

VISOKA ENERGETSKA EFIKASNOST, MALI UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU, PRISTUPAČNOST:

ANALIZA PRIMENE PRINCIPA PASIVNE KUĆE U
VIŠESTAMBENIM ZGRADAMA U SRBIJI



DAVOR KONČALOVIĆ, DUBRAVKA ŽIVKOVIĆ, VLADIMIR
VUKAŠINović, DANijela NIKOLIĆ, DUŠAN GORDIĆ

**VISOKA ENERGETSKA EFIKASNOST, MALI UTICAJ NA ŽIVOTNU
SREDINU, PRISTUPAČNOST: ANALIZA PRIMENE PRINCIPA PASIVNE KUĆE
U VIŠESTAMBENIM ZGRADAMA U SRBIJI**

Autori

Regionalni Evro centar za energetsku efikasnost Kragujevac
Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

Dr Davor Končalović

Docent

Dr Dubravka Živković

Naučni saradnik

Dr Vladimir Vukašinović

Docent

Dr Danijela Nikolić

Docent

Dr Dušan Gordić

Redovni profesor i direktor RCEEK

Prevod sa engleskog

Sebastian Adanko

novembar 2019. godine

Ovu publikaciju finansiralo je nemačko Savezno ministarstvo za ekonomsku saradnju i razvoj (BMZ) posredstvom Nemačko-srpske inicijative za održivi rast i zapošljavanje. Publikacija je nastala na osnovu analize *Pametno stanovanje: Analiza potencijala integralne primene materijala i tehničkih instalacija visokih energetskih svojstava/malog uticaja na životnu sredinu, kao i obnovljivih izvora energije, u izgradnji cenovno pristupačnih zgrada za kolektivno stanovanje u Srbiji*. Analiza, rezultati i preporuke date u ovom istraživanju predstavljaju stav autora i ne mogu se nužno smatrati stavom donatora.

SADRŽAJ

7	UVOD
8	Zašto je pristup pasivne zgrade potencijalno relevantan?
11	REZIME ISTRAŽIVANJA
15	1. PRINCIP PASIVNE KUĆE
18	1.1. Novi standard pasivne kuće: Metodologija zasnovana na obnovljivoj primarnoj energiji (MOPE) u odnosu na metodologiju zasnovanu na Primarnoj energiji (MPE)
20	1.2. Doplata za pasivne kuće
23	1.3. Pasivna kuća u Srbiji (tržišni uslovi)
24	1.4. Klima i pasivna kuća
26	1.5. Faktor oblika
29	2. PAMETNIJA ZGRADA, PIONIRSKI PROJEKAT UDRUŽENJA KO GRADI GRAD
30	2.1. Glavni podaci o pilot projektu

<p>35 3. OMOTAČ PAMETNIJE ZGRADE</p> <p>36 3.1. Glavni građevinski materijal 38 3.1.1. Fizički i ekonomski aspekti predloženih materijala 38 3.1.1.1. Autoklavirani gas-beton 40 3.1.1.2. Unakrsno lamelirano drvo 43 3.1.1.3. Prefabrikovani drveni kompozitni paneli 45 3.1.2. Uticaj na dužinu gradnje i prihode od iznajmljivanja 46 3.1.3. Preporučeni materijal za izgradnju Pametnije zgrade 47 3.2. Izolacioni materijali 54 3.3. Prozori 58 3.3.1. Roletne</p> <p>65 4. SISTEM KGH I SANITARNE TOPLE VODE</p> <p>67 4.1.1. Druge prepostavke 68 4.2. Vazdušni i vodeni sistemi KGH 69 4.2.1. Vazduh kao nosilac toplice 70 4.2.2. Voda kao nosilac toplice 71 4.3. Centralizovana i decentralizovana isporuka energije grejanja/hlađenja 71 4.3.1. Centralizovana isporuka energije grejanja/hlađenja 72 4.3.2. Decentralizovana isporuka energije grejanja/hlađenja 73 4.4. Centralizovana i decentralizovana mehanička ventilacija sa rekuperacijom toplice 73 4.4.1. Centralizovana mehanička ventilacija sa rekuperacijom toplice 74 4.4.2. Decentralizovana ili individualna mehanička ventilacija sa rekuperacijom toplice 75 4.5. Preporučeni sistem KGH 78 4.6. Sistem sanitarno toplice vode</p> <p>81 5. FOTONAPONSKA ELEKTRANA</p> <p>87 6. POMOĆNI SISTEMI</p> <p>87 6.1. Izmenjivač toplice zemlja-vazduh 90 6.2. Solarni termalni kolektori 91 6.3. Sistem termodinamičkih solarnih panela 92 6.4. Solarni dimnjak 93 6.5. Sezonsko skladištenje toplice</p>	<p>SADRŽAJ</p> <p>95 7. EKOLOŠKI OTISAK</p> <p>99 7.1. Smanjenje emisija kao rezultat fotonaponske elektrane</p> <p>101 8. DODATNA PITANJA NA KOJA JE POTREBNO OBRATITI PAŽNJU</p> <p>101 8.1. Navike 107 8.1.1. Efekat podešene sobne temperature na potrošnju energije 110 8.2. Faktor oblika67 110 8.3. Cena i druga pitanja povezana sa električnom energijom u Srbiji</p> <p>119 9. METODOLOGIJA I REZULTATI</p> <p>121 9.1. OpenStudio model 125 9.2. Tabelarni alat za ocenu Pametnije zgrade 127 9.3. Rezultati</p> <p>135 10. PREPORUKE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA</p> <p>137 11. ZAKLJUČAK</p> <p>141 Bibliografija 145 Slike 149 Tabele</p>
--	--

Autoklavirani gas-beton (Autoclaved Aerated Concrete)

građevinski materijal napravljen od mešavine peska, kreča, cementa i vode, sa aluminijumskim prahom kao ekspandirajućim agensom

– AAC

Unakrsno lamelirano drvo (Cross-Laminated Timber)

drveni građevinski materijal napravljen lepljenjem više slojeva rezane grader

– CLT

Koeficijent grejanja (hladenja) (Coefficient of Performance)

parametar koji opisuje odnos korisne energije topotne pumpe (bilo rashladne ili grejne) i energije koju ona utroši

– COP

Diskontna stopa

izražava vremensku vrednost novca i može uticati na procenu rentabilnosti nekog investicionog projekta

– d

Sistem za pripremu sanitarnе tople vode

polu-nezavisan ili nezavisan sistem za pripremu sanitarnе tople vode

– SSTV

Bruto domaći proizvod

vrednost svih proizvedenih dobara i pruženih usluga u određenom vremenskom periodu, obično od godinu dana

– BDP

Klimatizacija, grejanje i hlađenje

sistem za ventilaciju i tretiranje vazduha u zatvorenom prostoru

– KGH

Neto trenutna vrednost

metoda koja se koristi za utvrđivanje trenutne vrednosti svih budućih tokova novca koje neki projekat generiše

– NTV

Metodologija sertifikacije zasnovana na obnovljivoj primarnoj energiji

metodologija za evaluaciju i kategorizaciju pasivnih kuća propisana od strane PHI, razvijena za duži naredni period

– MOPE

Metodologija sertifikacije zasnovana na primarnoj energiji

metodologija propisana od strane PHI koja se koristila pre MOPE i koja se i dalje primenjuje u prelaznom periodu

– MPE

Passivhaus Institut

istraživački institut i vodeća ustanova za sprovođenje koncepta pasivne kuće, čiji je osnivač dr Wolfgang Fajst, jedan od tvoraca tog koncepta

– PHI

Prefabrikovani drveni kompozitni paneli

sistem gradnje na bazi drvenih elemenata, usvojen prema zahtevima koncepta pasivne kuće

– PDKP

Pametnja Zgrada

pionirski projekat udruženja Ko gradi grad iz Beograda

– PZ

Jugoistočna Evropa

geografski region Evrope, u koji se ubrajaju prvenstveno zemlje Balkanskog poluostrva, a ponekad i Turska

– JIE

UVOD

Može li energetski efikasna, ekološka stanogradnja doprineti nižim cenama i dugotrajnjim rešenjima u stambenom sektoru u Srbiji, i tako odgovoriti potrebama građana? I, da li to zahteva mere drugačije od onih koje se obično primenjuju u okviru inovativnih pristupa rešavanja stambenih pitanja u drugim zemljama?

Istraživanje koje je pred vama zasniva se upravo na ovim kompleksnim pitanjima.

Neposredni povod za ovu studiju je predstojeći pilot projekat Pametnja zgrada (PZ) za izgradnju objekta sa više stambenih jedinica, koji u Beogradu razvija udruženje Ko gradi grad. Pametnja zgrada je prva stambena zadruga osnovana u Beogradu u poslednjih skoro dvadeset godina, a njena izgradnja predviđena u naredne dve do tri godine. Cilj istraživanja je da proceni održivost uvođenja pristupačnih, energetski efikasnih i ekoloških elemenata u izgradnju ovakve višestambene zgrade, imajući u vidu lokalni kontekst.

U stambenom sektoru u Srbiji postoji ogroman prostor za poboljšanje: ponuda i potražnja nisu u ravnoteži, a stepen raznovrsnosti postojećih modela vlasništva ili upravljanja zgradama je nizak.

Veliki deo stanovništva nije u mogućnosti da ostvari svoje osnovne stambene potrebe kupovinom ili najmom nekretnina. Za one koji žele da se osamostale i sebi obezbede pouzdano stambeno rešenje situacija je često nerešiva u trenutnim okolnostima. Procena je da samo 15% stanovništva može da kupi stan na tržištu bez institucionalne podrške, 69% mladih (uzrasta 18-34 godine) i dalje živi sa roditeljima (Eurostat, 2018), a stanovi u javnom vlasništvu, kojih ima približno 1%, ne mogu mnogo toga da reše. Osim toga, stanovanje predstavlja sve veći izazov za građane Srbije: 66% domaćinstava odvaja više od 40% svojih prihoda na osnovne troškove stanovanja

(najveći procenat u Evropi, Eurostat 2018), zbog čega je značajan broj njih u opasnosti od isključivanja komunalnih usluga (grejanje, električna energija itd.).

Srbiji je neophodan nov pristup sektoru stanogradnje, i to takav da kao investicija bude pristupačan, ali i da podrazumeva dugoročno niske troškove života. S obzirom na to da proizvodnja nekretnina predstavlja jedan od najaktivnijih sektora u Srbiji, a gradnja jedan od faktora koji najviše doprinosi klimatskim promenama (direktni uticaj građevinarstva na nivo ugljen-dioksida, kao i dugoročni uticaj potrošnje energije tokom korišćenja zgrada), neminovno je da svaki pokušaj uvođenja inovacija u stambeni sektor istovremeno zahteva i smanjenje ekološkog otiska.

Zato ova analiza povezuje obe navedene ambicije: potragu za cenovno pristupačnom stambenom zgradom koja troši malo energije, i ima niži ekološki otisak od uobičajenih objekata.

Ovo istraživanje finansiralo je Ministarstvo za ekonomsku saradnju i razvoj Nemačke (BMZ) kroz Nemačko-srpsku inicijativu za održivi rast i zapošljavanje. Analiza, rezultati i preporuke ove studije predstavljaju mišljenje autora i ne predstavljaju nužno i stav donatora.

ZAŠTO JE PRISTUP PASIVNE ZGRADE POTENCIJALNO RELEVANTAN?

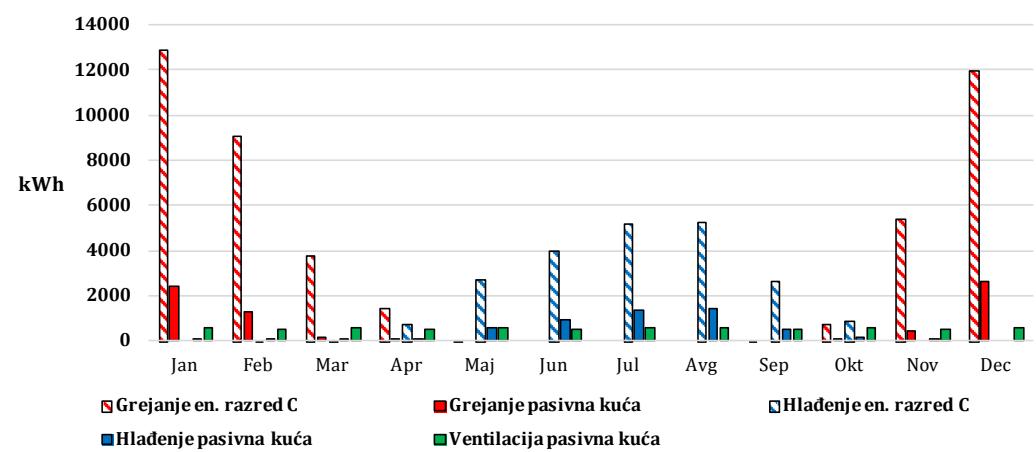
Kada tražimo pristup izgradnji koji podrazumeva malu potrošnju energije, postoji nekoliko rigoroznih, savremenih građevinskih standarda (razvijenih širom sveta i primenjenih u brojnim projektima) koje treba razmotriti: Liderstvo u energetskom i ekološkom projektovanju (LEED – Leadership in Energy & Environmental Design), Zgrade gotovo nulte energije (NZEB – Nearly Zero Energy Building), Zgrade nulte energije (ZE – Zero Energy Building), Nulta neto emisija ugljen-dioksida (Net Zero Carbon), Pasivna kuća i drugi.

Isto tako, važno je razmotriti i kontekst u kojima takve zgrade treba da funkcionišu. Kada je reč o domaćem tržištu stanogradnje, raspoloživost kapitala za izgradnju je usled relativno slabe privrede ograničena, dok građevinske poslove najvećim delom obavlja niskokvalifikovana radna snaga. Situaciju dodatno komplikuje i to što je iskustvo u izgradnji ambicioznih objekata sa malom potrošnjom energije ograničeno, a u oblasti izgradnje višestambenih zgrada po pristupačnoj ceni skoro i da ne postoji.

To ukazuje na potrebu uspostavljanja građevinskog standarda, koji uprkos rigoroznosti, može biti ostvaren relativno jednostavnim i dokazanim tehničkim merama koje su raspoložive na lokalnom tržištu.

Standard „pasivne kuće“ nudi kombinaciju energetske efikasnosti, mogućnosti dostizanja ovog standarda efikasnosti uz relativno skromna ulaganja, proverene metodologije izračunavanja pomoću programskog alata Passive House Planning Package (PHPP), kao i višedecenijskih iskustava u realizaciji hiljada projekata širom sveta. Zato je udruženje Ko gradi grad preliminarno izabralo baš standard pasivne kuće kao najverovatnijeg kandidata za predstojeci pilot projekat.

Razlika između rezultata modeliranja za krajnju potrošnju energije pasivne kuće (*niskoenergetski blokovi od autoklaviranog gas-betona debljine 20 cm, zidna izolacija kamenom vunom debljine 15 cm, izolacija krova kamenom vunom debljine 30 cm, geotermalna toplotna pumpa*) i C energetskog razreda u skladu sa domaćim pravilnikom [1] (*niskoenergetski blokovi od AAC debljine 30 cm, bez zidne izolacije, izolacija krova kamenom vunom debljine 15 cm, sa pojedinačnim gasnim kotlovima i pojedinačnim klima uređajima sa split sistemom*) za temperaturu zagrevanja od 20 °C i temperaturu hlađenja od 26 °C u oba slučaja prikazana je na slici 0.1 (i objašnjena kasnije u poglavlju 9).



Slika 0.1. Poređenje rezultata modeliranja energije potrebne za hlađenje i grejanje zgrade u energetskom razredu C (minimalni zahtev za nove stambene zgrade u Srbiji od 2012. godine, kojim su potrebe za zagrevanjem ograničene na maksimalno 60 kWh/m² godišnje) i pasivne kuće

Međutim, s obzirom na ograničenu primenu koncepta pasivne kuće u građevinarstvu u širem geografskom regionu Srbije (uključujući Hrvatsku, Sloveniju...) i dosadašnje skoro potpuno odsustvo primene ovog koncepta u izgradnji objekata sa više stanova, predmet ovog istraživanja je provera prepostavke o izboru ovog specifičnog standarda za ambiciozni pilot projekat Pametnija zgrada.

REZIME ISTRAŽIVANJA

Kako bi se ponudio odgovor na ključne izazove, istraživanje je podeljeno na nekoliko delova. Uvodni deo istraživanja podeljuje činjenicu da standard pasivne gradnje karakteriše skup jednostavnih, ali rigorozno primenjenih mera koje omogućavaju izuzetno nisku potrošnju energije. Kao i svi visokoefikasni sistemi, i pasivne kuće su osjetljive na različite uticaje, koji su na osnovu sprovedene analize identifikovani na nekoliko nivoa:

- klima u Beogradu i Srbiji je zahtevnija od klimatskih uslova u centralnoj Evropi u kojoj se ovaj standard gradnje odomaćio;
- električna energija u Srbiji je znatno jeftinija nego u ostatku Evrope, što demotivise ulaganja u energetsku efikasnost;
 - istovremeno, proizvodnju električne energije karakteriše znatno viši ekološki otisak po kWh utrošene električne energije u poređenju sa drugim zemljama;
- niska cena odomaćenog sistema gradnje (energetski razred C u skladu sa [1]), što konceptu pasivne kuće ostavlja mali manevarski prostor za ulaganja u mere energetske efikasnosti;
- tržište je nerazvijeno, sa relativno slabom ponudom građevinskog materijala pogodnog za ovaku vrstu gradnje, posebno kada je reč o ponudi materijala sa niskim uticajem na životnu sredinu.

U prvom poglavlju ovog istraživanja predstavljen je koncept pasivne kuće, a u poglavlju 1.3 je ovaj koncept detaljnije razmatran u kontekstu jugoistočne Evrope. U poglavlju 2 predstavljeno je udruženje Ko gradi grad i njegov pionirski projekat Pametnija zgrada, osmišljen kao prva višestambena pasivna kuća u Srbiji. Objekat koji karakteriše nizak ekološki otisak i težnja ka pristupačnoj ceni gradnje.

Omotač zgrade i odgovarajući materijali za njegovu konstrukciju obrađeni su u poglavlju 3, dok se o instalacijama za grejanje, hlađenje i ventilaciju govori u poglavlju 4. U narednom pasusu ukratko je izložen sadržaj ova dva poglavlja.

Da bi se pilot projekat Pametnija zgrada realizovao bilo je neophodno sagledati tehničke aspekte kao što su: odabir materijala omotača zgrade, odabir adekvatne instalacije za klimatizaciju, grejanje i hlađenje, kao i sistema za pripremu sanitarne tople vode. Ustanovljeno je da na tržištu u Srbiji postoje brojni proizvodi koji, primjenjeni na pravilan način, ispunjavaju zahteve standarda pasivne gradnje, ali kada se u ovim zahtevima akcenat stavlja na nizak ekološki otisak, izbor se značajno sužava. Na osnovu navedenog skupa zahteva, data je preporuka za nekoliko konkretnih načina/materijala gradnje. Tako, kada govorimo o zastakljenim površinama, kao jednoj od ključnih komponenti omotača zgrade, pri uslovima koji su trenutno prisutni u Srbiji, analiza pokazuje da posmatranom pilot projektu odgovaraju dvostruko zastakljeni prozori sa fiksnim senilima. Što se tiče sistema za klimatizaciju, grejanje i hlađenje, analiza pokazuje da najbolju kombinaciju efikasnosti, ekonomičnosti i jednostavnosti implementacije pruža decentralizovani sistem ventilacije sa centralizovanim izvorom toplotne (geotermalna toplotna pumpa ili, alternativno, toplotna pumpa vazduh voda). Za sistema za pripremu sanitarne tople vode se preporučuje centralizovani sistem integriran u sistem klimatizacije, grejanja i hlađenja.

Poglavlje 5 istražuje potencijal proizvodnje obnovljive električne energije na samoj zgradi. Integracija solarne fotonaponske elektrane je uobičajena mera i sastavni je deo ažuriranog standarda pasivne kuće. Ovde predstavljeni rezultati pokazuju da integracija solarne fotonaponske elektrane (kapaciteta 15–25 kWp) može obezbediti između približno 25 i 45 % potreba za primarnom energijom. Međutim, specifičnosti posmatranog tržišta koje se ogleda u nedostatku podsticajnih tarifa, nedostatku neto merenja i niskoj ceni električne energije značajno otežavaju donošenje odluke o implementaciji fotonaponske elektrane. Na sreću, očekivana cena fotonaponskih elektrana od svega 0,7 €/kWp u 2021. godini ostavlja dovoljan prostor za preporuku upotrebe ove tehnologije.

Dodatno, poboljšanje energetske efikasnosti pasivne kuće moguće je integracijom niza različite opreme dostupne na tržištu, opisane u poglavlju 6. Zaključak ovog poglavlja je da okolnosti favorizuju jeftina, tehnološki nezahtevna rešenja, te je solarni dimnjak preporučen kao jedina potencijalno prihvatljiva opcija za ovaj pilot projekat, (decidno) odbacujući rešenja koja bi itekako mogla biti zanimljiva pri drugačijim tržišnim uslovima.

Analiza ekološkog otiska Pametnije zgrade nalazi se u poglavlju 7. Podeljena je na deo koji je rezultat faze izgradnje i na deo koji je posledica korišćenja objekata. Zaključak je da je ekološki otisak koji je posledica faze korišćenja objekta dominantan, pa se savetuje ulaganje u energetski efikasnu opremu i proizvodnju obnovljivih izvora na licu mesta, pre nego u građevinske materijale sa niskim ekološkim otiskom.

Nakon toga, poglavlje 8 se bavi nekim specifičnostima situacije u Srbiji, između ostalog izazovom koji niska cene električne energije predstavlja za finansijsku održivost energetski efikasnih zgrada, ali i uticajem koji ponašanje t.j. navike stanara imaju na korišćenje zgrade.

U poglavlju 9 je najpre predstavljena korišćena metodologija, a zatim i sistematizovani rezultati ove studije. Krajnji rezultat analize tehničkih, društvenih i drugih faktora na izgradnju i korišćenje Pametnije zgrade je metodologija na osnovu koje je nastao proračunski alat čiji je cilj omogućavanje budućim članovima Pametnije zgrade da razumeju posledice konkretnih tehnoloških izbora na cenu izgradnje i upotrebe zgrade, kao i život u njoj. Poglavlje 10 ukazuje na prostor koji se otvorio za buduća istraživanja. Zaključak je dat u poglavlju 11, praćen konstatacijom da u sadašnjim okolnostima postoji mala, ekonomski pozitivna margina koja omogućava implementaciju projekta Pametnije zgrade u Srbiji po principima pasivne kuće. Ipak, realizacija ovakvog pilot projekta nije merljiva samo ekonomskim faktorima, već se može očekivati da će odigrati važnu ulogu u otvaranju pristupačnog, energetski efikasnog i ekološki održivog stanovanja u Srbiji.

POGLAVLJE 1

PRINCIP PASIVNE KUĆE

Standard pasivne kuće je nastao u Nemačkoj krajem 80-ih godina prošlog veka u okviru pokušaja da se potpuno reformiše stambeni sektor tog vremena (pod pritiscima prve i druge naftne krize). Do danas je ovim pristupom sagrađeno 60.000 sertifikovanih¹ objekata veličine od malih slobodno stojećih kuća do poslovnih objekata poput supermarketa ili javnih objekata kao što su škole. Objekti su građeni pretežno u zapadnoj i severnoj Evropi (slika 1.1), uz vidljiv trend širenja ka SAD, Kanadi, Japanu, Kini i drugim, najrazvijenijim zemljama i/ili zemljama koje se krupnim koracima približavaju toj grupi. Treba napomenuti i to da je na Balkanu prisutan veliki nedostatak ovakve vrste zgrada.



Slika 1.1. Mapa sertifikovanih pasivnih kuća u Evropi² (oktobar 2019. godine)

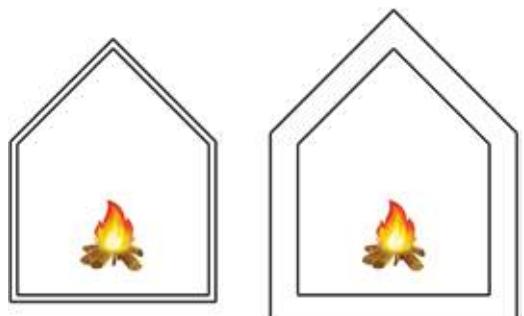
¹ Sertifikaciju pasivnih kuća primenom rigoroznih postupaka vrši Passivhaus Institut, sa sedištem u nemačkom gradu Darmštatu.

² <https://database.passivehouse.com/buildings/map/>

Pasivnoj kući (princip ilustrovan na slici 1.2 i slici 1.3) nije potrebno dodatno zagrevanje u hladnjim klimatskim uslovima zbog odličnih toplotnih svojstava, nasuprot konvencionalnom pristupu gde je potrebno dodatno zagrevanje kako bi se nadoknadi gubici toplote.



Slika 1.2. Konvencionalni pristup (levo – umerena klima, desno – hladna klima)



Slika 1.3. Pripust pasivne kuće (levo – umerena klima, desno – hladna klima)

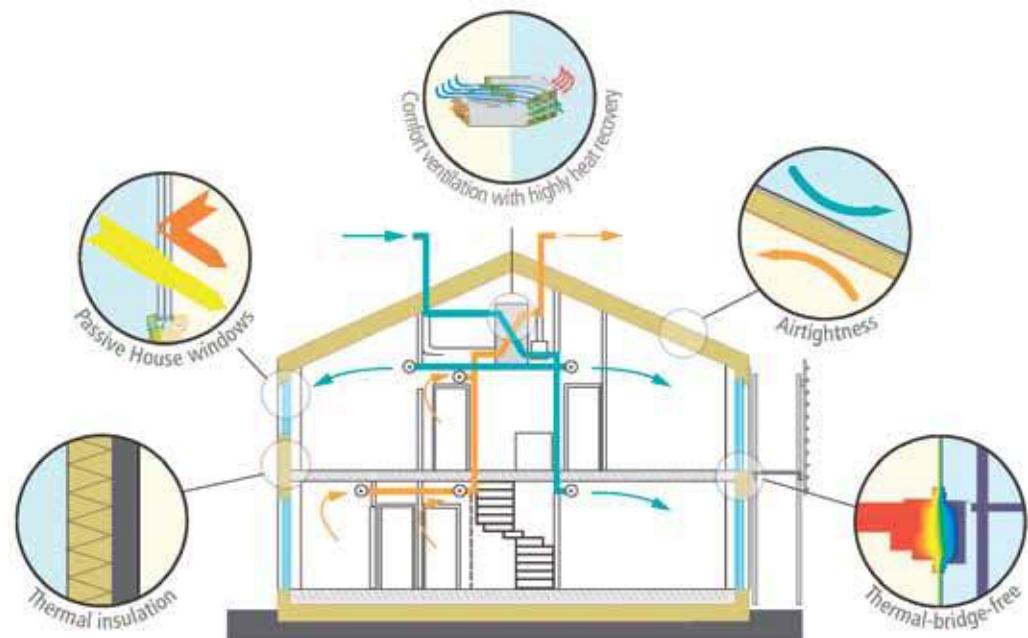
U praksi se takvi rezultati postižu preduzimanjem nekoliko koraka, koji počinju planiranjem, a završavaju se pažljivim izvođenjem radova, pri čemu se uvek vodi računa o sledećih **pet** ključnih principa:

- toplotna izolacija zidova; iako vrednosti za nove zgrade nisu brojčano specifcirane, praksa je pokazala da omotač zgrade treba da bude veoma dobro izolovan, sa U -vrednostima u rasponu od $0,1$ [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] u hladnim klimatskim zonama do $0,3$ [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] u umereno toplim klimatskim zonama;
- zaptivenost omotača zgrade; dozvoljeno propuštanje vazduha kroz omotač zgrade iznosi najviše $0,6$ zapremina zgrade na sat pri generisanom nadpritisku u objektu u visini od 50 Pa u odnosu na okruženje. Prilikom certifikacije, ova vrednost se proverava sprovođenjem tzv. „blower door“ testa (test propustljivosti vazduha).

■ prozori pasivne kuće; iako U -vrednost nije definisana, poznato je da, u zavisnosti od klimatskih uslova, preporučena vrednost treba da bude oko $0,8$ [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] za ceo prozor (okvir i zastakljenje). Posebnu pažnju treba obratiti na toplotne mostove i zaptivanje prozora.

■ gradnja bez toplotnih mostova; svi spojevi, ivice i penetracije moraju se izvesti sa posebnom pažnjom radi sprečavanja pojave toplotnih mostova.

■ komforna ventilacija sa velikom efikasnošću rekuperacije topline; poslošto je zgrada zaptivena, potrebna količina svežeg vazduha se obezbeđuje mehaničkom ventilacijom. Uloga tog sistema je obično višestruka: kao ventilacioni sistem, za grejanje, hlađenje i kao sistem za regulaciju vlažnosti vazduha, dok u višestambenim zgradama može funkcionisati i kao sistem za preraspodelu topline. Ovi sistemi su obično opremljeni automatski kontrolisanim optočnim vodovima (bypass), što svežem vazduhu omogućava da zaobiđe izmenjivač topline, na primer noću tokom perioda kada su dani topli, a noći hladne. Propisana efikasnost rekuperacije topline je najmanje 75%.



Slika 1.4. Pet principa pasivne kuće koji pomažu u postizanju tako male potrošnje energije, prema [2]

Kriterijumi održivosti, za konkretnе lokacije i orijentisani na budućnosti, za postizanje standarda pasivne kuće, prema [3], dati su u tabeli 1.1.

		Criteria	Alternative Criteria
Heating			
Heating demand	[kWh/(m ² a)]	≤ 15	-
Heating load	[W/m ²]	≤ -	10
Cooling			
Cooling + dehumidification demand	[kWh/(m ² a)]	≤ 15 + dehumidification contribution	variable limit value
Cooling load	[W/m ²]	≤ -	10
Airtightness			
Pressurization test result n ₅₀	[1/h]	≤ 0.6	
Renewable Primary Energy (PER)			
PER demand	[kWh/(m ² a)]	≤ Classic 60 Plus 45 Premium 30	±15 kWh/(m ² a) deviation from criteria...
Renewable energy generation (with reference to projected building footprint)	[kWh/(m ² a)]	≥ - 60 120	...with compensation of the above deviation by different amount of generation

Tabela 1.1. Kriterijumi za pasivne kuće [3]

1.1. NOVI STANDARD PASIVNE KUĆE: METODOLOGIJA ZASNOVANA NA OBNOVLJIVOJ PRIMARNOJ ENERGIJI (MOPE) U ODNOSU NA METODOLOGIJU ZASNOVANU NA PRIMARNOJ ENERGIJI (MPE)

S obzirom na to da je struktura snabdevanja energijom na globalnom nivou u tranziciji i kreće se od fosilnih izvora ka obnovljivim, stari sistemi procene potrebe za energijom u zgradama više nisu odgovarajući. Zato je predložen novi sistem evaluacije pasivnih kuća, zasnovan na obnovljivoj primarnoj energiji (MOPE). Time se uvedi novina, prema kojoj zgrade ne samo da troše energiju, već počinju i da je proizvode!

	Stari sistem (MPE)	Novi sistem (MOPE)
Energija potrebna za zagrevanje prostora	ne sme biti veća od 15 kWh/m^2 neto korisne površine godišnje, ili 10 W/m^2 u vršnom opterećenju	ne sme biti veća od 15 kWh/m^2 neto korisne površine godišnje, ili 10 W/m^2 u vršnom opterećenju
Energija potrebna za hlađenje prostora	približno jednaka energiji potrebnoj za zagrevanje, uz eventualno uvećanje za potrebe odvlaživanja vazduha u zavisnosti od klimatskih uslova	približno jednaka energiji potrebnoj za zagrevanje, uz eventualno uvećanje za potrebe odvlaživanja vazduha u zavisnosti od klimatskih uslova
Potreba za primarnom energijom	MPE - ne sme biti veća od 120 kWh/m^2 godišnje za sve kućne aparate (grejanje, hlađenje, zagrevanje vode i ostala potrošnja u domaćinstvu)	MOPE - ukupna energija koju potroše svi kućni aparati (grejanje, zagrevanje vode i ostala potrošnja u domaćinstvu) na godišnjem nivou ne sme biti veća od 60 kWh/m^2 grejane površine za standard Passive House Classic
Zaptivenost	najviše 0,6 izmena vazduha na sat pod pritiskom od 50 Pa (ACH50), što se meri testom na samom objektu (pod pritiskom i bez njega)	najviše 0,6 izmena vazduha na sat pod pritiskom od 50 Pa (ACH50), što se meri testom na samom objektu (pod pritiskom i bez njega)
Toplotni komfor	mora postojati u svim prostorijama tokom cele godine, sa najviše 10% sati u bilo kojoj godini sa temperaturama višim od 25°C	mora postojati u svim prostorijama tokom zime, kao i tokom leta, sa najviše 10 % sati u dатој godini sa temperaturama višim od 25°C

Tabela 1.2. Poređenje standarda MOPE i MPE

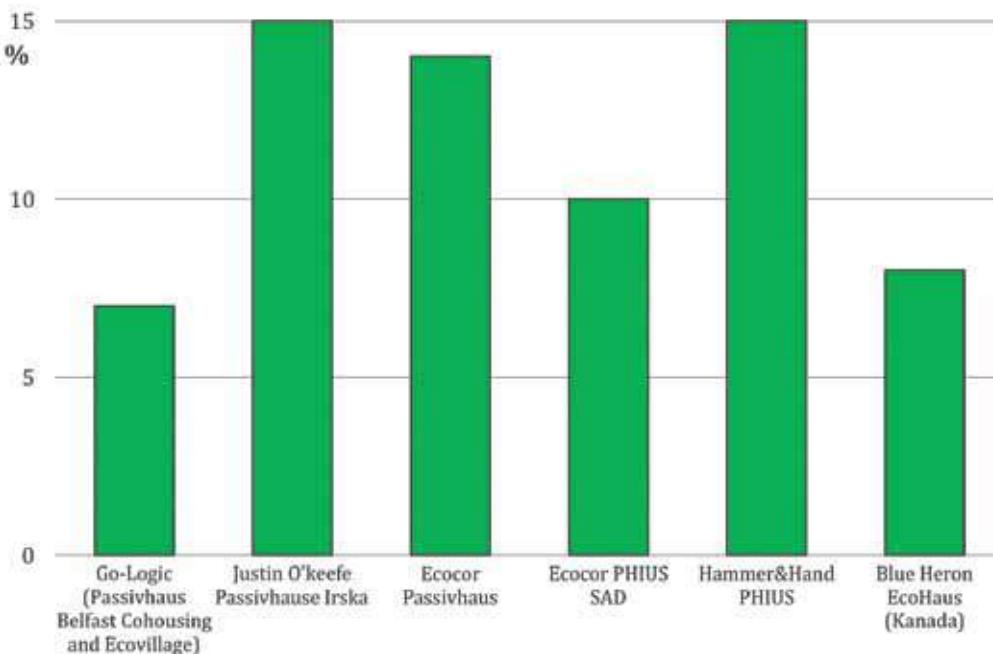
Novi sistem evaluacije predviđa tri kategorije pasivne kuće: Classic, Plus i Premium. Ove kategorije se mogu postići u zavisnosti od zahteva u pogledu potrebne MOPE i proizvedene obnovljive energije. Passive House Classic je tradicionalna pasivna kuća. Kategorije pasivne kuće Plus i Premium zahtevaju proizvodnju obnovljive energije na samoj lokaciji objekta (u zgradi): solarna energija pomoću fotonaponskih ploča, energija veta (tabela 1.1). Zahtevi u pogledu potrebne MOPE i proizvodnje obnovljive energije prvi put su uvedeni 2015. godine. Za standard Passive House Classic, u prelaznom periodu se može nastaviti korišćenje prethodnog zahteva u pogledu potrebne neobnovljive primarne energije od $QP \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, kao što je predviđeno u [3]: zahtev u pogledu potrebne MOPE menja prethodni zahtev u pogledu potrebne neobnovljive primarne energije; međutim, tokom prelazne faze može se nastaviti paralelno korišćenje stare metodologije (MPE) za kategorije Classic i PHI niskoenergetske zgrade. Razlika između stare i nove metodologije predstavljena je u tabeli 1.2.

