

Usporedba karakteristika ventiliranih i kompaktnih pročelja

Jakopčić, Nina

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:237:764313>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-02**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Nina Jakopčić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

Građevinarstvo

ZAVRŠNI RAD

**USPOREDBA KARAKTERISTIKA VENTILIRANIH I
KOMPAKTNIH PROČELJA**

Mentor:

Izv.prof.art.dr.sc.Silvio Bašić

Student:

Nina Jakopčić

Zagreb, 2023



TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta: **Nina Jakopčić**

JMBAG: **0082063963**

Završni ispit iz predmeta: **Visokogradnje**

Naslov teme
završnog ispita:

HR	Usporedba karakteristika ventiliranih i kompaktnih pročelja
ENG	Comparison of the characteristics of ventilated and compact facades

Opis teme završnog ispita:

Dekonstrukcija ovojnice zgrada na njene sastavne dijelove i ciljano značenje svakoga sloja u ukupnim karakteristikama zgrade, uz tehnološke pomake i mogućnosti koje su pri tome nastale, doveli su do nastanka ventiliranih pročelja. Ova vrsta pročelja danas su gotovo nezaobilazan dio svake zahtjevnije građevine, kako zbog iznimnih karakteristika, tako i oblikovnih mogućnosti koje pružaju. U ovom radu će se istražiti će se i usporediti svojstva (karakteristike) ventiliranih i kompaktnih pročelja zgrada te materijali (suvremeni i tradicionalni) koji se pri tome koriste. Istraživanje će se potkrijepiti i primjerima detalja izvedenih zgrada.

Datum: **14.04.2023.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor: **izv.prof.art.dr.sc. Silvio Bašić**

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

SAŽETAK

Nedavno je podizanje ekološke svijesti promijenilo pristup dizajnu ovojnice zgrade: ona više nije samo pasivna komponenta koja odvaja unutarnje okruženje od vanjskog, nego je i dinamički filter koji aktivno sudjeluje u interakciji s unutarnjim i vanjskim klimatskim čimbenicima. Ventilirane fasade mogu biti energetska učinkovita alternativa standardnim fasadama, odnosno vanjskom toplinsko izolacijskom kompozitnom sustavu (ETICS) kojeg još možemo pronaći i pod nazivom kompaktna fasada. U ovom radu će se istražiti i usporediti svojstva (karakteristike) ventiliranih i kompaktnih pročelja zgrada te materijali koji se pri tome koriste.

Ključne riječi: ekološka svijest, ventilirane fasade, kompaktna fasade, toplinska izolacija

SUMMARY

Recently, raising environmental awareness has changed the approach to the design of the building envelope: it is no longer just a passive component that separates the internal environment from the external, but is also a dynamic filter that actively participates in the interaction with internal and external climatic factors. Ventilated facades can be an energy-efficient alternative to standard facades, i.e. external thermal insulation composite system (ETICS), which can also be found under the name compact facade. This paper will investigate and compare the properties (characteristics) of ventilated and compact facades of buildings and the materials used.

Key words: environmental awareness, ventilated facades, compact facades, thermal insulation

SADRŽAJ

1.UVOD	1
2.KOMPAKTNE FASADE I FASADNI SUSTAVI	2
2.1. Povijesne kompaktne fasade.....	2
2.2. Toplinsko izolacijski fasadni sustavi.....	3
2.2.1. ETICS sustavi.....	5
2.2.2. Prednosti ETICS sustava.....	8
2.2.3. Greške pri izvođenju ETICS sustava.....	9
3. VENTILIRANE FASADE	12
3.1. Princip rada ventilirane fasade.....	12
3.2. Konstruktivni elementi ventilirane fasade.....	13
3.2.1. Vanjski (nosivi) zid.....	14
3.2.2. Podkonstrukcija.....	15
3.2.3. Toplinska izolacija.....	16
3.2.4. Prozračna folija.....	16
3.2.5. Prostor za ventilaciju.....	16
3.2.6. Vanjski završni sloj.....	17
3.3. Postupak ugradnje.....	18
3.3.1. Spojni materijali.....	19
3.3.2. Sredstva za učvršćivanje.....	20
3.4. Svojstva ventilirane fasade.....	21
3.4.1. Izolacija.....	21
3.4.2. Zaštita od kiše.....	22
3.4.3. Zaštita od vlage i kondenzacije vodene pare	22
3.4.4. Protupožarna zaštita.....	23
3.4.5. Zaštita od buke.....	23
3.4.6. Zaštita od udara munje.....	23
3.4.7. Suha montaža.....	23
3.4.8. Trajnost i održavanje.....	24
3.4.9. Ekologija i ekonomski aspekti.....	24
3.5. Problemi s ventiliranim fasadama.....	25

4. NUMERIČKA USPOREDBA TOPLINSKOG PONAŠANJA IZMEĐU STANDARDNIH I VENTILIRANIH FASADA.....	27
4.1. Stvaranje numeričkog modela i izrada pretpostavki za simulaciju	28
4.1.1. Tehnološke i materijalne pretpostavke numeričkog modela.....	28
4.1.2. Klimatske pretpostavke numeričkog modela.....	30
4.1.3. Numerički model.....	30
4.2. Rezultati numeričke simulacije.....	31
4.3. Zaključak numeričke simulacije.....	34
5. ZAKLJUČAK.....	35
6. LITERATURA.....	36

1. UVOD

Fasada ili vanjska ovojnica na građevini je vidljivi vanjski dio građevine. Riječ fasada potječe iz latinskog izraza *facies* što znači izgled. Ovojnica zgrade djeluje kao filter koji poželjne utjecaje propušta u unutrašnjost, a nepoželjne odbija ili mijenja. Također štiti ostale sustave zgrade (nosivu konstrukciju, instalacije, interijer, itd.). Vidljivi dijelovi ovojnice (pročelja) objedinjuju dvije suprotne značajke zgrade – estetske i funkcionalne. Gledano kroz povijest, fasade su u prvom planu imale isključivo estetski zadatak, dok se s razvojem društva mijenjaju funkcionalni zahtjevi. Danas one sudjeluju u ispunjavanju nekih od temeljnih zahtjeva za građevine: pružaju mehaničku otpornost i stabilnost, zaštitu od požara, zaštitu od buke, sigurnost u korištenju, uštedu energije i toplinsku zaštitu te zdravlje i zaštitu okoliša. U svrhu postizanja što boljeg energetske učinka odabire se najoptimalniji tip fasade i toplinska izolacija.

Prema vrsti, razlikujemo fasade od cigle ili „klinkerica“, betona, drveta, kamena i žbuke. Koriste se i razni moderni materijali poput lima, betonskih prefabrikata tipa “edil leca”, deko kamena, keramike. Ipak, pri odabiru fasadne obloge najvažnije je da ispunjava temeljni zahtjev, a to je toplinska izolacija. Što se tiče vrste izolacije, izbor završnog sloja ovisi o materijalu. Prema toj podjeli razlikujemo akrilne žbuke, silikatne žbuke, silikonske žbuke, silikonsko-silikatne i mineralne žbuke.

Najvažnija, osnova podjela fasada je na kompaktne fasade i ventilirane fasade. Kod kompaktnih fasada nema ventiliranog zraka između objekta i fasadne obloge. Na toplinsku izolaciju obično dolazi ljepilo u 2 sloja s armaturnom mrežom između njih te impregnacijski premaz i završna žbuka. Ova vrsta fasade najzastupljenija je kod obiteljskih kuća i manjih stambenih objekata jer je jednostavnija, jeftinija za ugradnju od ventiliranog sustava fasade i ne zahtijeva posebno održavanje. Kod ventiliranog sustava fasade javlja se zračni ventilirani sloj između toplinske izolacije i fasadne obloge. To je vrlo povoljan oblik fasade koji pruža zaštitu od nepovoljnih vremenskih uvjeta. Između ostalih prednosti, ventilirane fasade pomažu u sprečavanju: oštećenja vodom, nastanka plijesni i strukturnih oštećenja. One su zbog visoke kvalitete, estetskih mogućnosti i brojnih prednosti popularne među arhitektima i izvođačima.

U daljnjem tekstu detaljnije će se obraditi kompaktna i ventilirana pročelja.

2. KOMPAKTNE FASADE I FASADNI SUSTAVI

2.1. Povijesne kompaktne fasade

Klasične fasade, odnosno vapneno-cementne fasade izvode se vapneno cementnom žbukom. (slika 1.) Ovakva fasada nema funkciju toplinske izolacije, nego je njena funkcija isključivo zaštita zidova od vanjskih čimbenika i atmosferilija te estetska funkcija. [1]



Slika 1. Vapneno – cementna žbuka

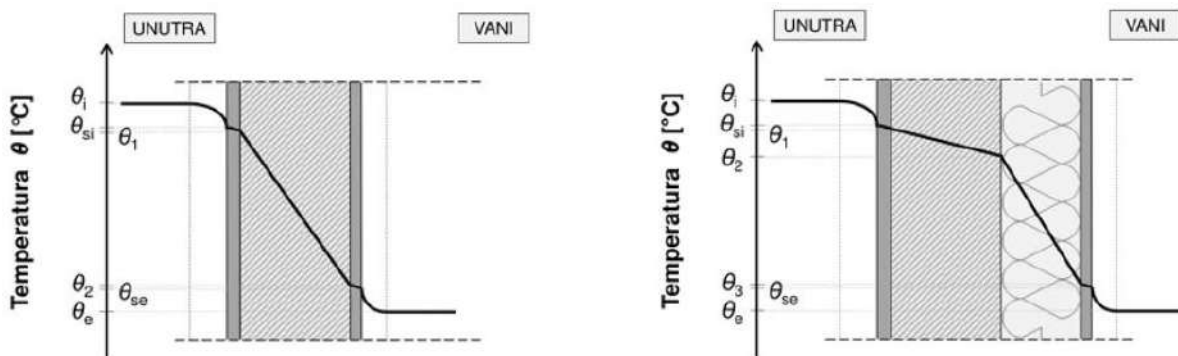
Postupak izrade ove fasade uključuje: cementni špric, postavljanje kutnih vodilica, rabciranje na određenim mjestima, temeljnu grubu žbuku debljine 2-3 cm, grundiranje te na kraju još jedan završni sloj žbuke.

Iako je ovaj tip fasade u startu jeftiniji u odnosu na druge tipove fasada, fasadni sustavi s toplinskom izolacijom su dugoročno isplativiji jer osiguravaju uštedu na troškovima grijanja i hlađenja objekta. Postavljanjem toplinske izolacije na fasadi postiže se kvalitetnija zaštita građevine od vanjskih utjecaja i poboljšava se njena energetska učinkovitost. U prošlosti je ovo bio jako čest i skoro jedini način izrade fasada, međutim zbog nedostatka toplinske izolacije u današnje vrijeme se gotovo i ne primjenjuje. [1,2]

2.2. Toplinsko izolacijski fasadni sustavi

Jedan od preduvjeta za projektiranje i izvođenje energetski učinkovitih zgrada je dobro poznavanje toplinskih svojstava građevinskih materijala. Toplinska izolacija smanjuje toplinske gubitke zimi i utječe na uštedu grijanja, dok ljeti smanjuje pregrijavanje prostora, te štiti nosivu konstrukciju od vanjskih uvjeta i jakih temperaturnih naprezanja. Toplinski gubici kroz građevinski element ovise o sastavu elementa, orijentaciji i koeficijentu toplinske vodljivosti. Što je koeficijent prolaska topline manji, to je toplinska zaštita zgrade bolja.

Položaj toplinske izolacije najpovoljniji je s vanjske strane u odnosu na grijani prostor. Na kakvoću toplinske izolacije zidova utječe debljina izolacijskog sloja, te provodljivost materijala λ (W/mK). Većina uobičajenih materijala za toplinsku izolaciju ima toplinsku provodljivost $\lambda = 0,030-0,045$ W/mK. Što je vrijednost λ manja, to toplinska izolacija ima bolja svojstva.



