

ZRAKOTESNOST STAVB

Neva Jejčič, arhitektka,
Mag. Miha Tomšič,
GI ZRMK

Raven zrakotesnosti v stavbah ima velik vpliv na energijske kazalnike in kakovost notranjega okolja. Za doseganje ciljne zrakotesnosti je ključno, da so projektne rešitve in detajli strokovno zasnovani, prav tako pa je pomembna tudi dobra usposobljenost vseh deležnikov - od investitorjev, načrtovalcev, nadzornikov, izvajalcev do odločevalcev oz. zakonodajalcev.

Uvod

Raven zrakotesnosti oz. urna izmenjava zraka v bivalnih in delovnih prostorih stavb ima velik vpliv na energijske kazalnike in kakovost notranjega okolja. Želena oz. ciljno zrakotesnost predpišemo v numerični obliki, zagotovimo pa s strokovno korektnim načrtovanjem in skrbno izvedbo. Standardizirana meritve ob znanih gabaritih prostorov pove, ali je bila zahteva izpolnjena. Na podlagi rezultatov meritev je šele možen izračun količine zraka, ki dejansko uhaja skozi netesna mesta, oz. določitev dosežene stopnje zrakotesnosti. Test zrakotesnosti oz. Blower Door test obsega meritve pri variacijah tlačnih razlik, da se ublažijo učinki pritiska vetra in dimničnega učinka na dobljene rezultate.

Skoraj ničenergijske hiše in razogljčenje stavbnega fonda

Od začetka letošnjega leta je zakonsko obvezna gradnja skoraj ničenergijskih stavb tudi za zasebne investitorje, kar posredno velja tudi za prenovo obstoječega stavbnega fonda. Že več kot dve leti je to obvezno pri gradnji stavb v lasti javnega sektorja. Za skoraj ničenergijske stavbe oz. na kratko sNES med drugim velja, da morajo za svoje delovanje porabiti čim manj energije, ki je v največji možni meri pridobljena iz obnovljivih virov energije na stavbi sami ali v neposredni bližini. Za doseganje predpisanih oz. izboljšanih energijskih, pa tudi drugih kazalnikov, je pomembna tudi ustrezna raven zrakotesnosti oz. urna izmenjava zraka v prostoru.

S sprejetjem Zelenega dogovora na ravni EU in drugih strateških in izvedbenih dokumentov smo se zavezali, da bo Evropa prva podnebno nevtralna celina

do leta 2050. Za doseg tega cilja je nujno tudi čim hitreje razogljčenje obstoječega stavbnega fonda, torej prenova stavb, kjer bo na nadzorovan način dosežena zračna prepustnost čim manjša oz. zrakotesnost čim večja.

Ustrezna stopnja zrakotesnosti stavb pripomore tudi k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in blaženju podnebnih sprememb, kar naslavlja osemletni inte-

bah pogojeno le z gradnjo sNES. V nacionalnih predpisih imamo namreč že dolgo vrsto let zrakotesnost posredno opredeljeno z največjo dopustno dovedeno energijo za delovanje stavbe, neposredno pa preko dopustnih parametrov oz. zelene ravni zrakotesnosti.

Zrakotesnost v stavbah je določena v Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES-2) iz leta 2010 oz. pri-



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR



Projekt LIFE IP CARE4CLIMATE (LIFE17 IPC/SI/00007) je integralni projekt, sofinanciran s sredstvi evropskega programa LIFE, Sklada za podnebne spremembe in partnerjev v projektu - www.care4climate.si

gralni projekt (2019-2016) LIFE IP CARE-4CLIMATE (LIFE17IPC/SI/000007), kjer poleg vodilnega partnerja Ministrstva za okolje in prostor sodeluje še 15 partnerjev, več na www.care4climate.si.

Gradbeni inštitut ZRMK izvaja v okviru projekta CARE4CLIMATE v akciji C2.2 - Priprava, izvedba in spremljanje ciljnih usposabljanje na področju URE, OVE in zelenih tehnologij ter prepoznavanje pridobljenih znanj in spretnosti - tematsko usposabljanje z oznako U2 z naslovom »Zagotavljanje zrakotesnosti in mehansko prezračevanje z rekuperacijo pri prenovi stavb«. Z boljšo usposobljenostjo deležnikov želimo pospešiti energijsko prenovo stavb, izboljšati kakovost izvedb in povečati prepoznavnost usposobljenih strokovnjakov na trgu energetske prenove, več na www.trajnostnogradnja.si/usposabljanje.

