

**ANALIZA KVALITATIVNIH PARAMETROV ZA ENERGIJSKO UČINKOVITE HIŠE****ANALYSIS OF QUALITATIVE PARAMETERS FOR ENERGY-EFFICIENT HOUSES****izvleček**

Energijsko visoko učinkovite družinske hiše so se v Sloveniji pojavile okrog leta 2005, bolj množično so začele nastajati leta 2008. Njihova energijska učinkovitost je različna, od pasivnih hiš (letna potrebna toplota za ogrevanje največ 15 kWh/(m<sup>2</sup>a)), do zelo dobrih nizkoenergijskih hiš (15 do 25 kWh/(m<sup>2</sup>a)) in nizkoenergijskih hiš (25 do 40 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Pristopi k njihovem načrtovanju so drugačni od ustaljene prakse in morajo upoštevati najnovejša spoznanja in smernice.

Članek predstavlja raziskavo 106 energijsko učinkovitih stavb, v kateri so bile evidentirane njihove velikosti, število stanovalcev, umeščenost v prostor, faktor oblike, vrsta in kvaliteta toplotnega ovoja, letna potrebna toplota za ogrevanje in sanitarno vodo. Izdelane so bile analize ključnih parametrov, ki vplivajo na energijsko učinkovitost stavb in izpostavljene smernice, ki so bistvene pri njihovem načrtovanju in optimiranju.

**ključne besede**

pasivna hiša, nizkoenergijska hiša, energijska zasnova

**abstract**

*Highly energy-efficient family homes emerged in Slovenia around 2005, and were becoming more numerous in 2008. Their energy-efficiency varies from passive houses (amount of energy required annually to heat the house maximum 15 kWh/(m<sup>2</sup>a)) to very good low-energy houses (15 to 25 kWh/(m<sup>2</sup>a)) and low-energy houses (25 to 40 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Approaches to their design differ from established practices and must take into consideration the latest discoveries and guidelines.*

*The article presents an investigation of 106 energy-efficient buildings, recording their size, number of occupants, location in space, shape factor, type and quality of thermal envelope, annual amount of heat required for heating and sanitary water. Analyses were made of key parameters impacting energy-efficiency of buildings, and the guidelines essential to their design and optimisation were highlighted.*

**key words**

*passive house, low-energy house, energy design*

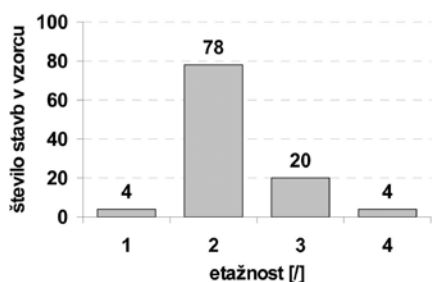
Energijska učinkovitost novogradenj se zadnja leta povečuje, kar spodbujajo tako čedalje ostriši predpisi, kot tudi boljša osveščenost investitorjev. V prihodnje se bo ta trend nadaljeval, to napoveduje tako tuja kot domača zakonodaja [Evropski parlament: 2010, Ur.l. RS, 52: 2010]. Posledica večje okoljske osveščenosti je težnja, da zgradba ne izpolnjuje le minimalne zakonsko predpisane energijske učinkovitosti. Sodobna tehnologija namreč ponuja rešitve, ki energijsko učinkovitost pripelje do pasivne in celo samozadostne hiše [Feist: 1996]. Raziskave [Georges: 2011] kažejo, da je investicija v energijsko učinkovito zgradbo upravičena do standarda pasivne hiše. Ob 10% dražji gradnji se njena poraba energije za ogrevanje v primerjavi z običajnimi zgradbami lahko zmanjša na 20% in manj. Meritve in ankete na večjem vzorcu stanovalcev potrjujejo najvišjo stopnjo zadovoljstva nad bivalnim ugodjem [Schnieders, 2006, Keul: 2010]. Razlogov za zavračanje sodobnih tehnoloških rešitev zaradi njihovih pozitivnih učinkov torej ni.

Energijsko učinkovita družinska hiša, kot jo razumevamo v okvirih uveljavljene evropske terminologije (zelo dobra nizkoenergijska hiša, pasivna hiša), se je pričela v slovenskem prostoru posamično pojavljati okoli leta 2005. Do razmaha gradnje energijsko učinkovitih hiš je prišlo leta 2008, tako da je v obdobju zadnjih treh let evidentiranih [Ekosklad j.s., 2008, 2010, 2011] približno 300 takšnih projektov. Čeprav predstavljajo energijsko učinkovite hiše trenutno manj kot 5% delež vseh novozgrajenih družinskih hiš v Sloveniji, je demonstracijska vloga teh primerov dobre gradbene prakse izredno vplivala na širšo prepoznavnost novih projektnih in izvedbenih pristopov k zagotavljanju energijske učinkovitosti stavb.

Takšna stavba lahko v praksi nastopa le kot posledica interdisciplinarnega načrtovanja, ki v vseh korakih zasnove

sledi in preverja učinke projektnih rešitev. Načrtovanje se prične z osnovnimi arhitekturnimi izhodišči ter se zaključi s posledično usklajenimi tehnološkimi rešitvami. Za arhitekte je pri tem posebnega pomena dobro poznavanje ključnih pravil, ki vodijo v oblikovanje projektne rešitve za energijsko učinkovit in ekonomsko racionalen stanovanjski objekt. S tem namenom so predstavljeni rezultati raziskave, izvedene na vzorcu energijsko učinkovitih stanovanjskih stavb. V raziskavi so bili evidentirani ključni podatki o zgradbah, npr. velikost, število stanovalcev, orientacija, faktor oblike, sestava toplotnega ovoja, letna potrebna toplota za ogrevanje in sanitarno vodo. Na podlagi analiz so bili osvetljeni vplivni mehanizmi ter logika razmišljanja, ki jih je potrebno konceptualno osvojiti za lažje oblikovanje ciljno usmerjenih rešitev. Raziskava osvetljuje mehanizme odzivanja projektne rešitve na ključnih odločitvah. S tem nudi hitrejše prepoznavanje ključnih parametrov, ki jih je smiselno na ustrezen način prenesti v projekte. V članku so izpostavljene nove ugotovitve ter novo oblikovani pogledi, ki se nanašajo na dosedanje ustaljeno razumevanje nekaterih ključnih mehanizmov pri zagotavljanju energijske učinkovitosti stanovanjskih stavb.

Predstavitev raziskovanega vzorca učinkovitih novogradenj Raziskava energijsko učinkovitih stanovanjskih novogradenj je potekala na vzorcu 106 reprezentativnih družinskih hiš, izbranih iz nabora prijavljenih projektov za nepovratne finančne spodbude pri Ekoskladu, j.s., z letno potrebno toploto za ogrevanje od 10 do 40 kWh/(m<sup>2</sup>a). Rezultati raziskave so v nadaljevanju predstavljeni v obliki bilančnih in parametričnih analiz, z ugotovitvami in zaključki. Prikazi rezultatov in ugotovitve se nanašajo izključno na analiziran vzorec.



Slika 1: Število etaž.

Slika 2: Kondicionirana površina stavbe.

Slika 3: Letna potrebna toplota za ogrevanje stavb.

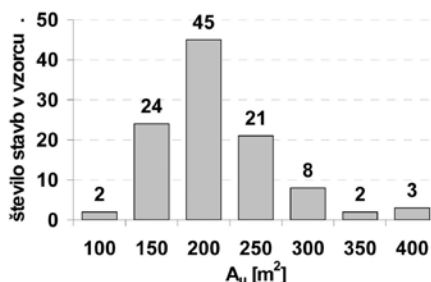
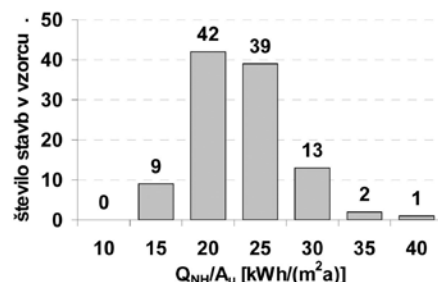


Figure 1: Number of floors.

Figure 2: Surfaces of a building's conditioned spaces.

Figure 3: Annual heat energy required for heating buildings.



Zaradi izredno visokega števila robnih parametrov ter njihovega medsebojnega vpliva na končne rezultate analiz je bil vzorec energijsko učinkovitih novogradenj namenoma zelo obsežen, pri čemer so bili objekti za obravnavo izbrani naključno, brez predhodne selekcije, torej tako kot se novogradnje pojavljajo v praksi.

