

# ŠTUDIJA DELOVANJA PROGRAMSKE OPREME ZA IZRAČUN PORABE ENERGIJE V STAVBAH

## STUDY OF COMPUTER SOFTWARE PERFORMANCE FOR CALCULATION OF ENERGY USE IN BUILDINGS

**doc. dr. Mitja Košir, univ. dipl. inž. arh.**

mitja.kosir@fgg.uni-lj.si

**prof. dr. Aleš Krainer, univ. dipl. inž. arh.**

**Primož Šestan, dipl. inž. grad.**

**doc. dr. Živa Kristl, univ. dipl. inž. arh.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

**Znanstveni članek**

UDK 628.86:628.92

**Povzetek** | V študiji smo primerjali rezultate štirih programov za izračun porabe energije v stavbah, ki upoštevajo veljavno slovensko zakonodajo in spremljajoče standarde. Primerjani programi so TOST, URSA 4, Energija 2010 in ArchiMAID. Primerjavo smo prvenstveno želeli opraviti zaradi verifikacije novega programa TOST, ki ga razvijamo. Izbrana osnova je bila enodružinska hiša. Vendar se je že v začetni fazi izkazalo, da se izračunane vrednosti med programi znatno razlikujejo, v nekaterih primerih za več kot 50 %. Vzrokov za odstopanja na relativno kompleksnem primeru izbrane enodružinske hiše v okviru možnosti, ki smo jih imeli, ni bilo mogoče identificirati. Zato smo se odločili opraviti faktorsko in parametrično analizo na poenostavljenem modelu. Opravili smo analizo štirih osnovnih konfiguracij s petimi dodatnimi elementi, skupno dvajset variant, ki smo jih izračunali z vsemi izbranimi programi. Ugotovili smo, da so odstopanja med programi velika in močno presegajo pričakovane vrednosti. Rezultati nekaterih programov, ki so trenutno dostopni uporabnikom, niso dovolj zanesljivi, da bi lahko trdili, da v vseh ali vsaj nekaterih primerih pravilno opravijo izračun porabe energije v stavbah v skladu z veljavno zakonodajo. Menimo, da je zakonodajalec naredil napako, da je pripravo programov popolnoma prepustil trgu, saj je zaradi kompleksnosti izračuna izredno težko preveriti pravilnost rezultatov. Takšno stanje je v interesu vseh treba čim prej odpraviti.

**Ključne besede:** programska oprema, PURES 2010, izračun porabe energije v stavbah, zakonodaja

**Summary** | In the following study we compared the results of four computer tools for calculation of energy use in buildings, taking into account the applicable Slovenian legislation and accompanying standards. The compared tools are TOST, URSA 4, Energy 2010 and ArchiMAID. We primarily intended to carry out verification of the new developed tool TOST. The chosen example was a family house. However, already at an early stage we discovered that the calculated values between programs differ significantly, in some cases for more than 50 %. The causes for such differences could not be identified on this relatively complex case, so we decided to carry out the factor and parametric analysis of the simplified model. We carried out an analysis of the four basic configurations with five additional elements, totally twenty variants, which were calculated with all the selected programs. The deviations between the programs are large and well above the expected

range. The results of some of the programs that are currently accessible to users are not reliable enough. It cannot be confirmed that in all, or at least in some cases the calculated energy consumption in bridges in accordance to the applicable legislation is carried out correctly. We believe that it was the legislature's mistake, leaving the preparation of programs completely to the market, because the complexity of calculation makes it extremely difficult to verify the accuracy of the results. It is of interest of all that this situation improves as soon as possible.

**Key words:** computer software, PURES 2010, calculation of energy use in buildings, legislation

## 1 • UVOD

Študija je bila opravljena v okviru problematike vrednotenja energetske učinkovitosti stavb v Sloveniji. Trenutno je najpomembnejši evropski pravni dokument povezan z učinkovito rabo energije prenovljena Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU z dne 19. maja 2010 (DEUS, 2010). Ta dokument dopolnjuje Direktiva o energetske učinkovitosti COM 2011/0370 (DEU, 2011). S celovitega vidika grajenega okolja je danes v EU delno že veljavna, delno pa še prehodna nova Uredba EU o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljaviti Direktive Sveta 89/106/EGS, št. 305/2011, z dne 9. marca 2011 (Uredba, 2011), ki ima poleg šestih osnovnih zahtev iz stare Direktive 89/106/EGS (DGP, 1988), mehanske odpornosti in stabilnosti, varnosti pri požaru, higiene, zdravja in okolja varnosti pri uporabi, zaščite pred hrupom, varčevanja z energijo in ohranjanja toplote še novo sedmo, trajnostno rabo naravnih virov. Ti trije dokumenti predstavljajo osnovna izhodišča za načrtovanje vseh objektov.

