

BOJAN MILOVANOVIĆ, NINA ŠTIRMER, LJUBOMIR MIŠĆEVIĆ

Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Arhitektonski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

bmilovanovic@grad.hr, ninab@grad.hr, miscevic@arhitekt.hr

PASIVNA KUĆA POBOLJŠANJE KVALITETE STANOVANJA

Stručni rad / *Professional paper*

Sažetak

U današnje vrijeme visokih cijena energenata i velikih emisija CO₂, učinkovito korištenje energije je dobilo iznimnu važnost u svakodnevnom životu. Izgradnjom pasivnih kuća, moguće je postići značajne uštede energije i CO₂ u usporedbi s dosadašnjim načinom gradnje. Zbog svih njezinih koristi, pasivna kuća je prepoznata od strane Europske komisije kao smjer u kojem će se razvijati graditeljstvo. Zrakonepropusna vanjska ovojnica pasivne kuće omogućuje visoki stupanj kontrole kvalitete zraka u zgradi korištenjem mehaničke ventilacije pri čemu se visokokvalitetni kondicionirani zrak dovodi do stanara bez ometanja i buke. Time pasivna kuća postaje neovisna o vanjskim vremenskim uvjetima. Ventilacijski sustavi su opremljeni filterima koji sprječavaju ulazak alergena i drugih čestica u stambeni prostor. Toplinskom zaštitom vanjske ovojnice te kvalitetnom stolarijom stvara se visoka razina ugodnosti stanovanja jer su temperature unutarnjih površina zidova gotovo jednake temperaturi unutarnjeg zraka, čime je poboljšan osjećaj ugodnosti te smanjenje razine buke u prostoriji koja dolazi iz vanjskog prostora. Standard pasivne kuće se sastoji od tri temeljna elementa: kriterij energije, kriterij kvalitete izvođenja i preporučenog načina izvedbe tehničkih sustava zbog ekonomičnog zadovoljavanja kriterija uštede energije i kvalitete izvođenja.

Ključne riječi: *Energetska učinkovitost, kvaliteta stanovanja, kvaliteta izgradnje, standard pasivne kuće, gotovo nulta energetska zgrada*

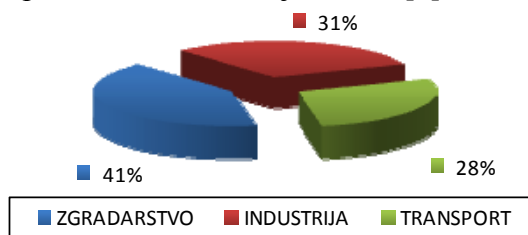
1. UVOD

Klimatske promjene, globalno zatopljenje i efekt staklenika problemi su kojih je čovječanstvo postalo svjesno tek posljednjih tridesetak godina. Zbog činjenice da zgrade kao najveći potrošači energije imaju veliki energijski i ekološki utjecaj, energijska učinkovitost, održiva gradnja i mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije danas postaju prioriteti suvremene gradnje i energetike.

Prema Strategiji energetskog razvoja Republike Hrvatske [1], kućanstva su najveći pojedinačni potrošač energije u Hrvatskoj, oko 30 % od ukupne neposredne potrošnje energije, i najveći korisnik električne energije, preko 40 % od ukupne neposredne potrošnje električne energije. Politika energijske učinkovitosti u sektoru kućanstava temelji se na povećanju svijesti građana o mogućim uštedama i poticajima kod planiranja i izgradnje stanova te ponašanju u skladu s načelima energijske učinkovitosti.

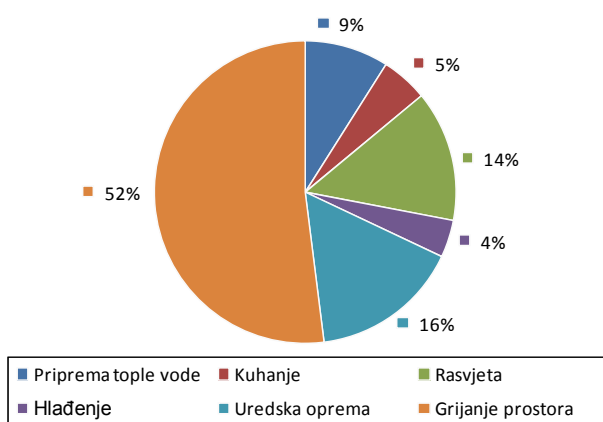
Na zgradarstvo u EU otpada približno 41 % od ukupne konačne energije (slika 1) pa se postavljaju veliki zahtjevi za energijskom učinkovitosti u tom sektoru.

