

ENERGIJSKA SANACIJA OBSTOJEČIH VEČSTANOVANJSKIH STAVB

ENERGY REFURBISHMENT OF EXISTING MULTI-FAMILY BUILDINGS

dr. Tina Špegelj, univ. dipl. inž. grad.

tina.spegelj@rihter.si

Rihter, d. o. o., Loke 40, 3333 Ljubno ob Savinji

red. prof. dr. Miroslav Premrov, univ. dipl. inž. grad.

miroslav.premrov@um.si

izr. prof. dr. Vesna Žegarac Leskovar, univ. dipl. inž. arh.

vesna.zegarac@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo,
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK: 699.86:728.2(497.4)

Povzetek | Prispevek prikazuje numerično parametrično analizo vpliva različnih pristopov k energijski prenovi obstoječih energijsko potratnih večstanovanjskih stavb. Na dveh obstoječih večstanovanjskih stavbah je opravljena numerična parametrična analiza vpliva različnih faz prenove na spremembo letne potrebne energije obravnavanih večstanovanjskih stavb, ki je definirana kot vsota letne potrebne energije za ogrevanje in letne potrebne energije za hlajenje. Analiza je narejena z uporabo programskega paketa PHPP, ki temelji na standardu EN 13790:2008. Bistvo prispevka je v prikazu vpliva posameznih oziroma delnih energijskih prenov večstanovanjskih stavb, ki se stopnjujejo in kombinirajo do stopnje, s katero zadostijo zahtevam trenutno veljavne slovenske zakonodaje pri energijski učinkovitosti stavb na letno potrebno energijo obravnavanih večstanovanjskih stavb. V članku predstavljeni rezultati pomenijo za slovensko območje in zakonodajo aktualno razširitev prvega dela analiz energetske sanacije, kjer pa je poudarek predvsem na parametričnem razvoju in aplikaciji leseno-steklenih modulov nadgradnje, ki pa v tem prispevku niso obravnavani. Zato v članku predstavljeni rezultati pomenijo tudi osnovo za nadaljnje raziskovalno delo, ki kot eno izmed možnosti za energijsko prenovu predstavlja tudi dodajanje novih modularnih enot na obstoječe večstanovanjske stavbe.

Ključne besede: energijska učinkovitost, energijsko učinkovita prenova, stavbni fond

Summary | The current paper presents a numerical parametrical analysis of the impact of different approaches on energy refurbishment of existing energy inefficient multi-family buildings. The analysis of the influence of different renovation phases on annual energy consumption, defined as the sum of annual need for heating and cooling, is carried out on two existing multi-family buildings. The analysis is performed using software package PHPP, which is based on standard EN 13790:2008. The goal of the paper is to present the efficiency of single or partial and complex energy refurbishment of existing multi-family buildings escalating to the point at which the requirements of the current Slovenian legislation on energy efficiency in buildings are satisfied. Results presented in the paper represent for the Slovenian area an interesting extension of the first part of the analysis of energy renovations, but focus primarily on the development and application of timber-glass upgrade modules, which are in this paper not considered at all. Therefore, the results of the study present a basis for further research, which will consider the refurbishment of existing multi-family buildings by adding new modular units onto existing buildings.

Key words: energy efficiency, energy efficient renovation, building stock.

1 • UVOD

Svarila v zvezi z okoljskimi spremembami so trenutno med najaktualnejšimi temami mednarodne politike ter strokovne in splošne javnosti. Izmed vseh načinov onesnaževanja se najpogosteje izpostavljajo izpusti toplogrednih plinov, predvsem plina CO₂. Fosilna goriva, ki povzročajo veliko emisij CO₂, so pogosto glavni vir energije za ogrevanje stavb. Statistični podatki iz leta 2004 dokazujejo, da je bilo več kot 50 % stanovanjskega fonda v EU-25 zgrajenega pred letom 1970, 33 % pa v obdobju med letoma 1970 in 1990 ((Eurostat, 2010), (Norris, 2004), (Poel, 2007)). Do leta 1970 je bila evropska zakonodaja pri energijski učinkovitosti stavb zelo ohlapna. Iz tega sklepamo, da pretežni delež obstoječega stavbnega fonda sestavljajo predvsem energijsko potratne stavbe. Podobno stanje je tudi v Sloveniji (slika 1), kjer je bilo do leta 1970 zgrajenih 62 % vseh večstanovanjskih stavb, med letoma 1970 in 1990 pa 20 % večstanovanjskih stavb (GURS, 2012). Za ogrevanje prostorov te stavbe porabijo veliko energije in s tem posledično vplivajo na povečanje deleža emisij toplogrednih plinov. To je razvidno iz podatkov Statističnega urada Republike Slovenije (SURS, 2016), ki kažejo, da so slovenska gospodinjstva v letu 2013 za ogrevanje porabila kar 61 % energije, za pripravo sanitarne vode 20 %, preostalih 19 % pa za razsvetljavo, kuhanje in za delovanje drugih porabnikov električne energije. Novejše stavbe, grajene po letu 2008, so energijsko manj potratne, k čemur je veliko pripomogla zakonodaja, ki narekuje gradnjo energijsko varčnejših stavb. Svoj delež so prispevale tudi ozaveščenost investitorjev o okoljski problematiki in rastoče cene energentov. Ker pa je delež stavb, grajenih po zahtevnejših kriterijih energijske učinkovitosti, izredno nizek, se v energijskih prenovah stavb v Sloveniji in v širšem prostoru EU kaže velik potencial za zmanjšanje energijske porabe in posledičnih negativnih okoljskih vplivov.

Na temo energijske preнове obstoječega stavbnega fonda je bilo objavljenih večje število znanstvenih in strokovnih člankov, a le redki obravnavajo celostne in sistematične rešitve preнове obstoječega stavbnega fonda. Lechtenböhrer in Schüring (Lechtenböhrer,

2011) sta za oceno prihrankov energije na račun energijske preнове obstoječih stavb primarno opravila analizo obstoječega stavbnega fonda (EU-27), ob analizi ukrepov pa sta ugotovila, da bi z izboljšanjem karakteristik ovoja obstoječih in novih stavb do leta 2030 lahko prihranili 90 Mtoe na letni ravni. Raziskava avtorjev Bećiroviča in Vasića (Bećirovič, 2013) obravnava energijsko prenovo 62 javnih stavb v Srbiji, med njimi šole (28 stavb), zdravstvene organizacije (29 stavb) in socialne organizacije (5 stavb). Rezultati so pokazali, da se pri stroškovno optimiranem načinu energijske sanacije prihrani skoraj polovica letne potrebne energije za ogrevanje. Študija prihrankov energije z energijsko prenovo 36 večstanovanjskih stavb, ki so bile zgrajene med letoma 1966 in 1972 v Moskvi, je pokazala, da lahko le s celostno prenovo večstanovanjske stavbe z vgrajenim sistemom prezračevanja z rekuperacijo odpadnega zraka dosežemo prihranke energije za ogrevanje in pripravo sanitarne vode za več kot 65 % (Paiho, 2013). Analiza vpliva preнове večstanovanjske stavbe, zgrajene leta 1933 v Beogradu, je pokazala, da se pri prenovi posameznih elementov toplotnega ovoja stavbe prihrani med 17 % in 52 % energije za ogrevanje na letni ravni, medtem ko se pri celoviti energijski prenovi toplotnega ovoja prihrani med 65 % in 69 % energije za ogrevanje na letni ravni (Đukanović, 2016). Csoknyai in sodelavci (Csoknyai, 2016) so naredili analizo možnosti prihrankov energije z energijsko sanacijo obstoječega stavbnega fonda, zgrajenega v različnih časovnih obdobjih v štirih državah vzhodne Evrope. Rezultati so pokazali, da bi se z energijsko sanacijo obstoječega stavbnega fonda, zgrajenega med letoma 1945 in 1989, primarna energija teh stavb na letni ravni zmanjšala za 81,9 % v Srbiji, 74,6 % na Češkem, 71,6 % na Madžarskem in 66,5 % v Bolgariji. V študiji Ortiza in sodelavcev (Ortiz, 2016) je analiziran vpliv celovite energijske preнове in stroškovno optimalne energijske preнове novejše večstanovanjske stavbe v Barceloni, zgrajene med letoma 1991 in 2007. Rezultati so pokazali, da se pri energijski prenovi novejših stavb prihrani le manjši delež energije za ogrevanje na