Prvi problem, s katerim se soočamo danes, je časovna dimenzija. Od leta 2010 vemo, da bodo morale biti po DEUS 2010/31/EU stavbe financirane z javnimi sredstvi od leta 2018 naprej blizu ničenergijske. Za preostale stavbe ta zahteva velja od leta 2020 dalje. Po tem roku ne bo mogoče dobiti gradbenega dovoljenja, če stavba ne bo blizu ničenergijska. Pet let je za uvajanje novosti na področju gradbeništva zelo kratek čas. Prvi problem je državna administracija, ki je sistem z veliko inercijo. Drugi problem je, da je treba za tako radikalne ukrepe pripraviti ustrezne pravne in tehnične podlage. Za pripravo teh dokumentov je treba imeti ustrezen organizacijski okvir, določeno strategijo in realen časovni okvir. Od formalnega sprejema Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, 2010) in Tehnične smernice TSG-1-004 Učinkovita

raba energije (TSG4) (TSG, 2010) na tej ravni ni bilo storjenega nič, uradno ne vemo niti, ali obstoječi način preverjanja v resnici sploh (pravilno) deluje. Tretji problem so kadri. Ozke specializacije na posameznih strokovnih področjih ne omogočajo celostnega reševanja problematike oblikovanja bivalnega in delovnega okolja, katere integralni del je tudi raba energije. Zato je prišlo pri pripravi PURES 2010 do resničnih ali navideznih nesorazmerij med različnimi strokami; na eni strani do zelo splošnih zahtev (arhitektura, gradbeništvo), na drugi (strojništvo) pa do zelo podrobnih računskih zahtev. To je zameglilo tudi predstave o stopnji vpliva določenih intervencij na končni rezultat računa.

Kako ukrepati? Do prve prelomnice leta 2018 je zelo malo časa. PURES 2010 in TSG4 sta korak v pravo smer, vendar bi bilo treba takoj začeti pripravo novega pravilnika, kar bi stroki do leta 2020 v okviru obvladljivih in tehnično izvedljivih časovnih intervalov omogočilo postopen prehod na zahteve skoraj ničenergijskih stavb.

Problem, ki se že danes pojavlja v praksi, je verodostojnost vrednotenja ocenjene porabe energije v stavbah v zvezi z izvajanjem nove oblike izkazov energetskega karakteristik stavbe. Zakonodajalec je predpisal metodo za izračun potrebne energije v stavbah, ki temelji na standardu SIST EN ISO 13790:2008 (SIST, 2008), ni pa zagotovil potrebne kontrole za verifikacijo izračuna energijskega odziva stavbe v obliki nujno potrebnega programskega orodja. Na trgu je programska oprema različnih proizvajalcev gradbenih materialov, ki so se pravno zavarovali tako, da za točnost izračuna ne odgovarjajo. S tem se odgovornost teoretično prenaša na projektanta, v praksi pa je nemogoče ugotoviti, ali je izračun pravilen; možnosti primerjave z referenco ni na voljo, ročni izračun pa je zaradi obsežnosti in kompleksnosti metode praktično neizvedljiv. Piko

na i prispeva še nelogična zakonodaja, ki ne upošteva postopka inženirskega načrtovanja in pravila minimalne obveze, saj je treba v fazi PGD-načrta poznati že vse izvedbene detajle inštalacij, stavbnega ovoja pa ne. Projektant je tako v najboljšem primeru prisiljen ugibati, kaj se bo v nadaljevanju projektiranja dogajalo, v najslabšem primeru pa se enostavno zlaže. Pri pedagoškem in praktičnem delu že dlje časa opažamo, da rezultati porabe energije v stavbah, izračunani z različno programsko opremo, močno odstopajo (Pajk, 2012). Čeprav vsa programska orodja temeljijo na enakih izhodiščih, smo pri natančnejši analizi ugotovili (Šestan, 2012), da odstopanja niso le posledica nekonsistentnega vnosa podatkov, temveč je vzrok tudi način izračuna. Zato smo na Katedri za stavbe in konstrukcijske elemente (KSKE) Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani za potrebe pedagoškega procesa leta 2008 izdelali prvo verzijo programskega orodja za izračun porabe energije v stavbi TOST1 (Krainer, 2008), leta 2010 pa program Toplotni odziv stavb (TOST) (Krainer, 2012). Program temelji na PURES 2010, TSG4 in krovnem standardu SIST EN ISO 13790:2008. Med razvojem smo ga v različnih stopnjah priprave sproti preizkušali v pedagoškem procesu. Končno verzijo smo testirali s primerjavo s tremi že obstoječimi slovenskimi programskimi orodji za izračun porabe energije v stavbah po PURES 2010. Podobnih tujih programov zaradi specifičnosti podnebnih značilnosti in slovenske zakonodaje nismo vključili v preizkus. Kolikor nam je znano, tako obsežne primerjave pri nas ni opravil še nihče, čeprav bi moralo takrat odgovorno ministrstvo za okolje in prostor opraviti kontrole, da zavaruje uporabnike pred uporabo neustrezne programske opreme. Podoben preizkus, vendar v manjšem obsegu in na realni stavbi, so opravili Stritih in sodelavci (Stritih, 2011) in prav tako prišli do zaključka, da izračuni porabe energije v stavbah, izračunani z različnimi programi, močno odstopajo.

Za izhodišče izračuna smo izbrali enostavno stavbo, ki smo ji po korakih postopoma dodajali elemente, ki so ključni za porabo energije v stavbah. Predvsem nas je zanimalo,

ali bodo nastala odstopanja med novo in obstoječo programsko opremo, in če bodo, kakšna in kako velika bodo. Pri delu smo uporabili primerjalno analizo izračunanih

rezultatov in retrogradno analizo, ko smo iskali vzroke za nastale razlike med izračuni z različno programsko opremo.