Slika 1 - Potrošnja energije po sektorima u zemljama EU [2]

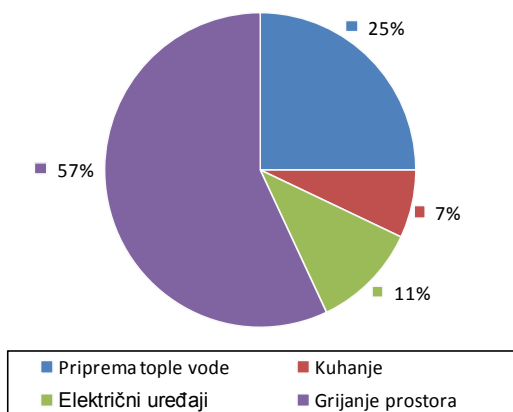


Podjela ukupne konačne uporabe energije u zgradama javnog sektora zemalja EU i ukupne konačne energetske uporabe energije u stambenom sektoru zemalja EU prikazana je na slikama 2 i 3.

Slika 2 - Uporaba energije u zgradama javnog sektora u zemljama EU



Slika 3 - Uporaba energije u stambenom sektoru u zemljama EU



Kao što je vidljivo, grijanje i hlađenje prostora je najveći pojedinačni potrošač energije i važan dio u želji za postizanjem energijske učinkovitosti. Zbog toga su se sve europske države bez izuzetka opredijelile da u svoje strategije energijskog razvoja i zaštite okoliša ugrade planove za poboljšanje učinkovitosti uporabe energije i da implementiraju zakonodavni okvir u kojemu će ti planovi biti ostvareni. Republika Hrvatska, usklađuje svoj zakonodavni okvir sa svim direktivama Europske unije te preuzima i ispunjava sve obveze koje te direktive nalažu.

Za EU, zgradarstvo postaje iznimno važan sektor koji može doprinijeti ispunjavanju obveza smanjivanja stakleničkih plinova prema Kyotskom protokolu. Nadalje, velike razlike u

energijskom svojstvu među zgradama u zemljama EU-a, posebice u novim i starim članicama te utvrđeni veliki potencijali uštede energije u tom sektoru, bile su dodatni razlog za pokretanje inicijative na razini EU-a u ovom području te za usvajanje Direktive o energijskom svojstvu zgrada (2010/31/EU) /The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD direktive) [3]. Ciljevi EPBD direktive su [3]:

- 20 % smanjenje emisija stakleničkih plinova 2020. godine u odnosu na 1990. godinu, odnosno 30 % ako zemlje u razvoju prihvate obveze u skladu s njihovim gospodarskim mogućnostima;
- 20 % obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji u 2020. godini;
- 10 % će iznositi udio obnovljivih izvora energije u 2020. godini korištenih u svim oblicima prijevoza u odnosu na potrošnju benzina, dizelskog goriva, biogoriva u cestovnom i željezničkom prijevozu te ukupne električne energije korištene u prijevozu;
- 9 % smanjenje neposredne potrošnje energije u razdoblju do 2016. godine primjenom mjera energetske učinkovitosti;
- 20 % smanjenje ukupne potrošnje energije u odnosu na temeljnu projekciju u 2020. godini (taj cilj je proklamiran, ali ga Europska unija nije razradila).

Iz navedenog slijede poznati 20-20-20 ciljevi koji se sve više definiraju kao ciljevi koji su nužni i optimalni za daljnji razvoj društva. Povećanje energetske učinkovitosti i udjela obnovljivih izvora energije, te smanjenje ukupne potrošnje energije u zgradarstvu smatra se ne samo kao jedan od načina kako da se što bezbolnije prevlada nezaustavljivi rast cijena energenata ili postigne što veća energetska neovisnost, već i kao mogućnost za poboljšanje kvalitete zgrada, odnosno kvalitete boravka u zgradama.

U stručnoj javnosti je prepoznato da se uz gradnju novih energetski učinkovitih zgrada koje bi bile na razini pasivnog standarda, tzv. pasivne kuće ili kako je to u EPBD II. Direktivi definirano, gotovo nulte energetske zgrade, obnovom postojećih zgrada može značajno utjecati na mogućnost ostvarenja prethodno definiranih 20-20-20 ciljeva i poboljšanje kvalitete zgrada.

U postojećem fondu zgrada troši se znatni udio ukupne energije koja se troši u zgradarstvu. Ilustrativan je podatak da veliki udio, čak 83 %, postojećih zgrada u Republici Hrvatskoj, troši između 150 i 200 kWh/m²a energije za grijanje [4]. Poznato je i dokazano u Europskim zemljama da se kvalitetnom toplinskom izolacijom vanjske ovojnice zgrade, ulaganjem većim od zakonski obvezujućeg minimuma, te ulaganjem u učinkovite sustave grijanja, ventilacije i klimatizacije prostora te obnovljive izvore, mogu postići uštede kojima će se početna investicija uz poticaje državne i/ili lokalne uprave vratiti.