Predpisi

Zmotno je mišljenje, da je doseganje predpisane stopnje zrakotesnosti v stav-

padajoči tehnični smernici Učinkovita raba energije (TSG-1-004:2010). V omenjeni smernici je v poglavju 3.4 v točki (1) opredeljena stopnja zrakotesnosti za zunanje stavbno pohoštvo (okna in vrata) ter v točki (3) in (4) dopustna stopnja izmenjave zraka za stavbe z naravnim prezračevanjem, kjer je dovoljena največ trikratna izmenjava zraka v eni uri pri tlačni razliki 50 Pa ($n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$). Pri vgrajenem mehanskem prezračevanju z več kot 0,7-kratno izmenjavo zraka pa je zahteva strožja; omejena je na dvakratno izmenjavo zraka v eni uri pri tlačni razliki 50 Pa ($n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$). Za pridobitev nepovratnih sredstev Eko sklada je zahteva še višja in sicer $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$, povzeto po merilih inštituta Passivhaus.

V točki (2) zgoraj omenjenega poglavja pa je za polno ali delno klimatizirane stavbe, ki imajo večjo uporabno površino od 5000 m², predpisana obveznost bodisi standardne metode preverjanja tesnosti ovoja stavbe ali izmere indeksa zračne prepustnosti (oznaka Q_{50}/S).

Potreba po zagotavljanju primerno visoke ravni zrakotesnosti izhaja tudi iz zahtev glede gradnje sNES in preno-ve stavb, navedenih v prenovljeni Di- rektivi o energetske učinkovitosti stavb (EPBD recast; 2010/31/EU) in Direktivi 2012/27/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. oktobra 2012 o ener- getski učinkovitosti, spremembi direktiv 2009/125/ES in 2010/30/EU ter razve- ljavitvi direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ ES.

Meritev zrakotesnosti oz. Blower Door test se izvaja z merilno opremo (slika 1) skladno s standardom SIST EN ISO 9972:2015, ki opisuje robne pogoje, parametre in postopke dela, npr. meri- tev pri podtlaku ali nadtlaku in merjenje pretoka zraka pri variacijah razlik med zunanjim in notranjim statičnim tlakom.

Zagotavljanje zrakotesnosti

Pri zidanih masivnih konstrukcijah zagotovitev zrakotesnosti neprosojnega dela ovoja navadno ni problematična. Več težav nastopi pri gradnji lahkih in masivnih lesenih stavb ali konstrukcij- skih sestavov (npr. lesena in kovinska ostrešja, stropi). Kritična mesta, ki vpli- vajo na stopnjo zrakotesnosti, so še pre- boji (hišna kanalizacija, elektro in strojne inštalacije), rege (okna, vrata) ter stiki konstrukcijskih elementov in dilatacije.



Slika 2: Zagotavljanja zrakotesnosti: na levi strani je prikaz neprimerno pripravljene odprtine za vgradnjo okna in nepravilnega tesnjenja oken s tesnilno maso. Srednji sliki prikazujeta nestrokovno tesnjenje prebojev električne napeljave. Na desni strani je prikaz nepremišljene rešitve detajla vgradnje balkonskih vrat - vir: GI ZRMK

Zahteve za zeleno raven zrakotesnosti, npr. $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$ ali $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$, se opredelijo že v fazi zasnove stavbe. V procesu načrtovanja se podrobno predvidijo reši- tve, najprej pa se določi meja oz. ravnina zrakotesnosti ovoja stavbe. Ta ravnina praviloma razmejuje kondicionirane pro- store od zunanjega okolja in od notranjih prostorov kot so npr. garaža, klet, veran- de ali neogrevani hodniki. Pri večjih stav-

bah kot so šole, vrtci, zdravstveni domo- vi in večstanovanjske stavbe, se lahko stavba razdeli na manjše cone.

