

2010/2

Arhitektura, raziskave
Architecture, Research

UDK 72: 620.92
COBISS 1.02

MARTINA ZBAŠNIK-SENEGAČNIK,
ANDREJ SENEGAČNIK

41 - 46

PREDNOSTI PASIVNE HIŠE

***THE ADVANTAGES OF PASSIVE
HOUSES***



Fakulteta za arhitekturo
Inštitut za arhitekturo in prostor
Ljubljana 2010

ISSN 1580-5573

AR

Arhitektura, raziskave
Architecture, Research
2010/2



Fakulteta za arhitekturo
Inštitut za arhitekturo in prostor
Ljubljana 2010

AR

Arhitektura, raziskave / *Architecture, Research*

Fakulteta za arhitekturo
Inštitut za arhitekturo in prostor

ISSN 1580-5573
ISSN 1581-6974 (internet)
<http://www.fa.uni-lj.si/ar/>

revija izhaja dvakrat letno / published twice a year
urednik / editor
Borut Juvanec

regionalna urednika / regional editors
Grigor Doytchinov, Avstrija
Lenko Pleština, Hrvaška

uredniški odbor / editorial board
prof dr Vladimir Brezar
prof dr Peter Fister
prof dr Borut Juvanec
prof dr Igor Kalčič
doc dr Ljubo Lah

znanstveni svet / scientific council
prof dr Paul Oliver, Oxford
prof Christian Lassurance, Pariz
prof Enzo d'Angelo, Firenze

recenzentski svet / supervising council
prof dr Kaliopa Dimitrovska Andrews
akademik dr Igor Grabec
prof dr Hasso Hohmann, Gradec
prof mag Peter Gabrijelčič, dekan FA

tehnični urednik / technical editor
doc dr Domen Zupančič

prelom / setting
Astroni d.o.o.

lektoriranje, .slovenščina / proofreading, Slovenian
Karmen Sluga

prevodi, angleščina / translations, English
Milan Stepanovič, Studio PHI d.o.o.

klasifikacija / classification
mag Doris Dekleva-Smrekar, CTK UL

uredništvo AR / AR editing
Fakulteta za arhitekturo
Zoisova 12
1000 Ljubljana
Slovenija
urednistvo.ar@fa.uni-lj.si

naročanje / subscription
cena številke je 17,60 EUR / price per issue 17,60 EUR
za študente 10,60 EUR / student price 10,60 EUR
urednistvo.ar@fa.uni-lj.si

revija je vpisana v razvid medijev pri MK pod številko 50
revija je indeksirana: Cobiss, ICONDA

za vsebino člankov odgovarjajo avtorji / authors are responsible for their articles

revijo sofinancirata / cofinanced

JAK, Javna agencija za knjigo RS

tisk / printing
Tiskarna Pleško

Uvodnik / Editorial	i
Poklon / Tribute to	5
V spomin / In memoriam	9
Članki / Articles	
Igor Toš	13
Antropologija in vernakularno kot izvora razumevanja antropogenega okolja / <i>Anthropology and Vernacular Architecture as Sources for Understanding the Anthropogenic Environment</i>	
Beatriz Tomšič Čerkez	23
Arhitektura med gradnjo in rušenjem identitete / <i>Architecture Between Building and Destroying Identity</i>	
Vjekoslava Sankovic Simčič	31
Integracija staro-novo / <i>Integrating the Old and New</i>	
Martina Zbašnik-Senegačnik, Andrej Senegačnik	41
Prednosti pasivne hiše / <i>The Advantages of Passive Houses</i>	
Alexander G. Keul	47
Vrednotenje večnadstropnih avstrijskih pasivnih stanovanjskih zgradb po vselitvi / <i>Post-occupancy Evaluation of Multistorey Austrian Passive Housing Properties</i>	
Larisa Brojan	53
Ekološke in energijsko varčne hiše iz slamnatih bal / <i>Ecological and Energy Saving Straw-bale Houses</i>	
Biljana Arandjelovic, Ana Momčilovic-Petronijevic	59
Arhitektura vodnih mlinov v južni Srbiji / <i>The Water Mills Architecture in the South of Serbia</i>	
Saša Krajnc	63
Avtorska pravica kot instrument zaščite arhitekturnih del / <i>Copyright as an Instrument of Protection of Architectural Works</i>	
Peter Marolt	71
Sinergija misli, slikarstva in oblikovanja prostora na daljnem vzhodu / <i>The Synergy of Mind, Painting and Spatial Design in the Far East</i>	

izvleček

Pasivna hiša je trenutno optimalna energijsko varčna zgradba. Zaradi kvalitetnega toplotnega ovoja, ustrezne zrakotesnosti in vgrajenega sistema kontroliranega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka so njene letne potrebe po energiji za ogrevanje največ 15 kWh/(m²a), kar se pokrije s t.i. toplozračnim ogrevanjem. Pasivna hiša ima številne prednosti pred objekti, v katerih živimo danes. Poleg nizke porabe energije (in s tem manjšo odvisnost od fosilnih virov energije) in nizkih vzdrževalnih stroškov je njena prednost predvsem v vedno svežem, toplem in čistem zraku. Zaradi sorazmerno velikih steklenih površin nudi tudi veliko svetlobno ugodje. V članku so utemeljene prednosti, ki jih ima pasivna hiša, z izračuni, meritvami in ugotovitvami raziskav drugih avtorjev.

