

Primljen / Received: 27.10.2012.

Ispravljen / Corrected: 26.7.2013.

Prihvaćen / Accepted: 7.8.2013.

Dostupno online / Available online: 10.9.2013.

Proces projektiranja energetski učinkovitih stambenih obiteljskih zgrada

Autor:



Haris Bradić, dipl.ing.arh.
Sveučilište u Sarajevu
Arhitektonski fakultet
harisb@af.unsa.ba

Stručni rad

Haris Bradić

Proces projektiranja energetski učinkovitih stambenih obiteljskih zgrada

Rad predstavlja analizu procesa projektiranja energetski učinkovitih stambenih obiteljskih zgrada. Analiziraju se građevine koje su trenutačno u fazi izgradnje u Bosni i Hercegovini i u Makedoniji. Detaljno se razmatra složenost cjelokupnog procesa građenja, od projektnog zadatka do izgradnje građevine. Skrenuta je pozornost na veliku važnost uporabe računalnih programa tijekom procesa projektiranja, posebice pri proračunu energetske potrebe s ciljem ostvarenja udobnosti unutrašnjeg prostora.

Ključne riječi:

projektiranje, stambene zgrade, energetska učinkovitost, izgradnja

Professional paper

Haris Bradić

Design process for energy-efficient residential buildings

The analysis of the design process for energy-efficient residential buildings is presented in the paper. Buildings currently under construction in Bosnia and Herzegovina and Macedonia are analyzed. The complexity of the overall construction process, from the design solution to building construction, is considered in detail. The attention is drawn to great significance of the use of computer programs in the design process, particularly during computation of energy requirements aimed at achieving comfort of interior space.

Key words:

design, residential buildings, energy efficiency, construction

Fachbericht

Haris Bradić

Entwurfsprozess energieeffizienter Familienwohngebäude

In der vorliegenden Arbeit wird der Entwurfsprozess energieeffizienter Familienwohngebäude analysiert. Es werden Bauten betrachtet, die derzeit in der Konstruktionsphase sind und sich in Gebieten von Bosnien-Herzegowina und Mazedonien befinden. Der Aufwand des gesamten Bauprozesses wird ausführlich betrachtet, von der Entwurfsaufgabe bis zur Errichtung des Gebäudes. Die Aufmerksamkeit ist auf die Wichtigkeit der Anwendung von Computerprogrammen im Entwurfsprozess gerichtet, insbesondere bei Berechnungen des Energiebedarfs, die auf das Erzielen eines angenehmen Innenraumes ausgesetzt sind.

Schlüsselwörter:

Entwurf, Wohngebäude, Energieeffizienz, Erbauung

1. Uvod

Danas smo svjedoci sve većeg broja negativnih posljedica čovjekova djelovanja na planet Zemlju, od kojih se posebno izdvajaju: klimatske promjene, energetske krize, globalno zagrijavanje, povećanje emisije CO₂, itd. Međutim, to nas navodi da pronalazimo nova tehnička rješenja na cjelokupnoj graditeljskoj sceni. Svako okruženje u kojem se želi napraviti energetske učinkovite građevine nudi potencijal u korištenju obnovljivih izvora energije, ali ga treba pronaći i na suvremen i učinkovit način iskoristiti [1]. Atmosfera (Sunce), voda i tlo izvori su energije koji nemaju ograničenje. Sunce je od posebne važnosti, jer je to izvor koji nudi beskrajan energije u svakom dijelu planeta Zemlje.

U radu se analizira proces projektiranja energetske učinkovite stambene obiteljske zgrade na primjeru tri zgrade koje se nalaze u Sarajevu (Bosna i Hercegovina) i u Gostivaru (Makedonija). Osobitosti projektiranja energetske učinkovite građevine ogledaju se kroz projektiranje vanjske ovojnice niskog koeficijenta prolaska topline te iskorištavanja potencijala mikrolokacije koji se odnosi na maksimalno korištenje sunčane energije, ali i drugih oblika obnovljivih izvora energije kao što su vjetar i geotermalna energija. Uz pomoć dva računalna programa za proračun ukupnih potreba za energijom na godišnjoj razini: "ENSI EAB v.8.1 BiH" i "PHPP 2007" (namijenjen za analiziranje zgrada prema normama za pasivne kuće), došlo se do stvarnih podataka koji su iznimno značajni za cjelokupan proces simulacije energetske učinkovite zgrade.

Ciljevi spomenutih projekata bili su: isprojektirati stambene obiteljske zgrade koje će imati minimalnu emisiju CO₂, ili čak jednaku nuli, unutrašnji prostor tretirati s minimalnom količinom energije (manjom od 50 kWh/m²/god), povećati udobnost unutrašnjeg prostora s aspekata arhitektonske fizike [2], napraviti aktivan odnos stambene zgrade s mikrolokalitetom i predstaviti investitoru potencijalne rezultate. Simulacijama uz pomoć računalnih programa mogu se predvidjeti svi važni elementi buduće građevine kao što su: kvaliteta unutrašnjeg prostora, ekonomski plan kroz analizu odnosa veličine investicije i vremena povrata te godišnje uštede energije.

Cijena izgradnje stambenih zgrada sa spomenutim karakteristikama predstavlja najveću barijeru koju je potrebno zajedničkim radom svih sudionika u gradnji svladati te pronaći "najbezbolniji" put prema stvaranju visokih standarda energetske učinkovite građevine. Naročitu težinu nosi činjenica što Bosna i Hercegovina i Makedonija još uvijek nemaju uređen sustav o ovom pitanju. Ne postoje institucije koje prepoznaju i pomažu graditeljstvo s visokom ekološkom odgovornošću.

Proces projektiranja energetske učinkovite građevine može se definirati kroz nekoliko glavnih koraka: detaljno istražiti mikroklimu lokacije [3] na kojoj se projektira građevina, jasno definirati projektni zadatak zajedno s investitorom

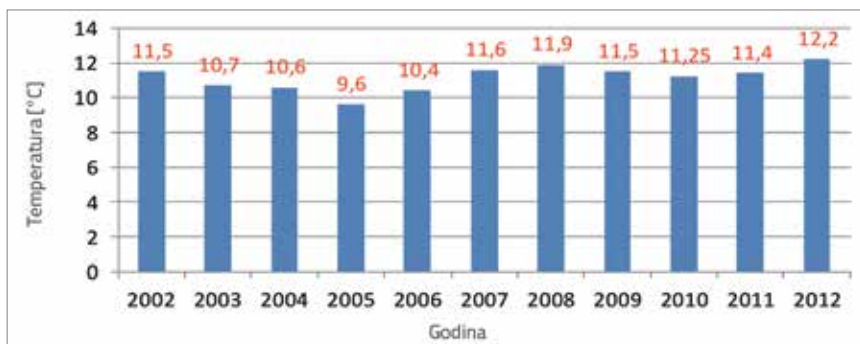
uzimajući u obzir veličinu (budžet) investicije, napraviti detaljne proračune i simulaciju kretanja energije iz građevine prema van i izvana prema unutra, a u suradnji s projektantima instalacija detaljno izraditi koncept proizvodnje energije za dani projekt i odabrati najpovoljnije rješenje kako s aspekta iskorištavanja obnovljivih izvora energije tako i s aspekta cijene sustava u planiranom vremenu i prostoru.

Tri stambene obiteljske zgrade, koje se analiziraju u radu, zanimljive su i značajne za obradu, jer se radi o tri suštinski različita koncepta vanjske ovojnice zgrada, točnije, odnosa između ploštine vanjske ovojnice i volumena grijanog dijela zgrade, što će se kroz prikazane rezultate u ovom radu moći promatrati i analizirati. U analizama su provedeni proračuni kretanja energije i vodene pare kroz vanjsku ovojnicu zgrade, uzimajući u obzir principe izgradnje pasivne kuće (Passivhouse Instituta u Darmstadtu u Njemačkoj) [4] i energetske učinkovite zgrade [5].