letni ravni, in sicer pri stroškovno optimizirani prenovi se letna poraba energije za ogrevanje zmanjša le za do 4 %, pri celoviti energijski prenovi pa le za do 14 %. Podobno ugotovitev v svoji študiji utemeljujejo tudi Eicker, Demir in Gürlich (Eicker, 2015), kjer za tri stanovanjske stavbe, zgrajene v različnih časovnih obdobjih v treh različnih evropskih državah, analizirajo energijsko prenovo stavb z vidika letne porabe energije in z vidika stroškovne upravičenosti preнове. Pri analizi večstanovanjske stavbe, zgrajene leta 1990 v portugalskem mestu Almada, so ugotovili, da je prihranek energije po prenovi prenizek, da bi lahko upravičili visoke stroške preнове. Energijski prenovi večstanovanjske stavbe, zgrajene leta 1930 v Bologni, in enodružinske hiše, zgrajene leta 1920 v Nottinghamu, sta pokazali, da je prenova starejših obstoječih večstanovanjskih stavb tako z vidika prihrankov energije kot ekonomske upravičenosti smiselna. V primeru preнове večstanovanjske stavbe v Bologni z elementi nizkoenergijske gradnje znaša prihranek energije za ogrevanje 52 %, v primeru enodružinske hiše v Nottinghamu pa do 76 %. Iz navedenega pregleda literature je razvidno, da so lahko energijski prihranki v primerih celostne energijske preнове zelo veliki, vendar pa večina raziskav ne podaja smernic za razvoj optimalnega pristopa preнове posamezne stavbe, temveč obravnava ocenitev splošnih prenovitvenih ukrepov v okviru večjih skupin stavb. Z namenom določitve sistematičnega pristopa k energijskim prenovam stavb je v tem članku predstavljena raziskava, ki obravnava vpliv posameznih korakov energijske preнове, kombinacij posameznih korakov ter celovite energijske preнове dveh stavb na letno potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje. V študiji so privzeti podatki stavb v času izgradnje, z namenom jasnega podajanja rezultatov za učinkovitost posameznih ukrepov pa posamezni na stavbah že izvedeni ukrepi preнове niso bili upoštevani. Na podlagi rezultatov študije bo torej mogoče podati smernice za učinkovitost določenih ukrepov oziroma kombinacij le-teh glede na tip oziroma značilnosti posameznih obravnavanih stavb. Predstavljeni pristop bo tako mogoče uporabljati za pomoč oziroma pavšalno oceno učinkovitosti pri odločanju o načinu posameznih prenov stavb s podobnimi lastnostmi.

2 • EVROPSKI STAVBNI FOND

Glavni porabniki energije in onesnaževalci okolja v svetu so transport, industrija in stavbe. V državah Evropske unije (EU) obstoječi stavbni fond za svoje delovanje porabi 40 % končne energije. Stanovanjske stavbe, ki v povprečju predstavljajo 75 % (EU-27, Švica in Norveška) površine celotnega stavbnega fonda, porabijo 68 % vse energije, namenjene delovanju stavbnega fonda (Economidou, 2011). Največji delež energije v stanovanjskih stavbah se porabi za ogrevanje prostorov, v povprečju 63 %. Razlog za tako visoko porabo energije v stanovanjskih stavbah je v njihovi starosti. Do leta 1970 je bila zakonodaja na področju energijske učinkovitosti stavb zelo ohlapna. Zaradi nizkih cen energentov se s porabo energije nihče ni ukvarjal. Po prvi naftni krizi so se stvari začele počasi spreminjati. S spreminjanjem zakonodaje so države začele predpisovati obvezno uporabo toplotnoizolacijskih materialov na toplotnem ovoju novih stavb. Poraba energije za delovanje stavb pa ni v vseh državah članicah EU enaka. Največjo količino energije za delovanje stavb porabijo

Nemčija, Francija, Velika Britanija in Italija (EU, 2010).

2.1 SLOVENSKI STAVBNI FOND

Spreminjajoča se zakonodaja v preteklosti ima danes močan vpliv na stanje stavbnega fonda v Sloveniji. Od prvega predpisa o toplotni zaščiti stavb leta 1875 do danes se je na območju današnje Slovenije zgodilo več sprememb zakonodaje na temo energijske učinkovitosti v stavbah. Pri zgodovinskem pregledu zakonodaje je opazen trend zaostrovanja zahtev po toplotni prehodnosti toplotnega ovoja novogradenj (preglednica 1). Prvi predpis, ki se je le posredno nanašal na toplotno zaščito stavb na območju današnje Slovenije, je Stavbni red za vojvodino Kranjsko (Pfeifer, 1875), ki je bil izdan leta 1875. Predpisana je bila izdelava zunanjega zidu iz kamna v debelini 60 cm ali polne opeke debeline 45 cm. Toplotna prehodnost takega opečnega zidu znaša $U_{st,max} \leq 1,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$. Predpis je bil v veljavi skoraj 100 let. Vsa zakonodaja do Pravilnika o racionalni rabi energije pri gretju

in prezračevanju stavb ter pripravi tople vode (Pravilnik, 1984), ki je bil objavljen v Uradnem listu SFRJ leta 1984, je poudarjala le toplotno prehodnost ovoja stavbe. Po izidu pravilnika leta 1984 se tudi prvič začne omenjati poraba energije za ogrevanje v stavbah, vendar so bile zahteve v primerjavi z današnjimi minimalne. V pravilniku so bile predpisane največje dovoljene specifične izgube zaradi prehoda toplote v stavbah in specifična letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto površine stanovanjske stavbe. S tem se je zgodil premik pri energijski učinkovitosti, saj toplotna prehodnost elementov ovoja stavbe ni več edini zakonsko določen kriterij. Prvi pravilnik v samostojni Republiki Sloveniji je Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, ki je veljal med letoma 2002 in 2008. Leta 2008 pa ga je nadomestil Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, 2008), predhodnik leta 2010 izdanega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, 2010), ki z dopolnitvami velja še danes. Pravilnik določa minimalne zahteve za doseganje energijske učinkovitosti v dveh delih. Prvi del predpisuje blažje zahteve, ki jih je bilo treba upoštevati do 31. 12. 2014, drugi del pa predpisuje strožje zahteve, ki jih je treba upoštevati po 1. 1. 2015.