ključne besede

pasivna hiša, energijska varčnost, prezračevanje, kvaliteta zraka

abstract

The passive house is currently an optimal energy-saving building. Because of quality thermal cladding, adequate air-tightness and a built-in controlled ventilation system recovering the heat from waste air, its annual heating energy demand amounts to a maximum of 15 kWh/(m²a), which can be met by so-called warm air heating. A passive house has numerous advantages over the structures in which we live today. Apart from low energy consumption (and, consequently, reduced dependence on fossil fuels), and low maintenance costs, its advantage lies primarily in permanently fresh, warm and clean air. Thanks to relatively large glazed surfaces, the passive house also offers the great comfort of illumination. The article argues for the advantages of the passive house, using calculations, measurements and research results from other authors.

key words

passive house, energy-saving, ventilation, air quality

Pasivna hiša za ogrevanje porabi največ 15 kWh/(m²a) [Feist, 1998]. Ima izredno kvaliteten toplotni ovoj (toplotna prehodnost sten in strehe: $U < 0,1-0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), toplotna prehodnost vgrajenih oken in vrat: $U < 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), ki je izveden brez toplotnih mostov $< 0,01 \text{ W/(mK)}$ in zrakotesno ($n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$). Obvezen je sistem kontroliranega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka. Zaradi vseh teh ukrepov so pri pasivni hiši specifične toplotne izgube (transmisijske in prezračevalne) manjše od 10 W/m². Zato ima zgradba tako nizke potrebe po toploti, da klasični ogrevalni sistemi niso več potrebni. V pasivni hiši se uporablja t.i. toplozračno ogrevanje. Zrak, ki se s prezračevalno napravo dovaja v bivalne prostore, se v hladnih dneh nekoliko dogreje, najpogosteje s toplotno črpalko. Za ogrevanje sanitarne vode se priporoča uporaba sprejemnikov sončne energije, ki pokrijejo do 60 % potreb, in toplotne črpalke, ki ogreva vodo pozimi, ko ni dovolj sončne energije. Z nekaterimi toplotnimi črpalkami lahko ogrevamo prostore in tudi sanitarno vodo. Kjer možnosti dopuščajo, se lahko hiša priklopi na daljinski ogrevalni sistem, kar pa se v praksi izvaja zelo poredko, v Sloveniji takega primera sploh še ni.

Pasivne hiše se v zadnjih letih pojavljajo tudi v Sloveniji. Po podatkih Eko sklada, j.s., ki investitorjem pasivnih hiš nudi nepovratne finančne spodbude, je od junija 2008 do jeseni 2010 zgrajenih ali v gradnji čez 70 pasivnih hiš. Te se pridružujejo velikemu številu (okrog 25.000) pasivnih hiš v Nemčiji, Avstriji, Švici in drugih evropskih državah. Pravzaprav so pasivne hiše zgrajene že na vseh celinah: enodružinska hiša je na Japonskem v Osaki [Mori, 2010], olimpijski pasivni objekt v Whistlerju v Kanadi [Trebesburg, 2010], prva certificirana pasivna hiša stoji na Kitajskem v Šanghaju [Feist, 2010:53], v Minnesoti v ZDA [Prva bio pasivna hiša], vzorčna pasivna hiša se pravkar načrtuje v Buenos Airesu [Feist, ibidem],...

V Sloveniji torej zanimanje za pasivne hiše narašča. Ključni razlogi za odločitev za pasivno hišo so velikokrat individualne narave in jih ni mogoče razvrstiti v hierarhičnem zaporedju. Lahko pa jih izpostavimo in utemeljimo.

Manjša odvisnost od (tujih) zalog fosilnih goriv

Odločitev za pasivno hišo pomeni doprinos na državni ravni. Najcenejša energija je tudi za državo tista, ki je ne potrebujemo. Manjša poraba fosilnih goriv zagotavlja manjšo odvisnost od tujih zalog. Tudi v Sloveniji smo se že soočili s krizo dobave zemeljskega plina, najbrž je v januarju 2009, ko je prišlo do težav z dobavo plina iz Ukrajine, malo manjkalo, da ne bi tudi pri nas v stanovanjih zmrzovali. Kot vse kaže, bodo goriva postajala čedalje bolj strateška surovina in kot taka zelo primerna za politično in gospodarsko izsiljevanje. Velike zaloge zemeljskega plina ležijo poleg Rusije še v Iranu, Libiji in Egiptu, Alžiriji, Nigeriji in Katarju. To so nemirna področja, ki ne vzbujajo kakšnega pretiranega zaupanja, da se politični spori tudi v bodoče ne bodo reševali preko plinovodov, ki vodijo v Evropo.

V prihodnosti se torej še lahko pričakujejo težave z dobavami. Zaskrbljujoče je, da Evropa postaja čedalje bolj odvisna od goriv, ki prihajajo iz politično nestabilnih področij, saj potreb z lastno proizvodnjo že dolgo ne pokriva več. Tudi Slovenija. Njena energetska odvisnost od uvoženih energentov je bila npr. leta 2008 kar 55,3 % [Letopis 2008].

Nizki stroški za ogrevanje

Potrebe po toploti za ogrevanje so v pasivni hiši za 90 % in več manjše kot v običajni hiši [Feist, 1998], s tem pa seveda tudi stroški za ogrevanje. In to pri prihajajočih cenah fosilnih goriv ni zanemarljiv znesek. Od začetka leta 2006 do septembra 2010

so se cene kurilnega olja v Sloveniji nominalno zvišale za 48 %, v sredini leta 2008 celo za 70 % [Gibanje cen, 2010]. Tudi v prihodnosti se pričakuje zviševanje cen energentov.