2. Proces projektiranja i analiza mikrolokacija

Projektiranje energetske učinkovite građevine ogleda se kroz nekoliko posebnosti od kojih se najviše izdvajaju: analiza projektnog zadatka buduće građevine koju u najvećem broju slučajeva u praksi definira sam investitor, a ponekad i projektant, postavljanje cilja s gledišta uštede energije i analize mikrolokacije. U svemu spomenutom veliko značenje ima intenzivna suradnja između projektanta i investitora kako bi se konačni cilj koji se želi postići u pogledu uštede energije mogao ostvariti. U vremenu i prostoru u kojem su spomenuti primjeri projektirani, ali i građeni, je teško pretpostaviti o kakvim se uštedama ili dobitima može govoriti, zbog čega je potrebno analizirati, proračunavati i buduće korisnike prostora upoznati o svim vrstama prednosti i koristi, a to su: ekonomske, bolja kvaliteta života, budućnost opskrbe energijom, smanjena emisija CO₂, itd. Računalni programi za proračun ukupnih energetske potreba te ekonomske simulacije doprinose navedenome.

Prvi korak je upoznavanje s klimatskim karakteristikama mikrolokacije prema dobivenim stvarnim podacima iz hidrometeorološkog zavoda. Kako se analiziraju građevine u Sarajevu i Gostivaru, podaci su preuzeti iz meteorološke stanice Sarajevo – Bjelave i meteorološke stanice u Gostivaru. Analizirane su prosječne najniže i najviše temperature zraka, godišnja insolacija te kvaliteta i učestalost vjetrova u posljednje tri godine. Cilj je bio dobiti što preciznije ulazne podatke koji se unose u program za proračun vanjskih uvjeta u kojima će se stambene zgrade graditi. Slika 1. prikazuje kretanja prosječnih temperatura u posljednjih 10 godina, iz čega se može zaključiti da prosječne temperature imaju tendenciju rasta, naročito za posljednje godine. Činjenice govore da je moguće projektantsku temperaturu vanjskog zraka od -20°C povećati na veću vrijednost. U proračunu primjenom dva računalna programa uzeta je temperatura vanjskog zraka -12°C za prvu



Slika 1. Prosječne najniže temperature u Sarajevu za period 2002. - 2012.

klimatsku zonu kojoj grad Sarajevo pripada. Slične promjene za grad Gostivar su evidentirane, te je također provedena promjena projektantske temperature za zimski period.

Dobivene informacije o sunčanom zračenju govore o velikom potencijalu sunčane energije. Sunčev potencijal se ogleda po broju potpuno sunčanih dana u godini, a u ljetnom je periodu gotovo ekvivalentan geografskim područjima poput sjeverne Španjolske, južne Francuske ili Italije.

Proces stvaranja jednog od oblika energetski učinkovite građevine podrazumijeva stalno sučeljavanje ključnih komponenti spomenutog procesa s konačnim ciljem da se napravi zadovoljavajuće arhitektonsko oblikovanje visoko kvalitetnog unutrašnjeg prostora, sa željenim parametrima energetske učinkovitosti i emisije CO₂. Klasifikacija energetski učinkovitih zgrada napravljena je prema Pravilniku o energetskom certificiranju zgrada (u BiH - energetskom certifikatu), a uključuje pasivnu kuću (eng. Passive House) koja ima potrebu energije za grijanje u vrijednosti od 15 kWh/m²/god do zgrada s velikom količinom energije za grijanje od 300 kWh/m²/god.

3. Primjeri energetski učinkovite arhitekture u BiH i Makedoniji

3.1. Stambena obiteljska zgrada "Kromolj" u Sarajevu

Prvi primjer koji se analizira u ovom radu je stambena obiteljska zgrada u Sarajevu. To je samostalna stambena građevina, katnosti P+1 (prizemlje predstavlja poluukopanu etažu sa

sjeverne strane). Lokacija građevine je izdvojena od uže gradske jezgre i nalazi se na padinama brda Kromolj - Poljine, slika 2. Parcela je većim dijelom svoje duže strane orijentirana prema istoku te djelomično i prema jugu. Pristup na parcelu je s lokalne ceste, a parcela posjeduje određeni nivo infrastrukture, kao što su električna energija i vodovod, dok su plinske instalacije udaljene 80 m od parcele. Nadmorska visina je 695 m, a zemljopisni položaj je: sjeverna geografska širina 43°53'23.08", istočna geografska dužina 18°24'38.56".

Budući da se radi o relativno visokoj nadmorskoj visini, u zimskom je periodu obilniji snježni pokrivač koji se zadržava i tijekom ranog proljetnog perioda. Provedena je analiza karakteristika terena s aspekta stabilnosti i postojanosti podzemnih voda, koja je pokazala da se radi o relativno stabilnom tlu s niskom razinom podzemnih voda. Novoprojektirana građevina je zarotirana u odnosu na prvobitni položaj za 15° prema jugu s ciljem dobivanja južne orijentacije najdužih fasada, kako bi se kroz prozirne plohe dobila određena količina toplinske energije u zimskom periodu, a što bi ujedno smanjilo ukupne potrebe energije za grijanje.

Oblik i sadržaj rezultat su ciljanog stvaranja energetski učinkovite arhitekture s pasivnom zaštitom od prevelikih sunčevih dobitaka energije u ljetnom periodu gdje su staklene plohe prekrivene prepustima armiranobetonske horizontalne strukture. Sa sjeverne i djelomično zapadne strane dominira visoko raslinje koje u ljetnom periodu stvara prirodnu sjenu na građevinu i sprečava pregrijavanje ovojnice zgrade sa zapadne strane. Vizualizacija stambene obiteljske zgrade Kromolj prikazana je na slici 3.



Slika 2. Lokacija stambene obiteljske zgrade, "Kromolj" u Sarajevu



Slika 3. Vizualizacija stambene obiteljske zgrade Kromolj

Tablica 1. Podaci o stambenoj obiteljskoj zgradi "Kromolj"

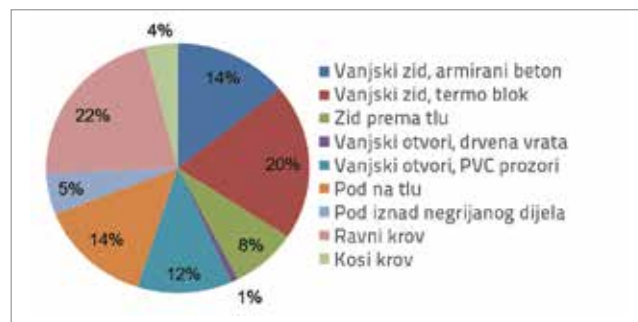
Površina grijanog dijela (A)	282 m ²
Volumen grijanog dijela (V)	812 m ³
Površina vanjske ovojnice zgrade (Ae)	580,99 m ²
Površina otvora na vanjskoj ovojnicu zgrade (Aw)	68 m ²
Faktor prozora (Aw/A)x100	24
Faktor oblika zgrade	0.71

U tablici 1. prikazan je odnos pojedinih parametara koji karakteriziraju građevinu. Najvažniji podatak jest faktor oblika zgrade u iznosu od 0.71, koji pokazuje odnos površine vanjske ovojnice, tj. granice između grijanog i negrijanog prostora, u odnosu na volumen grijanog dijela zgrade, a to je u najvećoj mjeri rezultat arhitektonskog koncepta primijenjenog na tom projektu. Oblikovanje građevine je rezultat nekoliko ulaznih podataka, kao što su npr. želje investitora prema kojima je definiran projektni zadatak i određeni parametri vizualnog identiteta te geodetska podloga na kojoj je trebalo projektirati građevinu. Arhitektonski koncept je prezentiran kroz igru punih i praznih ploha s ciljem stvaranja što boljeg vizualnog kontakta unutrašnjeg prostora s okolnim krajolikom. Ukupna ploština vanjske ovojnice zgrade je 580,99 m². Faktor prozora je 24 %, što predstavlja visok udio prozirnih ploha u odnosu na neprozirne, a kako one čine dijelove s najvećim vrijednostima koeficijenta prolaska topline (U-vrijednosti) na ovojnicu, došlo je do dodatnih poteškoća u smanjenju potrebne godišnje energije za grijanje zgrade. Iz slike 4. se vidi da 13 % ukupne površine pročelja otpada na prozirne plohe što predstavlja značajnu količinu koju je potrebno adekvatno izvesti sa što nižim vrijednostima koeficijenta prolaska topline kroz prozore, U_w. Time se znatno povećava