Leto gradnje stavbe	do 1965	do 1968	do 1970	do 1977	do 1980	do 1983	do 1987	do 1990	do 1995	do 2000
Enostanovanjske stavbe (kWh/m ² a)	> 200	150	140	140	120	120	120	120	90	80
Večstanovanjske stavba (kWh/m ² a)	> 180	170	130	130	100	100	100	100	90	70
U zunanje stene (W/m ² K)	1,29	1,29	1,29	1,28 1,45 1,68	1,28 1,45 1,68	1,22 0,93 0,93	1,22 0,93 0,93	1,20 0,90 0,80	1,20 0,90 0,80	1,20 0,90 0,80

* Med letoma 1971 in 2000 je bila Slovenija razdeljena na tri klimatske cone. Za vsako klimatsko cono je bila predpisana druga največja dovoljena toplotna prehodnost zunanje stene.

Preglednica 1 • Poraba energije v stavbi in toplotna prehodnost zunanje stene glede na leto izgradnje stavbe (IBE, 2004)

Posledica blage zakonodaje pri porabi energije v stavbah v preteklosti je danes vidna v veliki porabi energije obstoječega slovenskega stavbnega fonda (preglednica 1). Po podatkih Ministrstva za infrastrukturo in prostor RS (Republika Slovenija, 2014) so gospodinjstva v letu 2013 porabila 1/4 vse porabljene energije v Sloveniji, torej takoj za transportom, ki je porabil 40 % energije.

Največ energije v gospodinjstvih se je v letu 2013 po podatkih Statističnega urada RS (SURS, 2016) porabilo za ogrevanje (61 %), sledi priprava tople sanitarne vode (20 %), preostala energija (19 %) se je porabila za

razsvetljavo, kuhanje in za delovanje drugih porabnikov električne energije. V povprečju porabi evropska stanovanjska stavba za ogrevanje 57 % manj energije kot slovenska, za pripravo tople sanitarne vode pa 25 % več kot slovenska (Chwieduk, 2003). Omenjene vrednosti so povprečne in za posamezno stavbo lahko variirajo zaradi obnašanja uporabnika.

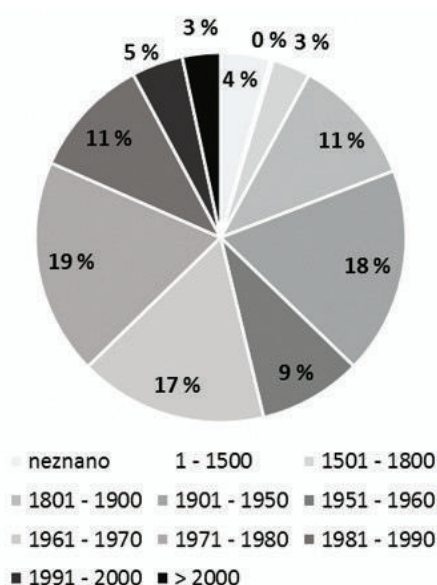
Glede na število stanovanjskih stavb s 87 % v Sloveniji prevladujejo enostanovanjske stavbe (Geodetska uprava, 2012). Delež večstanovanjskih stavb je 13 %. Stanovanjskih stavb za posebne družbene skupine

je manj kot 1 %. Neto floorisna površina večstanovanjskih stavb pa predstavlja približno 1/4 vse neto floorisne površine stanovanjskih stavb v Sloveniji.

Največje število večstanovanjskih stavb se je zgradilo med letoma 1940 in 1980, in sicer približno 45 % (slika 1). Do leta 1940 je bilo v Sloveniji zgrajenih približno 36 % vseh večstanovanjskih stavb. V času novejšee gradnje (od 1980 do 2000) je bilo v Sloveniji zgrajenih okoli 16 % vseh stavb. Najmanj večstanovanjskih stavb (3 %) je bilo zgrajenih po letu 2000.

Iz zgoraj navedenega je razvidno, da je

Leto izgradnje	%
neznano	4
1 - 1500	0
1501 - 1800	3
1801 - 1900	11
1901 - 1950	18
1951 - 1960	9
1961 - 1970	17
1971 - 1980	19
1981 - 1990	11
1991 - 2000	5
> 2000	3



obstoječi stavbni fond v Sloveniji velik porabnik energije in onesnaževalec okolja in da ga je v prihodnosti treba nujno energijsko sanirati. Nekaj obstoječega stavbnega fonda se je od izdelave statistike (leta 2012) do danes že energijsko saniralo. Vendar pa so energijsko sanirane večstanovanjske stavbe prej izjema kot pravilo na slovenskih tleh. Trenutna slovenska zakonodaja ne obravnava energijske sanacije obstoječega stavbnega fonda. Se pa v prihodnosti pričakuje, da se bo tako slovenska kot tuja zakonodaja pri energijski učinkovitosti obstoječih stavb začela razvijati.

Slika 1 • Delež večstanovanjskih stavb glede na leto izgradnje v Sloveniji (Geodetska uprava, 2012).

3 • OBNOVE VEČSTANOVANJSKIH STAVB

Obnova energijsko potratnih stavb se je že opravljala v Sloveniji in drugih državah. Dokaz za to so že narejene delne in celovite obnove energijsko potratnih stavb, ki so predstavljene v preglednici 2. Predstavljenih je nekaj primerov obnov večstanovanjskih stavb, ki so bile zgrajene med letoma 1953 in 1982.

Iz preglednice 2 so razvidni prihranki energije pri obnavah posameznih večstanovanjskih stavb v različnih državah. Nižji prihranki so posledica delne energijske prenove stavb, medtem ko je večje prihranke energije mogoče doseči le s celovitimi energijskimi prenovami stavb. Iz primerov energijskih prenov v Sloveniji je razvidno, da gre za nižje prihranke energije, kar je značilno za delne energijske prenove stavb. Eden izmed razlogov za trend delnih energijskih prenov stavb je v ustanovitvi Slovenskega okoljskega javnega sklada (Eko sklad, j. s.), katerega namen je spodbujanje razvoja pri varstvu okolja z dodajanjem ugodnih kreditov in nepovratnih sredstev za okoljske naložbe in z drugimi oblikami pomoči. Sklad spodbuja naložbe, ki so skladne z nacionalnim programom varstva okolja in z okoljsko politiko Evropske unije. Po podatkih Eko sklada RS (Ekosklad, 2013) so v letu 2012 največ vlog prejeli za nepovratne subvencije za delne prenove fasadnega ovoja stanovanjskih stavb, kot je namestitev toplotne izolacije na fasado (11,9 %), in za menjavo