Važno je razumeti to da za slučaj MOPE faktori konverzije primarne u finalnu energiju jednostavno pokazuju koliko više obnovljive primarne električne energije je potrebno proizvesti kako bi se podmirile potrebe zgrade. Oni predstavljaju resurse potrebne za određeni energetski profil objekta, i to resurse obnovljive energije. Izračunavanjima obavljenim na Passivhaus Institutu (PHI) dobijen je faktor³ konverzije od približno 1,3 (za sisteme sa usklađenom topлом vodom zagrejanom električnom energijom). Kada u zgradama nema mogućnosti za skladištenje tople vode i zbog toga se moraju koristiti mrežni rezervoari, ovaj faktor ima vrednost od približno 1,4 (primenjuje se i za toplu vodu iz električnih uređaja za zagrevanje vode).

1.2. DOPLATA ZA PASIVNE KUĆE

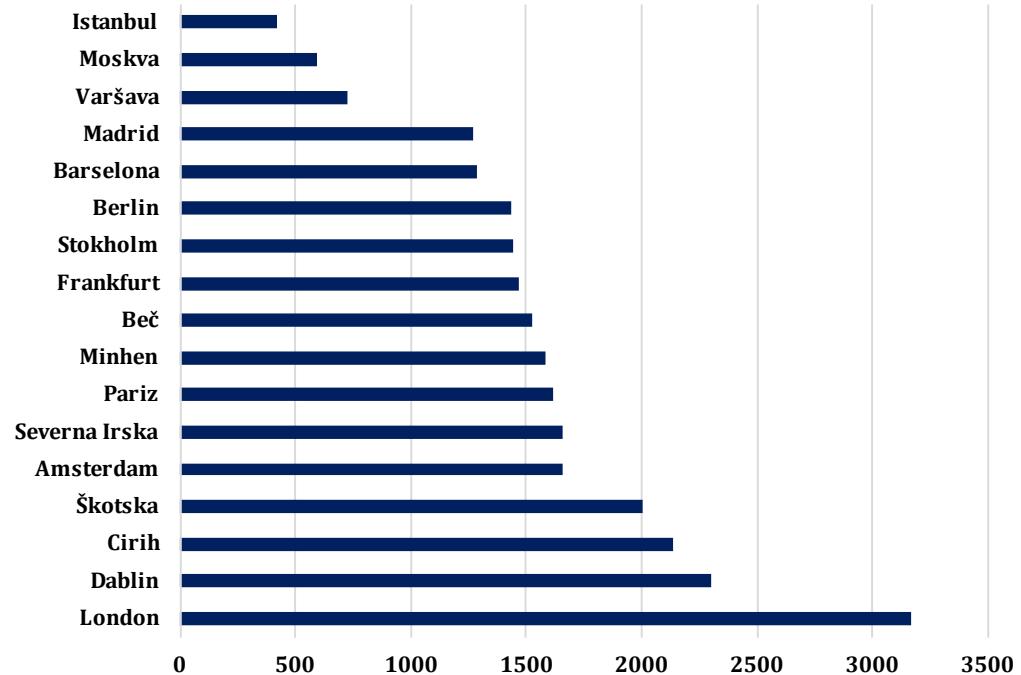
U celom svetu vlada mišljenje da su pasivne kuće skuplje za gradnju od običnih zgrada, a ta razlika u inicijalnim troškovima se najčešće zove doplata. Prema jednom istraživanju [4], doplata se kreće od 7% do 15%. Što je doplata veća, to je potrebno da cena (najčešće električne) energije bude viša da bi pasivna kuća bila rentabilna.

³ Prema [27]: Direktna potrošnja električne energije podrazumeva podjednaku ponudu i potražnju energije. Kada je ponuda veća od potražnje, višak električne energije se usmerava u sisteme za skladištenje. Isto tako, svaka potražnja za dodatnom energijom u periodima smanjene raspoloživosti obnovljive energije podmiruje se usklađenom energijom.



Slika 1.5. Procenjeni dodatni troškovi (u % troškova gradnje) za pasivne kuće na tržištima različitih zapadnoevropskih i severnoameričkih zemalja [4]

Da bi kontekst pomenute cenovne razlike od 7% do 15% bio jasniji potrebno je da znamo i troškove stanogradnje, prikazane na slici 1.6.



Slika 1.6. Troškovi izgradnje (€/m² unutrašnje površine) stanova u nižim zgradama 2018. godine prema [5] (uključujući materijale, plate radnika, opreme, KGH opreme, profit izvođača radova, ne uključujući zemljište)

Na osnovu slike 1.5 i slike 1.6 možemo ukazati na jednu od glavnih prednosti (pored cene energije) tržišta pasivnih kuća u visokorazvijenim zemljama: visoka cena uobičajenog sistema gradnje ima za posledicu velike šanse da doplata od 7% do 15% (uz pomenutu visoku cenu energije) bude isplativa. Odnosno, drugim rečima: relativna doplata će na jeftinijim tržištima biti veća, što predstavlja izazov u pogledu rentabilnosti investicije.

1.3. PASIVNA KUĆA U SRBIJI (TRŽIŠNI USLOVI)

Kao što je naznačeno u prethodnom delu, izgradnja pasivne kuće povlači određene troškove (dodatna ulaganja, praktična znanja, veštine). U većini zemalja, poput severne i zapadne Evrope, to se isplati zbog manje potrošnje energije, a samim tim i manjih troškova za stanare. Međutim, u Srbiji postoje dodatni izazovi. Utvrđene slabosti kada je reč o uslovima u Beogradu i/ili Srbiji i/ili jugoistočnoj Evropi u poređenju sa uobičajenim tržištima za ovu vrstu zgrada jesu sledeće:

- značajno niža cena (električne) energije, koja uvek predstavlja određujući faktor za projekte koji se bave energetskom efikasnošću – što je cena energije niža, to je ulaganje u energetsku efikasnost manje atraktivno;
- mala raznovrsnost lokalnih energenata/izvora energije (električna energija se u Srbiji pretežno dobija iz lignita (više od 70%) ili hidroenergije) što dovodi do:
 - „prljave“ električne energije sa emisijama ugljen-dioksida od 0,5 do 1,8 kgCO₂/kWh u zavisnosti od izvora, a u svakom slučaju značajno višim od prosečnih emisija u EU ili svetu;
- nedostatak završenih projekata i relevantnih praktičnih znanja, nerazvijena baza informacija o tehnologijama i mogućnostima koje su raspoložive u današnje vreme;
- nedostatak spremnosti potencijalnih dobavljača/proizvođača materijala/opreme da se upuste u projekte čiji bi ishod mogle biti dugoročne uštede energije i koristi za životnu sredinu, a koji ne bi omogućili brzu dobit;
- klima, koja je u slučaju Beograda zahtevna, kako u pogledu zagrevanja tako i u pogledu hlađenja.

Utvrđene prednosti kada je reč o uslovima u Beogradu i/ili Srbiji i/ili JIE u poređenju sa uobičajenim tržištima za ovu vrstu zgrada jesu sledeće:

- relativno niska cena rada, što potencijalno čini neke od dodatnih ulaganja neophodnih prilikom gradnje jeftinijim;
- osunčanost (količina dobijene sunčeve energije) je veća nego u zapadnoj/severnoj Evropi, što olakšava ostvarivanje solarne dobiti ili proizvodnju obnovljive energije u samom objektu od energije Sunca;
- razlika između dnevne/noćne temperature koja je u proseku viša nego u zapadnoj/severnoj Evropi, što olakšava noćno hlađenje tokom leta, kao i ostvarivanje solarne dobiti tokom zime.

Mogućnosti poboljšanja dizajna Pametnije zgrade se uglavnom baziraju na ovim utvrđenim prednostima.

1.4. KLIMA I PASIVNA KUĆA

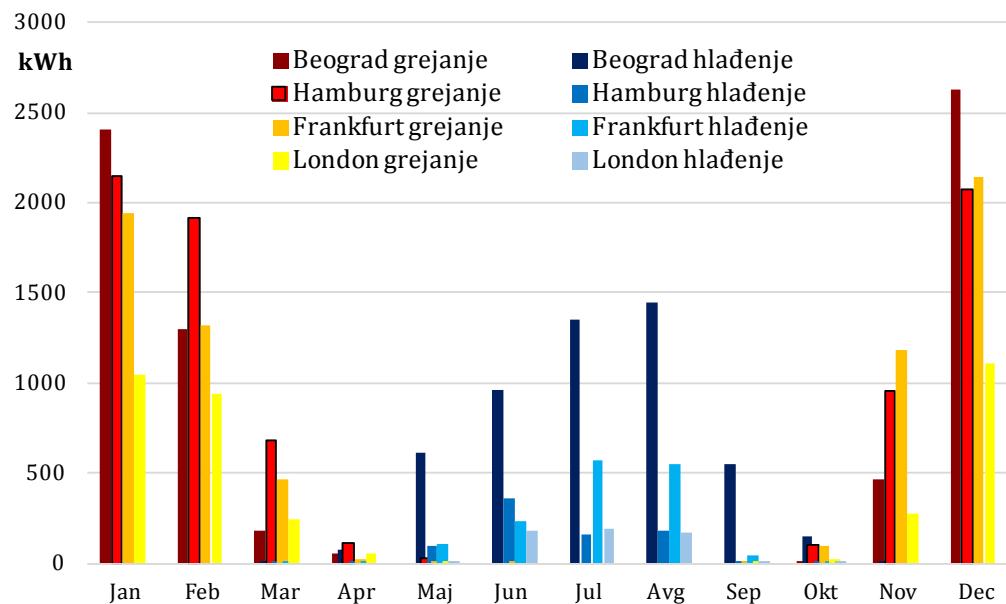
Pristup pasivne kuće je nastao i prvobitno primenjen u umerenim i hladnim klimatskim zonama severozapadne Evrope. Njegovo uvođenje u druge klimatske zone (slika 1.7), poput one u jugoistočnoj Evropi (umereno topla), zahteva prilagođavanje njegove primene.

Passivhaus Institut prepoznaće specifične zahteve za projektovanje pasivnih kuća u južnim klimatskim zonama [6]. One predstavljaju nov teren, a ovo istraživanje, koliko je autorima poznato, predstavlja prvo ove vrste u kome se utvrđuju svojstva i zahtevi za klimatsku zonu jugoistočne Evrope.



Slika 1.7. Klimatske zone prema PHI (Srbija pripada umereno hladnom regionu)

Da bismo pružili bolji uvid u uticaj lokacije, na slici 1.8 su dati rezultati modeliranja iz simulacija gde su menjani ulazni podaci samo za lokaciju/vremenske prilike, pod sledećim pretpostavkama: AAC Passive 3 (videti tabelu 1.3), geotermalna toploplotna pumpa, dvostruko zastakljeni prozori, bez roletni, temperatura zagrevanja 20 °C, temperatura hlađenja 26 °C.

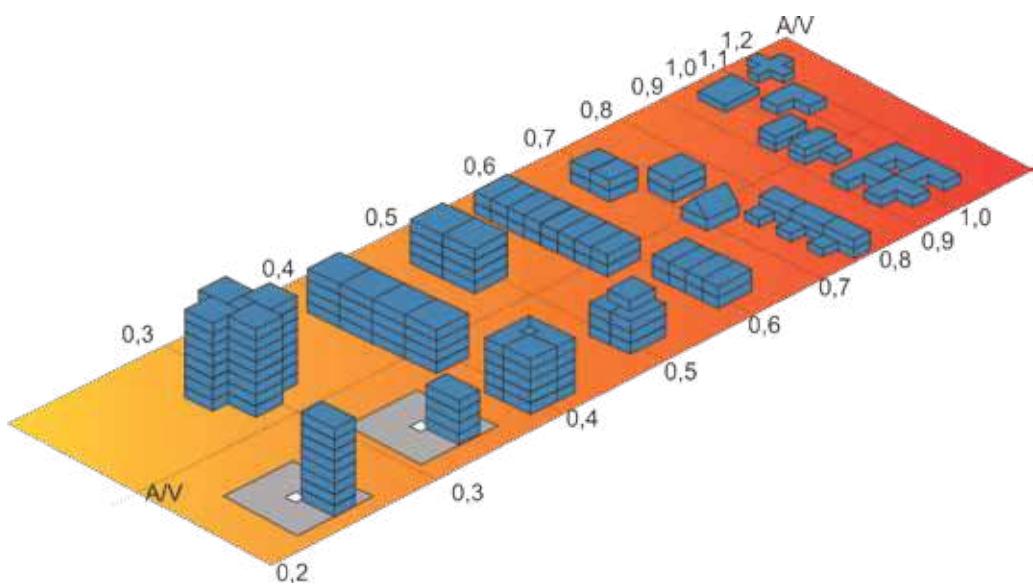


Slika 1.8. Rezultati modeliranja uticaja podataka o vremenskim prilikama/lokaciji na potrošnju energije (kWh) identične Pametnije zgrade u četiri hipotetička slučaja: Beograd, London, Hamburg i grad u kome je pasivna kuća nastala – Frankfurt.

Klima u Beogradu je zahtevna i za hlađenje i za grejanje, uz potrebu za dodatnim tretiranjem vazduha npr. pomoću ovlaživača. Kada se na to dodaju podaci o osunčanosti (energetska dobit od Sunca u W/m²), otvara se prostor za različite koncepte gradnje.

1.5. FAKTOR OBLIKA

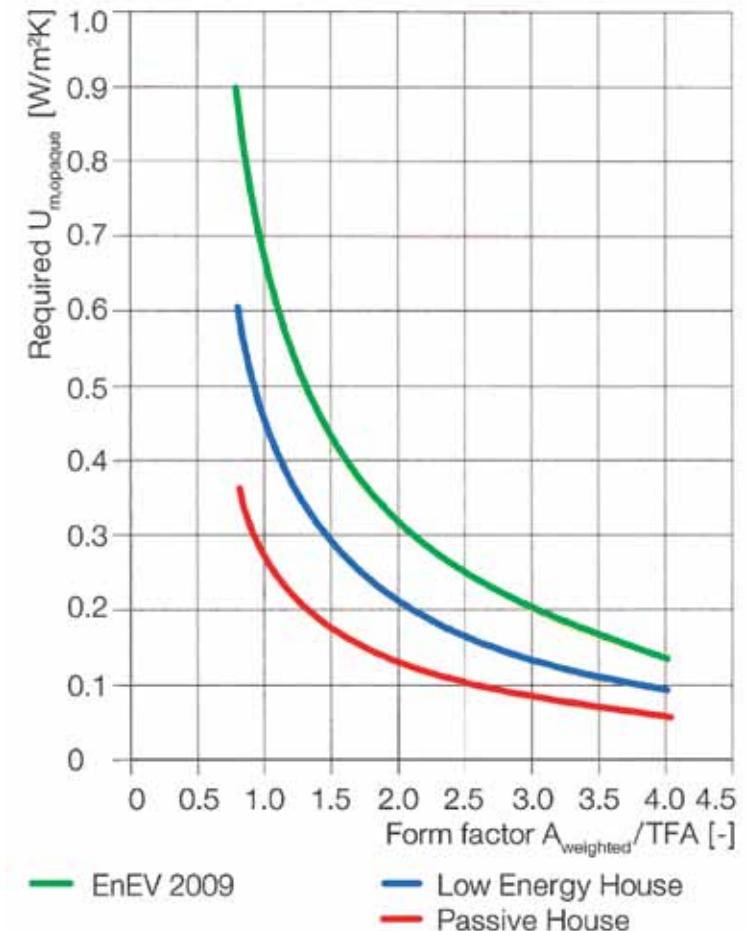
Pored pet principa pasivne kuće objašnjenih u ovom poglavlju, pažnju treba posvetiti i tzv. faktoru oblika zgrade: *Faktor oblika je odnos površine termičkog omotača zgrade i grejane površine.* To je praktično odnos površine koja gubi toplotu (termički omotač) i korisne zagrevane površine [7].



Slika 1.9. Faktor oblika ili razmera kompaktnosti [8] (manja vrednost je bolja)

Poboljšani faktor oblika može imati jedan od sledeća dva rezultata:

- uštede energije, ili
- manje inicijalno ulaganje usled ušteda npr. na izolacionom materijalu.



Slika 1.10. Očekivani uticaj faktora oblika na U-vrednost potrebnu za ispunjavanje određenih zahteva, prema [7]

REZIME POGLAVLJA 1

PRINCIP PASIVNE KUĆE

U prvom poglavlju istraživanja predstavljen je koncept pasivne kuće, a u poglavlju 1.3 razmatra se detaljnije i u kontekstu JIE.

Pasivne kuće karakteriše skup jednostavnih ali rigoroznih topotnih mera koje omogućavaju izuzetno malu potrebu za energijom.

Kao i svi visokoefikasni sistemi, pasivne kuće su osetljive na različite uticaje, među kojima su klimatski uslovi jedni od najvažnijih.

Da bi se ta osetljivost smanjila neophodno je detaljno planiranje. Pri tome je neophodno prilagoditi primenu principa pasivne kuće lokalnim klimatskim specifičnostima u kontekstu JIE.

POGLAVLJE 2

PAMETNIJA ZGRADA, PIONIRSKI PROJEKAT UDRUŽENJA KO GRADI GRAD

Ko gradi grad [9] nastao je 2010. godine u Beogradu, a sada je jedna od vodećih neprofitnih organizacija u oblasti građanskih stambenih inicijativa u Srbiji. Od 2012. godine razvija inovativni pristup Pametnja zgrada, kao odgovor na prethodno pomenute probleme pristupačnosti i nedostatka stambenih rešenja u Srbiji. Ciljna grupa su ljudi koji trenutno ne mogu da koriste usluge finansijskih institucija, niti mogu da priušte iznajmljivanje po sve višim tržišnim cenama. Prema procenama udruženja Ko gradi grad, veličina raspoloživog tržišta (SAM – Serviceable Available Market) za ovakva stambena rešenja u Srbiji iznosi 8% ukupnog stanovništva, odnosno 200.000 domaćinstava.

Ko gradi grad planira da u narednim godinama realizuje prvu Pametniju zgradu u Beogradu. Projekat je organizovan kroz stambenu zadrugu koja kolektivno gradi, finansira, održava i upravlja višestambenom zgradom.

U Pametnjoj zgradi, vlasnik stanova i zemljišta je zadruga, a ne njeni pojedinačni članovi. Troškovi izgradnje stanova u vlasništvu zadruge najvećim delom se finansiraju dugoročnim kreditom (80% investicije, što pokriva samu izgradnju zgrade). U skladu sa uslovima iznajmljivanja, svaki član na mesečnom nivou uplaćuje zadruzi iznos iz koga se plaća rata kredita i do prinosa za servisne i komunalne troškove.

Ovakva nova primena stambenih zadruga obezbeđuje povoljna, niskorizična stambena rešenja i za korisnike i za investitore. Namensko privredno društvo (SPV) Stambena zadruga Pametnija zgrada osnovano je (u januaru 2019. godine) kao organizator izgradnje, budući vlasnik imovine i njen rukovodilac.

2.1. GLAVNI PODACI O PILOT PROJEKTU

Prema idejnom projektu, Pametnija zgrada je četvorospratni objekat sa 19 stanova, zagrevane površine od 1.368 m^2 na parceli veličine približno 1.000 m^2 izvan centra Beograda. U njenom sastavu je niz stanova namenjenih različitim stambenim potrebama, poput stanova za pojedince, porodice i zajedničko stanovanje (co-housing).

Pametnija zgrada će obezbiti stambena rešenja za 50–55 ljudi za koje trenutno nema rešenja na stambenom tržištu. Formiraće jaku zajednicu stanara i uključiti oko 10% dodatnog zajedničkog prostora (130 m^2).

Kapitalizacija se postiže zajedničkim ulaganjem spoljnih zajmodavaca (80%) i članova zadruge (20% sopstvenog kapitala).

Zgrada će biti izgrađena prema standardu energetske efikasnosti Passive House Classic ($\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ukupne potrebne energije), koji podrazumeva smanjenje troškova komunalnih usluga, uticaja na životnu sredinu i troškova održavanja.

Konfiguracija zgrade uključuje nekoliko arhitektonskih karakteristika za poboljšanje energetske efikasnosti: relativno velika kompaktnost (odnos između spoljašnje površine i unutrašnje zapremine zgrade), veliki otvori na južnoj fasadi (koji omogućavaju sunčevim zracima da prođu duboko u prostor tokom zimskog perioda), velike mogućnosti za ventilaciju tokom leta (otvaranjem atrijuma i centralnog komunikacionog prostora), deo zajedničkog prostora (atrijum) koristi se kao izolaciona barijera tokom zime. Najzad, krovna terasa je okrenuta prema severu radi što manje izloženosti suncu tokom letnjih perioda.

Funkcionalni program i kvadratura

- Stanovi = 1.010 m^2 (ukupna neto površina stanova), 19 stanova:
 10 stanova x 40 m^2 (domaćinstva sa 1–2 člana)
 6 stanova x 55 m^2 (domaćinstva sa 3 člana)
 2 stana x 80 m^2 (domaćinstva sa 4–5 članova)
 1 stan x 120 m^2 (co-housing 4–6 stanara)
- Zajedničke prostorije (klimatizovane) = 130 m^2 (neto)
 radionica = 11 m^2
 zajednički radni prostor / prodavnica / kafe = 40 m^2
 višenamenski prostor sa kuhinjom = 27 m^2
 vešernica = 13 m^2
 soba za goste = 26 m^2
 krovna kuhinja + WC = 13 m^2
- Tehnički prostori i prolazi (neklimatizovani) = 235 m^2
 atrijum = 40 m^2
 ulazni hol = $20,5 \text{ m}^2$
 ulaz na krovnu terasu = 15 m^2
 tehnički prostor = $7,5 \text{ m}^2$
 hodnik + stepenište = 152 m^2

ZAGREVANA površina = 1.368 m^2

UKUPNA BRUTO površina = 1.582 m^2

Spoljašnji prostor = 375 m^2 (neto)

Parking = 265 m^2

Krovna terasa = 110 m^2

UKUPNA površina sa spoljašnjim prostorom =

$1.582 + 375 = 1.957 \text{ m}^2$



Slika 2.1. Prostorna konfiguracija Pametnije zgrade



Slika 2.2. Osnova Pametnije zgrade

REZIME POGLAVLJA 2

PAMETNIJA ZGRADA, PIONIRSKI PROJEKAT UDRUŽENJA KO GRADI GRAD

Pametnija zgrada je pilot projekat udruženja Ko gradi grad. Predviđeno je da bude izgrađena u naredne 2–3 godine.

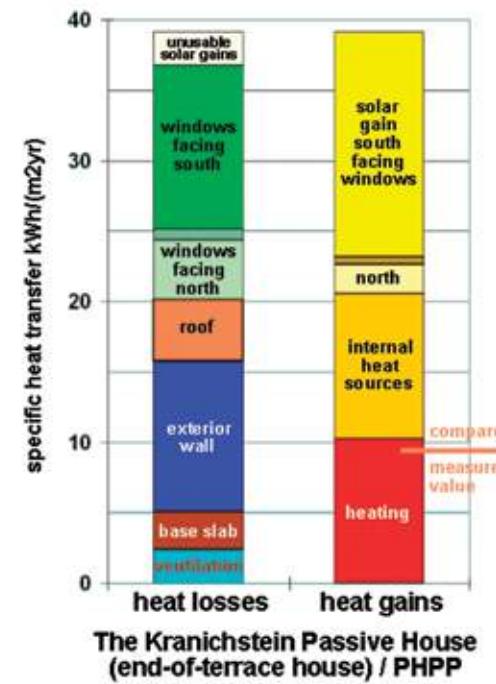
Cilj ovog pionirskog projekta je izgradnja prve višestambene pasivne kuće (sa 19 stanova) u Srbiji, koja bi proizvodila sopstvenu obnovljivu energiju, a sve to uz težnju da cena zgrade bude pristupačna i ekološki otisak mali. Istovremeno, Pametnija zgrada je i prva stambena zadruga osnovana u Beogradu u poslednjih skoro dvadeset godina.

Ovo istraživanje namenjeno je proveri mogućnosti gradnje takve pasivne kuće po pristupačnoj ceni i sa malim uticajem na životnu sredinu.

POGLAVLJE 3

OMOTAČ PAMETNIJE ZGRADE

Omotač zgrade (zidovi, prozori, vrata, krov i, u slučaju Pametnije zgrade, tavanica parkinga) veoma je važan za postizanje standarda pasivne kuće jer se većina gubitaka dešava zbog interakcije omotača sa okolinom, kao što je ilustrovano na primeru prve pasivne kuće na svetu (Kranichštajn u Darmštatu, Nemačka) na slici 3.1.



Slika 3.1. Energetski bilans u slučaju pasivne kuće u Kranichštajnu [10]

3.1. GLAVNI GRAĐEVINSKI MATERIJAL

Početna hipoteza ovog istraživanja je bila da glavni građevinski materijal treba da bude:

- odgovarajući za postizanje standarda pasivne kuće;
 - niska topotna provodljivost, mogućnost ili niska cena postizanja visokog stepena zaptivenosti, adekvatna termička masa za temperaturne ekstreme;
- cenovno pristupačan;
- adekvatan za četvorospratnu zgradu;
- ekološki prihvatljiv/primeren i;
- lokalno proizveden.

Nakon dužeg istraživanja tržišta, predložena su tri glavna građevinska materijala (pri čemu svaka od opcija obuhvata zidove, podove, kao i krov):

- Autoklavirani gas-beton (AAC);
- CLT, unakrsno laminirano drvo koje bi obezbedila jedna kompanija iz Srbije (u daljem tekstu: *CLT Dobavljač 1*) i jedna iz Slovenije (u daljem tekstu: *CLT Dobavljač 2*);
- Sistem prefabrikovanih drvenih kompozitnih panela (*PDKP*), koje bi obezbedila jedna kompanija iz Srbije.

Svi ovi materijali su upoređeni sa navedenim osnovnim građevinskim materijalom. Osnovni građevinski materijal je takođe AAC, koncipiran tako da ispunjava uslove energetskog razreda C u skladu sa pravilnikom o sertifikaciji zgrada u Srbiji [1].

Sve analize i procene cena odnose se samo na nadzemni deo zgrade prikazan na slici 3.2. Obrazloženje ove odluke je zasnovano na dve činjenice:

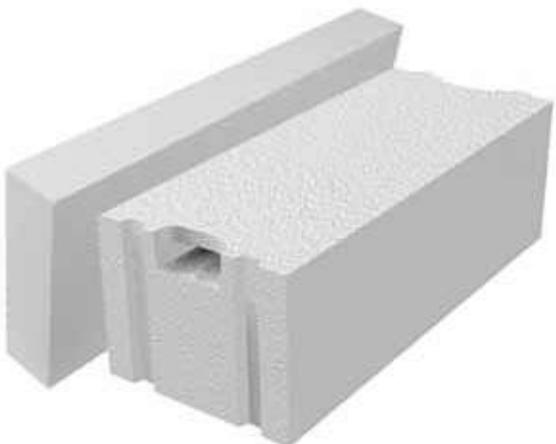
- prizemlje i parking će biti isti (struktura stubova od armiranog betona) bez obzira na izabrani način gradnje;
- zagrevani prostor u prizemlju zgrade je ograničen.



Slika 3.2. Nadzemni deo zgrade koji je predmet analize

3.1.1. FIZIČKI I EKONOMSKI ASPEKTI PREDLOŽENIH MATERIJALA

3.1.1.1. AUTOKLAVIRANI GAS-BETON



Slika 3.3. Blok od AAC

Autoklavirani gas-beton (AAC) je dobro poznat građevinski materijal u svetu pasivnih kuća. Napravljen je od mešavine peska, kreča, cementa i vode, sa aluminijumskim prahom kao ekspandirajućim agensom. Tokom proizvodnje, aluminijumski prah povećava zapreminu i daje ovom materijalu karakterističnu poroznu strukturu kada se „ispeče“ u autoklavu. Njegova fizička svojstva su veoma atraktivna (lagan, sa malom toplotnom provodljivošću, velikom požarnom otpornošću i zvučnoizolacionim svojstvima), a uticaj na životnu sredinu mu je među najboljim kod materijala na bazi betona (iako nije uporediv sa materijalima na bazi drveta).

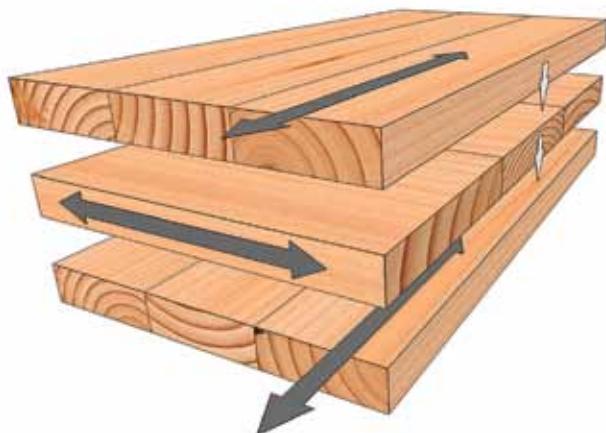
Za potrebe ovog istraživanja, analizirana su četiri scenarija koja uključuju autoklaverani gas-beton (AAC) sa podacima o troškovima gradnje domaćih firmi (tabela 3.1).

Vrsta	Opis predloženog načina gradnje	Materijal	Ukupni trošak gradnje osnovnih elemenata PZ [€/ m ² ukupne bruto površine] [€]
AAC razred C	Niskoenergetski blokovi od AAC (30 cm) bez izolacije, izolacija krova od kamene vune debljine 15 cm	AAC 30 cm	83 €/m² 131.400 €
AAC Passive 1	Niskoenergetski blokovi od AAC (37,5 cm) sa izolacijom od kamene vune debljine 10 cm, izolacija krova od kamene vune debljine 30 cm	AAC 37,5 cm + 10 cm kamene mineralne vune	107 €/m² 167.800 €
AAC Passive 2	Niskoenergetski blokovi od AAC (30 cm) sa izolacijom od kamene vune debljine 10 cm, izolacija krova od kamene vune debljine 30 cm	AAC 30 cm + 10 cm kamene mineralne vune	101 €/m² 159.900 €
AAC Passive 3	Niskoenergetski blokovi od AAC (20 cm) sa izolacijom od kamene vune debljine 15 cm, izolacija krova od kamene vune debljine 30 cm	AAC 20 cm + 15 cm kamene mineralne vune	100 €/m² 158.300 €

Tabela 3.1. Troškovi gradnje na bazi AAC (uključuju blokove, fasadu i unutrašnju obradu zidova, tavanice, ravan krov, plate radnika, sa pregradnim zidovima između stanova i bez pregradnih zidova unutar stanova, bez PDV)

NAPOMENA: Ključni nedostatak AAC kao glavnog građevinskog materijala je postizanje veoma visoke **zaptivenosti** koju propisuje PHI, (ne)postojeća praktična znanja za njeno izvođenje i nepoznata cena ispunjenja ovog zahteva.

3.1.1.2. UNAKRSNO LAMELIRANO DRVO



Slika 3.4. Unakrsno lamelirano drvo (CLT)

Unakrsno lamelirano drvo (CLT) nalazi sve veću primenu u izgradnji pasivnih kuća. Paneli od CLT-a se sastoje od nekoliko slojeva dasaka od punog drveta osušenih u sušari, naslaganih u naizmeničnim unakrsnim pravcima, vezanih lepkom i presovanim tako da formiraju čvrst, prav, četvrtast panel [11], izrađen prema dimenzijama potrebnim za gradnju. Takvi paneli su laki, izdržljivi, imaju dobra seizmička svojstva i adekvatne toplotne performanse. Montaža prefabrikovanih CLT panela je brza. U poređenju sa materijalima čija je osnova beton, CLT je pogodniji za tržišta sa većom kupovnom moći.

Za Pametniju zgradu su razmotrene dve opcije CLT, kao što je predstavljeno u tabeli 3.2.

