

# Z AKTIVNIMI SISTEMI IN TOPLOTNO ZAŠČITO DO PASIVNIH IN PLUSENERGIJSKIH STANOVANJSKIH STAVB

## WITH ACTIVE SYSTEMS AND THERMAL PROTECTION TO PASSIVE AND PLUS ENERGY RESIDENTIAL BUILDINGS

mag. Miha Praznik, univ. dipl. inž. str.

Gradbeni inštitut ZRMK, d. o. o.,  
Center za bivalno okolje, gradbeno fiziko in energijo  
Dimičeva 12, Ljubljana,  
miha.praznik@gi-zrmk.si

Strokovni članek

UDK: 699.86

**Povzetek** | Energijsko učinkovita gradnja v Sloveniji zadnjih nekaj let intenzivno raste. Tehnološki nivoji energijsko učinkoviteh novogradenj so v praksi dobro prepoznavni pod termini »nizkoenergijska«, »pasivna« in sedaj tudi že »plusenergijska« hiša. Energetska prenova obstoječih stavb pa paralelno učinkovitim novogradnjam rezultira v porastu energijske učinkovitosti za faktor 3 do 10. Slovenski predpisi s področja učinkovite rabe energije v stavbah že omejujejo najvišjo dopustno potrebo stavb po toploti za ogrevanje pod 50 kWh/m<sup>2</sup>a. Še pomembneje pa je, da je začetni interes za energijsko učinkovitejšo gradnjo sedaj izpostavljen s strani investitorjev. Kakšne izkušnje so pridobljene v tem prelomnem letu na področju energijsko učinkovite gradnje? Katere postopke in pristope mora zagotoviti stroka za doseganje optimalne učinkovitosti? Katere zahteve pri novogradnji ali sanaciji mora izpostaviti investitor? Ali je gradnja v energijsko učinkovitejši tehnologiji resnično bistveno dražja? To so vprašanja, na katera odgovarja pričujoči članek.

**Summary** | In recent years energy-efficient construction has been in an extraordinary rise in Slovenia. Technological levels of the energy efficient new buildings are well recognized being determined as «low energy», «passive», even «plus energy» houses. Energy retrofitting of the existing buildings can experience the energy efficiency rise from the factor 3 to 10. The Slovenian regulations for thermal protection and efficient energy use in buildings are now limiting the highest allowed annual energy usage for heating below 50 kWh/m<sup>2</sup>a. The fact that the initial interest in energy-efficient construction is now already provided by the investors is even more important. What experiences have been gained in this groundbreaking year in the field of energy-efficient building? What procedures and approaches should be ensured by the profession to achieve optimal energy efficiency? What requirements should be emphasized by the investor in new construction or reconstruction? Is energy more efficient construction really much more expensive? These are the issues which will be answered in the paper.

## 1 • UVOD

V razvoju povpraševanja in v diferenciranju ponudbe tehnologij za energijsko učinkovito gradnjo je med drugimi vplivnimi dejavniki posebnega pomena tudi uvedba finančnih spodbud za nizkoenergijsko gradnjo. Slovenija je usmerila politiko Ministrstva za okolje in prostor RS ter finančne mehanizme Ekosklada v stimuliranje energijsko

učinkovite in trajnostne gradnje, s čimer je ta postala širše prepoznavna v javnosti. Že v prvem letu je število pasivnih novogradenj poraslo za faktor 10. Med trajanjem razpisa pa je približno 5 % slovenskih novogradenj, skupaj skoraj 200, izvedenih vsaj v nizkoenergijski tehnologiji, prejelo spodbudo, ki je lahko znašala do 125 EUR/m<sup>2</sup>. Pomemben

rezultat projekta je tudi dejstvo, da je v letu splošne gospodarske krize energijsko učinkovita gradnja doživela porast. Obseg programa finančnih spodbud se je v tem letu na področju energijske učinkovitosti in obnovljivih virov energije pomembno razširil tudi v smeri prenove stavb. Prav tako pa je narejen naslednji korak v smeri spodbujanja pasivne večstanovanjske gradnje ter spodbujanja učinkovite individualne stanovanjske gradnje pod 25 kWh/m<sup>2</sup>a.

## 2 • RAZVOJ GRADNJE V SMERI POVEČEVANJA ENERGIJSKE UČINKOVITOSTI

### 2.1 Postopno zaostrovanje zakonodaje v smeri nizkoenergijske stanovanjske gradnje

Pri stanovanjskih stavbah je ob predpogoju zagotovljenega bivalnega ugodja ena od ključnih zahtev tudi zagotavljanje čim višje energijske učinkovitosti. V primeru starejših stanovanjskih stavb je namreč prav segment rabe toplotne energije za ogrevanje stavbe največja postavka v skupni letni rabi energije. Najsplošnejši način za zagotavljanje energijske učinkovitosti v širšem krogu stanovanjskih objektov je postavljanje omejitev skozi relevantno zakonsko regulativo. Glede na čas veljave in stanje pripadajoče tehnike se zahteve regulative s področja toplotne zaščite in energijske učinkovitosti postopoma zaostrejujejo, pri čemer so preskoki v zahtevah običajno dokaj izraziti in se lahko odražajo tudi v povečevanju zahtev za po 30 % glede na predhodno stanje.

Za primer je prikazan razvoj zahtev na področju stanovanjskih stavb v Sloveniji, kjer so bile prve pomembnejše zahteve s področja toplotne zaščite stavbnega ovoja podane že pred skoraj tremi desetletji v standardu JUS U.J5.600, glede zadnjega stanja zakonodaje in zahtev po učinkovitosti pa velja izpostaviti pričakovano sprejetje pravilnika PURES2:

- Stavbe, grajene pred letom 1980, so tipični energijsko potratni objekti, grajeni masivno, a brez učinkovitih sistemov toplotne zaščite, kjer lahko specifična povprečna raba energije za ogrevanje presega vrednost 150 kWh/m<sup>2</sup>a. Glede na sedanjo klasifikacijo v sklopu izdaje energetskih izkaznic bi jih lahko uvrstili v razred F.
- V obdobju med letoma 1980 in 2002 se je ob zahtevah standarda in širši uporabi siste-

mov toplotne zaščite energijska učinkovitost izboljšala približno za 30 % z znižanjem potrebe po toploti za ogrevanje na skoraj 100 kWh/m<sup>2</sup>a ter z uvrstitvijo takšnih stavb v razred E.