Slika 2. Prolaz topline kroz zid bez toplinske izolacije i s toplinskom izolacijom

U svrhu termoizolacije najčešće se koristi ekspanzirani polistiren EPS (stiropor) i kamena vuna. EPS ima znatno slabija protupožarna svojstva od kamene vune, te nije otporan na temperature više od 80°C (slika 3). Zbog toga što je jeftiniji, EPS je rašireniji u privatnoj upotrebi izolacije obiteljskih kuća, dok je kamena vuna također zastupljena u izolaciji privatnih kuća, ali znatno više u izolaciji stambenih zgrada i drugih javnih objekata.



Slika 3. Ekspandirani polistiren EPS (stiropor)

Uz njih se još javljaju i ekstrudirani polistiren XPS (stirodur) , grafitni stiropor, poliuretanska pjena i izolacije koje predstavljaju rješenje za održivost jer dolaze iz prirodnih materijala: pluto, celuloza, drvena vuna, slama. [3]



Slika 4. Celuloza



Slika 5. Paneli od slame



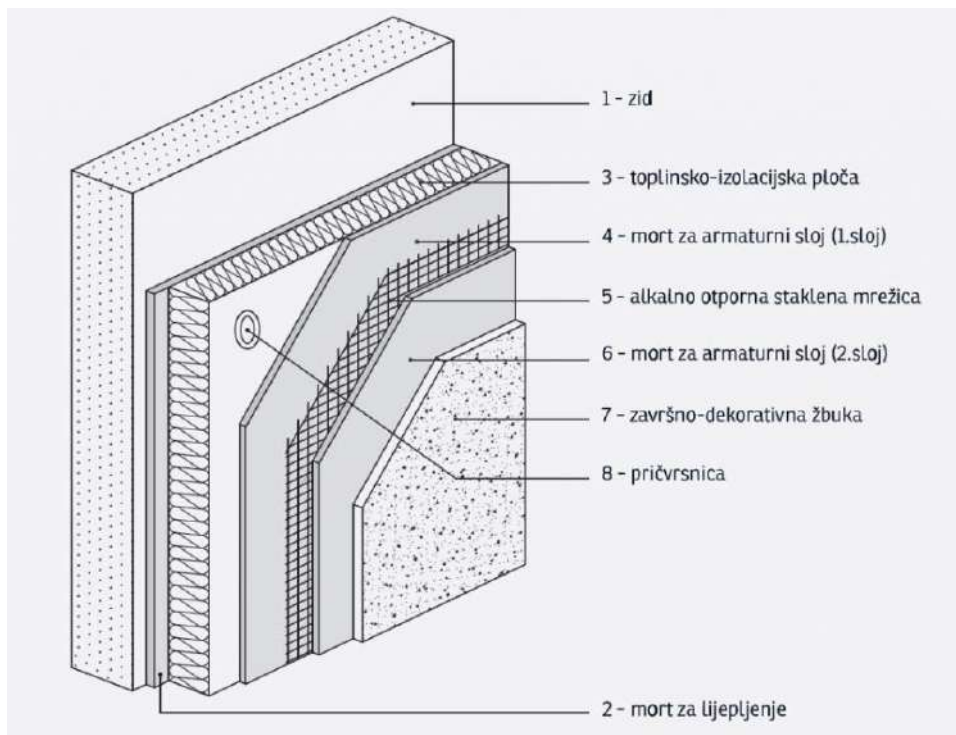
Slika 6. Pluto

2.2.1. ETICS sustavi

Kompaktne fasade ili ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems = Povezani sustav za vanjsku toplinsku izolaciju) su kompaktno višeslojno izolacijsko rješenje dizajnirano za poboljšanje energetske učinkovitosti novih i postojećih zgrada.

Osnovne komponente ETICS sustava su:

- zid
- mort za lijepljenje i/ili mehaničko pričvršćenje
- toplinsko-izolacijski materijal
- mort za armaturni sloj
- staklena mrežica
- završno-dekorativna žbuka.



Slika 7. Presjek strukture ETICS sustava

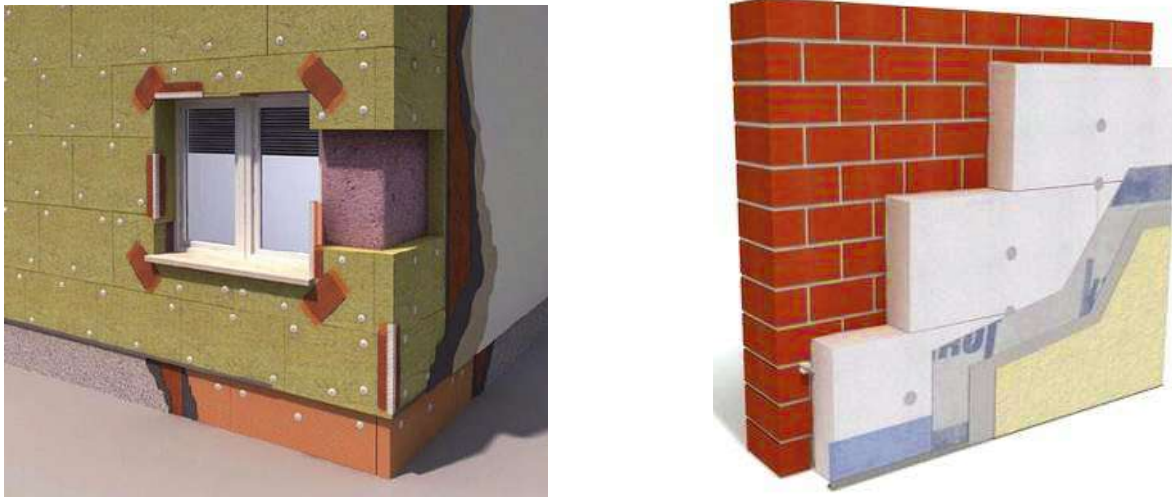
Zid koji se izolira, može biti armiranobetonski, od opeke, drvene podloge poput OSB ploča, cement-vlknaste ploče ili gips-vlknaste ploče. Potrebno ga je očistiti, poravnati ili ispuniti pukotine kako bi površina bila što pogodnija za izradu ETICS sustava.

Lijepljenje se izvodi gotovim, tvornički pripremljenim polimer-cementnim mortom ili pastoznim disperzijskim ljepilom. Uloga morta za lijepljenje jest osigurati dobru čvrstoću prijanjanja na različitim podlogama i stvoriti čvrstu vezu između podloge i toplinsko-izolacijskog materijala.

Najčešće korišteni toplinsko-izolacijski materijali za ugradnju u ETICS sustave su:

1. ekspanzirani polistiren (EPS)
2. mineralna vuna (MW) (ploče i/ili lamele)

Ekstrudirani polistiren (XPS) koristi se u područjima koja su izložena vodi i jačim udarnim opterećenjima.



Slika 8. ETICS sustav s: MW (lijevo) i EPS (desno)

Mort za armaturni sloj je kao i mort za lijepljenje polimer cementnog sastava ili je riječ o pastoznom disperzijskom ljepilu. U prvi sloj se utiskuje staklena mrežica dok ju drugi zatvara te čini završnu podlogu na koju će se nanositi završno dekorativna žbuka. (slika 9.) Alkalno otporna staklena mrežica je pletivo koje „armira“ cjelokupni sustav te sprječava pukotine koje bi nastale djelovanjem vjetra, mehaničkim udarcima i higro-termičkim naprezanjima.

Svojstva armaturnog sloja moraju zadovoljavati zahtjeve visoke fleksibilnosti, visoku vodoodbojnost i paropropusnost radi sprječavanja nastanka kondenzata unutar konstrukcije tijekom cijele godine. Najvažniju ulogu postizanju tih zahtjeva ima armaturni sloj, zajedno s odabirom završno-dekorativnog sloja. Zahtjevi za kakvoću staklene mrežice koja se može ugraditi u ETICS sustav su otpornost na alkalije (lužine), dobra prionjivost žbuke, bez PVC-a,

otpornost na micanje, bez možnosti omekšanja. Mora imati površinsku masu od najmanje 145 g/m² uz širinu očica od 3-5 mm. Pojedine trake moraju se međusobno preklapati najmanje 10 cm sa svih strana. Tekstilno-staklena mrežica postavlja se oko svih kuteva uz 20 cm preklapanja rubova mreže preko kuteva.



Slika 9. Nanošenje temeljnog polimer-cementnog sloja na mineralnu vunu (lijevo), utiskivanje staklene mrežice (desno)

Završno-dekorativna žbuka može biti ovisno o tipu korištenog veziva: plemenita mineralna žbuka, silikatna, silikatno-silikonska, silikonska i akrilatna (organska) žbuka. Odabirom veličine zrna i navedenog veziva moguće je dobiti različite tipove tekstura i strukture žbuke. O debljini i vrsti završno-dekorativnog sloja ovise svojstva i funkcionalnost čitavog ETICS sustava.



Slika 10. Nanošenje završno dekorativne žbuke

Pričvrsnica se ugrađuje u čvrstu podlogu zida, a njihov broj se određuje na temelju opterećenja vjetrom i nosivosti same pričvrsnice. [3,4]

2.2.2. Prednosti ETICS sustava

Pored toga što ETICS fasadni sustav omogućuje kvalitetnu izolaciju prostora, korištenjem takvog sustava ostvaruje se smanjenje kućnog budžeta. Takva vrsta izolacije minimizira potrošnju energije potrebne za grijanje doma, na taj način smanjujući račune za 30-40%. Povećanjem energetske efikasnosti stambenih prostora smanjuje se i rasipanje toplinske energije, što rezultira smanjenjem toplinskih gubitaka tokom hladnih mjeseci, te manjom potrebom za hlađenje tokom ljetnih.

Benefiti ETICS sistema nisu limitirani samo na poboljšanje komfora i smanjenje troškova za energiju, već istovremeno doprinose i zaštiti okoliša. Uzevši u obzir da su kućne emisije stakleničkih plinova najveći izvor zagađenja zraka i smoga u gradovima, ova vrsta fasadnih sistema je efikasan način smanjenja stakleničkih plinova te da se na taj način kvaliteta zraka u okolini, ali i unutar doma, vidljivo poboljša. Istraživanja su pokazala da je nedovoljna toplinska izolacija uzrok do čak 35% emisije ugljikovog-dioksida.

Ovom mjerom se zasigurno ispunjavaju energetske kriteriji zgrada koji su danas od iznimne važnosti. Domovi će biti ugodniji i trošiti puno manje, a problemi prouzrokovani nedostatkom toplinske izolacije bit će riješeni, poput vlage u unutrašnjosti ili pretjerane buke. Značajno smanjenje potrošnje energije znači da se primjena ovakvih sustava ne može smatrati troškom, nego investicijom.