Država	Kraj	Leto izgradnje	Poraba pred prenovo (kWh/m ²)	Poraba po prenovi (kWh/m ²)	Prihranek (%)
Nizozemska	Haarlem	1960	207	61	71
	Raamsdonk	1963-69	240	120	50
	Hoogeveen	1969	248	113	54
	Roermond	1970	205	103	50
	Leidschendam	1965	179	104	42
Nemčija	Ludwigshafen	1960-62	250	15	94
Švedska	Gaardsten	1970	275	165	40
Danska	Gyldenrisparken	1965-69	147	69	53
	Lineagarden	1920	149	84	44
	Sundevedsgade	1880	150	86	43
Francija	Chatelet 3 - Actis	1966	191	92,5	52
Švica	Ženeva	1953	214	42	80
Bolgarija	Radomir 1	1980	198	107	46
	Radomir 2	1980	192	102	47
	Radomir 3	1980	166	90	46
Avstrija	Ried	1979	75	30	60
	Wartberg	1979	122	47	61
Slovenija	Jesenice	1961	283	161	43
	Ljubljana 1	1975	252	92	63
	Ljubljana 2	1965	252	92	63
	Sladki Vrh	1982	114	89	22
	Kranj	1963	227	116	49
	Slovenske Konjice	1975-77	136	80	41

Preglednica 2 • Primeri dobre prakse pri obnovi večstanovanjskih stavb (El_Education, 2007)

stavbnega pohištva (13,7 %). Namestitvev toplotne izolacije v streho (3,4 %) in vgradnja umetnega prezračevanja z izkoriščanjem toplote odpadnega zraka (3,1 %) predstavljata manjši delež naložb. V manjšem številu se uporabniki odločajo še za posodobitev sistemov za ogrevanje. S takšnimi delnimi en-

ergijskimi prenovami stavb prihranimo le nekaj energije. Za doseganje večjih prihrankov je potrebna celovita energijska prenova stavbe, kar je razvidno iz primera celovite energijske obnove večstanovanjske stavbe iz nemškega mesta Ludwigshafen, kjer so bili izvedeni zamenjava stavbnega pohištva, namestitvev

toplotne izolacije na fasado, tla in streho, zamenjava sistema ogrevanja, namestitvev prisilnega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka in namestitvev PV-sistema na strešno konstrukcijo. Skupni prihranek energije na letni ravni z uvedbo vseh ukrepov je 94 %.

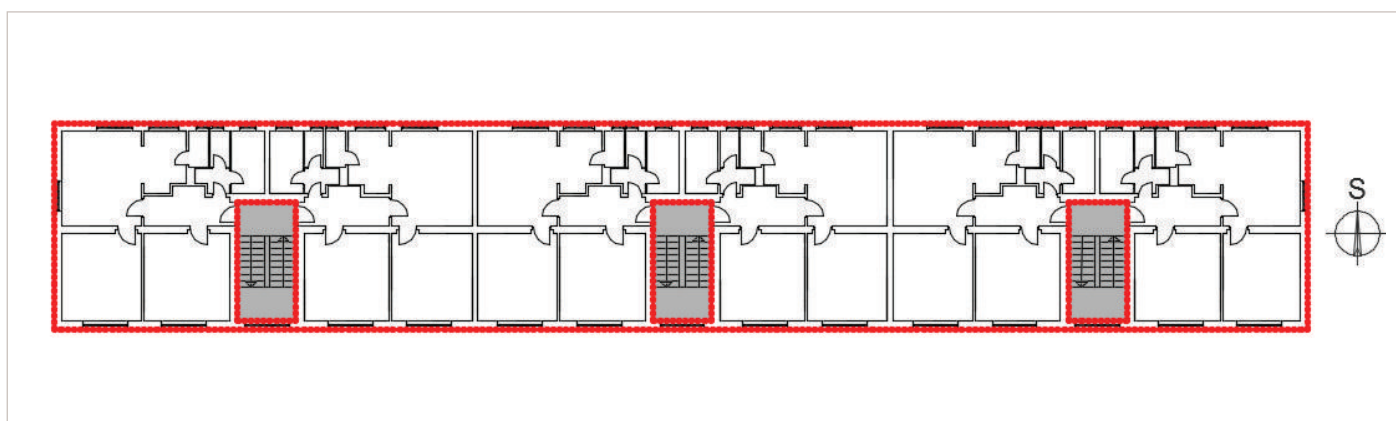
4 • OSNOVNI MODEL IN FAZE PRENOVE

Za osnovni primer, na katerem bomo naredili analizo vpliva delne in celovite energijske prenove na letno porabo energije, sta bili izbrani dve različni večstanovanjski stavbi, ki predstavljata tipična primera povojne večstanovanjske gradnje v Sloveniji. Izbrani sta bili stavbi s podobno neto floorisno površino in popolnoma različnima obliko in faktorjem oblike, obe zgrajeni v klasičnem masivnem konstrukcijskem sistemu. Na obeh izbranih stavbah so se do danes opravljali le nujna vzdrževalna dela in posamezne zamenjave stavbnega pohištva, česar pa zaradi že navedenih razlogov v študiji nismo upoštevali. Večstanovanjska stavba A z neto floorisno površino 1252,57 m² je bila zgrajena leta 1951. Kot je razvidno s slike 2, ima večstanovanjska stavba tri nadstropja in tri ločene vhode, pri katerih se dostopa do osemnajstih stanovanj.

Tloris tipične etaže večstanovanjske stavbe A z označenim toplotnim ovojem prikazuje slika 3.



Slika 2 • Večstanovanjska stavba A.



Slika 3 • Tloris tipične etaže večstanovanjske stavbe A.

Toplotni ovoj večstanovanjske stavbe A predstavljajo zunanje stene, strop mansarde in strop nad neogrevano kletjo. Vsa tri stopnišča, ki so znotraj toplotnega ovoja, so neogrevana, ogrevajo se le stanovanja.

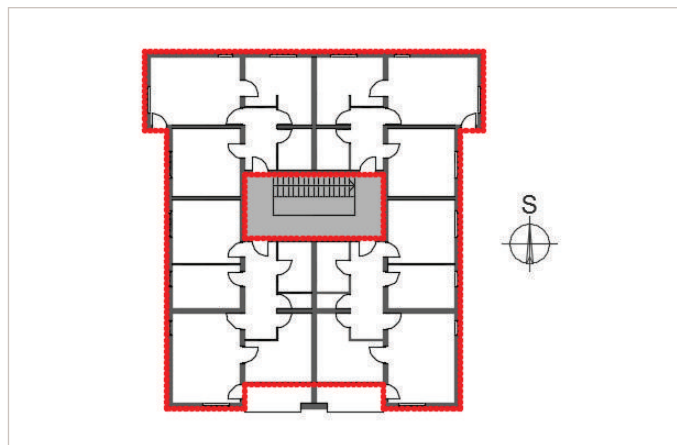
S slike 3 je razvidno, da ima večstanovanjska stavba B, zgrajena leta 1965, en vhod, pri katerem se dostopa v pritličje in v 4 nadstropja, katerih skupna neto floorisna površina znaša 1138,06 m².

Toplotni ovoj tipične etaže večstanovanjske stavbe B je prikazan na sliki 5.

Potek toplotnega ovoja pri večstanovanjski stavbi B je podoben kot pri večstanovanjski stavbi A, tvorijo ga zunanje stene, strop



Slika 4 • Večstanovanjska stavba B.



Slika 5 • Tloris tipične etaže večstanovanjske stavbe B.

mansarde in strop nad neogrevano kletjo oziroma neogrevanimi garažami. Stopnišče, ki je znotraj toplotnega ovoja, je prav tako neogrevano. Ogrevajo se le stanovanja.