V vzorec je vključenih 80% enodružinskih hiš, preostali del predstavljajo hiše z dvema gospodinjstvom ter dvodružinske hiše. 74% stanovanjskih hiš vzorca ima dve etaži (tipično P+M ali P+E), 19% jih ima tri etaže (tipično P+2E ali K+P+M), preostalih 7% pa predstavljajo pritlični ali objekti s štirimi etažami (slika 1). Kriterij kondicionirane površine (Au) t.j. ogrevane in prezračevane površine prostorov znotraj toplotnega ovoja v vzorcu stavb prav tako izkazuje (slika 2) značilnosti tipične stanovanjske gradnje, saj jih ima 42% površino med 150 in 200 m<sup>2</sup>. Manj kot 150 m<sup>2</sup> kondicionirane površine ima 25% stavb, nad 200 m<sup>2</sup> pa 33% stavb analiziranega vzorca. Energijska učinkovitost je različna – 8% novogradenj vzorca izkazuje (slika 3) letno potrebno toploto za ogrevanje v območju  $Q_{NH}/A_u \leq 15$  kWh/(m<sup>2</sup>a) (pasivne hiše), 76% v območju  $15$  kWh/(m<sup>2</sup>a) <  $Q_{NH}/A_u \leq 25$  kWh/(m<sup>2</sup>a) (zelo dobre nizkoenergijske hiše) in 16% vzorca v območju  $25$  kWh/(m<sup>2</sup>a) <  $Q_{NH}/A_u \leq 40$  kWh/(m<sup>2</sup>a) (nizkoenergijske hiše).

### Opis pristopa v načrtovanju in bilančna analiza novogradenj

Osnova koncepta za energijsko učinkovito novogradnjo izhaja iz optimalnih arhitekturnih rešitev na več področjih. Iz razumevanja energijske bilance toplotnih tokov stavbe izhajajo jasna načela, ki preferirajo večjo kompaktnost oblikovanega objekta pred volumsko razgibanostjo in diktirajo načrtovanje prosojnega dela ovoja stavbe skladno z njegovo orientacijo. Pomembno je tudi samo umeščanje stavbe v prostor. Pri zasnovi je smiselno upoštevati toplotno coniranje stavbe in izločanje

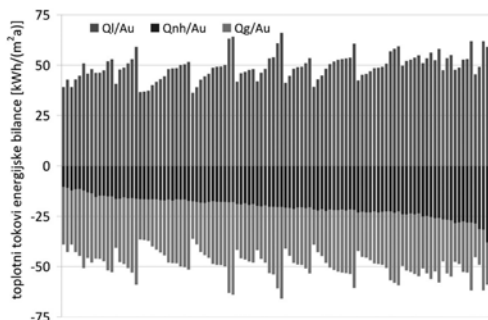
njenih neogrevanih delov iz toplotnega ovoja. Prednosti so z energijskega vidika izkazane tudi skozi racionalizacijo velikosti stavbe oziroma skozi velikost kondicionirane površine na stanovalca (Au/P).

Manevrskega prostora je pri sodobnih tehnoloških rešitvah relativno malo, saj energijsko učinkovitost projekta v prvi vrsti omogoča izpolnjevanje prej naštetih načel. Celovito arhitekturno rešitev lahko s tehnologijami za toplotno zaščito toplotnega ovoja in prezračevanjem stavbe samo dopolnujemo. Njene izhodiščne energijske danosti torej ne moremo dramatično spremeniti.

Pri obravnavi letne energijske bilance, kot je definirana v standardih [SIST EN ISO 13790:2008], se razmišljanje primarno usmeri v segment, ki je pri stanovanjskih stavbah že tradicionalno najbolj izrazit oziroma je običajno najbolj potraten, t.j. v rabo toplote za ogrevanje prostorov.

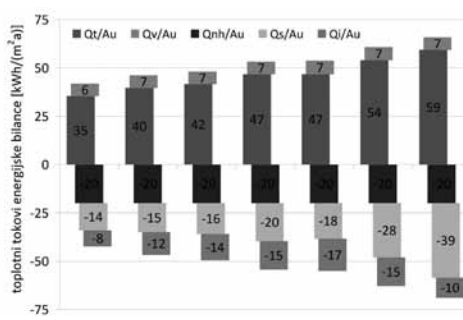
V postopku optimiranja projekta energijsko učinkovite stanovanjske stavbe, npr. pasivne hiše, ki je v evropskem prostoru z metodološkega vidika najbolj prepoznavna [Feist, 2007], moramo zagotoviti ravnovesje med energijskimi tokovi preko toplotnega ovoja stavbe, kot je definiran s standardi [SIST EN ISO 13789:2007]. Uskladitev teh osnovnih tokov vodi v ravnotežno stanje pogojev v objektu, pri čemer moramo vzpostaviti ustrezne razmere med tokovi toplotnih izgub QL (transmisijske toplotne izgube QT in prezračevalne toplotne izgube QV) in tokovi toplotnih dobitkov Qg (dobitki sončnega obsevanja Qs in notranjih virov Qi) in dovedene energije v sistemih aktivnega ogrevanja QNH, ki nastopa kot razlika toplotnih izgub in izkoristljivih dobitkov ter delovanja stavbne mase.

Postopek optimiranja stavbe v ciljni razred energijske učinkovitosti, ki se izkazuje skozi doseženo vrednost  $Q_{NH}/A_u$ , dopušča arhitektu iskanje rešitev v dveh različnih smereh. Isti končni rezultat je namreč možno doseči na dva načina, z dvema skrajnostma:



Slika 4: Rezultati projektnega optimiranja na tokovih energijske bilance.

Figure 4: Energy balance sheet flows feature results of optimisation through design.

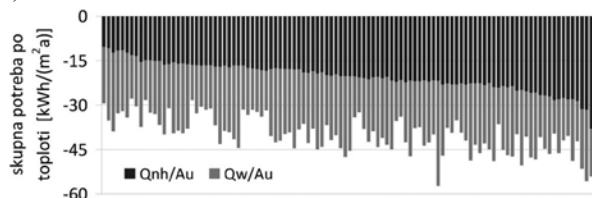


Slika 5: Primeri novogradenj iste učinkovitosti, s prikazom razhajanja tokov toplotnih izgub in dobitkov.

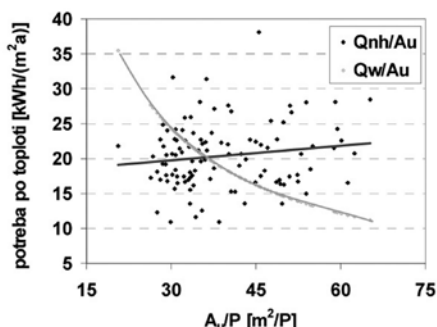
Figure 5: Examples of new builds featuring equal efficiency with representation of diverging flows of heat losses and gains.

- a) stavba ima izredno reducirane toplotne izgube ter povprečne toplotne dobitke ali
- b) stavba ima povprečne toplotne izgube ter izrazito povečane toplotne dobitke.

Prikaz možnih rešitev je razviden tudi na rezultatih optimiranih stavb iz analiziranega vzorca (slika 4). V primeru razvrstitve stavb glede na parameter QNH/Au, ki se postopoma dviguje od vrednosti 10 do 40 kWh/(m<sup>2</sup>a), je znotraj posameznih skupin hiš z istim končnim rezultatom QNH/Au razvidno takšno razhajanje. Pri tem se na levi strani skupin nahajajo stavbe, opisane v alineji "a)", na desni pa stavbe, opisane pod "b)". Na primeru skupine hiš z enakim rezultatom QNH/Au = 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) je vidno razhajanje v višinah tokov skupnih toplotnih izgub in dobitkov celo v deležu ±20% glede na povprečje skupine (slika 5). Pri običajnih, t.j. energijsko manj učinkovitih stanovanjskih stavbah, predstavlja segment priprave tople sanitarne vode približno 20% skupne porabe toplote [http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind\_id=350]. Pri energijsko učinkovitih stavbah se takšna značilna razmerja občutno spreminjajo, kar je pojasnjeno na analizi vzorca. S prilagojeno zasnovo je zagotovljena majhna letna potrebna toplota za ogrevanje, katere povprečna vrednost na analiziranem vzorcu znaša QNH/Au = 20,4 kWh/(m<sup>2</sup>a), z minimalno in maksimalno vrednostjo 10,9 in 38,1 kWh/(m<sup>2</sup>a). V segmentu tople sanitarne vode s povečevanjem učinkovitosti instalacij resda zmanjšujemo potrebe po toploti, vendar pa ne moremo zmanjševati same količine porabljene tople vode v gospodinjstvu, saj je vezana na število stanovalcev. Ob tem izhodišču zahteva topla sanitarna voda količino toplote, ki povprečno znaša Qw = 19,7 kWh/(m<sup>2</sup>a), z minimalno in maksimalno vrednostjo 11,2 in 35,5 kWh/(m<sup>2</sup>a).