2. PASIVNA KUĆA

Osnovna ideja Pasivne kuće je minimizirati potrebu za grijanjem kako bi se potrebna količina topline za grijanje prostora zgrade osigurala jednostavnim zagrijavanjem svježeg zraka kojim se zagrijava prostor. Uzimajući u obzir temperaturu vanjskog zraka, odnosno zraka koji ulazi u prostor, specifični toplinski kapacitet zraka, te maksimalnu temperaturu na koju se zrak smije zagrijati kako bi u prostoru bilo ugodno, izračunata je maksimalna potrebna količina topline za grijanje od 15 kWh/m²a [5]. Ova je definicija razvijena za klimatske uvjete Njemačke i Austrije pa se postavlja pitanje je li ona primjenjiva i na zemlje s oštrijim klimatskim uvjetima gdje je teže postići zadane kriterije ili pak za zemlje s blažom klimom od one u Srednjoj Europi gdje je uvjete za grijanje nešto lakše zadovoljiti, dok se paralelno javlja problem energije za hlađenje prostora.

Pasivna kuća je pojam koji se odnosi na specifični standard gradnje stambenih zgrada koji osigurava odličan komfor tijekom zime i ljeta bez korištenja tradicionalnih sustava grijanja i bez aktivnog hlađenja. Uobičajeno je da takva zgrada ima visok stupanj toplinske izolacije vanjske ovojnice, minimiziran utjecaj toplinskih mostova i vrlo dobru zrakonepropusnost vanjske ovojnice, pri čemu je kvaliteta unutarnjeg zraka osigurana sustavom mehaničke ventilacije koja uključuje visokoučinkovitu rekuperaciju topline.

Pasivna kuća koristi maksimalno 15 kWh/m²a energije za grijanje prostora, odnosno maksimalno 120 kWh/m²a ukupne primarne energije za grijanje potrošne tople vode, grijanje i hlađenje prostora odnosno pokretanje uređaja.

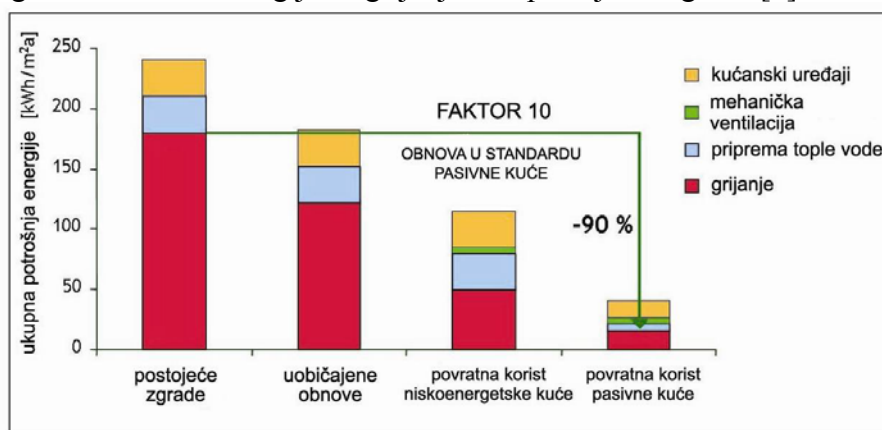
Pasivna kuća dakle troši minimalnu količinu energije, što se može ilustrirati činjenicom da ona troši 6 puta manje energije od trenutno važećeg minimalnog zahtjeva Tehničkog propisa o racionalnoj uštedi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [6], odnosno više od 10 puta manje nego što se troši u većini postojećih zgrada u Hrvatskoj.

2.1 Obnova postojećih zgrada na pasivni standard (kvaliteta za uspješno društvo)

S obzirom na gore opisane gubitke energije u postojećim zgradama i prednosti standarda pasivne gradnje, postavlja se pitanje da li je moguće bez rušenja postojećih zgrada poboljšati njihovu energetska učinkovitost.

Kad se govori o standardu pasivne kuće, postoji takozvani „Faktor 10“ koji označava smanjenje potrebne energije za grijanje zgrade od 90 % ukoliko se uspoređuje potreba za energijom koja se koristi za grijanje prije i nakon energijske obnove zgrade. To znači da će kod postojećih kuća kod kojih je potrošnja energije za grijanje oko 250 kWh/m²a, nakon obnove biti 25 kWh/m²a ili manje, slika 4.

Slika 4 – Mogućnosti uštede energije za grijanje kod postojećih zgrada [7]



Čini se da je uz postojanje financijske podrške, smanjenje troškova za energiju u postojećim zgradama prema „Faktoru 10“ uz posljedično poboljšanje kvalitete postojećih zgrada, jedini smisleni put, jer jamči temeljitu i cjelokupnu obnovu zgrada.

Pritom nije nužno postići kriterije pasivne kuće – zahtjev za potrebom topline od 15 kWh/m²a za grijanje, pod svaku cijenu. Najvažnije su ekonomski opravdane te inženjerski izvodljive te razumne mjere koje donose najveću moguću uštedu energije.

Korištenjem pristupa integralnog projektiranja, uspješna i kvalitetna energetska obnova pa i izgradnja novih vrlo niskoenergetskih zgrada, kao što su pasivne kuće, može se postići samo kroz principe interdisciplinarnog projektiranja koje je orijentirano na svojstva zgrade tijekom cjelokupnog životnog vijeka.