Širok raspon premaza i završnih slojeva omogućuje poboljšanje estetskog izgleda zgrade. Također, budući da se sustav ugrađuje izvana, pristup stanovima nije potreban. [5,6]

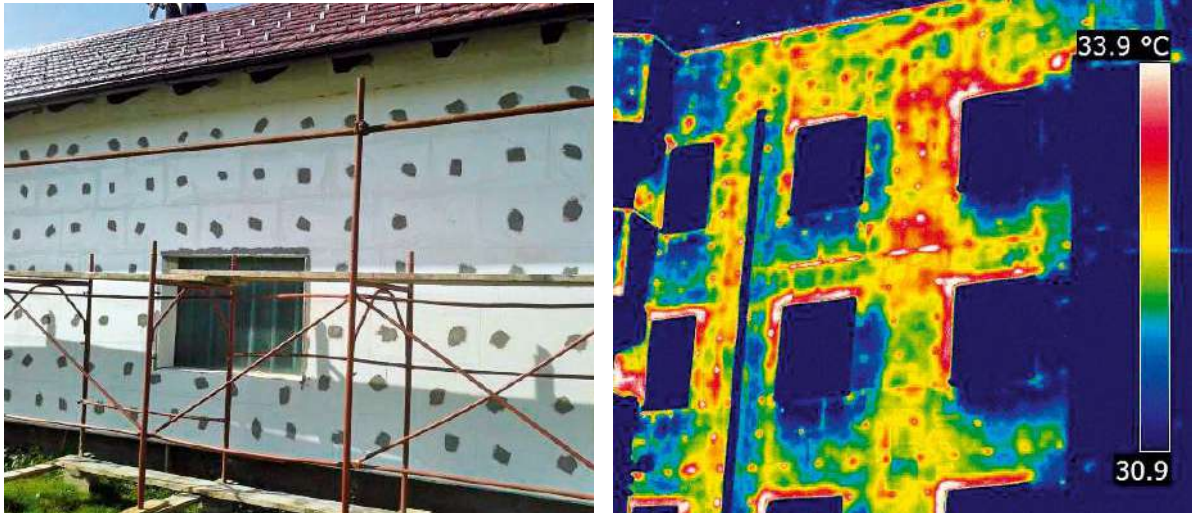
2.2.3. Greške pri izvođenju ETICS sustava



Slika 11. Neodgovarajuće ugrađen ETICS sustav, Vukovar, svibanj 2010

Greške:

- 1) "Točkasto" lijepljenje ploča:
 - Premala kontaktna površina između ljepila i ploče
 - Pogoršanje toplinske izolacije
 - "Efekt dimnjaka", zrak cirkulira iza ploče
 - Deformiranje ploče uslijed higrotermičkih utjecaja
- 2) Nedostatak pričvrsnica:
 - Stara fasada (obnova)
 - Visina >20 m
- 3) Neodgovarajuće ljepilo



Slika 12. Neodgovarajuće ugrađen ETICS sustav

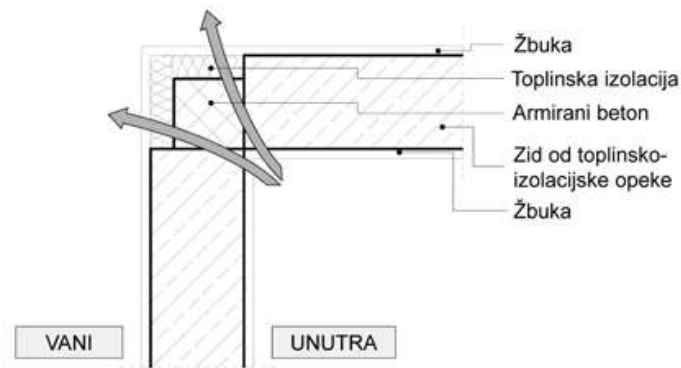
Greške:

- 1) Nedovoljan broj pričvrsnica
- 2) Neodgovarajuća shema mehaničkog pričvršćivanja
- 3) Loša izvedba kuta prozora
 - poklapanje fuge i linije otvora
 - mort u fugi
- 4) Termogram prikazuje toplinske mostove koji se pojavljuju zbog
 - loše izvedbe pričvrsnica na fasadi, položaja tanjura pričvrsnice
 - činjenice da se u fugama nalazi mort [3]

Topinski most u graditeljstvu predstavlja područje u konstrukciji, odnosno ovojnici zgrade gdje dolazi do povećanog prijenosa topline ili gubitka topline zbog promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela (npr. drvo i beton imaju različitu toplinsku vodljivost). Najčešće se radi o nepravilno obrađenom mjestu kontakta dvaju različitih materijala.

Mogu se podijeliti na dvije osnovne vrste ovisno o uzroku povišene toplinske propustljivosti:

- konstruktivni – nastaju kod kombinacija različitih vrsta materijala
- geometrijski – nastaju uslijed promjene oblika konstrukcije, npr. kutovi zgrade gdje je vanjska površina zida kroz koji se gubi toplina veća od unutarnje.



Slika 13. Toplinski most

Postavljanjem toplinske izolacije na zidove, krov i podove značajno se smanjuje gubitak topline uslijed toplinskih mostova. Pravilan položaj prozora u zidu pomaže u sprječavanju toplinskih mostova, stoga ih je potrebno smjestiti u razini toplinske izolacije. Također kondenzacija na pojedinim dijelovima konstrukcije se izbjegava pravilnom izolacijom toplinskih mostova.

U konačnici, pravilna izolacija i obrana od toplinskih mostova su ključni elementi energetske učinkovite gradnje, koja pomaže u smanjenju potrošnje energije, poboljšava udobnost unutar zgrade i doprinosi očuvanju okoliša. [3,7]

3. VENTILIRANE FASADE

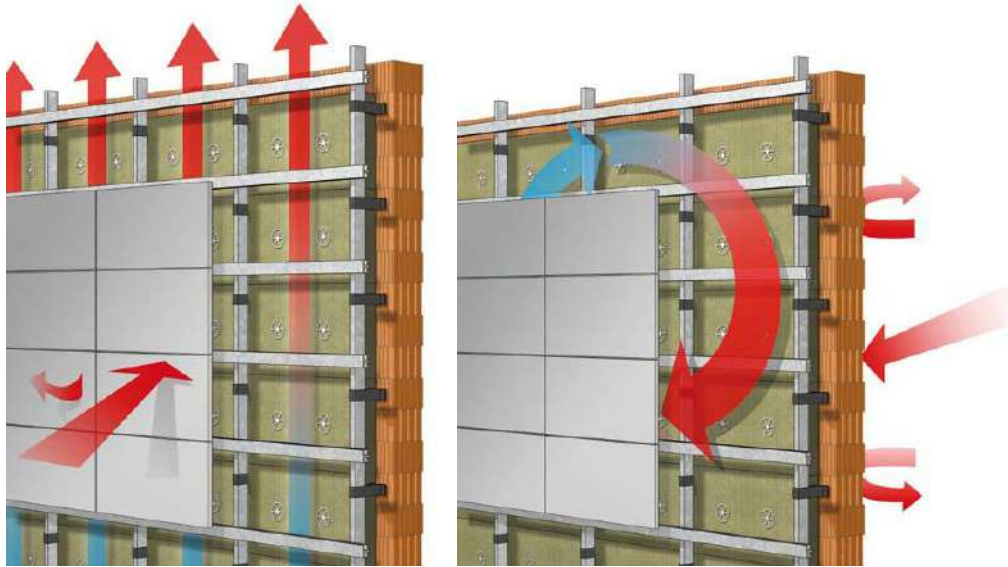
Ventilirane fasade se smatraju najučinkovitijim sustavima za rješavanje problema toplinske izolacije zgrade, smanjenje utjecaja toplinskih mostova i problema uzrokovanih kondenzacijom vodene pare, što rezultira optimalnim termo-higrometrijskim ponašanjem zgrade.

Ovakav tip fasade poznat je pod nekoliko naziva, kao što su vjetrena fasada, prozračivana fasada, samoventilirana fasada, ili fasada sa zračnim slojem i oblogom, straga provjetravana fasada. [3]

3.1. Princip rada ventilirane fasade

Osnovna razlika između kompaktnog fasadnog sustava i ventiliranog fasadnog sustava krije se u ventilirajućem zračnom prostoru. Ventilirane fasade su sustavi vanjske ovojnice zgrade u kojima postoji sloj ventiliranog zraka između obloge i toplinske izolacije. Smisao ventiliranog prostora temelji se na kretanju zraka, što se često može naći pod nazivom "efekt dimnjaka". Izraz "efekt dimnjaka" odnosi se na princip kretanja zraka unutar dimnjaka ili drugih vertikalnih kanala gdje se topli zrak diže prema gore zbog razlike u temperaturi između unutarnjeg zraka i vanjskog okoliša.

Ovaj princip se može primijeniti i u kontekstu ventiliranih fasada kako bi se potaknula cirkulacija zraka unutar fasadnog sustava. U slučaju ventilirane fasade, topli zrak unutar fasadnog kanala ili prostora za ventilaciju postaje lakši od hladnog zraka izvan zgrade. To dovodi do stvaranja sličnog efekta kao u dimnjaku, gdje topli zrak nastoji pobjeći kroz izlaz na vrhu fasade. Kako se topli zrak uzdiže, stvara se negativni tlak unutar fasade, što potiče cirkulaciju svježeg zraka iz okoline prema unutrašnjosti fasade. [8]



Slika 14. Cirkulacija zraka

Kao što je prethodno spomenuto, kod ventiliranih fasada jedan od slojeva je zrak, pri čemu je vanjski sloj odvojen od samog sustava zida. U tom slučaju se višak vode u tekućem obliku može eliminirati gravitacijskim otjecanjem, a vlaga u obliku vodene pare se evakuira strujanjem zraka. Zračni prostor između vanjske fasadne obloge i zida često djeluje kao barijera za kapilarno upijanje vlage u porozne materijale, što dodatno sprječava prodor vlage u konstrukciju. Također može pomoći u održavanju ravnoteže tlaka na fasadi, tj. izjednačuje pritiske na fasadu i omogućuje sušenje toplinsko izolacijskog materijala što posljedično omogućuje duži životni vijek vanjskih zidova, a time i same zgrade.

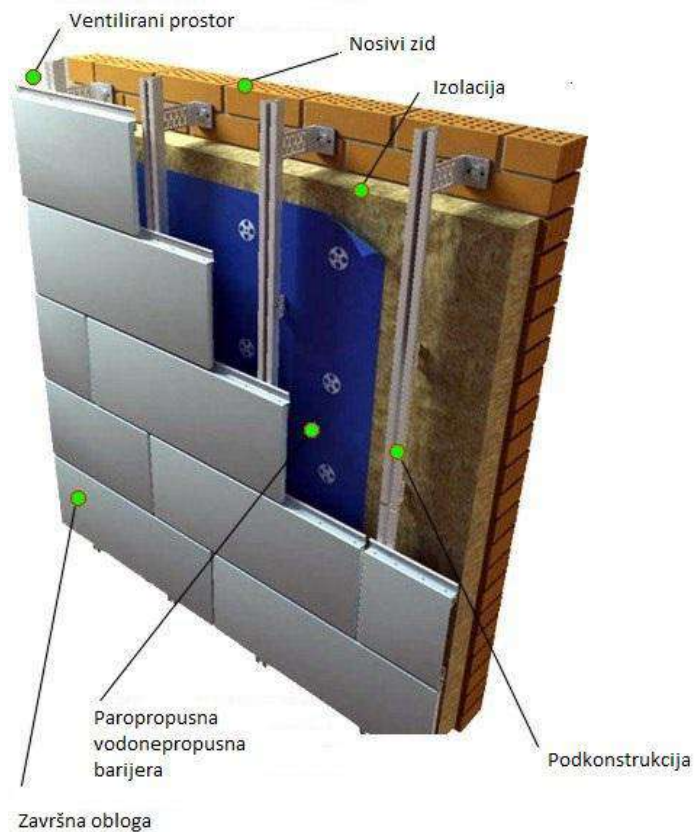
Fasadni sustavi s višestrukim ovojnicama, uključujući ventilirane fasade, obično su složeniji, teži za ugradnju i zahtijevaju precizniju instalaciju u usporedbi s jednostavnijim monolitnim zidovima. [3,8]

3.2. Konstruktivni elementi ventilirane fasade

Ventilirana fasada je sastavljena od nosive metalne podkonstrukcije na koju se slažu fasadni paneli, sloja mineralne vune za toplinsku izolaciju i prostora za ventilaciju.