## 2 • OPIS PRIMERJAVE

Razvoj programskih orodij za izračun porabe energije v stavbah je v zadnjih 30 letih doživel izreden napredek, ki je bil gnan predvsem z vse večjim zavedanjem, da stavbe predstavljajo enega večjih porabnikov energije. Načrtovalcem so danes na voljo programska simulacijska orodja z različno stopnjo kompleksnosti in natančnosti izračuna. V splošnem je ta orodja najbolj smiselno ločiti glede na zasnovo simulacijskega modela:

1. stacionaren simulacijski model (npr.: GenV, URSA 3)
2. dinamičen simulacijski model (npr.: EnergyPlus, DOE-2, TRNSYS, TAS)
3. kvazidinamičen simulacijski model (npr.: TOST, ArchiMAID, Energija 2010, URSA 4, DOF-ENERGY 1.2).

Poleg uporabljenega modela je za uporabnike velikokrat pomemben tudi način vnosa vhodnih podatkov. Čeprav vsi simulacijski programi za izračun porabe energije v stavbah zahtevajo numeričen vnos podatkov, nekateri vsaj delno omogočajo grafičen vnos s 3D-modelom stavbe (npr.: TAS, EnergyPlus z dodatkom Open Studio). Takšen pristop omogoča predvsem večjo preglednost pri vnosu geometrijskih podatkov, saj je enostavnejši, hitrejši in preglednejši. Pri primerjavi s programom TOST smo se omejili na programska orodja, ki omogočajo izračun porabe energije v stavbah po PURES 2010 in so trenutno dostopna na slovenskem tržišču, torej za programe ArchiMAID (Fibran NORD, 2012), Energija 2010 (KnaufInsulation, 2012) in URSA 4 (URSA, 2012). Ti programi spadajo v skupino kvazidinamičnih simulacijskih orodij, ki od uporabnika zahtevajo numeričen vnos vhodnih podatkov.

Pri predhodno opravljenih primerjavah smo ugotovili, da je izredno težko oceniti delovanje posameznega programa in definirati morebitne vzroke odstopanj, če je geometrija objekta kompleksna in so poleg osnovnih elementov stavbe upoštevani tudi drugi faktorji, ki vplivajo na porabo energije (Šestan, 2012). Zato smo se odločili geometrijo objekta čim

bolj poenostaviti in obenem opustiti vnos vseh podatkov, ki bi lahko zameglili opazovani rezultat. Programe smo testirali na primeru poenostavljene stanovanjske stavbe kockaste oblike z dimenzijami 5,0 m x 5,0 m x 5,0 m in orientirano proti glavnim stranem neba. Upoštevali smo uporabno površino 24,16 m<sup>2</sup> in neto ogrevan volumen 100 m<sup>3</sup>. Konstrukcija stavbe ima srednjo toplotno kapaciteto (efektivna toplotna kapaciteta cone (C) je 3,99 MJ/K). Privzeli smo stavbni ovoj z enako toplotno prehodnostjo vseh zunanjih ne-transparentnih elementov ( $U = 0,163 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Menili smo, da objekt nima toplotnih mostov. Privzeta toplotna prevodnost zemljine je 2 W/mK. V primeru variant z okni smo upoštevali eno južno orientirano okno velikosti 1,5 m<sup>2</sup> ( $U$ -okna = 1,08 W/m<sup>2</sup>K,  $g = 0,8$ , faktor okvirja  $f_{wv} = 0,3$ ). Upoštevali smo, da je okno nezasečeno. Stavba leži na koordinatah GKX 46500/GKY 442500.

Stavba je v celoti in neprekinjeno ogrevana (ena ogrevana cona). Projektna notranja temperatura pozimi je 20 °C, poletna pa 26 °C. Za ogrevanje smo privzeli plinski/oljni kotel na lahko kurilno olje z ventilatorskim gorilnikom z močjo 5 kW. Pri izračunu priprave tople vode smo upoštevali velikost hranilnika 100 litrov in čas priprave tople vode 365 dni v letu. Privzeli smo naravno prezračevanje v dveh variantah, 0,2 ali 0,5 menjave zraka na uro. Stopnja izmenjave zraka 0,2 predstavlja kompromisno rešitev za minimalno prezračevanje (stopnja izmenjav zraka 0,0), ker je to najnižja vrednost, ki jo lahko vnesemo v program Energija 2010.

V primeru izračuna za dve stavbni coni smo osnovnemu objektu na severni strani dodali neogrevano cono dimenzij 5,0 m x 5,0 m x 5,0 m, pri čemer je toplotna prehodnost predelne stene med conama ostala enaka kot pri zunanji steni. Med conama nismo predvideli odprtini. Stopnja izmenjav zraka v dodani coni je bila vedno enaka kot v ogrevani coni.

Pri izračunih smo izhajali iz štirih osnovnih konfiguracij, ki smo jim dodajali posamezne elemente. Da bi lahko natančno ocenili

delovanje programov po posameznih sklopih, smo zanemarili vse vnose, ki bi lahko zameglili rezultate, kot so npr. umetna razsvetljava, dobitki notranjih virov, mehansko hlajenje in v večini primerov tudi ogrevanje tople vode. Osnovne konfiguracije so:

1. Ena ogrevana cona.
2. Dve coni, ena ogrevana, druga neogrevana.
3. Ena ogrevana cona s pripravo tople vode.
4. Dve coni, ena ogrevana, druga neogrevana, s pripravo tople vode.