- Prvi večji metodološki premik v samem vrednotenju energijske učinkovitosti stavb je bil v letu 2002 s sprejetjem pravilnika PZTURES (Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah). Metoda omejevanja rabe energije za ogrevanje, vrednotene na enoto ogrevane površine stavbe (razmerje  $Q_h/A_u$ , enačba 1), izhaja iz izračuna letne energijske bilance in postavlja tipično omejitev v rang 60 do 80 kWh/m<sup>2</sup>a, s čimer se te novejšje stavbe že lahko uvrščajo v energijski razred D. Glede na prejšnje obdobje je tako zopet evidentiranih približno 30 % zaostrovanja zahtev.
- Nadaljnji korak je uvedba pravilnika PURES, ki z letom 2008 ter nato še s prenovi v letu 2010 s seboj prinaša tudi številne druge omejitve, ki presegajo zgolj zahteve po največji dopustni rabi energije za ogrevanje (razmerje  $Q_{NH}/A_u$ , enačba 2). Med drugim obravnava potrebe stavbe po energiji za hlajenje (razmerje  $Q_{NC}/A_u$ , enačba 3), potrebe po primarni energiji za delovanje sistemov (razmerje  $Q_p/A_u$ , enačba 4) ter uvajanje obveznega deleža uporabe obnovljivih virov energije pri oskrbi stavb. Pravilnik je v letu 2010 prenovljen, njegove zahteve pa predvidevajo omejitev dopustne toplote za ogrevanje stavbe na rang 50 kWh/m<sup>2</sup>a, s čimer se takšne novogradnje že lahko klasificirajo v energijska razreda B2 in C. Takšna zaostritev zahtev pa v praksi pomeni, da mora biti že najmanj učinkovita novozgrajena stanovanjska stavba nujno izvedena v nizkoenergijski tehnologiji!

- Stanje znanja, storitev in tehnike s področja stanovanjske gradnje pa v tem obdobju, kot je pričakovano, presega minimalne predpisane zahteve glede energijske učinkovitosti. Povpraševanje širšega kroga investitorjev se v tem času osredotoča na doseg nizkoenergijskih razredov B2 in B1, torej v rang 15 do 35 kWh/m<sup>2</sup>a. Doseganje zahtev razredov A2 in A1 v rang 0 do 15 kWh/m<sup>2</sup>a pa predstavlja po naši trenutni oceni manj kot eno tretjino povpraševanja po energijsko učinkovitejši stanovanjski gradnji.

$$Q_h/A_u \leq 45 + 40 \times f_0 \quad [kWh/m^2a] \quad \dots (1)$$

$$Q_{NH}/A_u \leq 45 + 60 \times f_0 - 4,4 \times T_L \quad [kWh/m^2a] \quad \dots (2)$$

$$Q_{NC}/A_u \leq 50 \quad kWh/m^2a \quad \dots (3)$$

$$Q_p/A_u \leq 200 + 1,1 \times (60 \times f_0 - 4,4 \times T_L) \quad [kWh/m^2a] \quad \dots (4)$$

### 2.2 Spremembe v strukturi skupnih energijskih potreb stanovanjskih stavb

Za stanovanjsko gradnjo starejših obdobj je značilno, da prav zunanji termični stavbni ovoj diktira končno energijsko neučinkovitost objektov. Potrebe po toploti za ogrevanje lahko v stavbah prejšnjega stoletja predstavljajo tudi 70 do 80 % skupne letne rabe energije v stavbi. Prav to dejstvo je tisto, ki je vplivalo na pojmovanje splošne energetske učinkovitosti stavb kot skoraj izključno vprašanje učinkovitosti sistemov toplotne zaščite.

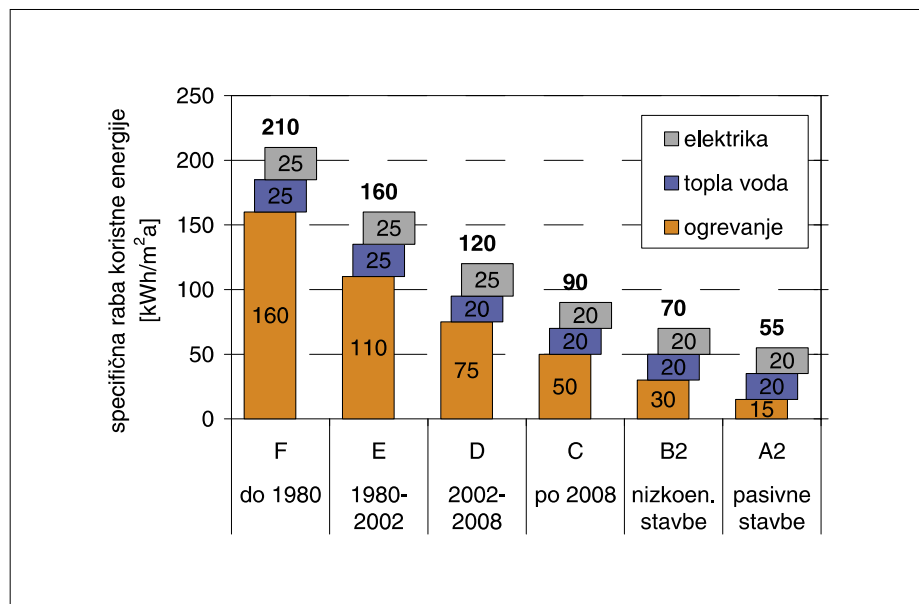
S povečanjem učinkovitosti toplotne zaščite stavbnega ovoja v zadnjem desetletju se potreba stavbe po toploti za ogrevanje praktično prepolovi (slika 1). Potrebna toplota za ogrevanje stavb predstavlja le še 50 do 60 % skupne letne rabe energije. V tem obdobju se kot pomemben segment energetskega načrtovanja izpostavijo tudi sistemi za pripravo tople sanitarne vode v stavbah, saj se je vpliv tega segmenta povečal z 10 na praktično 25 % skupne letne rabe energije za obratovanje stavbe. Poleg povečane energijske učinkovitosti sistemov ob enaki porabi tople vode ima v tem segmentu največ potenciala uvajanje obnovljivih virov energije.