Slika 6: Letne toplotne potrebe – potrebna toplota za ogrevanje stavb in pripravo tople vode.  
Figure 6: Annual heat requirements – heat energy required for heating buildings and hot water.



Slika 7: Spremembe v strukturi toplotnih potreb – toplota za ogrevanje stavb in pripravo tople vode.  
Figure 7: Changes in the heat requirement structure - heat energy required for heating buildings and hot water.

Pri energijsko najbolj učinkovitih stavbah vzorca (pasivne hiše) delež tople vode v letni potrebi po toploti v primerjavi s potrebno toploto za ogrevanje predstavlja čedalje večji delež (slika 6). Pri

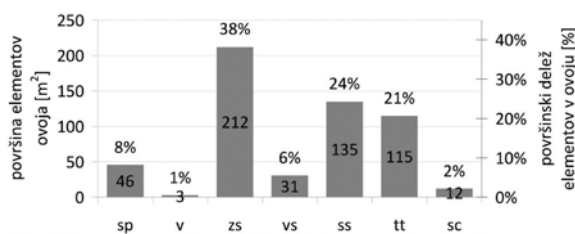
ostalih stavbah vzorca pa sta segmenta približno enakovredna oziroma postane ogrevanje prostorov zopet prevladujoče. Odvisnost obeh segmentov je parametrično najbolj značilno prikazana (slika 7) v primeru odvisnosti toplotnih potreb QNH/Au in Qw/Au od parametra stanovanjske površine Au/P. Ta parameter ima na obravnavanem vzorcu srednjo vrednost 39 m<sup>2</sup>/osebo, z minimalno in maksimalno vrednostjo 21 in 65 m<sup>2</sup>/osebo. Vrednosti QNH/Au in Qw/Au se izenačita pri vrednosti približno 20 kWh/m<sup>2</sup>a in 35 m<sup>2</sup>/osebo. Stavbe z več stanovalci imajo večji delež toplotnih potreb za ogrevanje sanitarne vode. Pri stavbah z manj stanovalci pa prevladujejo večje toplotne potrebe za ogrevanje prostorov.

### Analiza energijskih tokov z vplivnimi parametri in rezultati

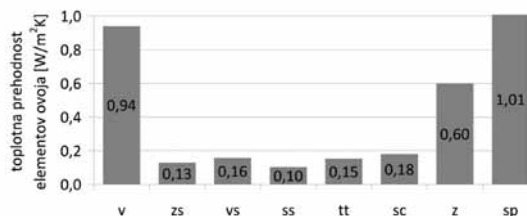
Analiza na vzorcu se v svojem prvem delu osredotoči na ključne energijske tokove letne toplotne bilance ter spoznavanje ključnih vplivnih parametrov, kot bodo izpostavljeni v naslednjem poglavju.

### I. Toplotni ovoj in transmisijske toplotne izgube

V letni energijski bilanci predstavljajo največji posamični segment toplotne izgube skozi stavbni ovoj, t.j. transmisijske toplotne izgube. Na njihovo količino vpliva velikost in sestava toplotnega ovoja. Površina različnih ključnih elementov toplotnega ovoja je odvisna od oblikovanja stavbe. Sestavo elementov toplotnega ovoja pa definirajo sistemi toplotne zaščite z doseženo toplotno prehodnostjo (U). Označevanje ključnih elementov toplotnega ovoja v prikazih na slikah je naslednje: zs – zunanja stena, vs – vkopana stena, ss – streha ali strop, tt – tla na terenu ali proti neogrevani kleti, sc – stena proti neogrevani coni, z – zasteklitev, sp – vgrajeno zunanje stavbno pohištvo, v – zunanja vrata.



Slika 8: Povprečne površine in njihovi deleži v toplotnem ovoju.  
Figure 8: Average surfaces and their shares in the thermal envelope.



Slika 9: Povprečne toplotne prehodnosti, po skupinah elementov ovoja.  
Figure 9: Average heat conduction by groups of envelope elements.

Na toplotnem ovoju stavb analiziranega vzorca (slika 8) predstavljajo največji posamični površinski delež fasade (38%), sledijo jim strehe/stropi s 24% in tla z 21%. Zaradi ustreznega toplotnega coniranja je površinski delež vkopanih sten in elementov v stiku z neogrevanimi conami relativno nizek in znaša 8%. Zunanje stavbno pohištvo ima skupni delež 8%. Povprečne vrednosti toplotnih prehodnosti elementov (slika 9),

ki mejijo na okoliški zrak, se gibljejo med  $U = 0,10$  in  $0,15$  W/(m<sup>2</sup>K), na teren in neogrevane cone meječi elementi pa med  $U = 0,15$  in  $0,18$  W/(m<sup>2</sup>K). Zasteklitve v toplotnem ovoju imajo v povprečju toplotno prehodnost  $U = 0,60$  W/(m<sup>2</sup>K), vgrajeno zunanje stavbno pohišstvo  $U = 1,0$  W/(m<sup>2</sup>K).

Povprečne transmisijske toplotne izgube predstavljajo na obdelanem vzorcu  $Q_T/A_u = 42$  kWh/(m<sup>2</sup>a), z minimalno in maksimalno vrednostjo 30 in 59 kWh/(m<sup>2</sup>a). Vgrajeno zunanje stavbno pohišstvo ima navkljub učinkovitim tehnoloških rešitvam največji posamični delež, ki znaša 41%, vendar pa navedene izgube nadomeščajo toplotni dobitki, opisani v nadaljevanju. Fasade imajo 25% delež, stropi oziroma strehe pa 13%. Izpostavljenost in površina obeh navedenih elementov ovoja zahtevata, da prav na teh mestih iščemo tehnološke rešitve z najnižjimi toplotnimi prehodnostmi. Tla na terenu ali proti kletem imajo delež 9% ter vkopane stene 5%, pri čemer milejše zahteve po toplotnih prehodnostih nastopajo predvsem zaradi nižjih specifičnih toplotnih izgub, tipično 50 do 60%, katerih vzrok je manjša temperaturna razlika (ogrevani prostor proti terenu in ne okoliškem zraku). Podobni argumenti veljajo tudi za elemente, ki mejijo na neogrevane cone (delež 4%). Toplotne izgube zaradi toplotnih mostov predstavljajo preostali delež, samo 3%, saj so ta mesta v ovoju rešena že pri načrtovanju.

## II. Prezračevanje prostorov, zrakotesnost stavb in ventilacijske izgube

Poleg transmisijskih toplotnih izgub predstavlja prezračevanje stavbe pomemben segment toplotnih izgub. To področje je sicer pri novogradnjah z vidika uvajanja učinkovitih rešitev tehnološko nekoliko oškodovano, pri sodobnih stanovanjskih stavbah pa mu pripisujemo izreden pomen, tako z vidika zagotavljanja bivalnega ugodja kot tudi z vidika energijske učinkovitosti. V kolikor se prezračevalne toplotne izgube ustrezno ne rešijo, bi lahko bile višje od transmisijskih toplotnih izgub. Pri energijsko učinkovitih stavbah obdelanega vzorca energijsko varčnih hiš pa predstavljajo zgolj  $Q_L/A_u = 7$  kWh/(m<sup>2</sup>a), z minimalno in maksimalno vrednostjo 5 in 10 kWh/(m<sup>2</sup>a). Predstavljajo torej manj kot 15% skupnih toplotnih izgub.