Energijska učinkovitost zgradb je torej nujna in možna. V tabeli 1 so prikazane porabe energije za ogrevanje pri zgradbah, ki so bile zgrajene v preteklosti, ko so zakonsko veljale drugačne zahteve o največji dovoljeni porabi energije za ogrevanje. Prvi predpis, ki je uporabljen v primerjalni analizi, je iz leta 1987. To je posodobljeni standard JUS U.J5.600 Toplotna tehnika v gradbeništvu, Tehnične zahteve za projektiranje in gradnjo stavb [Ur.l. SFRJ, št. 10/87], ki je v Sloveniji veljal do leta 2002, ko ga je zamenjal Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah [Ur.l. RS, št. 42/02]. Letos je izšel novi Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, t.i. PURES [Ur.l. RS, št. 52/2010], ki bo v polno veljavo stopil 1.1. 2011. V tabeli 1 so navedene tudi vrednosti po standardu pasivne hiše [Feist, 1998]. Izračun je narejen za enodružinsko pasivno hišo z 200 m² ogrevane površine (taka je povprečna površina pasivnih in zelo dobrih nizkoenergijskih hiš, ki so dobile subvencije Eko sklada).

Zakonska podlaga /a gradnjo	Dovoljena poraba energije /a ogrevanje kWh/(m ² a)	Letna poraba energije v zgradbi (200 m ²) kWh	Letna poraba kurilnega olja	Strošek/leto €	Strošek/mesec €
JUS U.J5.600	120	24.000	2.400	1.798,-	150,-
42/02	70	14.000	1.400	1.049,-	87,-
PURES	45	9.000	900	674,-	56
standard PH	15	3.000	300	225,-	19,-

Tabela 1: Cena kurilnega olja 21. september 2010: 0,749 € [Gibanje cen kurilnega olja]. Povprečna površina enodružinske hiše: 200 m².

Table 1: Residential heating oil price on September 21, 2010: €0.749 [Heating oil price movement]. Average floor area of a single-family house: 200 m².

Iz tabele 1 je razvidno, da so stroški za ogrevanje pri pasivni hiši drastično nižji od npr. zgradb, v katerih danes pretežno živimo. Večina stavbnega fonda je bila pri nas namreč narejena pred letom 2002, ko je veljal standard JUS U.J5.600 in še pred njim drugi predpisi, ki porabe energije v zgradbah sploh niso omejevali.

Investicija v pasivno hišo danes pomeni zvišanje pokojnine v prihodnosti. Nizek strošek za ogrevanje namreč pomeni, da bo več denarja ostalo za druge namene. Vprašanje je, če je kakšen pokojninski steber toliko zanesljiv, da bo imel večji donos.

Nizki vzdrževalni stroški

Poleg izredno nizkih stroškov za ogrevanje so v pasivni hiši tudi minimalni vzdrževalni stroški. Pri hišni tehniki skoraj ni delov, ki bi se obrabili. Ogrevnih naprav, ki potrebujejo vzdrževanje in popravila pa pri pravi pasivni hiši največkrat ni, zato ne povzročajo stroškov. Dolga življenjska doba prezračevalne naprave in bistveno večja trpežnost v primerjavi s konvencionalnimi ogrevalnimi napravami zmanjšuje vzdrževalne stroške.

Manjše emisije v okolje

Pri zgorevanju fosilnih goriv nastaja CO₂, ki trenutno velja za glavnega krivca globalnega segrevanja. Ob tem pa nastajajo tudi druge škodljive emisije: trdni delci, SO₂, NO_x, organske spojine idr. Tudi pri lesu, ki trenutno velja za zelo ekološko gorivo, prihaja do emisij CO₂. Zamenjava kurilne naprave na

fosilna goriva s tako na les in ostalo biomaso torej ne doprinese k zmanjševanju emisij CO₂. Tudi pri tem kriteriju se bolje izkaže pasivna hiša, ki goriv neposredno ne potrebuje. Potrebno toploto za ogrevanje v pasivni hiši proizvede toplotna črpalka, ki izkorišča toploto okolice (zemlje, podtalnice, tudi zraka). To pa je obnovljiv vir, uskladiščena sončna energija. Očitek uporabi toplotne črpalke je nekoliko višja poraba električne energije. Dejstvo je, da toplotna črpalka potrebuje za delovanje električno energijo, kar v resnici nekoliko zviša porabo električne energije, ki jo imamo v trenutno grajenih hišah. To zvišanje pa je majhen strošek v primerjavi s stroškom za konvencionalno ogrevanje, ki v pasivni hiši v celoti odpade.

Zanimiv je izračun porabe energije povprečnega slovenskega gospodinjstva (osnova za izračun je 684.847 gospodinjstev, popis 2002, ki povprečno dnevno porabijo 12 kWh električne energije [Letopis 2008]). V izračunu primerjamo porabo električne energije v enodružinski klasični in pasivni hiši, v obeh primerih v hiši z bivalno površino 160 m² za štiričlansko družino.

V izračunu porabe električne energije je poleg razsvetljave in gospodinjskih aparatov ter toplotne črpalke za ogrevanje zgradbe vključena še energija za ogrevanje sanitarne vode.

V pasivni hiši se sanitarna voda lahko ogreva na dva načina:

- s sprejemniki sončne energije, ki pokrivajo do 60 % letnih potreb po topli vodi in za zimski čas potrebujejo podporo toplotne črpalke (primer 1) ali pa
- s toplotno črpalko (primer 2).