V sodobnih stanovanjskih stavbah se pojmovanje energijske učinkovitosti bistveno razlikuje od pogleda, ki je značilen za klasično starejšo gradnjo. Stavbni plašč ni samo dobro toplotno zaščiten, kakovost gradnje je zagotovljena tudi z zrakotesnostjo stavbnega plašča. Ker je s tem potencial na strani transmisijih toplotnih izgub izkoriščen skoraj v celoti, je nujni del stavbe za zagotavljanje energijske učinkovitosti in bivalnih pogojev sistem centralnega prezračevanja z vračanjem toplote. Nizkoenergijske in pasivne stavbe brez takšnega sistema praktično ni mogoče izvesti. Dodana (energetska) vrednost sistema pa je glede na vložena sredstva bistveno višja, kot so nadaljnja vlaganja v učinkovitost stavbnega plašča, kjer se je učinek izboljšav eksponentno že umiril.

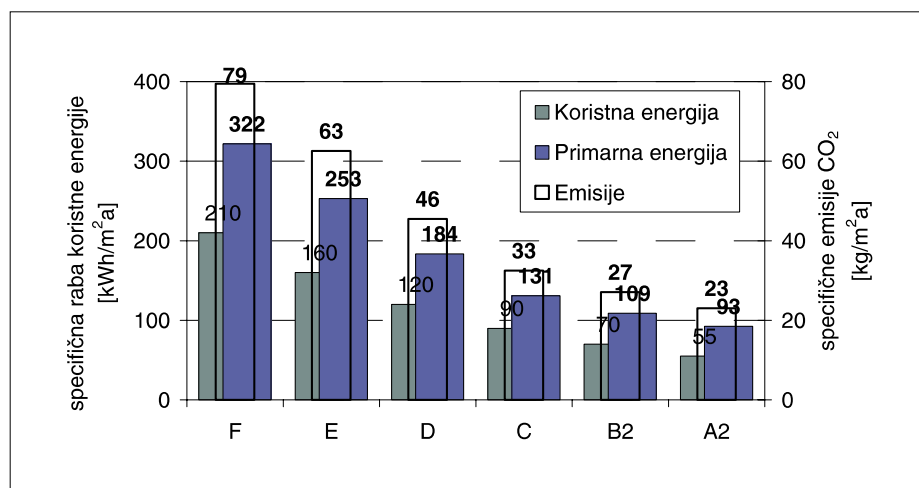
V sodobni stanovanjski stavbi je potreba po energiji za ogrevanje manjša od potrebe po toploti za pripravo sanitarne tople vode ter je obenem manjša tudi od letne porabe električne energije za obratovanje gospodinjstva in sistemov v stavbi!

V grobem lahko ugotovimo, da se je skupna letna energijska potreba stavb v prikazanih obdobjih zmanjšala za faktor 3 do 4, upad je evidentiran iz vrednosti več kot 200 kWh/m<sup>2</sup>a na z regulativo pogojenih 70 kWh/m<sup>2</sup>a ter 50 do 60 kWh/m<sup>2</sup>a, kot jih že izkazuje trenutna gradbena praksa.

V kolikor predpostavimo oskrbo stanovanjske stavbe s toploto z najpogostejše rabljenimi fosilnimi gorivi ter siceršnje preostalo rabo električne energije v stavbi lahko izdelamo oceno tudi za letno rabo primarne energije (slika 2). Zmanjševanje rabe primarne energije s povečevanjem učinkovitosti stavb lahko posledično evidentiramo v faktorju 3 do 4 od prvotne vrednosti, ki presega 300 kWh/m<sup>2</sup>a, na manj kot 100 kWh/m<sup>2</sup>a. Pri starejših stanovanjskih objektih je glede na pretežno rabo



Slika 1 • Specifična raba koristne energije po segmentih potreb tipične stanovanjske gradnje



Slika 2 • Specifična raba primarne energije in emisij CO<sub>2</sub> za tipično stanovanjsko gradnjo

energije v segmentu toplote ter nizek konverzijski faktor za goriva raba primarne energije večja od skupne rabe koristne energije za približno 50 do 60 %. Pri sodobnih stavbah pa je na račun manjšega deleža rabljenih goriv v segmentu toplote takšen razkorak lahko tudi v obsegu 70 %.

Podobna ugotovitev kot za primarno energijo velja tudi za letne emisije CO<sub>2</sub>. Glede na zmanjšanje skupne letne rabe energije po segmentih se tudi emisije CO<sub>2</sub> posledično zmanjšajo za enakovredni faktor 3 do 4.

Navedene vrednosti za primarno energijo in emisije CO<sub>2</sub> so lahko nekoliko nižje, v kolikor pri sodobnih stanovanjskih stavbah predpostavimo v segmentu generacije toplote primer uporabe učinkovitih toplotnih črpalk.