Vsaki izmed konfiguracij smo dodali naslednje elemente:

- A. Brez dodatnih elementov, naravno prezračevanje 0,20 h<sup>-1</sup>.
- B. Okno površine 1,50 m<sup>2</sup>, južna orientacija, naravno prezračevanje 0,20 h<sup>-1</sup>.
- C. Naravno prezračevanje 0,50 h<sup>-1</sup>.
- D. Okno površine 1,50 m<sup>2</sup>, južna orientacija, naravno prezračevanje 0,50 h<sup>-1</sup>.

S kombiniranjem osnovnih konfiguracij in dodatnih elementov (1A, 1B, 1C ...) smo izračunali 20 variant. Zaradi omejenega prostora so v članku predstavljene le nekatere izbrane variante. Preostale variante so na vpogled v arhivu KSKE.

Pri programu TOST smo učinkovitost delovanja sistema podali kot 1 (100 %), zato je pričakovana potrebna energija za ogrevanje enaka dovedeni energiji. Pri drugih programih tega ni bilo mogoče podati (podali smo največjo možno učinkovitost), zato v tem delu izračuni odstopajo tudi zaradi podajanja različne učinkovitosti sistemov. Razlike v podajanju učinkovitosti so posledica koncepta programa TOST, ki za podajanje podatkov o instalacijah v stavbi uporablja faktorje učinkovitosti na nivoju generacije, distribucije in emisije. Pri preostalih programih je treba podati dejanske vrednosti (npr. točne dimenzije razvoda), zato je učinkovitost sistemov gretja in hlajenja nižja. Vendar v programu TOST uporabljen pristop omogoča horizontalno primerjavo arhitekturnih vplivov, vplivov strukture konstrukcijskih sklopov in vplivov ogrevalnega ali hladilnega sistema na količino porabljene energije.

Zanimali so nas rezultati, ki jih programi podajo v izkazu energijskih karakteristik stavbe (po PURES 2010 je to del PGD-projekta). To

so količnik specifičnih transmisij toplotnih izgub ( $H'_T$ ), letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe ( $Q_{NH}$ ), letna potrebna to-

plota za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine stavbe ( $Q_{NH}/A_u$ ), letna dovedena energija, letna primarna energija ( $Q_p$ ) in letni

izpusti  $CO_2$ . Za vse odstotkovne primerjave je izbrana izhodiščna vrednost izračunana s programom TOST.

### 3 • REZULTATI PO PRIMERIH

#### 1A: Ena ogrevana cona, brez dodatnih elementov, naravno prezračevanje 0,20 h<sup>-1</sup>

Pri izračunu koeficienta  $H'_T$  znaša izhodiščna vrednost 0,25 W/m<sup>2</sup>K. Izračunani vrednosti v programu URSA 4 in Energija 2010 odstopata od izhodiščne vrednosti za 36 % navzdol, kar predstavlja znatno odstopanje. Izračunana vrednost v programu ArchiMAID izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer za 12 %. Pri iskanju vzrokov za taka odstopanja smo ugotovili, da programa URSA 4 in Energija 2010 izračunata identično vrednost  $H'_T$ , kot TOST v primeru, da podamo stavbo s konstrukcijskimi sklopi brez stika s terenom. Sklepamo, da omenjena programa pri izračunu  $H'_T$  morda nepravilno zajameta vpliv tal.

Pri izračunu letne potrebne toplote za ogrevanje  $Q_{NH}$  je izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST, ki znaša 3704 kWh. Izračunana vrednost v programu URSA 4 odstopa od izhodiščne vrednosti za 37 % navzdol. Izračunani vrednosti s programoma Energija 2010 in ArchiMAID pa izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer prva za 23 % in druga za nekoliko manj, za 10 % navzdol. Temu primerna so odstopanja izračunane specifične porabe energije za ogrevanje  $Q_{NH}/A_u$ . URSA 4 odstopa za 37 % navzdol, Energija 2010 za 23 % navzdol in ArchiMAID za 10 % navzdol. Ob tem opazimo, da so odstopanja pri vseh programih konsistentna z odstopanji  $Q_{NH}$ , torej lahko sklepamo, da programi pravilno zajamejo kondicionirano površino stavbe. Primerjava programov URSA 4 in Energija 2010 pokaže, da orodji izračunata

| Program       | $H'_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $Q_{NH}$<br>(kWh) | $Q_{NH}/A_u$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Dov. en.<br>(kWh) | $Q_p$<br>(kWh) | $CO_2$<br>(kg) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| TOST          | 0,25                           | 3.704             | 153,32                                | 3.704             | 4.075          | 1.141          |
| URSA4         | 0,16                           | 2.324             | 96,17                                 | 3.378             | 3.514          | 1.151          |
| Energija 2010 | 0,16                           | 2.862             | 118,50                                | 3.492             | 3.841          | 925            |
| ArchiMAID     | 0,22                           | 3.327             | 113,71                                | 387               | 540            | 115            |

Preglednica 1 • Rezultati vseh štirih uporabljenih programov za primer 1A

enak  $H'_T$ . Če predpostavimo, da oba programa upoštevata isto metodo, bi morali biti tudi naslednji vrednosti ( $Q_{NH}$ ) podobni. Med programoma se na tej stopnji izračuna pojavijo znatna odstopanja, vendar v tej fazi primerjav ne moremo sklepati, zakaj ta nastanejo.