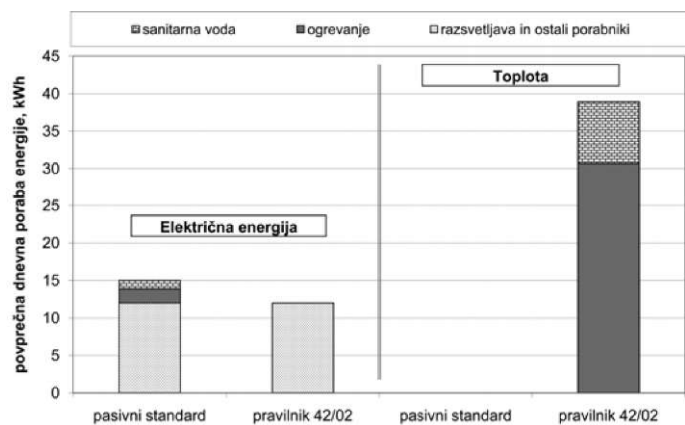
.Irk': ini energij i /t pogon toplotne črpalke	kWh/leto	kWh/dan
1 toplota za ogrevanje	693	
2 sanitarna voda 1, 40 % TČ, GŠ - 3	400	
3 sanitarna voda 2, 100% TČ, GŠ = 4	750	
vsota 1 + 2	1093	3,00
vsota 1 + 3	1443	3,95
povprečna gospodinjstva poraba		12
povečanje po v p, Rusp. porabe, primer 1	%	25,0
povečanje povp. posp. porabe, primer 1	%	33,0

Tabela 2: Poraba električne energije v pasivni hiši.

Table 2: Electricity consumption in a passive house.

Iz tabele 2 je razvidno, da bi se poraba električne energije povprečni družini z bivanjem v pasivni hiši povečala za 25 % (primer 1) oz. 33 % (primer 2), kar trenutno predstavlja povečanje mesečnega računa za električno energijo za znesek med ~12 EUR (primer 1) in 16 EUR (primer 2), kar je npr. manj kot mesečna naročnina za en mobilni telefon. V pasivni hiši je torej povprečna dnevna poraba električne energije zaradi uporabe toplotne črpalke z 12 kWh povečana na 15 kWh (primer

1) oz. 16 kWh (primer 2). Ob tem je treba poudariti, da je to edini strošek za energijo v pasivni hiši, saj dodatnih stroškov za ogrevanje ni, slika 1.



Slika 1: Povprečna dnevna poraba energije v enodružinski hiši.

Figure 1: Average daily energy consumption of a single-family house.

Izračunano porabo električne energije povprečnega slovenskega gospodinjstva potrjuje tudi konkreten primer iz prakse. Povprečni mesečni strošek za elektriko v enodružinski hiši (160 m²) za štiričlansko družino v Ribnici je med decembrom 2009 in majem 2010 znašal 37 EUR. To je strošek za ogrevanje, prezračevanje, sanitarno vodo, razsvetlavo in vse električne naprave (pralni stroj, hladilnik, zamrzovalnik, štedilnik, pečica, TV, računalnik...)!.

V pasivni hiši se torej nekoliko poveča poraba električne energije, popolnoma pa se odpravi potreba po drugih energetskih virih za ogrevanje hiše. Za proizvodnjo električne energije v termoelektrarnah bodo sicer še dolgo potrebni fosilni energenti, vendar je izkoristek le-teh višji, škodljive emisije pa so zaradi kontroliranega postopka veliko nižje kot če bi goriva izgorevala v individualnih kuriščih.

Kvalitetno bivalno ugodje

Pasivne hiše nudijo izredno bivalno ugodje in sicer zaradi kvalitetnega toplotnega ovoja in kontroliranega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka. Bivalno ugodje se občuti zaradi primerne temperature, svežega in čistega zraka, primerne relativne vlažnosti in optimalne osvetlitve.

a) Temperaturno ugodje

V pasivni hiši je gibanje zraka počasnejše kot v običajnih zgradbah. Temperature zunanjih sten so na notranji strani sorazmerno visoke, tudi do 20 °C. Ob teh površinah se zrak ne ohlaja tako hitro kot v klasičnih objektih, ko se ob hladni steni spušča proti tlu in potem nad tlemi potuje proti notranji steni, se zopet segreje in pod stropom vrača proti zunanji. Čim večja je temperaturna razlika med površino zunanje stene in zraka v prostoru, tem hitreje se zrak giblje, to pa občutimo kot vlek oz. preprih. Temu se pridruži še sevalni učinek hladne stene, zaradi česar moramo za zagotavljanje temperaturnega ugodja dodatno povišati temperaturo zraka v prostoru. V pasivnih hišah so stene tople, zrak se giblje zelo počasi, zato pri nižji temperaturi zraka občutimo večje bivalno ugodje.