4.1 Lokacija stavb

Obraunavani večstanovanjski stavbi sta v mestni občini Velenje, katere razvoj je tesno povezan z razvojem Rudnika lignita Velenje. Velike zaloge lignita so omogočile širjenje rudnika in ustvarjanje novih delovnih mest. Za delavce, ki so se priseljevali iz nekdanje celotne Jugoslavije in drugih držav, ter njihove družine je bilo treba v kratkem času zagotoviti dovolj primernih stanovanj. Začela se je intenzivna gradnja večstanovanjskih stavb. Velenje je le eden izmed primerov slovenskih mest, ki so zaradi povečanih potreb po delovni sili v šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja doživela izrazito širitev.

S slike 6 je razvidno, da so se v času ohlapne zakonodaje na področju toplotne zaščite v stavbah, tj. do leta 2000, zgradile skoraj vse (99 %) večstanovanjske stavbe v Velenju. Iz tega sklepamo, da so transmisijske izgube skozi toplotni ovoj obstoječih večstanovanjskih stavb v Velenju ogromne.

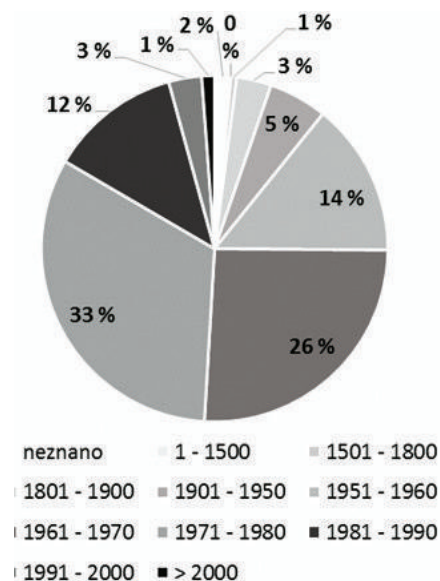
4.2 Predpostavke in morebitne omejitve

Uporabljeni so meteorološki podatki za mesto Velenje, ki so generirani s programom Meteororm 6.

Za izkaz energijske učinkovitosti izbrane večstanovanjske stavbe in analizo vpliva posameznih faz prenove je uporabljeno programsko orodje Passive House Planning Package (Feist, 2012). Programsko orodje temelji na standardu SIST EN 13790 (SIST, 2008) in je namenjeno za energijsko modeliranje stavb ter omogoča izračun toplotnih prehodnosti

Leto izgradnje	%
neznano	0
1 - 1500	2
1501 - 1800	1
1801 - 1900	3
1901 - 1950	5
1951 - 1960	14
1961 - 1970	26
1971 - 1980	33
1981 - 1990	12
1991 - 2000	3
> 2000	1

Slika 6 • Delež večstanovanjskih stavb po letih izgradnje v Velenju (Geodetska uprava, 2012).



konstrukcij, izračun energijske bilance stavbe, načrtovanje prezračevanja, potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje stavbe, moč naprave za ogrevanje, porabo energije za delovanje stavbe in poletno ugodje v stavbi.

Ogrevalni sistem in njegova učinkovitost se v raziskovalnem delu ne obravnavata in se med posameznimi fazami prenove ne spreminjata. Statična in dinamična analiza obravnavanih obstoječih večstanovanjskih stavb ni predmet tega raziskovalnega dela.

4.3 Osnovno stanje

Od postavitve izbranih večstanovanjskih stavb do danes so se na njihju opravljala le nujna vzdrževalna dela, med njimi je tudi nekaj primerov zamenjave stavbnega pohošiva v posameznih stanovanjih. Talni plošči, stene

kleti ter plošči med pritličjem in mansardo so v obeh večstanovanjskih stavbah zgrajene iz armiranega betona. Nosilna konstrukcija sten pritličja in nadstropij je pri obeh večstanovanjskih stavbah opečna. Strop mansarde večstanovanjske stavbe A je narejen iz lesenih stropnikov, medtem ko je ravna streha večstanovanjske stavbe B armiranobetonska. V času postavitve večstanovanjske stavbe A in večstanovanjske stavbe B so se vgrajevala okna z enojno zasteklitvijo in lesenim okvirjem ter škatlata lesena okna. Vhodna vrata v blok so bila lesena, brez polnil.

Za izhodišče raziskovalnega dela smo privzeli, da se stavbno pohošivo od časa vgradnje do danes ni zamenjalo in se je le delno vzdrževalo. To ustreza stanju večine stavbnega pohošiva obravnavanih večstanovanjskih stavb. Celoten

	Stavbno pohištvo (W/(m ² K), /)	Fasada (W/(m ² K))	Streha – strop (W/(m ² K))	Ploščica med prilittjem in kletjo (W/(m ² K))	Stopnišče (W/(m ² K))	Zrako-tesnost (h ⁻¹)	Prezračevanje (%)
VS A	$U_d = 4,6$ $U_w = 5,7$ $g = 0,85$	$U_{sf} = 1,18$	$U_s = 1,38$	$U_{sv} = 2,45$ $U_{sz} = 2,45$ $U_{stK} = 1,10$ $U_t = 3,40$	$U_{ss} = 1,31$ $U_{ds} = 2,19$	$n_{50} = 7,0$	$\eta = 0$
VS B	$U_d = 4,6$ $U_w = 5,7$ $g = 0,85$	$U_{sf} = 1,51$	$U_s = 2,07$	$U_{sv} = 3,20$ $U_{sz} = 3,20$ $U_{stK} = 1,95$ $U_t = 2,88$	$U_{ss} = 1,86$ $U_{ds} = 2,19$	$n_{50} = 7,0$	$\eta = 0$

U_d – vhodna vrata v stavbo, U_w – okna, g – faktor prepustnosti sončne energije, U_{sf} – zunanja stena stanovanj, U_s – streha, strop mansarde, U_{sv} – zunanje stene kleti, vkopane, U_{sz} – zunanje stene kleti, nevkopane, U_{stK} – strop kleti, U_t – talna ploščica, U_{ss} – stena med stopniščem in stanovanji, U_{ds} – vhodna vrata v stanovanje, η – delež vračanja toplote pri prisilnem prezračevanju, pri naravnem prezračevanju je $\eta = 0$.

Preglednica 3 • Osnovno stanje večstanovanjskih stavb A in B (FPO)

toplotni ovoj obeh večstanovanjskih stavb je brez toplotne izolacije. Toplotne prehodnosti posameznih elementov toplotnega ovoja večstanovanjske stavbe A in večstanovanjske stavbe B so prikazane v preglednici 3.

Iz preglednice 3 je razvidno, da je toplotni ovoj večstanovanjske stavbe B slabši od toplotnega ovoja večstanovanjske stavbe A.

Površine posameznih elementov toplotnega ovoja večstanovanjskih stavb A in B so predstavljene v preglednici 4.

Kot je razvidno iz preglednice 4, je površina toplotnega ovoja večstanovanjske stavbe A večja od površine toplotnega ovoja večstanovanjske stavbe B. Razlog za različne površine toplotnega ovoja večstanovanjskih stavb A in B je v različnih oblikah stavb.