### 2.3 Mejniki na področju energijsko visoko učinkovite stanovanjske gradnje

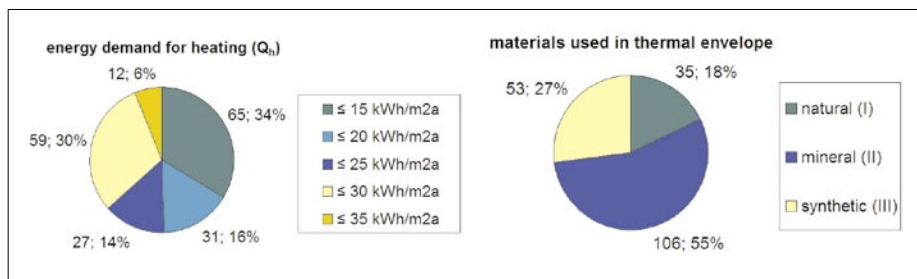
Med pomembne mejnike na področju nizkoenergijske in pasivne stanovanjske gradnje v Sloveniji zagotovo spada uvedba nepovratnih finančnih spodbud za novozgrajene objekte. V letu 2008 so bile na trgu prisotne tako potrebne tehnologije za gradnjo in izvedbo sistemov kot tudi storitve načrtovanja in izvedbe visoko učinkovitih stavb. Potrebni sta bili samo še obširnejša promocija ter finančna pobuda s strani države.

Projekt subvencioniranja energijsko učinkovite gradnje se je pričel z razpisom Ekosklada, j. s., v letu 2008. Ključne ugotovitve na temo rezultatov gradnje po tem razpisu so povzete iz literature (Praznik, 2010a). Nepovratna sredstva

so bila dodeljena za stavbe glede na doseženi razred energijske učinkovitosti (potreba stavbe po energiji za ogrevanje  $Q_h < 35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) ter pretežno uporabljene izolacijske materiale v stavbi (naravni, mineralni, sintetični) po progresivni lestvici. V času trajanja razpisa je bilo evidentiranih približno 200 stanovanjskih novogradenj, kar predstavlja približno 5 % slovenskih novogradenj iz tega obdobja (slika 3). Večinoma gre za gradnjo družinskih hiš, od katerih je bila tretjina pasivnih (A1 in A2), tretjina visoko učinkovitih nizkoenergijskih (B1) ter tretjina nizkoenergijskih (B2). Energijska učinkovitost stavb se je presojala z uporabo računske metodologije PHPP'07, ki se v evropskem prostoru uporablja za načrtovanje pasivne gradnje.

Novogradnje so bile v največjem obsegu izolirane z materiali mineralnega izvora ter so zidane izvedbe. Pri pasivnih hišah pa večji delež izvedenih objektov izhaja iz montažne ali skeletne lesene gradnje, ki so v glavnini toplotno zaščitene z izolacijskimi materiali naravnega izvora. Izvedba pasivnih stavb v takšni tehniki gradnje je pogojena predvsem z bistveno lažjim doseganjem nizkih toplotnih prehodnosti sklopov ovoja ob ohranjanju manjših debelin elementov. Sama uporaba naravnih izolacijskih materialov pa v večji meri nastopa kot posledica najvišje mogoče subvencije za takšen način izbora materialov. Opaža se tudi, da so manj učinkovite nizkoenergijske hiše pogosto izolirane z materiali sintetičnega izvora, kar kaže ne samo na varčevanje investitorjev v fazi energijske optimizacije stavbnega ovoja, temveč tudi na varčevanje z izborom cenovno najugodnejših rešitev gradnje. Takšnemu pristopu k nižjemu investiranju sledi tudi nižja finančna spodbuda.

Finančne spodbude so povzročile velik premik v obsegu učinkovite stanovanjske gradnje, saj se je leta v letu gospodarske krize povečal za faktor 10! Poleg tega pa so spodbude pomembno vplivale na dodatno prepoznavnost učinkovite gradnje ter še povečale povpraševanje po njej. Na račun tega je napredoval tudi trg ponudbe opreme in storitev, pri čemer gre izpostaviti predvsem



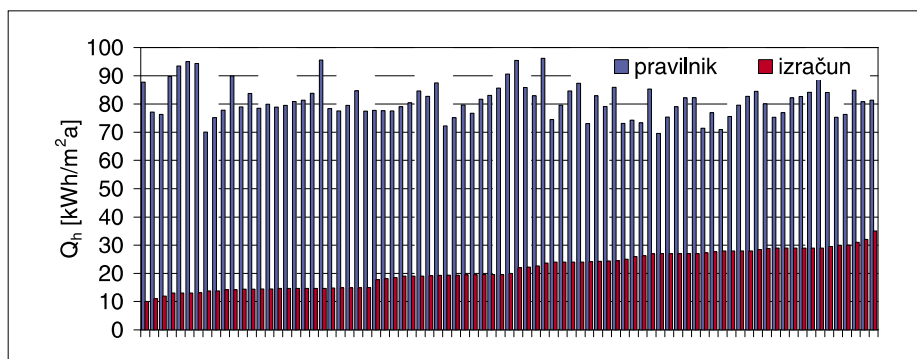
Slika 3 • Struktura grajenih energijsko učinkovitih hiš med letoma 2008 in 2009

močno izboljššan odnos in znanje arhitektov, inženirjev in izvajalcev s tega področja. Pri pripravi projektov za novogradnje je dosežen pomemben premik, saj investitorji še pred dokončnim oblikovanjem projektne dokumentacije za pasivne ali nizkoenergijske stavbe s projektantom primerno optimirajo rešitve za objekt, tako da v času izvajanja ne prihaja do odstopanj od rešitev zaradi, denimo, naloženih razlogov.

Med ugotovitvami za skupino teh stavb lahko navedemo, da so slovenske nizkoenergijske in pasivne hiše še vedno preveliki objekti, saj njihova povprečna neto ogrevana površina presega  $200 \text{ m}^2$ . Slednje močno vpliva tudi na energijske rezultate, saj so preveliki stanovanjski objekti zaradi sprememb v energijski bilanci specifično potratnejši, kot bi bili sicer. Povprečna subvencija je znašala malo več kot  $70 \text{ EUR/m}^2$ , kar obenem predstavlja povprečno spodbudo skoraj  $13.000 \text{ EUR}$  na objekt. Najvišje spodbude za pasivne hiše iz naravnih materialov pa so znašale do  $25.000$

EUR. Povprečna subvencionirana stavba je kar štirikrat učinkovitejša od zahtev za gradnjo v času priprave projektov.