Primjeri dobre prakse korišteni u mnogim projektima obnove u Europi pokazuju da se korištenjem principa pasivne kuće potrošnja energije za grijanje može smanjiti i do 90 % nakon obnove vanjske ovojnice zgrade. Daljnje uštede energije mogu se postići kod pripreme potrošne tople vode i rasvjete.

Iako postoji određeni otpor neupućene javnosti, u smislu da se smanjuje kvaliteta i sloboda življenja u strogo kontroliranim uvjetima kakve zahtijevaju vrlo niskoenergetske zgrade, činjenica je da se uspostavljanjem standarda pasivne kuće, s visokim stupnjem toplinske izolacije, zrakonepropusnosti vanjske ovojnice i kontroliranom ventilacijom, stvorilo novo shvaćanje komfora življenja i zdravlja koje je od strane vlasnika korisnika pasivnih kuća opisano kao „kvantni skok“ s ekološkog, ekonomskog i sociološkog aspekta [8].

3. POVEĆANA UGOBNOST U PASIVNIM KUĆAMA

Ušteda energije nije jedino što može motivirati vlasnike i korisnike zgrada za gradnju pasivnih kuća ili obnovu za „faktor 10“. Potrebno je razmatrati i produljuje životnog vijeka zgrade te doprinos konkurentnosti na tržištu nekretninama. Veća razina ugodnosti i kvalitete unutarnjih prostora značajno utječe na odluku, te se nikako ne smije zanemariti.

3.1 Potrošnja energije i stupanj komfora

Kako bi se shvatila dinamika zgrade i način na koji je moguće postići toplinsku ugodnost kroz proces projektiranja, potrebno je najprije shvatiti principe koji uvjetuju toplinske uvjete u prostoru. Pojam ugodnosti je pitanje subjektivnog dojma svake osobe, koji ne ovisi samo o temperaturi, relativnoj vlažnosti ili strujanju zraka, već i o temperaturi građevnih dijelova koji okružuju promatrani prostor te biološke i sociološke parametre pojedinca i zajednice [9], što se u ovom radu neće detaljnije obrađivati. Dakle cilj projekatana, arhitekata i građevinara te strojara, mora biti postići što bolju toplinsku ugodnost u prostoriji.

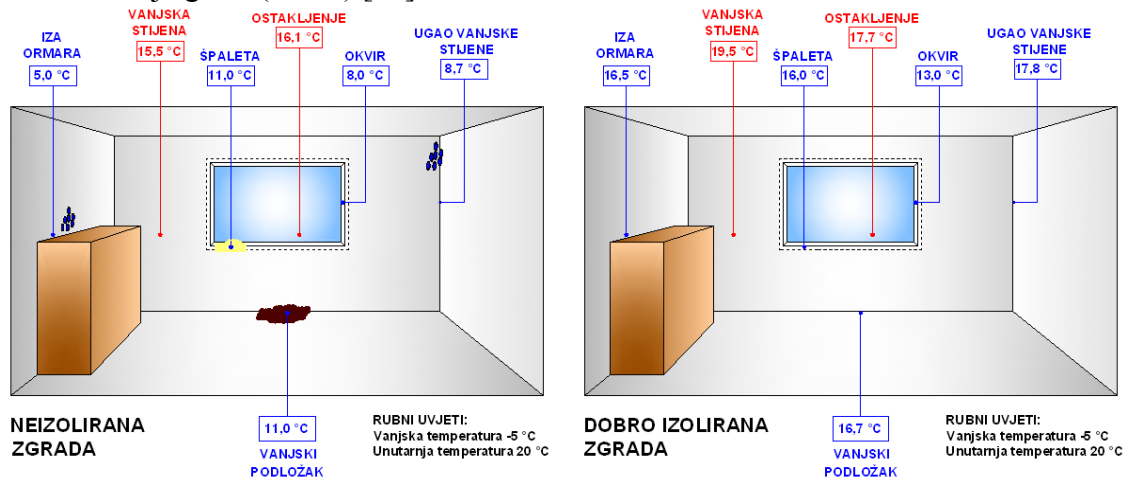
Postoje dva pristupa postizanju toplinske ugodnosti unutar vanjske ovojnice zgrade. Pasivne tehnike koriste interakciju unutarnjeg i vanjskog prostora, koriste energiju sunca i vjetera za postizanje uvjeta ugodnosti, dok aktivne tehnike, kao što su klimatizacija i sustavi grijanja troše energiju za postizanje jednakih ciljeva ugodnosti. S obje metode, pasivnom i aktivnom, može se postići toplinska ugodnost unutarnjeg prostora, ali samo u slučaju da su pažljivo projektirane i s namjerom da se postigne optimalna ugodnost u prostoru za korisnike uz istovremenu minimalnu potrošnju energije

Izmjena topline se odvija i između čovjeka i njegovog okoliša, kao i između svakog fizikalnog sustava i njegove okoline. Čovjek u okoliš predaje približno 100 W kada je u mirnom sjedećem položaju. Čovjek u mirovanju će se osjećati ugodno ukoliko je razlika odvedene topline, dovedene i u tijelu nastale topline što manja.