Dovedena energija, izračunana s programom TOST, znaša 3704 kWh in je zaradi podane 100-odstotne učinkovitosti sistemov enaka kot  $Q_{NH}$ . V programih URSA 4 in Energija 2010 je bila podana učinkovitost sistemov nižja, zato se vrednost dovedene energije v primerjavi s  $Q_{NH}$  smiselno nekoliko poveča. Nekonsistentnost opazimo pri programu ArchiMAID, pri katerem je vrednost dovedene energije kar za faktor 10 nižja od  $Q_{NH}$ . Podobno odstopanje opazimo tudi glede na vrednosti dovedene energije, izračunane z drugimi programi.

Izračun dovedene energije je osnova za preračun potrebe po primarni energiji, ki ga na osnovi potrebe po posameznih energentih izračunamo s faktorji pretvorbe. Potrebna primarna energija je osnova za izračun emisij  $CO_2$ , ki jih ponovno izračunamo s faktorji

pretvorbe. Pri izračunu letne primarne energije  $Q_p$  izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST znaša 4705 kWh. Glede na faktor pretvorbe 1,1 za energent lahko kurilno olje, kot je naveden v TSG4, je rezultat smiseln. Podobno je rezultat smiseln v programih URSA 4 in Energija 2010. V programu ArchiMAID je faktor pretvorbe 1,5, vendar je program že v prejšnjem koraku očitno napačno zajel nekatere vrednosti, tako da izračun tudi v tem koraku ni smiseln. Odstopanje od izhodiščne vrednosti ostane konsistentno le pri programu Energija 2010 (6 %). Pri programu URSA 4 se odstopanje od izhodiščne vrednosti glede na prejšnji korak izračuna nekoliko poveča (z 9 na 14 %), kar kaže na drugačne faktorje pretvorbe, kot so predpisani v TSG4. Podobno se zgodi tudi v naslednjem koraku izračuna emisij  $CO_2$ . Program URSA 4 izračuna najvišjo vrednost izpustov  $CO_2$ , čeprav izračuna nižjo vrednost  $Q_p$  kot programa TOST in Energija 2010. To kaže na uporabo višjih faktorjev pretvorbe za emisijo  $CO_2$  na energijsko enoto energenta, kot so predpisane v TSG4.

#### 1B: Ena ogrevana cona, okno površine 1,50 m<sup>2</sup>, južna orientacija, naravno prezračevanje 0,20 h<sup>-1</sup>

Pri izračunu koeficienta  $H'_T$  je izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST 0,26 W/m<sup>2</sup>K. Vrednost se zaradi dodanega okna smiselno poveča. Izračunana vrednost v programu URSA 4 je od izhodiščne vrednosti nižja za 35 %. Podobno odstopa tudi program Energija 2010. Izračunana vrednost v programu ArchiMAID izkazuje manjše odstopanje od

| Program       | $H'_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $Q_{NH}$<br>(kWh) | $Q_{NH}/A_u$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Dov. en.<br>(kWh) | $Q_p$<br>(kWh) | $CO_2$<br>(kg) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| TOST          | 0,26                           | 3.285             | 135,96                                | 3.285             | 3.613          | 1.012          |
| URSA4         | 0,17                           | 2.013             | 83,31                                 | 2.978             | 3.226          | 1.070          |
| Energija 2010 | 0,17                           | 2.499             | 103,40                                | 2.597             | 3.009          | 717            |
| ArchiMAID     | 0,23                           | 3.056             | 126,49                                | 348               | 522            | 111            |

Preglednica 2 • Rezultati vseh štirih uporabljenih programov za primer 1B



izhodiščne vrednosti, in sicer za 12 % navzdol. Ker so odstopanja vseh programov podobna kot v primeru 1A, predvidevamo, da je vpliv oken v vseh programih pravilno zajet.

Pri izračunu letne potrebne toplote za ogrevanje  $Q_{NH}$  je izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST in znaša 3.285 kWh. Izračunana vrednost v programu URSA 4 odstopa od izhodiščne vrednosti za 38 % navzdol. Izračunani vrednosti s programoma Energija 2010 in ArchiMAID pa izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer prva za 24 % in druga za 7 % navzdol. Predvidevamo, da razlike najverjetneje nastanejo

zaradi različnega upoštevanja vpliva sončnih dobitkov. Odstopanja izračunane specifične porabe energije za ogrevanje  $Q_{NH}/A_u$  so pri vseh programih konsistentna z odstopanji letne potrebne toplote za ogrevanje  $Q_{NH}$ .

Pri izračunu letne primarne energije  $Q_p$  je izbrana izhodiščna vrednost izračunana v programu TOST in znaša 3613 kWh. Vrednost, izračunana s programom URSA 4, izkazuje najmanjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer za 11 % navzdol. Izračunana vrednost s programom Energija 2010 tudi izkazuje znatno odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer za 17 % navzdol. Izračunana vrednost v

programu ArchiMAID odstopa od izhodiščne vrednosti za 86 % navzdol. Tako velika razlika glede na izhodiščno vrednost nastane zaradi nepravilno izračunane dovedene energije, kar smo ugotovili že pri primeru 1A. Podobno se na  $Q_p$  navezuje izračun letnih izpustov  $CO_2$ , tako da so tudi ti nepravilno izračunani. V primerjavi s primerom 1A so odstopanja vrednosti  $Q_p$  v enakem redu velikosti pri programih URSA 4 in ArchiMAID. Pri programu Energija 2010 se odstopanja  $Q_p$  s 6 % v primeru 1A povečajo na 17 % v primeru 1B. Razlika verjetno nastane pri nekoliko različnem izračunu dovedene energije.