Sastoji se od 6 slojeva, od kojih su gledano od unutra prema van:

- vanjski (nosivi) zid zgrade
- podkonstrukcija za panele
- toplinska izolacija
- prozračna folija
- prostor za ventilaciju
- završni sloj (paneli i ploče)



Slika 15. Konstruktivni elementi ventilirane fasade

3.2.1. Vanjski (nosivi) zid

Vanjski (nosivi) zid zgrade treba ispuniti 1. Temeljni zahtjev građevine (osigurati mehaničku otpornost i stabilnost građevine), dakle najvažnija je njegova čvrstoća. Također, nosivi zid treba dopustiti difuziju vodene pare kroz sebe te imati dovoljan otpor prolasku topline –6. Temeljni zahtjev za građevine (gospodarenje energijom i očuvanje topline). [18]

Jedna od prednosti ventiliranih fasada jest ta da nisu toliko osjetljive na površinske nedostatke ili nepravilnosti u zidu kao što su monolitni zidovi. Budući da je vanjska obloga u

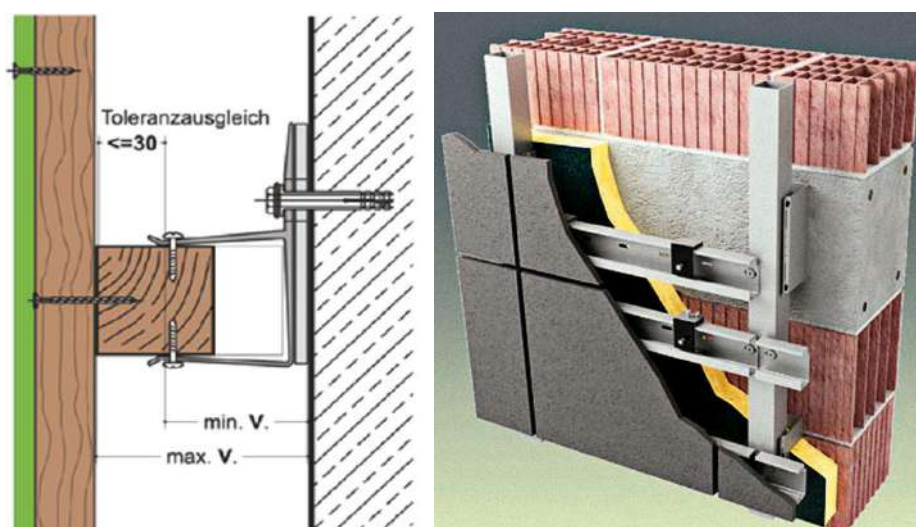
ventiliranim fasadama odvojena od samog zida i podržana zračnim slojem, podkonstrukcija se može prilagoditi i kompenzirati manje nepravilnosti u zidu. To znači da nije potrebno postizati potpuno ravnu i glatku površinu zida prije instalacije ventilirane fasade. Obično je dovoljno zatvoriti pukotine i ukloniti površinske nesavršenosti. Prilagodljivost ventiliranih fasada omogućuje bržu i ekonomičniju instalaciju.

3.2.2. Podkonstrukcija

Podkonstrukcija ventilirane fasade je statična veza između strukture vanjskog zida i obloge pročelja. Sastoji se od profiliranih metalnih horizontalnih i vertikalnih dijelova koji su pričvršćeni nosačima na postojeći zid. Osim aluminijsa u upotrebi je i drvo ili njihova kombinacija. Prednost aluminijsa je njegova dugoročnost i manja gustoća s obzirom na druge metale i prirodna otpornost na koroziju. Što se rasporeda profila tiče, profili se mogu postavljati horizontalno, vertikalno ili kombinirano u obliku roštilja. Takva konstrukcija mora biti dovoljno čvrsta da može prenijeti opterećenje vanjskog završnog sloja kao i sva statička i dinamička opterećenja od vanjskih utjecaja na fasadu, posebice vjetra. [3,8]

Najveće moguće opterećenje vjetrom na području fasade		Vodoravni razmak između osi okomitih profila nosača
Tlačno opterećenje vjetrom	Vlačno opterećenje vjetrom	
+1,10 kN/m ²	-0,77 kN/m ²	60 cm
+1,10 kN/m ²	-2,20 kN/m ²	30 cm

Tablica 1. Smjernice za vodoravni razmak okomitih profila nosača



Slika 16. Drvena podkonstrukcija (lijevo) i metalna podkonstrukcija (desno)

3.2.3. Toplinska izolacija

Izolacijski sloj se izvodi od mineralne vune – kamene ili staklene i štiti nosivi zid od temperaturnih varijacija. Zahvaljujući svojoj zrakopropusnoj vlaknastoj strukturi, omogućava isparavanje kondenzirane vlage. Materijal je nezapaljiv i sprječava širenje požara, za razliku od ekspaniranog polistirena (EPS-a). Toplinska vodljivost mineralne vune je slična kao i kod EPS-a, a kreće se od 0,035 do 0,045 W/mK. Toplinska provodljivost materijala je količina topline u J, koja u jedinici vremena prođe kroz sloj materijala površine presjeka 1 m^2 i debljine 1 m okomito na njegovu ploštinu pri razlici temperature od 1 K. Označava se grčkim slovom λ (lambda). [10] Debljina sloja toplinske izolacije varira, ovisno o razini toplinske zaštite koju je potrebno postići prema projektnom izračunu. Proizvodi se u obliku lamela i ploča, a na tržištu se pojavljuje u debljinama od 3 do 24 cm. Ventilirani sustav omogućuje instalaciju bilo koje potrebne debljine izolacijskog materijala te tako ispunjava zahtjeve Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. [3,9]

3.2.4. Prozračna folija

Prozračne folije (kišne brane, vodonepropusne-paropropusne barijere) sprječavaju prodiranje vode u toplinsko-izolacijski materijal s vanjske strane, a istovremeno omogućuju prolazak vodene pare iz unutarnjeg prostora zgrade prema vanjskom okolišu, što omogućuje odstranjivanje viška vlage. Preporučuje se upotreba kontinuirane membrane koja pokriva cjelokupni sloj toplinske izolacije kako bi se smanjio toplinski most na spojevima izolacijskih ploča. Također pomaže smanjiti efekt hlađenja uzrokovan strujanjem zraka na površini izolacije. [3]

3.2.5. Prostor za ventilaciju

Prostor za ventilaciju je dio ovojnice kroz koji struji zrak. Zbog sprečavanja kondenzacije vodene pare na površini zida (izvana ili u unutrašnjosti zgrade) ili u sloju toplinske izolacije, potrebno je osigurati nesmetanu cirkulaciju topline i vodene pare. Sloj ventiliranog zraka može pružiti dodatnu toplinsku izolaciju u zimskom razdoblju, a istovremeno djelovati kao toplinsko rasterećenje u ljetnom razdoblju. Kod dimenzioniranja sloja ventiliranog zraka potrebno je ispuniti ove uvjete:

- minimalan kontakt između vanjskog završnog sloja i nosivog zida

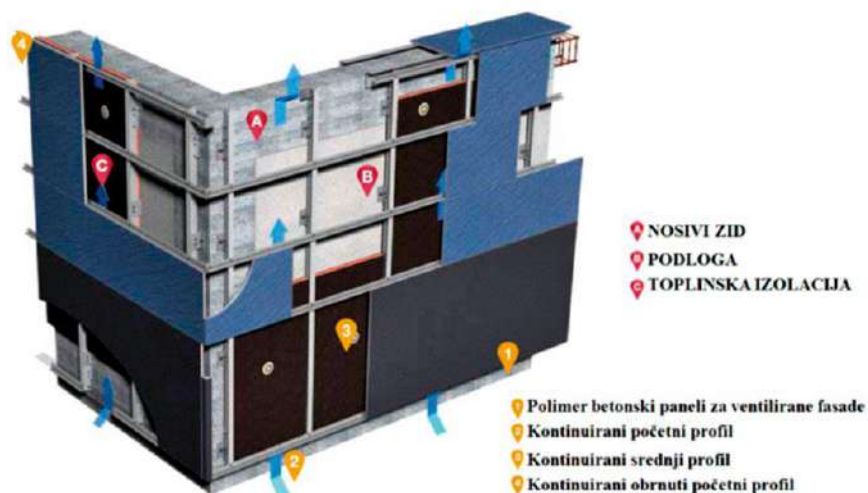
- osigurati odvođenje kiše nošene vjetrom koja prodire u ventilirani sloj
- osigurati dovoljnu debljinu sloja kako bi se osigurala ventilacija tijekom ljeta
- osigurati vezu s vanjskim zrakom kroz otvore postavljene na vrhu i na dnu fasade, ili kroz fuge [3]

Širina zračne šupljine u ventiliranim fasadama obično je u rasponu od 20 do 50 mm. U većini slučajeva širinu zračne šupljine određuje proizvođač cijelog sustava prema načinu montaže vanjske obloge i vrsti podkonstrukcije.

3.2.6. Vanjski završni sloj

Vanjski završni sloj sastoji se od fasadnih panela nanizanih jedan do drugog. Štiti cjelokupni sustav od atmosferskih djelovanja (oborina, vjetra, sunčevog zračenja, zagađenja zraka itd.) Sprječava ulazak vode u ventilirani sloj zraka, omogućuje mehaničku zaštitu toplinske izolacije i paropropusne-vodonepropusne folije. Također, koeficijent emisije zračenja mora biti što niži kako bi se smanjio prijenos topline zračenjem i degradacija materijala prilikom djelovanja sunčevog zračenja. On daje estetsku vrijednost cjelokupnoj zgradi, ovisno o vrsti i načinu izvedbe završne obrade. Mogu biti raznih oblika, veličina i materijala. Koriste se velikoformatne keramičke ploče HPL, kamene ploče, vlakno-cementne ploče, kompozitni paneli te aluminijske, čelične, bakrene ili ploče od drugih metala. [3]

Završnu oblogu možemo postaviti na 2 načina, vodoravno ili okomito.



Slika 17. Vodoravni sustav ugradnje ventilirane fasade

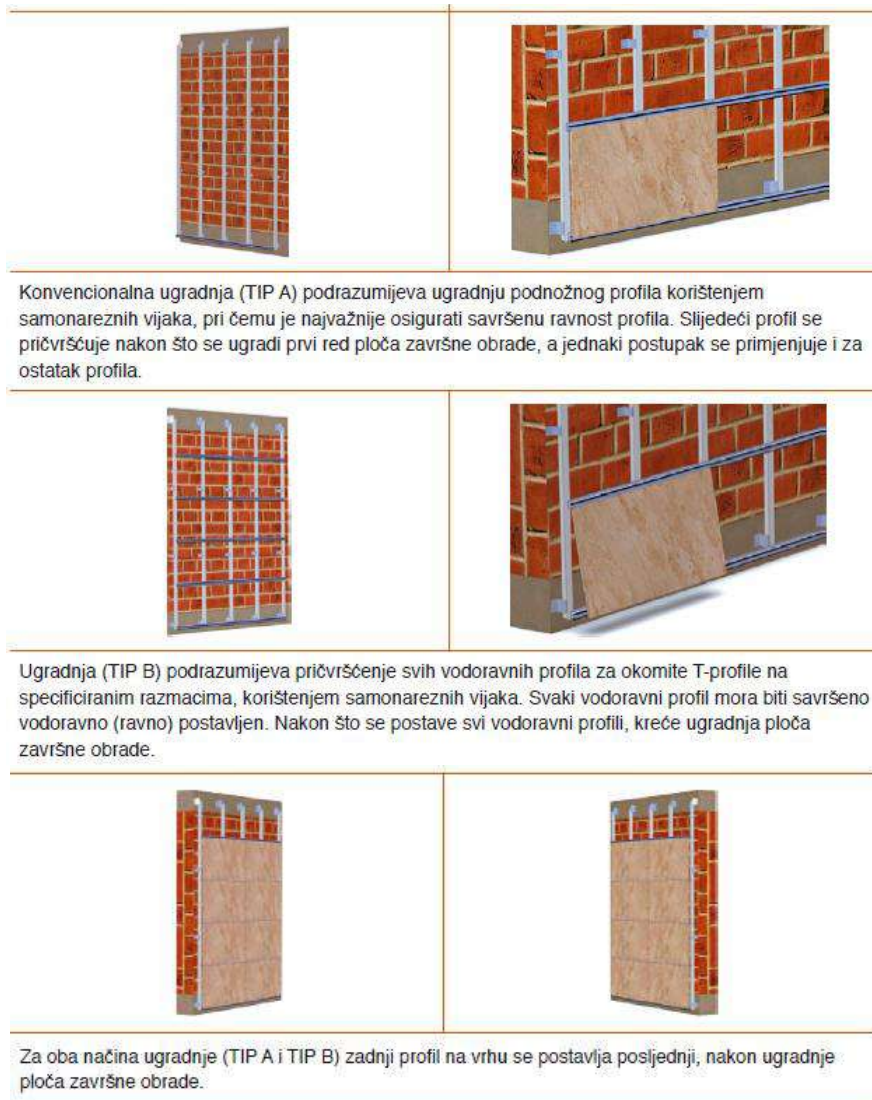


Slika 18. Okomiti sustav ugradnje ventilirane fasade

3.3. Postupak ugradnje

Svaki sloj ventilirane fasade potrebno je projektirati na način da se osigura optimalna i efikasna ugradnja. Postoji nekoliko različitih načina za ugradnju ventiliranih fasada, a odabir odgovarajuće metode ovisi o specifičnim zahtjevima građevinskog projekta i materijalima koji će se koristiti. Ključni čimbenici u izboru metode ugradnje su izvedba podkonstrukcije te sami način pričvršćenja ploča završne obrade. Na slici je prikazana shema ugradnje nosive konstrukcije fasade, pri čemu se ne prikazuje ugradnja toplinske izolacije od mineralne vune. [3]

