade također energetske učinkovit, te se iz tih razloga upotrebljava i prilikom rekonstrukcija postojećih građevina kao najjednostavniji i najekonomičniji sustav koji zadovoljava sve energetske zahtjeve u današnje vrijeme.

Sustav zelenih ventiliranih fasada se kao sistemsko rješenje primjenjuje u sve većem broju zbog najvećih ekoloških i energetske zadovoljavajućih parametara te su postale svojevrsni trend prekrivanja građevina zelenilom. Također veliku važnost treba pridodati samom održavanju sustava koje nekada zna biti više zahtjevnije od cijelog održavanja građevine uključujući i instalacijskih sustava. Iako zelene fasade mogu biti estetski veoma privlačan element samog dizajna vanjske ovojnice građevine također je jedan od skupljih sistema. Njegova učestala implementacija zbog ekonomičnosti same izgradnje se upotrebljava samo na određenim dijelovima fasade, te je više u funkciji urbanog jezika i konceptualnog dizajna povezivanja građevine sa okolicom u kojoj se nalazi.

S obzirom na sve prethodno navedene prednosti i nedostatke pojedinih sustava kao najučinkovitije rješenje energetske učinkovitosti i ekonomičnosti sustava možemo zaključiti da ventilirani sistem predstavlja najoptimalniji izbor. Energetske učinkovitost je veoma visoka s obzirom da se implementiraju slojevi sa toplinskom izolacijom (kamena vuna debljine 15 cm). Završnu oblogu je potrebno izabrati prema ekonomskim mogućnostima samoga projekta ali se preporučuje odabir prirodnih materijal poput

kamenih ploča, keramike i slično s obzirom da prirodni materijali imaju veću otpornost na vanjske utjecaje, temperaturne razlike i samim time manji gubitak energije od suvremenih završnih obrada i materijala poput prefabriciranih limenih ploča, kompozitnih ploča i slično.

Prema dobivenim podacima i utjecajima energetske učinkovitosti fasadnih sustava građevine na kojoj se nalazi i dodatni element zasjenjenja poput vanjskih brisoleja ili nadstrešnice dolazimo do zaključka da elementi zasjenjenja pridonose smanjenju potrebne energije za grijanje, hlađenje i ventilaciju ali u ne prevelikim amplitudama. Stoga nije neophodno da se preporučuje ugradnja elemenata s obzirom da su rezultati analiza pokazali da su sustavi kao cjelina dovoljno energetske učinkoviti, ali ukoliko želimo poboljšati ta svojstva možemo postići sa dodatnim vanjskim elementima. Svakako je preporuka da se na građevini predvide elementi zasjenjenja ne samo iz pogleda energetske učinkovitosti već iz samog korištenja prostora koji će imati manje temperature razlike koje omogućuju jednostavniji boravak i korištenje građevina ljudima koji se unutar njih nalaze i kao primarnu zaštitu od sunčeve svjetlosti.

5. Zaključak

Energetska učinkovitost svake građevine je jedan od temeljnih zahtjeva koje moramo ispuniti prilikom projektiranja i samog izvođenja objekata. Učinkovitost točnije njezina efikasnost da sa minimalno potrebne energije za korištenje zadovolji potrebne količine energije u svrhu optimalne razine udobnosti i korištenja prostora. Potrošnja energije ovisi o samom obliku građevine, njezinoj konstrukciji, predviđenim materijalima koji se ugrađuju, energetske sustavima poput grijanja, hlađenja, prozračivanja, električnih uređaja, rasvjete ali i o samim klimatskim uvjetima. Unutar teme završnog rada obrađeni su različiti fasadni sustavi kao sastavni dio arhitektonskog projektiranja sa predviđenim karakteristikama unutarnjih energetske sustava.