S projektom subvencioniranja pa se razvoj med letoma 2008 in 2009 ni ustavil. V letu 2010 se je program finančnih spodbud pomembno razširil tudi na preostalo področje stanovanjske gradnje (tj. na večstanovanjske gradnje), ki doslej ni sledilo napredku, ki je bil izkazan na področju družinskih hiš. Finančne spodbude so letos namenjene nakupu stanovanjskih enot v pasivnih večstanovanjskih objektih v višini  $250 \text{ EUR/m}^2$ . Po objavi razpisa so tako evidentirani številni projekti, kjer investitorji rešitve na ovoj stavb ter na instalacijah prezračevanja prilagajajo doseganju zelenega pasivnega tehnološkega razreda. Skladno z zakonodajnimi spremembami s področja energijske učinkovitosti so bili zaostreni tudi pogoji za kandidiranje družinskih hiš. Vstopni pogoj glede energijske učinkovitosti (slika 4) se je tako v tem primeru znižil z vrednosti  $Q_h < 35$  na  $25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .



Slika 4 • Primerjava vrednosti  $Q_h$  za novogradnje (2008) ter omejitve vrednosti  $Q_h$  iz predpisa

### 3 • PRIMERI UČINKOVITIH SODOBNIH STAVB Z ANALIZO PARAMETROV

Za tipična primera sodobne stanovanjske gradnje, tako visoko učinkovite družinske hiše kot tudi stanovanjskega bloka, so predstav-

ljene tipične značilnosti energijske zasnove (Praznik, 2010b).

#### 3.1 Pasivna in plusenergijska družinska hiša

Prikazan je primer stanovanjskega objekta (slika 5), grajenega v pasivni tehnologiji. Gre za prostostoječo družinsko hišo kompaktne oblike, arhitekturno oblikovane skladno z lokalnimi zahtevami. V dveh ogrevanih etažah je približno  $150 \text{ m}^2$  površine, klet pa je izven



toplotnega ovoja in je neogrevana. Stavba je grajena montažno in je skoraj v celoti grajena in izolirana z materiali naravnega izvora (les in celulozni kosmiči).

Fasada in streha imata malo več kot 40 cm konstrukcije, izpolnjene s toplotno izolacijo, toplotna prehodnost znaša  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Stavbno pohištvo je iz lesa in ima trojne zasteklitve, toplotna prehodnost vgrajenih elementov znaša v povprečju  $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Stavba je oskrbovana s kompaktno napravo: sistem prezračevanja z najmanj 85-odstotno rekuperacijo odpadne toplote pri  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ , toplotna črpalka zemlja–voda moči  $3 \text{ kW}$ , talno ogrevanje v prostorih.

Računska letna energijska bilanca stavbe (slika 6) kaže na značilnosti pasivnih hiš. Največje toplotne izgube hiše so evidentirane na zunanjem stavbnem pohištvu, vendar pa ta del stavbnega ovoja s soncem pasivno zajame kar 30 % več energije, kot je letno izgublja. Po velikosti si v transmisijskih toplotnih izgubah, ki predstavljajo kar 85 % vseh toplotnih izgub, sledijo fasada, streha in tla proti kleti.

Zaradi učinkovitega centralnega prezračevanja je segment ventilacijskih toplotnih izgub relativno majhen, skupaj obsega le 15 % vseh toplotnih izgub. Pri zrakotesno grajenem stavbnem ovoju z  $n_{50} = 0,60 \text{ h}^{-1}$  še vedno predstavlja 60 % ventilacijskih toplotnih izgub nekontrolirana infiltracija skozi stavbni ovoj, preostalih 40 % pa dejansko prezračevanje stavbe s centralnim sistemom.

Približno 40 % toplotnih izgub v energijski bilanci pokrijejo pasivni solarni dobitki, nadaljnjih 35 % pa toplotni dobitki notranjih virov (približno  $3 \text{ do } 3,5 \text{ W/m}^2$ ). Pri solarnih dotokih so južno orientirana okna v prednosti, saj pridobijo dve tretjini več toplote, kot je izgublja. Vzhodno in zahodno orientirana stekla imajo podobno razmerje dobitkov in izgub. Severno orientirana stekla pa imajo toplotne izgube kar trikrat večje od toplotnih dobitkov.

Za ogrevanje stavbe je potrebno glede na energijsko bilanco dovesti le še preostalih  $10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  oziroma približno  $1500 \text{ kWh/a}$  toplote. Hiša tako za ogrevanje s toplotno črpalko na letnem nivoju potrebuje približno  $400 \text{ kWh}$  električne energije, kar predstavlja strošek približno  $50 \text{ EUR}$ . Značilnost pasivnih stavb je prav tako dejstvo, da se za pripravo tople sanitarne vode potrebuje več toplote kot za ogrevanje, v tem primeru kar dvakrat več, in sicer približno  $3500 \text{ kWh/a}$ .

Kako doseči obratovalne karakteristike plus-energijskega objekta? Z različnimi arhitekturnimi in tehnološkimi pristopi smo zagotovili,



Slika 5 • Zunanji videz izdelane pasivne stavbe ter termografski posnetek iz zimskega obdobja

da stavba letno potrebuje skupaj  $5,0 \text{ MWh/a}$  toplote oziroma posledično  $1,3 \text{ MWh/a}$  električne energije. Nadaljnje energetske izboljšave teh rešitev trenutno finančno niso opravičljive. Z vidika ekonomike pa je zanimiva nadaljnja uporaba aktivnih solarnih sistemov, npr. fotovoltaika ima ob ugodni odkupni ceni električne energije vračilno dobo 10 do 15 let. Objekt ima posledično vgrajeno malo fotovoltaično elektrarno, s katero letno pridobi enkrat več električne energije ( $8 \text{ MWh/a}$ ), kot je letno potrebuje ( $4 \text{ MWh/a}$ ). Pasivna hiša se ob kombinaciji z aktivnimi sistemi tako spremeni v plus-energijski stanovanjski objekt.