Proizvođač ili dobavljač	Opis predloženog načina gradnje	Cene za PZ	Napomena	Ukupni trošak gradnje osnovnih elemenata PZ [€/m ²] ukupne bruto površine] [€]
CLT Dobavljač 1	10 cm za unutrašnje zidove 15 cm za zidove omotača zgrade 18 cm za podove u zgradi	438.200 € za 576 m ³ ili 18 cm - 136 €/m ² 10 cm - 76 €/m ²	- cena se odnosi samo na materijal; dodatni troškovi gradnje su +5% - praktična znanja o zaptivanju mogu predstavljati problem	336 €/m² 531.552 €
CLT Dobavljač 2	18 cm - 86 €/m ² 10 cm - 60 €/m ² Gradnja 20 €/m ² za sve drvene površine (može biti i manja) Čelična konstrukcija 10 - 12.000 € Prevoz iz Beča u 15 šlepera sa 2.500 € po šleperu iznosi 37.500 € (može biti i manje)	18 cm - 86 €/m ² 10 cm - 60 €/m ² Gradnja 20 €/m ² za sve drvene površine (može biti i manja) Čelična konstrukcija 10 - 12.000 € Prevoz iz Beča u 15 šlepera sa 2.500 € po šleperu iznosi 37.500 € (može biti i manje)	- moguća podrška PHI - praktična znanja o zaptivanju postoje - moguć „blower door“ test	271 €/m² 428.722 € ili nešto manje

Tabela 3.2. Aspekti gradnje na bazi CLT (uključuju glavni građevinski materijal, spoljni obrađu zidova (izolacija), tavanice, ravan krov, plate radnika, sa pregradnim zidovima između stanova i bez pregradnih zidova unutar stanova, bez PDV)

Drugi raspoloživi podaci o ceni CLT tiču se projekta koji se u vreme izrade ovog izveštaja realizovao u Barseloni [12]:

- ukupna količina korišćenog CLT - 470–490 m³ (bez fine završne obrade);
- ukupna cena CLT (uključujući montažu) - 365.000 €.

Ako se ovaj projekat (i njegova cena od 760 €/m³ uključujući montažu) skalira na veličinu Pametnije zgrade, očekivana cena bi bila između 376.200 € i 437.800 €, u zavisnosti od količine korišćenog CLT (CLT Dobavljač 1 predlaže 576 m³, a CLT Dobavljač 2 predlaže 495 m³).

3.1.1.3. PREFABRIKOVANI DRVENI KOMPOZITNI PANELI



Slika 3.5. Sastav spoljašnjih zidova od PDKP

Sistem prefabrikovanih drvenih kompozitnih panela (PDKP) je treća rasploživa opcija na domaćem tržištu koja je pogodna za pasivnu kuću. Paneli se sastoje od strukture drvenih nosećih greda, ispunjene termoizolacionim materijalom od mineralne vune i zatvorene čvrstim pločama od presovanih drvenih vlakana. Proizvodi ih sertifikovani graditelj pasivnih kuća prema zahtevima koje definiše PHI (ako budu izabrani, ponuda bi obuhvatila i podršku PHI).

Proizvođač ili dobavljač	Opis predloženog načina gradnje	Cene za PZ	Napomena	Ukupni trošak gradnje osnovnih elemenata PZ [€/m ² ukupne bruto površine] [€]
PDKP	Prefabrikovani paneli na bazi drveta	190 €/m ² ili manje 300.000 €/m ² ili manje	- moguća podrška PHI - praktična znanja o zaptivanju postoje - moguć „blower door“ test	300.000 € ili manje u slučaju zamene drvene vune kamenom vunom 190 €/m²

Tabela 3.3. Aspekti gradnje na bazi PDKP (uključujući glavni građevinski materijal, spoljnu obradu zidova (izolacija), tavanice, ravan krov, plate radnika, sa pregradnim zidovima između stanova i bez pregradnih zidova unutar stanova, bez PDV, sa montažom)

Treba napomenuti da zaptivenost konstrukcije koju preporučuje PHI može postići dobavljač PDKP i ona se može proveriti „blower door“ testom.

3.1.2. UTICAJ NA DUŽINU GRADNJE I PRIHODE OD IZNAJMLJIVANJA

Različiti građevinski materijali utiču na različite dužine gradnje. U ovom trenutku nije lako proceniti potencijalnu dobit na vremenu, ili koliko projekat može biti usporen, odabirom različitih građevinskih materijala pošto određene promenljive nisu uzete u obzir, na primer:

- koliko vremena će dobavljačima trebati za pripremu, izradu dokumentacije i proizvodnju/isporuku materijala;
- sposobnost dobavljača da isporuči građevinski materijal u predviđenom roku (npr. ako ima liste čekanja) i kako se to uklapa u dinamiku gradnje Pametnije zgrade;
- logistika planiranja, npr. ko i koliko dobro može organizovati prvi projekt ove vrste, ako za materijal bude izabran npr. CLT (što nosi sve uobičajene poteškoće koje se javljaju kada se nešto radi prvi put).

Kada se uporede tri navedena sistema gradnje i vreme potrebno za izgradnju Pametnije zgrade za svaki od njih (poređenje se odnosi samo na omotač zgrade, vreme potrebno za postavljanje izolacije, pregradnih zidova itd.), može se izvesti sledeći zaključak:

- AAC:
 - odmah dostupan na tržištu;
 - praktična znanja i konsultantska podrška su raspoloživi ako su potrebni;
 - od odabranih materijala, gradnja sa AAC je najsporija (nadzemni deo zgrade bi mogao da se sagradi i izoluje za period od 40 do 100 dana);
- CLT:
 - zahteva naručivanje materijala unapred (nije odmah dostupan);
 - liste čekanja za kupce/klijente iz EU su dugačke, pa je nejasno koliko brzo CLT Dobavljač 1 ili CLT Dobavljač 2 mogu da isporuče konstrukciju;
 - postojeća praktična znanja su upitna;
 - nakon izrade prefabrikovanih panela, vreme potrebno za podizanje zgrade može biti veoma kratko (2 nedelje do mesec dana);
- PDKP:
 - slično kao kod CLT, osim u pogledu praktičnih znanja koja su precepljena većim na osnovu do sada raspoloživih informacija.

Kada se sve navedeno uzme u obzir, zaključak je da bi upotreba CLT i prefabrikovanih panela mogla rezultirati bržom gradnjom, u trajanju od 2–3 meseca (uz sve navedene nepoznanice).

S obzirom na to da prosečan prihod od iznajmljivanja iznosi 250 € po stanu mesečno (gruba procena⁴), davanje prednosti CLT ili prefabrikovanim panelima u odnosu na AAC moglo bi dovesti do ušteda veličine 9.000–14.000 €, pa će za potrebe ove analize AAC kao građevinski materijal dobiti penal od 10.000 €.

3.1.3. PREPORUČENI MATERIJAL ZA IZGRADNJU PAMETNIJE ZGRADE

Imajući u vidu sve navedeno u prethodnom odeljku, biće predložena dva materijala uz navođenje utvrđenih **prednosti** jednog u odnosu na drugi:

- AAC Passive 3:
 - manje ulaganje;
- PDKP sa izolacijom od kamene vune:
 - manji uticaj gradnje na životnu sredinu;
 - moguća podrška PHI;
 - lakše je garantovati zaptivenost zbog poznatog dobavljača;
 - faktor „zelene inovacije“, što ga čini atraktivnijim ili vidljivijim za pilot projekat.

Cena gradnje sa PDKP je viša, ali ne i nerealno visoka da bi mogla da ugrozi projekat Pametnja zgrada.

4 Napravljena pod optimističnom pretpostavkom da će svih 19 stanova biti iznajmljeno od prvog meseca nakon tehničkog prijema zgrade.

3.2. IZOLACIONI MATERIJALI

Za postizanje odgovarajućih (željenih) topotnih svojstava omotača zgrade, neophodno je postavljanje termoizolacionih materijala. Raspoloživi termoizolacioni materijali mogu se razvrstati prema:

- poreklu/vrsti sirovine;
- vrednostima topotne provodljivosti λ [W/mK];
- gustini;
- mestu primene termoizolacionog materijala i;
- uticaju na životnu sredinu.

Termoizolacioni materijali imaju topotnu provodljivost manju od 0,3 W7mK. Postoje tri⁵ glavne kategorije termoizolacionih materijala:

- neorganski materijali,
- organski materijali,
- novi materijali.

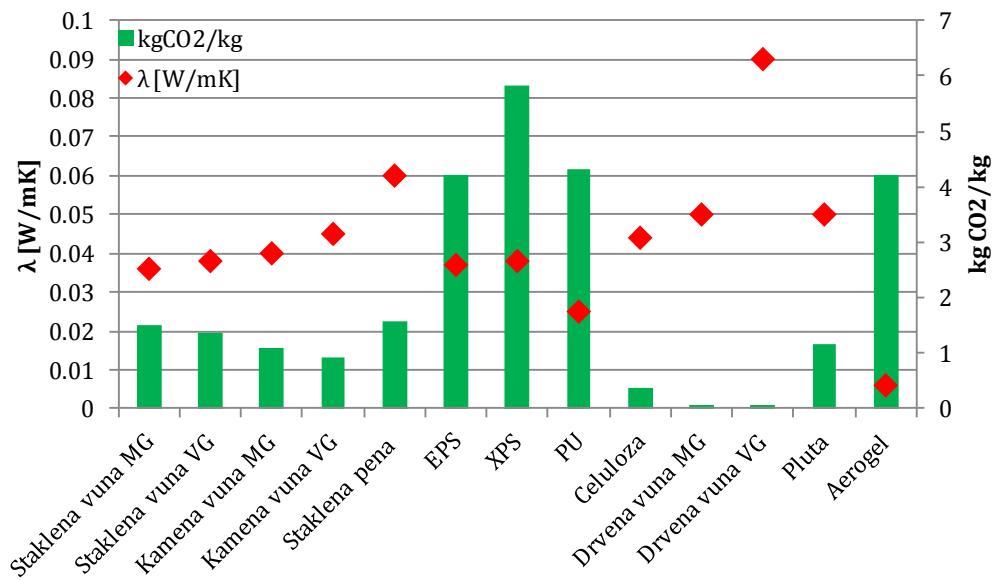
Prema svojoj strukturi, ovi materijali se dalje dele na vlknaste i čelijske.

Na domaćem tržištu su raspoloživi različiti termoizolacioni materijali. U cilju izbora najpogodnijeg, potrebno je analizirati njihova svojstva, na prvom mestu topotnu provodljivost kao najvažnije svojstvo. Niža vrednost topotne provodljivosti doprinosi većoj topotnoj otpornosti R [m^2K/W] cele strukture omotača zgrade. Druga važna svojstva termoizolacionog materijala su gustina, otpor difuziji vodene pare μ [-], ugljenični otisak, kao i požarna otpornost. U tabeli 3.5 prikazane su karakteristike termoizolacionih materijala koji se mogu naći na domaćem tržištu.

Topotna provodljivost izolacionih materijala raspoloživih na domaćem tržištu se u manjoj meri razlikuje. Organski petrohemski materijali čelijske strukture (PU) i novi materijali (aerogel) imaju najniže vrednosti (veoma dobra izolaciona svojstva). Sa druge strane, drvena vuna velike gustine ima najvišu vrednost (dovoljna izolaciona svojstva).

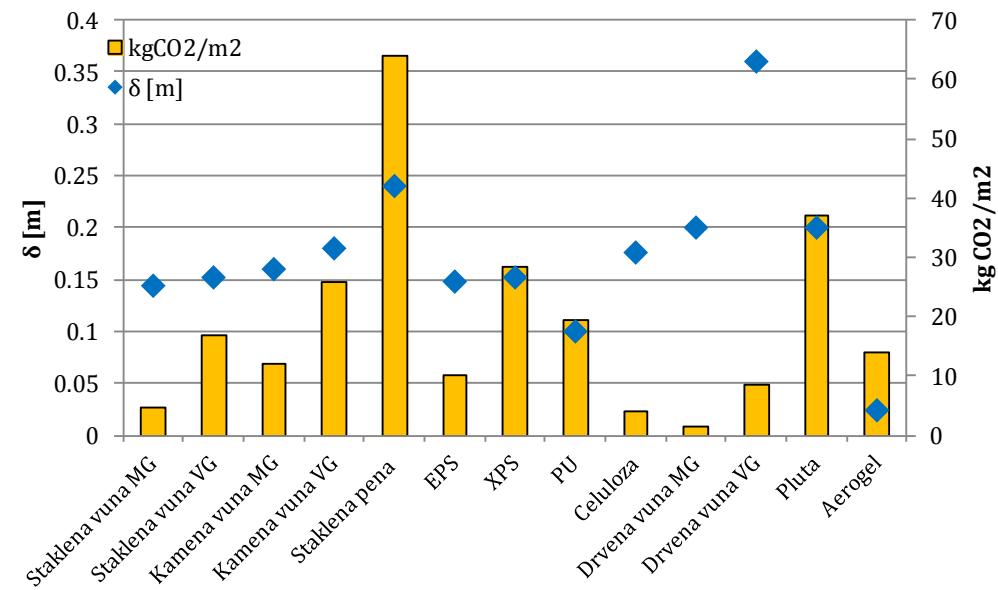
5 U nekoliko stručnih izvora navodi se još jedna glavna kategorija nazvana „kombinovani materijali“. Ova grupa obuhvata materijale proizvedene uz korišćenje različitih sirovina iz ostale tri grupe.

Slika 3.6 pokazuje da se ugljenični otisci po kilogramu različitih izolacionih materijala znatno razlikuju. Organski petrohemski materijali čelijske strukture imaju najveću emisiju CO₂ po kilogramu, dok najmanju ima proizvodnja organskih obnovljivih vlaknastih materijala.



Slika 3.6. Toplotna provodljivost i ugljenični otisak (po kilogramu izolacionog materijala). [13][14]

Različite vrednosti topotne provodljivosti zahtevaju različite debljine izolacije da bi se postigla ista R-vrednost na omotaču zgrade, kao što je prikazano na slici 3.7. Na osnovu debljine materijala moguće je utvrditi ugljenični otisak po jedinici površine omotača, kao što pokazuje slika 3.7. Najveći uticaj na životnu sredinu ima staklena pena, a najmanji imaju drvena vuna i celuloza. Najčešće korišćeni termoizolacioni materijali poput EPS, staklene vune i kamene vune imaju relativno mali ugljenični otisak po jedinici površine omotača.



Slika 3.7. Potrebna debljina i ugljenični otisak (po m² izolacionih materijala) za istu R-vrednost [14][13]

Prosečna cena najčešće korišćenih termoizolacionih materijala raspoloživih na domaćem tržištu (ekvivalent EPS od 15 cm) predstavljena je u tabeli 3.4.

Materijal	Cena [€/m ²] sa PDV, bez montaže
EPS	6,10
XPS	17,80
Kamena vuna	11,02
Staklena vuna	6,36
Vuna od drvenih vlakana**	29,66

** Cena za tržište EU

Tabela 3.4. Prosečne cene najčešće korišćenih izolacionih materijala na domaćem tržištu (ekvivalent EPS od 15 cm)

PREPORUKA: S obzirom na to da je cena izolacionih materijala na bazi drveta visoka, kao alternative sa prihvatljivim uticajem na životnu sredinu izabrani su EPS i kamena vuna. Pošto EPS ima malu požarnu otpornost, **za glavni izolacioni materijal za Pametniju zgradu treba razmotriti kamenu vunu velike gustine.**

Grupa materijala	Materijal	Sastav materijala	Gustina [kg/m ³]	POGLAVLJE 3 OMOTAČ PAMETNIJE ZGRADE			
				λ [W/mK]	Ugljenični otisak [kg CO ₂ /kg]	Razred požarne otpornosti	Faktor otpora vodenoj pari μ [-]
Neorganski materijali - vlaknasta struktura	Staklena vuna	MG*	otpadno staklo, kvarcni pesak, dolomit	15-40 (22)	0,034-0,04 (0,036)	1,494	>1
		VG*		40-150 (80)	0,03-0,045 (0,038)	1,380	
	Kamena vuna	LD	dijabaz, bazalt	20-120 (70)	0,033-0,042 (0,04)	1,082	A1
		VG		120-200 (155)	0,035-0,048 (0,045)	0,920	
Neorganski materijali - čelijska struktura	Kalcijum-silikat	kreda, pesak, celulozna vlakna	121	0,04-0,065 (0,045)	-	A1	6 - 20
	Staklena pena	otpadno staklo, feldspat, dolomit	90-200 (170)	0,038-0,08 (0,06)	1,565	A1	-
	EPS	ekspandirani polistiren – benzen, eten, pentan	10-30 (16)	0,034-0,045 (0,037)	4,205	E-F	20 - 100
Organski petrohemski materijali - čelijska struktura	XPS	ekstrudirani polistiren – benzen, eten, pentan	28-45 (32)	0,031-0,044 (0,038)	5,840	E-F	80 - 300
	PUR	poliuretan – Izocijanat, poliol	28-100 (45)	0,022-0,03 (0,025)	4,307	D-F	50-100
Organski obnovljivi materijali - vlaknasta struktura	Celuloza	reciklirani papir, drvena vlakna	30-80 (60)	0,04-0,05 (0,044)	0,367	E	2-3
	Drvena vuna	MG	drvo	50-270 (120)	0,038-0,06 (0,05)	0,062	E
		VG		350-600 (380)	0,075-0,11 (0,09)	0,062	
Organski obnovljivi materijali - vlaknasta struktura	Pluta	pluta	100-220 (160)	0,045-0,07 (0,05)	1,156	E	5-30
Materijali nove tehnologije - čelijska struktura	Aerogel	alkoksi silikon	60-160 (140)	0,013-0,024 (0,017)	4,2	A1	2-5,5

Tabela 3.5. Karakteristike izolacionih materijala raspoloživih na tržištu [13] [14]

* MG – male gustine; VG – velike gustine

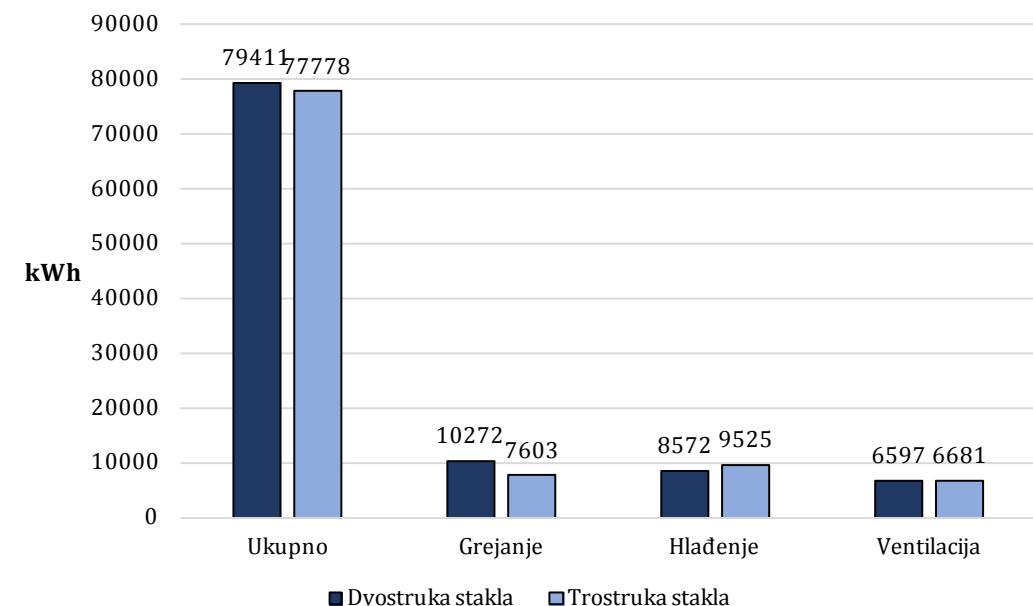
3.3. PROZORI

Jedan od pet ključnih elemenata u projektovanju pasivne kuće jesu prozori. To je razumljivo jer su toplotna svojstva omotača od suštinske važnosti, a prozori predstavljaju „najslabiju kariku“ omotača, pa im treba detaljno posvetiti pažnju. Osim toga, prozori su i potencijalni uzrok i gubitka i dobitka toplote, pa se poseban akcenat obično stavlja na dve stvari:

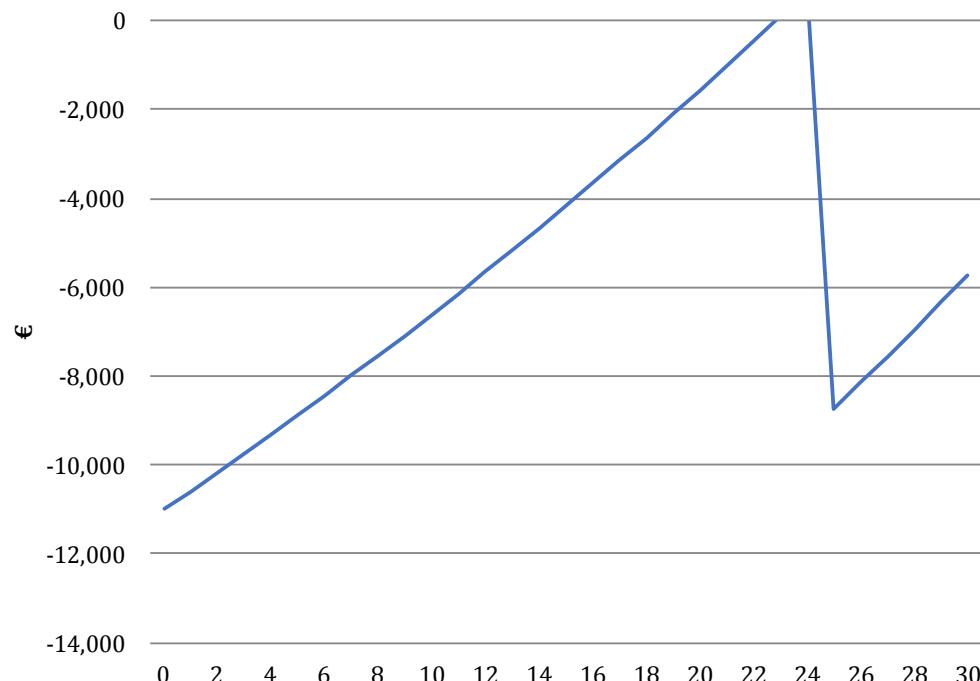
- njihovu U-vrednost i;
- njihovu zaptivenost.

Prozori koji su raspoloživi na današnjem tržištu veoma su dobro tehnički projektovani, a postoje sa skoro svim mogućim U-vrednostima (baza podataka Passivhaus Instituta [15] sadrži spisak prozora sa U-vrednostima od 0,6 W/m²K za trostruko zastakljene prozore do vrednosti od 1,2 W/m²K za dvostruko zastakljene prozore). Materijali od kojih su napravljeni kreću se od drveta do aluminijuma, PVC ili fiberglasa, ili kombinacije nekih od ovih materijala.

Glavni izbor koji treba napraviti je između dvostrukog ili trostrukog zastakljenja prozora, jer se njihova cena značajno razlikuje. Rezultati modeliranja i razlika između dvostrukog i trostrukog zastakljenja u slučaju Pametnije zgrade prikazani su na slici 3.8 pod sledećim prepostavkama: AAC Passive 3, temperatura grejanja 20 °C, temperatura hlađenja 26 °C, bez nadstrešnica, bez roletni, vazdušna toplotna pumpa. Vrednost Ukupno se odnosi na bruto potrošnju energije u zgradu, uključujući osvetljenje, aparate, ventilaciju itd. Sve druge vrednosti pokazuju potrošnju električne energije. Prikazani rezultati ukazuju na jednu od razlika klime u jugoistočnoj Evropi (u poređenju sa severnom Evropom gde su trostruko zastakljeni prozori standard) – naš klimatski kontekst ne daje trostrukim staklima onoliku prednost kolika bi bila očekivana. Stvari su još jasnije kada uzmemu u obzir i dodatnu cenu koju treba platiti za trostruka stakla (slika 3.9, slika 3.10).



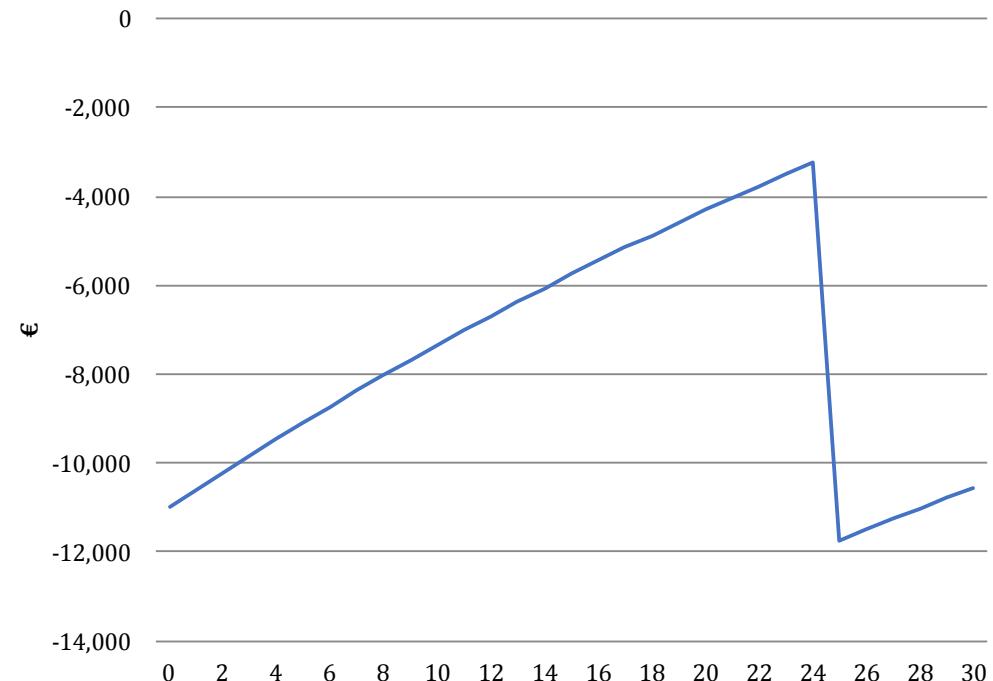
Slika 3.8. Trostruka stakla (U-vrednost 0,785 W/m²K) u poređenju sa dvostrukim staklima (U-vrednost 1,341 W/m²K)



Slika 3.9. Analiza NTV profitabilnosti ulaganja u trostruko zastakljene PVC prozore u poređenju sa dvostruko zastakljenim PVC prozorima

Analiza NTV za ulaganje u trostruko zastakljene prozore data je na slici 3.9 pod sledećim prepostavkama: *Ulaganje od 42.000 € za sve prozore sa trostrukim staklima, 31.000 € za dvostruko zastakljene prozore (u oba slučaja sa ugradnjom, bez PDV), očekivanog veka trajanja od 25 godina, glavni omotač AAC Passive 3, toplotna pumpa vazduh-vazduh, godišnji rast cene električne energije 6%, d=4,5% (optimistično).*

Varijanta analize sa slike 3.9 data je na slici 3.10, u kojoj su svi parametri isti, osim što je d=8% (ulaganje bez rizika).



Slika 3.10. Analiza NTV profitabilnosti ulaganja u trostruko zastakljene PVC prozore u poređenju sa dvostruko zastakljenim PVC prozorima

Analiza NTV za dvostruka (31.000 € za Pametniju zgradu, U-vrednost 1,341 W/m²K) i trostruka stakla (42.000 € za Pametniju zgradu, U-vrednost 0,785 W/m²K) predstavlja odličan pokazatelj uticaja koji niska cena (električne) energije može imati na mere koje bi, u drugim slučajevima, mogle biti profitabilne.

Trostruko zastakljeni prozori: **ne treba ih uzimati u obzir pod okolnostima prisutnim u Srbiji.**

3.3.1 ROLETNE

Velike staklene površine su jedna od karakteristika moderne arhitekture i veoma često obeležje pasivne kuće. Kada govorimo o gubicima energije, prozori i svetlarnici često su najslabiji delovi omotača zgrade, što znači da je prolazak toplote veći nego kroz zidove ili tavanicu, a količina neželjenih dobitaka toplote tokom leta nikako nije zanemarljiva. Sa druge strane, oni mogu predstavljati izvor preko potrebnih toplotnih dobitaka tokom zime i kasne jeseni, ili ranog proleća. Ravnotežu između tih željenih i neželjenih dobitaka nije jednostavno naći, a teško je postići je optimizacijom orientacije i/ili veličine zastakljenih površina, pa su roletne/tende (skoro obavezan) način da se to izbalansira.

U ovom istraživanju analiziran je efekat dva načina (od bezbroj opcija) za zaštitu zastakljenih površina od sunca:

- Fiksne tende na:
 - južnoj fasadi i;
 - južnoj, istočnoj i zapadnoj fasadi i;
- Motorizovani spoljni venecijaneri na:
 - južnoj fasadi i;
 - južnoj, istočnoj i zapadnoj fasadi;

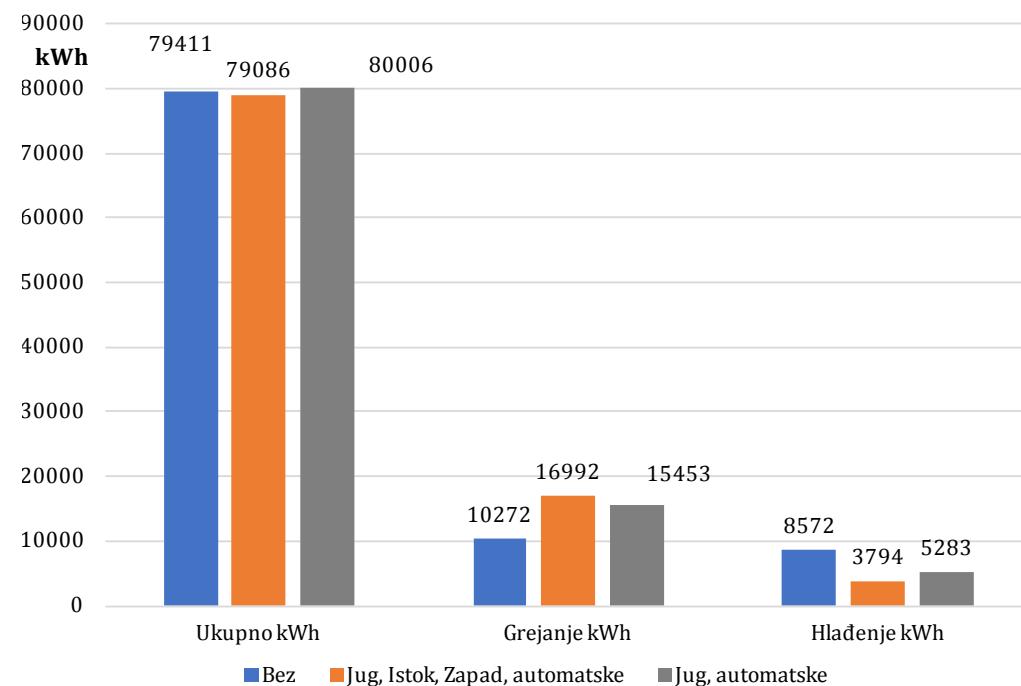


Slika 3.11. Fiksne tende na pasivnoj kući Belfield Townhomes u Filadelfiji (levo) i motorizovani spoljni venecijaneri (desno)

Procenjena približna cena fiksnih tendi sa čeličnim ramom po metru je 80 €. Približna cena motorizovanih spoljnih venecijanera kreće se u rasponu 150–450 €/m², što uglavnom zavisi od veličine prozora, pa je ukupna cena (uključujući PDV i ugradnju):

- zapadna strana: 8.000 €;
- istočna strana: 9.760 €;
- južna strana: 26.700 €.

Uticaj ugradnje spoljnih venecijanera na potrošnju energije prikazan je na slici 3.12, pod sledećim pretpostavkama: AAC Passive 3, temperatura grejanja 20 °C, temperatura hlađenja 26 °C, dvostruko staklo, vazdušna toplotna pumpa.



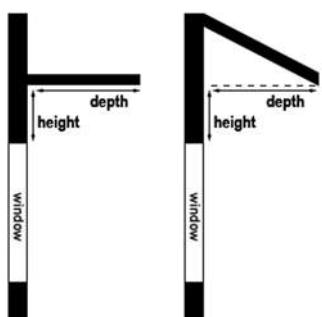
Slika 3.12. Uticaj spoljnih venecijanera na potrošnju energije (kWh)

Zaključak je da će ugradnja spoljnih venecijanera imati veći uticaj na komfor nego na uštedu energije, a s obzirom na relativno visoku cenu opreme: **spoljne venecijanere ne treba uzimati u obzir pod okolnostima prisutnim u Srbiji.**



Slika 3.13. Jednostavne jeftine fiksne tende i način njihovog postavljanja imajući u vidu toplotne mostove (Passivehouse Kanada)

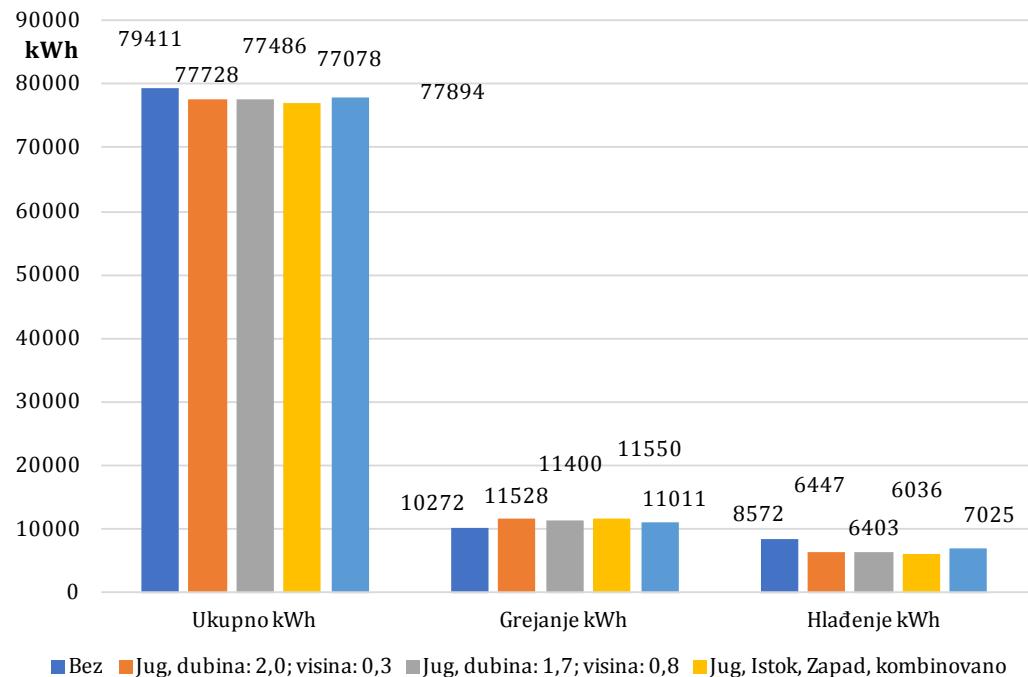
Nadstrešnice će biti razmotrene u tri scenarija [16]:



- dubina: 2,0 visina: 0,3;
- dubina: 1,7 visina: 0,8;
- dubina: 1,1 visina: 0,8;

postavljene na:

- južnoj fasadi i;
- južnoj, istočnoj i zapadnoj fasadi.