<p>Ugradnja nosača u obliku L-profila na podlogu. Potrebno je osigurati vodoravnu i okomitu ravnost L-profila, kako bi kasnije T-profilii ostali poravnati.</p>	<p>Ugradnja T-profila na L-profile korištenjem samonareznihih vijaka, pri čemu T-profilii moraju biti ugrađeni s unutarnje strane L-profila. T-profilii također moraju biti poravnati u vodoravnom i okomitom smjeru.</p>



Slika 19. Postupak ugradnje nosive konstrukcije sustava ventiliranih fasada

3.3.1. Spojni materijali

Pravilna uporaba odgovarajućih spojnih materijala ključna je za sigurnost i funkcionalnost ventiliranih fasada. Koriste se nitne i vijci za pričvršćivanje različitih dijelova podkonstrukcije i završne obloge. Važno je odabrati kvalitetne materijale koji su postojani na koroziju i pogodni za specifične uvjete građevinskog projekta, primjerice kuke, spojnice, vijci, nitne i sl. Vijčani spojevi često zahtijevaju osiguranje od samooslobađanja kako bi se spriječilo njihovo postepeno otpuštanje tijekom vremena. To osigurava trajnu čvrstoću spojeva i stabilnost ventilirane fasade. Važno je izbjegavati kombinaciju različitih metala u spojevima kako bi spriječili galvansku koroziju, koja se može pojaviti kada se metali različitih električnih potencijala dodiruju u prisutnosti vlage. Spojevi u sustavu ventiliranih fasada moraju biti dizajnirani tako da mogu preuzeti sva kretanja na elementima sustava ventilirane fasade i

samoj zgradi. To uključuje dinamička opterećenja kao što su vjetar i seizmički utjecaji. Za međusobno pričvršćivanje aluminijskih profila i/ili drvenih nosača podkonstrukcije koriste se samourezni vijci. [3]



Slika 20. Samourezni vijci za metal (lijevo) i drvo (desno)

3.3.2. Sredstva za učvršćivanje

Korištenje sustava za prikriveno ovješeno za vješanje završnih panela u sustavu ventilirane fasade čest je pristup koji pruža estetsku i funkcionalnu prednost. Ovaj sustav obično uključuje vodoravne nosače ili šine na koje se montiraju završni paneli.

U načelu se razlikuju vidljivi, skriveni i nevidljivi elementi za učvršćivanje. Kao vidljivi elementi za učvršćivanje podrazumijevaju se vijčani čavli, rebrasti čavli, pločaste kuke, vijci, nitne, spojnice i sustavi šina. Za skriveno učvršćivanje koriste se ovjesni sustavi svornjaka, a kao nevidljivi elementi navode se svornjaci za varenje i sidra na stražnji urez.

Vidljivo pričvršćivanje zakovicama je ekonomičan i praktičan način polaganja fasadnih elemenata, posebno kada su u pitanju materijali poput metala, vlaknastog cementa i HPL (High-Pressure Laminate) panela.

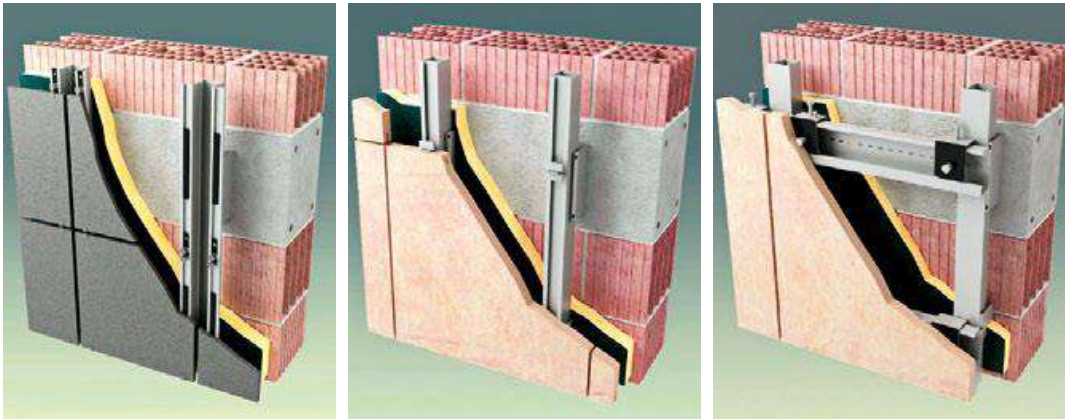
Vidljivo pričvršćenje kopčama primjenjuje se kod fasadnih elemenata od keramike i terakote. Kopče se mogu izrađivati od različitih materijala, uključujući aluminij i nehrđajući čelik, a mogu se i u skladu s fasadnim elementima izraditi i u odgovarajućoj boji.

Skriveno pričvršćenje kroz stražnji urez izvodi se tako da se na stražnjoj strani ploče izrađuju urezi u koje će biti postavljene kopče koje se učvrste uvrtnjem vijaka metalne šine. Svaka se fasadna ploča učvršćuje s najmanje četiri pojedinačne spone.

Skriveno pričvršćenje ovjesom fasadnih elemenata osobito je prikladno za slojevite kompozitne ploče.

Skriveno pričvršćenje pomoću lijepljenja jeftini je način ugradnje fasadnih ploča. Izvodi se

pomoću trajno elastičnog ljepila i dvostrano ljepljive montažne trake za fiksiranje ploča na noseće profile. [3]



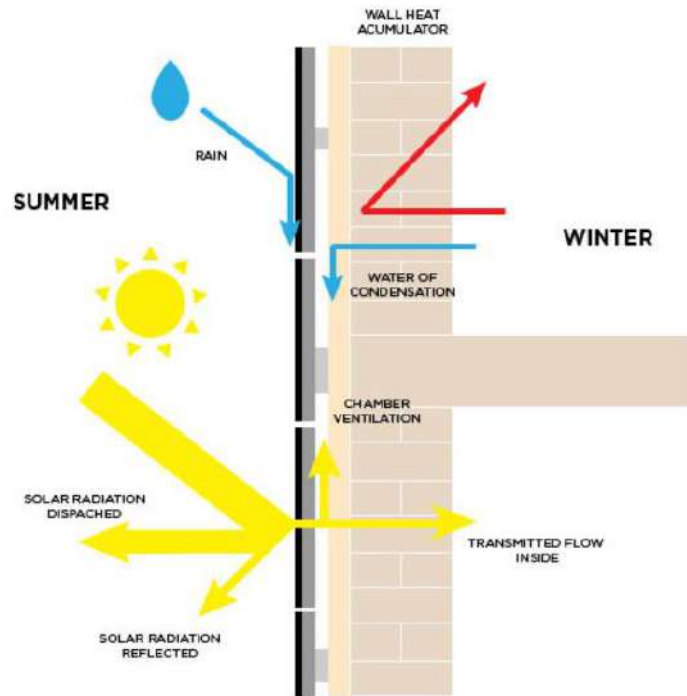
Slika 21. Vidljiva kopča za kamene ploče, nevidljiva kopča za kamenu fasadu i nevidljivi moždanici (sa lijeva na desno)

3.4. Svojstva ventilirane fasade

3.4.1. Izolacija

Tijekom hladnog vremenskog perioda, zrak u zračnom prostoru ventilirane fasade može postupno apsorbirati toplinu iz unutarnjih prostorija zgrade, što usporava gubitak topline prema van, smanjujući potrebu za grijanjem objekta. Toplina koja se akumulira u zračnom prostoru može djelovati kao dodatni izolacijski sloj. Također, ventilirani prostor omogućuje kontrolirano strujanje zraka između vanjske obloge i izolacije što pomaže uklanjanju viška vlage i sprečavanju kondenzacije unutar konstrukcije. Na taj način izolacija i vanjski zidovi ostaju suhi i postiže im se dugotrajnost, čime se smanjuju troškovi održavanja i zamjene.

Tijekom toplog vremenskog perioda, strujanje toplog zraka prema van i ulazak hladnog zraka u ventilirani prostor pomaže pri prirodnom hlađenju objekta. Taj proces smanjuje temperaturu unutar fasadnog sustava i prenosi manje topline u unutarnje prostorije što se reflektira smanjenjem potrebe za klimatizacijom i hlađenjem objekta. Fasadna obloga može biti dizajnirana s reflektirajućim svojstvima, čime se smanjuje apsorpcija sunčeve topline. Manje topline dolazi do zidova i unutrašnjosti objekta, čime se održava niža unutarnja temperatura. [13,14]



Slika 22. Ventilirana fasada- zimski i ljetni period

3.4.2. Zaštita od kiše

Ventilirane fasade su dizajnirane kako bi pružile pouzdanu zaštitu od kiše i drugih atmosferskih utjecaja. Zračni prostor omogućuje izjednačavanje tlaka, sprječavajući da kiša prođe u unutarnji dio fasade; kiša se odvodi preko leđa obloge čime se štiti toplinska izolacija od vlage. Prema normi DIN 4108-3, ventilirane fasade pripadaju klasi III i otporne su na direktan udar kiše. [15]

3.4.3. Zaštita od vlage i kondenzacije vodene pare

Konstrukcija ovješene ventilirane fasade smanjuje difuziju vodene pare iz unutrašnjosti zgrade prema van. To znači da vlaga koja se može pojaviti unutar konstrukcije ili proizaći iz unutarnje upotrebe zgrade se uklanja kroz stražnji ventilirajući prostor. Održavanjem suhoće izolacije, ventilirane fasade osiguravaju da izolacijski materijal zadrži svoju toplinsku učinkovitost. Vlažna izolacija može značajno smanjiti njenu izolacijsku sposobnost što rezultira povećanom potrebom za grijanjem i hlađenjem objekata. [13]

3.4.4. Protupožarna zaštita

Ventilirane fasade pružaju građevinskim inženjerima i arhitektima fleksibilnost u odabiru materijala i komponenata, što omogućuje prilagodbu sustava zaštite od požara prema specifičnim zahtjevima propisa i projektiranju. [15]

3.4.5. Zaštita od buke

Ventilirane fasade mogu imati pozitivan utjecaj na svojstva zvučne izolacije vanjskog zida. Kvalitetna izolacija, zajedno s određenim dizajnom i specifikacijama, može rezultirati značajnim poboljšanjem u smanjenju buke koja ulazi u zgradu ili se širi izvan nje. Ovisno o debljini izolacije, dimenzijama obloge i postotku otvorenih fuga, indeks smanjenja buke može se povećati do 14 dB. [15]

3.4.6. Zaštita od udara munje

Zahtjevi zaštite IT sustava u zgradama postali su sve važniji. Troškovi pri izradi iste mogu se smanjiti izvedbom ventiliranih fasada. Aluminijska podkonstrukcija može zamijeniti gromobranske vodiče, a tijekom izvedbe građenja može se stvoriti elektromagnetski štit. Uz elektro-vodljivu fasadnu oblogu, postiže se učinkovita zaštita od udara munje, čime objekt i elektronika unutar njega ostaje vrlo sigurna. [15]

3.4.7. Suha montaža

Značajna prednost ventiliranih fasada u usporedbi s kontaktnim fasadnim sustavima svakako je „suha“ instalacija ventilirane fasade, što omogućuje izvedbu u svim klimatskim uvjetima, neovisno o temperaturi. Jedinu značajnu vremensku utjecaj su padaline zbog samih radnika. Montaža ventilirane fasade nije uvjetovana sušenjem materijala poput fasadnog ljepila, impregnacije ili slično. Također treba spomenuti da montaža podkonstrukcije ne zahtjeva temeljite pripreme postojećih zidova u vidu izravnanja zidova, čišćenje, uklanjanje postojeće loše žbuke, premazivanjem zidova impregnacijom i slično. Samim time radovi su ugodniji za stanare objekta i same radnike te traju kraće. [16]

3.4.8. Trajnost i održavanje

Vijek trajanja ventilirane fasade je otprilike 50 godina ali uz redovito održavanje i inspekcije te pametnim odabirom materijala, vijek trajanja joj se i produljuje. To vrijedi ako se koriste metalni elementi u podkonstrukciji, a ako se koristi drvo tada je životni vijek kraći. Ventilirane fasade također omogućuju jednostavnu demontažu sistema ili nekih njegovih elemenata u slučaju oštećenja ili jednostavno zamjene s novim panelima drukčijeg izgleda. Sistem instalacije ventilirane fasade zahtjeva manji broj radnih koraka nego kod klasične fasade što pridonosi smanjenju grešaka ali i skraćuje vrijeme izgradnje i troškove. [16]

3.4.9. Ekologija i ekonomski aspekti

Upotrebom ventiliranih fasada postiže se zadovoljenje zadanih ekoloških ciljeva u smislu smanjenja potreba za grijanjem objekta, što posljedično dovodi do smanjenja emisija CO₂ u atmosferu.