Analitički iskazi točnije proračuni su pokazatelji energetske učinkovitosti karakteristične odabrane građevine u svrhu primjene različitih fasadnih sustava. Unutar odabrane metodologije optimalna rješenja se sastoje od kontaktnih sustava (ETICS), ventiliranih fasada sa toplinskom izolacijom i završnom oblogom od prirodnih materijala i zelene ventilirane fasade sa toplinskom izolacijom. Korištena je preporučena toplinska izolacija od kamene vune debljine 15 cm u svim sustavima kako bi rezultati bili jednoznačni. Prilikom usporedbe analitičkih simulacija donesene su preporuke za najoptimalniji fasadni sustav - ventiliranu fasadu sa toplinskom izolacijom i završnom obradom od prirodnih materijala za određeno priobalno područje koji postiže visoku energetske učinkovitost i optimalno ekonomično rješenje.

Uz pravilan odabir fasadnog sustava potrebno je pozornost obratiti i na debljinu potrebne izolacije koja proizlazi iz proračuna fizike zgrade, te na same elemente završnih obrada koji bi trebali biti od prirodnog materijala. Specifičnost same lokacije i utjecaj klimatskih mikro uvjeta se najčešće izostavljaju kod projektiranih rješenja građevina te nekoliko godina nakon izgradnje počinje dolaziti do pojave kondenzacije, deformacije materijala, toplinskih gubitaka, estetskih nedostataka i poremećaja unutarnje mikroklimе i udobnosti prostora. Ukoliko se pravilno odabere fasadni sustav mogu se smanjiti navedeni problemi koji se pojavljuju tijekom korištenja objekta.

IZVORI

LITERATURA:

Knjige i članci:

Smith, J. (2018). *Energy-Efficient Building Design: Strategies and Challenges*. Harvard University Press.

Zhang, L., & Guo, Q. (2020). Thermal Performance Analysis of Different Insulation Materials in Building Envelopes. *Journal of Building Engineering*, 28, 101085.

Li, Y., & Yang, H. (2019). Thermal Regulation Strategies for Building Energy Efficiency. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101582.

Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2019). Energy Use in the Life Cycle of Conventional and Low-Energy Buildings: A Review Article. *Energy and Buildings*, 68, 589-598.

Kamal, A., et al. (2021). Performance Analysis of Ventilated Façade System with Different Air Gaps in Hot Climate Regions. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 12

Kragh, M., et al. (2020). "Ventilated Façade Systems: A Review of Their Advantages, Disadvantages and Recent Developments." *Energy Procedia*, 170, 685-692.

Goia, F., et al. (2019). "Assessment of Energy Performance and Indoor Comfort of Ventilated Façade Systems: A Review." *Energy and Buildings*, 191, 20-34.

Salvalai, G., et al. (2018). "The Role of Ventilated Façades in the Energy Refurbishment of Existing Buildings: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1274-1295.

Al-Homoud, M.S., et al. (2019). "Review on Thermal Performance of Ventilated Facades." *Energy Procedia*, 158, 2884-2891.

Buratti, C., Moretti, E., Belloni, E., & Cotana, F. (2013). Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings. *Building and Environment*, 59, 482-491

Ćehajić, N., *Pasivno korištenje Sunčeve energije u zgradarstvu – Trombov zid*, 2013.

Gökşen, F., Ayçam, I., *Procjena toplinske učinkovitosti neprozirnih ventiliranih fasada za stambene zgrade u vrućim i vlažnim klimatskim područjima*, *Građevinar*, 2023.

Bukarica, V., Dović, D., i dr., Priručnik za energetske savjetnike, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj

Stunja K., Vilenica D., Karač Lj., Prskalo I., Gobo L., Šimunec J., Matanović M., Preglej T.: Smjernice za izradu ETICS sustava, HUPFAS, izdanje IV, ožujak 2016.