Za toplinsku ugodnost ljudskog tijela odlučujuća je temperatura okoline. Normom HRN EN ISO 7730 [10] definirane su optimalne temperature prostora u „tradicionalnim zgradama“, zimi 20-24°C i ljeti 23-26°C, pri čemu navedene temperature zraka i unutarnjih prostora mora osigurati vanjska ovojnica zgrade. Lechner [9] napominje izrazitu važnost i doprinos što većeg stupnja toplinske izolacije toplinskoj ugodnosti prostora. Jednostavno je pravilo za povećanje toplinske ugodnosti: „Što više toplinske izolacije, to bolje“.

Kod pasivnih kuća, preporučene temperature u prostoru manje su nego u uobičajenim kućama (18-20°C) [11]. Ovo je moguće uz zadržavanje jednakog ili čak i povećanje stupnja ugodnosti zbog toga što su temperature unutarnjih površina samo malo manje od temperature zraka u prostoru, slika 5.

Slika 5 – Temperatura unutarnjih površina vanjske ovojnice zgrade kod jednakih rubnih uvjeta (vanjska temperatura -5°C i unutarnja temperatura $+20^{\circ}\text{C}$) pri neizoliranoj (lijevo) i dobro izoliranoj zgradi (desno) [11].

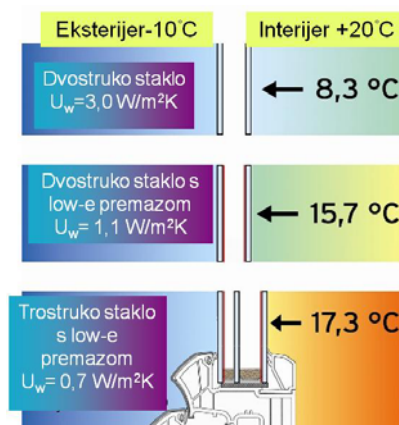


Iskustvo je pokazalo da je ugodnost u prostoru optimalna kada je asimetrija temperature između unutarnjih površina vanjske ovojnice (zidova i prozora) te zraka u prostoru manja od $2,5\text{ K}$. Kod uobičajenih zgrada ta vrijednost je i do 8 K , između prozora s dvostrukim ostakljenjem i zraka u prostoru, što onda uzrokuje potrebu ugradnje grijaćih tijela ispod prozora. Kako se zrak u prostoru giba zbog razlike u gustoći toplijeg i hladnijeg zraka, prirodno strujanje, u uobičajenim kućama gdje je hladnih površina više, zrak se na njima brzo hladi što uzrokuje njegovo brže gibanje, odnosno čime se smanjuje toplinska ugodnost u prostoru. Također, hladni zrak pri tlu, odnosno podu prostorije, uzrokuje nelagodan osjećaj „hladnih nogu“ [11].

Iako se značajne uštede mogu postići pasivnim korištenjem sunčeve energije kroz zagrijavanje prostora zimi, potrebno je znati da se uz loše projektiranje, potencijalne uštede koje se ostvaruju kroz smanjenje potrebne energije za grijanje, zimi mogu poništiti kroz povećanu potrebu za hlađenjem prostora ljeti.

Potrebno je također spomenuti da su prozori i vrata najslabija mjesta na vanjskoj ovojnici zgrade prema vrijednostima koeficijenta prolaska topline, čak i u slučaju da su ugrađeni najkvalitetniji prozori i vrata $U_w < 0,8\text{ W/m}^2\text{K}$. Njihovom nestručnom ugradnjom može se utjecati na doživljaj ugodnosti u prostoru, kroz smanjenu površinsku temperaturu ili povećano strujanje zraka kroz slabo zabrtvljene spojeve.

Slika 6 - Površinska temperatura unutarnje površine prozora s različitim vrstama ostakljenja



Slika 6 shematski prikazuje površinsku temperaturu na unutarnjoj površini prozora s različitim vrstama ostakljenja, uz temperaturu vanjskog zraka od -10°C i temperaturu unutarnjeg zraka od 20°C . Iz slike je očigledan doprinos kvalitetnijeg ostakljenja na održanje visoke temperature unutarnje površine stakla što značajno doprinosi osjećaju ugodnosti.

Osim toplih površina zidova i prozora za postizanje toplinske ugodnosti, kod pasivnih kuća ventilacijski sustavi s rekuperacijom topline osiguravaju neprekidnu opskrbu svježim zrakom, bez gubitaka topline.

3.2 Značaj kvalitete unutarnjeg zraka

Značaj kvalitete unutarnjeg zraka (Indoor Air Quality – IAQ) je vrlo velik u prostorima gdje ljudi provode dulje vremenske periode. Zdravlje i ugodnost korisnika prostora i utjecaj kvalitete zraka na njihovu produktivnost prepoznate su vrijednosti održive gradnje, odnosno održivih zgrada, kakve su i pasivne kuće [12].