Iz ekonomskog aspekta gledano, kroz kratki vremenski period ulaganje u ovakav tip fasade znatno se isplati. Ponajviše je to vidljivo u smanjenju troškova grijanja ili pak hlađenja objekta. Ovaj tip fasade svakako je isplativ i sa aspekta održavanja iste, ali i njezine dugoročnosti. Ventilirana fasada modernog je izgleda te je svakako njenom ugradnjom vrijednost objekta značajnija. [13]

3.5. Problemi s ventiliranim fasadama

Prilikom loše izvedene ventilirane fasade je najvidljivija loša izvedba završne obloge. Ukoliko dođe do loše ugradnje podkonstrukcije, posljedice se vide na završnoj oblozi koju je tada teško ugraditi da su fuge jednolike i ravne.



Slika 23. Loša montaža podkonstrukcije

Osim vizualnih nepravilnosti, ukoliko se ventilirana fasada loše dimenzionira ili ugradi, postoji mogućnost pada dijelova konstrukcije prilikom udara jakih vjetrova, što može biti opasno po ljude. Slika 24. prikazuje ventiliranu fasadu u Kampusu na Trsatu u Rijeci, kod koje je i prije samog završetka zgrade, uslijed djelovanja jakog vjetrova, oštećena fasada.



Slika 24. Oštećenja uslijed jake bure, Trsat, Rijeka

Oštećenje vanjske obloge ventilirane fasade može nastati uslijed djelovanja iz okoliša (slika 25.) pri čemu dolazi do oštećenja ploča uslijed djelovanja smrzavanja i odmrzavanja. U ovom slučaju ploče su pričvršćene za drvenu podkonstrukciju, ali su fuge namijenjene za ventilaciju i otjecanje vode bile zatvorene na gornjim i donjim rubovima svih prozora i vrata, kao i na dnu zida. Navedeno je dovelo do akumulacije vlage u konstrukciji, koja se smrzava tijekom niskih temperatura i uzrokuje oštećenja ploča.



Slika 25. Primjer oštećenja završne obloge uslijed nedovoljne ventilacije prostora iza obloge što je dovelo do smrzavanja vlage i oštećenja ploča

Oštećenje ventilirane fasade može se pojaviti iz različitih razloga, uključujući nepravilno izvođenje i lošu instalaciju, ali i zbog drugih faktora kao što je rast vegetacije između fuga panela.



Slika 26. Primjer oštećenja ventilirane fasade: rastom vegetacije iz fuga između panela (lijevo) i primjer rasta gljivica (desno)

4. NUMERIČKA USPOREDBA TOPLINSKOG PONAŠANJA IZMEĐU STANDARDNIH I VENTILIRANIH FASADA

U članku Numerička usporedba toplinskog ponašanja između ventiliranih fasada, objavljenom u Studiji geotehnike i mehanike (2020; 42(4): 297–305), autora Krzysztof Schabowicz i Łukasz Zawislak uspoređuju se standardne fasade, s ventiliranim fasadama u dvije varijante: zatvoreni spojevi i otvoreni spojevi. Usporedba je napravljena pomoću numeričkih simulacija računalne dinamike fluida (CFD), u uvjetima visoke vanjske temperature i jake sunčeve svjetlosti.

Kako se okoliš sve više mijenja, većina globalnih organizacija pokušava smanjiti potrošnju energije. Na temelju podataka Eurostata iz 2016, u slučaju Europe, potrošnja energije u sektoru zgradarstva iznosi 24,8%, a sektoru usluga 13,5% ukupne potrošnje energije u Europskoj uniji. Ukupno, to daje 39,2% ukupne potrošnje energije u Europskoj uniji po sektoru koji se odnosi na korištenje zgrada. U svrhu održive gradnje, razvijeni su različiti sustavi višekriterijskih procjena zgrada, uključujući BREEAM ((Building Research Establishment Environmental Assessment Method) i LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Fasade zgrada vrlo su važan element održive gradnje. To su elementi koji imaju najveći dodirni prostor s okolinom i trebaju štititi zgradu od niskih i visokih temperatura, sunca, padalina i vjetera. Iz tehnoloških razloga razlikuju se dvije vrste ventiliranih fasada: ventilirana fasada s otvorenim spojevima i zatvorenim spojevima (neprozirna ventilirana fasada).

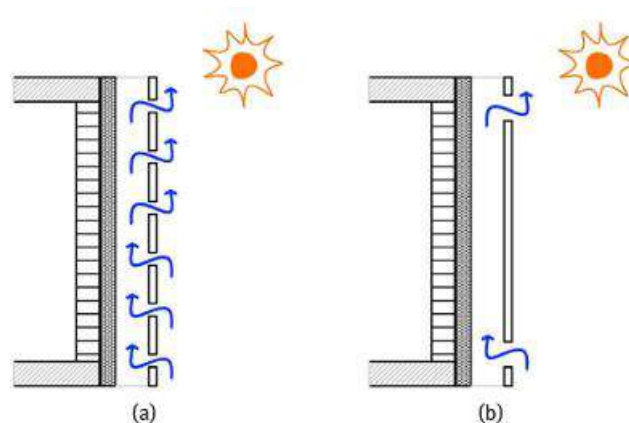


Figure 3: Types of ventilated facades: (a) open joint and (b) closed joint [14].

Slika 27. Ventilirana fasada sa: (a) otvorenim spojem i (b) zatvorenim spojem

Unatoč brojnim prednostima, ventilirane fasade su malo poznat skup građevinskih proizvoda. Osobito se malo zna i istražuje njihova termodinamika. Autori ovog članka pokušali su približiti ovu problematiku na temelju poslovnih zgrada i višestambenih zgrada s višim komunalnim zahtjevima. Ventilirane fasade u tradicionalnoj izvedbi, odnosno sa zatvorenim spojem i otvorenim spojem, većinom se odnose na niske i srednje visoke objekte namijenjene uglavnom stanovanju, a manjim dijelom uslugama i hotelima. Također postoji mali broj znanstvenih studija o ventiliranim fasadama, odnoseći se na rezultate za fasade bez zračne šupljine, odnosno vanjske termoizolacijske kompozitne sustave (ETICS).

Ventilirane fasade su dobro rješenje za toplije krajeve svijeta, zbog ograničenja konvekcije između vanjske obloge i izolacije. Zimi se učinkovitost ovakvih fasada značajno smanjuje, ali kako pokazuju neka znanstvena istraživanja, ipak mogu donijeti minimalne prednosti u usporedbi sa standardnim ETICS fasadama. Učinkovitost zimi je niža jer imaju nižu vrijednost toplinske vodljivosti i imaju ograničen učinak solarnog dobitka putem konvekcije (nema izravnog kontakta između izolacije i obloge).

Osim toga, autori su odlučili termodinamički usporediti ventilirane fasade, zatvorenih i otvorenih spojeva u ljetnom razdoblju, ispitujući utječe li utjecaj tehnologije na energetske učinkovitost fasada. Usporedba uključuje i standardne ETICS fasade (bez zračne šupljine).

4.1. Stvaranje numeričkog modela i izrada pretpostavki za simulaciju

Numerička analiza je provedena korištenjem softvera za računsku dinamiku fluida (CFD). Dobiveni rezultati potvrdili su značajnu usklađenost s eksperimentalnim istraživanjem.

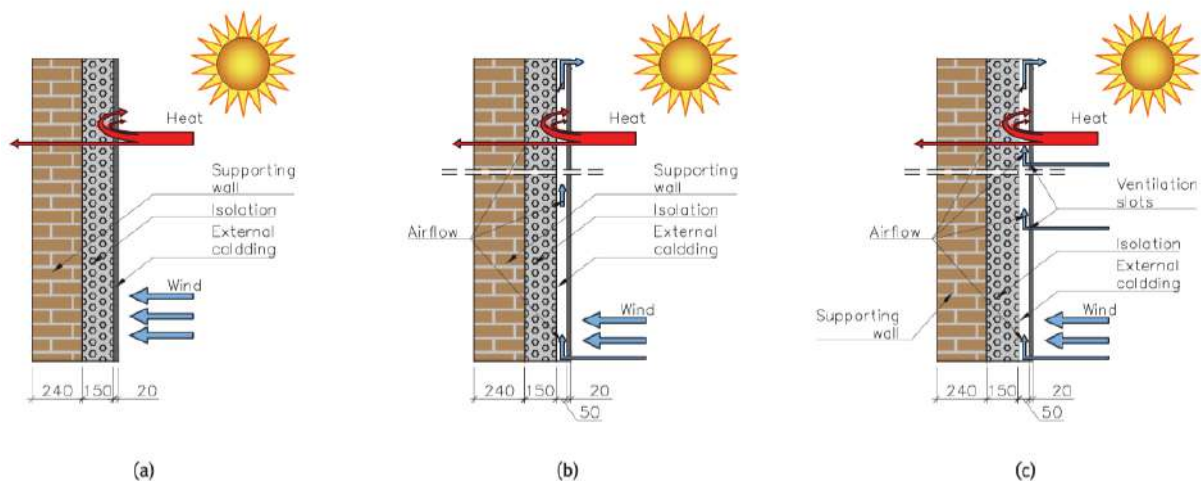
4.1.1. Tehnološke i materijalne pretpostavke numeričkog modela

Za usporedbu energetske učinkovitosti fasade izrađena su tri numerička modela koji odražavaju sljedeće vrste fasada: standardna fasada (bez zračne šupljine), ventilirana fasada sa zatvorenim spojevima i ventilirana fasada s otvorenim spojevima. Svi modeli izrađeni su od istih materijala. Pretpostavlja se da je nosivi zid izrađen od silikatnih blokova debljine 240 mm, toplinska izolacija od poliuretana debljine 150 mm, a vanjska obloga od vlaknocementnih ploča u tzv. tamnoj boji i 20 mm debljine. Za što bolji prikaz globalnog učinka utjecaja vanjske temperature na unutarnju temperaturu, usvojen je model koji odgovara visini zida od 4000 mm. (tablica 2).

Materials	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/[kg·K])	Thermal Conductivity (W/[m·K])
Silicate blocks	1900	880	0.800
Polyurethane – insulation	30	133	0.0207
Fibre cement boards	1800	920	0.400

Tablica 2. Termodinamičke karakteristike materijala

Prvi model je standardni tip fasade, gdje su vlaknocementne ploče postavljene direktno na izolaciju, a tijela su u kontaktu (označena u radu kao A). Sljedeća dva modela su ventilirane fasade u dvije varijante, i to: – ventilirana fasada zatvorenog spoja (u radu označena kao B), – ventilirana fasada otvorenog spoja (označena kao C). Modeli ventiliranih fasada (B i C) imaju zračnu šupljinu širine 50 mm između izolacije i vanjske obloge vlaknocementnih ploča. U slučaju modela s tijesnim spojem (model B), zrak ulazi u zračnu šupljinu kroz dva proreza: na dnu i na vrhu vanjske obloge, svaki širok 30 mm. U slučaju modela s otvorenim spojem, zrak može ulaziti ne samo kroz prethodno navedene proreze, već i kroz dodatne proreze širine 20 mm. Svi usvojeni dijagrami prikazani su na slici 28. Analiziran je punozidni ulomak pročelja bez uzimanja u obzir utjecaja prozorskih otvora i toplinskih mostova. Analizirani ulomak pročelja nalazio se neposredno iznad razine tla, omogućavajući strujanje zraka samo prema gore.