Slika 3.14. Uticaj fiksnih tendi na potrošnju energije

Uticaj tendi je prikazan na slici 3.14, pod sledećim prepostavkama: AAC Passive 3, temperatura grejanja 20 °C, temperatura hlađenja 26 °C, dvostruko staklo, vazdušna toplotna pumpa.

NAPOMENA: Pre realizacije, trebalo bi razmisliti o izmeni projekta južne fasade (visina prozora, da bi se ostavio potreban prostor iznad prozora). Takođe, postoji mogućnost postavljanja nadstrešnica sa integrisanim fotovoltačkim panelima kao zaštita od sunca na južnoj fasadi.



Slika 3.15. Fotonaponski paneli kao zaštita od sunca na južnoj fasadi

Jednostavne fiksne tende: **treba ih uzeti u obzir pod okolnostima prisutnim u Srbiji samo za južnu fasadu, prvenstveno kao meru za poboljšanje komfora, ali ne i značajno povećanje energetske efikasnosti.**

REZIME POGLAVLJA 3

OMOTAČ PAMETNIJE ZGRADE

U poglavlju 3 analiziran je omotač zgrade kao uzrok najvećeg dela gubitka toplice.

Da bi se taj gubitak nadoknadio, treba obratiti posebnu pažnju na izbor glavnog načina gradnje/građevinskog materijala, izolacionog materijala, prozora, kao i na zaptivenost zgrade.

Na tržištu u Srbiji su raspoloživi brojni proizvodi koji ispunjavaju zahteve standarda pasivne kuće. Kada se u zahtevima akcenat stavlja na mali ugljenični otisak, izbor postaje znatno sužen.

Na osnovu ovog kombinovanog skupa zahteva, data je preporuka za nekoliko konkretnih načina/materijala gradnje, navedenih u ovom poglavlju.

Za razliku od očekivanog načina sprovodenja standarda pasivne kuće u većem delu severozapadne Evrope, analiza za region JIE pokazuje da ovom pilot projektu više odgovaraju dvostruko zastakljeni prozori sa fiksnim tendama od trostruko zastakljenih sa pokretnim spoljnjim venecijanerima.

POGLAVLJE 4

SISTEM KGH I SANITARNE TOPLE VODE

Sistem za klimatizaciju, grejanje i hlađenje (KGH) je veoma važan deo pasivne kuće: on omogućava grejanje/hlađenje prostora, kao i priliv svežeg vazduha (ventilacija) potrebnog za zdravu unutrašnju klimu. Broj mogućih konfiguracija sistema KGH i instalacije za sanitarnu toplu vodu (SSTV) je beskidan i ograničen je samo kreativnošću projektanata, pa su se autori ovog istraživanja oslanjali na rešenja koja su već razrađena u stručnoj literaturi (što je donekle smanjilo broj razmotrenih rešenja).

Prilikom razvoja predloženog sistema korištene su sledeće smernice:

- mali uticaj na životnu sredinu;
- cenovno pristupačan;
- jednostavan – prikladan;
- pouzdan;
- lokalno proizveden i servisabilan;
- priјatan i zasnovan na potrebama (da kompenzuje uticaj klimatske zone (prema slici 1.8), što zahteva posvećivanje dodatne pažnje potrebama grejanja (zimi) i hlađenja (leti));
- fleksibilan i adekvatan za duži period i;
- podstiče promenu ponašanja.

Budući da je Pametnija zgrada pilot projekat koji će se graditi na lokaciji koja je u trenutku pisanja ovog izveštaja nepoznata, posebno se vodi računa o univerzalnosti predloženog konceptualnog rešenja.

Specifičnost pasivne gradnje, koja se prvenstveno ogleda u zaptivenosti zgrade, podrazumeva to da neki vid ventilacije mora biti ugrađen.

Balansirana mehanička ventilacija (dovodi svež spoljašnji vazduh u zgradu istim protokom kojom izbacuje ustajali vazduh iz zgrade) sa rekuperacijom toplote predstavlja standardno rešenje za ovaj zahtev.

Razmatrana rešenja mogu se podeliti u tri glavne grupe:

- centralizovan sistem;
- delimično (de)centralizovan ili poluchentralizovan sistem i;
- potpuno decentralizovan ili individualni sistem.

Sva ova rešenja se zasnivaju na energiji koju obezbeđuje toplotna pumpa (ili više njih). Radi se o mehaničkom uređaju koji je veoma efikasan u prenosu toplotne energije od izvora toplote (vazduh ili zemljiste) pomoću električne energije. Upotreba toplotne pumpe je višestruko efikasnija od korišćenja konvencionalnog grejanja na električnu energiju. Zato toplotne pumpe postaju standardno rešenje za podmirivanje osnovne potrebe za grejanjem u energetski efikasnim zgradama. Efikasnost toplotne pumpe se izražava koeficijentom grejanja (COP) – što je vrednost COP-a veća to je učinak bolji.

Periodi najveće potražnje za toplotnom energijom će biti podmireni pomoćnim grejnim elementima integrisanim u sistem KGH ili samostalnim uređajima. Biće razmotreni i rezervni sistemi za grejanje (backup).

U narednim odeljcima su predstavljene prednosti i slabosti razmotrenih sistema.

4.1.1. DRUGE PRETPOSTAVKE

Ponude dobijene od relevantnih kompanija, podaci dobijeni istraživanjem tržista, vrednosti opisane kao standardi, kao i procene na osnovu sprovedenih istraživanja uzeti su kao ulazni podaci u tabelarnom alatu za procenu Pametnije zgrade (videti poglavlje 9.2).

Troškovi održavanja tehničke opreme i procena radnog veka (prema EN 15459-1:2017) dati su u tabeli 4.1.

Oprema	Procenjeni radni vek [godina]	Godišnji troškovi održavanja [% troškova ulaganja]
Klima uređaji	15	4
Kotao - kondenzacioni	20	1,5
Kontrolna oprema	20	4
Sistem cevi za filtrirani vazduh	30	2
Ventilatori	20	4
Ventilatori sa promenljivim protokom vazduha	15	6
Toplotne pumpe	15	3
Rezervoar za skladištenje sanitарне tople vode	20	1
Uređaji za rekuperaciju toplote	20	4
Fotonaponski paneli	25	0,5
Invertor	10	-
Plastične cevi (za podno grejanje)	50	1

Tabela 4.1. Troškovi održavanja opreme i procena radnog veka prema EN 15459-1:2017

4.2. VAZDUŠNI I VODENI SISTEMI KGH

Prilikom projektovanja sistema KGH, potrebno je odlučiti se za vodu ili vazduh kao medijum za prenos toplote koju proizvede topotna pumpa. Sledеća razmatranja se uglavnom tiču količine vazduha potrebnog za postizanje projektovanih temperatura. Ta razlika je proporcionalna proizvodu dva glavna faktora:

- specifični topotni kapacitet vode je približno 4186 J/kgK, dok je specifični kapacitet vazduha 1005 J/kgK, i;
- gustina vode je 1000 kg/m^3 , dok je gustina vazduha $1,2 \text{ kg/m}^3$.

U skladu sa tim, razlika u količini toplote koju je moguće preneti po m^3 prenosnog medijuma je ogromna – voda je daleko efikasniji prenosni medijum.

Posledice navedenog su sledeće:

- ako je nosilac toplote vazduh, pod pretpostavkom da je temperatura prostorije 22°C , a temperatura vazduha za grejanje 38°C , ako je potrebno 30 kW topotne energije (vršna potrošnja Pametnije zgrade), neophodno je $5600 \text{ m}^3/\text{h}$ vazduha;
- istovremeno, prema standardu DIN1946, za 50 stanara će biti potrebno između $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ i $3000 \text{ m}^3/\text{h}$, u zavisnosti od okolnosti (manja vrednost tokom noći kada je ventilacija podešena na najslabije, odnosno viša vrednost kada je ventilacija podešena na najjače), tj. 2–5 puta manje vazduha uz različite propratne efekte:
 - u prvom slučaju, veličina glavnog kanala u slučaju četvrtastih kanala i za brzine od 5 m/s biće $0,62 \text{ m}^2$, dok će u drugom slučaju presek cevi biti $0,25 \text{ m}^2$;
 - gubitak energije na uređaju za rekuperaciju toplote će, u skladu sa protokom, biti 2–5 puta veći.

4.2.1. VAZDUH KAO NOSILAC TOPLOTE

Prednosti:

- kvalitet vazduha se može u potpunosti kontrolisati (s tim da podešavanje svih parametara može biti skupo);
- velika količina vazduha koji ulazi u zgradu/izlazi iz zgrade uz adekvatno filtriranje može pružiti osećaj najvećeg komfora;
- preraspodela energije između stanova, čiji je rezultat ušteda energije;

Mane:

- brzina protoka vazduha je značajno veća nego u slučaju korišćenja vode/rashladnog fluida kao nosioca toplote (gde protok vazduha u ventilacionom sistemu služi samo za ventilaciju), što znači sledeće:
 - sve cevi imaju veći poprečni presek, zbog čega će celu instalaciju biti skupljia i zauzimati puno prostora (naročito bitno kada je reč o vertikalnim vodovima i gubicima korisne stambene površine);
 - ventilatori troše više energije (potreba pasivne kuće za električnom energijom za potrebe ventilacije je ograničena na $0,45 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$), a još više kada je u pitanju centralizovani sistem;
 - gubitak toplote na uređaju za rekuperaciju je veći za istu efikasnost tog uređaja;
 - penetracija cevi kroz tavanice/zidove zahteva dodatne požarno otporne komponente;
- širenje buke među stanovima;
- nemogućnost istovremenog grejanja i hlađenja;
- veoma mala mogućnost kontrole temperature i/ili protoka u pojedinačnim stanovima;
- balansirana upotreba distributivne mreže predstavlja izazov;
- nedostatak praktičnih tehničkih znanja, jer ovakva vrsta zgrada sa više stanova nije uobičajena na tržištu u Srbiji.

PREPORUKA: Ne treba uzimati u obzir za Pametniju zgradu.

4.2.2. VODA KAO NOSILAC TOPLOTE

Prednosti:

- veoma efikasna, naročito u kombinaciji sa geotermalnim izvorom toplove;
- jednostavno je omogućiti kontrolu temperature u pojedinačnim stanovima;
- bez značajnijih penetracija cevi kroz podove/tavanice/zidove;
- ventilacija je potrebna samo za dovod vazduha za stanare – smanjena razvodna mreža, ventilatori troše 2–5 puta manje energije u poređenju sa sistemom u kome je nosilac toplove vazduh;
- moguće je istovremeno grejanje i hlađenje (s tim da to zahteva četvorocevni sistem koji može biti skup);
- praktična tehnička znanja postoje;
- distributivna mreža se lako balansira.

Mane:

- potrebne su dodatne cevi za vodu (koje su ipak jeftinije od kanala za vazduh).

PREPORUKA: Treba uzeti u obzir za Pametniju zgradu.

4.3. CENTRALIZOVANA I DECENTRALIZOVANA ISPORUKA ENERGIJE GREJANJA/HLAĐENJA

Prilikom planiranja sistema KGH za višestambene zgrade, uvek postoji izbor između centralizovanog i decentralizovanog sistema KGH. Uobičajeni scenario u Srbiji je izbor visokodecentralizovanog sistema, najčešće podstaknut pristupom koji se doživljava kao „nezavisnost“ ili „nevezanost“ za susede (poučen problemima koji proizlaze iz održavanja zajedničke opreme), a pošto je Pametnija zgrada osmišljena drugačije, prednosti i mane moguće konfiguracije sistema će biti predstavljene u narednim odeljcima.

4.3.1. CENTRALIZOVANA ISPORUKA ENERGIJE GREJANJA/HLAĐENJA

U centralizovanom sistemu, jedan veliki uređaj obezbeđuje energiju grejanja/hlađenja za celu zgradu.

Prednosti:

- jedan uređaj je dovoljan, a posledica toga je manje inicijalno ulaganje, niži troškovi održavanja, lakši pristup, lakša zamena filtera itd.;
- u slučaju postavljanja kompresora toplotne pumpe u prizemlju zgrade, buka ne bi predstavljala problem;
- jednostavna integracija rezervnog sistema (električnog grejača);
- moguća je centralizovana priprema tople vode;
- u slučaju toplotne pumpe vazduh-vazduh, potrebne su samo dve penetracije omotača zgrade.

Mane:

- naplata grejanja po utrošku je značajno komplikovanija.

PREPORUKA: Treba uzeti u obzir za Pametniju zgradu.

4.3.2. DECENTRALIZOVANA ISPORUKA ENERGIJE GREJANJA/HLAĐENJA

U decentralizovanom sistemu se koristi više manjih uređaja (po jedan na svakom spratu, ili u svakom stanu) za isporuku energije grejanja/hlađenja.

Prednosti:

- temperatura se može lako podešavati u svakom stanu;
- moguća je naplata po utrošku.

Mane:

- više uređaja znači veće ulaganje;
- održavanje je kompleksnije;
- za Beograd je neophodan električni predgrejač da bi uređaj za rekuperaciju toplote mogao da radi tokom dužih perioda sa spoljašnjim temperaturama ispod nule (kondenzat se pretvara u led i zapušava uređaj za rekuperaciju);
- geotermalna energija je praktično nedostupna, pa su mogući sistemi vazduh-voda ili vazduh-vazduh;
- mogao bi biti skuplj;
- zamena filtera predstavlja veći izazov nego u slučaju centralizovanog sistema.

PREPORUKA: Ne treba uzimati u obzir za Pametniju zgradu.

4.4. CENTRALIZOVANA I DECENTRALIZOVANA MEHANIČKA VENTILACIJA SA REKUPERACIJOM TOPLOTE

Slično kao u prethodnom poglavljtu (4.3), u narednim odeljcima su predstavljene prednosti i mane ova dva pristupa.

4.4.1. CENTRALIZOVANA MEHANIČKA VENTILACIJA SA REKUPERACIJOM TOPLOTE

U centralizovanom sistemu, jedan veliki uređaj obezbeđuje mehaničku ventilaciju za celu zgradu.

Prednosti:

- kvalitet vazduha se može u potpunosti kontrolisati (s tim da podešavanje svih parametara može biti skupo);
- preraspodela energije između stanova omogućava uštedu energije;
- Mane:

■ brzina protoka vazduha je značajno veća nego u slučaju korišćenja vode/rashladnog fluida kao nosioca toplote (gde protok vazduha u ventilacionom sistemu služi samo za ventilaciju), što znači sledeće:

- sve cevi imaju širi prečnik, zbog čega će cela instalacija biti skupa i zauzimati puno prostora (naročito bitno kada je reč o vertikalnim vodovima i gubitka korisne površine);
- ventilatori troše više energije;
- gubitak toplote na uređaju za rekuperaciju je veći za istu efikasnost tog uređaja;
- penetracija cevi kroz tavanice/podove/zidove zahteva dodatne požarno otporne komponente;
- širenje buke među stanovima;
- nemogućnost istovremenog grejanja i hlađenja;
- veoma mala mogućnost kontrole temperature i/ili brzine protoka u pojedinačnim stanovima;
- balansirana upotreba distributivne mreže predstavlja izazov;

PREPORUKA: Ne treba uzimati u obzir za Pametniju zgradu.

4.4.2. DECENTRALIZOVANA ILI INDIVIDUALNA MEHANIČKA VENTILACIJA SA REKUPERACIJOM TOPLOTE

U decentralizovanom sistemu se koristi više manjih uređaja (po jedan na svakom spratu, ili u svakom stanu) za mehaničku ventilaciju.

Prednosti:

- kvalitet vazduha se može u potpunosti kontrolisati (s tim da podešavanje svih parametara može biti i skuplje nego u slučaju centralizovanog sistema);
- svaki stan može lako pojačati protok na najjače kada je to potrebno.

Mane:

- individualna mehanička ventilacija bi mogla biti skupljena;
- dve penetracije omotača zgrade po stanu/spratu koje treba adekvatno zatvoriti i izolovati;
- zamena filtera predstavlja veći izazov nego u slučaju centralizovanog sistema.

PREPORUKA: Treba uzeti u obzir za Pametniju zgradu.

4.5. PREPORUČENI SISTEM KGH

Preporučeno rešenje predstavlja ravnotežu između ulaganja i komfora koji se može ostvariti: **Decentralizovana (za svaki sprat ili stan) mehanička ventilacija sa rekuperacijom toplove u kombinaciji sa centralizovanom geotermalnom toplotnom pumpom kao izvorom energije grejanja/hlađenja sa izmenjivačem toplove ugrađenim u ventilacione vodove. Zbog toplotnog komfora treba razmotriti podno grejanje za prvi sprat.**

Prednosti:

- (naj)veći COP od svih razmatranih sistema;
- niska cena po instaliranom kW;
- kvalitet vazduha je uporediv sa vazdušnom toplotnom pumpom i ventilacijom sa rekuperacijom toplove, dok je cena distributivne mreže značajno niža iz sledećih razloga:
 - prenos bilo koje količine toplove je lakši vodom nego vazduhom;
 - klimatizacija je moguća u meri u kojoj je to prihvatljivo za investitora;
 - moguća je individualna kontrola protoka i temperature u svakom stanu (čak i daljinska kontrola);
 - lako se postiže balans u mreži;
 - rezervni sistem za grejanje je jeftin i lako se integriše;
 - moguća je centralizovana priprema tople vode;
 - laka je integracija sa fotonaponskom elektranom, uz mogućnost ugradnje i rezervoara za akumulaciju toplove.

Mane:

- u poređenju sa vazdušnom toplotnom pumpom, potrebni su dodatni troškovi za bušenje i pomoćnu opremu za toplotni izvor/ponor, procenjeni na 4.000 € (dve bušotine dubine 15 m);
- decentralizovana ventilacija podrazumeva više penetracija kroz omotač zgrade, što komplikuje zaptivanje i izolaciju omotača zgrade (a potencijalno utiče i na njenu estetiku);
- značajno je komplikovanje vršiti naplatu od stanara po utrošku energije (što u slučaju zadružnog stanovanja ne bi trebalo da bude problem).

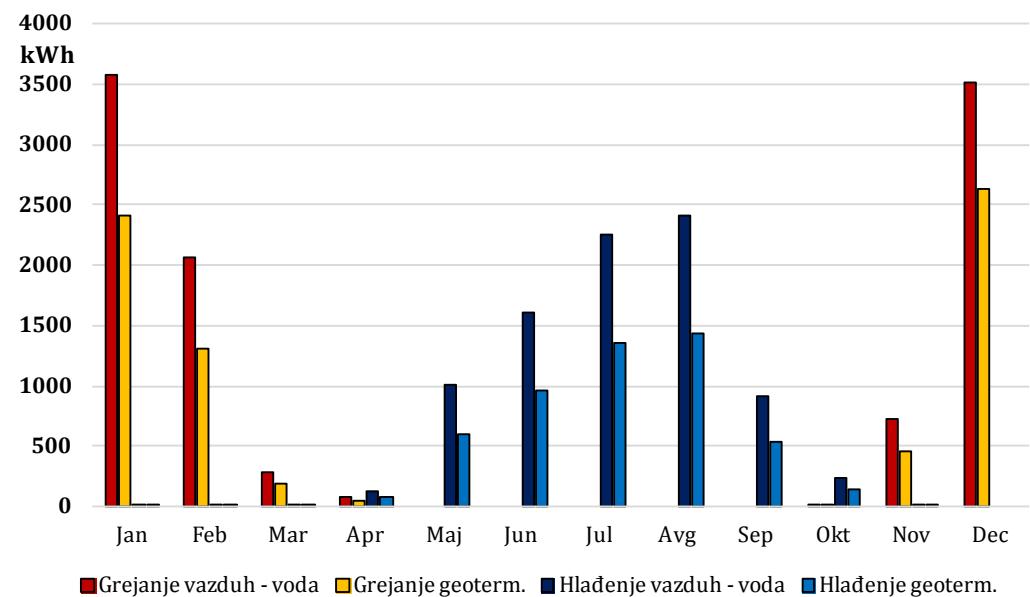
Procena cene kompresora je 5.500 €, cevne instalacije i izmenjivača toplo-te 38.000 €, u slučaju decentralizovane ventilacije u svakom stanu cena ventilacije sa rekuperacijom je procenjena na 1.500 € po stanu, a u slučaju polucentralizovane ventilacije procenjena je na 3.200 € po spratu, odnosno 12.000 € za celu gradu.

Cena dve bušotine i pomoćne opreme se procenjuje na 4.000 €.

Ukupna cena ne bi trebalo da bude veća od 74.000 € bez PDV i ugradnje.

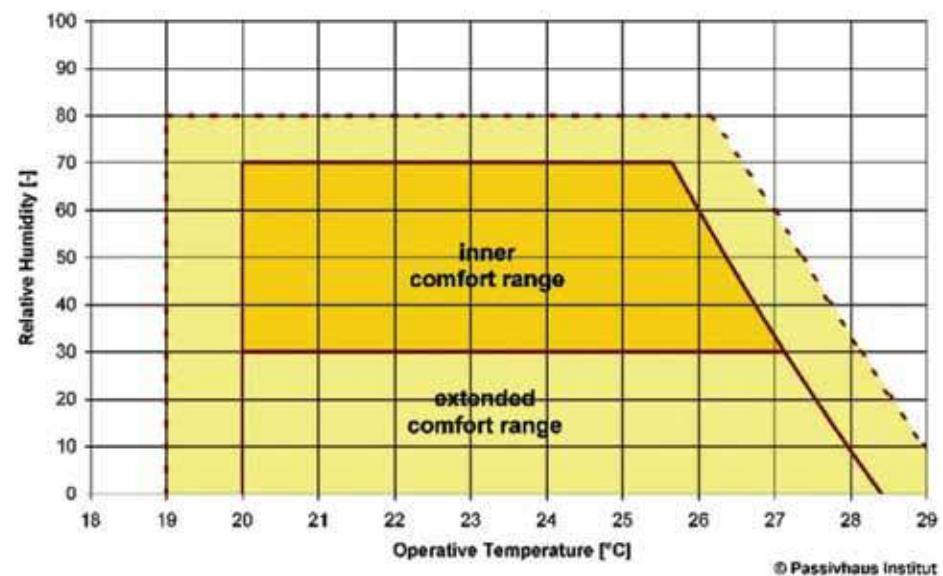
NAPOMENA: Toplotna pumpa vazduh-voda bi mogla da bude alternativa u slučaju da geotermalna energija (iz nekog razloga) nije dostupna na lokaciji zgrade.

Razlika između potrošnje energije vazdušne i geotermalne topotne pumpe prikazana je na slici 4.1 pod sledećim prepostavkama: AAC Passive 3, temperatura grejanja 20 °C, temperatura hlađenja 26 °C, dvostruko zastakljeni prozori.



Slika 4.1. Razlika između potrošnje energije (kWh) geotermalne i vazduh-voda topotne pumpe

NAPOMENA: Da bi se sprečio suv vazduh tokom zime (i vlažan tokom leta), u uređaju za rekuperaciju topote može se koristiti tzv. entalpijski izmenjivač ili izmenjivač totalne topote (THEX). Takvi izmenjivači koriste energiju i iz topote (senzibilna topota) i iz vlažnosti vazduha (latentna topota), a pri tome omogućavaju prenošenje vlage. Na taj način se može zadržati 80% vlažnosti u vazduhu, što za posledicu ima bolju unutrašnju klimu. Jeftinija alternativa bi mogla biti ugradnja ovlaživača vazduha u ventilacione kanale, samo za potrebe tokom zimskog perioda.



Slika 4.2. Komforni opseg prema PHI

NAPOMENA: Precizna procena cene sistema za rekuperaciju topote moguća je nakon izrade detaljne projektne dokumentacije za sistem KGH.

4.6. SISTEM SANITARNE TOPLE VODE

Nakon predlaganja ili projektovanja centralizovanog sistema za grejanje i hlađenje, sam se nameće i centralizovani sistem za isporuku tople sanitарne vode kao dodatak sistemu KGH. U tom slučaju, toplotna pumpa je deljeni resurs i zahteva zanemarljivo veće ulaganje u neznatno veći izvor (kompresor); neophodno je ulaganje i u relativno veliki izolovani sud, ali je taj sud potreban kao rezervoar za akumulaciju toplotne energije, čija je uloga da obezbedi integraciju solarne elektrane. Imajući u vidu sve navedeno, za Pametniju zgradu se predlaže centralizovani zatvoreni sistem sanitарne tople vode sa toplotnom pumpom. Integracija predloženog sistema će imati sledeći rezultat:

- veliki akumulacioni rezervoar omogućava veliki komfor i jeftinu pripremu tople vode, naročito ako se u sistem integriše solarna elektrana (ili drugi izvor obnovljive energije);
- ovakvom sistemu je potrebno manje prostora i manje održavanje nego individualnim uređajima.

Glavne mane centralizovanog sistema sanitарne tople vode su sledeće:

- dugačka mreža cevi može dovesti do gubitaka toplote iz sistema, što ne bi trebalo da predstavlja problem tokom zime, ali bi moglo da bude problem tokom leta jer ovi gubici predstavljaju neželjene dobitke toplote u zgradi;
- cena centralizovanog sistema bi mogla biti veća od cene decentralizovanog sistema; ceo sistem (cevne instalacije) bi trebalo da bude dobro izolovan, a za procenu cene je potrebno razraditi detaljan projekt;
- naplata po utrošku bi mogla značajno da poveća potrebno ulaganje;
- sprečavanje razvoja bakterije legionele može rezultovati dodatnom potrošnjom energije;
- potrošnja energije pumpe za cirkulaciju vode bi mogla da bude značajna, pa bi u cilju što manjeg gubitka trebalo primeniti nekakvu strategiju kontrole, npr. kontrola rada pumpe u skladu sa temperaturom povratne vode.

NAPOMENA: Treba ugraditi akumulacioni rezervoar za sanitarnu toplu vodu. Zapremina akumulacionog suda zavisi od sistema i načina korišćenja energije:

- Prema standardu BS EN 14511:2011, zapremina „treba da bude približno 25 litara po kW kapaciteta toplotne pumpe“;
- Prema standardu BS EN 15450:2007, „referentna vrednost za određivanje zapremine akumulacionog rezervoara je 12 do 35 l po kW maksimalnog kapaciteta toplotne pumpe“;
- Tehničko uputstvo kompanije Clyde 788/1 (2006):

$$V \text{ (povremena upotreba)} = \text{energija potrebna za grejanje (kW)} \times 25 \text{ l}$$

$$V \text{ (stalna upotreba)} = \text{energija potrebna za grejanje (kW)} \times 80 \text{ l}$$

U slučaju Pametnije zgrade, zapremina treba da bude do 1.500 litara. Ukoliko ne postoji neto merenje za fotonaponsku elektranu od 20 kW, kapacitet akumulacionog rezervoara treba podeliti na dva dela, jedan za grejanje, a drugi za topalu vodu, sa ukupnom zapreminom od 3.000 l (kao što je objašnjeno u poglavlju 10 ovo pitanje bi moglo da bude predmet daljih istraživanja). Ako toplotnom pumpom nije moguće postići temperaturu od 60 °C, treba ugraditi električni grejač u akumulacioni rezervoar i povremeno ga uključivati radi sprečavanja razvoja bakterije *legionella pneumophila*.

REZIME POGLAVLJA 4

SISTEM KGH I SANITARNE TOPLE VODE

U poglavlju 4 govori se izboru potrebnih tehničkih instalacija za klimatizaciju, grejanje i hlađenje (KGH), kao i za pripremu sanitarno toplo vode (SSTV).

Sistem KGH je jedan od najvažnijih elemenata u slučaju pasivne kuće:

- obezbeđuje deo toplotne energije koji nedostaje tokom zime (najveći deo toplote dolazi od električnih uređaja, osvetljenja i ljudskih tela);
- pomaže u izbacivanju viška toplote tokom leta;
- reguliše kvalitet vazduha.

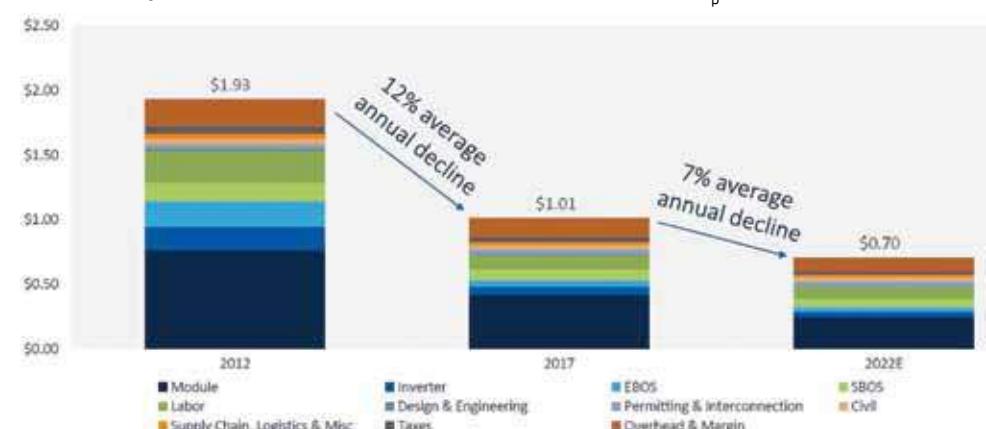
Analiza pilot projekta pokazuje to da najbolju kombinaciju efikasnosti, ekonomičnosti i jednostavnosti implementacije pruža decentralizovani sistem KGH sa centralizovanim izvorom toplote (geotermalna toplotna pumpa) koji koristi vodu kao prenosni medijum. Za SSTV se preporučuje centralizovani sistem.

Kako bi se svi ovi zahtevi ispunili poželjna je visoka integracija svih podsistema. Preporučeni sistemi su potpuno električni, uz poželjno korišćenje obnovljive (solarne) energije proizvedene u samoj zgradbi.

POGLAVLJE 5

FOTONAPONSKA ELEKTRANA

Integracija obnovljivih izvora energije u pasivnu kuću predstavlja deo standardnog pristupa za poboljšanje energetskih svojstava zgrade i njenog ekološkog otiska. Kao što je prethodno pomenuto, nova metodologija zasnovana na obnovljivoj primarno energiji (MOPE) za pasivne kuće predviđa proizvodnju obnovljive energije u okviru zgrade. Posmatrajući situaciju na tržištu u Srbiji, pored geotermalnog, jedini primenljivi izvor obnovljive energije jeste integracija solarne fotonaponske elektrane. Fotonaponska solarna elektrana se sastoji od niza solarnih panela i (jednog ili više) invertora koji proizvode električnu energiju. U trenutku pisanja ovog izveštaja, cena fotonaponskih elektrana je $0,8 \text{ €/kW}_p$ za kompletan sistem sa ugradnjom. Prema prognozama navedenim u izveštaju o cenama fotonaponske opreme u SAD (U.S. PV Price Brief) (slika 5.1) medijske kuće GTM Research, procena je da će cena elektrana 2021. godine biti $0,7 \text{ €/kW}_p$ sa PDV.