Stanovanja v obeh večstanovanjskih stavbah se ogrevajo z uporabo radiatorjev preko daljinskega sistema ogrevanja.

4.4 Faze prenove

Za namen analiziranja vpliva posamezne faze prenove in njihovih kombinacij na letno potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje večstanovanjske stavbe A in večstanovanjske stavbe B, za katere se predvidi, da sta v fazi osnovnega stanja – OS, smo si izbrali 12 faz prenove (preglednica 5). Prvih pet faz prenove, od FP1 do FP5, predstavlja energijsko prenovo posameznih elementov toplotnega ovoja stavbe. Pri naslednjih fazah prenove, od FP6 do FP9, se faze prenove od FP1 do FP5 smiselno kombinirajo. Pri fazah prenove od FP9 in FP10 gre za celovito prenovo večstanovanjskih stavb po zahtevah trenutno

	VS A	VS B
Površina fasade (m ²)	1023,4	811,3
Površina vhodnih vrat v večstanovanjsko stavbo (m ²)	10,1	2,8
Površina oken in balkonskih vrat (m ²)	213,8	237,3
Površina ploščice nad neogrevano kletjo (m ²)	536,9	297,1
Površina stropa mansarde (m ²)	568,9	297,1
Površina sten med neogrevanim stopniščem in ogrevanimi prostori v stanovanju (m ²)	138,7	270,8
Površina vhodnih vrat v stanovanja, ki mejijo na neogrevano stopnišče (m ²)	43,2	36,0
Skupna površina toplotnega ovoja (m ²)	2535,0	1952,4

Preglednica 4 • Površine toplotnega ovoja pri večstanovanjskih stavb A in B

veljavne slovenske zakonodaje za novogradnje (PURES, 2010). Pri zadnjih dveh fazah prenove, FP11 in FP12, se prav tako predvidi celovita prenova stavb, vendar z izboljšanimi elementi. To so elementi nizkoenergijske in pasivne gradnje, ki se, čeprav presegajo zahteve trenutno veljavne slovenske zakonodaje na temo energijske učinkovitosti v stavbah, vse pogosteje pojavljajo v praksi pri izvedbi tako stanovanjskih kot nestanovanjskih stavb.

Faze prenove od FP1 do FP5 predstavljajo energijsko prenovo posameznih elementov toplotnega ovoja stavbe. Pri fazi prenove FP1 se obstoječa okna zamenjajo z novimi, energijsko učinkovitejšimi. V fazi prenove FP2 se na fasado doda toplotna izolacija. Pri FP3 se doda toplotna izolacija na strop mansarde. Pri FP4 se toplotno izolira strop

nad neogrevano kletjo. Pri FP5 se doda toplotna izolacija na stene proti neogrevanemu stopnišču in se zamenjajo vhodna vrata v stanovanja. Toplotne prehodnosti posameznih konstrukcijskih elementov pri fazah prenove od FP1 do FP5 in delnih prenovah so skladne z zahtevami trenutno veljavne zakonodaje v Sloveniji. Pri naslednjih treh fazah prenove, od FP6 do FP8, se faze od FP1 do FP5 smiselno dopolnjujejo. Zamenjava stavbnega pohištva se naredi istočasno kot prenova fasade, kar omogoča prekrivanje okvirjev oken s toplotno izolacijo in s tem zmanjšanje toplotnih mostov zaradi vgradnje stavbnega pohištva. Vgradnja stavbnega pohištva po prenovi fasade tudi ni smiselna, saj se poškodujeta izolacija in zaključni sloj fasade. V fazi prenove FP7 sledi nameščanje dodatne toplotne izolacije

FP	Stavbno pohištvo (W/(m ² K), /)	Fasada (W/(m ² K))	Streha - strop (W/(m ² K))	Plošča med prilijem in kletjo (W/(m ² K))	Stopnišče (W/(m ² K))	Zrakotesnost (h ⁻¹)	Prezračevanje (%)
1	$U_d = 1,6$ $U_w = 1,3$ $g = 0,63$					$n_{50} = 5,0$	$\eta = 0$
2		$U_{st} = 0,28$				$n_{50} = 6,5$	$\eta = 0$
3			$U_s = 0,20$			$n_{50} = 6,5$	$\eta = 0$
4				$U_{stK} = 0,35$		$n_{50} = 6,0$	$\eta = 0$
5					$U_{ss} = 0,70$ $U_{ds} = 1,60$	$n_{50} = 7,0$	$\eta = 0$
6	$U_d = 1,6$ $U_w = 1,3$ $g = 0,63$	$U_{st} = 0,28$				$n_{50} = 4,5$	$\eta = 0$
7	$U_d = 1,6$ $U_w = 1,3$ $g = 0,63$	$U_{st} = 0,28$	$U_s = 0,20$			$n_{50} = 4,0$	$\eta = 0$
8	$U_d = 1,6$ $U_w = 1,3$ $g = 0,63$	$U_{st} = 0,28$	$U_s = 0,20$	$U_{stK} = 0,35$		$n_{50} = 3,0$	$\eta = 0$
9	$U_d = 1,6$ $U_w = 1,3$ $g = 0,63$	$U_{st} = 0,28$	$U_s = 0,20$	$U_{stK} = 0,35$	$U_{ss} = 0,70$ $U_{ds} = 1,60$	$n_{50} = 3,0$	$\eta = 0$
10	$U_d = 1,6$ $U_w = 1,3$ $g = 0,63$	$U_{st} = 0,28$	$U_s = 0,20$	$U_{stK} = 0,35$	$U_{ss} = 0,70$ $U_{ds} = 1,60$	$n_{50} = 2,0$	$\eta = 82$
11	$U_d = 1,0$ $U_w = 0,7$ $g = 0,52$	$U_{st} = 0,165$	$U_s = 0,165$	$U_{stK} = 0,165$	$U_{ss} = 0,165$ $U_{ds} = 1,00$	$n_{50} = 0,6$	$\eta = 82$
12	$U_d = 0,9$ $U_w = 0,7$ $g = 0,52$	$U_{st} = 0,100$	$U_s = 0,100$	$U_{stK} = 0,100$	$U_{ss} = 0,100$ $U_{ds} = 1,00$	$n_{50} = 0,6$	$\eta = 82$

U_d – vhodna vrata v stavbo, U_w – okna, g – faktor prepustnosti sončne energije, U_{st} – zunanja stena stanovanj, U_s – streha, strop mansarde, U_{stK} – strop kleti, U_{ss} – stena med stopniščem in stanovanji, U_{ds} – vhodna vrata v stanovanje, η – delež vračanja toplote pri prisilnem prezračevanju, pri naravnem prezračevanju je $\eta = 0$.

Preglednica 5 • Posamezne faze prenove

na ostrešje. Toplotna izoliranost stropa nad neogrevano kletjo je predvidena v fazi prenove FP8. Pri fazah prenove FP9 in FP10 se večstanovanjski stavbi prenovita skladno z zahtevami trenutno veljavne slovenske zakonodaje za novogradnje. Razlika med FP9 in FP10 je v vgradnji prisilnega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka, ki je predvideno v FP10. Skladno s slovensko zakonodajo se v FP10 predvidi tudi izboljšana zrakotesnost ovoja stavbe. Pri zadnjih dveh fazah prenove FP11 in FP12 se predvidi kompleksna energijska prenova stavb z izboljšano toplotno prehodnostjo ovoja in boljšo zrakotesnostjo stavb. Izboljšani izolativnost in zrakotesnost stavb sta pri gradnji novih stavb pri nas in v tujini že ustaljena

praksa. Gradnja tako imenovanih nizkoenergijskih in pasivnih hiš se z leti povečuje.