### 3.2 Nizkoenergijski in pasivni večstanovanjski objekt

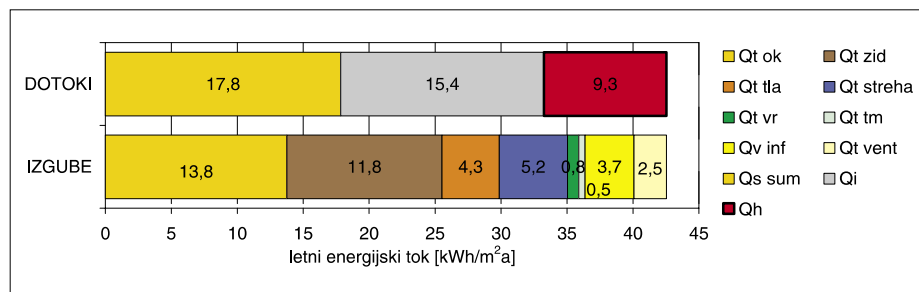
Primer večstanovanjske stavbe prikazuje možnosti za bistveno preprostejše doseganje visoke energijske učinkovitosti glede na predhodno prikazane prostostoječe družinske hiše, kar je značilnost večjih stanovanjskih objektov.

Gre za objekt (slika 7), ki je prav tako zelo kompaktno in obenem preprosto oblikovan, samo arhitekturno oblikovanje pa sledi ostrim smernicam za spomeniško zaščiteno področje mikrolokacije. V dveh etažah in mansardi ima skupaj  $970 \text{ m}^2$  ogrevanih površin, na katerih je organiziranih 18 stanovanjskih enot. Stavba je delno podkletena, vendar pa se v njej nahajajo neogrevani pomožni prostori. Vhodni del ter

stopnišče sta v sredini objekta. Sleme strehe je orientirano v smeri sever–jug. Stanovanjske enote nimajo balkonov ali podobnih elementov, kar vpliva na enostavnost in učinkovitost gradnje.

Stavba je bila sprva zasnovana kot nizko-energijska s ciljem doseganja potrebne toplote za ogrevanje v višini  $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Zunanja stena je zgrajena iz opečnih izolacijskih zidakov ter je dodatno izolirana z mineralno volno, toplotna prehodnost je  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Streha je v poševnem delu izolirana s  $30 \text{ cm}$  mineralne volne z  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ravni del pa je betonski z  $20 \text{ cm}$  mineralne volne in  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tla proti kleti in terenu so izolirana s polistirenom s toplotno prehodnostjo  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Povprečna toplotna prehodnost neprosojnega dela tako znaša nekoliko manj kot  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Okna v stanovanjskih enotah imajo trojne zasteklitve, v stopnišču pa dvojne, povprečna toplotna prehodnost vgrajenih elementov znaša  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Stavba je ogrevana s toplotno črpalko tipa voda–voda.

Za doseganje obratovalnih karakteristik pasivne gradnje je bilo potrebno v objekt uvesti samo še sistem prezračevanja prostorov z vračanjem toplote odpadnega zraka. Pri tem se je za naložbeno in obenem energetsko ugodnejšo izkazala uvedba etažnih sistemov za prezračevanje posameznih stanovanjskih enot. Glede na samo učinkovito zasnovano stavbnega ovoja ter relativno majhne trans-



Slika 6 • Segmenti iz računske letne energijske bilance pasivne stavbe



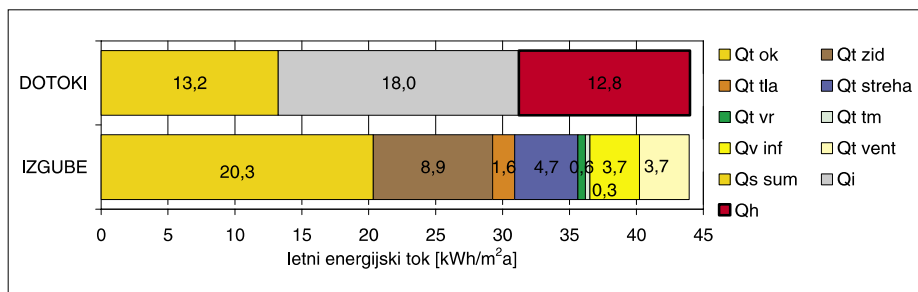
Slika 7 • Fasade in prerezi bloka, nadgrajenega in nizkoenergijskega v pasivni energijski razred

misijske toplotne izgube se je s tem ukrepom zmanjšal še preostali del ventilacijskih toplotnih izgub, skupne letne potrebe stavbe po toploti za ogrevanje pa so se zmanjšale na manj kot 15 kWh/m<sup>2</sup>a.

V letni energijski bilanci (slika 8) največji del transmisijskih toplotnih izgub povzroča stekleni del ovoja. Pri tem so zaradi manj ugodne orientacije steklenih površin (na vzhod in zahod) solarni toplotni dotoki za eno tretjino manjši od izgub. Sledijo toplotne izgube skozi fasado. Segment izgub skozi streho je občutno manj vpliven zaradi oblikovanja objekta. Toplotne izgube skozi tla pa so iz istega razloga manjše kot običajno. Delež transmisije v izgubah je nekoliko večji kot 80 %.

Toplotne izgube zaradi prezračevanja stanovanj z vračanjem toplote predstavljajo manj kot 20-odstotni delež, pri čemer sta deleža nekontrolirane infiltracije skozi ovoj z  $n_{50} = 0,60h^{-1}$  in prezračevanja stanovanj enakovredna. Ob izostanku rekuperacije bi se ta segment povečal kar za faktor 4 ter bi se s tem skoraj izenačil s transmisijo stavbnega ovoja.