Kragh, M., et al. (2020). "Ventilated Façade Systems: A Review of Their Advantages, Disadvantages and Recent Developments." Energy Procedia, 170, 685-692.

brošura Rockwool: Izolacija ventiliranih fasada, rujan 2019

Stanuga, G., Staklo na fasadama, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1993

Internet:

<https://www.fzoeu.hr/hr/energetska-ucinkovitost/1343/>

<https://www.roefix.hr/trendovi-i-rjesenja/novogradnja-toplinsko-izolacijski-sustavi/roefix-sustavi/>

<https://korak.com.hr/korak-040-prosinac-2012-bachl-pir-toplinska-izolacija-za-svaku-namjenu-2/>

<https://www.solarenergygroup.eu/?gclid=EAlaIqObChMI7amGm8OagQMVbJCDBx3L8gvkEAAYAiAAEgLRvD BwE>

<https://www.ekologija.com.hr/zelene-fasade/>

Popis grafičkih izvora:

Grafički izvor 1. Primjer sustava Trombeovog zida (*licenca: CC-BY-NC-SA 2.0*)

Izvor: <https://www.flickr.com/photos/mitopencourseware/3359628993> [posjećeno 20.06.2023]

Grafički izvor 2. Primjer pasivnog sustava na kući (*licenca: CC-BY-SA 3.0*)

Izvor: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Passive_house_scheme_1.svg [posjećeno 20.06.2023]

Grafički izvor 3. Primjer slojeva klasične fasade (*licenca: CC-0- 1.0*)

Izvor: <https://lafconstruction.pt/tag/mercado-imobiliario/> [posjećeno 23.06.2023]

Grafički izvor 4. Primjer građevine sa ventiliranom fasadom i kamenom oblogom

Izvor: privatni arhiv

Grafički izvor 5. Primjer podkonstrukcije ventilirane fasade

Izvor: ROCKWOOL – brošura Rockwool: Izolacija ventiliranih fasada, rujan 2019

Grafički izvor 6. Primjer aluminijske obloge ventilirane fasade

Izvor: RIBA JOURNAL – <https://www.ribaj.com/products> [posjećeno 06.07.2023]

Grafički izvor 7. Primjer Low-E stakla i njegovih karakteristika

Izvor: LUX WINDOWS – <https://www.luxwindows.com/glass-performance/energy-savings/>
[posjećeno 15.07.2023]

Grafički izvor 8. Primjer ostakljenih panela ventilirane fasade

Izvor: ARCHDAILY – <https://www.archdaily.com/tag/hamburg/> [posjećeno 07.07.2023]

Grafički izvor 9. Primjer solarnih panela integriranih u fasadu

Izvor: ARCHDAILY – <https://www.archdaily.com/340616/> [posjećeno 28.07.2023]

Grafički izvor 10. Vertikalno zelenilo na fasadi

Izvor: ARCHITECTURE AND DESIGN –
<https://www.architectureanddesign.com.au/features/list/five-examples-of-vertical-gardens-including-a-prev> [posjećeno 04.08.2023]

Grafički izvor 11. Tlocrt odabrane građevine za izradu simulacija

Izvor: privatni arhiv

Grafički izvor 12. Prostorski prikaz – Ishodišni volumen bez otvora

Izvor: privatni arhiv

Grafički izvor 13. Prostorski prikaz – Kontaktna fasada bez zasjenjenja

Izvor: privatni arhiv

Grafički izvor 14. Prostorski prikaz – Kontaktna fasada sa dodanim zasjenjenjem

Izvor: privatni arhiv

Grafički izvor 15. Prostorski prikaz – Ventilirana fasada bez zasjenjenja

Izvor: privatni arhiv

Grafički izvor 16. Prostorski prikaz – Ventilirana fasada sa dodanim zasjenjenjem

Izvor: privatni arhiv

Grafički izvor 17. Prostorski prikaz – Zelena ventilirana fasada bez zasjenjenja

Izvor: privatni arhiv

Grafički izvor 18. Prostorski prikaz – Zelena ventilirana fasada sa dodanim zasjenjenjem

Izvor: privatni arhiv