Pri izmenjavi ogrevanega zraka z zunanjim vplivamo na dva mehanizma prenosa toplote. Prvi mehanizem je kontrolirano prezračevanje, saj v stavbo dovajamo določeno količino svežega zraka, ki je odvisna od števila stanovalcev in režima bivanja, obenem pa odvajamo odtočni (izrabljeni) zrak. Na analiziranih stavbah je povprečna urna izmenjava zraka  $n = 0,36$  h<sup>-1</sup>, z minimalno in maksimalno vrednostjo v vzorcu 0,30 in 0,56 h<sup>-1</sup>, ki pripadata večjim in manjšim stavbam. Izmenjava zraka poteka mehansko, s pomočjo vračanja toplote v napravah z visoko učinkovitostjo (tipično 80 do 90%). Enako količino toplote bi izgubljali pri urni izmenjavi zraka približno 0,06 h<sup>-1</sup>, če ne bi uporabili vračanja toplote.

Drugi mehanizem prezračevalnih izgub nastopa zaradi nekontrolirane naravne izmenjave zraka z okolico, t.j. infiltracijo skozi ne dovolj zrakotesen stavbni ovoj. Z izredno kakovostno izvedbo stavbnega ovoja v energijsko učinkovitih stavbah dosegamo merjene vrednosti za zrakotesnost v območju  $n_{50} \leq 0,6$  h<sup>-1</sup>, ki so obenem projektno privzete tudi za potrebe analize. S tako izvedenim ovajem se odraža infiltracija v povprečni naravni izmenjavi zraka 0,04 h<sup>-1</sup>, z minimalno in maksimalno vrednostjo v vzorcu 0,03 in 0,09 h<sup>-1</sup>, kar je obenem odvisno tudi od značilnosti mikrolokacije in izpostavljenosti stavbe vetru. Nekonrolirana infiltracija na stavbah vzorca, navkljub

zrakotesnosti ovoja in učinkovitemu sistemu prezračevanja prostorov, predstavlja povprečno 40% skupnih prezračevalnih izgub!

## III. Prosojni del stavbnega ovoja in dobitki sončnega obsevanja

Dobitki sončnega obsevanja v primeru ustreznega oblikovanja, t.j. optimalnega deleža prosojnega dela stavbnega ovoja, pokrivajo pomemben del energijske bilance. Zastekljene površine namreč poleg osvetlitve prostorov z dnevno svetlobo omogočajo tudi dobitke sončnega obsevanja. Vrednosti teh dobitkov toplote predstavljajo na obdelanem vzorcu povprečno  $Q_s/A_u = 17$  kWh/(m<sup>2</sup>a), z minimalno in maksimalno vrednostjo 5 in 39 kWh/(m<sup>2</sup>a). Razhajanje teh dveh vrednosti kaže na izreden pomen prosojnega dela stavbnega ovoja.

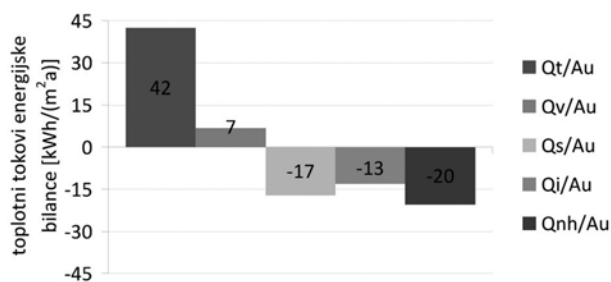
Energijska bilanca zastekljenih stavbnih elementov izkazuje na povprečju vzorca nevtralno energijsko bilanco, kar pomeni, da dobitki sončnega obsevanja popolnoma pokrivajo transmisijske toplotne izgube.

Karakteristične vrednosti zastekljenega dela toplotnega ovoja lahko predstavimo z več parametri, pri čemer je ključnega pomena število "z", t.j. razmerje površin zastekljenih stavbnih elementov in skupne površine toplotnega ovoja ( $Asp/A_u$ ). Povprečna vrednost na vzorcu analiziranih stavb je  $z = 0,08$ , z minimalno in maksimalno vrednostjo 0,04 in 0,14. Prav tako je prepoznavno tudi razmerje, kjer je prikazana odvisnost površine steklenega dela glede na ogrevano stanovanjsko površino. Povprečna vrednost znaša  $Asp/A = 0,24$ , z minimalno in maksimalno vrednostjo 0,14 in 0,46.

Razporeditev steklenih površin v ovoju glede na orientacijo je običajno najbolj odvisna od umestitve stavbe v prostor, ki je lahko omejena z lokacijskimi pogoji, in od projektne rešitve, ki je vezana na funkcijo prostorov. Vzorec stavb ima južno orientiranih 45% vseh steklenih površin, z minimalno in maksimalno vrednostjo 11% in 85%.

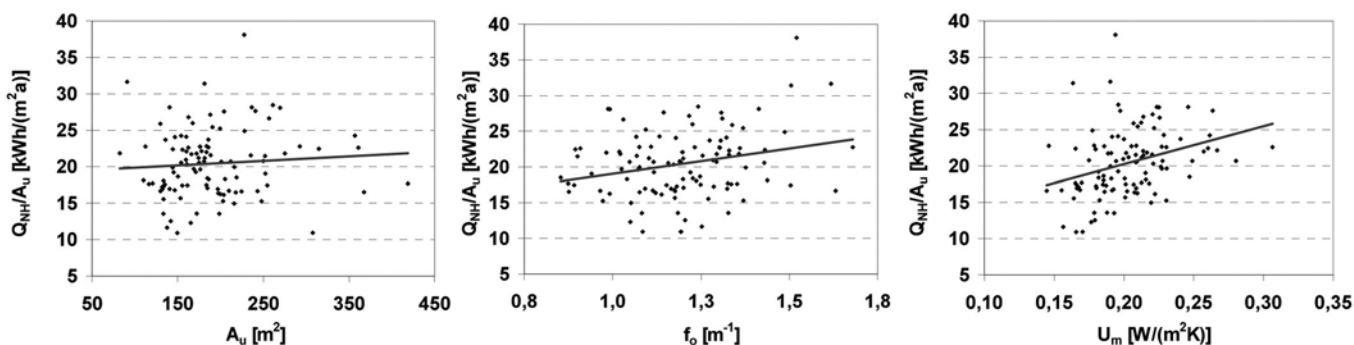
## IV. Bivanje in dobitki notranjih virov toplote

Notranji toplotni viri predstavljajo drugi del toplotnih dobitkov, ki velikostno skoraj dosegajo dobitke sončnega obsevanja. Vrednosti zanje znašajo povprečno  $Q_i/A_u = 13$  kWh/(m<sup>2</sup>a), z minimalno in maksimalno vrednostjo 8 in 24 kWh/(m<sup>2</sup>a).



Slika 10: Povprečne vrednosti energijskih tokov.  
Figure 10: Average energy flow values.

Notranji viri nastajajo zaradi delovanja električnih naprav v gospodinjstvu in razsvetljave, poleg tega toploto oddajajo tudi stanovalci. Analizirane stanovanjske stavbe so v povprečju projektirane za bivanje petih oseb, pri čemer se pojavljajo odstopanja navzdol pri enodružinskih hišah, s predvidenim bivanjem treh oseb, ter odstopanja navzgor pri dvodružinskih hišah, s predvidenim bivanjem osmih oseb. Ob takšnih pogojih



Slika 11: Odvisnost potrebne toplote za ogrevanje in površine kondicioniranih prostorov.

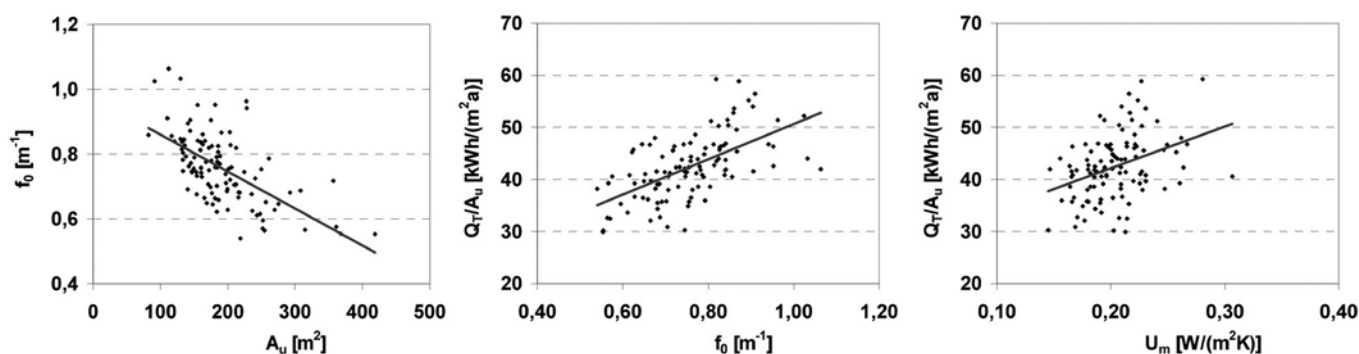
Figure 11: Interdependence of the heat required for heating and the surface of conditioned spaces.