### 1C: Ena ogrevana cona, naravno prezračevanje 0,50 h<sup>-1</sup>

Vrednost  $H'_T$  v primerjavi s primerom 1A ostane nespremenjena v vseh programih, kar pomeni, da programi zagotavljajo ponovljivost izračuna, vendar je izračun v nekaterih programih verjetno napačen.

Pri izračunu letne potrebne toplote za ogrevanje  $Q_{NH}$  je izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST in znaša 4464 kWh. Izračunana vrednost v programu URSA 4 odstopa od izhodiščne vrednosti za 28 % navzdol. Izračunani vrednosti s programoma Energija 2010 in ArchiMAID pa izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer prva za 15 % odstotkov in druga za nekoliko manj, za 6 % navzdol. Pri vseh programih se zaradi povečane stopnje prezračevanja smiselno poveča tudi  $Q_{NH}$ .

| Program       | $H'_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $Q_{NH}$<br>(kWh) | $Q_{NH}/A_u$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Dov. en.<br>(kWh) | $Q_p$<br>(kWh) | $CO_2$<br>(kg) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| TOST          | 0,25                           | 4.464             | 184,75                                | 4.464             | 4.910          | 1.375          |
| URSA4         | 0,16                           | 3.216             | 133,12                                | 4.473             | 4.476          | 1.423          |
| Energija 2010 | 0,16                           | 3.809             | 157,70                                | 4.647             | 5.113          | 1.231          |
| ArchiMAID     | 0,22                           | 4.173             | 172,71                                | 416               | 546            | 116            |

Preglednica 3 • Rezultati vseh širih uporabljenih programov za primer 1C

Tudi v tem primeru se je izkazalo, da program URSA 4 uporablja drugačne faktorje pretvorbe za energente, kot so predpisani v TSG4. V primeru 1C je odstopanje več kot očitno, saj je izračunana dovedena energija 4473 kWh,  $Q_p$  pa 4476 kWh, kar pomeni, da je razlika med njima le 3 kWh. Predpisani faktor pretvorbe za izbran energijski vir je 1,1. Enako velja za pretvorbo v emisije  $CO_2$ ,

kjer odstopanje od TOST od 9 % navzdol pri  $Q_p$  poraste na 3 % navzgor pri  $CO_2$ . Ne-konsistentnost smo opazili tudi v programu Energija 2010, kjer je odstopanje vrednosti dovedene energije in primarne energije v primerjavi s TOST konsistentno (4 % višja vrednost), pri pretvorbi v emisije  $CO_2$  pa pade na 10 % pod vrednost v programu TOST.

### 1D: Ena ogrevana cona, okno površine 1,50 m<sup>2</sup>, južna orientacija, naravno prezračevanje 0,50 h<sup>-1</sup>

Pri izračunu koeficienta  $H'_T$  izbrana izhodiščna vrednost izračuna v programu TOST znaša 0,26 W/m<sup>2</sup>K. Izračunana vrednost v programu URSA 4 odstopa od izhodiščne vrednosti za 35 % navzdol. Izračunana vrednost v programu Energija 2010 izkazuje podobno odstopanje, in sicer za 35 % navzdol, ArchiMAID pa izkazuje manjše odstopanje od izhodiščne vrednosti, in sicer za 12 % navzdol.

Primer 1D zajema kombinacijo obravnavanih vplivnih faktorjev. Pri primerjavi izračunanih vrednosti opazimo, da vrednosti glede na TOST najbolj odstopajo pri programu URSA 4 (od -35 % pri vrednostih  $H'_T$ , 29 % pri vrednostih  $Q_{NH}$  in  $Q_{NH}/A_u$  do +8 % pri vrednosti emisij

| Program       | $H'_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $Q_{NH}$<br>(kWh) | $Q_{NH}/A_u$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Dov. en.<br>(kWh) | $Q_p$<br>(kWh) | $CO_2$<br>(kg) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| TOST          | 0,26                           | 4.041             | 167,26                                | 4.041             | 4.445          | 1.245          |
| URSA4         | 0,17                           | 2.883             | 119,35                                | 4.050             | 4.187          | 1.342          |
| Energija 2010 | 0,17                           | 3.271             | 135,40                                | 3.991             | 4.390          | 1.085          |
| ArchiMAID     | 0,23                           | 3.902             | 161,50                                | 400               | 542            | 115            |

Preglednica 4 • Rezultati vseh širih uporabljenih programov za primer 1D

$CO_2$ ). Vrednosti, izračunane s programom Energija 2010, izkazujejo ves čas relativno konsistentna odstopanja navzdol v rangi vrednosti 1 % do 20 %. Program ArchiMAID pa zaradi očitno napačnega preračuna  $Q_{NH}$  v dovedeno energijo pri vrednostih  $Q_p$  in  $CO_2$  odstopa za 90 % glede na TOST in več kot

80 % glede na preostale programe. Iz rezultatov je razvidno, da se v primeru vnosa več vhodnih podatkov pri programih URSA 4 in Energija 2010 odstopanja začnejo seštevati (ali odštevati), zato so razlike med programi v tem primeru manjše kot pri prejšnjih primerih.