Tablica 2. Karakteristike ovojnice zgrade

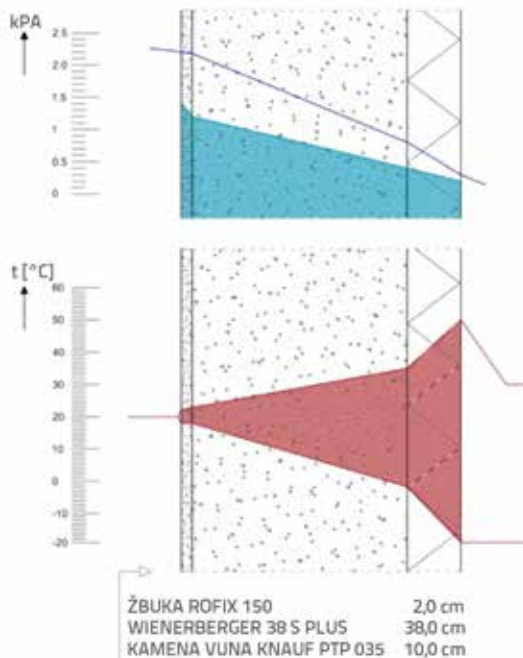
	Naziv	U faktor [W/m ² K]	Ploština [m ²]
1	Vanjski zid tip 1, armirani beton i kamena vuna	0,149	82,2
2	Vanjski zid tip 2, termo blok i kamena vuna	0,175	116,61
3	Vanjski zid, zid u tlu, armirani beton i XPS	0,296	47,77
4	Vanjski otvori, ulazna vrata, puno drvo	1,8	5,23
5	Vanjski otvori, Prozori, Rehau Geneo sistem, trostruko ostakljenje, Low-e, g=0,50	1,0	67,77
6	Pod na tlu	0,26	81,36
7	Pod iznad negrijanog dijela	0,149	31,2
8	Ravni krov	0,182	125,5
9	Kosi krov	0,13	23,35
Ukupna ploština ovojnice: 580,99 m ²			

investicija. Današnja tehnologija je u mogućnosti napraviti vanjski otvor čiji U-faktor može biti 0,6 W/m²K, što je unazad 10 godina bilo nezamislivo, ali treba naglasiti da spomenuta razina kvalitete vanjskih otvora ima visoku prodajnu cijenu.

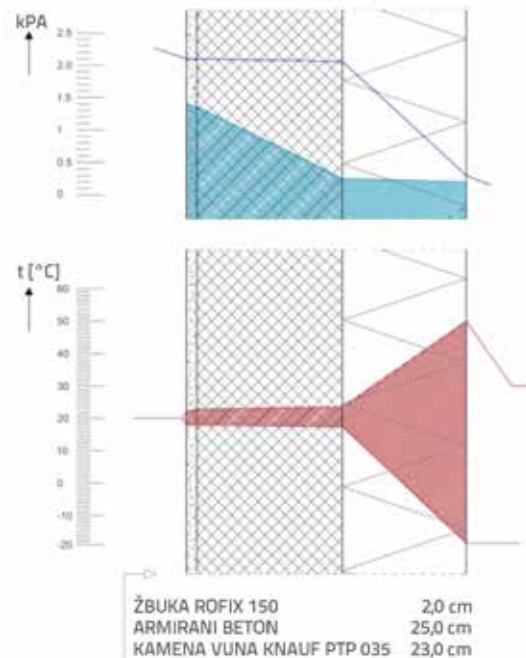


Slika 4. Struktura kompletne ovojnice (granice između grijanog i negrijanog prostora) fasade

Ovojnica je projektirana tako da ima približno jednake U vrijednosti na svim ploham u sljedećim omjerima: U vrijednost ravnog krova je najniža 0.13 W/m²K, vanjskog zida 0.15 W/m²K i poda 0.26 W/m²K, što je vidljivo u tablici 2. Koeficijenti prolaska topline kroz slojeve ogradne plohe mogli su biti još niži, ali bi to povećalo investiciju uz mali učinak na smanjenje potrebne energije za grijanje, osim ako se na zgradi ne bi ugradili vanjski otvori s certifikatom pasivne kuće. Taj certifikat za vanjske otvore propisuje u svojim standardima daje U_w vrijednost, w je indeks cjelokupne pozicije vanjskih otvora ne smije biti veći od U_w=0,8 W/m². Koncept ovojnice je zamišljen da bude "pasivno" aktivan u pogledu kontroliranja kretanja energije u oba smjera. Na osnovi dijagrama prikazanih na slikama 5. i 6. može se zaključiti da su se kroz način odabira materijala riješili problemi stvaranja viška vlage unutar slojeva, jer je omogućen kontinuiran protok vodene pare kroz slojeve, a postavljanjem termoizolacije



Slika 5. Grafički prikaz proračuna protoka vodene pare (detalj vanjskog zida - termoblok)



Slika 6. Grafički prikaz proračuna protoka vodene pare (detalj vanjskog zida - armirani beton)

s vanjske strane, kako preko termobloka u debljini od 10 cm, tako i preko armiranobetonske strukture u debljini od 23 cm, temperaturni rad nosive konstrukcije sveden je na minimum, čime je spriječeno širenje i skupljanje konstrukcije koje s vremenom dovodi do pucanja završnih slojeva na vanjskim i unutrašnjim slojevima ovojnice. Kretanje vlage u brojnim se primjerima nove gradnje zanemaruje, što za posljedicu ima građevinsku štetu na unutrašnjim površinama građevnih dijelova zgrade, najčešće uočavanih pojavom gljivica koje stvaraju pogodno tlo za razvijanje drugih bakterija opasnih za zdravlje korisnika unutrašnjeg prostora. Toplinska stabilnost konstrukcije u ljetnom režimu u potpunosti je zadovoljena kroz dva parametra, a to su vrlo nizak koeficijent prolaska topline (U vrijednost) i masa zida po m^2 od 650 do 720 kg/m^2 , što ovu ovojnicu svrstava u masivne konstrukcijske sustave gradnje [2]. Sustav ventilacije nije mehanički, nego je ventiliranje koncipirano pomoću kontroliranih otvora u etaži prizemlja i dijelu kosog krova, koji bi na osnovi razlike u atmosferskom tlaku i suprotnog pozicioniranja provodili cirkuliranje zraka kroz unutrašnji prostor. S obzirom na položaj građevine na predmetnoj lokaciji (karakteristika mikrolokacije), nije potrebno planirati kontrolirani sustav rashlađivanja u ljetnom periodu. Za automatski kontrolirano 'ubacivanje' svježeg zraka predviđeni su na sjevernoj strani rekuperatori koji ubacuju zrak. Pitanje koje se ovdje otvorilo jest apsolutna kontrola ulaska svježeg zraka u zgradu, što nije prihvatio investitor, pa je ova varijanta ostavljena kao alternativa. Proračunom potrebne energije za ovu građevinu s oba navedena računalna programa došlo se do postignuća od 21,3 $kWh/m^2/god$ (slika 7.), što je odličan rezultat. Ako se doda faktor sigurnosti, onda je to u konačnici 30 $kWh/m^2/god$ (zgrada)

potrebne energije za grijanje unutrašnjeg prostora, dok je količina potrebne energije za pripremu tople vode 12 $kWh/m^2/god$. Unutar obračuna za konačne energetske potrebe, uzeti su u obzir sljedeći faktori: ventilacijski gubici, projektirana temperatura, broj izmjena zraka, termički mostovi, unutarnji dobitci energije i dobitci energije od sunca. Faktor sigurnosti treba uzeti u obzir iz više razloga:

- hoće li ugradnja elemenata na ovojnici građevine (slojevi u strukturi vanjskih zidova i vanjski otvori) zadovoljiti kvalitetom,
- hoće li energent koji ulazi u građevinu biti primjerene kvalitete.

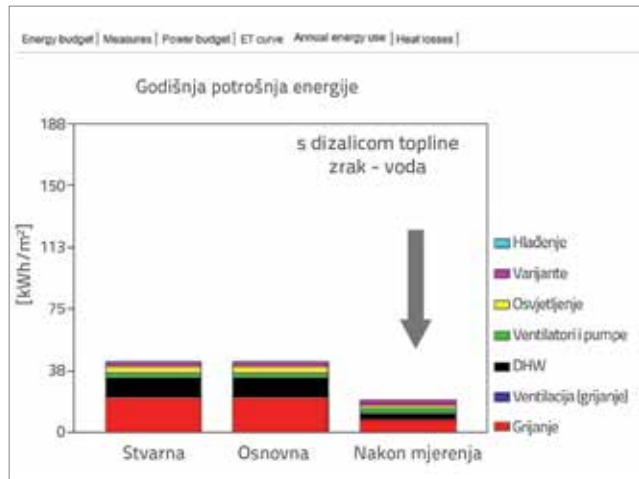
U ovom primjeru u obračun je uzeta vrijednost faktora sigurnosti oko 20 % kako bi se dobio što pouzdaniji konačni rezultat. Toplinska energija za pripremu vode za kućanstvo proračunavana je posebnim segmentom unutar računalnog programa koji je namijenjen za simuliranje potrebne energije izražene u litrama, a što je od pomoći pri proračunu isplativosti ugradnje solarnih panela na promatranoj lokaciji. Priprema tople vode predviđena je pomoću solarnih panela i električnih grijača za dogrijavanje.