Zrak, ki ga v prostore dovaja prezračevalna naprava, se giblje tako počasi, da tega običajno ne občutimo. Sodobne prezračevalne naprave imajo možnosti nastavitve vsaj treh

stopenj prezračevanja - minimalno prezračevanje ponoči oz. kadar ni nikogar v hiši, normalno obratovanje v času, ko živimo v objektu, in maksimalno obratovanje v primerih, ko v hišo pridejo obiski ali se morda bolj intenzivno kuha. Prezračevalni sistem ima vgrajene dušilnike zvoka, zato je njegovo delovanje neslišno.

b) Sveži zrak

Velik del toplotnih izgub v zgradbah predstavljajo prezračevalne toplotne izgube. To pa ne pomeni, da zgradb ne bi smeli zračiti. Prezračevanje je potrebno zaradi zagotavljanja ustrezne kakovosti zraka. Da se obdrži raven CO₂ in drugih škodljivih snovi v zraku na znosni ravni, je treba v prostoru vsako uro zagotoviti 25-35 m³ svežega zraka na osebo. To pomeni, da bi morali vsake 3 ure odpreti okna za 15 minut, kar je praktično težko izvedljivo pa tudi izredno neracionalno [Feist, 1998]. Z odvajanjem izrabljenega zraka iz prostora izgublamo tudi toploto, kar zmanjšuje toplotno ugodje v prostoru in veča zahteve po ogrevanju. Tako je zrak zaradi nezadostnega prezračevanja slabe kakovosti, na notranji strani zunanjih sten zgradbe prihaja do kondenzacije vlage in pogosto do pojava plesni.

Standard pasivne hiše zahteva izredno zrakotesen ovoj zgradbe, saj se s tem drastično zmanjšajo nekontrolirane prezračevalne toplotne izgube (v klasično grajenem objektu predstavljajo do 30 % vseh toplotnih izgub). Na ta način pa se skoraj popolnoma prepreči tudi dovod svežega zraka v zgradbo, kar je nedopustno.

V pasivnih hišah je zato obvezna vgradnja prezračevalne naprave, ki stalno dovaja v prostore svež zrak. Odpiranje oken tako ni več potrebno, čeprav ni prepovedano. Uporabniki lahko odprejo okno vedno, kadar si želijo. Velikokrat je to potrebno ob številnejših obiskih ali ko na štedilniku prekopi mleko. Obstajajo tudi pasivne hiše, v katerih kadijo, zato morajo občasno odpreti okna. Morda pa si preprosto želimo slišati pomladno ptičje petje ali nadzorovati otroka na dvorišču. S tem se sicer izgubi nekaj toplote, vendar pa sistem pasivne hiše kljub temu ni porušen. Prezračevalna naprava največkrat obratuje le pozimi, od novembra do februarja ali marca, preostali čas je lahko izklopljena in se hiša prezračuje skozi okna.

V pasivni hiši je zrak vedno svež, za kar skrbi t.i. kontrolirano prezračevanje z vračanjem toplote odpadnega zraka. Zrak prihaja od zunaj in se v prenosniku toplote ogreje s toploto izrabljenega zraka, ki zgradbo zapušča. Sveži zunanji zrak in topli odpadni zrak se pri tem ne mešata. Poleti je možno s takšnim sistemom zgradbo tudi ohlajati. Sveži topli zrak, ki prihaja od zunaj, se ohladi z izrabljenim hladnim zrakom iz notranjosti objekta. Poudariti je potrebno, da prezračevalna naprava ni isto kot klimatska naprava - ta namreč ves čas uravnava kvaliteto istega zraka. Temperaturno ugodje je zaradi dobro toplotno izoliranega ovoja zagotovljeno tudi poleti.

c) Relativna vlažnost zraka

Najglasnejši so v zadnjem času očitki, da je v pasivni hiši zrak preveč suh. Priznati je potrebno, da niso brez osnove. V pasivni hiši je, posebej pozimi, zrak lahko tudi preveč suh. Do tega pride zaradi intenzivnega prezračevanja. Zakoni fizike še vedno delujejo. Vlažnost zraka (vsebnost vodne pare v zraku) je odvisna od letnega časa - pozimi je bistveno nižja. Relativna vlažnost zraka pa je definirana kot stopnja nasičenja z vodno paro in je odvisna od temperature. Ko se zrak segreje, se relativna vlažnost niža. To se dogaja v vseh objektih. V klasičnih objektih do pojava presušenega zraka ne pride preprosto zato, ker

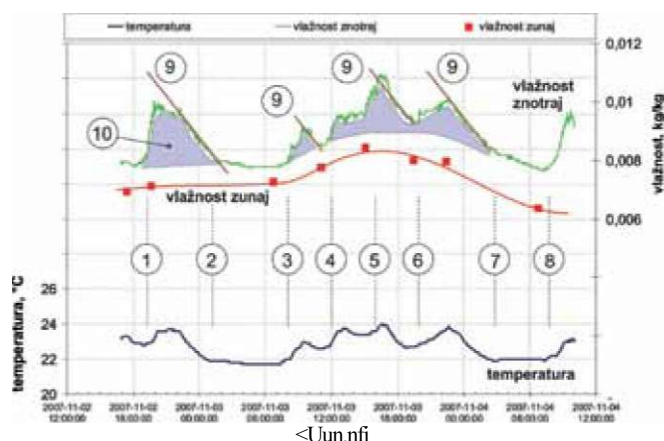
pozimi ni zadostnega prezračevanja. Dihamo izrabljen, umazan in nekoliko bolj vlažen zrak. Vprašanje pa je, kaj bolj vpliva na ugodje oz. zdravje - suh ali umazan zrak.

Tudi sicer so zelo zanimive študije o občutju kvalitete zraka, ki kažejo, da je občutek za vlago v zraku naravnan precej individualno, včasih celo samosugestivno (npr. kadar imajo stanovanjci podatek, da je zrak suh, jih to začne motiti precej prej, kot če tega podatka nimajo [Keul, 2010]).