Slika 5.1. Izveštaj o cenama fotonaponske opreme (U.S. PV Price Brief) medijske kuće GTM Research kao osnova za procenjenu cenu fotonaponske elektrane od $0,7 \text{ €/kW}_p$ 2021. godine

Za potrebe ovog istraživanja razmotrene su krovne solarne fotonaponske elektrane sa tri različite vršne snage. Na osnovu fotonaponskog geografskog informacionog sistema (PV GIS) [17] (za lokaciju Beograd, južna orijentacija, optimizovani ugao panela 35° , ukupni gubici sistema 14%), može se očekivati sledeća proizvodnja fotonaponske energije:

$15 \text{ kW}_p \rightarrow 18.600 \text{ kWh godišnje}$

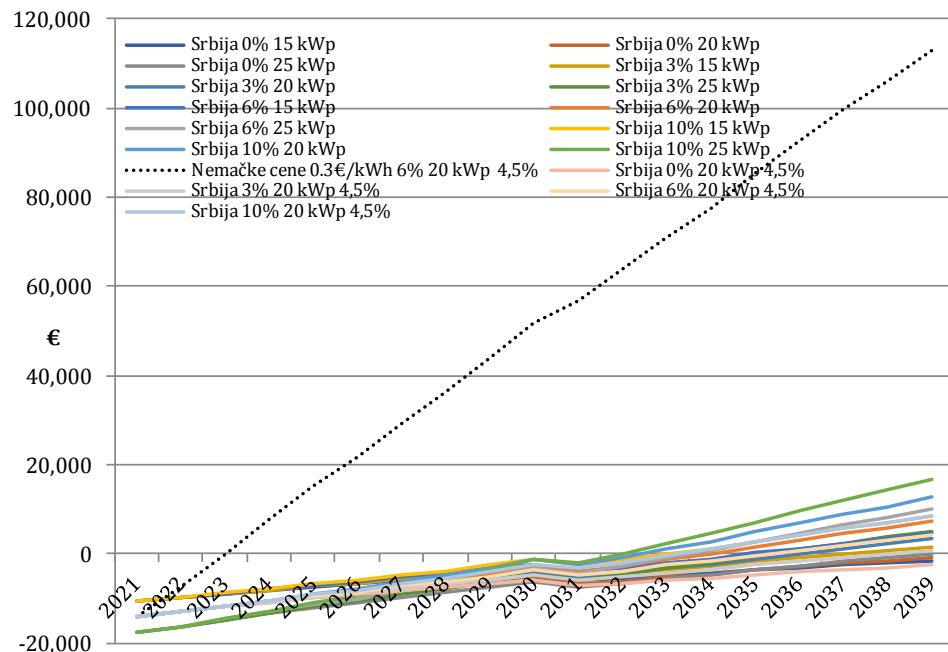
$20 \text{ kW}_p \rightarrow 24.800 \text{ kWh godišnje}$

$25 \text{ kW}_p \rightarrow 31.050 \text{ kWh godišnje}$

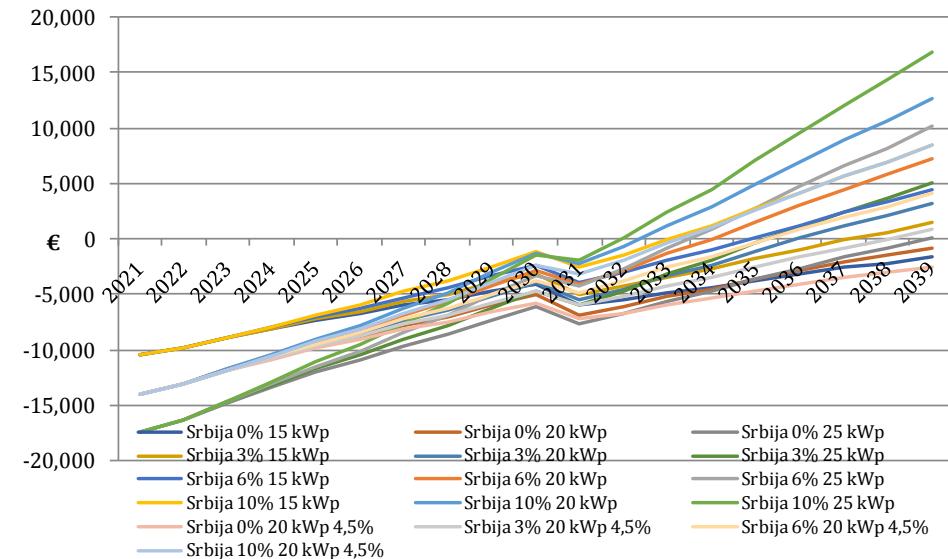
Ukoliko pilot zgrada prema MOPE ima potrošnju energije $\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ godišnje})$ i grejnu površinu od 1.368 m^2 , godišnja potrošnja je $\pm 79.400 \text{ kWh}$.

Prema tome, solarna elektrana na zgradi može obezbiti **između $\pm 23\%$ i 39% potrebne primarne energije.**

Nakon analize nekoliko scenarija integracije fotonaponske elektrane, nije pronađen nijedan u kome bi se ulaganje isplatio za manje od 10 godina (slika 5.2). Najpovoljniji scenario podrazumeva najveći razmatrani kapacitet fotonaponske elektrane (25 kW_p), rast cene električne energije od 10% na godišnjem nivou i $d = 4,5\%$ (pri čemu su i vrednost diskontne stope i rast cene električne energije optimistični). Rezultati na slici 5.2, slici 5.3 i slici 5.4 dati su pod sledećim pretpostavkama: *prepostavljena cena invertora okvirno 2030. godine 3500 €, radni vek invertora 10 godina, troškovi održavanja 0,1 €/kW_p godišnje.*

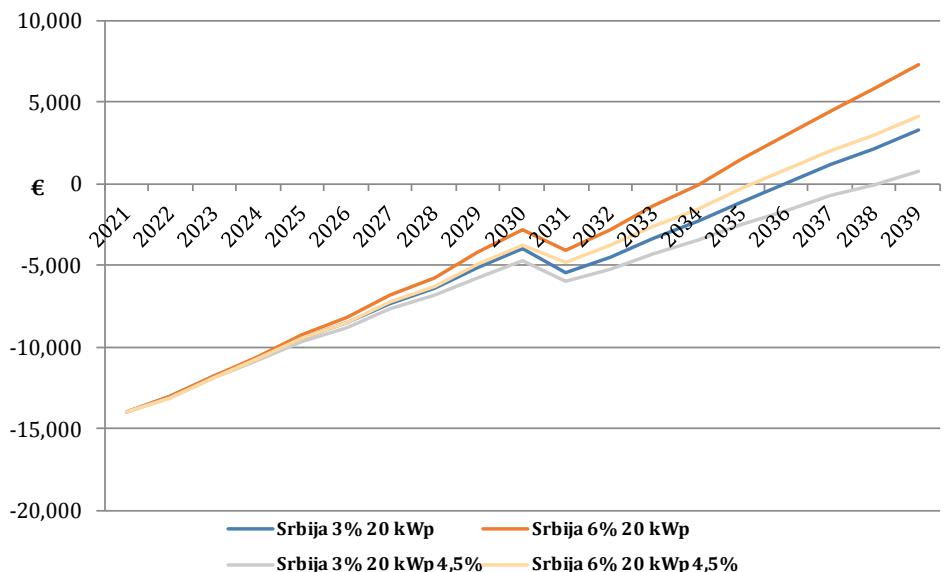


Slika 5.2. Analiza NTV različitih instaliranih kapaciteta, stopa rasta cene električne energije i različitih vrednosti diskontne stope, pri čemu se jedan scenario odnosi na cenu električne energije u Nemačkoj kako bi istakao značaj cene električne energije



Slika 5.3. Analiza NTV različitih instaliranih kapaciteta, stopa rasta cene električne energije i različitih vrednosti diskontne stope

Realniji scenariji su prikazani na slici 5.4, iz kojih možemo zaključiti da je očekivani period isplativosti približno 15 godina. Treba napomenuti i to da postoje scenariji u kojima se fotonaponska elektrana neće nikada isplatiti (kapacitet elektrane od 15 kW_p, spor rast cene električne energije (3% godišnje), diskontna stopa od 10%).



Slika 5.4. Analiza NTV instaliranog kapaciteta od 20 kWp, stopa rasta cene električne energije i različitih vrednosti diskontne stope



Slika 5.5. Fotonaponska elektrana od 15 kWp na krovu Pametnije zgrade

PREPORUKA: Fotonaponsku elektranu treba uzeti u obzir za Pametniju zgradu.

REZIME POGLAVLJA 5

FOTONAPONSKA ELEKTRANA

Poglavlje 5 istražuje potencijal proizvodnje energije uz mali uticaj na životnu sredinu ili obnovljive energije na lokaciji na kojoj se zgrada nalazi.

Integracija obnovljive energije u pasivnim kućama je više nego uobičajena i sastavni je deo ažuriranog standarda pasivne kuće (u pogledu potreba propisanim kroz MOPE).

Analize pokazuju da integracija solarne fotonaponske elektrane (kapaciteta 15–25 kWp) može obezbediti između +/- 25 i 45 % potrebne primarne energije iz energije proizvedene u samoj zgradi.

Međutim, specifičnosti domaćeg tržišta komplikuju situaciju: nema podsticajnih tarifa, ne postoji neto merenje i cena električne energije je među najnižim u Evropi (videti poglavlje 8.3). Na sreću, cena fotonaponskih elektrana po instaliranom kW nalazi se na istorijskom minimumu, što ostavlja dovoljan prostor za preporuku za upotrebu ove tehnologije u Pametnoj zgradi.

POGLAVLJE 6

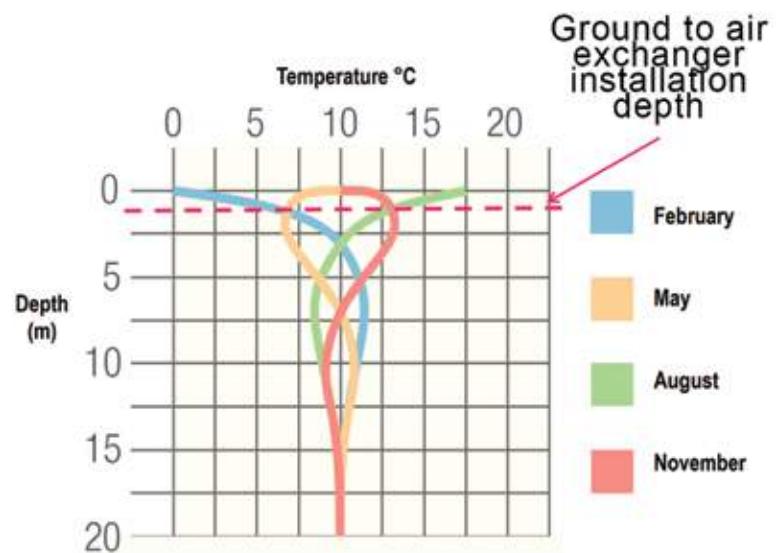
POMOĆNI SISTEMI

U nekoliko narednih odeljaka biće razmatrana pomoćna oprema osmišljena za poboljšanje svojstava pasivne kuće:

- izmenjivač topote zemlja–vazduh i termodinamički solarni paneli kao način poboljšanja COP-a toplotne pumpe, zasnovan na ideji smanjenja razlike između temperatura isparivača i kondenzatora;
- toplotni solarni paneli, kao način proizvodnje sanitарне tople vode;
- solarni dimnjak, kao način odvođenja topote akumulirane tokom letnjih vrućina i;
- sezonsko skladištenje topote, kao način akumuliranja energije i/ili podmirivanja potreba prilikom vršnog opterećenja u bilo kom periodu godine.

6.1. IZMENJIVAČ TOPOTE ZEMLJA–VAZDUH

Toplotne pumpe sa vazduhom kao izvorom topote ponekad koriste izmenjivač topote zemlja–vazduh (cevi položene u zemlju ispod ili pored zgrade) za predgrejanje odnosno predhlađenje vazduha. Izmenjivač se oslanja na mnogo manju fluktuaciju temperature zemljišta u poređenju sa temperaturom vazduha tokom godine.



Slika 6.1. Izmenjivač topline zemlja-vazduh (REHAU)

Neke od nespornih dobiti su sledeće:

- može povećati COP toplotne pumpe, čime se unapređuje ukupna efikasnost sistema;
- omogućuje poboljšanu ventilaciju tokom mnogo dužeg perioda godine;
- dugotrajno rešenje;
- troškovi održavanja bi mogli biti niski i;
- kompletna instalacija je skrivena od pogleda.

Sa druge strane, utvrđeni nedostaci su u najmanju ruku podjednako važni:

- ako je nosilac toplote vazduh, za prenos približno 30 kW topline neophodan je protok od najmanje $5.500 \text{ m}^3/\text{h}$, što zahteva sabirnu cev prečnika oko 600–800 mm i odgovarajući broj bočnih cevi (paralelnih, automatski uravnoteženih) (za obezbeđivanje prenosa topline sa zemljišta na vazduh potrebna je mala brzina (1–2 m/s) i bočne cevi malog prečnika – približno 200 mm), a sve to povećava potreбно ulaganje;
 - da bismo stekli bolju sliku o veličini instalacije, dobar primer je škola u gradiću Karklejz u engleskoj oblasti Kornvol, gde je za protok od $3.457 \text{ m}^3/\text{h}$ postavljena sabirna cev prečnika 500 mm sa 16 bočnih cevi prečnika 200 mm i dužine 30 m (što, zbog potrebnog prostora, znači da bi polaganje cevi u slučaju Pametnije zgrade bilo skupo i/ili teško izvodljivo);
- za adekvatan protok vazduha kroz cevi potreban je ventilator, što povećava potrošnju električne energije (a možda i buku);
- neophodno je dreniranje cevi; ukoliko su cevi pravilno postavljene mogućnost prodora vode u njih je mala, ali je nemoguće izbeći kondenzaciju, naročito tokom leta. Prisustvo vode može imati sledeće posledice:
 - plesnjiv miris;
 - razvoj bakterija, naročito opasne bakterije *legionella pneumophila*,
 - troškovi čišćenja najmanje jednom godišnje (pri čemu je nepoznato ko na domaćem tržištu poseduje praktična znanja za ovaj veoma specifičan posao).
- Položene cevi bi trebalo da budu napravljene od materijala koji ima dobru toplotnu provodljivost, koji je dovoljno čvrst da spreči korenje drveća da ih pokida, kao i otporan na razvoj bakterija, a to povećava cenu sistema.

PREPORUKA: Ne treba ga uzimati u obzir pod okolnostima prisutnim u Srbiji.

6.2. SOLARNI TERMALNI KOLEKTORI

Solarni kolektori skupljaju toplotu tako što apsorbuju sunčevu svetlost i koriste je da zagreju vodu (za razliku od solarnih fotonaponskih panela, koji proizvode električnu energiju). Koriste se za uštedu energije, pretežno za zagrevanje sanitарне tople vode, i to ne isključivo u pasivnim kućama. Nakon razmatranja solarnih kolektora (slika 6.2), zaključak je da je po kWh zagrejane vode potrebno slično ulaganje kao u slučaju fotonaponske elektrane u kombinaciji sa toploputom pumpom.



Slika 6.2. Solarni termalni kolektor

Solarni kolektori se ne preporučuju kao tehnologija za Pametniju gradu iz sledećih razloga: ako bi bili dodati kao deo instalacije, toplota od viška energije koju proizvedu fotonaponski paneli ne bi mogla da bude iskorišćena i skladištena u akumulacionom rezervoaru za toplu vodu, što bi nepovoljno uticalo na period isplativosti fotonaponskog sistema, naročito u slučaju da neto merenje ne bude uvedeno u Srbiji. Drugim rečima, pošto će se u svakom slučaju ulagati u toploputnu pumpu, pametnije je upravljati električnom energijom (iz fotonaponskih panela) i preusmeravati je prema potrebama, nego upravljati toploputnom energijom (iz solarnih kolektora).

PREPORUKA: Ne treba uzimati u obzir za Pametniju zgradu, osim u slučaju da se iz nekog razloga odustane od fotonaponske elektrane. U tom slučaju treba ponovo razmotriti korišćenje solarnih kolektora.

6.3. SISTEM TERMODINAMIČKIH SOLARNIH PANELA

Slično kao kod prethodno pomenutog izmenjivača toplote zemlja-vazduh, ovaj dodatak toploputnoj pumpi ima cilj da poveća njen COP, s tim da umesto geotermalne energije koristi energiju sunca tako što rashladni fluid izlaze sunčevim zracima unutar panela postavljenih na krov ili vertikalni zid.



Slika 6.3. Termodinamički solarni panel

Ovaj sistem bi mogao biti naročito delotvoran u slučajevima kada se velika količina vode zagreva toploputnom pumpom. Mana termodinamičkih solarnih panela je to što su korisni samo tokom zime (ako se ovaj dodatak ne koristi isključivo za zagrevanje vode toploputnom pumpom koja ima samo tu namenu), pa se procenjuje da očekivana dobit neće nužno opravdati ovu investiciju.

PREPORUKA: Ne treba ih uzimati u obzir pod okolnostima prisutnim u Srbiji.

6.4. SOLARNI DIMNJAK

Jedan od očekivanih problema u realizaciji koncepta pasivne kuće u Srbiji jeste akumuliranje toplote tokom leta, koje karakterišu višednevni periodi sa veoma visokim dnevnim temperaturama. Solarni dimnjaci su pasivni solarni elementi koji mogu pomoći u grejanju ili hlađenju objekata. U svom najjednostavnijem obliku, oni predstavljaju samo dodatak na vrhu zgrade u obliku dimnjaka obojenog u crno. Toplota nakupljena u dimnjaku podstiče strujanje vazduha koje je neophodno da bi se izbacila akumulirana toplota iz zajedničkih prostora, čime se smanjuju troškovi hlađenja.

Teško je napraviti preciznu procenu efekata, pa se preporuka za ovu meru zasniva samo na pretpostavci da je solarni dimnjak jeftin dodatak zgradu.



Slika 6.4. Solarni dimnjak(c) kao način za povećanje strujanja vazduha za potrebe pasivnog hlađenja

PREPORUKA: Treba uzeti u obzir za Pametniju zgradu.

6.5. SEZONSKO SKLADIŠTENJE TOPLOTE

Sezonsko skladištenje toplotne energije podrazumeva akumulaciju toplotne ili energije za hlađenje koju je zatim moguće koristiti u dužim vremenskim periodima, ponekad i do nekoliko meseci. Energija se može skladištitи onda kada je njena proizvodnja jeftina, a koristi se onda kada je potrebna ili kada je njena proizvodnja skupa.

Nasuprot prethodno pomenutom kratkoročnom skladištenju, sezonsko skladištenje toplotne je ili skuplje, ili ima nižu stopu povraćaja toplotne. Glavna načela skladištenja energije i njihove karakteristike dati su u nastavku [18]:

- Voda kao skladište energije:
 - visoka cene izgradnje;
 - visoka stopa povraćaja energije (~90–98%);
 - kapacitet skladištenja u poređenju sa 1 m³ vode: 1 m³;
- Skladištenje toplotne energije na principu vode pomešane sa šljunkom:
 - visoka cena izgradnje;
 - povraćaj energije je manji nego kada se koristi samo voda, zbog veće toplotne provodljivosti;
 - kapacitet skladištenja u poređenju sa 1 m³ vode: 1,5 m³;
- Skladištenje toplotne energije na principu izdani (akvifera):
 - mali inicijali troškovi bušenja i opreme, uz velike troškove održavanja;
 - srednja stopa povraćaja energije (65–95%);
 - kapacitet skladištenja u poređenju sa 1 m³ vode: 1,5–2,5 m³;
- Skladištenje toplotne energije na principu bušotina:
 - veliki troškovi bušenja, mali troškovi održavanja i proizvodnje, modularna izgradnja, tvrde stene mogu povećati troškove bušenja;
 - niska stopa povraćaja energije (efikasnost ~70–90%);
 - kapacitet skladištenja u poređenju sa 1 m³ vode: 2-4 m³.

S obzirom na sve navedeno, ako želimo da uštedimo energiju koju prizvede npr. fotonaponska elektrana od 20 kW_p za mesec dana tokom leta (približno 3 MWh) sa početnom temperaturom skladišta toplotne energije koje radi npr. na principu vode pomešane sa šljunkom od 15 °C i krajnjom temperaturom od 50 °C, zapremina rezervoara treba da bude najmanje 65 m³, tj. bio bi nam potreban rezervoar prečnika 9 metara i dubine 1 metar, što podrazumeva veoma veliko ulaganje.

PREPORUKA: Ne treba uzimati u obzir pod okolnostima prisutnim u Srbiji.

REZIME POGLAVLJA 6

POMOĆNI SISTEMI

Dodatno poboljšanje energetske efikasnosti pasivne kuće moguće je integracijom niza različite opreme dostupne na tržištu.

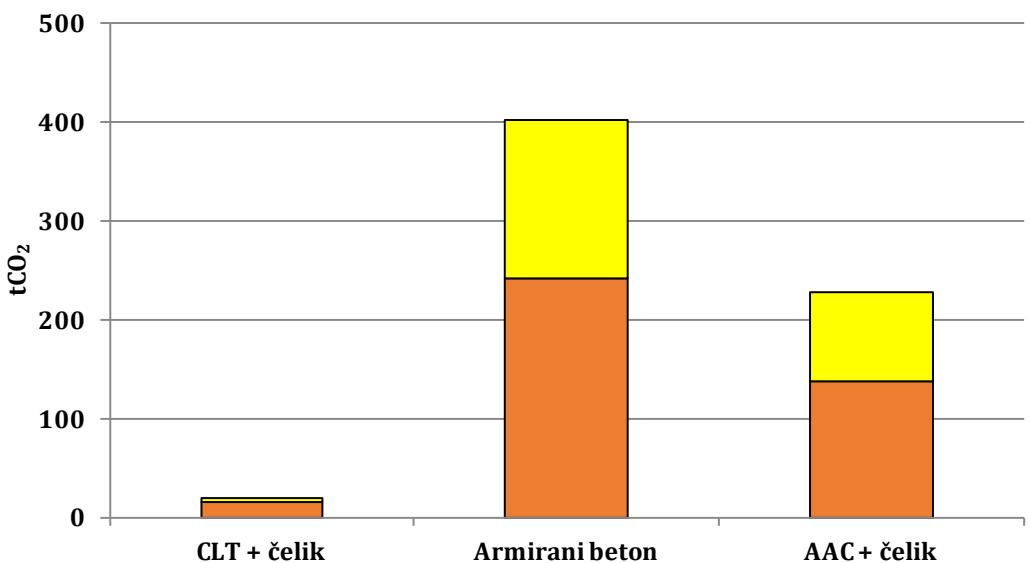
S obzirom na (prethodno navedena) preporučena rešenja za KGH i SSTV, analizirana je ekonomičnost nekoliko takvih sistema.

Zaključak te analize je da su samo solarni dimnjaci prihvatljiva opcija za ovaj pilot projekat.

POGLAVLJE 7

EKOLOŠKI OTISAK

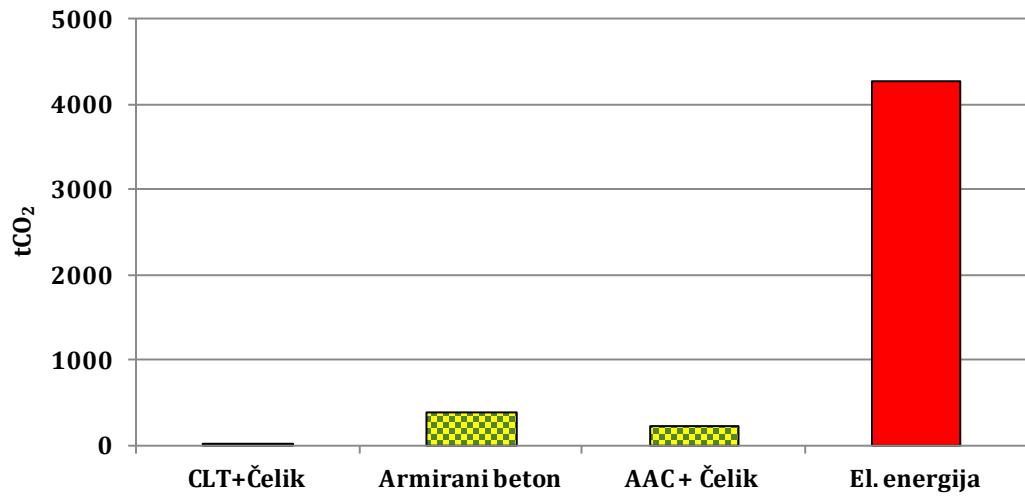
U skladu sa globalnim trendovima (u poslednje vreme) i imajući u vidu da je građevinska industrija jedan od glavnih izvora gasova sa efektom staklene bašte⁶, jedan od osnovnih zahteva gradnje Pametnije zgrade jeste zahtev da njen ekološki otisak bude u razumnoj meri mali. Uticaji glavnih građevinskih materijala na životnu sredinu izračunati su za pilot zgradu projekta Pametnija zgrada u skladu sa različitim izvorima iz stručne literature i izraženi u tonama ugljen-dioksida.



Slika 7.1. Procenjena količina CO₂ (t) koja se emituje gradnjom pomoću AAC i CLT kao glavnim građevinskim materijalima (armirani beton je dat kao hipotetički građevinski materijal), pri čemu u sva tri slučaja žuta boja označava ugljenični otisak čelika.

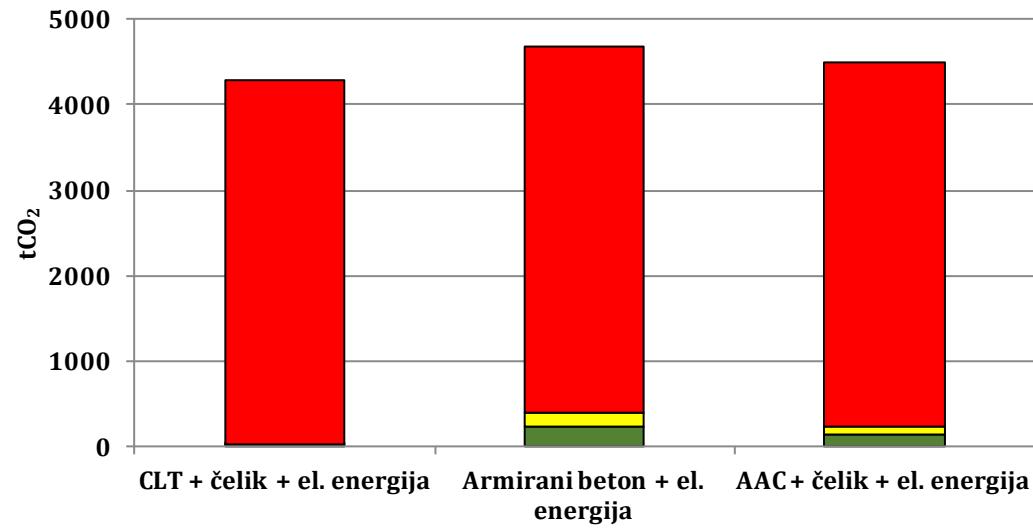
⁶ Proizvodnja cementa stvara više od 4,1 milijarde tona godišnje na svetskom nivou od 2017. godine i na nju otpada oko 5 odsto svetske emisije CO₂, od čega 50% nastaje u hemijskom procesu, a 40% od sagorevanja goriva u njegovoj proizvodnji.

Nakon toga, ove vrednosti su upoređene sa vrednošću CO₂ emitovanog tokom prepostavljenog upotrebnog veka zgrade (50 godina, *iako upotrebnii vek zgrada može biti mnogo duži od 50 godina*) sa prepostavljenom emisijom od 1,055 kgCO₂/kWh (UNDP) proizvedene električne energije u Srbiji (70% iz lignita) (slika 7.2).



Slika 7.2. Vrednosti sa prethodne slike u poređenju sa količinom CO₂ emitovanom tokom 50 godina prepostavljenog upotrebnog veka zgrade po godišnjoj stopi od 60 kWh/m²

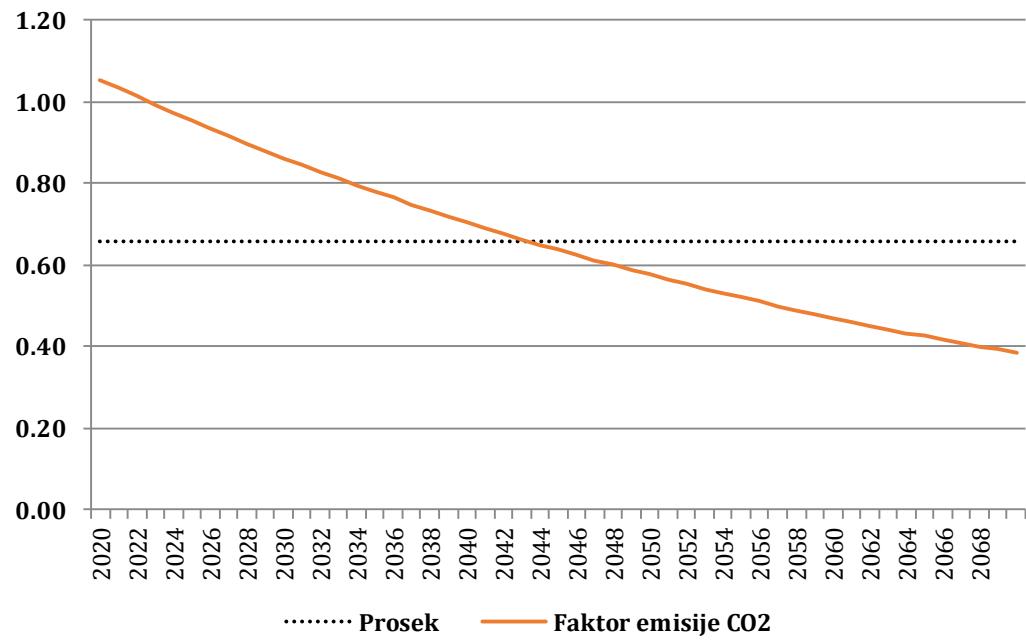
Prvi zaključak je to da će najveći deo emisije doći od potrošene električne energije, a ne od izabranog građevinskog materijala.



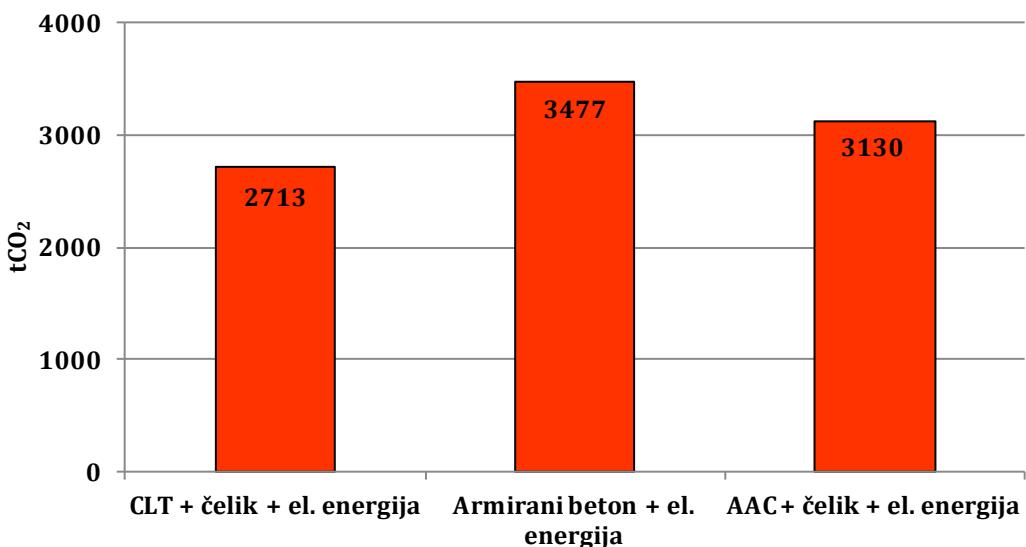
Slika 7.3. Zbir vrednosti emisija od materijala i emisije od električne energije (tCO₂)

Čak i nakon razmatranja mogućeg (i veoma optimističnog) scenarija u kome bi Srbija postepeno redukovala proizvodnju električne energije od uglja godišnjim smanjenjem od 2% (uz novi prosek od 0,66 kgCO₂/kWh), vrednosti emisija su i dalje ubedljivo na strani električne energije, što sugerira da je najbolji način za smanjenje uticaja Pametnije zgrade ulaganje u energetsku efikasnost⁷ ili proizvodnju energije iz obnovljivih izvora u samoj zgradi, umesto ulaganja ogromnih sredstava u građevinske materijale.

⁷ Sa druge strane, kao što smo već pokazali, ulaganje u energetski štedljive tehnologije nije uvek ekonomično.



Slika 7.4. Projekcije faktora emisije CO₂ za narednih 50 godina uz smanjenje upotrebe uglja za proizvodnju električne energije od 2% godišnje (prilično optimistično)



Slika 7.5. Sve prethodne vrednosti, nakon uzimanja u obzir prepostavljenog smanjenja upotrebe uglja i prosečnog faktora emisije od 0,66 kgCO₂/kWh za narednih 50 godina

Za 50 godina trajanja projekta može se ostvariti približno 13% razlike između AAC i CLT (pod veoma optimističkim prepostavkama), pa se, s obzirom na to da najveći deo emisija CO₂ dolazi od potrošnje električne energije, može zaključiti da je za smanjenje emisija važnije ulagati u izolaciju zgrade, zaptivanje omotača zgrade i u energetski štedljive tehnologije (kao i proizvodnju električne energije u zgradama iz obnovljivih izvora) nego u građevinske materijale.

7.1 SMANJENJE EMISIJA KAO REZULTAT FOTONAPONSKE ELEKTRANE

Jedan deo emisije CO₂ će biti smanjen zahvaljujući ugradnji fotonaponske elektrane. Procene tog smanjenja date su u tabeli 7.1 pod sledećim prepostavkama:

- emisija CO₂ po kWh električne energije zamenjene proizvodnjom iz fotonaponske elektrane iznosi 1,055 kgCO₂/kWh (UNDP) prema analizi dатој u poglavljju 8.3;
- projektovani upotrebni vek fotonaponske elektrane je 25 godina;
- u slučaju bez neto merenja koristi se samo 30% električne energije proizvedene pomoću fotonaponskih panela (potrošnja u zgradama; ovaj procent se može povećati većim akumulatorima toplote).

	kWh	tCO ₂ godišnje	tCO ₂ za 25 godina
Sa neto merenjem	15 kWp	18600	490,5
	20 kWp	24800	654,1
	25 kWp	31050	818,9
Bez neto merenja	15 kWp	5580	147,2
	20 kWp	7440	196,2
	25 kWp	9315	245,7

Tabela 7.1. Smanjenje emisije CO₂ kao rezultat rada fotonaponske elektrane

Napomena: Vrednosti tCO₂ za 25 godina približno su jednake 5%–20% emisija CO₂ prikazanih na slici 7.5.