Spomenutu količinu toplinske energije potrebno je zgradi osigurati i adekvatno emitirati u tretirani prostor, pa se stoga tehničkom rješenju posvetila velika pažnja. Iako je kalkulacija investicije već znatno povećana sa spomenutom kvalitetom ovojnice, u ovom segmentu veličina ukupne investicije dolazi još više do izražaja. Suvremena tehnologija je pružila velik broj različitih modaliteta energetski učinkovite proizvodnje i raspodjele energije, pa je danas složen zadatak odabrati

Parameter	Standard	Actual	Desired	Sensitivity	Wt/m ² ·a	Measure	Savings
I. Heating 49,6 kWh/m ² ·a							
U-wall	0,35 W/m ² ·K	0,18	0,18	+ 0,1 W/m ² ·K = 0,56	0,18	-1,47	-1,47
U-window	1,00 W/m ² ·K	1,14	1,14	+ 0,1 W/m ² ·K = 1,50	1,14	-0,48	-0,48
U-roof	0,30 W/m ² ·K	0,17	0,17	+ 0,1 W/m ² ·K = 4,02	0,17	-0,13	-0,13
U-floor	0,20 W/m ² ·K	0,20	0,20	+ 0,1 W/m ² ·K = 1,79	0,20	-0,20	-0,20
Construction ratio	0,71	0,71	0,71		0,71		
Window factor	24,1 %	24,1	24,1		24,1		
Total solar gain	0,36	0,50	0,50		0,50	0,14	0,14
infiltration	0,34 1/h	0,30	0,30	+ 0,1 1/h = 0,24	0,30	-0,04	-0,04
Indoor temperature	19,0 °C	21,0	21,0	+ 1 °C = 2,04	21,0	-2,04	-2,04
Setback temperature	16,0 °C	16,0	16,0	+ 1 °C = 1,01	16,0	-0,01	-0,01
Centralized flow							
Ventilation heating	W/m ² ·a	0,00	0,00		0,00		
Lighting	W/m ² ·a	2,15	2,15		2,15		
Various equipment	W/m ² ·a	1,10	1,10		1,10		
Energy need kWh/m ² ·a 30,3 30,3 30,3							
Emission efficiency	100,0 %	100,0	100,0		100,0		
Distribution efficiency	90,0 %	100,0	100,0		100,0		
Automatic control	97,0 %	100,0	100,0		100,0		
THP/SH	99,0 %	100,0	100,0		100,0		-0,28
Total kWh/m ² ·a 71,3 71,3 71,3							
Generation efficiency	100,0 %	100,0	100,0		100,0		
Energy use	kWh/m ² ·a	71,3	71,3		71,3		-11,76

Slika 7. Energetska potreba za grijanjem (stambena zgrada Kromolj, program ENSI)

koncept i tvrtku koja će na najbolji način pratiti projekt. Na osnovi dobivenih rezultata mikroklima, sastava tla na mjestu gradnje i pristupa lokalitetu došlo se do zaključka da bi, dugoročno gledano ugradnja dizalice topline bilo jedno od najboljih rješenja. Izabran je sustav dizalice topline "zrak-voda" (tip: Stiebel Eltron, WPL 18 E, izlazna snaga pri temperaturi vanjskog zraka 10°C je 13,40 kWh, a pri -15°C 8,2 kWh), koji danas omogućava primjenu sustava čak i do temperature vanjskog zraka -20°C. Na taj bi se način potrošnja energije za grijanje mogla smanjiti dva do tri puta, čime bi jedan od prvotno postavljenih ciljeva bio ostvaren. U centralni sustav uključena je i priprema tople sanitarne vode koja je potpomognuta solarnim kolektorima (tip: Stiebel Eltron SOL 27 basic, snage 500 W/m², ukupna korisne površina je 3 x 2,38 = 7,14 m²), koji dobivenu toplinsku energiju iz dnevne svjetlosti ubacuju u centralni spremnik (tip: Stiebel Eltron SBB 401 WPSOL, volumen 400 l) koji potom uz pomoć energije iz toplinske pumpe grije vodu na temperaturu od +35°C. U konačnici, potrebnu bi energiju sa 43,2 kWh/m² spustili na 19,4 kWh/m²/god, što bi bio veliki učinak za vrijeme i prostor u kojem je ovaj projekt zamišljen i realiziran. Ekonomski parametri ovog projekta pokazuju da će ukupna investicija sustava grijanja i pripreme tople vode za kućanstvo iznositi 23.500,00 eura, te da će povrat uloženog novca za solarne kolektore i toplinsku pumpu biti vraćen u roku od 8 godina. Na osnovi predočenih rezultata može se zaključiti da se u ovom primjeru radi o izrazito dobro koncipiranom projektu, naročito onom dijelu koji se odnosi na projekt ovojnice čime su energetske potrebe dovedene na minimum, a time i investiciju koja je potrebna za spomenuti sustav grijanja tople vode. Tijekom izrade ovog projekta napravljen je još jedan model, a to je dizalica topline zemlja-voda s dvije dubinske sonde od minimalnih 100 m dubine. Zaključeno je da je izvođenje kompliciranije, a time i investicija veća iz dva razloga: otežan pristup vozilima danoj lokaciji i mala količina sondi (samo dvije) što bi povrat investicije produžio na period od 18 godina, a konačno smanjenje potrošnje energije bilo bi neznatno umanjeno.



Slika 8. Dijagram ukupnih energetskih potreba (stambena zgrada Kromolj, program ENSI)

3.2. Stambena obiteljska zgrada "Vrbanjuša" u Sarajevu

Drugi primjer prikazuje projekt u Sarajevu koji je trenutačno u fazi izgradnje i nalazi se u starom dijelu grada Sarajeva ("mahala Vrbanjuša", slika 9.a). Prvobitno zdanje na ovom mjestu bio je tipičan primjer arhitekture stambenih obiteljskih zgrada grada Sarajeva iz perioda vladavine Osmanlijskog carstva, čija starost je procijenjena na približno 400 godina. Površina postojećeg zdanja bila je 210 m², s katnošću P+1. Želje investitora da se napravi građevina od približno 500 m² s etažom podruma ispod gotovo čitave parcele dovele su do toga da se potpuno sruši postojeća građevina i napravi novi projekt, koji je djelomično izveden u prvoj fazi gradnje tijekom 2011. godine (slika 9.b). Interesantno je naglasiti da je Zavod za zaštitu kulturnog, povijesnog i prirodnog naslijeđa Kantona Sarajevo propisao zaštitu sjeverozapadne i jugozapadne fasade, što je u velikoj mjeri ograničilo oblikovanje ovojnice. Stanje koje je zatečeno prilikom prvoga posjeta gradilištu bilo je takvo da je građevina konstrukcijski završena, slika 10. U drugoj fazi investor je zatražio problikovanje građevine, na osnovi čega je napravljen projekt unutrašnjeg uređenja, djelomično ovojnice (vanjski zidovi su već bili izvedeni), projekt uređenja dvorišta i novi projekt svih instalacija koji je obuhvatio i projekt energetske učinkovitosti, slika 11. Građevina se nalazi na nadmorskoj visini od 611 m, a zemljopisni položaj je: sjeverna zemljopisna širina 43°51'58.46" i istočna zemljopisna dužina 18°24'45.72", što predstavlja poziciju koja je slična prethodnom primjeru uz neznatne razlike u nadmorskoj visini. S aspekta orijentacije građevina ima položaj koji omogućava nesmetano osunčanje sa svih strana tijekom čitavog dana. Orijentirana je pretežno prema istoku, jugu i zapadu što je omogućilo značajne dobiteke energije od Sunca na ovojnicu zgrade. Katnost građevine je Po+Pri+K1+Pt, svjetle visine etaža su između 2,6 i 2,9 m, što je u konačnici rezultiralo dosta velikim volumenom unutrašnjeg



Slika 9. Lokacija stambene obiteljske zgrade "Vrbanjuša" u Sarajevu s prikazom tlocrta dvorišta i prizemlja



Slika 10. Prikaz prve faze radova na stambenoj zgradi Vrbanjuša (2012.)