Loša kvaliteta unutarnjeg zraka može rezultirati privremenim pogoršanjem te pridonijeti ozbiljnijim dugotrajnim pogoršanjem zdravlja korisnika zgrade. Simptomi koji se povezuju s lošom kvalitetom zraka su glavobolja, umor, nedostatak daha, začepljenje sinusa, kašljanje, kihanje, iritacija očiju, nosa i grla, pa čak i vrtoglavicu i mučninu.

U uobičajenim zgradama, kvaliteta unutarnjeg zraka se održava kroz provjetravanje prostora. Provjetravanje može biti namjerno, otvaranjem prozora, ili ugradnjom mehaničkih sustava za ventilaciju. Nenamjerna ventilacija se događa zbog lošeg brtvljenja vanjske ovojnice zgrade (prozori, vrata, različiti proboji), odnosno lošeg izvođenja, a uslijed razlike pritiska unutarnjeg i vanjskog zraka.

U slučaju pasivnih kuća potrebno je, kako je već spomenuto, postići što bolju toplinsku izolaciju vanjske ovojnice. Ova činjenica nužno za sobom povlači i sprječavanje ventilacijskih toplinskih gubitaka kroz vanjsku ovojnicu, odnosno nenamjernih gubitaka zbog lošeg brtvljenja ili lošeg izvođenja, te posljedične kondenzacije vodene pare unutar građevnih dijelova vanjske ovojnice zgrade. Dakle, nužno je postići zrakonepropusnu vanjsku ovojnicu pasivne kuće. Zrakonepropusna vanjska ovojnica bitna je i zbog što većeg iskorištenja topline unutarnjeg zraka prilikom rekuperacije topline kod mehaničke ventilacije, čime se štedi potrebna energija za grijanje prostora.

Postoji još jedan razlog za mehaničku ventilaciju, pogotovo u obnovljenim zgradama, povećana zrakonepropusnost vanjske ovojnice (npr. nakon zamjene prozora) logično zahtijeva manje energije za grijanje, ali s druge strane može uzrokovati probleme s vlagom ukoliko ne postoji zadovoljavajuća izmjena zraka u prostoriji, jer se povećava relativna vlažnost zraka.

Dakle, izmjena zraka u prostorijama u slučaju pasivne kuće ne samo da postoji (skeptici govore o zagušljivosti i ustajalosti zraka i potrebi otvaranja prozora), već je i nužna za kvalitetnu pasivnu kuću. Loši primjeri neznanja i nekvalitetne izvedbe uzroci su postojanja predrasuda o pasivnim kućama. Dapače, formalna definicija pasivne kuće glasi: „Pasivna kuća je zgrada za koju se toplinska ugodnost propisana normom ISO 7730 može postići samo korištenjem pregrijavanja ili predhlađenja svježeg zraka kojeg je potrebno dovesti kako bi se zadovoljili uvjeti kvalitete zraka propisani normom DIN 1946 bez potrebe za recirkulacijom zraka“. Sama definicija pasivne kuće se dakle fokusira na osiguranje kvalitete unutarnjeg zraka, a svi ostali uvjeti su potrebni kako bi se ona osigurala uz što manju potrošnju energije.

Osim osiguranja svježeg zraka, mehaničkim sustavom ventilacije regulira se relativna vlažnost u prostoriji čime se sprječava razvoj gljivica i plijesni, te se filtrira prašina i druge nečistoće iz zraka što zajedno povoljno djeluje i na zdravlje ljudi, smanjujući probleme sa zdravljem i alergijama.

Postojeće obiteljske kuće i zgrade bilježe značajan pad relativne vlažnosti zraka tijekom zime, daleko ispod normiranih propisanih zahtjeva, zbog grijaćih tijela koje zagrijavanjem zraka

smanjuju njegovu relativnu vlažnost. U nekim slučajevima čak i prevelika infiltracija zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade nije dovoljna da se relativna vlažnost zraka poveća iznad 30 %. Iako je vanjska ovojnica pasivne kuće iznimno zrakonepropusna, visokoučinkovita mehanička ventilacija s povratom topline zadovoljava sve higijenske zahtjeve boravka ljudi uz minimalno korištenje energije za njezino funkcioniranje.

3.3 Buka

Da li je u zgradi buka ili tišina, prije svega ovisi o dobro dimenzioniranoj zvučnoj izolaciji zgrade u odnosu na razinu buke u specifičnom vanjskom okolišu. Osim zvuka iz vanjskog prostora, na razinu ugodnosti utječe i razina buke koja je uzrokovana radom tehničkih sustava unutar zgrade. Kako na indeks zvučne izolacije građevnih dijelova zgrade utječe svaka, pa i najmanja nehomogenost, pukotina, proboj, nedovoljno zabrtvljeni elementi vanjske ovojnice, proizlazi da je u slučaju pasivne kuće razina buke koja dolazi izvana u unutarnjem prostoru manja zbog sloja toplinske izolacije koji je ujedno i apsorber zvuka te zabrtvljenosti vanjske ovojnice. Boljoj zaštiti od buke pridonose i bolji prozori i vrata koji se ugrađuju u vanjsku ovojnicu pasivne kuće. Zvučna izolacija centralnog ventilacijskog sustava i razvodnih cijevi ugrađenih u pasivnu kuću postiže se ugradnjom prigušivača zvuka. Osim prigušivača zvuka potrebno je i prikladno projektiranje sustava kako bi šumovi kod protoka zraka bili što manji, tako da vodovi moraju biti simetrični, putovi kratki i bez nepotrebnih promjena smjera. Uz sve navedene mjere, razina zvučnog tlaka u prostoru ne prelazi 20-25dB(A).