REZIME POGLAVLJA 7

EKOLOŠKI OTISAK

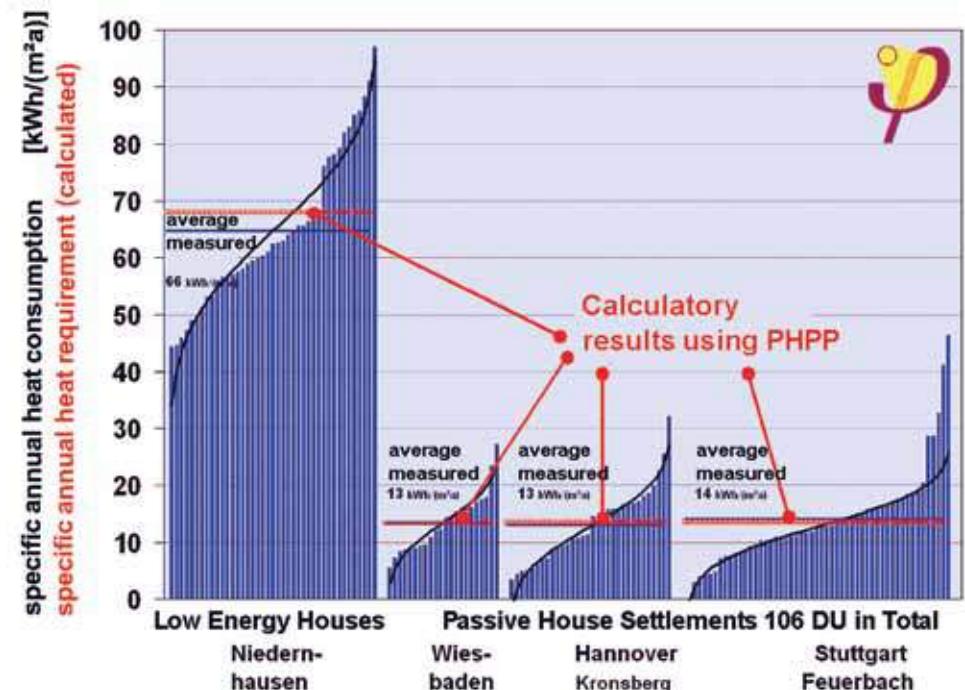
Poglavlje 7 tiče se ekološkog otiska zgrade. Jedan od zahteva koji se postavlja pred Pametniju zgradu je nizak nivo ekološkog otiska, tj. niska emisija ugljenika. Da bi se analizirao, ukupni otisak je podeljen na deo koji je rezultat faze izgradnje i onaj koji je deo faze korišćenja objekata, sa zaključkom da je otisak iz faze korišćenja veoma dominantan. Zato je predloženo ulaganje u energetski efikasnu opremu i proizvodnju obnovljivih izvora na licu mesta (fotonaponska solarna elektrana), a ne u građevinske materijale.

POGLAVLJE 8

DODATNA PITANJA NA KOJA JE POTREBNO OBRATITI PAŽNJU

8.1 NAVIKE

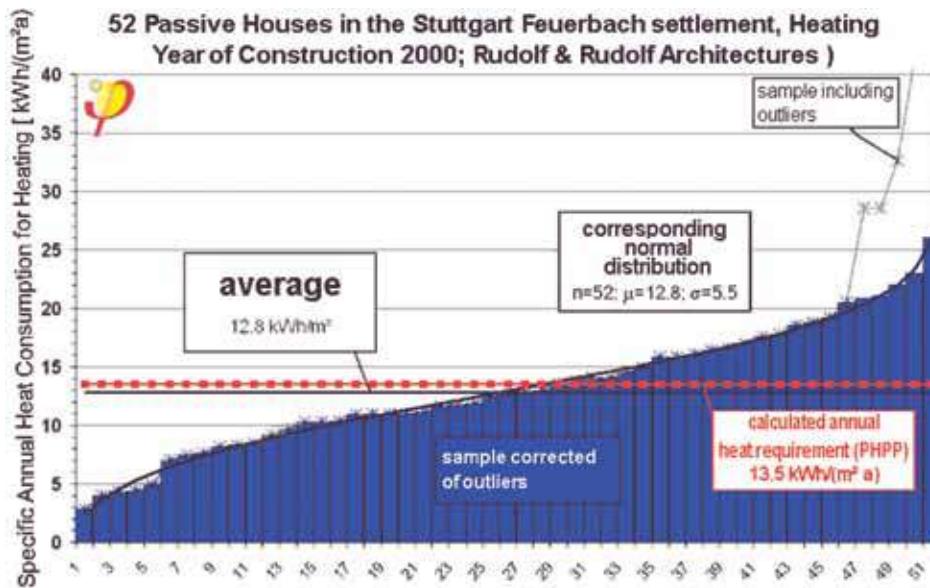
Navike i način na koji korisnici koriste energiju spadaju među relevantnije činioce za pasivnu kuću ili bilo koji drugi vid stanovanja. Stepen u kojem potrošnja energije može da varira od (iste) kuće do (iste) kuće prikazan je na slici 8.1 (možemo da se složimo da su glavni razlozi za iskazane razlike navike i način na koji korisnici troše energiju) [19].



Slika 8.1. Potrošnja energije koja varira od $45 \text{ kWh}/\text{m}^2$ godišnje do $97 \text{ kWh}/\text{m}^2$ godišnje (dvostruko) za Nidernove niskoenergetske kuće i od $3 \text{ kWh}/\text{m}^2$ godišnje do $46 \text{ kWh}/\text{m}^2$ godišnje (11 puta) za Pasivne kuće u naselju Stuttgart Foerberh

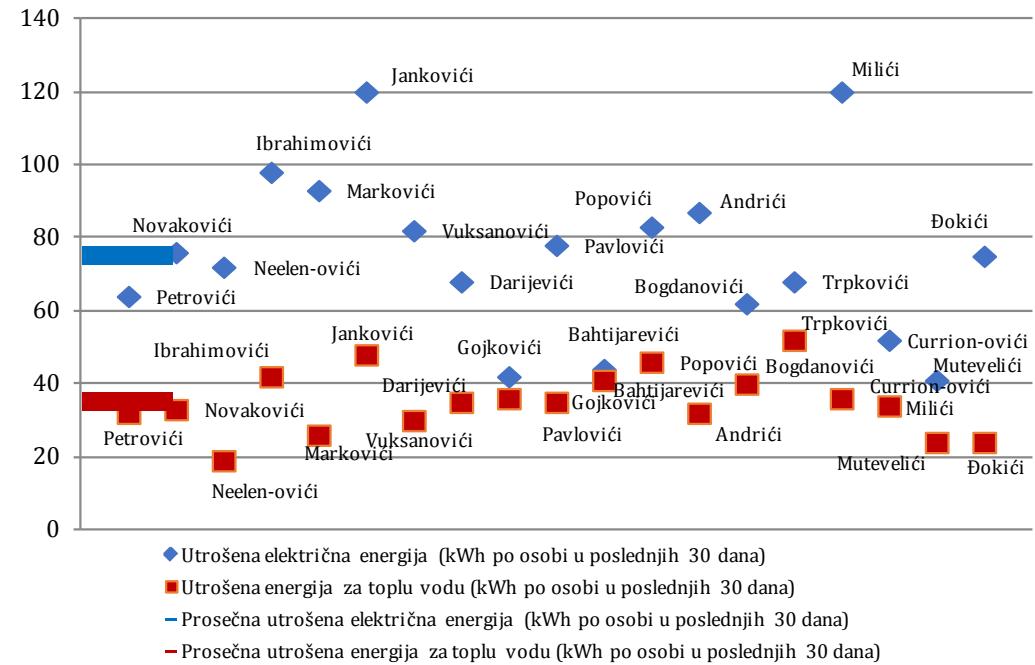


Slika 8.2. Naselje Štugart Foerbah (napominjemo da su kuće u nizu iz razloga objašnjenih u poglavlju 1.5)



Slika 8.3. Rezultati izgradnje Pasivnih kuća u Štugartu/Foerbah sa ukupno 52 kuće u nizu i samostojće kuće (napominjemo da je greška između prosečne i proračunate potrošnje 5%) [19]

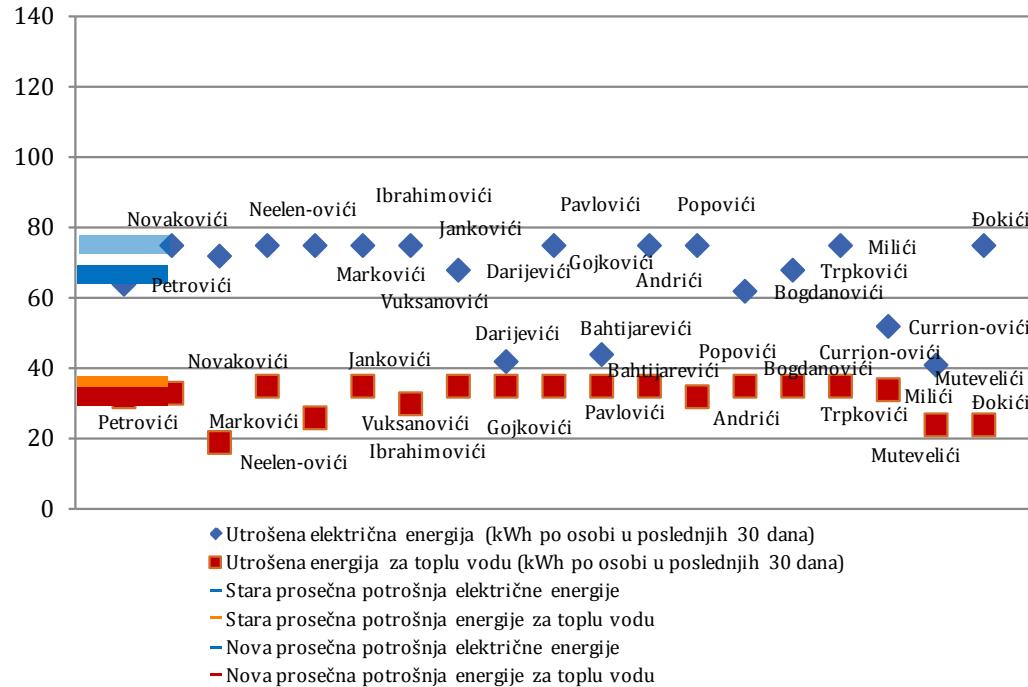
Izvršeno je nekoliko simulacija mogućeg uticaja ponašanja stanara, sa 19 porodica, i ocenjene su posledice potencijalnog uticaja njihovog ponašanja. Prepostavljena potrošnja električne energije po osobi mesečno se kreće od 40 kWh do 120 kWh, sa prosekom od 75 kWh, a prepostavljena potrošnja energije sadržane u toploj vodi kreće se od 20 kWh do 52 kWh po osobi mesečno, sa prosekom od 35 kWh.



Slika 8.4. Situacija „pre uticaja“ na ponašanje stanara

Prepostavljena distribucija rezultata preuzeta je iz literature sa prosečnom potrošnjom električne energije za stanje „pre“ od 75 kWh/osobi/mesečno i prosečnom potrošnjom energije za toplu vodu od 35 kWh/osobi/mesečno.

Situacija sa ponašanjem „nakon uticaja na stanare“ prikazana je na slici 8.5. Prepostavka je da smo uticali samo na porodice čija je potrošnja bila veća od prosečne i da smo uspeli da ih svedemo na prosečnu vrednost.



Slika 8.5. Situacija „nakon uticaja“ na ponašanje stanara

Vrednosti prosečne potrošnje električne energije „nakon uticaja“ su 66,4 kWh/osobi/mesečno, dok je prosečna potrošnja energije za toplu vodu „nakon uticaja“ 31,8 kWh/osobi/mesečno. Razlika je 8,6 kWh/osobi/mesečno za električnu energiju i 3,2 kWh/osobi/mesečno za toplu vodu.

Ako bi se čitav postupak ponovio još jednom, stanari bi mogli da uštede 4,5 kWh/osobi/mesečno za električnu energiju i 2 kWh/osobi/mesečno za toplu vodu, što bi iznosilo uštedu od oko 10 kWh/m²/godišnje za Pametniju zgradu, odnosno 500 € godišnje.

Da bi se to omogućilo, potrebno je uvesti najmanje dva pristupa:

- pratiti potrošnju energije za svaki od stanova;
- uvesti neki redovni vid programa podizanja svesti sa stanarima, npr. na polugodišnjem nivou.

Kada pričamo o toj temi, bilo bi važno/neophodno razviti Korisničko uputstvo za zadruge i buduće stanare, kao što je prikazano na slici 8.6.

ŽIVOT U PASIVNOJ KUĆI – UKRATKO

ŠTA BI TREBALO REDOVNO DA RADITE:

- Prozore treba zatvoriti od novembra do kraja marta (u skladu sa vremenskim uslovima), a sistem za ventilaciju treba koristiti sa postavljenim bajpasom.
- Normalno provetrvanje prozorima tokom leta i ventilacija kupatila i toaleta prelaskom na „letnju ventilaciju“. Tokom toplog letnjeg perioda, izvadite bajpas i odložite ga na sistem, tako da ga kasnije lako pronađete.
- Promena filtera: pregled ventilacionog sistema svaka 3 meseca (oba filtera), pregled kuhinjskog filtera svaka 3 meseca.
- Mesečni vizuelni pregled servisa zgrade i solarnog termalnog sistema.
- Da bi se izbeglo pregrevanje tokom leta koristite noćno provetrvanje i zastore, koristite energetski najefikasnije moguće kućne aparate.

ŠTA BI TREBALO REDOVNO DA RADITE TOKOM DUŽIH VREMENSKIH PERIODA:

- Operite topotni izmenjivač ventilacionog sistema svake dve godine.
- Podesite prozore, proverite zaptivenost i podmažite okove.

ČEGA BI TREBALO DA BUDETE SVEŠNI:

- Čak i tokom dužih perioda odsustva tokom zime ne isključujte sistem grejanja, odnosno podesite termostat na 18 °C.
- Tokom grejne sezone prozore otvarajte samo ako je apsolutno neophodno (kvar sistema ventilacije, žurka itd.), ulazna vrata i vrata terase nakon korišćenja zatvarajte što brže i što čvršće je moguće! Ulazna vrata se zaptivaju samo kada se ključ okrene do kraja dva puta.

- Izbegavajte da stavljate predmete i svetle ili reflektivne površine ispred prozora (najmanje rastojanje 20 cm), lokalno zagrevanje moglo bi da razbije staklo.
- Probijanje zaptivenog omotača zbog klinova, eksera, zavrtanja itd.: nakon uklanjanja, pažljivo popunite preostale rupe u malteru zaptivnom smesom!
- Neka dotočni, prelivni i izlazni otvor uvek budu slobodni i ne menjajte podešavanja!
- Ne koristite mašine sa izduvavanjem vazduha za sušenje odeće (formiraće se buđ zbog previše kondenzovane vode)!
- Ispraznjite baštensku cev za vodu pre prvog mraza.
- Po mogućству izbegavajte zasenjivanje prozora tokom hladnog perioda (solarni dobici).

KAKO DA UŠTEDITE ENERGIJU:

- Izbegavajte provetrvanje preko prozora tokom toplog perioda.
- Temperaturu prostorija podesite samo onoliko visoko koliko je neophodno (ne pregrevajte prostorije!)
- Po pravilu, neka je grejalica u kupatilu isključena, ili je bar ne koristite za stalno grejanje.
- Za sušenje veša koristite ormarić za provetrvanje bez električnog grejača ili sušite veš na sušilici u hodniku ili kupatilu da bi se vлага bolje rasipala.
- Koristite visoko-efikasne aparate za domaćinstvo i štedljive sijalice, isključujte sistem sa stend-baj funkcijom u potpunosti kada se ne koriste.

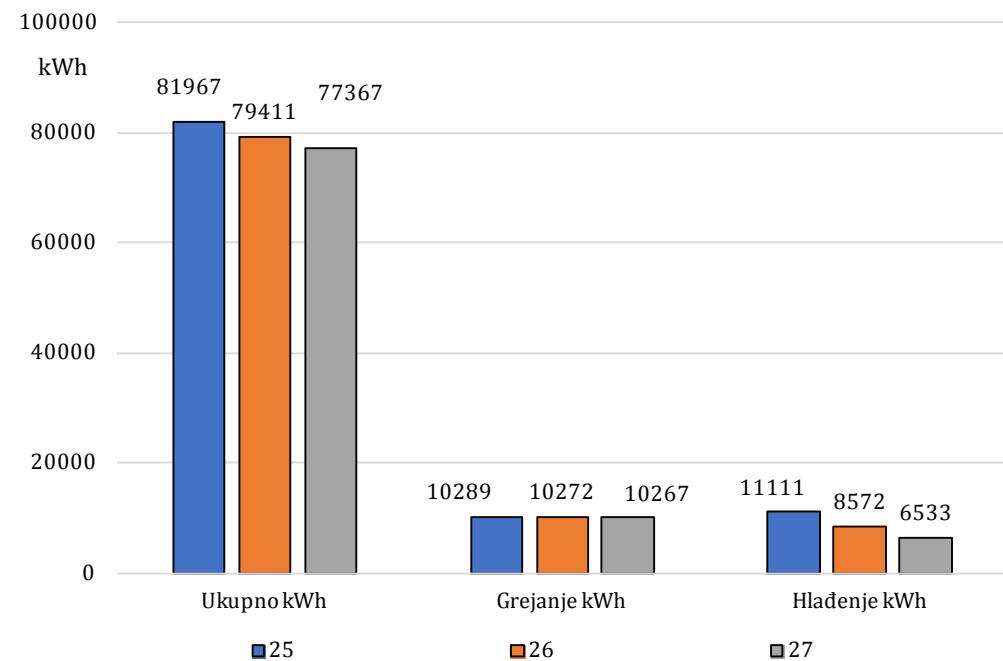
Slika 8.6. Primer korisničkog uputstva za stanare pasivne kuće [20]

EFEKAT PODEŠENE SOBNE TEMPERATURE NA POTROŠNJU ENERGIJE

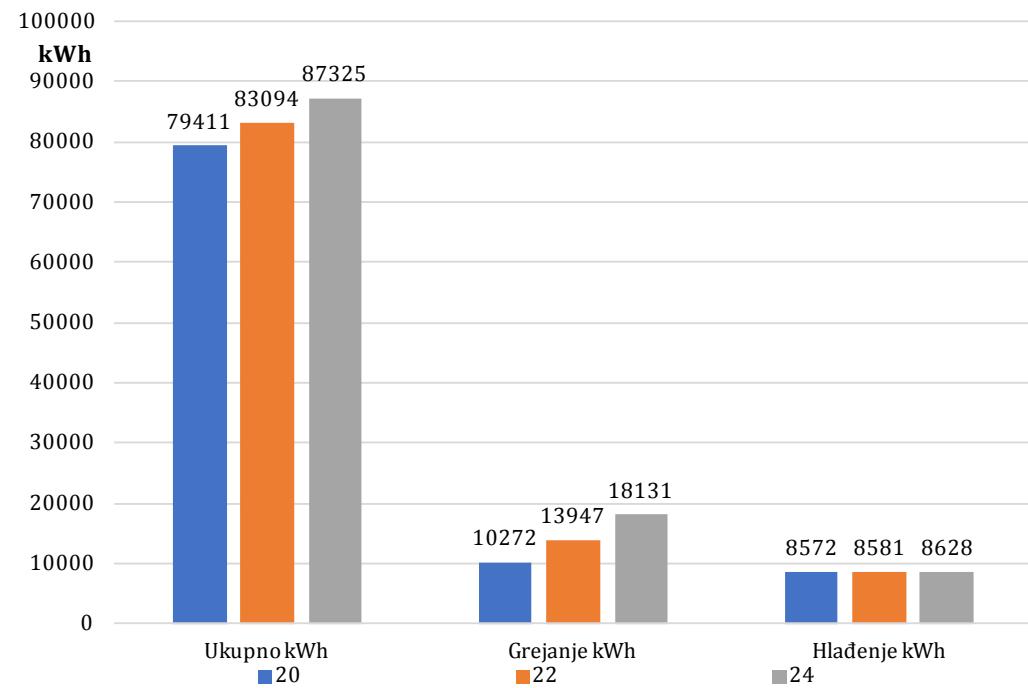
Kada razmatramo navike, glavni mehanizam za smanjenje potrošnje energije jeste podešena temperatura u prostorijama, odnosno moguće je uštedeti energiju smanjivanjem temperature grejanja tokom zime i postavljanjem više temperature hlađenja tokom leta, te se razmatraju sledeći scenariji:

- temperatura hlađenja postavljena na 25, 26 i 27 °C;
- temperatura grejanja postavljena na 20, 22 i 24 °C.

Uticaj navedenih temperatura na potrošnju energije u slučaju AAC Passive 3, bez žaluzina, bez nadstrešnica, dvostruko zastakljivanje, toplotna pumpa sa vazdušnim izvorom prikazan je na slici 8.7 i slici 8.8.

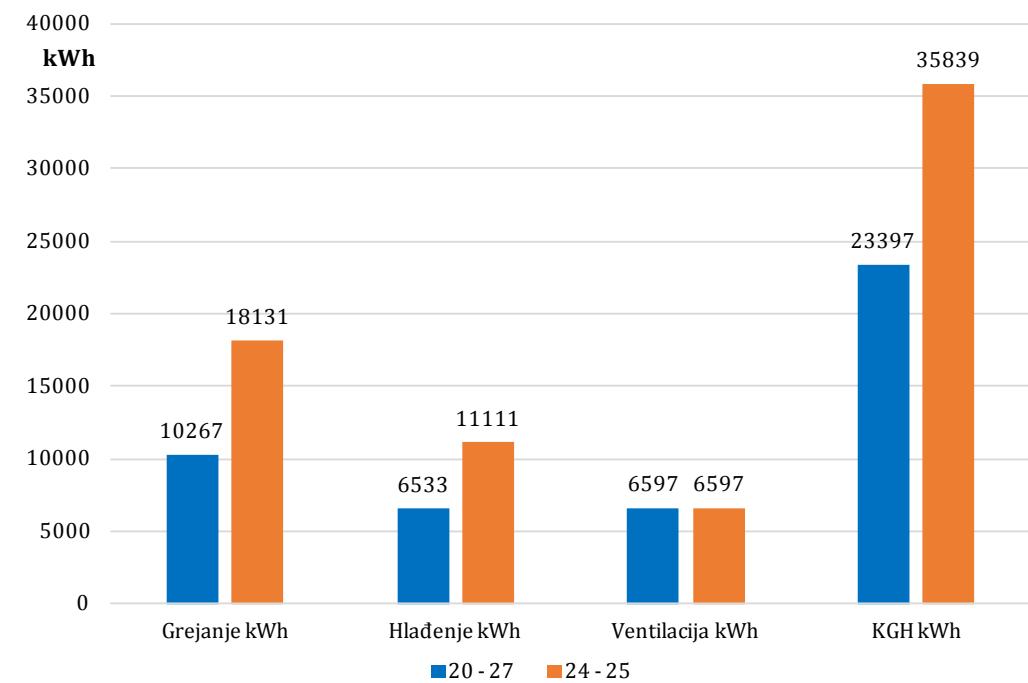


Slika 8.7. Razlika u potrošnji energije (kWh) za različite temperature hlađenja (25, 26 i 27 °C)



Slika 8.8. Razlika u potrošnji energije (kWh) za različite temperature grejanja (20, 22 i 24 °C)

Scenariji za najgori i najbolji slučaj izvedeni su iz slike 8.7 i slike 8.8 i, pod istim pretpostavkama kombinovani u slici 8.9.



Slika 8.9. Dva ekstremna slučaja (grejanje 20 °C i hlađenje 27 °C naspram grejanje 24 °C i hlađenje 25 °C) i mogućnosti za uštedu energije (KGH je zbir grejanja, ventilacije i klimatizacije)

Prikazane razlike izuzetno su značajne (procena od 35%, odnosno najmanje 800 € po zgradi godišnje), ipak su mogućnosti uvođenja ove mere određivanjem fiksnih temperatura diskutabilne i deo šire slike onoga šta jeste i šta nije prihvatljivo u okviru zajednice zadružnog stambenog projekta.

8.2. FAKTOR OBLIKA

Kao što je objašnjeno u poglavlju 1.5, faktor oblika je odnos površine koja može da gubi temperaturu (termalni omotač) i kvadrature koja se greje. Radi unapređenja faktora oblika, odnosno odnosa kompaktnosti Pametnije zgrade (polazna premla biće da nije moguće promeniti površinu koja se greje) trebalo bi:

- parking prostor u prizemlju izmestiti da bi se eliminisalo oko 300 m² omotača zgrade izloženog spoljnjim uticajima (ova mera mogla bi da otvorи dodatna pitanja);
- zgradu ugraditi između susednih zgrada, tako da bude deo neprekinutog niza i;
- u teoriji, radi uštede energije, zgrada bi trebala da ima više spratova.

8.3. CENA I DRUGA PITANJA POVEZANA SA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM U SRBIJI

Ova studija ukazuje da je, u skladu sa zahtevima Pametnije zgrade, električna energija najadekvatniji izvor energije u slučajevima u kojima je cilj niska potrošnja energije i nizak ekološki otisak, i to iz sledećih razloga:

- niži početni troškovi opreme, nema troškova priključenja na druge izvore energije, npr. prirodni gas, niska cena rezervnog električnog grejnog sistema;
- sve neophodne tehnologije dostizanje visokog (najvišeg) stepena komfora su dostupne, nasuprot tome npr. sistemi hlađenja prirodnim gasom ili biomasom tehnički su zahtevni i skupi;
- brojne mogućnosti za integraciju i uparivanje različitih tehnologija, uključujući obnovljive izvore, kao što je npr. solarna elektrana;
- dostupna jeftina i precizna oprema za nadzor, moguća je i jeftina primena daljinskog nadzora, mogućnost praćenja potrošnje energije u pojedinačnim stanovima i smanjenja potrošnje putem edukovanja stanara;
- relativno lako unapređenje/ažuriranje sistema kompatibilnom opremom;
- u budućnosti će biti omogućena integracija sa električnim automobilima (obezbeđujući integraciju sa pametnim mrežama i/ili potencijalno obezbeđujući stabilnost napajanja u slučaju kratkotrajnih padova elektro

distributivne mreže – sa sve većom potrošnjom zbog klimatskih promena kao potencijalno važnim činiocem);

- iako električna energija nije najjeftiniji izvor energije, cena električne energije kombinovana sa izuzetno efikasnom opremom veoma je atraktivna (na žalost);
- kada se ispravno ugradi, koristi i održava, električna energija je bezbedan izvor energije;
- energija se proizvodi u Srbiji (naspram npr. prirodnog gasa):
 - omogućuje se energetska nezavisnost društva;
 - stanari Pametnije zgrade imajuće interesa i prilike da učestvuju u građenju svesti o smanjenju ekološkog otiska električne energije koja se proizvodi u Srbiji;
- pošto je ova studija fokusirana na pilot zgradu, koja će se podići na za sada nepoznatom mestu, mogućnost povezivanja sa drugim izvorima energije može biti teško ostvariva.

Nedostaci pristupa koji se u potpunosti oslanja na električnu energiju jesu:

- visok otisak sa postojećim vidovima proizvodnje električne energije u Srbiji (70% lignit) (kako globalno npr. tCO₂/kWh tako i u zagađenju prema lokalnim zajednicama);
- pojedini izvori energije mogli bi biti jeftiniji/imati manji uticaj po kWh proizvedene energije (ove potencijalne prednosti se uglavnom anuliraju na pitanja univerzalnosti primene i integracije sistema);
- integrisanje ne-električnog rezervnog sistema moglo bi biti veoma skupo, te će pristup samo sa električnom energijom učiniti da zgrada zavisi samo od jednog izvora energije. Sa druge strane, količina energije akumulirane u zgradi u kombinaciji sa niskom potrošnjom energije omogućuje da se premoste kratki prekidi u napajaju električnom energijom (koji u Srbiji mogu relativno često da se dešavaju).

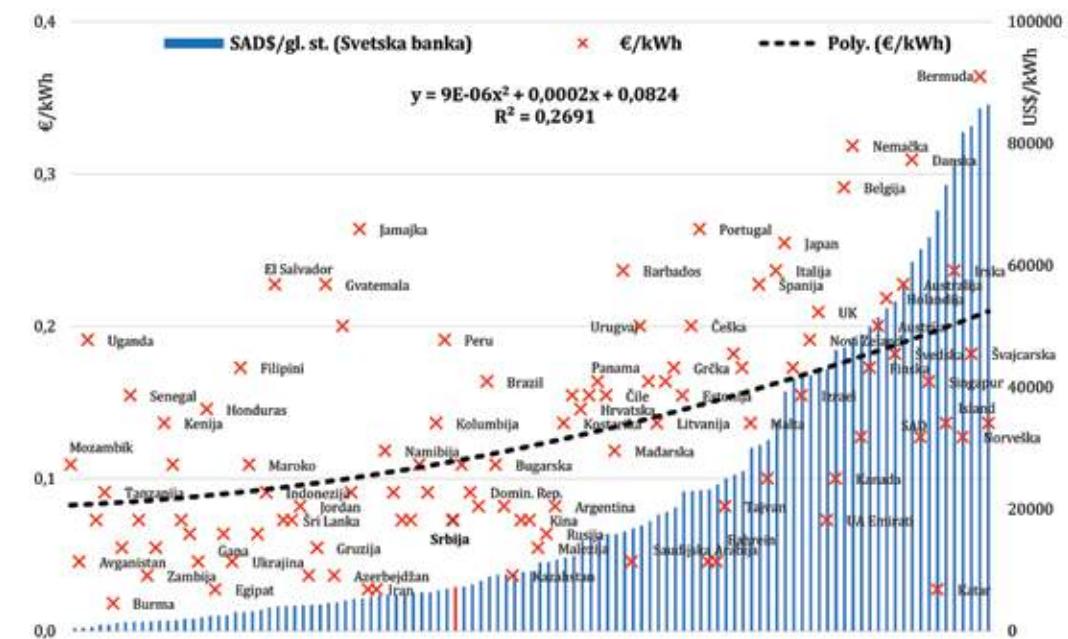
Osim toga, odabir „potpuno električnog“ pristupa mora da se suoči i sa cenama električne energije koje su, posmatrano u širem evropskom kontekstu, niske. To otežava predviđanja zasnovana na konvencionalnim pretpostavkama i pristupima, naročito pošto ne postoji javno dostupna dugoročna strategija na tu temu.

	2016S2	2017S2	2018S2
EU-28	0.2038	0.2042	0.2113
Euro area	0.2179	0.2175	0.2242
Belgium	0.2745	0.2877	0.2937
Bulgaria	0.0938	0.0983	0.1005
Czechia	0.1421	0.1488	0.1586
Denmark	0.3084	0.3010	0.3123
Germany	0.2977	0.3048	0.3000
Estonia	0.1238	0.1319	0.1418
Ireland	0.2338	0.2355	0.2539
Greece	0.1723	0.1620	0.1646
Spain	0.2284	0.2177	0.2477
France	0.1711	0.1756	0.1799
Croatia	0.1331	0.1236	0.1321
Italy	0.2261	0.2080	0.2161
Cyprus	0.1621	0.1826	0.2183
Latvia	0.1624	0.1582	0.1511
Lithuania	0.1171	0.1107	0.1097
Luxembourg	0.1698	0.1618	0.1691
Hungary	0.1125	0.1134	0.1118
Malta	0.1274	0.1298	0.1306
Netherlands	0.1592	0.1556	0.1707
Austria	0.2010	0.1978	0.2012
Poland	0.1352	0.1451	0.1396
Portugal	0.2298	0.2230	0.2293
Romania	0.1233	0.1289	0.1317
Slovenia	0.1629	0.1613	0.1638
Slovakia	0.1537	0.1442	0.1462
Finland	0.1545	0.1599	0.1698
Sweden	0.1962	0.1993	0.1990
United Kingdom	0.1831	0.1856	0.2024
Iceland	0.1478	0.1518	0.1457
Liechtenstein	0.1747	0.1618	..
Norway	0.1631	0.1605	0.1907
Montenegro	0.0970	0.1003	0.1030
North Macedonia	0.0828	0.0811	0.0787
Albania	0.0835	0.0856	0.0910
Serbia	0.0654	0.0695	0.0709
Turkey	0.1205	0.0959	0.0857

8.10. Prosečna cena električne energije u evropskim domaćinstvima 2016., 2017. i 2018. godine [21]

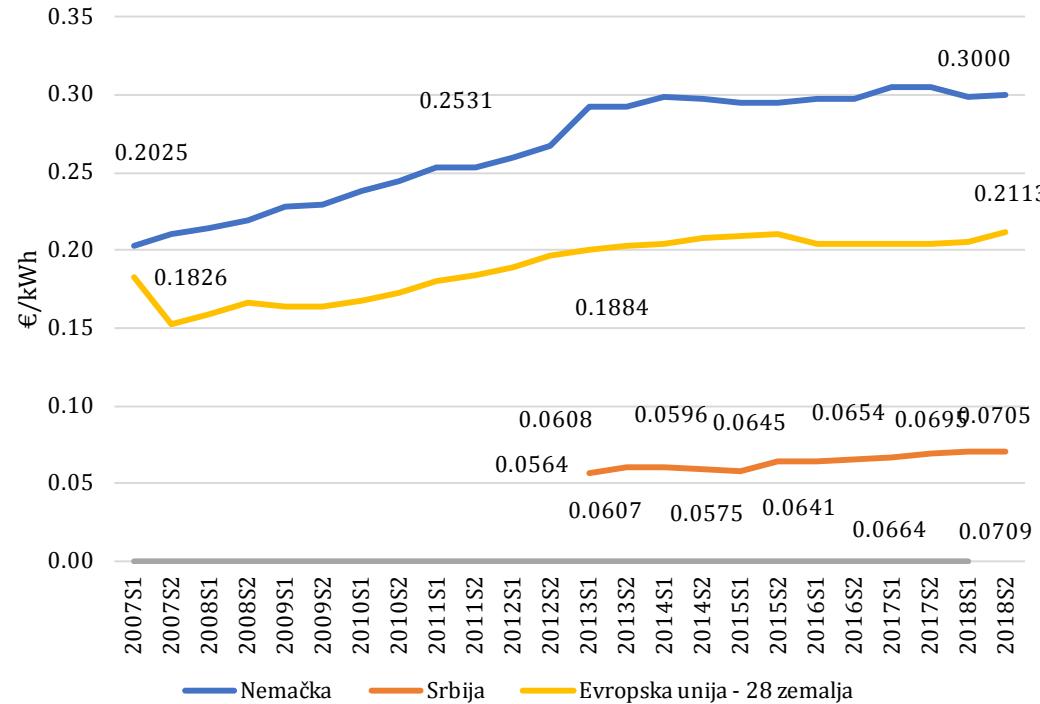
Kada se cena električne energije posmatra na globalnom nivou, nema jasnih indicija da se prosečna cena može povezati sa bilo kojim drugim pokazateljem (na slici 8.11 prikazan je odnos između cene električne energije i BDP po glavi stanovnika). Tamno crvena tačkasta linija na slici 8.11 je polinomijalna linija trenda, dok R^2 vrednost ukazuje koliko tačaka pada na liniju regresije. Na primer, $R^2=0,2691$ koji je ovde prikazan znači da 27% varijacija u ceni električne energije odgovara liniji trenda. Ako su podaci

u međusobnoj korelaciji, vrednost R^2 prikazana na slici 8.11 trebalo bi da bude 0,8 ili više, te vrednost R^2 od 0,27 pokazuje da podaci nisu povezani sa ekonomskim razvojem posmatranih zemalja. Zaključak je da je cena električne energije nije samo ekomska ili tehnička, pa je zato teško predvideti njene buduće trendove.