Slika 12: Odvisnost potrebne toplote za ogrevanje in faktorja oblike.

Figure 12: Interdependence of the heat required for heating and the shape factor.

Slika 13: Odvisnost potrebne toplote za ogrevanje in povprečne toplotne prehodnosti.

Figure 13: Interdependence of the heat required for heating and average thermal conduction.



Slika 14: Odvisnost kondicionirane površine in faktorja oblike.

Figure 14: Interdependence of conditioned surface and shape factor.

Slika 15: Odvisnost transmisijskih toplotnih izgub in faktorja oblike.

Figure 15: Interdependence of transmission heat losses and shape factor.

Slika 16: Odvisnost transmisijskih toplotnih izgub in povprečne toplotne prehodnosti.

Figure 16: Interdependence of transmission heat losses and average thermal conduction.

se odražajo povprečni toplotni dobitki s specifično močjo 2,7 W/m<sup>2</sup>, z minimalno in maksimalno vrednostjo 1,6 in 5,0 W/m<sup>2</sup>. Toplotne dotoke v približno polovičnem obsegu predstavlja oddana toplota stanovalcev, preostali del generira tehnika, ki se nahaja znotraj toplotnega ovoja.

Toplotnih dobitkov v energijski bilanci stavba (slika 10) ne more v celoti izkoristiti za ogrevanje prostorov. V tem mehanizmu igrata ključno vlogo razmerje toplotnih izgub in dobitkov ter po drugi strani sledljivost sistema ogrevanja oziroma njegovo dinamično prilagajanje nastalim razmeram. Energijsko učinkovite stavbe posledično v povprečju izkoristijo 96% toplotnih dobitkov, najmanj 89 in največ 99%.

### Analiza vpliva posameznih ključnih parametrov

Primerjava nekaterih značilnih parametrov in njihov vpliv na doseženo energijsko učinkovitost analiziranih stavb nam daje informacije, na osnovi katerih si lahko poenostavljeno tolmačimo principe in učinke ključnih mehanizmov znotraj energijske bilance. Tako oblikovana območja zelenih vrednosti za parametre in poznavanje gibanj teh vrednosti lahko služijo kot pomoč pri hitri presoji energijske učinkovitosti idejne zasnove. Poglobljena presoja in optimizacija projekta namreč sledi šele, ko so podlage za novogradnjo konkretnije oblikovane. V takšnem času pa je skok načrtovalca nazaj, v kolikor presoja pokaže na nesprijemljive rezultate, na nivo spreminjanja ključnih idejnih parametrov, neracionalen.

Za energijsko učinkovite stanovanjske stavbe lahko ugotovimo, da povečevanje enodružinske ali dvodružinske stavbe (s tem

mislimo na ogrevano površino prostorov  $A_u$  ali razmerje  $A_u/P$ ), ob enakih vsebinah in oblikovanju stavbe, vodi v večje potrebe po energiji za ogrevanje (slika 7 in 11). Ta ugotovitev ne velja za energijsko manj učinkovite stavbe, kjer se s povečevanjem ogrevane površine potreba po toploti za ogrevanje zmanjšuje. Vzrok tej ugotovitvi za energijsko učinkovite novogradnje je tudi dejstvo, da se s povečevanjem stavbe zmanjšuje koncentracija notranjih toplotnih virov. S povečanjem stavbe se minimalno povečujejo transmisijske toplotne izgube, ki količinsko niso sorazmerne zmanjšanju notranjih toplotnih dotokov. Večina analiziranih objektov ima kondicionirano površino med 100 in 200 m<sup>2</sup> ter vrednost  $A_u/P$  od 25 do 40 m<sup>2</sup>/osebo.

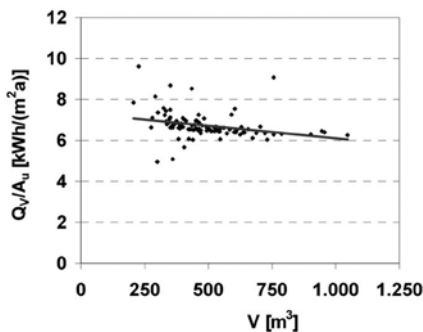
Rezultati analize obenem potrjujejo dve ugotovitvi:

- potrebe po toploti za ogrevanje prostorov naraščajo s povečevanjem razgibanosti objekta (slika 12) oziroma večanjem faktorja oblike stavbe ( $f_0$ );
- potrebe po toploti za ogrevanje prostorov naraščajo (slika 13) s povečevanjem povprečne toplotne prehodnosti ( $U_m$ ).

Vzrok za to so transmisijske toplotne izgube, ki pri optimiranih stavbah v energijski bilanci še vedno prevladujejo. Za povečevanje energijske učinkovitosti stavb smo namreč predhodno drastično zmanjšali toplotne izgube prezračevanja (zrakotesnost izvedbe in učinkovito prezračevanje). Večina analiziranih objektov je v območju faktorja oblike  $f_0 = 0,6$  in 1,0 m<sup>-1</sup> ter ima srednjo toplotno prehodnost ovoja med  $U_m = 0,15$  in 0,25 W/(m<sup>2</sup>K).

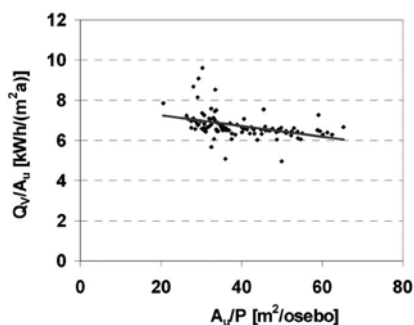
Posebna skrb pri optimiranju je namenjena oblikovanju čim

bolj kompaktnega objekta. Ob povečevanju stavbe se faktor oblike hitro zmanjšuje (slika 14). To pomeni, da ima razgibanost objekta bistveno večji, t.j. negativni, vpliv pri (občutljivih) manjših stavbah. Pri večjih objektih, kjer ima arhitekt več svobode, ima večji faktor oblike manj negativnih posledic na porabo energije za ogrevanje. Iz prikazov analiziranega vzorca je razvidno, da ima faktor oblike na transmisijske izgube večji vpliv (slika 15) kot povprečna toplotna prehodnost (slika 16). Pri njem je namreč raztros vzorca večji in ne kaže tako izrazite povezanosti.



Slika 17: Odvisnost prezračevalnih toplotnih izgub in neto ogrevane prostornine stavbe.

Figure 17: Interdependence of ventilation heat losses and net building heated volume.

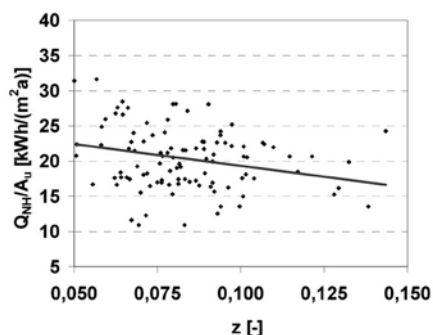


Slika 18: Odvisnost prezračevalnih toplotnih izgub in kondicionirane površine na stanovalca.

Figure 18: Interdependence of ventilation heat losses and conditioned surface by occupant.

Iz rezultatov na vzorcu je razvidno tudi, da se prezračevalne toplotne izgube zmanjšajo v naslednjih primerih:

- ob povečanju velikosti stavbe ter s tem povečanju (slika 17) njene neto ogrevane prostornine (V);



Slika 19: Odvisnost potrebne toplote za ogrevanje in deleža steklenih površin v ovoju.

Slika 20: Odvisnost potrebne toplote za ogrevanje in deleža južno orientiranih površin oken.

Slika 21: Odvisnost energijske bilance oken in deleža južno orientiranih površin oken.

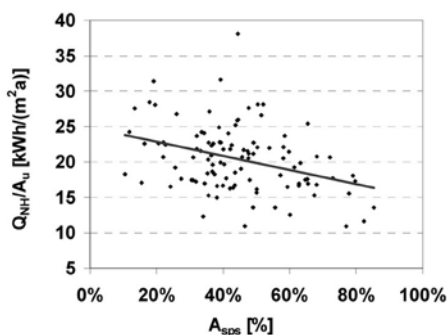


Figure 19: Interdependence of the heat required for heating and the share of glazed surfaces of the envelope.