## 2A: Dve coni, ena ogrevana, druga ne, brez dodatnih elementov, prezračevanje 0,20 h<sup>-1</sup>

Vrednost koeficienta  $H'_T$  se pri programih TOST in ArchiMAID v primerjavi s primerom 1A logično zmanjša, ker je osnovni ogrevani con dodana neogrevana cona, ki predstavlja tamponsko cono med ogrevanim prostorom in zunanostjo. Nenavadno je, da se pri programih URSA 4 in Energija 2010  $H'_T$  ne spremeni (ostane enak kot v primeru 1A).

Če primerjamo izračuna s programoma URSA 4 in Energija 2010, vidimo, sta vrednosti  $H'_T$  izračunani z obema programoma enaki (0,16) in od programa TOST odstopata za 20 % navzdol. Vrednosti  $Q_{NH}$  in  $Q_{NH}/A_u$  izračunani s programom URSA 4, od TOST odstopata za 32 % navzdol, izračunani s programom Energija 2010 pa za 6 % navzdol. Medtem ko program URSA 4 v vseh dosedanjih primerih konsistentno odstopa od programa TOST za

| Program       | $H'_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $Q_{NH}$<br>(kWh) | $Q_{NH}/A_u$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Dov. en.<br>(kWh) | $Q_p$<br>(kWh) | CO <sub>2</sub><br>(kg) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|
| TOST          | 0,20                           | 3.394             | 140,46                                | 3.394             | 3.733          | 1.045                   |
| URSA4         | 0,16                           | 2.288             | 94,68                                 | 3.334             | 3.476          | 1.140                   |
| Energija 2010 | 0,16                           | 3.185             | 131,80                                | 3.232             | 3.862          | 922                     |
| ArchiMAID     | 0,19                           | 3.913             | 80,98                                 | 584               | 757            | 160                     |

Preglednica 5 • Rezultati vseh štirih uporabljenih programov za primer 2A

okoli 30 % navzdol, program Energija 2010 v tem primeru odstopa bistveno manj kot v primerih z eno ogrevano cono.

Program Energija 2010 upošteva pri preračunu dovedene energije v  $Q_p$  očitno višji faktor pretvorbe kot TOST ali pa dodatno upošteva še kakšnega »skritega« porabnika energije, ker je v primeru z dvema conama vrednost  $Q_p$  za 3 % višja kot tista, izračunana s TOST, pri preračunu emisij CO<sub>2</sub> pa nižji faktor preračuna, ker vrednost zopet odstopa za 12 % navzdol.

V primerih z eno ogrevano cono tega ni bilo opaziti.

Program ArchiMAID pri izračunu  $Q_{NH}$  od programa TOST odstopa za 5 % navzgor, pri izračunu  $Q_{NH}/A_u$  pa za 42 % navzdol. Očitno program napačno upošteva površine (upošteva tudi neogrevano cono, kar je napačno). Pri izračunu dovedene energije in vseh nadaljnjih korakov pa je podobno kot v predhodnih variantah odstopanje izredno veliko in presega 80 %.

## 2D: Dve coni, ena ogrevana, druga ne, okno površine 1,50 m<sup>2</sup>, južna orientacija, naravno prezračevanje 0,50 h<sup>-1</sup>

Pri pregledu rezultatov nas je zanimala primerjava med variantama 1D in 2D, pri katerih je konfiguracija osnovne cone enaka, v varianti 2D pa je dodana še ena neogrevana cona. V programu TOST vrednost  $H'_T$  z 0,26 W/m<sup>2</sup>K v varianti 1D pade na 0,21 W/m<sup>2</sup>K v varianti 2D. Pri programu Energija 2010 je vrednost  $H'_T$  enaka v varianti 1D in 2D. Če je razlog v tem, da program ne upošteva stene med dvema conama kot del notranjosti stavbe, temveč jo prišteje k zunanjim stenam, je to napačna predpostavka programa.

V primerjavi z varianto 2A programa URSA 4 in ArchiMAID izračunata enako vrednost  $H'_T$  kot v varianti 2D, čeprav je pri slednji dodano okno. Pri programih TOST in Energija 2010 se vrednost  $H'_T$  glede na varianto 2A logično nekoliko poveča, ker ima okno višjo toplotno prehodnost kot zunanja stena. Možno je tudi, da so razlike majhne in da jih programa URSA 4 in ArchiMAID drugače zaokrožita.

| Program       | $H'_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $Q_{NH}$<br>(kWh) | $Q_{NH}/A_u$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Dov. en.<br>(kWh) | $Q_p$<br>(kWh) | CO <sub>2</sub><br>(kg) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|
| TOST          | 0,21                           | 3.733             | 154,50                                | 3.733             | 4.106          | 1.150                   |
| URSA4         | 0,16                           | 3.180             | 131,62                                | 4.429             | 4.437          | 1.412                   |
| Energija 2010 | 0,17                           | 3.762             | 155,70                                | 4.117             | 4.686          | 1.121                   |
| ArchiMAID     | 0,19                           | 4.488             | 92,87                                 | 648               | 761            | 161                     |

Preglednica 6 • Rezultati vseh štirih uporabljenih programov za primer 2D

Program ArchiMAID v tej varianti izračuna vrednost  $Q_{NH}$  za 20 % višjo kot TOST, čeprav je vrednost  $H'_T$  za 10 % nižja od TOST. To pomeni, da kumulativno med programoma nastane precej velika razlika, ki jo lahko pripišemo ali drugačnemu zajemu podnebnih podatkov (sončno sevanje, zunanja temperatura), ali pa drugačnemu faktorju izkoristka sončnega sevanja (kar je manj verjetno, ker ta ne bi mogel imeti tako očitnega vpliva na izračun), ali različnemu upoštevanju vpliva prezračevalnih izgub (upoštevanje napačnega prezračevanega volumna stavbe). Iz rezultatov je razvidno, da program pri preračunu iz