Stopnja zrakotesnosti je odvisna od zasnove obodnih površin in rešitev kri- tičnih detajlov na ovoju stavbe oz. meji zrakotesnosti ter izbire sistemskih reši- tev, ki zagotavljajo ciljno zrakotesnost. Ključni so torej ti parametri:

- določitev meje zrakotesnosti oz. pro- storov onkraj nje,
- zasnova in sestava obodnih zidov in notranjih zidov,
- lega in orientacija odprtin stavbnih elementov (okna in vrata) v prostore izven ravnine zrakotesnosti,
- izbira vrste / tipov stavbnih elementov in njihovih lastnosti,
- vgradnja stavbnih elementov z upo- števanjem tesnjenje rege med nosilno konstrukcijo in okvirjem stavbnega elementa v treh ravneh,
- tesnjenje prebojev, stikov, dilatacij skozi ovoj stavbe in
- konstrukcijski sklopi z upoštevanjem sodobnih tehnologij vgradnje, ki zago- tavljajo med drugim tudi ciljno zrako- tesnost.

Za doseganje ciljne zrakotesnosti je ključno, da so projektne rešitve in de- tajli strokovno zasnovani ter določena namenska sredstva za tesnjenje in pri- trditve z definiranimi lastnostmi, ki so najustreznejša za dano situacijo (slika 2). Naloga izvajalcev je, da so postopki izvedeni oz. materiali in sistemi vgra-



Slika 1: Merilna oprema: levo prilagodljiva ponjava z ventilatorjem in merilnikom tlaka; desno računalnik s programsko opremo - vir: GI ZRMK

jeni na želenem nivoju kakovosti in da imajo uveden sistem zagotavljanja kakovosti.

V izogib dodatnim delom in stroškom zaradi nedoseganja ciljne zrakotesnosti je priporočljivo, da se najprej na pilotnem primeru (vsaj v enem prostoru ali v več enotah) izvedejo načrtovane projektne rešitve in opravi meritve zrakotesnosti. Na podlagi meritve se določijo in označijo netesna mesta, identificirajo napake (npr. slabo načrtovani detajli ali površna izvedba, neinformiranost ali nezadostna usposobljenost izvajalcev), preveri protokol zagotavljanja kontrole kakovosti in predpišejo korektivni ukrepi za odpravo napak. Ob upoštevanju priporočil za odpravo napak se postopek ponavlja, dokler ni dosežen ciljni rezultat.

Z opisanim postopkom se hitreje in veliko ceneje doseže ali celo preseže ciljna zrakotesnost. Napake se odpravljajo sproti, ne pa po koncu gradnje, ko to pogosto niti ni več izvedljivo brez opaznih

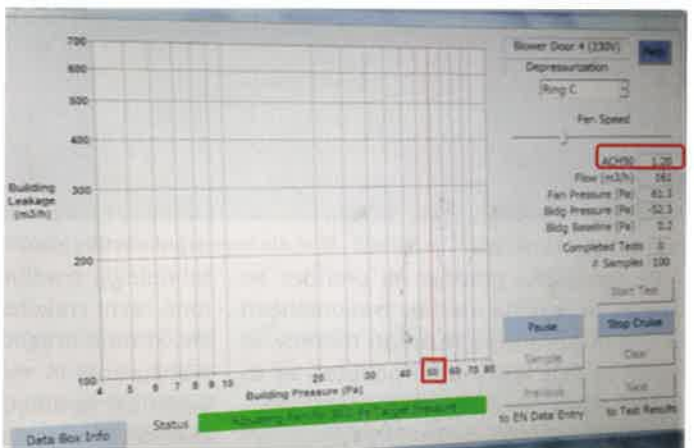
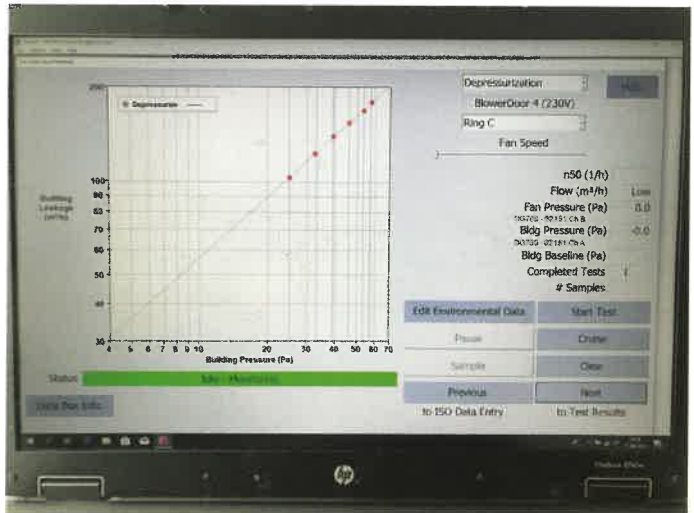
dodatnih stroškov. Prednosti sistematične notranje in zunanje kontrole kakovosti se ne izkazujejo le v doseženi stopnji zrakotesnosti, temveč tudi v izboljšanih procesih načrtovanja in izvedbe, boljši usposobljenosti deležnikov, višjem nivoju kakovosti grajenega okolja in manjšem ogljičnem odtisu.