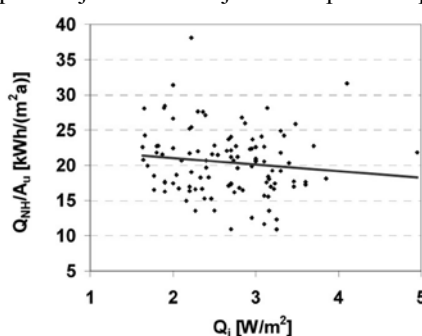
Figure 20: Interdependence of the heat required for heating and the share of south facing surfaces.

Figure 21: Interdependence of the heat required for heating and the share of south facing window surfaces.

- ob povečevanju kondicionirane površine na stanovalca (slika 18).

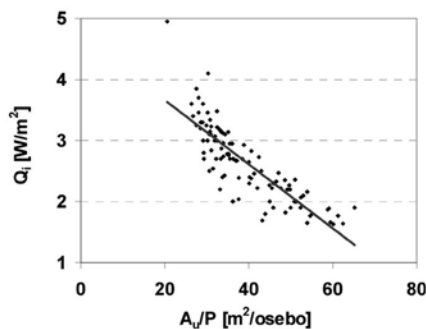
Vzrok za to ugotovitev je dejstvo, da je pri določanju intenzivnosti prezračevanja bolj odločilna količina svežega zraka, ki je odvisna od števila stanovalcev, kot pa količina zraka, ki ga moramo iz zgradbe odvajati.

Načela oblikovanja zastekljenega dela toplotnega ovoja občutno vplivajo na energijske karakteristike obratovanja stavb, saj dobitki sončnega obsevanja v toplotni bilanci analiziranega vzorca pokrivajo eno tretjino skupnih toplotnih izgub.



Slika 22: Odvisnost notranjih virov toplote in potrebne toplote za ogrevanje.

Figure 22: Interdependence of interior heat sources and heat required for heating.



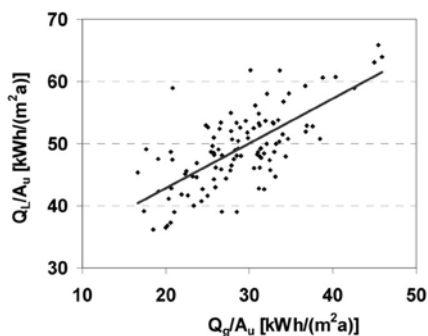
Slika 23: Odvisnost ogrevane površine na stanovalca in notranjih virov toplote.

Figure 23: Interdependence of heated surface by resident and interior heat sources.

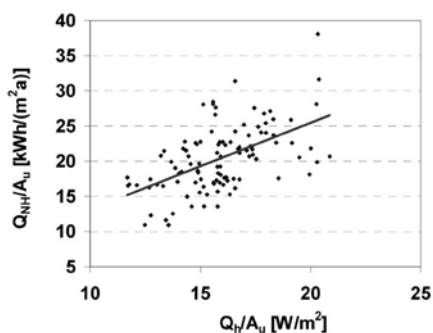
S povečevanjem deleža steklenih površin v ovoju (slika 19) ter sočasnim orientiranjem zastekljenih površin pretežno v južni smeri (slika 20) se rezultat bilance občutno izboljšuje. Pri tem je pomemben delež steklenih površin v stavbnem ovoju, ki se na večini vzorca giblje med 7 in 10%, oziroma delež steklenih

površin na ogrevano površino stanovanjske enote, kjer je delež med 20 in 30%. Delež južno orientiranih steklenih površin se giblje med 30 in 70%. Energijsko bilanco zastekljenih površin predstavlja razmerje dobitkov sončnega obsevanja in transmisijskih toplotnih izgub oken. Analiza prikazuje (slika 21), da je nevtralen rezultat bilance (vrednost razmerja  $Q_s = Q_{Tsp}$ ) dosežen ob približno 50% južnem orientiranju steklenih površin. V primeru 20% južne orientiranosti se razmerje dobitkov in izgub zmanjša na 80% (negativna bilanca). Ob 80% deležu prosojnega dela ovoja proti jugu pa postane bilanca pozitivna, s toplotnim presežkom v višini kar 30%.

Tipične vrednosti notranjih virov toplote za stavbe vzorca so v območju med 2,0 in 3,5 W/m<sup>2</sup> (slika 22), pri čemer njihove vrednosti ob enakih vsebinah stavbe ni mogoče bistveno povečevati, v praksi jih je dolgoročno možno samo zmanjšati. Za primer povečevanja teh virov bi stavba potrebovala večje število stanovalcev od projektiranega ali pa občutno manj učinkovite naprave v gospodinjstvu, kar pa seveda ni dolgoročni razvojni cilj oziroma trajnostni vidik rabe stavb. Ker je intenzivnost uporabe naprav v stavbi odvisna skoraj izključno od števila stanovalcev, je jasen trend povečevanja notranjih dobitkov ob zmanjševanju ogrevane površine na stanovalca (slika 23).



Slika 24: Odvisnost skupnih toplotnih dobitkov in toplotnih izgub.  
 Figure 24: Interdependence of total heat gains and heat losses.



Slika 25: Odvisnost potrebne toplotne moči za ogrevanje in potrebne toplote za ogrevanje.  
 Figure 25: Interdependence of the required thermal power for heating and the heat required for heating.

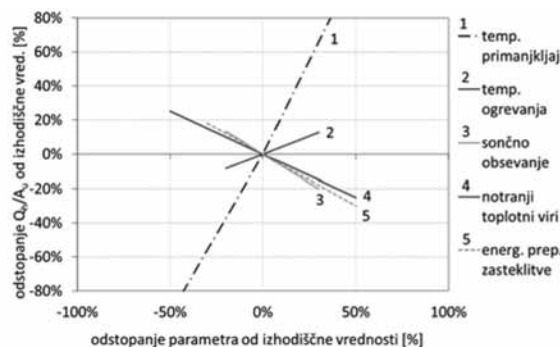
S povečevanjem toplotnih izgub stavbe se potreba po toploti za ogrevanje povečuje, s povečevanjem toplotnih dotokov pa zmanjšuje. V primeru manjših vrednosti energijskih tokov (slika 24) lahko skupni toplotni dobitki dosežajo manj kot polovico skupnih toplotnih izgub, v primeru visokih vrednosti energijskih tokov pa se delež pokrivanja lahko dvigne na tri četrtine. Ta ugotovitev sovпада s predhodno identificiranimi scenariji iskanja enakovrednih rešitev za energijsko učinkovito gradnjo v dveh smereh razmišljanja: nizke izgube ob nizkih dotokih ali pa visoke izgube ob visokih dotokih (slika 4 in 5).

Zagotavljanje ustrezne toplotne moči za ogrevanje v konici ogrevalne sezone (slika 25) sledi siceršnjim potrebam stavbe po toploti za ogrevanje, saj je mehanizem določitve vrednosti podoben, pri čemer prve vrednosti v povprečju vedno dosežajo 80% druge, v siceršnjem območju med  $Q_h/A_u = 12$  in  $20$  W/m<sup>2</sup>. Pri stavbah s  $Q_{NH}/A_u < 20$  kWh/(m<sup>2</sup>a) izenačevanje obeh vrednosti ne bi nujno vodilo v večjo napako ter lahko služi za hitre ocene. Za določitev skupne potrebne toplotne moči se ustrezno upošteva še del rezervirane moči za pripravo tople sanitarne vode, sicer neposredno odvisne zgolj od števila stanovalcev, s siceršnjimi vrednostmi v istem razredu, t.j. med 10 in 20 W/m<sup>2</sup>!