Seveda pa tudi v pasivni hiši ni izključeno vlaženje zraka, če slučajno pride do teh potreb. Velik učinek na vlažnost zraka imajo tudi rastline, saj stalno oddajajo vlago.

Kvaliteto zraka določa primerna relativna vlažnost, temperatura in odsotnost raznih nečistoč. Preveriti jo je mogoče z različnimi meritvami in raziskavami. Ena od teh so meritve med tridnevnim bivanjem v eni od pasivnih hiš naselja za poskusno bivanje Sonnenplatz v mestecu Grofischonau v Avstriji (2. 11. - 4. 11. 2007) [Zbašnik-Senegačnik, Senegačnik, 2009]. Hiša ima sistem kontroliranega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka in dogrevanje zraka s toplotno črpalko. Značilnosti take prezračevalne naprave s toplotno črpalko so:

- zajem svežega zraka iz okolice;
- dvostopenjsko filtriranje prašnih delcev, grobi in fini filter;
- segrevanje svežega zraka v protitočnem prenosniku toplote z odpadnim izstopajočim zrakom;
- dogrevanje svežega zraka s toplotno črpalko; vir toplote za toplotno črpalko je toplota izstopajočega odpadnega zraka po izstopu iz prenosnika toplote;
- transport ogretega svežega zraka in zajem izrabljenega zraka po posameznih prostorih z zrakovodnimi razdelilnimi kanali.



Slika 2: Temperatura in vlažnost zraka v pasivni hiši.

Figure 2: Air temperature and humidity in a passive house.

Na podlagi izvedenih meritev temperature in relativne vlage zunanjega in notranjega zraka v kratkih časovnih intervalih smo izpostavili nekaj ugotovitev. Slika 2 prikazuje parametra stanja zraka v pasivni hiši - temperaturo in vlažnost zraka. Meritve temperature in vlažnosti zraka smo izvajali v dnevnem prostoru (dnevna soba in kuhinja) in zunanji okolici. V spodnjem delu slike je prikazan temperaturni profil notranjega zraka (spodnja krivulja), v zgornjem pa vlažnosti zunanjega (srednja krivulja) in notranjega zraka (zgornja krivulja).

Spreminjanje prikazanih parametrov bomo opisali po sekvencah, ki so oštevilčene:

1. Priprava večerje, kuhanje z intenzivnim vretjem vode,

zaradi česar se je vlažnost zraka skokovito povečala (zgornja krivulja) z 0,008 kg/kg na 0,01 kg/kg. Po končanem kuhanju se je vlažnost zraka zaradi mehanskega prezračevanja zmanjševala in se približala zunanji vlažnosti ob začetku sekvence 2. Za zmanjševanje vlažnosti zaradi prezračevanja je značilno, da se zmanjšuje vedno z enakim gradientom, kar označuje premica z oznako 9. Iz gradienta zmanjševanja vlažnosti lahko tudi določimo intenzivnost prezračevanja, ki je v tem primeru znašala $\sim 0,4 \text{ h}^{-1}$. V sliki sivo pobarvana območja, oznaka 10, označujejo področja zvišanja vlažnosti zaradi bivalnih aktivnosti.

2. Sekvenca nočnega prezračevanja, brez bivalnih aktivnosti v dnevni sobi. Vlažnost notranjega zraka se približa vlažnosti zunanjega zraka. Razlika vlažnosti med notranjim (zgornja krivulja) in zunanjim zrakom (srednja krivulja) se v času neaktivnosti zmanjša na minimum in ostaja približno konstantna, to je manjša od 0,0005 kg/kg. Razlog za to minimalno razliko lahko poiščemo v sistematski napaki meritve in desorpciji vlage iz sten, pohištva, rastlin,...
3. Priprava zajtrka.
4. Priprava dopoldanske malice.
5. Kuhanje kosila.
6. Priprava večerje.
7. Nočna neaktivnost.
8. Priprava zajtrka.

Kot je razvidno iz slike 2, temperaturni profil zraka sledi profilu vlažnosti. V času aktivnosti se poleg povečanja vlažnosti, poviša tudi temperatura zraka, ki se v času nočnega počitka ustali na 22 °C.

Iz prikaza parametrov na sliki 2 vidimo, da so pogoji bivalnega ugodja v pasivni hiši v času meritev optimalni. Temperaturna nihanja v prostoru so bila v opazovanem obdobju manjša od 2°C, nihanja vlažnosti pa manjša od 0,002 kg/kg. Delovanje prezračevalno-ogrevalnega sistema je torej ustrezno, saj v prostorih stalno zagotavlja primerno ogreti sveži zrak. Hitrosti zraka so bile tako nizke, da gibanja zraka v prostoru sploh ni bilo mogoče občutiti. Zaznavati ga je bilo mogoče le v neposredni bližini vpihavalne šobe, kjer je imel 40 °C.