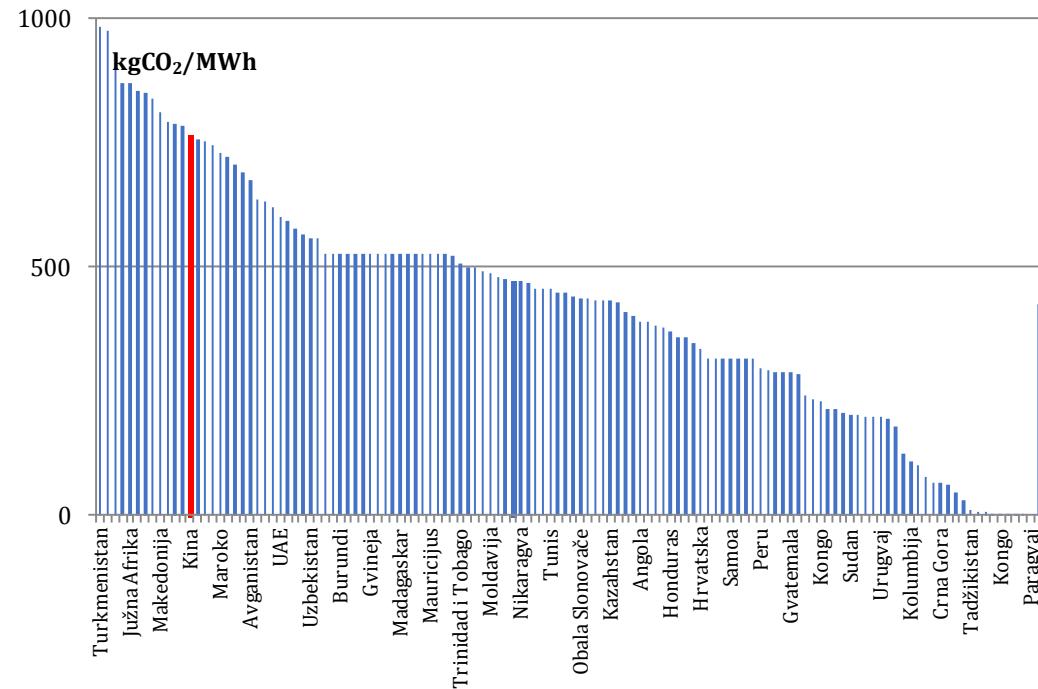
Slika 8.11. Cena električne energije €/kWh (leva osa) i BDP po glavi stanovnika odgovarajućih zemalja u US\$ po glavi stanovnika (desna osa) prema Svetskoj banci

Još jedan pristup za predviđanje buduće cene jeste posmatranje podataka iz prošlosti (prikazanih na slici 8.12) koji su predstavljali osnov za scenarije razvijene za tabelarni alat objašnjen u poglavljiju 9.2, pri čemu se godišnje povećanje cene električne energije kreće od 3% do 10%.

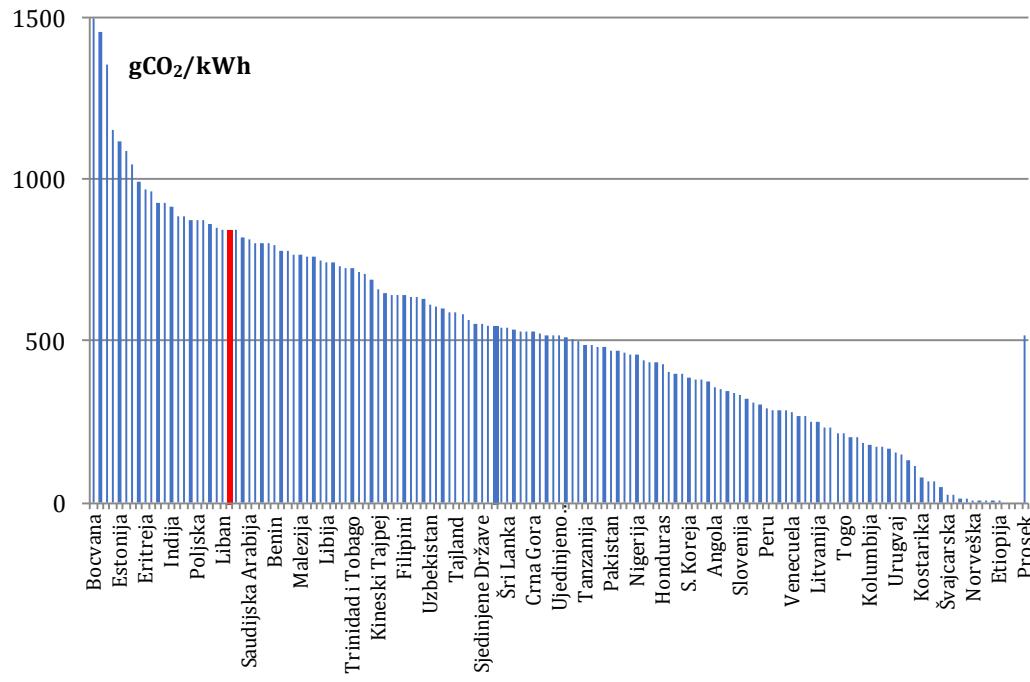


Slika 8.12. Polugodišnji trend cene električne energije [€/kWh] u EU28, Nemačkoj i Srbiji, prema Eurostatu – sa uključenim svim porezima i dažbinama. Napomena: podaci Eurostata za Srbiju dostupni su od 2013. godine.

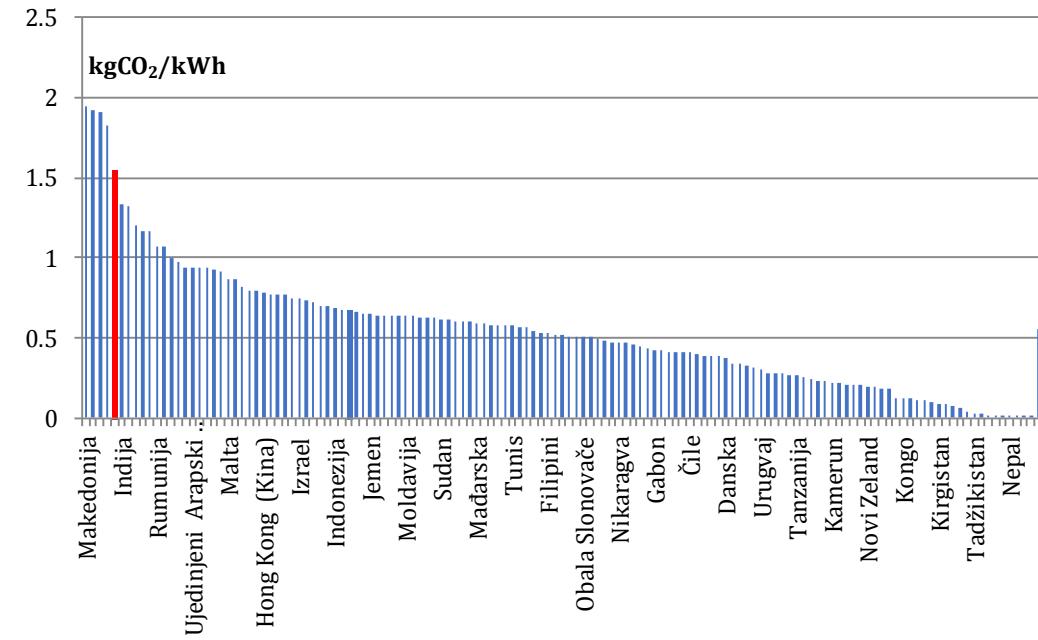
Na slici 8.13, slici 8.14 i slici 8.15, prikazane su nacionalne emisije CO_2 na osnovu tri različita izvora.



Slika 8.13. Vrednosti emisija (kgCO₂/MWh) iz 2014. godine prema Svetskoj banci (Srbija je prikazana kao crvena kolona, krajnje desno je prikazana kolona sa srednjom vrednošću)



Slika 8.14. Vrednosti globalnog faktora emisija za niskonaponsku mrežu za 2018. godinu (gCO_2/kWh) (Srbija je prikazana kao crvena kolona, krajnje desno je prikazana kolona sa srednjom vrednošću)



Slika 8.15. Specifični činioци za globalnu električnu energiju za 2011. godinu ($kgCO_2/kWh$) od Ecometrica (Srbija je prikazana kao crvena kolona, krajnje desno je prikazana kolona sa srednjom vrednošću) [22]

Svi navedeni izvori ukazuju da je električna energija u Srbiji na vrhu liste emisija CO₂, iako nema jasnih dokaza da bi cena električne energije mogla da bude viša ili niža, postoje pokazatelji da bi proizvodnja električne energije trebala da ima manji uticaj na životnu sredinu.

Za potrebe ove studije, autori su koristili vrednost koju je agencija UNDP predložila 2012. godine (1,055 tona CO_{2eq}/MWh).

REZIME POGLAVLJA 8

DODATNA PITANJA NA KOJA JE POTREBNO OBRATITI PAŽNJU

Postoje brojni činioci koji utiču na Pametniju zgradu, od kojih su pojedini analizirani u okviru ovog poglavlja.

Jedno od pitanja koje može značajno da utiče na stvarni učinak pasivne kuće (i time na potrošnju energije) jeste uticaj ponašanja stanara, kao što je podešena temperatura grejanja/hlađenja.

Vezu između ekološkog otiska i cene električne energije potrebno je razmatrati kao ključni faktor uzimajući u obzir ulaganja u energetsku efikasnost; a javno dostupne energetske politike u Srbiji (u pogledu energetskog miksa, budućih cena itd.) veoma bi doprinele izvodljivosti takvih ulaganja.

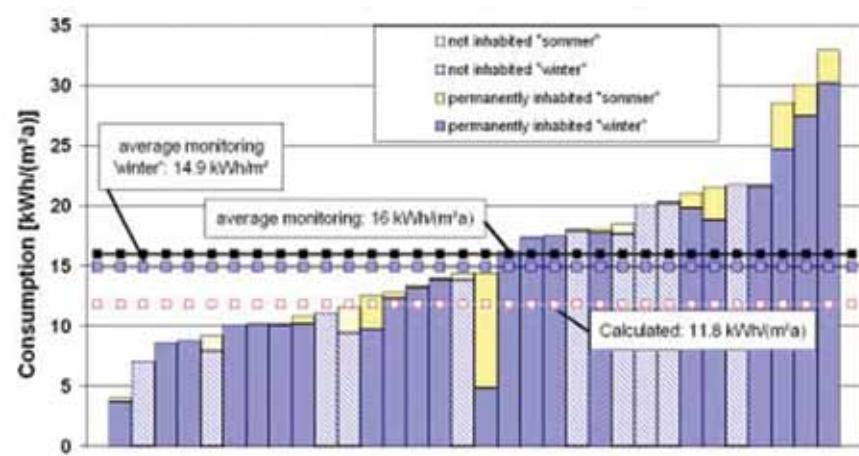
POGLAVLJE 9

METODOLOGIJA I REZULTATI

Ovo poglavlje predstavlja i razmatra rezultate OpenStudio simulacija, uparenih sa ekonomskim delom analize. Do sada su softverske simulacije predstavljale veoma moćan alat za planiranje i unapređenje projekta pasivne (ili bilo koje druge) kuće, uz ograničenja karakteristična za svaku simulaciju, a koja se najbolje vide u studiji koju je sproveo PHI:

- razlike između računske ($11,8 \text{ kWh/m}^2$ godišnje) i izmerene vrednosti (16 kWh/m^2 godišnje) iznose 26% na uzorku od 32 zgrade (veći uzorak dovodi do manjih razlika između merene i proračunate vrednosti);
- najviša izmerena vrednost (33 kWh/m^2 godišnje) 2,8 puta je veća od računske vrednosti ($11,8 \text{ kWh/m}^2$ godišnje);
- najniža izmerena vrednost (4 kWh/m^2 godišnje) 3 puta je niža od računske vrednosti ($11,8 \text{ kWh/m}^2$ godišnje).

Ovaj primer služi kao ilustracija učinka modela, tj. koliko on može da odstupa od stvarnih (izmerenih) vrednosti, te je rezultate modeliranja potrebno uzeti uz određenu meru opreza.

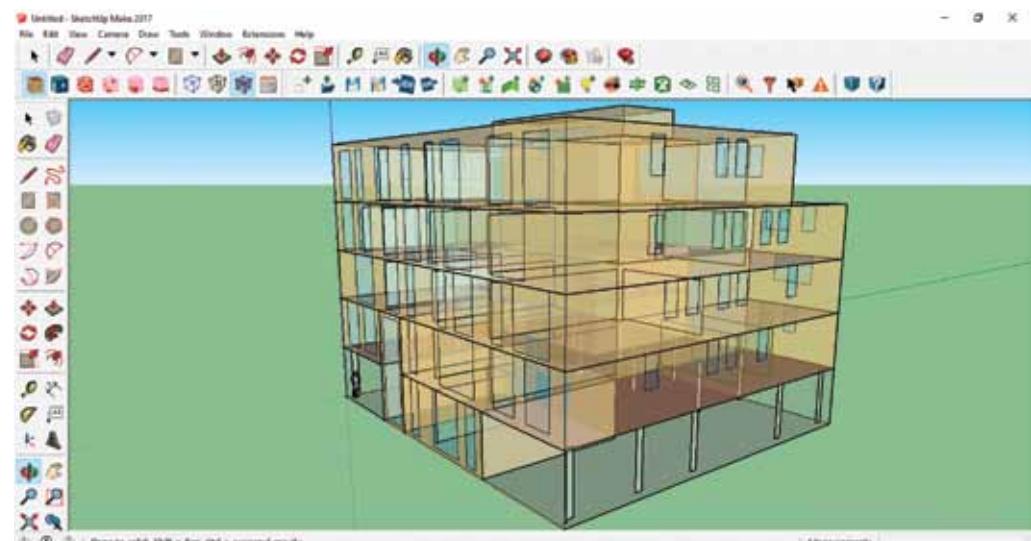


Slika 9.1. Razlike između računske ($11,8 \text{ kWh/m}^2$ godišnje) i snimljene vrednosti (16 kWh/m^2 godišnje), odn. 26% na relativno velikom uzorku u slučaju naselja Pasivne kuće u Hanover-Kronsbergu [23]

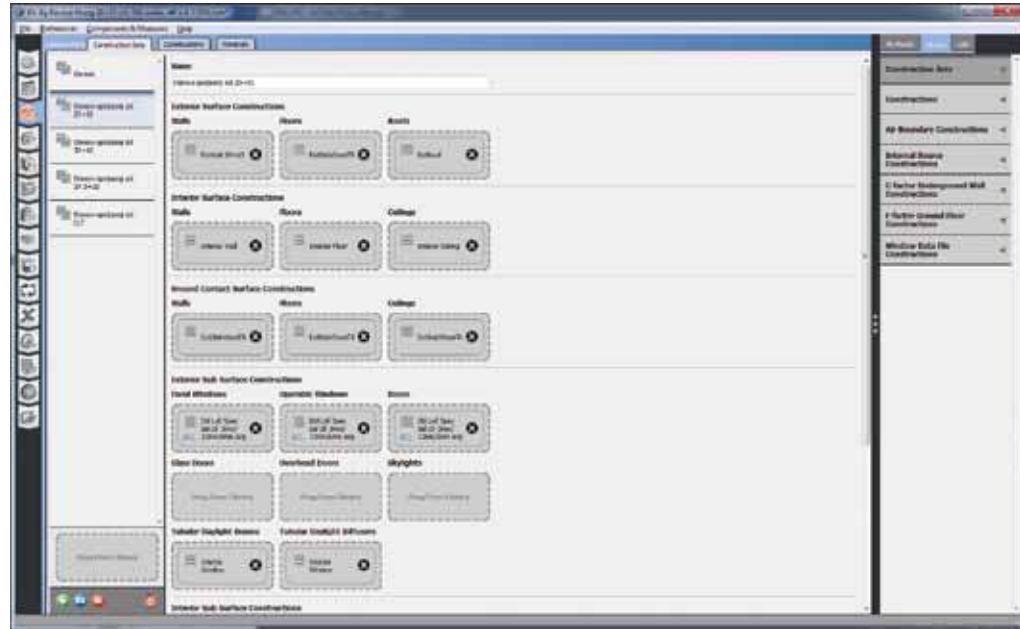
9.1 OPENSTUDIO MODEL

Energetsko modeliranje je proces razvoja matematičkih modela energetskih sistema radi njihove analize. Ako zgradu razmatramo kao energetski sistem, pričamo o složenom termodinamičkom objektu u kojem se neprestano menjaju tokovi energije između različitih termalnih zona u okviru same zgrade kao i sa okruženjem. Ako želimo da efikasnije, sveobuhvatnije i preciznije analiziramo posledice različitih mera za očuvanje energije i energetsku efikasnost i njihove složene interakcije, energetsko modeliranje je najbolji dostupan metod.

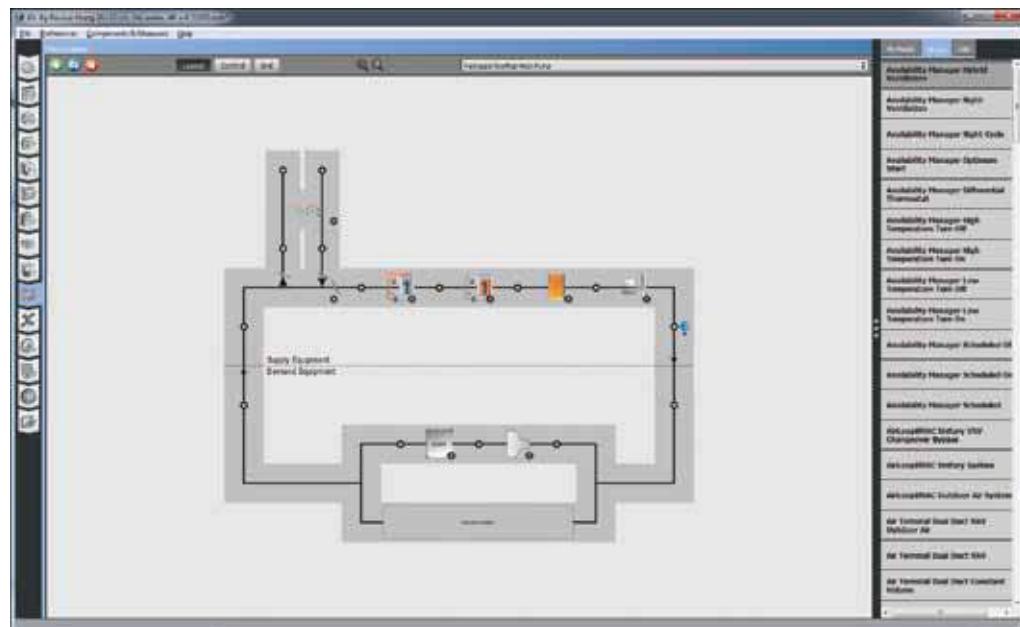
Najčešći pristup jeste korišćenje neke od postojećih softverskih aplikacija otvorenog koda ili komercijalnog tipa. Postoji niz softverskih alata za modeliranje i simulaciju pojedinačnih zgrada, za potrebe ove studije korišćena je platforma otvorenog koda pod nazivom OpenStudio sa osnovnim sistemom za simulaciju EnergyPlus. OpenStudio je namenjen za energetsko modeliranje kako bi se različitim akterima omogućilo donošenje odluka u svakoj od faza životnog ciklusa zgrade. Platforma sadrži niz atributa jedinstvenih za energetsko modeliranje, uključujući objektno orientisano programiranje, obimne mogućnosti rada sa skriptima, kao i analitički okvir koji se koristi u razmeri od pojedinačnih zgrada do portfolija (slika 9.2).



Slika 9.2. Snimak ekrana grafičkog korisničkog interfejsa OpenStudio softvera – dodatka za SketchUp



Slika 9.3. Snimak ekrana programerskog interfejsa OpenStudio aplikacije – građevinski parametri omotača

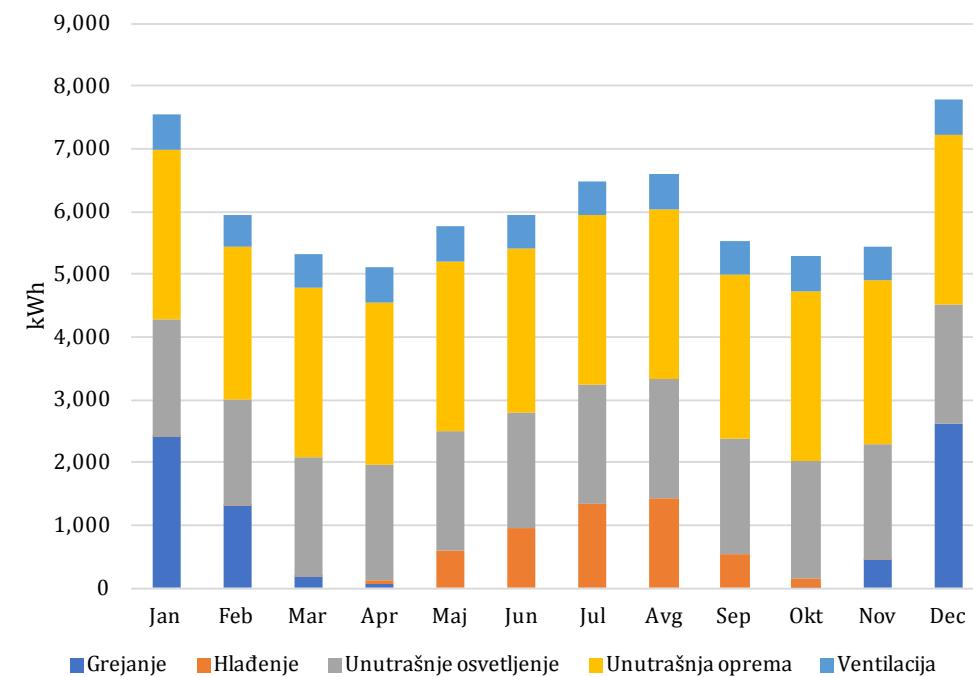


Slika 9.4. Snimak ekrana OpenStudio aplikacije – KGH raspored

Dve glavne komponente modela za energetsku simulaciju zgrade jesu komponente zgrade (omotač: zidovi, podovi, tavanice i opterećenja: stanari i uređaji) prikazani na slici 9.3 i komponente postrojenja (KGH oprema i drugi sistemi za kontrolu okruženja) prikazani na slici 9.4.

Prilikom korišćenja softvera za simulaciju tokova energije najpouzdaniji pristup je korišćenje osnovnog scenarija sa polaznim vrednostima. Variranje ulaznih parametara energetskog sistema i poređenje rezultata sa rezultatima osnovnog scenarija pokazuje uticaj promena kroz komparativnu analizu. Za ovu studiju je korišćen ovakav pristup.

Slika 9.5 je primer rezultata modeliranja u OpenStudio aplikaciji na osnovu pilot projekta, pod sledećim prepostavkama: AAC Passive 3, dvostruko zastakljivanje, geotermalna toplotna pumpa, bez nadstrešnica, bez roletni.



Slika 9.5. Energetska potrošnja objekta za jedan od najracionalnijih/ekonomičnijih scenarija za izuzetno efikasnu zgradu

Potrebno je napomenuti nekoliko stvari o slici 9.5:

- potrošnja električne energije za grejanje/hlađenje relativno je niska, zahvaljujući visokoj zaptivenosti (niska infiltracija), povoljnom faktoru oblike zgrade, veoma visokoj efikasnosti KGH sistema itd.
- potrošnja električne energije za osvetljenje i unutrašnju opremu (aparate) mogla bi biti niža, ove vrednosti bi trebalo tumačiti samo kao jedan scenario na koji bi se moglo uticati kroz navike ili efikasnije uređaje;
 - napominjemo da bi promena potrošnje osvetljenja ili aparata takođe uticala na količinu energije koja se koristi za grejanje/hlađenje;
- model ukazuje da bi potrošnja energije za ventilaciju mogla da bude preciznije određena ako bi se razvila detaljnija dokumentacija za KGH. Potrebno je obratiti posebnu pažnju na taj deo Pametnije zgrade, pošto je ta oprema neprestano aktivna, te je svaki vat ugrađene snage ventilatora važan, kao i svaki paskal pada pritiska.

9.2. TABELARNI ALAT ZA OCENU PAMETNIJE ZGRADE

Pošto autori ove studije smatraju da članovi zadruge trebaju da budu prečizno informisani, razvili su potrebama prilagođen, lako razumljiv tabelarni (spreadsheet) alat kako bi pomogli budućim članovima Pametnije zgrade da razumeju posledice konkretnih tehničkih izbora na njihov život u zgradici.

Ovaj proračunski alat se sastoji od tri kartice, prva je uvodna kartica sa opštim referencama (slika 9.6), druga je interaktivna kartica (slika 9.7) na kojoj bi se ispitivao uticaj različitih opcija na 35-godišnji novčani tok.

Smart Housing:
Analysis on the potential of an integral application of high energy performance / low-environmental-impact materials, technical installations and renewable energy sources for affordable multi-apartment buildings in Serbia

Snimak ekrana

1) Ova stranica je crtaonica na kojoj ćete primetiti pravac rada, ak. likovni dizajn, i ost. rezultat će vidjeti na lap primere, tako mogu biti vidljivi različiti izgledi i sl. drugo slično.

2) Uz ovu ponudu se smatra preporučljivoj primeniti "Smart". Na nejednoj je moguće delfin. Taj oblikovac je uvek u potpunosti prilagođen svim raznim operaterima i prevoznicima.

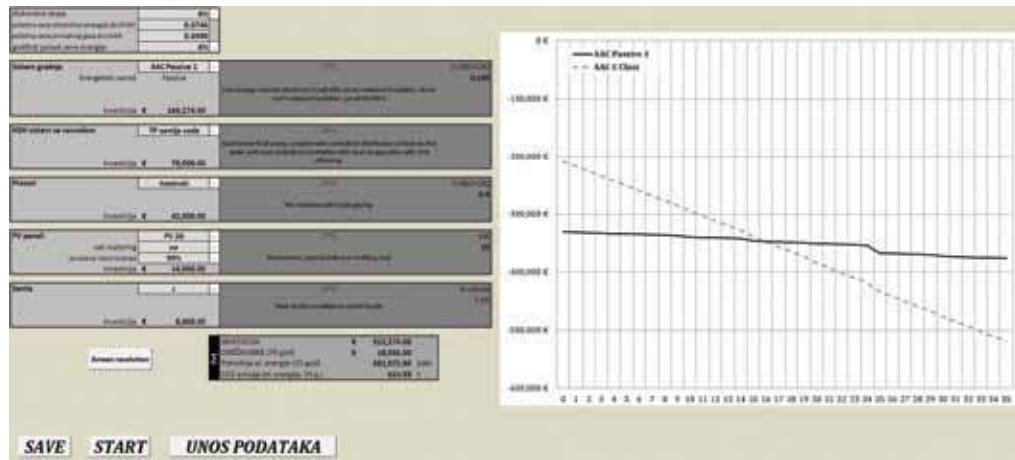
3) Radiće se poslovne linije "Smart" ulaganja u obnovljive izvore energije, ali i u obnovljive gornje krovne, a za historije individualne zadržavaju se različite opštine i mjesne zajednice, u temelju "analiza".

4) Uz ovu ponudu se daju i različiti uslovi za dobijanje novčanih priznanja, uključujući i energetski ciljevi, a za historije individualne zadržavaju se različite opštine i mjesne zajednice.

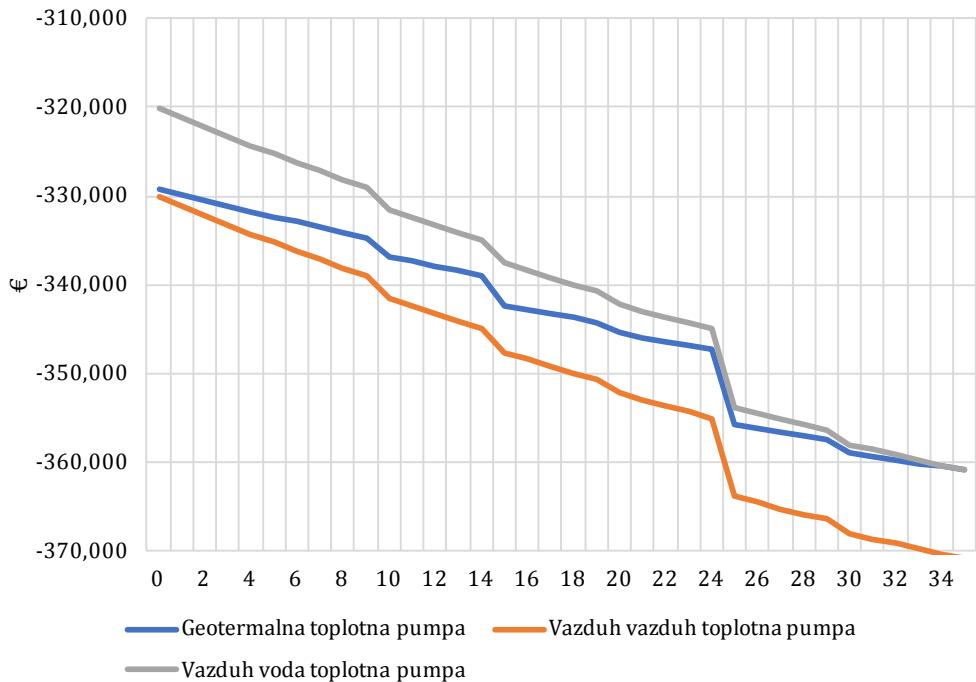
Analiza

Davor Kostićević, Ph. D.
Assistant professor
Draženka Živković, Ph. D.
Research Associate
Hrđanović Vučaković, Ph. D.
Assistant professor
Danijela Milajić, Ph. D.
Assistant professor
Duško Đorđević, Ph. D.
Full professor and director of SEEDEG

Slika 9.6. Snimak ekrana prve kartice razvijenog tabelarnog alata

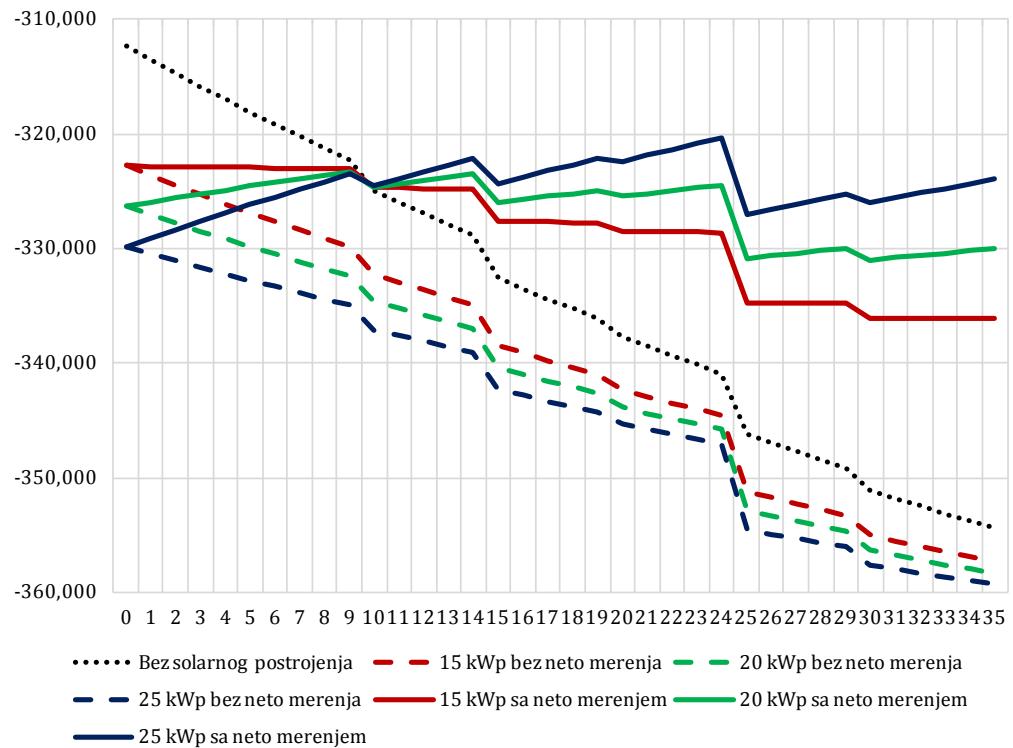


su sve linije skoro paralelne (osim AAC C), pošto je potrošnja energije svih zgrada veoma slična. Visoka početna ulaganja eliminišu oba CLT dobavljača. PWCP takođe nije ekonomičan pod navedenim uslovima (sa izolacijom od drvne vune), što ostavlja AAC kao jedino izvodljivo rešenje.