4.5 Rezultati

Vsota izračunane potrebne energije za ogrevanje in hlajenje ($Q_h + Q_c$) obstoječih večstanovanjskih stavb A in B pred prenovo (FPO) ter po posameznih fazah prenove (FP1–FP12) so prikazani na sliki 7. Za vsako fazo prenove (FP1–FP12) je na sliki 7 prikazan tudi procentualni prihranek letne potrebne energije v primerjavi z letno potrebno energijo pred prenovo (FPO).

S slike 7 je razvidno, da je letni prihranek energije pri fazah prenove od FP1 do FP5, kjer gre za izboljšanje toplotne izolativnosti posameznih elementov toplotnega ovoja

večstanovanjske stavbe A in večstanovanjske stavbe B, nižji kot pri fazah prenove od FP6 do FP8, kjer gre za kombinacije ukrepov. Kot pričakovano, so najvišji prihranki energije pri fazah prenove od FP9 do FP12, kjer gre za celovito energijsko prenavo večstanovanjskih stavb A in B.

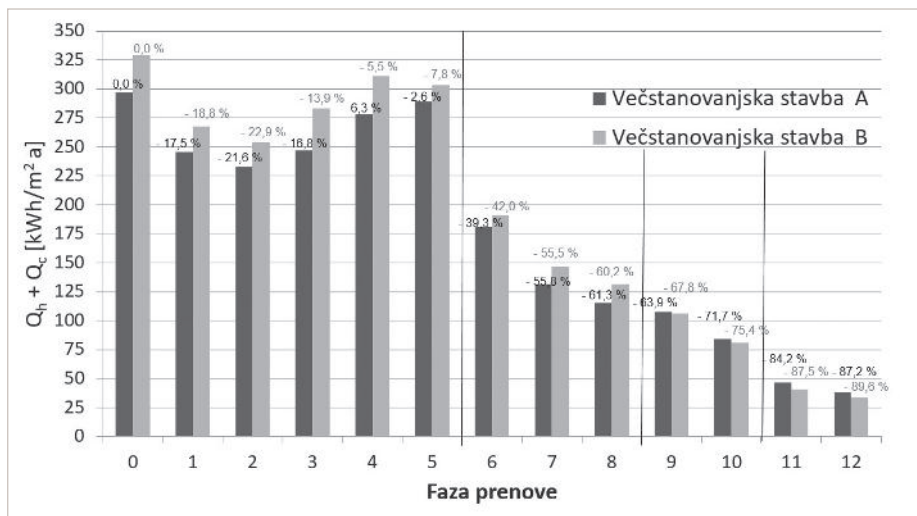
Pri prenovi posameznih elementov toplotnega ovoja večstanovanjskih stavb A in B je razvidno, da se največ energije na letni ravni prihrani pri fazi prenove FP2, kjer se na zunanje stene, ki predstavljajo največjo izpostavljenost površino stavbe, namesti toplotna izolacija. Fasada je največja izpostavljenost površina toplotnega ovoja obeh stavb. Pri večstanovanjski stavbi A fasada predstavlja 40 % celotnega toplotnega ovoja, medtem ko

pri večstanovanjski stavbi B predstavlja 42 % toplotnega ovoja. Večji prihranki energije pri FP2 pri večstanovanjski stavbi B so posledica višjega deleža površine fasade v toplotnem ovoju in slabše toplotne izolativnosti fasade v fazi pred prenovo (FPO).

Druga najboljša izbira za izboljšanje energijske učinkovitosti stavbe je zamenjava stavbnega pohištva (FP1), ki zmanjša letno porabo energije za 17,5 % pri večstanovanjski stavbi A in 18,8 % pri večstanovanjski stavbi B, ki ima več stavbnega pohištva na fasadi kot večstanovanjska stavba A. Razlog za velike prihranke energije pri zamenjavi stavbnega pohištva, kljub njegovi manjši površini v večstanovanjskih stavbah, je v veliki razliki med toplotno prehodnostjo obstoječega stavbnega pohištva in novo predvidenega v fazi prenove FP1, ki znaša $\Delta U_w = 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Za ti dve fazi prenove (FP1 in FP2) so tudi pri Eko skladu najpogosteje podeljene nepovratne subvencije.

Z namestitvijo toplotne izolacije na strop mansarde oziroma streho (FP3) se prihrani 16,8 % letne potrebne energije pri večstanovanjski stavbi A in 13,9 % pri večstanovanjski stavbi B. Razlog za večje prihranke energije v fazi prenove 3 v večstanovanjski stavbi A je v veliki površini strehe oziroma stropa mansarde v primerjavi z večstanovanjsko stavbo B.

Najnižji prihranki energije so pri fazah prenove FP4 in FP5, kjer je izboljšanja toplotna izolativnost stropa med ogrevanimi prostori in neogrevano kletjo ter zidov in vrat med ogrevanimi stanovanji in neogrevanimi stopniščem. Pri fazi prenove FP6, kjer gre za kombinacijo faz prenove FP1 in FP2, se letna potrebna energija večstanovanjskih stavb A in B skoraj prepolovi glede na osnovno stanje. Pri večstanovanjski stavbi A se zmanjša za 39,3 %, pri večstanovanjski stavbi B pa za 42 %.



Slika 7 • Letna poraba energije ($Q_h + Q_c$) za osnovno stanje in faze prenove od FP1 do FP12 večstanovanjskih stavb A in B.

Pri fazah prenove 7 in 8 so večji prihranki pri večstanovanjski stavbi A v primerjavi s prihranki v večstanovanjski stavbi B posledica oblike stavbe. Strop mansarde in plošča med neogrevano kletjo in pritličjem skupaj predstavljata približno 44 % toplotnega ovoja večstanovanjske stavbe A, medtem ko v večstanovanjski stavbi B skupaj predstavljata le 30 % toplotnega ovoja.

Pri fazah prenove FP9 in FP10, kjer gre za celovito energijsko prenovo stavb s skladu s trenutno veljavnim nacionalnim pravilnikom (PURES, 2010), prihranek energije na letni ravni znaša 63,9 % pri FP9 in 71,7 % pri FP10 za večstanovanjsko stavbo A in 67,8 % pri FP9 in 75,4 % pri FP10 za večstanovanjsko stavbo B. Rezultati analize kažejo, da bi lahko s celostno sanacijo večstanovanjskih stavb v skladu z zahtevami trenutno veljavne slovenske zakonodaje prihranili več kot 60 % vse energije za

ogrevanje in hlajenje večstanovanjskih stavb. To velja ob privzetih lastnostih stavbe v času izgradnje.

Pri sanaciji po fazah prenove FP11 in FP12 se predvidijo elementi, ki ustrezajo zahtevam za nizkoenergijsko oziroma pasivno gradnjo. Pri obeh fazah prenove so večji prihranki pri večstanovanjski stavbi B (87,5 % in 89,6 %) v primerjavi z večstanovanjsko stavbo A (84,2 % in 87,2 %).