Slika 11. Vizualizacija stambene obiteljske zgrade Vrbanjuša

zraka, koji je potrebno tretirati (zagrijati, odnosno ohladiti). U okviru studije o energetskej učinkovitosti napravljeno je snimanje postojećeg izvedenog stanja i poseban elaborat, koji se odnosi na životne navike stanara, koji je od izuzetnog značenja za proračun potrebne ukupne energije (navike korištenja potrošne tople vode i zahtjeve za posebnim vrijednostima temperature unutrašnjeg zraka).

Tablica 3. Podaci o stambenoj obiteljskoj zgradi "Vrbanjuša"

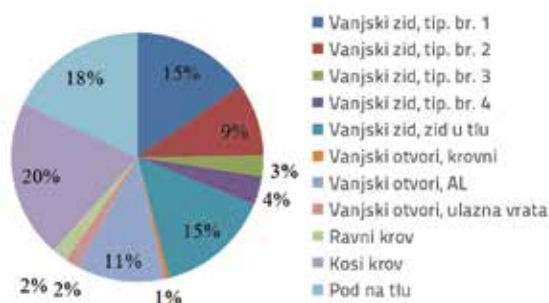
Površina grijanog dijela (A)	449,26 m ²
Volumen grijanog dijela (V)	1124 m ³
Površina vanjske ovojnice zgrade (Ae)	723 m ²
Površina otvora na vanjskoj ovojnici zgrade (Aw)	91 m ²
Faktor prozora (Aw/A)x100	20,3
Faktor oblika zgrade	0.64

Iz tablice 3. može se vidjeti da je faktor oblika znatno bolji nego u prethodnom primjeru, jer se radi o volumenu koji ima oblik između pravilne kocke i kvadra bez velikog broja lomova

osim ulaznog dijela, koji je zaseban dio povezan s primarnom strukturom ove kompozicije. Za tretiranje unutrašnjeg prostora potrebna je velika količina energije za grijanje i hlađenje, čemu doprinosi i činjenica da se radi o ne baš niskim U vrijednostima zidova ovojnice, a one su od 0.31 W/m²K do 0.39 W/m²K, jer zidovi zauzimaju 46 % ukupne površine fasade.

U prvobitnoj fazi projektiranja građevine napravljene su greške u izvođenju vanjskog zida s aspekta termodinamike i difuzije vodene pare. To je naknadno bilo nemoguće jednostavnim postupcima otkloniti, pa je ta pozicija zadržana, slika 13. Iz tablice 3 se može uočiti da je faktor prozora 20,3 i predstavlja nižu vrijednost nego u prethodnom primjeru, što ističe važnost adekvatnog izvođenja vanjskih zidova. U dijelu ovojnice koja se odnosi na fasadu vanjski otvori zauzimaju 23 %. Ovo je dosta mali udio, jer su dvije strane građevine morale zadržati prijašnji izgled s prvotnim brojem i oblikom vanjskih otvora, s obzirom na to da se radi o građevini koja je pod zaštitom Zavoda za zaštitu kulturnog, povijesnog i prirodnog naslijeđa Kantona Sarajevo. U granicama između grijanog i negrijanog prostora elementi vanjskih otvora su uvijek najskuplji segmenti, pa samim time i predmet rasprava na relaciji investitor -

projektant. Srednja U vrijednost cjelokupne ovojnice je 0,40 W/m²K, što predstavlja nisku vrijednost za uobičajene načine gradnje, ali ako govorimo o niskoenergetskoj ili pasivnoj zgradi onda je to relativno visoka vrijednost.



Slika 12. Struktura kompletne ovojnice - fasade

U prethodnom dijelu rada spomenut je pogrešan način odabira materijala vanjskog zida (tip 1) koji zauzima 15 % od ukupne površine fasade zgrade (slika 12.). Slika 13. prikazuje gdje dolazi do problema: iako je vrijednost $U = 0,326 \text{ W/m}^2\text{K}$ zadovoljavajuća, prikazani dijagrami upućuju na pojavu kondenzacije unutar slojeva zida. Ugrađena je termoakustična izolacija, tip XPS ploča debljine 8,0 cm. Analiza pokazuje kako bi da je na danoj poziciji primijenjena neka druga vrsta toplinsko-izolacijskog materijala s nižom vrijednosti otpora difuziji vodene pare također došlo do pojave kondenzacije vodene pare. Jedino pravilno rješenje bilo bi da se toplinska izolacija ugradila s vanjske strane građevnog dijela. Predlagani su neki od oblika intervencije, a to su: ugradnja dodatnih termoizolacijskih slojeva s vanjske strane debljine 5,0 cm, ili da se prije ugradnje završne žbuke s unutrašnje strane ugradi parna brana. Zaključak je donesen da se zid ostavi onakav kakav jest, jer period isušivanja vlage je kraći od 30 dana, pa je stavka zanemarena.

Tablica 4. Struktura kompletne ovojnice s termičkim karakteristikama

Naziv	U faktor [W/m ² K]	Ploština [m ²]
1 Vanjski zid tip br.1, puna opeka, XPS poliestiren i puna opeka	0,454	111,47
2 Vanjski zid tip br.2, puna opeka, XPS poliestiren i armirani beton	0,520	68,75
3 Vanjski zid tip br.3, puna opeka i XPS poliestiren	0,290	19,78
4 Vanjski zid tip br.4, puna opeka i XPS poliestiren	0,205	26,55
5 Vanjski zid u tlu, armirani beton i XPS poliestiren	0,280	107,5
6 Vanjski otvori, korvni prozori	1,7	4,32
7 Vanjski otvori, Al profil, tip: Schuco AWS 75 S.l., trostruko ostakljenje, Low-e, g = 0,5	1,0	82,71
8 Vanjski otvori, ulazna vrata, puno drvo i trostruko ostakljenje, Low-e, g =	1,2	12,72
9 Ravni krov	0,105	14,52
10 Kosi krov	0,11	148,29
11 Pod na tlu	0,32	134,52
Ukupna ploština ovojnice: 723 m ²		

Vidljiv je pozitivan primjer u odabiru materijala ravnog krova, gdje je primijenjen sustav obrnutog ravnog krova, slika 14. Primjena spomenutog sustava posebno je važna u klimatskim uvjetima kakvi su u Sarajevu zbog izrazito velike temperaturne razlike na vanjskim slojevima, koje mogu iznositi i do +100°C i -30°C. Izborom obrnutog ravnog krova izbjegava se ekstremni temperaturni utjecaj na slojeve hidroizolacije, što sprječava prevelike temperaturne dilatacije materijala tijekom godine. Slika 16. pokazuje da je vrijednost Δt temperature u zimskom i ljetnom periodu na sloju hidroizolacije kod klasičnog ravnog krova jednaka 69,4°C, a kod sustava obrnutog ravnog krova 3,8°C, što potvrđuje prethodno rečeno o značenju prilagođavanja koncepta ovojnice klimatskim uvjetima mikrolokacije.