4. KVALITETA IZVOĐENJA PASIVNIH KUĆA

Prilikom izvedbe pasivnih kuća veliku pažnju potrebno je posvetiti izgradnji, naročito je bitno posvetiti pažnju izvedbi zrakonepropusne vanjske ovojnice zgrade, spojevima različitih elemenata vanjske ovojnice, kao što su prozori i vrata te spojevima građevnih dijelova zgrade. Kako bi se osigurala potrebna kvaliteta, potrebno je provesti kontrolu projekata procesu projektiranja, kontrolu procesa izgradnje i instalacije tehničkih sustava te tijekom korištenja. Kontrolu, odnosno certifikaciju pasivnih kuća potrebno je provesti u četiri stupnja: *kontrola projekatnata* (njihova osposobljenost posjedovanjem dokaza razini znanja i osposobljenosti) te kontrola projekta, *kontrola izvođenja* (ugradnja odgovarajućih materijala i proizvoda od strane osposobljenog osoblja), *provođenje kontrole izvedenog stanja* neposredno prije završetka izvođenja radova u pogledu zrakonepropusnosti vanjske ovojnice, *kontrola tijekom korištenja*. Zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade može se definirati kao otpor prolasku zraka iz unutrašnjosti zgrade ili ulasku vanjskog, hladnog zraka u unutrašnjost zgrade pukotine, šupljine i druga mjesta koja su nastala nenamjernim propustima, a nikako kroz sustav ventilacije, a ispituje se metodom Blower Door, slika 8.

Slika 7 - Blower Door uređaj prilikom ispitivanja prve pasivne kuće u Hrvatskoj (kuća M4 u Bestovju [13]) provedenom u studenom 2011. godine.



Postizanje što bolje zrakonepropusnosti vanjske ovojnice zgrade važno je iz dva razloga, kontrole ventilacijskih toplinskih gubitaka, pri čemu je bitno da se što manje zraka gubi kroz vanjsku ovojnicu, odnosno da se što više zraka provodi kroz sustav za rekuperaciju topline, što utječe i na učinkovitost sustava ventilacije. Drugi razlog je što zrak koji prolazi kroz vanjsku ovojnicu, procuruje kroz vanjsku ovojnicu i sa sobom nosi veliku količinu vodene pare. U trenutku kada se vodena para u sloju toplinske izolacije ohladi na temperaturu zasićenja, ona se kondenzira. Povećanje vlažnosti sloja toplinske izolacije znatno utječe na sama toplinska svojstva. Povećanje udjela vode u toplinskoj izolaciji povećava i koeficijent provođenja topline, što povećava ukupne gubitke topline kroz vanjsku ovojnicu. Povećana vlažnost u sloju toplinske izolacije pogodna je za razvoj gljivica i plijesni, što uzrokuje propadanje ne samo sloja izolacije, nego i propadanje nosive konstrukcije zgrade [14]. Preporuča se provođenje ispitivanja zrakonepropusnosti vanjske ovojnice zgrade prije izvođenja završnih radova i samog završetka radova na zgradi. Cilj preporuke je povećanje kvalitete izvođenja radova na zrakonepropusnoj ovojnici zgrade te ispravljanje postojećih grešaka u izvođenju koje su neminovne na što brži i jeftiniji način, dok bi ostvarivanje zrakonepropusnosti nakon završetka radova znatno poskupilo i zakompliciralo postupak otklanjanja nedostataka.

U slučaju pasivnih kuća, broj izmjena zraka u prostoru ne smije prijeći vrijednost od 0,6 1/h (0,6 izmjena zraka u prostoriji) pri razlici tlakova od 50 Pa ispitivano metodom Blower Door, pri čemu je potrebno naglasiti da je higijenski minimum 0,5 izmjena zraka.

5. ZAKLJUČAK

Pasivne kuće su zgrade u kojima je dokazana povećana toplinska ugodnost zimi i ljeti u odnosu na uobičajene kuće. Uz pretpostavku interdisciplinarnog projektiranja vanjske ovojnice i ugrađenih tehničkih sustava te kvalitetnog izvođenja, u pasivnoj kući se postižu jednakomjerne operative temperature, vrlo mala asimetrija temperature prostora, nema osjećaja strujanja zraka, odnosno propuha kroz vanjsku ovojnicu. Osiguran je dovod svježeg i kvalitetnog zraka u unutrašnji prostor, koji zbog filtriranja sadrži puno manje štetnih čestica i CO₂ nego što je to slučaj u uobičajenim kućama, što pasivne kuće čini posebno prihvatljivima za ljude s alergijama.

Ovim radom je prikazana kvaliteta pasivne kuće kao oblika stanovanja koji više nije daleka budućnost nego postaje sadašnjost u gradnji obiteljskih kuća, stambenih pa čak i poslovnih zgrada, ne samo u Europi nego i u Hrvatskoj. Prikazane su prednosti pasivne kuće u odnosu na klasičnu gradnju te su uz to razjašnjene nedoumice koje postoje u javnosti oko pasivnih kuća. Iako je početna investicija u pasivnu gradnju nešto veća, ukupni naknadni troškovi bit će znatno manji u usporedbi s troškovima koji su potrebni u slučaju klasične gradnje.

Osiguranje kvalitete izgradnje pasivne kuće postiže se ukoliko se slijedi nekoliko jednostavnih pravila. Holističko projektiranje postaje standard, te je neizbježno kod projektiranja niskoenergetskih i pasivnih zgrada. Potrebno je unaprijed promišljati detalje

kako bi se izbjegli problemi i improvizacija prilikom izvođenja, jer vrijedi pravilo da improvizacija često rezultira problemima. Izvođenje radova mora biti maksimalno precizno i odgovorno bez iznimaka, te ga je potrebno povjeriti iskusnim i obrazovanim radnicima koji razumiju posljedice nemarne ili loše gradnje te koristiti kvalitetne proizvode primjerene za specifičnu upotrebu.

LITERATURA

- [1] *Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske*, Narodne novine 130/09
- [2] Ž. Hrs Borković, i drugi, *Vodič kroz energetske efikasne gradnje*; Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb 2005.
- [3] *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*, Official Journal of the European Union L153/13-35
- [4] D. Mikulić, B. Milovanović, D. Kolić, A. Sokačić, T. Šimunović, *Environmental Impact of Improving Energy Efficiency of Buildings*, Sustainable Construction Materials and Technologies, Zachar, J; Claisse, P; Naik, T.R.; Ganjian, E. (ur.), Ancona: UWM Center for By-Products Utilization, 2010. 1183-1191
- [5] H. Kaan, I. Strom, C. Boonstra, *Passive Houses Worldwide: International Developments*, 10th international passive house conference, pp. 235-242, 2006.
- [6] *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti u zgradama*, NN 110/08, 89/09
- [7] J. Hazucha, *Obnova zgrada socijalnog stanovanja - Smjernice za obnovu kompleksa*, „PASS-NET“ IEE projekt, 2010.
- [8] B. Steinmüller, *Reducing Energy by a Factor of 10 Promoting Energy Efficient Sustainable Housing in the Western World*, Centre for Sustainability Management, 2008.
- [9] M. Zbašnik Senegačnik, *Pasivna kuća*, SUN ARH Zagreb, 2009.
- [10] HRN EN ISO 7730:2008, *Ergonomija toplinskog okoliša -- Analitičko utvrđivanje i tumačenje toplinske udobnosti uporabom izračuna PMV i PPD indeksa i lokalnih toplinskih kriterija udobnosti*
- [11] N. Lechner, *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects*, John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- [12] L. Haselbach, *The Engineering guide to LEED - New construction: Sustainable construction for engineers*, McGraw Hill, 2008.
- [13] Lj. Mišćević, *Passive Energy Standard in Building as a Perspective of Sustainable Development - First Passive Houses in Croatia*, 14th Forum Cro. Energy Day, HED, Zagreb, I, 2005., pg 117-126
- [14] B. Milovanović, N. Štirmer, I. Banjad Pečur, *Važnost kvalitete izvedbe zgrada u svjetlu zahtjeva energetske učinkovitosti*, Kvaliteta i društvena odgovornost, Drljača, Miroslav (ur.), Solin: Hrvatsko društvo menadžera kvalitete, pp 161-175, 2012.

THE PASSIVE HOUSE IMPROVEMENT IN HOUSING QUALITY

Summary

In this age of increased energy prices and emission excesses, efficient energy use is becoming more and more important. Through implementation of the Passive House concept, a considerable energy saving can be obtained, in comparison with business as usual, together with significant CO₂ reductions. For this reason, the Passive House approach has been recognized as the sensible way forward by the European Commission and building professionals. A Passive House is an energy-efficient building which also has substantial non-energy benefits. Airtightness makes possible a high level of control over indoor air quality, since the building is mechanically ventilated, independently of weather conditions. High-quality air is brought in under precise control and balance, while poor-quality, uncontrolled air is kept out. If desired, the ventilation system can be equipped with a high-quality filter, so allergens and other particulates are removed – so the indoor air can be cleaner than the outdoor air. A superior level of insulation and high-performance windows help ensure a uniformly high level of comfort. The interior surfaces of the building are close to room temperature by design, which, coupled with high-quality windows, reduces the intrusion of outdoor noise, resulting in more comfort for the residents. The Passive House standard fundamentally consists of three elements: an energy limit, a quality requirement, and a defined set of preferred Passive Systems which allow the energy limit and quality requirement to be met cost-effectively.

Keywords: Energy efficiency, housing quality, construction quality, Passive House Standard