### Analiza občutljivosti na rezultatih vzorca za identificirane ključne parametre

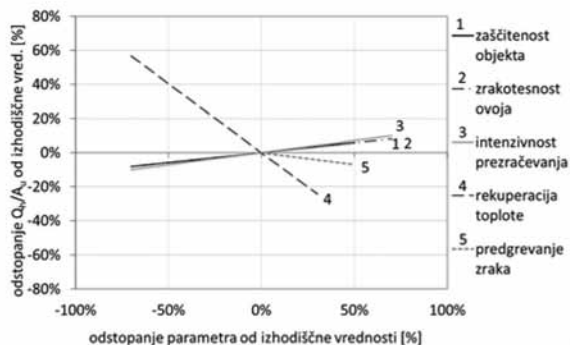
Pri vrednotenju učinka sprememb posamičnih parametrov na doseženo energijsko učinkovitost si pomagamo z analizo občutljivosti, ki je prikazana v treh nivojih:

Pri obravnavi prve serije petih parametrov (slika 26) je energijska bilanca stavb na analiziranem vzorcu najbolj občutljiva na parameter temperaturnega primanjkljaja mikrolokacije, ki sicer na domače klimatske razmere tipično variira med vrednostmi  $\pm 30\%$  glede na referenčno izhodišče, s posledično spremembo učinkovitosti v območju  $\pm 60\%$ . Temperatura ogrevanih prostorov ima trend v isti smeri in tipično variira v območju med projektno vrednostjo (0%) in  $+20\%$ , na rezultat pa v tem primeru vpliva s prirastom  $+10\%$ . Parametri notranjih virov toplote, globalnega sončnega obsevanja na mikrolokaciji in faktorja prepustnosti celotnega sončnega obsevanja zasteklitve vplivajo na spremembo rezultata v nasprotni smeri, z dokaj podobnim učinkom. V primeru povečanja parametra za  $+20\%$  se končni rezultat zmanjša za 10 do 15%.



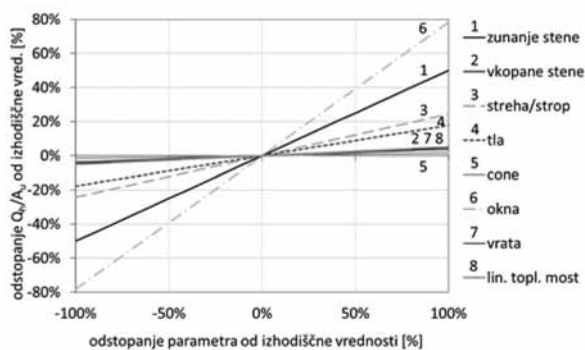
Slika 26: Analiza občutljivosti na parametre lokacije in parametre dobitkov toplote.  
 Figure 26: Analysis of sensitivity to location parameters and heat gains parameters.

Druga serija petih parametrov (slika 27), ki vplivajo na prezračevalne toplotne izgube, kaže na največje spremembe rezultata pri variaciji učinkovitosti vračanja toplote v sistemu prezračevanja. Realna sprememba parametra v obsegu  $\pm 10\%$  se odraža v spremembi učinkovitosti  $\pm 8\%$ . Neprimerno manjši vpliv ima uvajanje sistema predgrevanja svežega zraka, kjer bi ob stopnji 50% predgretja dosegali znižanje končnega rezultata za manj kot 10%. Parameter urne izmenjave zraka v stavbi s prezračevanjem ter parameter dosežene zrakotesnosti stavbnega ovoja imata praktično identičen učinek. Povečanje vrednosti vsakega parametra za 60% se odraža v dvigu toplotnih potreb za 10%.



Slika 27: Analiza občutljivosti na parametre prezračevanja.  
Figure 27: Analysis of sensitivity to ventilation parameters.

Tretja serija spremenljivk obravnava učinke toplotne zaščitne elementov toplotnega ovoja skozi variacijo toplotnih prehodnosti. Končni rezultat (slika 28) je najbolj občutljiv pri karakteristikah oken, kjer je pričakovano spreminjanje toplotne prehodnosti  $U$  v območju  $\pm 30\%$  ter končnega rezultata na nivoju  $\pm 20\%$ . Po učinkih v isti smeri sledijo zunanje stene, strehe in tla, kjer ob spremembi parametra  $\pm 30\%$  dosegamo spremembe  $\pm 15\%$  ter  $\pm 8\%$  in  $\pm 6\%$ . Minimalen učinek na končni rezultat imajo vkopane stene in elementi proti neogrevanim prostorom ter vrata, na kar vplivajo predvsem zanemarljivi površinski deleži glede na povprečno velikost ovoja.



Slika 28: Analiza občutljivosti na parametre toplotne zaščitne elementov ovoja.  
Figure 28: Analysis of sensitivity to parameters of the thermal protection of the envelope elements.

### Primerjava vzorca novogradenj in zahtev zakonodaje s področja energijske učinkovitosti

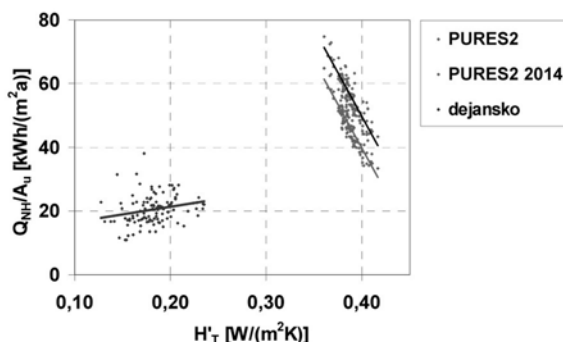
Veljavna slovenska zakonodaja s področja energijske učinkovitosti v stavbah [Ur.l. 52/10] regulira minimalno učinkovitost stanovanjskih stavb skozi dva ključna parametra: potrebno toploto za ogrevanje stavbe in količnik specifičnih transmissijskih toplotnih izgub ( $H_T$ ). Najvišja dopustna vrednost prvega parametra se določa na podlagi faktorja oblike stavbe in projektne letne temperature na lokaciji novogradnje (TL). Drugi parameter pa poleg obeh že naštetih upošteva še razmerje površine oken in toplotnega ovoja ( $z$ ). Za obdobje do leta 2014 veljajo prehodni pogoji, kjer je dopustna vrednost za potrebno toploto za ogrevanje stavbe nekoliko nižja.

Ob primerjavi (slika 29) obeh izračunanih dopustnih parametrov za stanovanjske stavbe analiziranega vzorca ter dejansko izračunanih vrednosti za parametra je možno zaključiti, da se sodobne energijsko učinkovite družinske hiše dejansko ponašajo z učinkovitostjo toplotne zaščitne stavbnega ovoja, posredno

prikazano skozi  $H_T$ , ki se v izračunanem povprečju nahaja pod polovico vrednosti dopustne omejitve. Do enakega zaključka pridemo tudi na drugem omejujočem parametru t.j. potrebni toploti za ogrevanje. Na primeru tega prvega prikaza je za objekte privzeto, da se nahajajo na področju, tipične t.j. najbolj pogoste klime, kot jo oblikujejo temperaturni parametri.

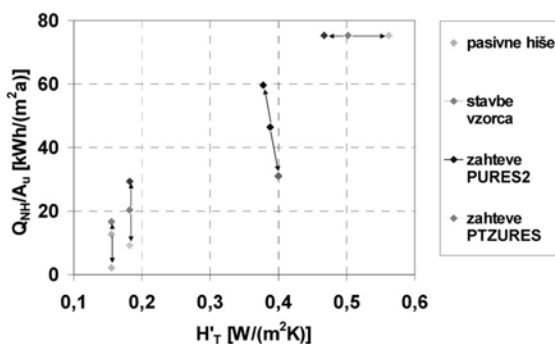
Na sliki 30 so v informacijo (poleg najbolj pogoste, t.j. referenčne klime) prikazana odstopanja za najbolj blago ter najbolj ostro klimo. Poleg izračunanih dopustnih vrednosti aktualne zakonodaje ter dejanskih izračunanih vrednosti za vzorec analiziranih stavb so v tem prikazu dodani (desno zgoraj) še dopustni kriteriji predhodne zakonodaje [Ur.l. 42/02] ter izračunane vrednosti za vzorec stavb (levo spodaj), v kolikor bi bil termični ovoj stavb zasnovan skladno z definicijo standarda pasivne hiše [Feist, 1998].

Na osnovi prikazov je jasno razviden napredek, kateremu smo priča na področju zakonodajnih zahtev v zadnjih desetih letih. Pri omejevanju toplote za ogrevanje je vidna povprečna zaostritev za skoraj 40%, pri toplotni zaščiti ovoja pa za več kot 20%. Po drugi strani pa nas izredno (praktično 100%) razhajanje med rezultati sedanje dobre gradbene prakse in aktualnimi zakonodajnimi omejitvami opozarja na dejstvo, da pri načrtovanju učinkovitih novogradenj nikakor ne smemo izhajati samo iz zakonskih izhodišč (dopustnih vrednosti).



Slika 29: Dopustna učinkovitost stanovanjskih stavb in dejanske računske vrednosti, referenčna klima.

Figure 29: Allowable efficiency of residential buildings and actual computational values, reference climate.