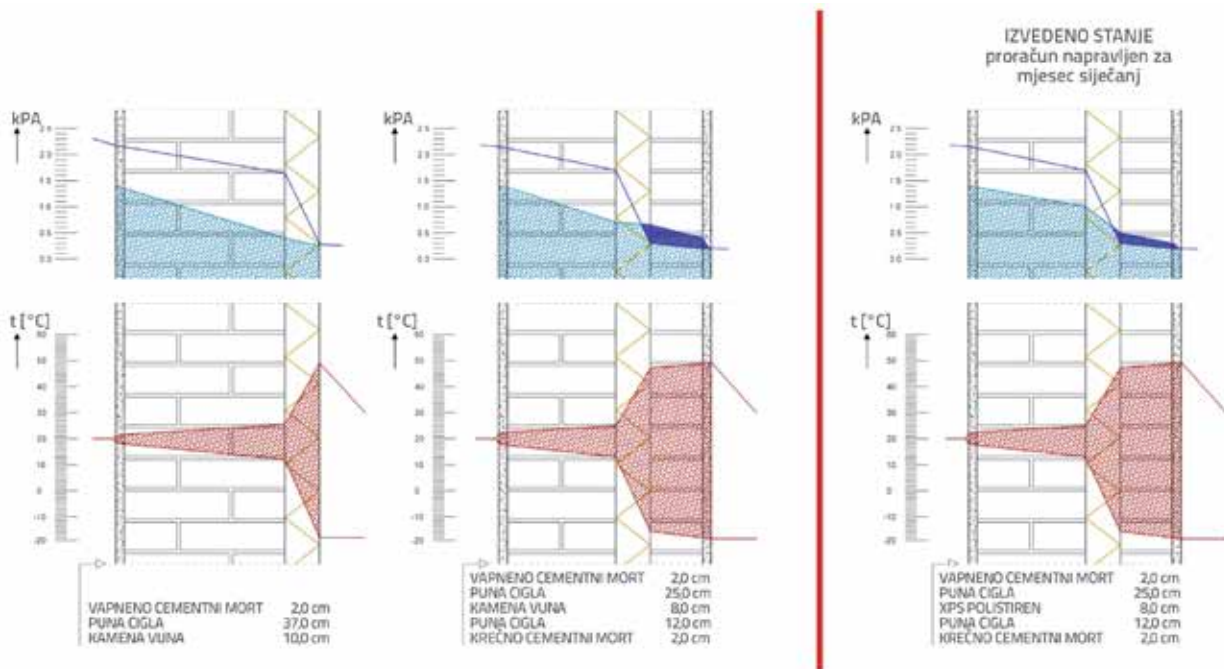
Da je od samog početka više pozornosti usmjereno odabiru materijala i konceptu ovojnice, mogla se dobiti zgrada s manjim ukupnim energetske potreba. Proračun pokazuje da stvarna energetska potreba s prezentiranom ovojnicom iznosi 52 kWh/m²/god za grijanje, a za pripremu tople vode za kućanstvo 13,7 kWh/m²/god. Ukupna potreba za energijom svih potrošača u zgradi je 75,7 kWh/m²/god, što je dosta velika vrijednost za energetske učinkoviti koncept gradnje.

U radu su korištena dva ključna izraza za proračun termodinamike (1) i difuzija vodene pare (2):

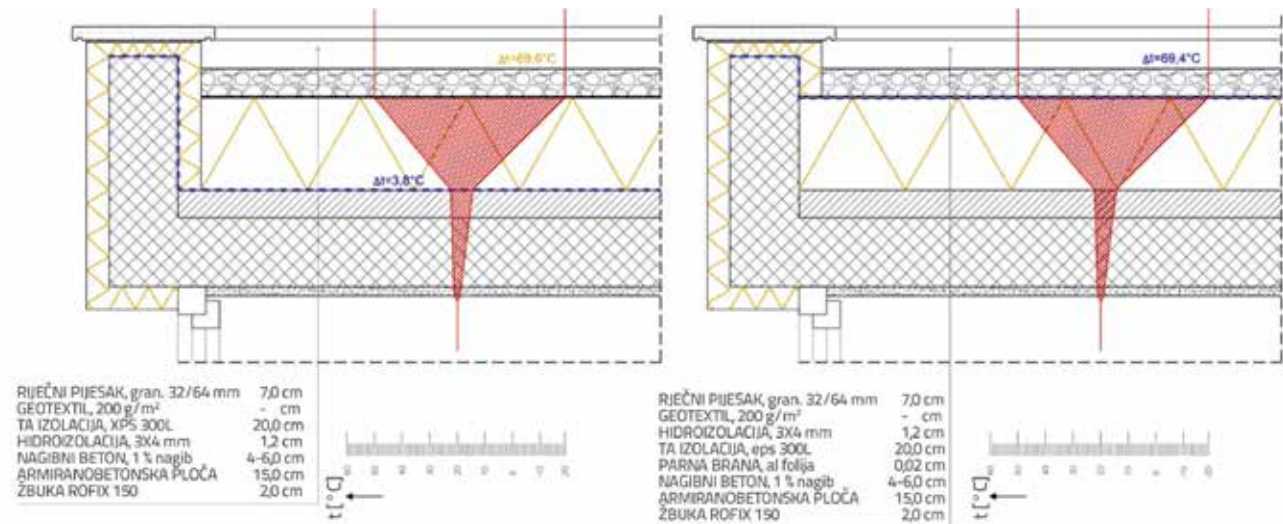
$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (1)$$

$$p_j = p_i - 1 \frac{p_i - p_e}{\sum R} R_j \quad [\text{kPa}] \quad (2)$$

Pomoću izraza (1) izračunava se koeficijent prolaska topline U tj. kretanje topline kroz određene slojeve građevnog dijela zgrade. Nekadašnji JUS standardi propisivali su da U vrijednost zida ne bi smjela biti veća od 0,8 W/m²K [2], a danas pravila izgradnje pasivnih zgrada propisuju normu da maksimalna U-vrijednost vanjskog zida ne smije biti veća od



Slika 13. Grafički prikaz proračuna protoka vodene pare (različitosti u konceptu materijala zida s istom vrijednosti U faktora)



Slika 14. Grafički prikaz proračuna temperaturne krivulje za različite oblike ravnog krova

0,15 W/m²K, što govori o važnosti uloge ovojnice u procesu stvaranja energetski učinkovite arhitekture. Izgradnja pasivnih građevina u razvijenim zemljama postaje standard, što govori da će vanjske ovojnice u budućnosti postati ciljano projektirane membrane s ulogom precizne i projektirane regulacije kretanja topline i vodene pare. Izrazom (2) se proračunava kvaliteta vanjske ovojnice, jer daje podatke o protoku vodene pare kroz slojeve građevnog dijela zgrade, a svjesni smo da je ovo pitanje danas u velikoj mjeri zanemareno, što u konačnici daje apsolutno zatvorene građevine s aspekta difuzije vodene pare.

Korak koji je slijedio jest projektiranje koncepta proizvodnje spomenute energije, o čemu se provela detaljna analiza

parametara kao što su: potencijal mikrolokacije, veličina investicije, godišnje uštede i period povrata uloženi sredstava. U tablici 5. prikazani su odnosi spomenutih parametara i jasno je vidljivo da su obje predložene varijante dizalica topline s dugim povratom investicije, što je direktna posljedica nekoliko faktora:

- cijena električne energije u BiH je još uvijek niska i iznosi 0,07 €/kWh,
- trenutno je visoka cijena nabave i ugradnje sustava za korištenje obnovljivih izvora energije, a naročito kada se radi o geotermalnoj energiji,
- ne postoji program potpore gradnji niskoenergetskih i niskoemisijских zgrada u BiH.

Tablica 5. Kalkulacija investicije i usporedba sustava grijanja

Ukupna godišnje potreba za energijom građevine je 33.750,00 kWh (2.362,50 €)						
Naziv sustava		Cijena sustava s ugradnjom	Razlike u investiciji	Godišnja ušteda	Period povrata investicije	Cijena mjesečne potrebne energije
1	Elektro blok + sustav podnog grijanja s konektorima i radijatorima	30.000,00 €				
2	Elektro blok + sustav podnog grijanja s konvektorima i radijatorima	32.307,00 €	2.307,00 €	7% 186,55 €	10-12 god	206,54 €
3	Dizalica topline (zrak – voda) + sustav podnog grijanja s konvektorima i radijatorima + solarni kolektori za pripremu tople vode + pasivno hlađenje	64.100,00 €	34.100,00 €	51% 1.376,86 €	22 god	106,60 €
4	Dizalica topline (zemlja – voda) + sustav podnog grijanja s konvektorima i radijatorima + solarni kolektori za pripremu tople vode + pasivno hlađenje	91.120,00 €	61.120,00 €	75% 1.986,67 €	28 god	56,53 €

U prikazanom primjeru projektom je predviđena najsuvremenija oprema instalacija i automatizacije sustava grijanja i hlađenja što u velikoj mjeri poskupljuje početnu investiciju, ali to je posebno stajalište promatranja kvalitete gradnje koja se može povezati s razinom luksuza koji investitor određuje. Odlučeno da se energetske potrebe za grijanje, hlađenje i sanitarnu toplu vodu u najvećem svom opsegu dobiju