Vse bivalne enote v naselju Sonnenplatz so opremljene z merilniki kvalitete zraka, ki merijo temperaturo, relativno vlažnost in vsebnost ogljikovega dioksida. Zaradi stalnega prezračevanja je delež ogljikovega dioksida v zraku ves čas enak kot zunaj, kvaliteta zraka v prostoru je torej stalno blizu 100%.

d) Čistost zraka

Sistem kontroliranega prezračevanja v pasivni hiši trenutno najbolj bega veliko večino ljudi. Skrb med skeptiki vzbuja poleg hitrosti gibanja zraka in relativne zračne vlažnosti še morebitno nabiranje nečistoč in zdravju nevarnih organizmov v sistemu. Vendar so skrbi odveč. Pogoji so v ceveh za bakterije neprimerni. Zrak je namreč preveč suh in ima relativno nizko temperaturo. Poleg tega ne zastaja, ampak se ves čas giblje - iz zunanosti preko prenosnika toplote v prostore in od tu zopet v prenosnik toplote in ven. V Nemčiji, kjer so pasivne hiše v uporabi že 20 let, ne poročajo o niti enem primeru pojava bakterij ali drugih organizmov v ceveh prezračevalnih sistemov. Prezračevalna naprava ima tudi filtre za prah in pelod. V pasivnih hišah je zato veliko manj prahu, kar je posebej ugodno za alergike

Svetlobno ugodje

Za optimalno bivalno ugodje je ključnega pomena tudi osvetlitev. V pasivni hiši so zaradi potrebne toplotne izolativnosti ovoja vgrajena okna s toplotno prehodnostjo $U < 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. To so okna s troslojno zasteklitvijo z nizkoemisijским nanosom in polnjenjem z žlahtnimi plini. Običajno steklo ima toplotno prehodnost $U = 5,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ in prepustča okrog 80 % celotne sončne energije, torej ima faktor prehoda celotnega sončnega sevanja $g = 80 \%$. Z večanjem števila slojev stekla, nizkoemisijским nanosom in polnjenjem z žlahtnimi plini se toplotna prehodnost stekla zmanjša, s tem pa tudi prepustnost za sončno sevanje. Stekla, vgrajena v pasivno hišo, imajo faktor prehoda celotnega sončnega sevanja g med 50 in 60 % [Zertifizierung von Verglasungen]. Pri minimalno predpisanih okenskih površinah lahko pride do premajhne osvetljenosti prostorov. Vendar se v pasivni hiši spodbuja večji delež zasteklitve, saj so za energijsko bilanco zgradbe pomembni tudi dobitki sončnega obsevanja, kar pa zagotavljajo večje zastekljene površine. Izračun po PHPP pokaže optimalno razmerje, pri kateri površini oken in orientaciji je energijska bilanca najbolj ugodna. Na južnih površinah ni težav, prav tako ne na vzhodnih in zahodnih (povsod je obvezna sončna zaščita proti pregrevanju!). Na severnih fasadah pa so zaradi velikih toplotnih izgub in neznatnih dobitkov želena manjša okna, zato je zadostno osvetlitev prostorov potrebno preveriti.

Trenutno je povečano raziskovanje opaziti ravno na področju stekel in oken za pasivne hiše. Prihajajo zasteklitve z manjšo toplotno prehodnostjo in višjim faktorjem prehoda celotnega sončnega sevanja g . V letu 2011 bo Passivhaus Institut dr. Wolfgang Feist iz Darmstadt-a pričel s certificiranjem oken z različnimi kvaliteta stekel za različne potrebe [Feist, 2010]. Toplotna prehodnost vgrajenega okna še vedno ne bo smela presegati $U < 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, sicer bi se porušil koncept pasivne hiše. Možno pa bo izbirati različne kvalitete zasteklitve glede na lego na zgradbi. Uvedeni bodo štirje razredi:

- razred A:** okno z neto dobitki energije
($U_g = 0,54 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $g = 60 \%$)
- razred B:** okno z izravnano energijsko bilanco
($U_g = 0,54 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $g = 52 \%$)
- razred C:** standardno okno za pasivno hišo
($U_g = 0,60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $g = 51 \%$)
- razred D:** okno, primerno za pasivno hišo
($U_g = 0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $g = 51 \%$)

Možno bo torej izbirati med okni z različnimi toplotnimi prehodnostmi U in faktorji prehoda celotnega sončnega sevanja g . S pravilno izbiro bo možno precej bolj optimalno zasnovati toplotni ovoj.

Sklep

Pasivna hiša prinaša številne prednosti pred objekti, v katerih živimo danes. Prva je gotovo energijska učinkovitost, ki pomeni drastično zmanjšanje stroškov za ogrevanje, ne samo neodvisnost zgradbe od fosilnih goriv im zmanjšanje emisij CO_2 . Država je na srečo razpoznala ta energijski potencial, ki ga nudijo pasivne hiše, zato spodbuja gradnjo pasivnih in zelo dobrih nizkoenergijskih hiš (letna poraba energije za ogrevanje do $25 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$) z nepovratnimi finančnimi sredstvi. Pasivna hiša iz naravnih gradiv s površino 200 m^2 tako lahko pridobi 25.000 EUR subvencije. Dolgoročno namreč pasivna hiša pomeni za državo manjšo obveznost do preskrbe fosilnih

energentov in manjše izpuste CO_2 , torej tudi manjše kazni za prekomerne količine CO_2 . Največjo korist pa ima seveda uporabnik pasivne hiše. Za nekoliko višja sredstva (do 5% dražja hiša od hiše, grajene po novem PURES-u [Zbašnik-Senegačnik, 2007] živi v hiši, ki ima stalno svež, topel in čist zrak, brez težav z dobavo goriva, zaradi maloštevilnih in enostavnih naprav pa ima neznatne vzdrževalne stroške. Zaradi teženj po sončnih odbitkih so tudi steklene površine sorazmerno velike, kar omogoča tudi svetlobno ugodje. Raziskave [Keul, 2010a], ki so bile narejene na dokaj velikem vzorcu uporabnikov stanovanj v večstanovanjskih pasivnih zgradbah takoj po vselitvi, 6 mesecev pozneje in 2 leti pozneje kažejo, da so uporabniki zadovoljni z bivanjem v pasivni hiši. Zadovoljstvo je tem večje, čim dlje ljudje živijo v pasivni hiši.