Slika 28. Fasadni dijagrami za numeričke simulacije: (a) standardna fasada, ventilirana fasada sa: (b) zatvorenim spojem i (c) otvorenim spojem

4.1.2. Klimatske pretpostavke numeričkog modela

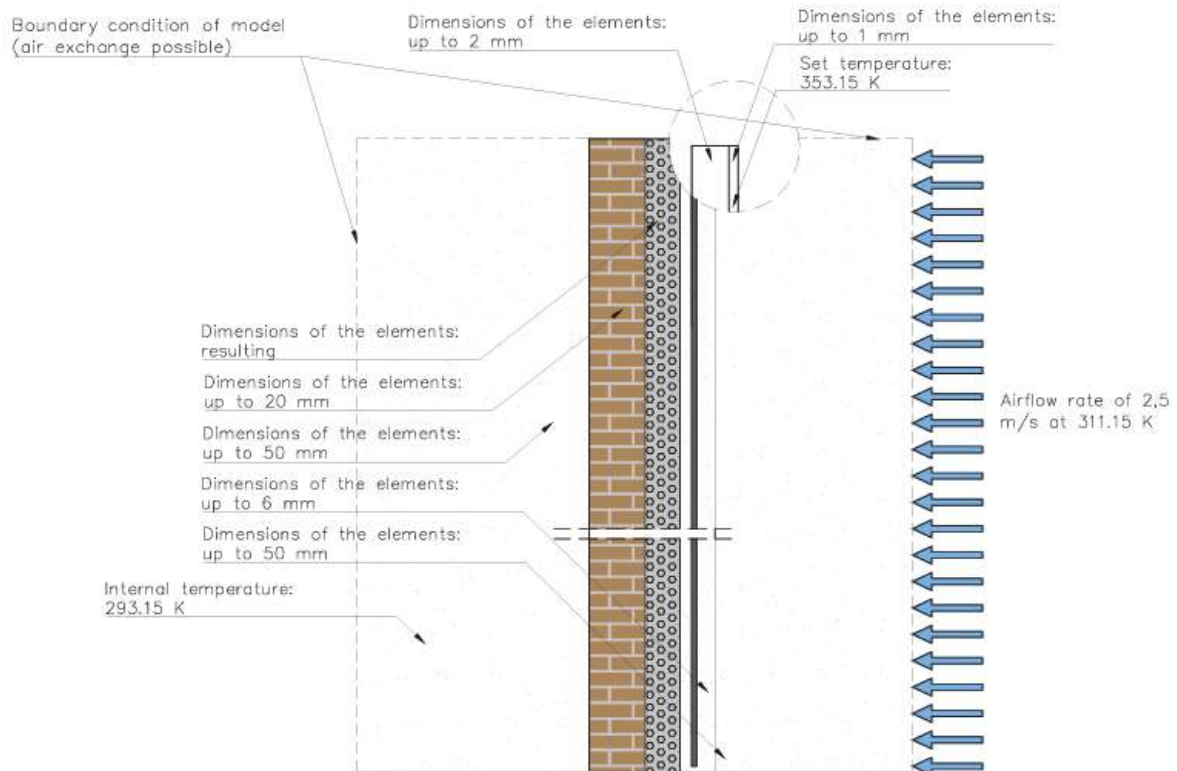
Parametri vanjske i unutarnje temperature usvojeni su na temelju standarda koji je na snazi u Europi: standard EN 1991-1-5. Pretpostavljena je najnepovoljnija računski situacija u odnosu na utjecaj temperature i insolacije tijekom ljetnog razdoblja. Fasada se nalazi u Poljskoj (Wroclaw), a nalazi se na južnoj strani zbog najveće insolacije. Norma ne uzima u obzir utjecaj visine iznad razine tla; usvaja se element neposredno iznad razine tla. Pretpostavlja se da će fasada biti izrađena u tzv. tamnim bojama zbog najveće apsorpcije sunčeve svjetlosti.

Parametri koji se odnose na takve pretpostavke:

- unutarnja temperatura je 293,15 K (20°C)
- vanjska temperatura je 311,15 K (38°C)
- dodatna temperaturna razlika zbog 42 K (42°C) sunčeve svjetlosti
- ukupna temperatura koja djeluje na fasadu na vrhuncu je
 $311,15 \text{ K (38°C)} + 42 \text{ K (42°C)} = 353,15 \text{ K (80°C)}$.

4.1.3. Numerički model

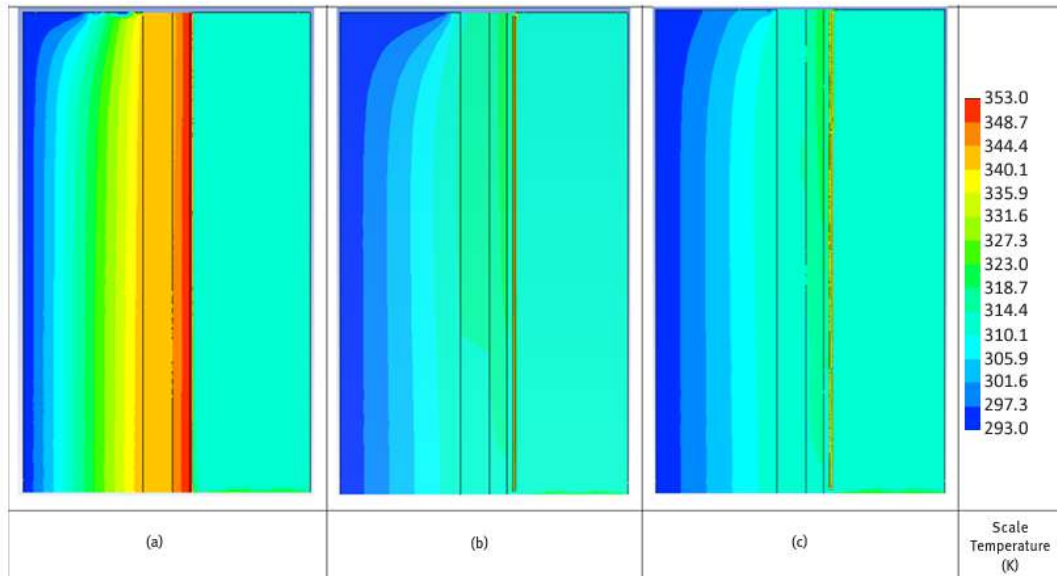
Numeričke simulacije izvedene su na dvodimenzionalni (2D) način u Ansys Fluentu. Zid je modeliran tako da s desne i lijeve strane ima zračni prostor. Dotok zraka s parametrom brzine od 2,5 m/s i temperaturom od 311,15 K (38°C) simulira vjetar. Osim toga, odgovarajuća temperatura od 353,15 K (80°C) na vanjskom rubu vlaknocementne ploče simulira insolaciju. Pretpostavlja se da su uvjeti unutar zgrade konstantni i da zrak u njoj ima početnu temperaturu od 293,15 K (20°C) i da se ne mijenja niti hladi. Zatvorena ventilirana fasada prikazana je na slici 29. Analogno tome usvojeni su i dijagrami za standardnu fasadu i otvorenu ventiliranu fasadu.



Slika 29. Numerički model zatvorene ventilirane fasade

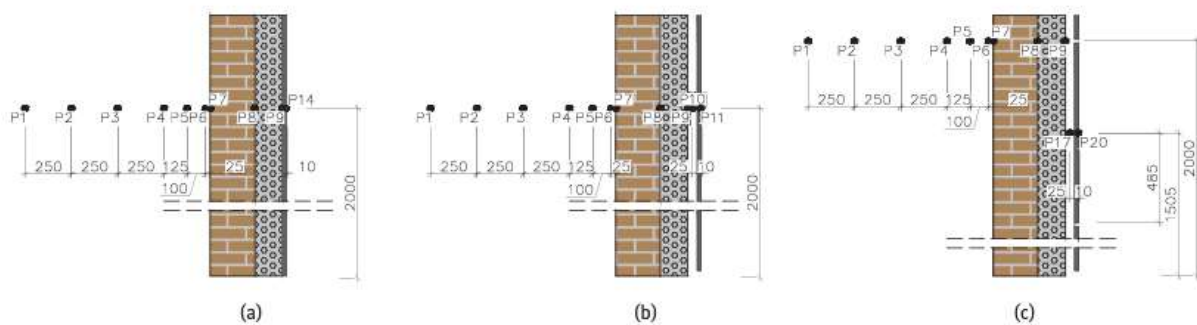
4.2. Rezultati numeričke simulacije

Rezultati numeričke simulacije prikazani su u obliku distribucije temperaturnih karata. (slika 30.) Temperaturne karte svih fasada prikazuju izolinije u različitim bojama, pokazujući temperature u čvrstim tvarima i plinovima. Vanjski rub vanjske obloge za sve fasade A, B i C ima sličnu temperaturu, uglavnom zbog toplinskog zračenja. Kao što se može vidjeti na slici 30. Korištenje tehnologije ventilirane fasade značajno smanjuje temperaturu iznutra (hladnija nijansa boje na temperaturnim kartama). Toplina izvana, kod ventilirane fasade, prenosi se uglavnom radiacijom.



Slika 30. Karte raspodjele temperature pročelja dobivene numeričkom simulacijom: (a) standardna fasada, (b) zatvorena ventilirana fasada i (c) otvorena ventilirana fasada.

Temperatura je kontrolirana na sljedećim točkama: unutar prostorije, 6 mjernih točaka; unutar ruba potpornog zida; rub potpornog zida, izolacija; rub izolacije, vanjske obloge u slučaju standardne fasade; vanjski rub izolacije kod fasada B i C; zračna šupljina kod fasada B i C; i vanjski rub vanjske obloge. Visina na kojoj je kontrolirana temperatura je 2000 mm od poda, uz nekoliko iznimaka za otvorenu ventiliranu fasadu. (slika 31.)



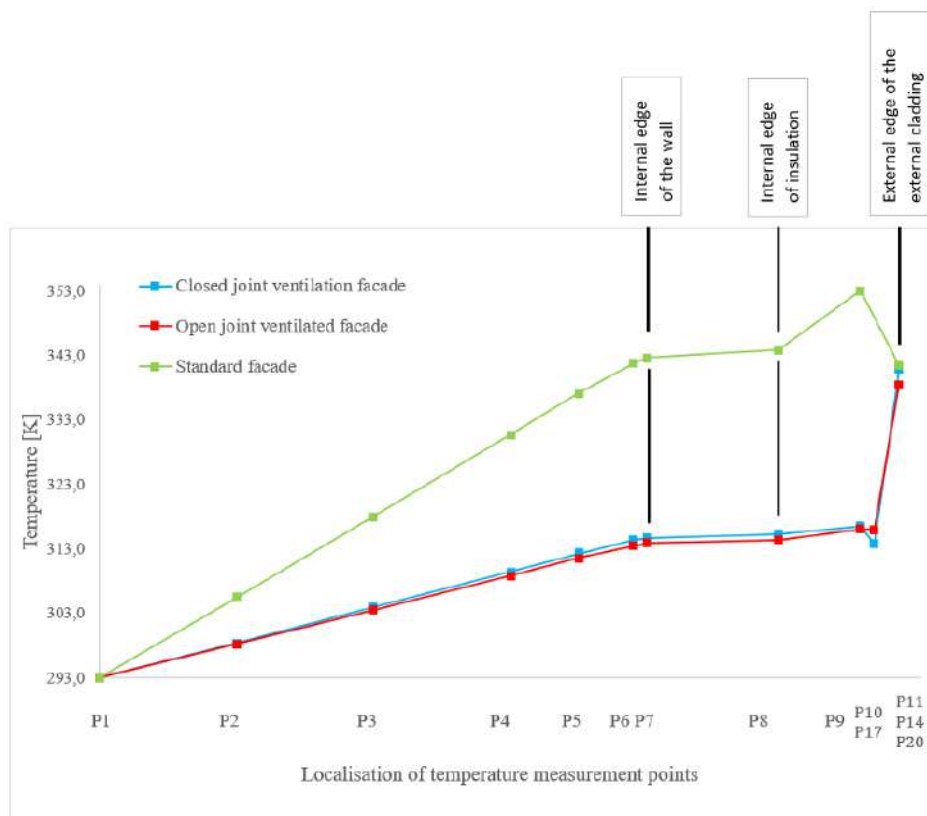
Slika 31. Položaj točaka mjerenja temperature: (a) standardna fasada, (b) zatvorena ventilirana fasada i (c) otvorena ventilirana fasada

Karakteristične vrijednosti temperature s postocima prikazane su u tablici 3.