Razlog v večjih prihrankih energije pri fazah prenove od FP9 do FP12 in nižje letne potrebne energije večstanovanjske stavbe B v primerjavi z večstanovanjsko stavbo A je v njeni obliki. Večstanovanjska stavba B ima namreč kompaktnjšo obliko in posledično nižji faktor oblike kot večstanovanjska stavba A ter s tem že v osnovi precej manjše transmisijske izgube skozi ovoj stavbe.

5 • ZAKLJUČEK

Predstavljena študija vpliva posameznih faz energijske prenove na energijsko učinkovitost obravnavanih večstanovanjskih stavb (VS A in VS B) dokazuje, da zakonsko predpisane vrednosti toplotne prehodnosti posameznih elementov ovoja stavbe ne zadostujejo za doseganje minimalnih zahtev energijske učinkovitosti za stavbo, če se izvaja le delna prenova stavbe, na primer le zamenjava stavbnega pohištva, namestitev toplotne izolacije

na fasado, toplotno izoliranje strehe in talne plošče ali drugi posamezni ukrepi. Največji vpliv na izboljšanje energijskega izkaza stavbe, ob upoštevanju izhodišnega stanja izgrajenih stavb, imata zamenjava stavbnega pohištva in izboljšanje toplotne izolativnosti zunanjih zidov, kar močno zmanjša transmisijske izgube in ima ob pravilni izvedbi velik vpliv na povečanje zrakotesnosti stavbe.

Študija je pokazala, da se s posameznimi fazami in njihovimi kombinacijami prihrani do 60 % energije na letni ravni. Celovita energijska prenova stavb pa ni najboljša izbira le z energijskega vidika (prihranki energije so lahko tudi več kot 60 %), ampak tudi z vidika doseganja zdravega in ugodnega bivanja. V prihodnosti se bo delež energijskih prenov zaradi zaostrovanja zakonodaje in različnih finančnih spodbud še povečeval. Bo pa vsekakor treba v prihodnosti smiselno spodbujati celostne energijske sanacije stavb, saj z delnimi energijskimi sanacijami prihranimo le manjši del energije na letni ravni.

Naše nadaljnje delo predstavlja razvoj leseno-steklenih modulov nadgradnje (Špegelj, 2016), ki se uporablja kot dodaten korak

za namen energijskih prenov obstoječih večstanovanjskih stavb. Razviti moduli nadgradnje poleg povečanja bivalnih površin

v strnjених mestnih središčih pomenijo nov pristop k prenovi energijsko neučinkovitih obstoječih stavb.

6 • ZAHVALA

»Operacijo delno financira Evropska unija, in sicer iz Evropskega socialnega sklada. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje

2007–2013, 1. razvojne prioritete: Spodbujanje podjetništva in prilagodljivosti, prednostne usmeritve 1.1.: Strokovnjaki in raziskovalci za konkurenčnost podjetij.«



7 • LITERATURA

- SIST EN 13790:2008, Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, International Organization for Standardization, SIST 2008.
- Chwieduk, D., Towards sustainable-energy buildings, *Applied Energy*, 76 (1–3), 211–217, 2003.
- Csoknyai, T., Hrabovszky-Horváth, S., Georgiev, Z., Jovanovic-Popovic, M., Stankovic, B., Villatoro, O., Szendr, G., Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in Eastern-European countries, *Energy and Buildings*, 132, 39–52, 2016.
- Đukanović, L., Radivojević, A., Rajčić, A., Potentials and limitations for energy refurbishment of multi-family residential buildings built in Belgrade before the World War One, *Energy and Buildings*, 115, 112–120, 2016.
- Economidou, M., Atanasiu, B., Despret, C., Economidou, M., Maio, J., Nolte, I., Strong, D., Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings, *Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*, 2011.
- EI-Education, <http://ei-education.aarch.dk/index.php?id=478>, pridobljeno junija 2007.
- Eicker, U., Demir, E., Gürlich, D., Strategies for cost efficient refurbishment and solar energy integration in European Case Study buildings. *Energy and Buildings*, 102, 237–249, 2015.
- Ekosklad, S. o. j. s., Letno poročilo o dejavnosti in poslovanju Eko sklada, Slovenskega okoljskega javnega sklada v letu 2012, Ljubljana, marec 2013.
- EU, European Union, Statistical pocketbook 2010: EU energy and transport in figures, Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2010.
- Feist, W., Pfluger, R., Schneiders, J., Kah, O., Kaufmann, B., Krick, B., Ebel, W., Passive House Planning Package, Energy balance and Passive House design tool for quality approved Passive Houses nad EnerPHit retrofits, 2012.
- GUERS, Geodetska uprava RS, www.gu.gov.si, pridobljeno: avgusta 2012.
- IBE, d. d., svetovanje, projektiranje in inženiring, Novelacija energetske zasnove mestne občine Velenje (študija), Številka projekta: JEZN.V – D129/051A, december 2004.
- Lechtenböhrer, S., Schüring, A., The potential for large-scale savings From insulating residential buildings in the EU. *Energy Efficiency*, 4(2), 257–270, 2011.
- Norris, M., Shiels, P., Regular National Report on Housing Developments in European Countries. Synthesis Report, The Housing Unit, Dublin, Ireland, 2004.
- Ortiz, J., Fonseca i Casas, A., Salom, J., Garrido Soriano, N., Fonseca i Casas, P., Cost-effective analysis for selecting energy efficiency measures for refurbishment of residential buildings in Catalonia. *Energy and Buildings*, 128, 442–457, 2016.
- Paiho, S., Hedman, Å., Abdurafikov, R., Hoang, H., Sepponen, M., Kouhia, I., Meinander, M., Energy saving potentials of Moscow apartment buildings in residential districts, *Energy and Buildings*, 66, 706–713, 2013.
- Petrović Bećirović, S., Vasić, M. Methodology and results of Serbian Energy-Efficiency Refurbishment Project. *Energy and Buildings*, 62, 258–267, 2013.
- Poel, B., van Cruchten, G., in Balaras, C. A. Energy performance assessment of existing dwellings. *Energy and Buildings*, 39(4), 393–403, 2007.
- Pravilnik o racionalni rabi energije pri gretju in prezračevanju objektov ter pripravi tople vode, Uradni listi SFRJ, 31/84, 1984.
- PURES, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list RS, 93/2008, 2008.
- PURES, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list RS, 52/2010, 2010.
- Republika Slovenija, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, Energetska bilanca Republike Slovenije za leto 2014, Maribor, avgust 2014.
- SURS, Statistični urad Republike Slovenije, <http://pxweb.stat.si/>, pridobljeno januarja 2016.
- Pfeifer, J., Stavnbn red za vojvodino Kranjsko, A. Klein & Comp., Ljubljana, 1875.
- SIST EN 13790, Energijske lastnosti stavb – Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov, 2008.
- Špegelj, T., Žegarac Leskovar, V., Premrov, M., Application of the timber-glass upgrade module for energy refurbishment of the existing energyinefficient multi-family buildings, *Energy and Buildings* 116, 362–375, 2016.