Trenutno pasivna hiša ni še nikjer zakonsko predpisana na državnem nivoju. V nekaterih ekološko osveščenih deželah Avstrije in Nemčije velja obvezno upoštevanje standarda pasivne hiše za javne stavbe (država naj bi bila z denarjem davkoplačevalcev kar najbolj racionalna!). V Avstriji načrtujejo od leta 2015 obvezen standard pasivne hiše za zgradbe, ki bodo podprte z javnim denarjem [Keul, 2010a].

Evropska direktiva 2010/31/EU, ki jo je Evropski parlament sprejel 19. maja 2010, uvaja pojem skoraj »nič-energijska zgradba«. To je zgradba z zelo visoko energijsko učinkovitostjo (majhno količino potrebne energije), za kar bi morala v veliki meri zadostovati energija iz obnovljivih virov, vključno z energijo iz obnovljivih virov, proizvedeno na kraju samem ali v bližini [Direktiva 2010/31/EU]. Evropska direktiva zapoveduje, da bodo morale biti do 31. decembra 2020 vse nove stavbe skoraj-ničenergijske, še prej, po 31. decembru 2018, pa bodo skoraj-ničenergijske vse nove stavbe, ki jih javni organi uporabljajo kot lastniki in so namenjene pogostemu zbiranju javnosti. Omenjena direktiva je bila tudi osnova za novi Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, enake zahteve so že vključene tudi v slovenski predpis.

Skoraj nič-energijska hiša se ta trenutek morda zdi še daleč, pa vendar se v teh nekaj letih ne pričakuje bistvenih premikov na področju tehnološkega znanja. Pasivna hiša je odlično in najbolj verjetno izhodišče za skoraj nič-energijski standard. Ima majhno porabo energije za ogrevanje, z dodatnimi sončnimi moduli zlahka doseže skoraj nič-energijski, nič-energijski in celo plus-energijski standard. Obstajajo torej znanja in tehnologije po sprejemljivih cenah, da bo lahko vsaka hiša poskrbela za energijo, ki jo bo potrebovala.

Viri in literatura

- Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta,
<http://www.buildup.eu/publications/9662> <dostop oktober 2010>.
- Feist, W., (2010): The Passive House - Growth in all dimensions. V: Feist, W.(ur.). 14th International Passive House Conference, 28th -29th of May 2010, Dresden, Passive House Institut Darmstadt, str. 49-54.
- Feist, W., 1998: Das Passivhaus - Baustandard der Zukunft?. Protokollband Nr. 12, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Gibanje cen kurilnega olja, 21. september 2010;
<http://www.olje.net/cene-in-prodajni-pogoji/gibanje-cen-kurilnega-olja/> <dostop september, 2010>.
- Keul, A., (2010a): Energy monitoring and analysis of user satisfaction in existing passive houses estates in Austria.
V: Feist, W.(ur.). 14th International Passive House Conference, 28th -29th of May 2010, Dresden, Passive House Institut Darmstadt, str. 43-47.
- Keul, A., (2010b): Subjective/objective temperature/humidity in the Passive House Kammelpweg in Austria.
V: Feist, W.(ur.). 14th International Passive House Conference, 28th -29th of May 2010, Dresden, Passive House Institut Darmstadt, str. 387-392.
- Letopis 2008: Statistični urad Republike Slovenije.
<http://www.stat.si/letopis> <dostop oktober, 2010>.
- Mori, M., (2010): The first Passive House in Japan.
V: Feist, W.(ur.). 14th International Passive House Conference, 28th -29th of May 2010, Dresden, Passive House Institut Darmstadt, str. 227-232.
- Prva bio pasivna hiša v ZDA
<http://lowcarbonproductions.wordpress.com/>
- Trebersburg, M. et al, (2010): Austria House A passive house for the 2010 Olympic Winter Games in Vancouver.
V: Feist, W.(ur.). 14th International Passive House Conference, 28th -29th of May 2010, Dresden, Passive House Institut Darmstadt, str. 453-458.
- Zbašnik-Senegačnik, M., (2007): Construction cost comparison between low-energy houses and passive houses.
V: 16. Mednarodno posvetovanje Komunalna energetika, 15. do 17. maj 2007, Maribor, Slovenija. Zbornik. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko.
- Zbašnik-Senegačnik, M., Senegačnik, A., (2009): Argumenti za izbiro pasivne hiše. V: 18. Mednarodno posvetovanje Komunalna energetika, 12. do 14. maj 2009, Maribor, Slovenija. Zbornik. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko.
- Zertifizierung von Verglasungen, Passivhaus Institut Darmstadt
www.passiv.de, <dostop oktober, 2010>.
- 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.
- Ur.l. SFRJ 10 (1987): JUS U.J5.600 Toplotna tehnika v gradbeništvu, Tehnične zahteve za projektiranje in gradnjo stavb.

prof. dr. Martina Zbašnik-Senegačnik
martina.zbasnik@fa.uni-lj.si
UL Fakulteta za arhitekturo

prof. dr. Andrej Senegačnik
andrej.senegacnik@fs.uni-lj.si
UL Fakulteta za strojništvo