	P1		P3		P7		P10/P17		P11/P14/P20	
Localisation	Starting point		40 cm from the wall		Internal edge of the		Air cavity		External edge of	
Standard facade	293.15 K (20°C)	100%	319.07 K (45.92°C)	100%	342.73 K (69.58°C)	100%	-	-	341.51 K (68.36°C)	100%
Closed-joint ventilated facade	293.15 K (20°C)	100%	303.96 K (30.81°C)	95,3%	315.34 K (42.19°C)	92.0%	313.81 K (40.66°C)	99.3%	340.93 K (67.78°C)	99.8%
Open-joint ventilated facade	293.15 K (20°C)	100%	303.55 K (30.40°C)	95,1%	313.91 K (40.76°C)	91.6%	316.02 K (42.87°C)	100%	338.59 K (65.44°C)	99.1%

Tablica 3. Karakteristične vrijednosti temperature

Graf 1 prikazuje rezultate kontrole temperature na mjernim točkama temperature za fasade A, B i C. Linija dijagrama standardne fasade značajno se razlikuje ; vrijednosti su puno veće. Linije dijagrama otvorene i zatvorene ventilirane fasade prikazuju slične vrijednosti, osim temperature unutar zračne šupljine. Temperatura u zračnoj šupljini između izolacije i vanjske obloge kod ventiliranih fasada s otvorenim spojevima je približno 3 K (3°C) viša. To je vjerojatno zbog većeg broja ventilacijskih otvora koji dovode i ispuštaju zrak. . Temperaturna razlika koja ukazuje na to da su ventilirane fasade povoljnije je oko 28 K (28°C), što je oko 44% niže od one u slučaju standardne fasade.



Graf 1. Pregled temperature za kontrolne točke pojedinih vrsta fasada

4.3. Zaključak numeričke simulacije

Ventilirane fasade vrlo dobro odgovaraju sve većim zahtjevima koji se postavljaju pred zgrade u pogledu toplinske udobnosti i njihove upotrebe. Ove fasade mogu se koristiti ne samo u regijama svijeta s visokim temperaturama, već i u regijama s umjerenom klimom. Treba tražiti rješenje za poboljšanje učinkovitosti ovih fasada u razdobljima sniženih temperatura. Još jedna neupitna prednost povećanja popularnosti ventiliranih fasada može biti smanjenje njihove cijene u odnosu na standardne fasade (koje su danas nekoliko puta jeftinije). Na temelju numeričkih simulacija prikazanih u ovom članku, pokazalo se da je temperatura na unutarnjem rubu potpornog zida oko 28 K (28°C), niža za ventilirane fasade, što je oko 44% niže od one za standardnu fasadu. Odabir tehnologije ventilirane fasade sa zatvorenim ili otvorenim spojevima ima minimalan utjecaj na toplinsku učinkovitost cijelog dijela – razlika je manja od 0,85 K (0,85°C). Numeričke simulacije su vrlo dobra i jeftina alternativa eksperimentalnim testovima. Smjer sukcesivnih numeričkih simulacija ventiliranih fasada trebao bi, prema mišljenju autora, biti usmjeren na ispitivanje utjecaja brzine strujanja zraka na zračnu šupljinu i objašnjenje odstupanja na mjestima dodatnih ventilacijskih otvora.

[17]

5. ZAKLJUČAK

Fasada predstavlja važnu ulogu još od povijesti građevinarstva, iako je njezina uloga bila pretežito estetska. Danas je fasada obavezni dio građevine koji aktivno sudjeluje u interakciji s unutarnjim i vanjskim klimatskim čimbenicima.

Ventilirane fasade procvat su doživjele tek u novije doba. Za razliku od kompaktnih, one imaju zračni sloj između obloge i toplinske izolacije koji služi za prirodnu cirkulaciju zraka, što doprinosi smanjenju količine energije koja je potrebna da bi se zadovoljili uvjeti pogodni za život unutar građevine i paralelno s tim manje troškove grijanja i hlađenja. Pružaju bolju zaštitu građevini od standardne ETICS fasade jer nosivi zidovi nikada nisu direktno izloženi atmosferskim utjecajima. Dugotrajnije su, mogu se ugrađivati u svim klimatskim uvjetima i estetski su raznovrsnije, pružajući zgradi moderniji izgled.

Osim utjecaja na smanjenje potrošnje energije u zgradama, smanjuje se i utjecaj izravnog sunčevog zračenja kao i lošeg vremena na same zidove, čime ih štiti od negativnih utjecaja koji djeluju na tradicionalne fasadne sustave.

Na temelju numeričkih simulacija pokazalo se da temperatura na unutarnjem rubu potpornog zida ventilirane fasade, može biti čak 44% niža od one za standardnu fasadu.

Uz ove prednosti također je važno navesti da je mogućnost toplinskih mostova svedena na minimum kao i mogućnost kapilarnog podizanja vode. Jedini nedostatak im je cijena (ventilirane fasade su često skuplje u usporedbi s klasičnim fasadama, a cijena može varirati ovisno o materijalima i oblicima koji se koriste, kao i o kompleksnosti instalacije).

U zaključku, ventilirane fasade su zaista energetske učinkovite i funkcionalna alternativa standardnim fasadnim sustavima. One nude niz prednosti, uključujući bolju termičku izolaciju, kontrolu vlage, mogućnost prirodne ventilacije i estetsku fleksibilnost. Međutim, važno je napomenuti da odabir između ventiliranih i klasičnih fasadnih sustava ovisi o specifičnim potrebama i ciljevima projekta, kao i o financijskim ograničenjima. Pravilno projektiranje i izvođenje ventiliranih fasada mogu pružiti brojne koristi, uključujući energetske učinkovitost, produženi životni vijek zgrade i poboljšanu unutarnju kvalitetu zraka.

6. LITERATURA

IZVORI:

- [1] <https://www.jutarnji.hr/domidizajn/sve-prednosti-i-mane-izoliranja-zbukom-4562864>
- [2] <https://kontours.hr/izrada-fasade/>
- [3] Kalšan, D. ; Milovanović, B. ; Hrvatska udruga proizvođača toplinsko-fasadnih sustava (2016) : Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb
- [4] <https://www.dominvest.hr/sto-je-etics-sustav/>
- [5] <https://www.nezavisne.com/novosti/drustvo/Sta-su-ETICS-fasade-i-kolike-ustede-Vam-mogu-donijeti/636602>
- [6] <https://www.prolisur.com/en/thermal-insulation/etics/>
- [7] https://www.emajstor.hr/clanak/712/toplinski_most_-_nepravilna_izolacija_fasade
- [8] https://hr.wikipedia.org/wiki/Ventilirana_fasada
- [9] <http://www.econ.hr/rainscreen3.php>
- [10] Građevinski fakultet; Toplinska svojstva materijala; Raspoloživo na: https://www.grad.unizg.hr/download/repository/3._VJEZBE.pdf
- [11] <https://webgradnja.hr/specifikacije/742/ventilirane-fasade>
- [12] <https://www.siteproject.hr/ventilirane-fasade/>
- [13] <http://www.size-projekti.hr/ventilirane-fasade-p10>
- [14] <https://stonesizepanels.com/ventilated-facade>
- [15] <http://www.econ.hr/rainscreen2.php>
- [16] <http://www.izovat.info/djelatnost-html/vjetro/vjetro.html>
- [17] Krzysztof Schabowicz ; Łukasz Zawiślak ; Studia Geotechnica et Mechanica, 2020; 42(4): 297–305 ; Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades sgem_2020_4_02.pdf (dbc.wroc.pl)
- [18] Zakon o gradnji ; Nar. nov., br. 175/03 i 100/04

SLIKE:

Slika 1. Vapneno – cementna žbuka (izvor: <https://indec.ru/hr/plaster-for-external-walls-decorative-polymer-plasters.html>)

Slika 2. Prolaz topline kroz zid bez toplinske izolacije i s toplinskom izolacijom (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 3. Ekspandirani polistiren

(izvor: http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html)

Slika 4. Celuloza (izvor: <https://www.stabilokuce.hr/fr/category/izolacija/>)

Slika 5. Paneli od slame (izvor:)

Slika 6. Pluto (izvor: <https://www.hidroizo.hr/termoizolacija/>)

Slika 7. Presjek strukture ETICS sustava (izvor: <https://www.dominvest.hr/sto-je-etics-sustav/>)

Slika 8. ETICS sustav s MW i EPS (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 9. Nanošenje temeljnog polimer-cementnog sloja na mineralnu vunu i utiskivanje staklene mrežice (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 10. Nanošenje završno dekorativne žbuke (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 11. Neodgovarajuće ugrađen ETICS sustav, Vukovar, svibanj 2010 (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 12. Neodgovarajuće ugrađen ETICS sustav (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 13. Toplinski most (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 14. Cirkulacija zraka (izvor: <https://www.siteproject.hr/ventilirane-fasade/>)

Slika 15. Konstruktivni elementi ventilirane fasade (izvor: <https://fondeco.ru/>)

Slika 16. Drvena podkonstrukcija i metalna podkonstrukcija (izvor: Senova; 04/2018; Technische informationen aussenanwendungen)

Slika 17. Vodoravni sustav ugradnje ventilirane fasade (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 18. Okomiti sustav ugradnje ventilirane fasade (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 19. Postupak ugradnje nosive konstrukcije sustava ventiliranih fasada (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 20. Samourezni vijci za metal i drvo (izvor: <https://kimeel.com/proizvod/krovni-vijci-za-lim/>)

Slika 21. Vidljiva kopča za kamene ploče, nevidljiva kopča za kamenu fasadu i nevidljivi moždanici (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 22. Ventilirana fasada- zimski i ljetni period (izvor:<https://stonesizepanels.com/ventilated-facade>)

Slika 23. Loša montaža podkonstrukcije (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 24. Oštećenja uslijed jake bure, Trsat, Rijeka (izvor: <http://forum.lokalpatrioti-rijeka.com/>)

Slika 25. Primjer oštećenja završne obloge uslijed nedovoljne ventilacije prostora iza obloge što je dovelo do smrzavanja vlage i oštećenja ploča (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 26. Primjer oštećenja ventilirane fasade: rastom vegetacije iz fuga između panela i primjer rasta gljivica (izvor: Priručnik za trenere / Fasader, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb)

Slika 27. Ventilirana fasada sa: otvorenim spojem i zatvorenim spojem (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades)

Slika 28. Fasadni dijagrami za numeričke simulacije: standardna fasada, ventilirana fasada sa: otvorenim spojem i otvorenim spojem (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades)

Slika 29. Numerički model zatvorene ventilirane fasade (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades)

Slika 30. Karte raspodjele temperature pročelja dobivene numeričkom simulacijom: standardna fasada, zatvorena ventilirana fasada i otvorena ventilirana fasada (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades)

Slika 31. Položaj točaka mjerenja temperature: standardna fasada, zatvorena ventilirana fasada i otvorena ventilirana fasada (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour

Between Ventilated Facades)

TABLICE:

Tablica 1. Smjernice za vodoravni razmak okomitih profila nosača (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades)

Tablica 2. Termodinamičke karakteristike materijala (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades)

Tablica 3. Karakteristične vrijednosti temperature (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades)

GRAF:

Graf 1: Pregled temperature za kontrolne točke pojedinih vrsta fasada (izvor: Numerical Comparison of Thermal Behaviour Between Ventilated Facades)