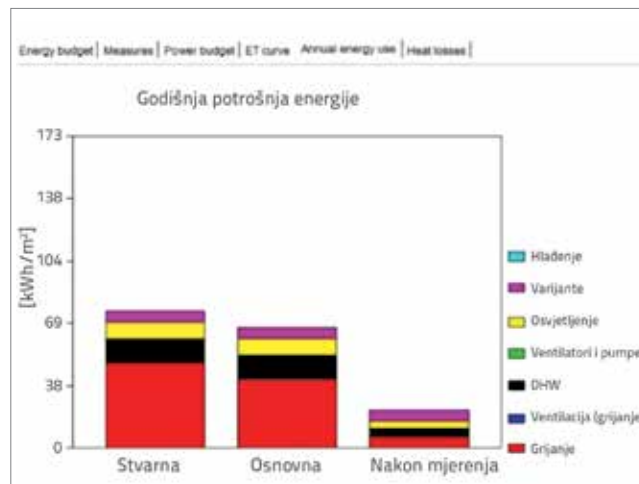
iskorištavanjem geotermalne energije tla s pet dubinskih geotermalnih sondi od 100 m (tip: Rehauf RAUGEO PE-Xa 5x100 m, slika 15.) i dvije toplinske pumpe zemlja-voda (tip: Stiebel Eltron WPF 32 Set, izlazne snage 33,98 kWh, faktor iskoristivosti 4,35 pri B0, u setu s Buffer-om tip: SBP 700 E, volumen 700 l), povezanih u jedan sustav potpomognut toplinskom energijom dobivenom iz vakumskih solarnih



Slika 15. Izrada bušotina i montaža geotermalnih sondi

Parameter	Standard	Actual	Baseline	Sensitivity	kWh/m²a	Measures	Savings
1. Heating 36,8 kWh/m²a							
U-wall	0,30 W/m²K	0,21	0,21	+ 0,1 W/m²K = 0,27	0,21		
U-window	2,00 W/m²K	1,20	1,20	+ 0,1 W/m²K = 1,69	1,20		
U-roof	0,30 W/m²K	0,11	0,11	+ 0,1 W/m²K = 0,54	0,11		
U-floor	0,20 W/m²K	0,16	0,16	+ 0,1 W/m²K = 2,52	0,16		
Compactness ratio	0,04	0,04	0,04		0,04		
Window factor	20,3 %	20,3	20,3		20,3		
Total solar gain	0,36	0,36	0,36		0,36		
Infiltration	0,30 1/h	0,03	0,40	+ 0,1 1/h = 7,10	0,40		
Indoor temperature	19,0 °C	21,0	21,0	+ 1 °C = 3,10	21,0		
Setback temperature	16,0 °C	16,0	16,0	+ 1 °C = 1,50	16,0		
Contribution from							
Ventilation (heating)	kWh/m²a	0,00	0,00		0,00		
Lighting	kWh/m²a	0,36	0,23		0,23		
Various equipment	kWh/m²a	0,12	0,06		0,06		
Energy need kWh/m²a 40,9 32,9							
Emission efficiency	100,0 %	90,0	90,0		90,0		
Distribution efficiency	90,0 %	90,0	90,0		90,0		
Automatic control	97,0 %	90,0	90,0		90,0		
Total	90,0 %	36,8	36,8		36,8		
See kWh/m²a 40,9 36,4							
Generator efficiency	100,0 %	90,0	90,0		90,0		-7,24
Energy use	kWh/m²a	47,9	37,8		37,8		10,8

Slika 16. Energetska potreba za grijanjem stambene obiteljske zgrade Vrbanjuša



Slika 17. Ukupna energetska potreba stambene obiteljske zgrade Vrbanjuša

kolektora (tip: Stiebel Eltron SOL 27 basic, snage 500 W/m², ukupna korisna površina je 4 x 2,38 = 9,52 m² i spremnik tip: SBB 501 WP SOL, volumen 500 l) na krovu građevine. Na taj je način dobivena stambena zgrada koja će imati ukupno energetske potrošnje za sve svoje potrebe u vrijednosti od 21 kWh/m²/god., umjesto 75,7 kWh/m²/god. Tako je postignuta ukupna godišnja ušteda u iznosu od 75 % ili 1,850,25 eura. Cilj da se napravi građevina koja će imati 15 kWh/m²/god ukupnu potrebu za energijom u ovom je slučaju nemoguće ostvariti zbog "loše" koncipirane i izgrađene ovojnice građevine. Značajno je napomenuti da bi osim za potrebe grijanja, kroz iste cijevi u ljetnom periodu cirkulirala voda temperature 12 i 15 °C dobivena direktno iz tla te putem podnih konektora tip: TKH - 2C/60, 3 komada ili zidnih ventilokonvektora (eng. Fan Coil) tip: CLIMMY ES-CY-4.4-2T, koji bi hladili prostor uz minimalan utrošak električne energije koja je potrebna za pokretanje pumpi, što se naziva "pasivni sustav hlađenja", tj. direktno korištenje temperature tla koja prosječno iznosi od 10 do 12 °C na dubini od 10 m do 100 m.. U konačnici je dobivena građevina s izrazito visokom kvalitetom unutrašnjeg komfora iz aspekta temperature zraka koja neće oscilirati tijekom cjelokupnog korištenja, a uz minimalnu potrošnju električne energije koja je potrebna za pokretanje sustava, tj.

pumpi i ventilatora. Kako se u BiH veći dio električne energije proizvodi u hidroelektranama, to ovoj građevini daje još veću vrijednost, jer kao konačni rezultat možemo reći da se radi o građevini s minimalnom emisijom CO₂, te ju kao takvu svrstati u energetske učinkovite kuće i to kuću nulte energije (eng. zero emission house). Prikazani rezultati na slikama 16 i 17 predstavljaju dijelove proračuna koji su izrađeni primjenom računalnog programa ENSI 8.1.

3.3. Stambena obiteljska zgrada "Senokos" u Gostivaru

Treći primjer je stambena zgrada koja je u fazi izgradnje, a nalazi se u Senokosu, manje naseljenom mjestu kod grada Gostivara, slika 18. Područje ima slične klimatske uvjete kao i grad Sarajevo, gdje dominiraju vrlo hladne zime i topla ljeta, s nešto nižim vrijednostima minimalnih prosječnih temperatura u zimskom periodu. Lokacija građevine je na nadmorskoj visini od 562 m, a geografski položaj je: sjeverna geografska širina 41°52'46,67" i istočna geografska dužina 20°53'34,35", što predstavlja prostor južnije i istočnije u odnosu na prethodna dva primjera. Koncept građevine je zasnovan na elementima tradicionalne arhitekture koja



Slika 18. Lokacija stambene obiteljske zgrade "Senokos" kod Gostivara s prikazom tlocrta dvorišta i prizemlja



Slika 19. Vizualizacija preoblikovanja stambene obiteljske zgrade "Senokos"

se javlja već punih pet stoljeća na području gdje dominira albansko stanovništvo pa je samim tim kompleksnost ovog zadatka bila inspiracija za energetska analizu danog primjera. To je arhitektura individualnih kuća s viševodnim krovovima, jako istaknutih doksata, katnosti P+1, okružena zelenilom s visokim zidovima. Spomenuti elementi tradicije su se na ovom projektu pokušali preslikati kroz moderno oblikovanje građevine i prilagoditi današnjim potrebama čovjeka. Katnost građevine je Po+Pri+K1+Pt, a konceptualno je zamišljeno da etaža prizemlja bude fragmentirana u kojoj će se prožimati vanjski s unutrašnjim prostorom kroz prozirne staklene plohe, slika 19.

Izlomljeni volumeni u kojima se prožima unutrašnjost s vanjskim prostorom gdje dominiraju prepusti prve etaže preko prizemlja dosta su povećali površinu vanjske ovojnice zgrade, što je imalo negativan utjecaj na cjelokupni proračun potreba za energijom stambene zgrade. Faktor oblika 0,79 svjedoči o velikom odnosu površine vanjske ovojnice i volumena unutrašnjeg prostora, tj. granice između grijanog i negrijanog zraka te upućuje na važnost odabira materijala i sastava cjelokupne vanjske ovojnice (tablica 6.).