Slika 30: Dopustna učinkovitost stanovanjskih stavb in dejanske računske vrednosti, variacije klimatskih pogojev.

Figure 30: Allowable efficiency of residential buildings and actual computational values, climate conditions variations.

### Zaključne ugotovitve

Raziskava na vzorcu 106 hiš iz razreda pasivnih (letna poraba energije za ogrevanje največ 15 kWh/(m<sup>2</sup>a)), zelo dobrih nizkoenergijskih (15 do 25 kWh/(m<sup>2</sup>a)) in nizkoenergijskih hiš (25 do 40 kWh/(m<sup>2</sup>a)) je pokazala, da je premišljeno načrtovanje



zelo pomembno za doseganje energijske učinkovitosti. V članku so sproti predstavljeni principi optimizacije na posameznih ukrepih, v zaključku so še enkrat izpostavljene ključne ugotovitve.

1. Arhitekturni koncepti za gradnjo tipične energijsko učinkovite stanovanjske stavbe izhajajo iz potreb investitorja (tipično mlade družine), kar se odraža na visokem deležu enodružinskih hiš. Želje po finančnem obvladovanju investicije vodijo v manjše bivalne površine, saj se meje pomikajo z več kot 200 m<sup>2</sup> na manj kot 150 m<sup>2</sup> oziroma 25 do 35 m<sup>2</sup> na stanovalca, kar pozitivno vpliva tudi na končno energijsko učinkovitost. Večji objekti z isto vsebino so namreč energijsko manj učinkoviti.

2. Jasno definirana je postala meja med ogrevanim bivalnim in manj ogrevanim ali celo neogrevanim pomožnim delom, ki mora biti ustrezno izločen iz toplotnega ovoja, kar je predpogoj za enostavnost in racionalnost projektne rešitve. Stavbe vzorca obenem izkazujejo manj kot 10% površinski delež vkopanih elementov, kar nakazuje, da kletne etaže večinoma niso ogrevane.

3. Z vidika energijske učinkovitosti novogradnje niso posebej občutljive na sam načelni pristop k oblikovanju stavbe, saj se lahko ustrezna rešitev išče v smeri sodobnih ali tudi tradicionalnih zahtev po izgledu. Arhitekt pa mora biti v iskanju razgibanosti volumna pri manjših stavbah bistveno bolj previden kot pri večjih, saj so le-te z vidika oblikovnega faktorja izredno občutljive na spremembe.

4. Tehnološke rešitve sistemov toplotne zaščite neprosojnega dela ovoja lahko izrazito razgibanost volumna z vidika toplotnih izgub le delno nevtralizirajo, pri čemer se mora upoštevati nesorazmerno višjo dodatno investicijo. Toplotne prehodnosti elementov ovoja, ki mejijo na zrak, naj bi se gibale med  $U = 0,10$  in  $0,15$  W/(m<sup>2</sup>K). Elementi, ki mejijo na teren, imajo lahko toplotno prehodnost nad navedeno zgornjo mejo. Zunanje stavbno pohišstvo za nizkoenergijske hiše mora imeti toplotno prehodnost  $U < 1,0$  W/(m<sup>2</sup>K), za pasivne hiše pa  $U \leq 0,8$  W/(m<sup>2</sup>K). Pri tem je odločilnega pomena sočasen izbor zasteklitev s faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja  $g > 0,5$ .

5. Poleg jasno definirane meje toplotnega ovoja stavbe mora biti projektno določena in zagotovljena tudi zrakotesna ravnina. Izvedeni objekti naj bi izkazovali zrakotesnost  $n_{50} \leq 0,60$  h<sup>-1</sup>, kar poleg projektnega reševanja zahteva preverjene tehnološke rešitve in dosleden nadzor gradnje. Pomen zrakotesnosti ovoja pri energijski učinkovitosti stavbe potrjuje tudi ugotovitev, da navkljub kakovostni izvedbi ovoja (v prej navedenem razredu) predstavlja nekontrolirana izmenjava zraka z okolico v skupnih prezračevalnih toplotnih izgubah še vedno 30 do 50% delež.

6. Vračanje toplote v sistemu prezračevanja je ključnega pomena, saj je to najbolj vpliven parameter prezračevalnih toplotnih izgub. Prezračevalne naprave morajo v energijsko učinkovitih stavbah zagotavljati najmanj 85% temperaturni izkoristek. Povečevanje intenzivnosti prezračevanja nad potrebno mejo nima tako pomembnega energijskega vpliva kot samo vračanje toplote (50% višjo izmenjavo izniči 10%

višja učinkovitost), poleg tega pa v ogrevalni sezoni negativno vpliva na kakovost zraka (nizka relativna vlažnost). Zaradi obeh razlogov naj imajo pri izboru tehnologije prednost entalpijski izmenjevalniki (vračanje vlage in toplote).

7. Uskladitev toplotnih izgub in dobitkov je ključnega pomena za doseženo energijsko učinkovitost stavbe. V tem procesu je potrebno v primerih stavb z visokimi toplotnimi izgubami iskati dodatne možnosti za povečevanje toplotnih dobitkov (npr. večje zastekljene površine), pri stavbah z ustrezno zmanjšanimi toplotnimi izgubami pa takšni dodatni arhitekturni ukrepi niso potrebni.

8. Bistvenega pomena je umeščanje stavbe v prostor ter odpiranje prosojnega dela stavbe proti jugu. Delež zastekljenih površin na ovoju naj bo okrog 10%, od tega naj jih bo več kot 50% orientiranih južno, kar jim posledično zagotavlja pozitivno energijsko bilanco.

Izpolnjevanje naštetih kriterijev v večini primerov vodi novogradnjo v razred zelo dobrih nizkoenergijskih hiš (15 do 25 kWh/(m<sup>2</sup>a)), zato je v finalizaciji rešitev nujno potrebna računsko presoja. Tako optimirana stavba bo lahko obenem imela potrebe po toploti za ogrevanje prostorov v podobnem razredu kot so tiste pri pripravi tople sanitarne vode. Tako nizke skupne toplotne potrebe je potrebno uskladiti z generatorji toplote manjših moči, običajno manj kot 30 W/m<sup>2</sup> (največkrat toplotnih črpalk), in sistema ogrevanja s hitro odzivnostjo.

### Viri in literatura

- Eko sklad j.s. (2008): Javni razpis za nepovratne finančne spodbude občanom za rabo obnovljivih virov energije in večjo energijsko učinkovitost stanovanjskih stavb 1SUB-OB08
- Eko sklad j.s. (2010): Javni poziv za nepovratne finančne spodbude občanom za nove naložbe rabe obnovljivih virov energije in večje energijske učinkovitosti stanovanjskih stavb 4SUB-OB10
- Eko sklad j.s. (2011): Javni poziv nepovratne finančne spodbude občanom za nove naložbe rabe obnovljivih virov energije in večje energijske učinkovitosti stanovanjskih stavb 6SUB-OB11
- Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, Mednarodni standard SIST EN ISO 13790:2008.
- Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation method, Mednarodni standard SIST EN ISO 13789:2007.
- Evropski parlament, Directive 2010/31/EU, <http://www.buildup.eu/publications/9662> <dostop oktober 2011>
- Feist, W., (1996): Life-cycle energy balances compared: low-energy house, passive house, self-sufficient house. V: Proceedings of the International Symposium of CIB W67. Dunaj, 183-190.
- Feist, W., (1998): Das Passivhaus – Baustandard der Zukunft?. Protokollband Nr.12, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Feist, W., (2007): Passivhaus Projektierungs Paket 2007 Handbuch. Passivhaus Institut, Darmstadt
- Georges, L. et al (2011): Environmental and economic performance of heating systems for energy-efficient dwellings: Case of passive and low-energy single-family houses, Energy Policy, doi:10.1016/j.enpol.2011.10.037.
- Keul, A., (2010): Subjective/objective temperature/humidity in the Passive House Kammelweg in Austria. V: Feist, W.(ur.). 14 th International Passive House Conference, 28th -29 th of May 2010, Dresden, Passive House Institut Darmstadt, str. 387-392.
- Poraba energije in goriv v gospodinjstvih [PG04]: [http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind\\_id=350](http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=350) <dostop, september 2011>.
- Schnieders, J., Hermelink, A. (2006): CEPHEUS results: measurements and occupants" satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. Energy Policy 34, 151-171.
- Ur.l. RS 42 (2002): Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah.
- Ur.l. RS, 52 (2010): Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah.