

VAŽNOST KVALITETE IZVEDBE ZGRADA U SVJETLU ZAHTJEVA ENERGIJSKE UČINKOVITOSTI

**THE IMPORTANCE OF CONSTRUCTION PROCESS QUALITY
REGARDING ENERGY EFFICIENCY DEMANDS**

Bojan Milovanović, dipl. ing. građ.

E-mail: bmilovanovic@grad.hr

Prof. dr. sc. Nina Štirmer

E-mail: ninab@grad.hr

Prof. dr. sc. Ivana Banjad Pečur

E-mail: banjadi@grad.hr

Zavod za materijale, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
Fra Andrije Kačića Miošića 26, 10 000 Zagreb, Croatia

UDK/UDC: 005.6+691:621.4

Pregledni rad/Review

Primljeno: 20. siječnja, 2012./Received: January 20th, 2012

Prihvaćeno: 5. veljače, 2012./Accepted: February 5th, 2012

SAŽETAK

Prema Strategiji energetskeg razvoja Republike Hrvatske, 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 energetske učinkovitosti u sektoru kućanstava temelji se na povećanju svijesti građana o mogućoj uštedi i poticajima kod planiranja i izgradnje stanova te ponašanju u skladu s načelima energetske učinkovitosti. Energetski certifikat pruža informaciju o energetskom svojstvu zgrade, omogućuje usporedbu zgrada u odnosu na njihovo energetsko svojstvo te u odnosu na referentne vrijednosti, odnosno stanarima daje informaciju o kvaliteti zgrade koju i kvantificira proračunom energetskog svojstva zgrade. Vrijednosti iskazane na energetskom certifikatu odražavaju potrošnju energije koja je izračunata temeljem pretpostavljenog režima korištenja zgrade pa ne moraju nužno izražavati realnu potrošnju u zgradi, jer ona uključuje i ponašanje korisnika. Dugogodišnje iskustvo ukazuje na nedostatke

pri izvedbi zgrada u pogledu izvedbe detalja i spojeva koji mogu uvelike utjecati na energijsko svojstvo zgrade te pojavu građevinske štete zbog povećanog stupnja toplinske izolacije zgrada. U radu su opisani osnovni zahtjevi Direktive 2010/31/EU o energijskom svojstvu zgrada te svrha i način izrade energijskog certifikata kao dokaza o kvaliteti zgrade. Prikazani su osnovni elementi energijskog pregleda zgrada u svrhu izrade energijskog certifikata te utjecaj nekvalitetne izvedbe zgrada na povećanje potrošnje primarne energije. Također, prikazani su oblici građevinske štete koji se javljaju u zgradama s višim stupnjem toplinske zaštite. Opisane su i najčešće metode kontrole kvalitete izvedbe i mjerenja za utvrđivanje energijskog svojstva zgrade: mjerenje zrakopropusnosti (Blower Door Test) i korištenje infracrvene termografije.

Ključne riječi: energijski certifikat, toplinska izolacija, kontrola kvalitete izvedbe, zrakopropusnost, infracrvena termografija.

1. UVOD

Od građevinskog sektora se očekuje veliki doprinos u ostvarenju ciljeva Europske unije (EU) do 2020. godine koji obuhvaćaju smanjenje emisije CO₂ za 20%, korištenje 20% energije iz obnovljivih izvora i smanjenje potrošnje primarne energije za 20% povećanjem energijske učinkovitosti. Građevinski sektor i prateća industrija trebaju biti spremni za rekonstrukcije kojima se ostvaruje visoka energijska učinkovitost kao i izvođenje novih zgrada sa što manjom potrošnjom energije (niskoenergetskih, pasivnih, gotovo nuloenergetskih). Neupitna je potreba za stručnim usavršavanjem, certificiranjem i povećanjem broja stručno osposobljenih radnika koji će sudjelovali u izvođenju zgrada s malom potrošnjom energije. Postoje mnogobrojne inicijative EU koje potiču stvaranje preduvjeta za ostvarivanje ovih ciljeva. To obuhvaća razvoj i implementaciju inovativnih rješenja u području energijske učinkovitosti, investiranje u obnovljive izvore, energijsko certificiranje zgrada te sustave usavršavanja i vrednovanja kvalificirane radne snage na tržištu.

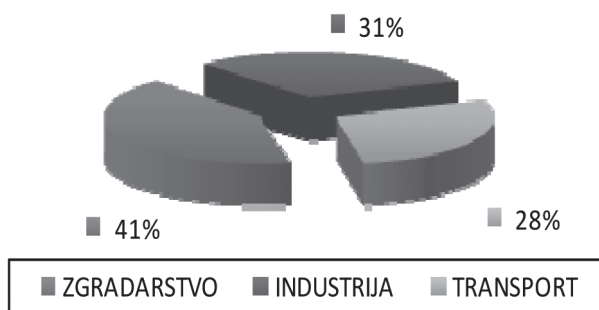
Najveći utjecaj na kvalitetu zgrade u smislu energijske učinkovitosti ima ovojnica zgrade i to ne samo vrste upotrijebljenih materijala već i izvedba pojedinih detalja.¹ Za kvalitetno izvođenje radova, radnik mora imati potrebnu kvalifikaciju, odgovarajuću opremu, a isto tako treba biti motiviran za kvalitetan rad te se mora ostvariti dobra komunikacija i informiranje svih sudionika u građenju.

¹ Dunja Mikulić, Nina Štirmer, Bojan Milovanović i Ivana Banjad Pečur, "Energijsko certificiranje zgrada", Građevinar, časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera, Vol.62, No. 12, 2010, str. 1087-1096.

2. ZAHTJEVI DIREKTIVE 2010/31/EU O ENERGIJSKOM SVOJSTVU ZGRADA

Prema Direktivi 2010/31/EU² o energijskom svojstvu zgrada, u ukupnoj potrošnji energije u EU, zgrade doprinose s 41%, slika 1.

Slika 1. Potrošnja energije po sektorima u zemljama EU³



Smanjenje potrošnje energije i upotreba obnovljivih izvora u sektoru zgradarstva čine važne mjere za ukupno smanjenje potrošnje energije i emisiju stakleničkih plinova. Zadani ciljevi doprinose usklađenosti s Kyoto protokolom koji obvezuje na ograničavanje globalnog porasta temperature na manje od 2°C i smanjenje ukupne emisije stakleničkih plinova do 2020. godine najmanje za 20% u usporedbi sa stanjem iz 1990. godine. Mjere smanjenja potrošnje energije i povećanje uporabe energije iz obnovljivih izvora imaju važnu ulogu u sigurnosti opskrbe energijom, tehnološkom razvoju i mogućnostima zapošljavanja te regionalnom razvoju, osobito u ruralnim područjima.

Europsko Vijeće je u ožujku 2007. naglasilo potrebu povećanja energijske učinkovitosti u EU kako bi se postigli zadani ciljevi smanjenja potrošnje energije te je pozvalo na brzu implementaciju prioriteta danih u "Akcijskom planu za energijsku učinkovitost: realizacija potencijala". Akcijski plan je identificirao značajan potencijal učinkovite uštede energije u sektoru zgradarstva. Mjere kojima se poboljšava energijska učinkovitost u zgradarstvu trebaju uzeti u obzir klimatske i lokalne uvjete, kao i klimatske uvjete u unutrašnjosti zgrade te ekonomsku opravdanost. S druge strane, mjere ne smiju utjecati na druge zahtjeve kao što su pristup zgradi, sigurnost i namjena zgrade.

² Direktiva 2010/31/EU energijskom svojstvu zgrada, <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>.

³ Željka Hrs Borković, Vodič kroz energetske efikasne gradnje; Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb 2005.

Energijsko svojstvo zgrade treba, prema Direktivi, odrediti u skladu s metodologijom koja se može razlikovati na nacionalnoj ili regionalnoj osnovi. To uz toplinske karakteristike uključuje i druge značajne faktore kao što su sustavi za grijanje i klimatizaciju, primjenu energije iz obnovljivih izvora, elemente za pasivno grijanje i hlađenje, zasjenjivanje, unutrašnju kvalitetu zraka, prikladno prirodno osvjetljenje i projekt zgrade. Metodologija za proračun energijskog svojstva zgrade ne zasniva se samo na sezoni grijanja već na godišnjoj potrošnji energije. Svaka zemlja članica odgovorna je za definiranje najmanjih zahtjeva za energijsko svojstvo zgrade i elemenata zgrade. Pri tome zahtjevi moraju uzeti u obzir ulaganje i uštedu troškova za energiju tijekom životnog vijeka zgrade.

Pri velikim rekonstrukcijama postojećih zgrada postoji mogućnost poduzimanja ekonomski opravdanih mjera za poboljšanje energijskog svojstva. U Direktivi je navedeno da zemlje članice mogu definirati pojam “velike rekonstrukcije” kao postotak površine ovojnice zgrade ili kao postotak vrijednosti zgrade. Također je navedeno da su potrebne mjere kojima bi se povećao broj zgrada koje bi bile energijski učinkovitije, i to smanjujući potrošnju energije i emisiju ugljičnog dioksida. Da bi se to ostvarilo, zemlje članice trebaju izraditi nacionalne planove za gotovo nul-energijske zgrade. Direktiva daje zahtjeve za:

- metodologiju proračuna integriranog energijskog svojstva zgrade i elemenata zgrade;
- primjenu najmanjih zahtjeva za energijsko svojstvo novih zgrada i novih elemenata zgrade;
- primjenu najmanjih zahtjeva za energijsko svojstvo postojećih zgrada i elemenata zgrade koji će biti rekonstruirani; elemenata zgrade koji čine ovojnicu i koji mogu imati veliki utjecaj na energijsko svojstvo ovojnice zgrade nakon zamjene ili uklanjanja te tehničkih sustava zgrade u pogledu troškovno optimalnog svojstva;
- nacionalne planove za povećanje broja zgrada skoro nulte potrošnje;
- energijsko certificiranje zgrada ili elemenata zgrade;
- uobičajene preglede sustava za grijanje i klimatizaciju i
- neovisne sustave kontrole energijskih certifikata i izvještaja o pregledima.

Direktiva navodi da bi javne zgrade trebale poslužiti kao primjer u smislu brige o okolišu i potrošnji energije tako da bi trebale javno istaknuti svoje energijske certifikate i to osobito zgrade državnih tijela ili one koje posjećuje veliki broj ljudi kao što su trgovački centri, supermarketi, restorani, kazališta, banke i hoteli. Lokalna vlast je vrlo važna za uspješnu implementaciju

zahtjeva Direktive pa se preporuča njihovo uključivanje u planiranje i razvoj različitih programa kako bi se omogućilo informiranje, usavršavanje i podizanje svijesti o energijskoj učinkovitosti na nacionalnoj i regionalnoj razini. Također, naglašava se da su građevinski radnici i instalateri ključni za uspješnu implementaciju Direktive. Preporuča se njihovo usavršavanje i druge mjere kako bi bili stručno osposobljeni za integriranje energijski učinkovitih rješenja i tehnologiju obnovljivih izvora.

3. ENERGIJSKO CERTIFICIRANJE

Svrha je energijskog certifikata (prema Pravilniku o energetsom certificiranju zgrada⁴) pružanje informacija vlasnicima i korisnicima zgrada o energijskom svojstvu zgrade i usporedba zgrada u odnosu na njihovo energijsko svojstvo te u odnosu na referentne vrijednosti. Vrijednosti iskazane na energijskom certifikatu odražavaju energijsko svojstvo zgrade i potrošnju energije izračunatu temeljem pretpostavljenog režima korištenja zgrade pa ne moraju nužno izražavati realnu potrošnju u zgradi, jer ona uključuje i ponašanje korisnika.

Energijski certifikat sadrži opće podatke o zgradi, energijski razred zgrade, podatke o osobi koja je izdala certifikat, podatke o termotehničkim sustavima, klimatske podatke, podatke o potrebnoj energiji i referentne vrijednosti, objašnjenja tehničkih pojmova, te popis primijenjenih propisa i normi. Energijski certifikat za postojeće zgrade obvezno sadrži i prijedlog mjera za poboljšanje energijskog svojstva zgrade koje su ekonomski opravdane. U slučaju novih zgrada, sadrži preporuke za korištenje zgrade vezano na ispunjenje bitnog zahtjeva uštede energije i toplinske zaštite i ispunjenje energijskog svojstva zgrade.

4. OBLICI GRAĐEVINSKE ŠTETE U ZGRADAMA

Vlaga je čimbenik koji najviše smanjuje kvalitetu građevnih dijelova zgrade i njenih konstrukcijskih elemenata. Studije ukazuju da je kod problema sa zgradama, u 70% slučajeva direktni ili indirektni uzročnik vlaga. Površinska kondenzacija i problemi s difuzijom vodene pare mogu se pojaviti i kod novih, još neuseljenih objekata, osobito ako je zgrada “zatvorena” prije potpunog isušivanja građevinske vlage zaostale u materijalima konstrukcija i obloga. Ovakvi slučajevi se događaju ukoliko se izvede toplinska izolacija od toplinsko-izolacijskih materijala s visokim koeficijentom difuzije vodene pare

⁴ Pravilnik o energetsom certificiranju zgrada, Narodne novine 36/10.

kao što je ekspandirani polistiren, paronepropusnim vanjskim završnim slojevima žbuke i/ili ukoliko se ugrade prozori s nekoliko slojeva brtvi koji zajedno sprječavaju isušivanje konstrukcije.

Implementacija mjera za poboljšanje energijskog svojstva zgrada, tj. smanjenje potrošnje energije za grijanje i hlađenje u zgradama u slučaju nestručne izvedbe može uzrokovati probleme najčešće vezane uz kondenzaciju vodene pare unutar građevnih dijelova zgrada (slika 2), povećanje relativne vlažnosti u zgradi (slika 3), veći utjecaj toplinskih mostova na ukupnu potrošnju energije.

Slika 2. Razvoj gljivica i plijesni zbog kondenzacije vodene pare unutar krovišta



Kondenzaciju vodene pare nakon implementacije mjere poboljšanja energijske učinkovitosti u obliku zamjene stolarije novom stolarijom visoke kvalitete, može uzrokovati činjenica da se zamjenom stolarije direktno djeluje i na izmjenu zraka u prostoriji.

Slika 3. Razvoj gljivica zbog kondenzacije vodene pare oko prozora



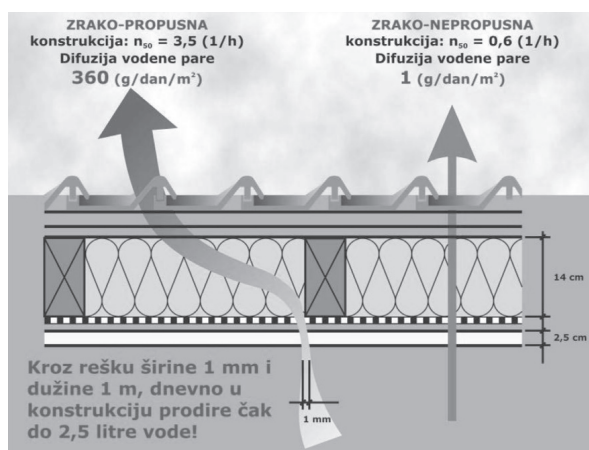
Bolje brtvljenje nove stolarije uzrokuje povećanje relativne vlažnosti zraka u prostoriji što u kombinaciji s činjenicom da se bez ugradnje toplinske izolacije zadržava jednaka temperatura unutarnje površine zidova dovodi do kondenzacije vodene pare. Problemi mogu također biti povezani i s povećanjem pritoka vodene pare u prostoriji uzrokovane pranjem i sušenjem rublja, kuhanjem ili evapotranspiracijom s biljaka. Opisani problemi mogu se riješiti izvedbom mehaničke ventilacije ili osiguranjem povremenog provjetravanja prostorija u obliku udarnog prozračivanja (propuh), trajnog prozračivanja (otvaranjem prozora na otklop) ili prozračivanjem ugradnjom specijalnih elemenata za prozračivanje u prozorske okvire, što posljedično uzrokuje povećane toplinske gubitke.

Pasivne zgrade se definiraju kao zgrade u kojima godišnja potrebna energija za grijanje ne prelazi 15 kWh/m^2 , a ukupna godišnja potrošnja primarne energije ne prelazi 120 kWh/m^2 . Zrakopropusnost vanjske ovojnice mora biti manja od $n_{50}=0,6 \text{ l/h}$, a oscilacija temperature zraka u prostoru je manja od 10%. Dakle, jedna od osnovnih pretpostavki izgradnje vrlo niskoenergetskih kuća kao što su pasivne kuće ili pak gotovo nul-energetske kuće je da se što više smanje gubici energije kroz vanjsku ovojnicu zgrade te kroz tehničke sustave zgrade, zbog čega se pasivna kuća kao takva u široj javnosti opisuje kao "kuća termosica". Ova pretpostavka je samo približno točna, jer izvođenje građevnih dijelova zgrada sa što debljim slojem toplinske izolacije u slučaju pasivnih kuća, te izvedba gotovo potpuno zrakotijesnih zgrada nadopunjuje se izvođenjem mehaničke ventilacije zgrade, pri čemu se koriste uređaji vrlo visoke učinkovitosti što pridonosi smanjenju gubitaka topline kroz sustav.

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. Postojanje gljivica i plijesni također smanjuje i udobnost života u samoj zgradi, zbog njihovog alergičnog djelovanja te uzrokovanja pojedinih bolesti.

Opisana problematika može se poduprijeti istraživanjem⁵ u kojem je pokazano da se kroz zrakopropusnu konstrukciju (broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlakova od 50 Pa jednak je $n_{50}=3,5$ izmjene u sat vremena) djelovanjem difuzije dnevno transportira 360 g/m^2 vodene pare, a procurivanjem zraka kroz rešku širine 1 mm duljine 1 m pri razlici tlakova od 2 Pa transportira se i do 2,5 l vode. S druge strane, u slučaju zrakonepropusne vanjske ovojnice zgrade ($n_{50}=0,6 \text{ l/h}$), uz otpor difuzije vodene pare građevnog dijela $s_d=10 \text{ m}$, difuzijom vodene pare transportira se 1 g/dan/m^2 vodene pare (slika 4).

Slika 4. Odnos zrakopropusnosti ovojnice i količine difundirane vodene pare⁶



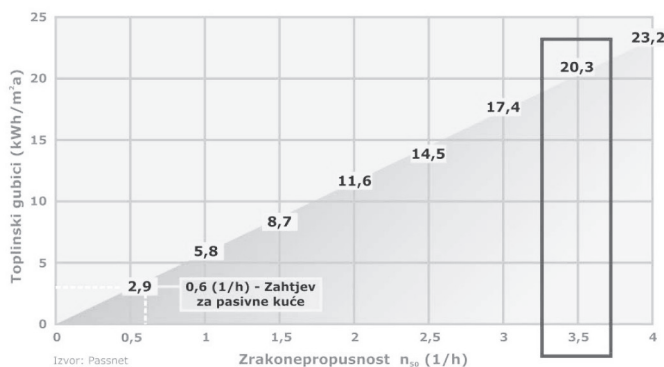
Gubici energije kroz zrakopropusnu vanjsku ovojnicu prikazani su u istraživanju projekta Passnet⁷, pri čemu je sa slike 5 jasno vidljiva linearna ovisnost broja izmjena zraka u prostoriji pri razlici pritisaka od 50 Pa dobivena ispitivanjem Blower door metodom i toplinskih gubitaka tijekom jedne godine. Na slici je crvenim pravokutnikom označen najveći dopušteni broj izmjena zraka u prostoriji ukoliko ona nema sustav mehaničke ventilacije u usporedbi sa zahtjevom za pasivnu kuću.

⁵ “Passive house seminar for professionals from the building sector”, Intelligent Energy Europe Project Passnet.

⁶ Ibidem.

⁷ Ibidem.

Slika 5. Odnos zrakonepropusnosti i toplinskih gubitaka zgrade⁸



Kako bi se približno prikazao utjecaj gubitaka topline kroz vanjsku ovojniciu zgrade zbog procurivanja zraka, prikazat će se primjeri iz Belgije i Njemačke, gdje je istraživanjima procijenjeno da se zbog zrakopropusnosti gubici topline povećavaju za oko 10%. Pokazalo se da je u navedenim zemljama korist od kvalitetne izvedbe zrakopronepropusne ovojnice zgrade slična instalaciji solarnih kolektora. U Francuskoj je utjecaj zrakonepropusnosti vanjske ovojnice procijenjen na potrebu dodatnih 2 do 5 kWh/m²a za grijanje po jediničnoj promjeni broja n_{50} .⁹

5. METODE KONTROLE KVALITETE IZVEDBE ZGRADE

Važno je također napomenuti da zrakopropusnost nije problem samo u hladnim klimatskim uvjetima. U toplim klimatskim uvjetima, uz svoj mali utjecaj na potrebu energije za grijanje prostora, zrakopropusnost veći utjecaj ima na potrebnu energiju za hlađenje zgrade, pogotovo ukoliko je zgrada klimatizirana.

5.1. Metoda ispitivanja zrakopropusnosti - Blower Door

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. Ovakav prolaz zraka, naziva se

⁸ Ibidem

⁹ Gaële Guyot, PG Schild and Remi F. Carrié, "Stimulation of good building and ductwork airtightness through EPBD", Assessment and Improvement of the EPBD Impact (for new buildings and building renovation) ASIEPI IEE project Report, April, 2010.

infiltracija, te je uzrokovan razlikom pritiska s obje strane vanjske ovojnice koji nastaje zbog razlike u temperaturi zraka, pritiska vjetra i zbog mehaničkog ventilacijskog sustava. S mjeriteljskog stajališta, mjerenje zrakopropusnosti je problem mjerenja protoka zraka kroz vanjsku ovojnicu kao funkcije razlike tlakova s obje strane ovojnice. Blower Door uređaj, (slika 6) se koristi za stvaranje prisilne razlike tlakova između unutrašnjosti zgrade i vanjskog prostora.

Slika 6. Blower Door uređaj



Standardna razlika tlakova koja se koristi za ocjenu zrakopropusnosti zgrade je 50 Pa (nadtlak ili podtlak), što je zapravo ekvivalentno djelovanju vjetra brzine 35 km/h na sve strane zgrade istodobno. Razlika tlakova od 50 Pa je dovoljno velika da se nadvlada šum mjerenja i drugi nepovoljni utjecaji koji utječu na točnost mjerenja, a uzrokovani su promjenama temperature zraka tijekom mjerenja ili djelovanjem slabog vjetra. Zbog toga je metoda relativno točna i ponovljiva.

Količina zraka koja je potrebna za održavanje razlike pritiska na vanjskoj ovojnici jednaka je količini zraka koja se infiltrira kroz vanjsku ovojnicu. Jedna od glavnih prednosti korištenja vrijednosti n_{50} je u tome da se ona može relativno jednostavno upotrijebiti kao ulazni podatak za simulaciju strujanja zraka, te kod simulacija potrošnje energije za grijanje i hlađenje na razini cijele zgrade u takozvanim HAM (Heat, Air, Moisture) modelima.

Norma HRN EN 13829¹⁰ opisuje dvije metode ispitivanja zrakopropusnosti Blower Door uređajem. Metoda A se koristi prilikom mjerenja zrakopropusnosti vanjske ovojnice zgrade u uvjetima kakvi se susreću tijekom korištenja, dok se Metoda B koristi za mjerenje zrakopropusnosti vanjske ovojnice u zabrtvljenom stanju, odnosno kad su svi otvori određene svrhe zabrtvljeni. Iz opisanog je očigledno da se odabirom metode A ili B uvelike može utjecati

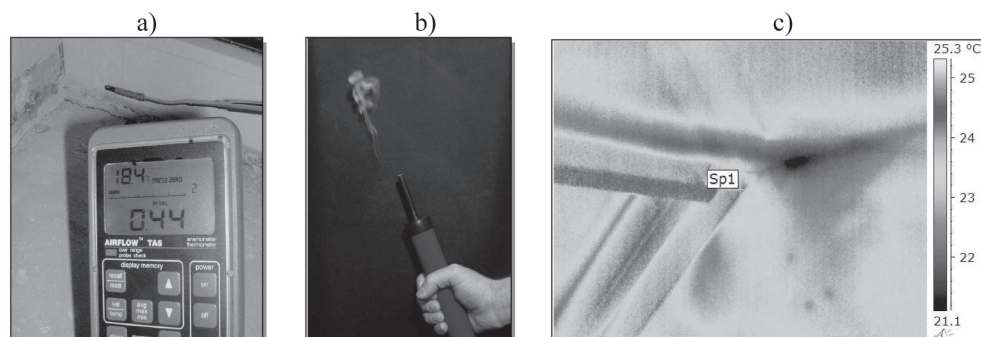
¹⁰ HRN EN 13829:2002: "Thermal performance of buildings -- Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method" (ISO 9972:1996, modified; EN 13829:2000).

na rezultate mjerenja zrakopropusnosti (pri čemu metoda B daje bolje rezultate). Razlog postojanja metode B je taj da se teorijskim proračunima gubitaka topline utjecaji pojedinih otvora mogu uzeti u obzir te je zbog toga potrebno poznavati samo zrakopropusnost vanjske ovojnice bez otvora kao ulazni podatak za HAM modele proračuna.

Preporuča se provođenje ispitivanja zrakopropusnosti 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.

Samo lociranje mjesta infiltracije zraka u građevne dijelove zgrada tijekom provođenja ispitivanja metodom Blower Door moguće je korištenjem anemometra, hladnog dima ili metodom infracrvene termografije, (slika 7).

Slika 7. Vizualizacija mjesta infiltracije korištenjem: a) anemometra, b) hladnog dima, c) IC termografijom



Kako bi se rezultati dobiveni ispitivanjem metodom Blower Door približili shvaćanju opće javnosti i pokazala važnost kvalitetne izvedbe svakog pojedinog detalja potrebno je izračunati ekvivalentnu infiltracijsku površinu - ELA (Equivalent Leakage Area). ELA je površina otvora oštih rubova kroz koji postoji laminarno strujanje zraka i koje ekvivalentno strujanju zraka kroz sumu površina svih propusta na vanjskoj ovojnici zgrade uslijed jednakih uvjeta razlike tlaka s obje strane građevni dijelova zgrade.¹¹ ELA može biti samo kori-

¹¹ Donald G. Colliver: "A predictive method to determine the leakage area needed in residences for IAQ control by infiltration", "Dublin 2000: 20 20 Vision", Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), 2000.

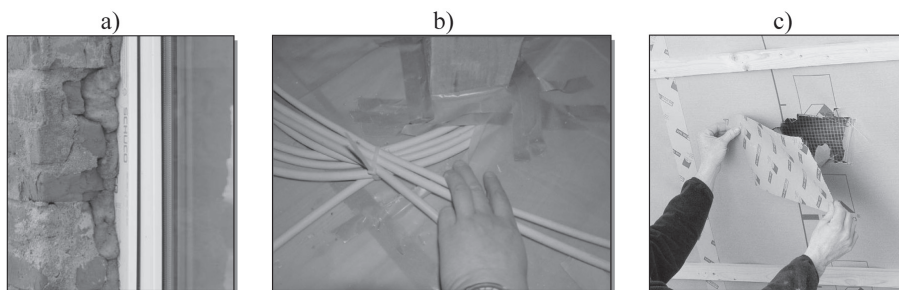
sna orijentacijska vrijednost, ali ništa više od toga, zbog toga što je ona samo aerodinamčki ekvivalentna površina dobivena na osnovi mnogih pretpostavki.

Na primjeru ispitivanja obiteljske kuće volumena unutarnjeg zraka $V=420 \text{ m}^3$ i korisne površine $A_k=173,63 \text{ m}^2$ dok je površina vanjske ovojnice zgrade jednaka $342,66 \text{ m}^2$, izmjeren je protok zraka pri razlici tlakova od 50 Pa od $1259 \text{ m}^3/\text{h}$, što je dalo vrijednost $n_{50}=3,00$. Proračun ekvivalentne infiltracijske površine ELA dobivena je vrijednost $\text{ELA}=628 \text{ cm}^2$, što je jednako $0,018 \%$ površine vanjske ovojnice zgrade.

Kao što je pokazano u poglavlju 4 i na slici 5, vrijednost za veličinu $n_{50}=3,00$ uzrokuje relativno velike toplinske gubitke od $17,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Dobiiveni rezultati za veličinu $\text{ELA}=628 \text{ cm}^2$ ($0,018 \%$ površine vanjske ovojnice zgrade) pokazuju na potrebu detaljne i kvalitetne izvedbe svih pa i najsitnijih detalja, potrebu za striktnom kontrolom kvalitete izvedbe zrakonepropusne ovojnice zgrada, pogotovo vrlo-niskoenergetskih zgrada (pasivnih i/ili gotovo nul-energetskih zgrada) što je moguće postići jedino ispitivanjem in-situ.

Najčešće pogreške izvođenja zrakonepropusne barijere kao što su propusti na nastavcima barijere, propusti oko proboja same barijere, oštećenja barijere, korištenje neprikladnih rješenja razvodnih kutija, cijevi za kablove, loša ugradnja stolarije i slični propusti (slika 8).

Slika 8. Loše izvođenje detalja zbog čega dolazi do infiltracije zraka u građevne dijelove zgrade: a) loša ugradnja stolarije, b) loš detalj proboja barijere, c) oštećenje barijere

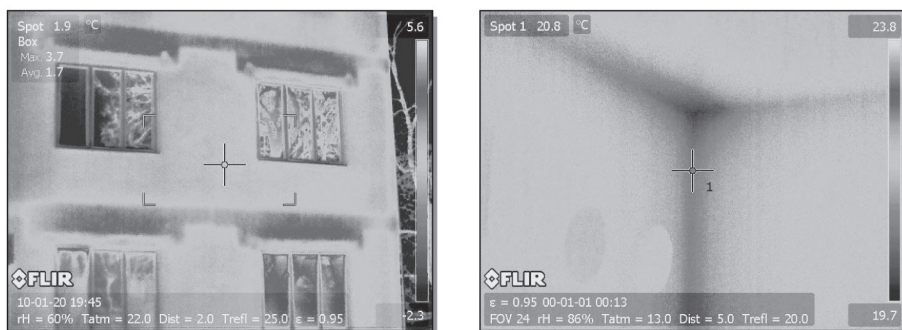


Ukoliko se opisane pogreške izvođenja ne korigiraju, s vremenom one neminovno uzrokuju građevinsku štetu unutar građevnih dijelova zgrade, što je posebno izraženo kod vrlo niskoenergetskih zgrada, koje se u široj javnosti percipiraju kao bezuvjetno vrlo kvalitetne zgrade.

5.2. Metoda infracrvene termografije

Korištenjem metode infracrvene termografije moguće je nakon izvedbe toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade provjeriti kvalitetu izvedbe toplinske ovojnice te potvrditi učinkovitost rješenja za smanjenje toplinskih mostova, postojanje eventualnih područja sa smanjenim slojem izolacije i vlažnih područja (slika 9).

Slika 9. Termogram vanjske ovojnice zgrade i geometrijskog toplinskog mosta



Infracrvena termografija se može pouzdano koristiti samo kao kvalitativna metoda u kontroli kvalitete izvedbe zgrada. Kvantitativno mjerenje koeficijenta prolaska topline U nije moguće korištenjem termografije zbog toga što su stvarni uvjeti prolaska topline nestacionarni te samo u iznimnim slučajevima jednodimenzionalni. Navedeno je u suprotnosti s teorijskim pretpostavkama proračuna koeficijenta prolaska topline U kod kojeg se uzima stacionarni toplinski tok i jednodimenzionalni proračun.

6. ZAKLJUČAK

Postupak energijskog certificiranja zgrade može se promatrati i kao postupak potvrđivanja sukladnosti proizvoda, pri čemu je proizvod zgrada, a utvrđuje se njezino energijsko svojstvo na temelju provedenih propisanih analiza i uz primjenu propisanih normi. S druge strane, dobrovoljna kontrola kvalitete može se interpretirati kao inzistiranje investitora na energijskoj obnovi postojećih objekata (smanjenje potrošnje 10 puta) ili pak na izvođenju novih niskoenergetskih ili pasivnih zgrada zbog nepostojanja propisa za izvođenje ovakvih zgrada, već samo primjera najbolje prakse izvedenih zgrada.

Poboljšanje kvalitete postiže se ako 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 potrebno je povjeriti iskusnim i obrazovanim radnicima koji razumiju posljedice nemarne ili loše gradnje te koristiti kvalitetne proizvode primjerene za specifičnu upotrebu.

Kod gradnje vrlo niskoenergetskih zgrada, svi sudionici u gradnji trebali bi biti ovlašteni za izvođenje objekata čime bi se dokazalo njihovo poznavanje načina izvođenja (najboljih primjera), poznavanje tehnologije izvedbe pri čemu radnici trebaju imati specijalizirane kvalifikacije. Pri tome je potrebno uspostaviti sustav u kojem oni svojim ugledom i/ili materijalno odgovaraju za konačni proizvod, zgradu.

Abstract:

THE IMPORTANCE OF CONSTRUCTION PROCESS QUALITY REGARDING ENERGY EFFICIENCY DEMANDS

According to Energy Sector Development Strategy of the Republic of Croatia, households are classified as the biggest individual consumer of energy, around 30% of total primary energy consumption and the biggest consumer of electricity with the share of over 40% of total direct electricity consumption. Energy efficiency policy in households is based on awareness rising of the residents, on the possibilities of energy savings and incentives during design and construction process of buildings where behaviour of the residents according to the energy efficiency principles should not be left unattended. Energy performance certificate gives information about energy property of building, enables comparison of buildings according to their energy property and relatively to referent values. It can give the information about the building quality to the residents, simultaneously quantifying it by calculating buildings energy property. Values expressed with energy performance certificates reflect energy consumption calculated according to assumed behaviour of the residents which is not necessarily realistic value of energy consumption. Over the years, it has been proven that many deficiencies could be found, regarding the details and joints on finished buildings that can influence significantly on energy performance of the building and the occurrence of damages because of increased level of thermal insulation. This paper describes the basic demands of Directive 2010/31/EU about Energy Performance of Buildings, the purpose and making the building performance certificate as the evidence on building quality. Basic principle of energy audit as a part of energy performance certification process will be presented including the influence of construction

quality on the energy performance of buildings. In addition, damages caused by the increased level of thermal insulation of building envelopes will be described. Most common methods of construction quality control and measurement methods used for determination of buildings energy performance, like Blower Door test and Infrared imaging will be presented.

Key words: energy performance certificate, thermal insulation, construction quality control, airpermeability, infrared thermography

7. LITERATURA

1. Colliver, D. G. "A predictive method to determine the leakage area needed in residences for IAQ control by infiltration", "Dublin 2000: 20 20 Vision", Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), 2000.
2. Direktiva 2010/31/EU energijskom svojstvu zgrada, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>
3. Guyot, G., Schild, P.G. and R. Carrié, "Stimulation of good building and ductwork airtightness through EPBD", Assessment and Improvement of the EPBD Impact (for new buildings and building renovation) ASIEPI IEE project Report, April ,2010.
4. HRN EN 13829:2002: "Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method" (ISO 9972:1996, modified; EN 13829:2000).
5. Hrs Borković, Željka, *Vodič kroz energetske efikasne gradnje; Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2005.
6. Mikulić, Dunja, Štirmer, Nina, Milovanović, B. i Ivana Banjad Pečur, "Energijsko certificiranje zgrada", Građevinar: časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera, Vol. 62, No. 12, 2010.
7. Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada, Narodne novine 36/10.
8. "Passive house seminar for professionals from the building sector", Intelligent Energy Europe Project Passnet.

ZAHVALA

Istraživanje prikazano u ovom radu provedeno je unutar znanstvenog projekta Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa pod nazivom "Od nano do makrostrukture betona" (082-0822161-2990).