Tablica 6. Podaci o stambenoj obiteljskoj zgradi „Senokos“

Površina grijanog dijela (A)	505 m ²
Volumen grijanog dijela (V)	1361 m ³
Površina vanjske ovojnice zgrade (Ae)	1079 m ²
Površina otvora na vanjskoj ovojnici zgrade (Aw)	133,93 m ²
Faktor prozora (Aw/A)x100	26
Faktor oblika zgrade	0.79

U dogovoru s investitorom je odlučeno da će se velika pažnja posvetiti ovojnici zgrade, čime se došlo do zaključka da zidovi, podovi i krovovi ne smiju imati U_w vrijednost veću od 0,15 W/m²K i vanjski otvori ne veću od 0,9 W/m²K (tablica 7). To je u konačnici dovelo do građevine izrazito složenog oblika s aspekta energetske učinkovitosti, ali i volumen kojem je potrebna izrazito mala količina energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode, točnije konačna energija zgrade iznosi 50,5 kWh/m²/god. Ovo predstavlja jako dobar konačni rezultat i potvrdu da svaki arhitektonski koncept može postati

Tablica 7. Karakteristike kompletne ovojnice

Naziv	U faktor [W/m ² K]	Ploština [m ²]
1 Vanjski zid tip br.1, termo blok, kamena vuna	0,17	301,37
2 Vanjski zid tip br.2, armirani beton, kamena vuna	0,15	61,39
3 Vanjski otvori, tip: Schuco, Corona SI 82, trostruko stakljenje, Low-e, g=0,45	0,9	105,13
4 Vanjski otvori, tip: Schuco, Al obješena fasada, FW 50 trostruko stakljenje, Low-e, g=0,45	1,3	24,28
5 Vanjski otvori, tip: Ulazna vrata, puno drvo i trostruko stakljenje, Low-e, g=0,45	1,8	4,32
6 Ravni krov	0,18	115,84
7 Kosi krov	0,13	188,74
8 Pod iznad negrijanog dijela	0,15	32,66
9 Pod na tlu	0,31	245,12
		Ukupna ploština ovojnice: 1079 m ²

Parameter	Standard	Actual	Baseline	Sensitivity	kWh/m ²	Measures	Savings
E. Heating							
SAB kWh/m ²							
U-wall	0.35	0.17	0.17	+ 0.18/m ² K	+ 4.35	0.17	-
U-window	2.01	1.04	1.04	+ 0.97/m ² K	+ 1.72	1.04	-
U-roof	0.30	0.18	0.18	+ 0.12/m ² K	+ 4.52	0.18	-
U-floor	0.28	0.31	0.31	+ 0.03/m ² K	+ 3.27	0.31	-
Compassness ratio	0.79	0.79	0.79			0.79	-
Window factor	25.7	25.7	25.7			25.7	-
Total solar gain	5.94	5.40	5.40			5.40	-
Utilisation	0.30	0.30	0.30	+ 0.1	5%	+ 0.25	-
Indoor temperature	19.5 °C	19.5	19.5	+ 1 °C		19.5	-
Setback temperature	16.8 °C	16.8	16.8	+ 1 °C		16.8	-
Contribution from							
Ventilation (heating)	kWh/m ²	0.50	0.50			0.50	-
Lighting	kWh/m ²	1.71	1.71			1.71	-
Various equipment	kWh/m ²	3.26	3.26			3.26	-
Energy need							
	kWh/m ²	26.7	26.7			26.7	-
Emission efficiency	100.0 %	97.3	97.3			97.3	-
Distribution efficiency	95.0 %	95.0	95.0			95.0	-
Automatic control	97.0 %	97.3	97.3			97.3	-
TSAREU	96.0 %	96.3	96.3			96.3	-
Gain	kWh/m ²	34.1	34.1			34.1	-
Generator efficiency	100.0 %	96.3	96.3			131.0	-4.9
Energy use							
	kWh/m ²	24.8	24.8			99.9	-

Slika 20. Energetska potreba za grijanjem stambene zgrade "Senokos"

Budget Item	Standard kWh/m ²	Actual kWh/m ²	Baseline kWh/m ²	After Measures kWh/m ²
1. Heating	51.9	24.6	12 429	24.6
2. Ventilation (heating)	32.7	0.0	0	0.0
3. DHW	55.0	13.2	6 689	13.2
4. Fans and pumps	6.7	0.0	0	0.0
5. Lighting	14.2	7.6	3 842	7.6
6. Various	14.1	5.0	2 535	5.0
7. Cooling	0.0	0.0	0	0.0
Total	174.7	50.5	25 494	50.5
8. Outdoor		0	0	0

Slika 21. Ukupna energetska potreba stambene zgrade "Senokos"

energetski učinkovit uz kvalitetno osmišljen sustav vanjske ovojnice, membrane arhitektonski definiranog prostora (slike 20. i 21.).

Razmatrana stambena zgrada neće imati kontrolirani sustav hlađenja, što će možda tijekom njezine upotrebe u ljetnom periodu predstavljati nedostatak. No, očekuje se da će granica između grijanog i negrijanog prostora u velikoj mjeri spriječiti ulazak toplog zraka u unutarnji prostor, pa će utjecaj vanjske topline na kvalitetu unutarnjeg zraka biti zanemaren. Za grijanje će biti ugrađen centralni sustav koji ima primarni kotao na biomasu/pelet (visokoprešano usitnjeno drvo) snage 28 kW, pomognut solarnim kolektorima na krovu (tip: auro STEP VSL S 250 E, Vaillant). Toplinska energija dobivena izgaranjem peleta i energija sunca dovoditi će se u jednu točku, u kotlovnici, odakle će biti emitirana u unutrašnji razvodni sustav, kao i za potrebe tople vode u kućanstvu. Kotlovi na pelet imaju jako dobru iskoristivost energije s malim otpadom, ali iskustva pokazuju da treba više paziti na odabir peleta s aspekta njegove kvalitete, jer to direktno utječe na njegovu energetsku vrijednost. U konačnici će uz ovaj ugrađeni sustav ukupna potrošnja energije za grijanje i pripremu tople vode biti spuštena na 23,4 kWh/m²/god, a ukupne energetske potrebe su 31,8 kWh/m²/god (bez kotla na pelet i solarnog sustava konačna energetska potreba je 50,5 kWh/m²/god) što će biti jedan od prvih primjera niskoenergetskih zgrada u Makedoniji s malom emisijom

CO₂. Iako je kroz analizu promatrana i mogućnost ugradnje toplinske pumpe koja bi planiranu energetsku potrebu znatno smanjila, nije se mogao pronaći model za financiranje takvog postrojenja, kao na prethodno navedena dva primjera. U ovom projektu je suradnja između projektanta i investitora bila izrazito kvalitetna i funkcionalna, što je dovelo do prezentiranog rezultata, naročito vidljivog u kvaliteti izrade cjelokupne ovojnice zgrade.

4. Zaključak

Graditi energetski učinkovite stambene zgrade danas je standard u zemljama razvijenog ekonomskog statusa, dok u zemljama koje su u fazi razvoja, kao što su npr. Bosna i Hercegovina, Makedonija ali i ostale zemlje u regiji predstavlja proces koji je u najvećoj mjeri oslonjen na suradnju sudionika u projektu, kao što su investitori, projektanti, proizvođači opreme i slično.

Prikazani rezultati u projektiranju i izgradnji učinkovitih stambenih zgrada, dokaz su o pozitivnim primjerima graditeljske prakse koji mogu poslužiti kao model kako i na koji način uvoditi investitore u cjelokupan proces. Ostvareni ciljevi koji su prikazani u ovom radu predstavljaju sintezu uzajamnog djelovanja investitora i projekatnata s jedinstvenim ciljem, a to je stvaranje dugovječne i energetski učinkovite građevine.

LITERATURA

- [1] Duran, S.C.: Architecture & Energy Efficiency, Loft Publications, Barcelona, Spain, 2011.
- [2] Hadrovic, A.: Arhitektonska fizika - dopunjeno izdanje, Arhitektonski fakultet u Sarajevu, Sarajevo, BiH, 2010.
- [3] Hadrovic, A.: Bioklimatska arhitektura, Arhitektonski fakultet u Sarajevu, Sarajevo, BiH, 2008.
- [4] Sternthal, B., Eisenberger, H.: Die Schonsten Passivhauser, Christian Brandstatter Verlag, Vienna, Austria, 2011.
- [5] Schoch, T.: EnEV 2009 und DIN V 18599 Wohnbau, Bauwerk, Berlin, Germany, 2010.