Analiza dotokov nam kaže, da nekoliko oslabiljeni solarni dotoki pokrivajo 30 % skupnih toplotnih izgub, notranji viri pa nadaljnjih 40 %. Pri tem je prav za večstanovanjske objekte značilno, da intenzivnejša raba prostora bolj vpliva na učinkovitost stavbe pri ogrevanju kot v primeru manjših stavb. Gostota toplotnih virov se v takšnih primerih dvigne z običajnih 2 do 3 W/m<sup>2</sup> na kar 4 do 5 W/m<sup>2</sup>. Potrebna dodana toplota za ogrevanje tako v primeru te stavbe znaša 13 kWh/m<sup>2</sup>a.



Slika 8 • Segmenti iz računske letne energijske bilance večstanovanjske stavbe

### 3.3 Analiza vpliva ključnih segmentov energetske učinkovitosti na ekonomiko gradnje

Na primeru predhodno prikazane družinske hiše je izdelana ekonomska analiza, ki v grobem prikazuje ključne značilnosti energijsko učinkovite gradnje. Za objekt enakega arhitekturnega oblikovanja je privzetih pet različic mogoče izvedbe, kjer variacija poteka v sestavi stavbnega plašča ter instalacijah zgradbe:

1. Stavba z letno potrebo po toploti za ogrevanje približno 50 kWh/m<sup>2</sup>a v okvirih minimalnih zahtev zakonodaje. Z vidika stavbnega ovoja gre za relativno klasično montažno gradnjo, kjer prevladujeta uporaba mineralne volne ter sodobno stavbeno pohišstvo. Ogrevanje stavbe je predvideno s plinskim kotlom, centralnega sistema prezračevanja v stavbi ni.
2. Gradbeno izboljšana montažna zasnova ovoja do vrednosti 40 kWh/m<sup>2</sup>a, ki jih narekuje nova zakonodaja s področja

energetske učinkovitosti. Stavbni ovoj je nekoliko učinkovitejši, sistemi instalacij pa so enaki kot v prejšnji različici.

3. Preskok v parametre boljših nizkoenergijskih hiš z vrednostjo 25 kWh/m<sup>2</sup>a. Stavbni ovoj je enakovreden drugi različici, pri instalacijah pa sta uvedena sistem centralnega prezračevanja z rekuperacijo in talno ogrevanje s toplotno črpalko.
4. Prestop v razred pasivnih hiš z vrednostjo 15 kWh/m<sup>2</sup>a. Vse rešitve na stavbnem ovojju so nekoliko izboljšane, sistem instalacij pa je enak prejšnjemu primeru.
5. Doseganje razreda t. i. »1-litrške hiše« z vrednostjo 10 kWh/m<sup>2</sup>a. Stavbni ovoj je še nadalje izboljšan, največja razlika pa se pojavlja pri stavbnem pohištvu. Instalacije prezračevanja in ogrevanja so enake zadnjima primeroma.

S povečevanjem energetske učinkovitosti stavbe se povečuje tudi naložbeni delež sistemov, s katerim zagotavljamo učinkovitost

novogradnje (sliki 9 in 10). Na konkretnem primeru znaša investiranje v gradnjo skladno z minimalnimi zahtevami predpisov o energetski učinkovitosti približno 950 EUR/m<sup>2</sup>. Naložbeni dodatek za preskok objekta v razred visoko učinkovitih nizkoenergijskih stavb znaša 70 EUR/m<sup>2</sup>. Za doseganje pasivnih karakteristik pa bi potrebovali 115 oziroma 125 EUR/m<sup>2</sup> glede na izhodiščno stanje. Investitorjem je pri tem v veliko pomoč državna subvencija, ki pokriva praktično 60 % razlike v ceni gradnje. Dobra nizkoenergijska gradnja tako stane samo 3 % več kot minimalno dopustna gradnja, pasivna pa stane 4 do 9 % več glede na obvezno.

Za plusenergijsko obratovanje pasivne stavbe je potrebno tudi investiranje v manjšo fotovoltaično elektrarno (približno 3500 EUR/kWp). Za pozitivno pokritje letnih potreb po električni energiji je tako potrebno še investiranje 90–100 EUR/m<sup>2</sup>, kar predstavlja dodatnih 9 % glede na izvedbeno ceno pasivne družinske hiše. S tem hiša dejansko postane energijsko samozadostna.

Položaj je z vidika ekonomike gradnje visoko učinkovitih večstanovanjskih stavb še toliko boljši. V obravnavanem primeru stanovanjskega bloka so gradbene rešitve na stavbnem ovoju že zagotovile izpolnjevanje novih zaostrenih zakonskih zahtev s področja energijske učinkovitosti, ki se gibljejo v razredu 30 kWh/m<sup>2</sup>a. Cena stanovanjske površine v takšnem konkretnem nizkoenergijskem objektu znaša 1200 EUR/m<sup>2</sup>.

Zmanjševanje energijske učinkovitosti stavbnega ovoja je teoretično mogoče iskati v smislu sorazmernega slabšanja vseh sklopov, npr. s ciljem prehoda s 30 na 40 kWh/m<sup>2</sup>a. Vendar pa je skupna naložba v objekt s takšnim prehodom zmanjšana samo za 1 do 2 % oziroma za približno 20 EUR/m<sup>2</sup>, kar ne opravičuje takšnega varčevalnega pristopa. Preskok v naslednji energijski razred je podoben kot pri družinskih hišah. Nadaljnja vlaganja v termični ovoj stavbe niso prioriteta, saj je njihova investirana dodatna energetska vrednost v transmisijem segmentu bistveno manjša, kot je reševanje ventilacijskih toplotnih