Pri večjih stavbah, kot so poslovne, javne in večstanovanjske, se stavba razdeli na manjše cone, ki jih je možno v danem obsegu obdelati z razpoložljivo opremo za izvedbo meritev (slika 3). Priporočljiva je tudi določitev referenčnih prostorov, v katerih se med izvedbo preverijo izbrane projektne rešitve in kakovost izvedbe.

Potek meritve zrakotesnosti

Dosežena raven zrakotesnosti se preveri z meritvami, ki so cenovno dostopni in za izkušenega izvajalca enostaven postopek, s katerim se izmeri skladnost dosežene zrakotesnosti stavbe s predpisi oz. predpisano ciljno zrakotesnostjo ter določijo netesna mesta, ki so lahko posledica pomanjkljivih projektnih rešitev ali nekakovostne izvedbe.

Osnovno merilno opremo sestavljajo kovinska konstrukcija, ponjava, umerjen ventilator, merilniki tlaka in programska oprema. Dimenzijsko prilagodljiva kovinska konstrukcija s ponjavo in ventilator se namestita npr. na vhodna vrata v stanovanje ali hišo, torej v ravnino oz. na mejo zrakotesnosti. Običajno se s pomočjo ventilatorja zrak srka iz prostorov in s tem ustvari podtlak med preskušano cono in okolico. Skladno s standardom je priporočljiva



Slika 4: Zgoraj so prikazane kontrolne meritve pri različnih podtlakih. Spodaj je prikazana določitev stopnje zrakotesnosti $n_{50} = 1,20 \text{ h}^{-1}$ na podlagi izmerjenega pretoka zraka pri tlačni razliki 50 Pa - vir: GI ZRMK

izvedba meritev tako pri podtlaku kot pri nadtlaku.

Pri izvajanju meritev je ključno, da se najprej izvedejo kontrolni preskusi pri različnih podtlakih (npr. od 25 do 60 Pa, prikazano na sliki 4-zgoraj), nato pa se pristopi h meritvam pri podtlaku 50 Pa, ki je referenčen za podatek o urni izmenjavi zraka. Sistem je povezan s programsko opremo, kjer se vnesejo podatki o stavbi in drugi parametri, pomembni za meritve. Na podlagi meritev se s pomočjo programske opreme izpišejo ključni podatki in izriše graf, iz katerega se, kot je prikazano na sliki 4-spodaj, razbere stopnja zrakotesnosti. V prikazanem primeru je bil rezultat $n_{50} = 1,20 \text{ h}^{-1}$, kar ni bilo skladno s ciljno zrakotesnostjo $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Z anemometrom oz. merilnikom hitrosti zračnih tokov, lahko pa tudi s sledilnim plinom, se nato poiščejo posamezna netesna mesta.

Za zagotovitev ciljne zrakotesnosti je nujna priprava protokola kontrole za-

Meritev zrakotesnosti v večstanovanjski stavbi na Brdu v Ljubljani - vir: GI ZRMK





Slika 5: Uhanje zraka pri gradnji lesene masivne stavbe. Korektivni ukrep je dodatno tesnjenje stikov. Po odpravi pomanjkljivosti se ponovi meritev zrakotesnosti - vir: GI ZRMK

gotavljanja zrakotesnosti s terminskim planom. V protokolu morajo biti zajeti procesi, povezani z načrtovanjem, izvedbo, preverbo ustreznosti rešitev z meritvami in postopki z ukrepi ob zaznanih odstopanjih.

Po zaključku gradnje ali prenove se izvede še končna meritev zrakotesnosti in izdela poročilo z rezultati meritev, ki lahko služijo kot vhodni podatek za izdelavo kazalnikov in izdajo certifikata.

Proces načrtovanja in izvedbe

Zasnova projektnih rešitev in detajlov mora slediti načelom trajnostne gradnje, kar pomeni, da so rešitve v tehnično-tehnološkem smislu strokovne in izvedljive ter okoljsko sprejemljive, naložba pa finančno vzdržna ob upoštevanju vseživljenjskih stroškov.