Slika 9.10. Uticaj KGH sistema na gotovinski tok Pametnije zgrade

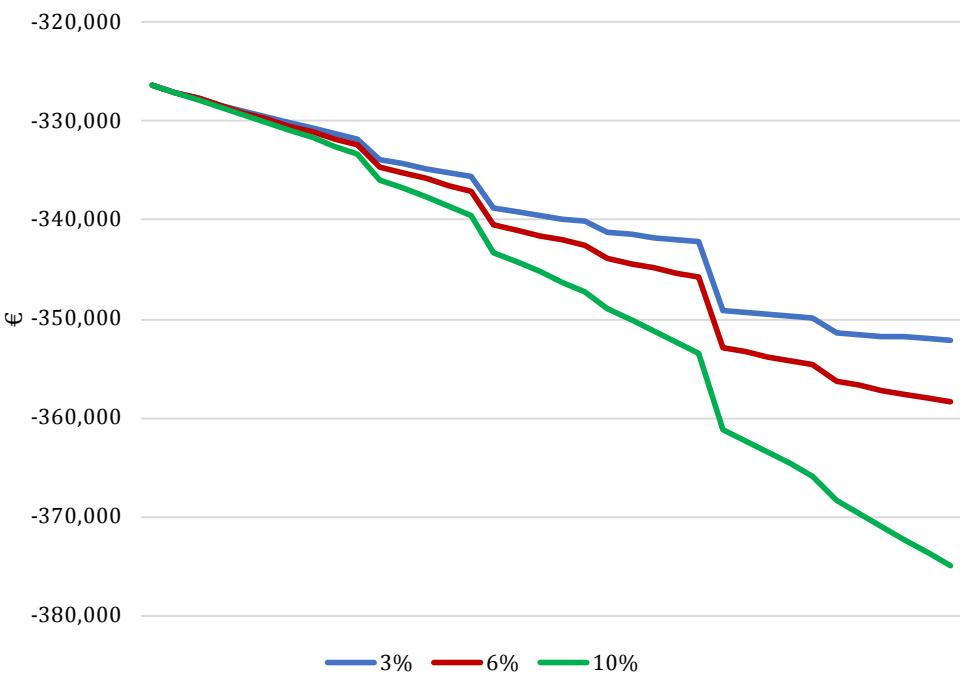
Rezultati modeliranja uticaja solarnog postrojenja prikazani su na slici 9.11 pod sledećim pretpostavkama: AAC Passive 3, geotermalna topotna pumpa, dvostruko staklo, fiksne roletne na južnoj strani, $d = 8\%$, početna cena električne energije €0,088, porast cene električne energije 6% godišnje, temperatura grejanja 20°C , temperatura hlađenja 26°C . Ako posmatramo ove rezultate uočava se blaga razlika u početnim ulaganjima i kako visoka diskontna stopa ($d=8\%$) obeshrabruje ulaganja u skuplju opremu (geotermalna topotna pumpa značajno je efikasnija od vazduh-voda topotne pumpe, pa ipak linije deluju gotovo paralelno).



Slika 9.11. Uticaj solarnog postrojenja na novčani tok Pametnije zgrade

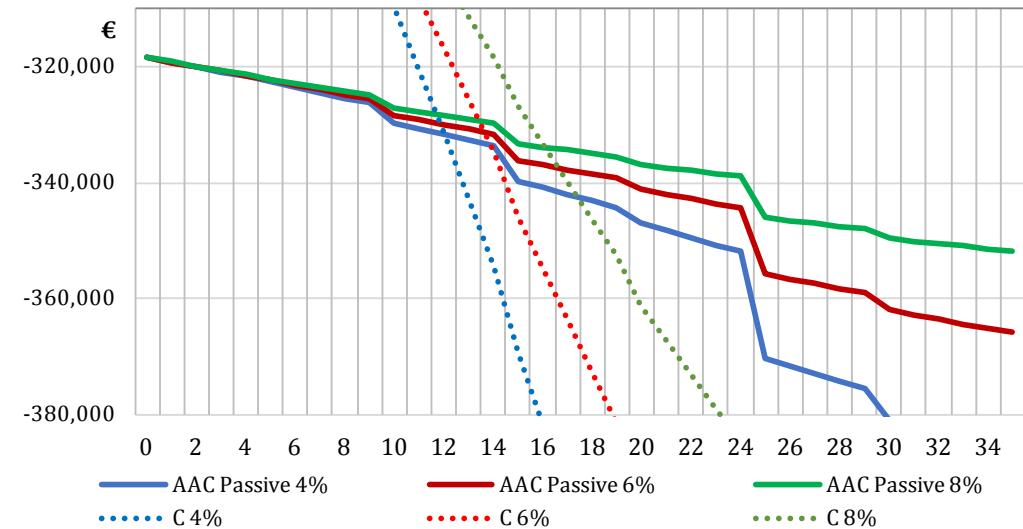
Procenat povećanja cene električne energije prema modelu uticaće na Pametniju zgradu kao što je prikazano na slici 9.12, sve uz sledeće pretpostavke: AAC Passive 3, geotermalna topotna pumpa, dvostruko staklo, fiksne roletne na južnoj strani, $d = 8\%$, početna cena električne energije €0,088, temperatura grejanja 20°C , temperatura hlađenja 26°C .

Postoji više mogućih zaključaka koji slede iz slike 9.11. Prvo, neto merenje moglo bi da ima odlučujući uticaj na ovaj projekat. Drugo, veći kapacitet je pogodan samo ako se sva proizvedena električna energija koristi, u svakom drugom slučaju ulaganje u veći kapacitet nije dobra odluka (uočiti razliku između 15, 20 i 25 kWp nakon 35 godina, u oba slučaja, sa i bez neto merenja).



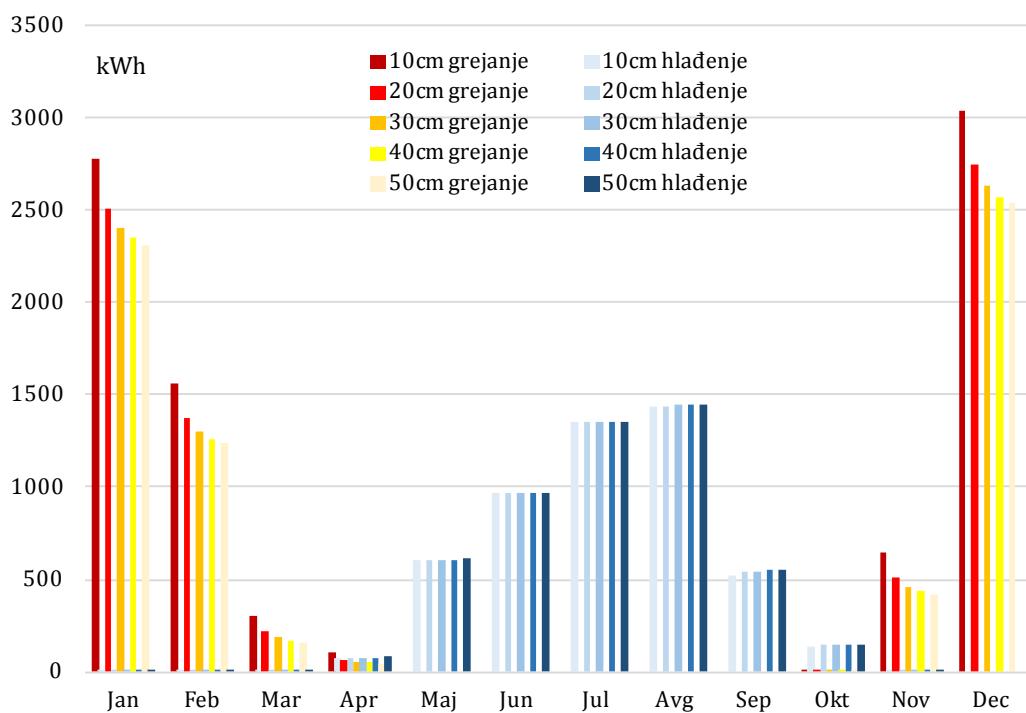
Slika 9.12. Uticaj porasta cene električne energije na novčani tok Pometnje zgrade

Uticaj diskontne stope prikazan je na slici 9.13 pod prepostavkama: AAC Passive 3, geotermalna topotna pumpa, dvostruko staklo, fiksne roletne na južnoj strani, početna cena električne energije €0,088, porast cene električne energije 6% godišnje, temperatura grejanja 20 °C, temperatura hlađenja 26 °C. Veća diskontna stopa svodi isto ulaganje u budućnosti na manju sađaju vrednost. Da bi se izbegao zaključak da je bolje koristiti višu diskontnu stopu (što nema smisla) rezultati su upoređeni sa uticajem diskontne stope na troškove zgrade u C energetskom razredu.



Slika 9.13. Uticaj diskontne stope na novčani tok Pometnje zgrade

Nakon što se definije, model dozvoljava ispitivanje uticaja širokog niza promenljivih. Uticaj debljine krovne izolacije prikazan je na slici 9.14 pod prepostavkama: AAC Passive 3, geotermalna topotna pumpa, dvostruko staklo, bez roletni, temperatura grejanja 20 °C, temperatura hlađenja 26 °C.



Slika 9.14. Uticaj debljine krovne izolacije na potrošnju energije Pametnije zgrade

REZIME POGLAVLJA 9

METODOLOGIJA I REZULTATI

U ovom poglavlju objašnjena je metodologija korišćena za analizu Pametnije zgrade, objašnjava se OpenStudio model i predstavlja proračunski tabelarni alat koji je nastao u okviru ove studije.

Prikazuju se rezultati simbioze ova dva alata, koji daju ulazne informacije za završno poglavlje, i utvrđuju oblasti za dalje istraživanje.

POGLAVLJE 10

PREPORUKE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Studija koju držite u rukama, „Visoka energetska efikasnost, mali uticaj na životnu sredinu, pristupačnost: Analiza primene principa pasivne kuće u višestambenim zgradama u Srbiji“ je, po najboljim saznanjima autora, prvi pokušaj da se odgovori na niz pitanja (iz oblasti energetike, u kontekstu pitanja životne sredine, ekonomije, socijalnih i drugih pitanja) važnih za buduće održivo stanovanje u regionu JIE. Kao prvo istraživanje, ono postavlja više pitanja nego što daje odgovora, te je uloga ovog poglavlja da rezimira eventualni smer budućih istraživanja.

Postoji više poteškoća sa kojima su se autori susreli:

- nepostojanje pouzdanih ekonomskih studija slučaja na temu niskoenersetskih zgrada ili pasivnih kuća sprovedenih u Srbiji, od kojih bi ova studija imala koristi, kao što su:
 - prikupljanje znanja (koje bi moglo da se distribuira, odnosno plasira na tržištu);
 - prikazi uspešnih slučajeva;
 - merenje stvarnog stanja na izvedenim objektima kroz praćenje različitih pokazatelja i dalje unapređenje zgrade/sistema, odnosno dalje sticanje znanja;
- tržište u Srbiji odlikuje relativno slaba ponuda lokalno proizvedenih, ekološki prihvatljivih materijala;
- odsustvo interesovanja dobavljača/proizvođača opreme za dugoročne projekte kao što je Pametnija Zgrada.

Buduća istraživanja na teme koje su otvorene ovom studijom trebalo bi da se kreću u okviru sledećih smernica:

- pitanja eventualnih finansijskih aranžmana/poreskih olakšica/subvencija koje omogućuju da koncept Pametnije zgrade doživi (veći) prodor u postojeće tržišno-orientisano društvo;
- pitanja usmerena na optimizaciju, kao što su:
 - optimalne karakteristike građevinskih materijala, prvenstveno karakteristike termalne mase;
 - termalna masa je jedan praktičan i potencijalno jeftin način za ugradnju kratkoročnog akumulatora toplotne/rashladne energije u zgradu. Ova studija sprovedena je uz praktično posmatranje dva materijala: drveta i autoklaviranog gas-betona, i rezultati verno odražavaju karakteristike tih materijala, ali ostaje otvoreno pitanje upotrebe drugih materijala (i mogućeg razvoja novih materijala) koji bi potencijalno mogli biti pogodniji za klimatske uslove Srbije ili JIE;
 - optimalne dimenzije rezervoara za topлу vodu (SSTV)/akumulatora toplote za potrebe grejanja;
 - slično kao i termalna masa glavnog građevinskog materijala, optimalna veličina ovih akumulatora toplote mogla bi dodatno da unapredi efikasnost objekta;
 - optimalan odnos zastakljivanja i zidnih površina zavisi od orientacije zidova;
 - pošto je isplativost Pametnije zgrade niska, svaka informacija je važna, kao i pronalaženje optimalnog odnosa ove dve površine. Nakon što se utvrdi, može se koristiti kao skup preporuka slično kao i preporuke korišćene za faktor oblika u skladu sa poglavljem 1.5.
- pitanja podizanja svesti i kako stići do šire javnosti i predočiti joj važnost ovde razmatranih pitanja;
- integrisanje tabelarnog alata sa alatom za Analizu troškova životnog ciklusa (LCCA), kao što je OpenFRM model koji je razvio Ko gradi grad;
- i druga, srodnna pitanja.

POGLAVLJE 11

ZAKLJUČAK

Ova studija koncipirana je tako da ispita izvodljivost implementacije pasivne kuće u Srbiji, i da pospeši proces lansiranja pionirskog projekta Pametnija zgrada. Kako je u pitanju prvi projekat visoko efikasne zgrade sa niskim ekološkim otiskom, posebna pažnja je posvećena utvrđivanju prepreka i rizika u njegovoj realizaciji – kao i pronalaženju najizvodljivijih pristupa koji bi te rizike ublažili i omogućili uspešno lansiranje projekta.

U sledećim tačkama navedeni su svi ključni izazovi koje je potrebno rešiti pri razvoju ovakvog projekta:

- održiva zgrada trebalo bi da se oslanja na domaće izvore energije, zbog toga, a uzimajući u obzir mogućnosti integrisanja različitih tehnologija i različitih izvora energije za ostvarivanje željenog stepena komfora, predloženo rešenje oslanja se isključivo na električnu energiju;
- oslanjanje isključivo na električnu energiju će, pri okolnostima prisutnim u Srbiji, dovesti do nepoželjno visokog ekološkog otiska, čak i u budućnosti pri postojećoj strategiji energetske tranzicije (odносно nedostatku iste);
- radi smanjenja uticaja, potrebno je staviti jak naglasak na energetski efikasnu opremu i otpočinjanje proizvodnje obnovljive energije;
- na tržištu je prisutna izuzetno efikasna oprema, ali bi u tu opremu trebalo uložiti značajna sredstva;
- niska cena električne energije podriva ulaganja u proizvode koji se ističu energetskom efikasnošću, i;
- dolazi se do situacije iz koje je teško uočiti izlaz.

Dugoročno posmatrano, postoje dva moguća izlaza, koja u velikoj meri zavise od budućih strateških opredeljenja države:

- smanjenje faktora emisija proizvedene električne energije kgCO₂/kWh, odnosno;
- povećanje cene električne energije.

Međutim, izgradnja pristupačnih, energetski efikasnih stanova sa malim uticajem na životnu sredinu zahteva da se preduzme akcija i pre (neizvesne) promene politika. U suštini, pionirski projekti kao što je Pametnija zgrada moraju se pozicionirati u kontekstu delikatne ekonomičnosti: kroz pažljivo balansiranje između prednosti sprovođenja pojedinih mera, favorizovanjem onih mera koje su isplative i obeshrabrvanjem sprovođenja mera koje nisu (iako iste mere mogu da budu veoma atraktivne pod drugačijim uslovima, npr. u Nemačkoj). Kao pomoć za to razvijen je alat za procenu odabranog skupa mera (deo rezultata prikazan je u poglavlju 9).

Pilot projekat Pametnija zgrada, prema analizi se pokazao izvodljivim ako se sprovodi u skladu sa sledećim preporukama:

- glavni građevinski materijal je (kao što je obrazloženo u poglavlju 3.1):
 - AAC Passive 3 ili;
 - PWCP sa izolacijom od kamene vune;
- materijal za izolaciju je:
 - kamena vuna kao što je obrazloženo u poglavlju 3.2;
- prozori:
 - dvostruko zastakljeni PVC prozori kao što je obrazloženo u poglavljju 3.3;
- zastori:
 - niskotehnološki fiksni zasenjivači, samo na južnoj fasadi, pretežno kao mera za unapređenje komfora, nego kao značajno unapređenje energetske efikasnosti, kao što je obrazloženo u poglavlju 3.3.1;
- KGH:
 - decentralizovana (po spratu i po stanu) mehanička ventilacija sa rekuperacijom toplote (sa topotnim izmenjivačem integrisanim u ventilacione otvore) spregnuta sa centralizovanom geotermalnom topotnom pumpom kao izvorom toplote za grejanje/hlađenje, kao što je obrazloženo u poglavlju 4.5;
- sistem za grejanje sanitарне tople vode:
 - centralizovani zatvoreni sistem snabdevanja toplom vodom spregnut sa topotnom pumpom kao što je obrazloženo u poglavlju 4.6;
- solarno postrojenje kao što je obrazloženo u poglavlju 5 i;

- solarni dimnjak samo pod uslovom da to nije skup dodatak na cenu zgrade, kao što je obrazloženo u poglavlju 6.4.

Bez obzira na ove preporuke, delikatna ekonomičnost ovog projekta pod okolnostima u Srbiji postaje izuzetno vidljiva kroz ispitivanje niza budućih scenarija – kroz primenu mogućnosti variranja buduće cene električne energije (u rasponu od 3 – 10% godišnje) i diskontne stope u analizi neto trenutne vrednosti (NTV, u rasponu od 4 – 10%). Naime, kombinacija ove dve vrednosti ima veći uticaj na projekat od uticaja svih predloženih mera. Nepotrebno je reći da sve navedeno ukazuje na ogroman prostor otvoren za lobiranje i zastupanje „Pametnijeg društva“.

BIBLIOGRAFIJA

[1] Vlada Republike Srbije, *Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada*, 2012.

[2] Passipedia, „Basics,“ [Na mreži].
<https://passipedia.org/basics>. [Poslednji pristup 8 2019].

[3] Passive House Institute, „Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard,“ PHI, Darmstadt, Nemačka, 2016.

[4] „6 Estimates of Passive House Cost,“ 27. mart 2017. [Na mreži].
<https://robfreeman.com/6-estimates-passive-house-cost/>. [Poslednji pristup 10 2019].

[5] Turner & Townsend, „International construction market survey 2019“.

[6] J. Schneiders, „Passive Houses in South West Europe,“ Passive House Institute, 2016.

[7] „What is the Heat Loss Form Factor?“ [Na mreži].
<https://elrondburrell.com/blog/passivhaus-heatloss-formfactor/>.

[8] „Passive house 101,“ [Na mreži].
<https://localimpactdesign.ca/passive-house/>. [Poslednji pristup 10 2019].

[9] Ko gradi grad, „O nama,“ [Na mreži].
<https://www.kogradigrad.org/o-nama/>. [Poslednji pristup 10 2019].

[10] Passive House Institute, „Energy use for heating in a well insulated new building,” [Na mreži].

https://passipedia.org/planning/thermal_protection/thermal_protection_works/insulation_works--evidence_no.2_heating_energy_use_in_a_well_insulated_new_building.

[Poslednji pristup 10 2019].

[11] APA – The Engineered Wood Association, [Na mreži].

<https://www.apawood.org/cross-laminated-timber>. [Poslednji pristup 8 2019].

[12] La Borda Housing Cooperative, „We Build Housing To Build Community,” [Na mreži].

<http://www.laborda.coop/en/>. [Poslednji pristup 10 2019].

[13] M. D., „Comparative assessment of insulating materials on technical, environmental and health aspects for application in building renovation to the Passive house level,” 2012.

[14] K. R., „Carbon footprint of thermal insulation materials in building envelopes,” 2017.

[15] Passive House Institute, [Na mreži].

<https://database.passivehouse.com>. [Poslednji pristup 9 2019].

[16] „Overhang recommendations for south-facing windows in temperate climates,” [Na mreži].

https://susdesign.com/overhang_recs/index.php. [Poslednji pristup 9 2019].

[17] European Comission, „Photovoltaic geographical information system,” [Na mreži].

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html.

[Poslednji pristup 9 2019].

[18] M. L. a. P. C. Tabares-Velasco, „Seasonal Thermal-Energy Storage: A Critical Review on BTES Systems, Modeling, and System Design for Higher System Efficiency,” t. 10, br. 743, 2017.

[19] „Energy efficiency of the Passive House Standard: Expectations confirmed by measurements in practice,” [Na mreži].

www.passipedia.org. [Poslednji pristup 10 2019].

[20] PHI, „Nutzerhandbuch für den Geschoßwohnbau in Passivhaus-Standard,” [Na mreži].

https://passiv.de/downloads/05_teil4-c_wohnen-auf-einen-blick.pdf [Poslednji pristup 9 2019].

[21] European commission, „Electricity price statistics,” [Na mreži].

<https://ec.europa.eu/eurostat/>. [Poslednji pristup 9 2019].

[22] A. S. C. W. A. H. J. L. Matthew Brander, „Electricity-specific emission factors for grid electricity,” 2011.

[23] Passive House Institute, „Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-Kronsberg: Construction and Measurement Results,” Hannover , 2005.

[24] „POWER Data Access Viewer v1.1.1,” [Na mreži].

<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Poslednji pristup 6 2019].

[25] Passive House Institute, „The PER sustainability assesment,” [Na mreži].

https://passipedia.org/certification/passive_house_categories/per#site-specific_per_factors. [Poslednji pristup 10 2019].

SLIKE

- 9** **Slika 0.1.** Poređenje rezultata modeliranja energije potrebne za hlađenje i grejanje zgrade u energetskom razredu C (minimalni zahtev za nove stambene zgrade u Srbiji od 2012. godine, kojim su potrebe za zagrevanjem ograničene na maksimalno 60 kWh/m² godišnje) i pasivne kuće
- 15** **Slika 1.1.** Mapa sertifikovanih pasivnih kuća u Evropi (oktobar 2019. godine)
- 16** **Slika 1.2.** Konvencionalni pristup (levo – umerena klima, desno – hladna klima)
- 16** **Slika 1.3.** Pristup pasivne kuće (levo – umerena klima, desno – hladna klima)
- 17** **Slika 1.4.** Pet principa pasivne kuće koji pomažu u postizanju tako male potrošnje energije, prema [2]
- 21** **Slika 1.5.** Procjenjeni dodatni troškovi (u % troškova gradnje) za pasivne kuće na tržištima različitih zapadnoevropskih i severnoameričkih zemalja [4]
- 22** **Slika 1.6.** Troškovi izgradnje (€/m² unutrašnje površine) stanova u nižim zgradama 2018. godine prema [5] (uključujući materijale, plate radnika, opreme, KGH opreme, profit izvođača radova, ne uključujući zemljište)
- 24** **Slika 1.7.** Klimatske zone prema PHI (Srbija pripada umereno hladnom regionu)
- 25** **Slika 1.8.** Rezultati modeliranja uticaja podataka o vremenskim prilikama/lokaciji na potrošnju energije (kWh) identične Pametnije zgrade u četiri hipotetička slučaja: Beograd, London, Hamburg i grad u kome je pasivna kuća nastala – Frankfurt.
- 26** **Slika 1.9.** Faktor oblika ili razmera kompaktnosti [8] (manja vrednost je bolja)
- 27** **Slika 1.10.** Očekivani uticaj faktora oblika na U-vrednost potrebnu za ispunjavanje određenih zahteva, prema [7]
- 32** **Slika 2.1.** Prostorna konfiguracija Pametnije zgrade
- 33** **Slika 2.2.** Osnova Pametnije zgrade
- 35** **Slika 3.1.** Energetski bilans u slučaju pasivne kuće u Kranihštajnu [10]

- 37** **Slika 3.2.** Nadzemni deo zgrade koji je predmet analize
38 **Slika 3.3.** Blok od AAC
40 **Slika 3.4.** Unakrsno lamelirano drvo (CLT) 22
43 **Slika 3.5.** Sastav spoljašnjih zidova od PDKP
48 **Slika 3.6.** Toplotna provodljivost i ugljenični otisak (po kilogramu izolacionog materijala). [13] [14]
49 **Slika 3.7.** Potrebna debљina i ugljenični otisak (po m^2 izolacionih materijala) za istu R-vrednost [14] [13]
55 **Slika 3.8.** Trostruka stakla (U-vrednost 0,785 W/m²K) u poređenju sa dvostrukim staklima (U-vrednost 1,341 W/m²K)
56 **Slika 3.9.** Analiza NTV profitabilnosti ulaganja u trostruko zastakljene PVC prozore u poređenju sa dvostruko zastakljenim PVC prozorima
57 **Slika 3.10.** Analiza NTV profitabilnosti ulaganja u trostruko zastakljene PVC prozore u poređenju sa dvostruko zastakljenim PVC prozorima
58 **Slika 3.11.** Fiksne tende na pasivnoj kući Belfield Townhomes u Filadelfiji (levo) i motorizovani spoljni venecijaneri (desno)
59 **Slika 3.12.** Uticaj spoljnih venecijanera na potrošnju energije (kWh)
60 **Slika 3.13.** Jednostavne jeftine fiksne tende i način njihovog postavljanja imajući u vidu topotne mostove (Passivehouse Kanada)
61 **Slika 3.14.** Uticaj fiksnih tendi na potrošnju energije
62 **Slika 3.15.** Fotonaponski paneli kao zaštita od sunca na južnoj fasadi
- 76** **Slika 4.1.** Razlika između potrošnje energije (kWh) geotermalne i vazduh-voda topotne pumpe
77 **Slika 4.2.** Komforni opseg prema PHI
- 81** **Slika 5.1.** Izveštaj o cenama fotonaponske opreme (U.S. PV Price Brief) medijske kuće GTM Research kao osnova za procenjenu cenu fotonaponske elektrane od 0,7 €/kW_p 2021. godine
83 **Slika 5.2.** Analiza NTV različitih instaliranih kapaciteta, stopa rasta cene električne energije i različitih vrednosti diskontne stope, pri čemu se jedan scenario odnosi na cenu električne energije u Nemačkoj kako bi istakao značaj cene električne energije
83 **Slika 5.3.** Analiza NTV različitih instaliranih kapaciteta, stopa rasta cene električne energije i različitih vrednosti diskontne stope
84 **Slika 5.4.** Analiza NTV instaliranog kapaciteta od 20 kW_p, stopa rasta cene električne energije i različitih vrednosti diskontne stope
85 **Slika 5.5.** Fotonaponska elektrana od 15 kW_p na krovu Pametnije zgrade
- 88** **Slika 6.1.** Izmenjivač topote zemlja–vazduh (REHAU)
90 **Slika 6.2.** Solarni termalni kolektor

- 91** **Slika 6.3.** Termodinamički solarni panel
92 **Slika 6.4.** Solarni dimnjak(ci) kao način za povećanje strujanja vazduha za potrebe pasivnog hlađenja
- 95** **Slika 7.1.** Procenjena količina CO₂ (t) koja se emituje gradnjom pomoću AAC i CLT kao glavnim građevinskim materijalima (armirani beton je dat kao hipotetički građevinski materijal), pri čemu u sva tri slučaja žuta boja označava ugljenični otisak čelika.
96 **Slika 7.2.** Vrednosti sa prethodne slike u poređenju sa količinom CO₂ emitovanom tokom 50 godina pretpostavljenog upotrebnog veka zgrade po godišnjoj stopi od 60 kWh/m²
97 **Slika 7.3.** Zbir vrednosti emisija od materijala i emisije od električne energije (tCO_2)
98 **Slika 7.4.** Projekcije faktora emisije CO₂ za narednih 50 godina uz smanjenje upotrebe uglja za proizvodnju električne energije od 2% godišnje (prilično optimistično)
98 **Slika 7.5.** Sve prethodne vrednosti, nakon uzimanja u obzir pretpostavljenog smanjenja upotrebe uglja i prosečnog faktora emisije od 0,66 kgCO₂/kWh za narednih 50 godina
- 101** **Slika 8.1.** Potrošnja energije koja varira od 45 kWh/m² godišnje do 97 kWh/m² godišnje (dvostruko) za Nidernove niskoenergetske kuće i od 3 kWh/m² godišnje do 46 kWh/m² godišnje (11 puta) za Pasivne kuće u naselju Štutgart Fojerbah
102 **Slika 8.2.** Naselje Štutgart Fojerbah (napominjemo da su kuće u nizu iz razloga objašnjenih u poglavljju 1.5)
102 **Slika 8.3.** Rezultati izgradnje Pasivnih kuća u Štutgartu/Foyerbah sa ukupno 52 kuće u nizu i samostojčeće kuće (napominjemo da je greška između prosečne i proračunate potrošnje 5%) [19]
103 **Slika 8.4.** Situacija „pre uticaja“ na ponasanje stanara
104 **Slika 8.5.** Situacija „nakon uticaja“ na ponasanje stanara
105/106 **Slika 8.6.** Primer korisničkog uputstva za stanare pasivne kuće [20]
107 **Slika 8.7.** Razlika u potrošnji energije (kWh) za različite temperature hlađenja (25, 26 i 27 °C)
108 **Slika 8.8.** Razlika u potrošnji energije (kWh) za različite temperature grejanja (20, 22 i 24 °C)
109 **Slika 8.9.** Dva ekstremna slučaja (grejanje 20 °C i hlađenje 27 °C naspram grejanje 24 °C i hlađenje 25 °C) i mogućnosti za uštedu energije (KGH je zbir grejanja, ventilacije i klimatizacije)
112 **8.10.** Prosečna cena električne energije u evropskim domaćinstvima 2016., 2017. i 2018. godine [21]
113 **Slika 8.11.** Cena električne energije €/kWh (leva osa) i BDP po glavi stanovnika odgovarajućih zemalja u US\$ po glavi stanovnika (desna osa) prema Svetskoj banci

114

Slika 8.12. Polugodišnji trend cene električne energije [€/kWh] u EU28, Nemačkoj i Srbiji, prema Eurostatu – sa uključenim svim porezima i dažbinama. Napomena: podaci Eurostata za Srbiju dostupni su od 2013. godine.

115

Slika 8.13. Vrednosti emisija (kgCO_2/MWh) iz 2014. godine prema Svetskoj banci (Srbija je prikazana kao crvena kolona, krajnje desno je prikazana kolona sa srednjom vrednošću)

116

Slika 8.14. Vrednosti globalnog faktora emisija za niskonaponsku mrežu za 2018. godinu (gCO_2/kWh) (Srbija je prikazana kao crvena kolona, krajnje desno je prikazana kolona sa srednjom vrednošću)

117

Slika 8.15. Specifični činioci za globalnu električnu energiju za 2011. godinu (kgCO_2/kWh) od Ecometrica (Srbija je prikazana kao crvena kolona, krajnje desno je prikazana kolona sa srednjom vrednošću) [22]

120

Slika 9.1. Razlike između računske ($11,8 \text{ kWh/m}^2$ godišnje) i snimljene vrednosti (16 kWh/m^2 godišnje), odn. 26% na relativno velikom uzorku u slučaju naselja Pasivne kuće u Hanover-Kronsbergu [23]

121

Slika 9.2. Snimak ekrana grafičkog korisničkog interfejsa OpenStudio softvera – dodatka za SketchUp

122

Slika 9.3. Snimak ekrana programerskog interfejsa OpenStudio aplikacije – građevinski parametri omotača

122

Slika 9.4. Snimak ekrana OpenStudio aplikacije – KGH raspored

123

Slika 9.5. Energetska potrošnja objekta za jedan od najracionalnijih/ekonomičnijih scenarija za izuzetno efikasnu zgradu

125

Slika 9.6. Snimak ekrana prve kartice razvijenog tabelarnog alata

126

Slika 9.7. Snimak ekrana druge kartice razvijenog tabelarnog alata

126

Slika 9.8. Snimak ekrana treće kartice razvijenog tabelarnog alata

127

Slika 9.9. Uticaj glavnih građevinskih materijala na gotovinski tok Pametnije zgrade

128

Slika 9.10. Uticaj KGH sistema na gotovinski tok Pametnije zgrade

129

Slika 9.11. Uticaj solarnog postrojenja na novčani tok Pametnije zgrade

130

Slika 9.12. Uticaj porasta cene električne energije na novčani tok Pametnije zgrade

131

Slika 9.13. Uticaj diskontne stope na novčani tok Pametnije zgrade

132

Slika 9.14. Uticaj debljine krovne izolacije na potrošnju energije Pametnije zgrade

TABELE

18

Tabela 1.1. Kriterijumi za pasivne kuće [3]

19

Tabela 1.2. Poređenje standarda MOPE i MPE

39

Tabela 3.1. Troškovi gradnje na bazi AAC (uključuju blokove, fasadu i unutrašnju obradu zidova, tavanice, ravan krov, plate radnika, sa pregradnim zidovima između stanova i bez pregradnih zidova unutar stanova, bez PDV)

41

Tabela 3.2. Aspekti gradnje na bazi CLT (uključuju glavni građevinski materijal, spoljnju obradu zidova (izolacija), tavanice, ravan krov, plate radnika, sa pregradnim zidovima između stanova i bez pregradnih zidova unutar stanova, bez PDV)

44

Tabela 3.3. Aspekti gradnje na bazi PDKP (uključuju glavni građevinski materijal, spoljnju obradu zidova (izolacija), tavanice, ravan krov, plate radnika, sa pregradnim zidovima između stanova i bez pregradnih zidova unutar stanova, bez PDV, sa montažom)

50

Tabela 3.4. Prosečne cene najčešće korišćenih izolacionih materijala na domaćem tržištu (ekvivalent EPS od 15 cm)

52/53

Tabela 3.5. Karakteristike izolacionih materijala raspoloživih na tržištu [13] [14]

67

Tabela 4.1. Troškovi održavanja opreme i procena radnog veka prema EN 15459-1:2017

99

Tabela 7.1. Smanjenje emisije CO₂ kao rezultat rada fotonaponske elektrane

IMPRESUM

Izdavač

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registrovane kancelarije

Bon i Ešborn, Nemačka

Nemačko-srpska inicijativa za održivi rast i zapošljavanje
Nemanjina 4 /IV
11000 Beograd, Srbija

Tekst

Regionalni Evro centar za energetsku efikasnost Kragujevac
Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu
Dr Davor Končalović
Dr Dubravka Živković
Dr Vladimir Vukašinović
Dr Danijela Nikolić
Dr Dušan Gordić

Prevod sa engleskog

Sebastian Adanko

Grafički dizajn

Katarina Popović

Štampa

Piano com doo, Beograd, Srbija

novembar, 2019.

Publikaciju je finansiralo Savezno ministarstvo za ekonomsku saradnju i razvoj Nemačke (BMZ), putem Nemačko-srpske inicijative za održivi rast i zapošljavanje.

Štampano na recikliranom papiru