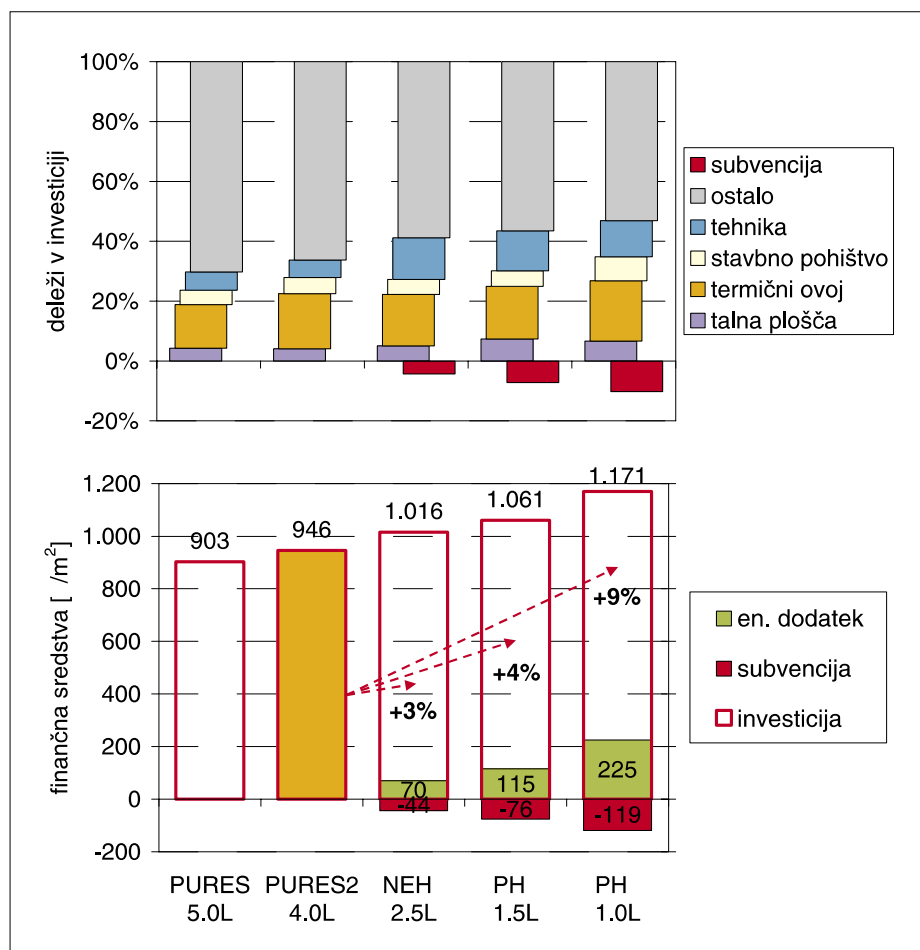
izgub. Nujna je uvedba centralnega sistema prezračevanja stanovanjskih prostorov z rekuperacijo toplote. Izvedba posameznih sistemov za stanovanjske enote zahteva naložbeni dodatek 110 EUR/m<sup>2</sup> ter kot takšna omogoča doseganje obratovalnih parametrov pasivne stavbe z manj kot 15 kWh/m<sup>2</sup>a.

Naložbeni dodatek v visoko učinkovito, tj. pasivno večstanovanjsko gradnjo znaša v tem primeru le nekoliko manj kot 10 % cene stanovanja. Glede na zastojanje večstanovanjske gradnje na področju energijske učinkovitosti pa lahko kupci stanovanjskih enot pridobijo subvencijo v višini 250 EUR/m<sup>2</sup>, ki je praktično enkrat višja od dejanskega naložbenega dodatka.

### 3.4 Analiza vpliva ključnih parametrov na energijsko učinkovitost objekta

Različni obratovalni parametri imajo različen vpliv na doseženo končno energijsko učinkovitost stanovanjskega objekta:

- Z dvigom povprečne temperature ogrevanja sodobne stavbe z 20 na 22 °C se potreba stavbe po energiji za ogrevanje poveča za 30 % (primer družinske hiše) do 40 % (primer bloka).
- Manj zrakotesna izvedba stavbnega ovoja bi v primeru karakteristik, npr. iz 0,60 v 1,2 h<sup>-1</sup>, vodila v podobno povečevanje potreb po toploti za 30 % (hiša) do 40 % (blok).
- Intenzivnejše prezračevanje prostorov s povečanjem kapacitete zraka za 50 % glede na osnovno vrednost vodi v povečevanje za 10 % (hiša) do 20 % (blok).
- Izdatnost toplotnih izvorov, ki je močno povezana z intenzivnostjo bivanja in napravami, bi v primeru 50-odstotnega zmanjšanja povzročila dvig v rabi toplote za 40 % (hiša) do 60 % (blok).



Slika 9 in 10 • Vpliv energijske učinkovitosti v naložbeni shemi za gradnjo montažne družinske hiše – po tipičnih energijskih razredih – s prikazom naložbenega dodatka

## 4 • SKLEP

Energijsko visoko učinkovita stanovanjska gradnja je postala del vsakdana. Načrtovalci morajo v postopkih optimiranja projektov pre-

poznati ustrezne rešitve v gradbenem in inštalacijskem segmentu, s katerimi zagotavljajo usklajenost investiranja dodatnih finančnih

sredstev ter njihovo maksimalno dodano energijsko vrednost. S takšnim pristopom lahko investitorjem zagotovimo, da že z vložkom dodatnih največ 10 % povečamo energijsko učinkovitost stavbe od maksimalne zakonsko dopustne, torej do pasivnega tehnološkega razreda.

## 5 • LITERATURA

Praznik, M., Kovič, S., From low energy to plus energy buildings in Slovenia, International Congress Energy and the environment 2010 – Engineering for a low-carbon future, Croatian Solar Energy Association Rijeka, Opatija, Hrvaška, strani 567–578, 18.–22. oktober, 2010a.

Praznik, M., Kovič, S., Passive house planning in Slovenia, 14th International Passive House conference 2010, Passiv Haus Institut, Dresden, Nemčija, strani 361–366, 28.–29. maj, 2010b.