V procesu načrtovanja in izvedbe je nujno dobro poznavanje lastnosti tesnilnih in pritrtilnih sredstev. Med tesnilna sredstva spadajo različni trakovi, folije in tesnilne mase. Pritrdilna sredstva so zelo različna, od lepil, zvarov, vijakov in sider do posebnih namenskih sredstev. Skladno z zakonitostmi gradbene fizike morajo tesnilna sredstva preprečevati prehod vlage, vdor meteorne vode, toplotne in zvočne mostove in zagotavljati zrakotesnost. Zato se priporoča izbira sistemskih rešitev s posebej prilagojeno tehnologijo izvedbe oz. vgradnje. Od izbire tesnilnih in pritrtilnih sredstev in tehnologije izvedbe oz. vgradnje je odvisna trajnost tesnjenja in dejansko dosežena raven zrakotesnosti.

Gradnja lahkih in masivnih lesenih stavb in tudi lahkih konstrukcijskih se-

stavov (npr. mansarde) je v zadnjem desetletju v porastu. To narekuje spremembo načina gradnje in boljše usposobljenost projektantov in izvajalcev, ki potrebujejo specialna znanja in veščine (npr. certificirani izvajalci). Pri tovrstni tehnologiji gradnje je zagotavljanje želeni ravni zrakotesnosti svojevrsten izziv, ki terja drugačen pristop v procesu načrtovanja in večjo doslednost pri izvedbi oz. vgradnji. Priporočena je sprotna kontrola zrakotesnosti z meritvami že med samo izvedbo, kar je prikazano na sliki 5.

Stavbni elementi (vertikalna okna in vrata, strešna okna in drugi prozorni elementi) so del ovoja stavbe s precejšnjim vplivom na rabo energije ter tudi na stopnjo zrakotesnosti in kakovost notranjega okolja, saj prepah skozi netesna mesta povzroča nelagodje in poslabšuje bivalne in delovne razmere. Netesna mesta so hkrati toplotni in zvočni mostovi, lahko so vir zamakanja in drugih gradbenofizikalnih poškodb kot je npr. površinska kondenzacija vodne pare, kar vse vpliva na trajnost stavbe in njenih elementov. Zato je sodobna vgradnja stavbnih elementov ob upoštevanju predpisov, gradbenofizikalnih zakonitosti in zadnjega stanja tehnike temelj ustrezne zrakotesnosti in funkcionalnosti stavbnih elementov pri novogradnjah in tudi prenovi stavb. Prvi pogoj je, da je prepustnost zraka na pripirah čim manjša oz. najvišjega razreda, t.j. razreda 4. Drugi pogoj pa je, da je stavbni element vgrajen po pravih strokah, pri čemer se izvede tudi tesnjenje rege v treh ravneh.

Zaključek

Že pred ali najkasneje v procesu načrtovanja gradnje ali prenove stavbe se torej v numerični obliki predpiše želeno oz. ciljno zrakotesnost, ki se jo zagotovi s strokovno korektnim načrtovanjem in skrbno izvedbo ob vnaprej določenem protokolu zagotavljanja zrakotesnosti in nadzoru. Ali so bile zahteve izpolnjene, pa ugotovimo šele na podlagi standardiziranih meritev. Na podlagi rezultatov meritev se izračuna količina zraka, ki dejansko uhaja skozi netesna mesta, oz. določi dosežena stopnja zrakotesnosti.

Za doseganje zelenih ciljev, povezanih z zagotavljanjem zrakotesnosti, je nujna dobra usposobljenost vseh deležnikov, od naprednih investitorjev, ki prepoznajo prednosti kakovostne gradnje z upoštevanjem ciljne zrakotesnosti, do načrtovalcev, nadzornikov, izvajalcev in odločevalcev oz. zakonodajalcev.

Stroka je na tem področju vidno napredovala, na voljo so napredni proizvodi, materiali in sistemi ter sodobne tehnično-tehnološke rešitve vgradnje oz. izvedbe (slika 6). Sistemske rešitve trajnega tesnjenja, ki zagotavlja želeno raven zrakotesnosti, imajo vpliv tudi na rabo energije in stroške, povezane z uporabo stavbe, predvsem pa na zdravje in zadovoljstvo uporabnikov ter višjo kakovost notranjega okolja.



Slika 6: Zagotavljanje zrakotesnosti lesenih montažnih hiš v proizvodnem procesu.