$Q_{NH}$  v  $Q_{NH}/A_u$  upošteva tudi neogrevano cono, kar je napačno. V nadaljnjih korakih se kot v prejšnjih primerih pojavlja očitno napačen preračun vrednosti. Z istim programom je bila v varianti 1D izračunana vrednost  $Q_{NH}$  za 3 % nižja od tiste, izračunane s programom TOST. Očitno pri izračunu prihaja do nepravilnega zajema nekaterih podatkov, ker se odstopanja od programa TOST v teh variantah bistveno razlikujejo. Ker je stena med obema conama dobro toplotno izolirana, druga cona pa ni ogrevana, se postavlja vprašanje, kako nastane tako drastično povečanje porabe energije za ogrevanje glede na varianto 1D.

## 4D: Dve coni, ena ogrevana, druga ne, s pripravo tople vode, okno površine 1,50 m<sup>2</sup>, južna orientacija, naravno prezračevanje 0,50 h<sup>-1</sup>

Vrednost  $H'_T$  se pri vseh programih glede na primer 2D ne spremeni, kar je pravilno.

Pri programu TOST se je  $Q_{NH}$  glede na varianto 2D nekoliko povečal (s 3733 na 3747 kWh). Razlog za omenjeno povečanje porabe ener-

| Program       | $H'_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $Q_{NH}$<br>(kWh) | $Q_{NH}/A_u$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Dov. en.<br>(kWh) | $Q_p$<br>(kWh) | CO <sub>2</sub><br>(kg) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|
| TOST          | 0,21                           | 3.747             | 155,07                                | 3.747             | 4.440          | 1.235                   |
| URSA4         | 0,16                           | 3.180             | 131,62                                | 4.727             | 4.987          | 1.566                   |
| Energija 2010 | 0,17                           | 3.366             | 139,30                                | 3.323             | 4.071          | 959                     |
| ArchiMAID     | 0,19                           | 4.488             | 92,87                                 | 1.509             | 1.235          | 293                     |

Preglednica 7 • Rezultati vseh štirih uporabljenih programov za primer 4D

gije je verjetno v numerični metodi izračuna. Pri programih URSA 4 in ArchiMAID je  $Q_{NH}$  glede na varianto 2D ostal enak, kar je logično, pri programu Energija 2010 pa je nekoliko padel (s 3762 kWh v primeru 2D na 3366 kWh v primeru 4D). Vzroka nismo uspeli določiti.

V programu URSA 4 se pri pretvorbi iz  $Q_{NH}$  in  $Q_{NH}/A_u$ , ki izkazuje za 15 % nižji vrednosti glede na TOST, pri dovedeni energiji zgodi nesorazmeren preskok na 26 % višjo

vrednost, kot je izračunana s programom TOST. Za ogrevanje definirane količine vode je program izkazal nesorazmerno veliko porabo energije. Pri programu Energija 2010 se pojavi nesmiseln rezultat pri izračunu dovedene energije, saj je ta manjša kot  $Q_{NH}$ . Drugače pa so načeloma odstopanja glede na program TOST konsistentna skozi cel izračun, razen pri preračunu emisij  $CO_2$ , kjer smo že predhodno ugotovili, da program Energija 2010 verjetno uporablja drugačen faktor preračuna.

Program ArchiMAID, podobno kot v predhodnih variantah, izkazuje največja odstopanja. Vrednost  $H'_T$  je za 10 % nižja kot v programu TOST, vrednost  $Q_{NH}$  pa za 20 % višja. Izračunani delež energije za ogrevanje sanitarne vode omili odstopanja, vendar so ta še vedno izredno velika in znašajo med +20 in -76 % glede na program TOST. Opozarjamo tudi na napačno izračunano primarno energijo, ki je nižja kot dovedena energija (kar pri izbranem energentu ni mogoče).

## 4 • ANALIZA IN RAZPRAVA

Pri analizi vzrokov za velika odstopanja pri izračunanih vrednostih z uporabljenimi programi smo preverili tudi zajem podatkov za povprečno letno temperaturo ( $T_L$ ). Razlike, ki so razvidne iz preglednice 8, so sicer relativno majhne in verjetno bistveno ne vplivajo na končne rezultate. Kljub temu pa kažejo na različne načine pridobivanja podnebnih podatkov v posameznih programih. Pri izračunu maksimalnega dovoljenega  $H'_T$  so si vsi programi enotni. Velika razhajanja pa se pojavljajo pri izračunu maksimalne dovoljene vrednosti  $Q_{NH}/A_u$ . Razlog za tako izjemno velika razhajanja je v interpretaciji 7. in 21. člena PURES 2010. V 1. točki 7. člena je navedeno, da se za določitev maksimalne dovoljene vrednosti  $H'_T$  uporabijo dejanske vrednosti  $f_0$ , razen če je  $f_0$  manjši od 0,2, se privzame vrednost 0,2, ter če je  $f_0$  večji kot 1,0, se privzame vrednost 1,0. V nadaljevanju 7. člena pa ni nikjer eksplicitno navedeno, ali ti isti pogoji glede omejitve vrednosti  $f_0$  veljajo tudi za določitev maksimalnih dovoljenih vrednosti  $Q_{NH}/A_u$ ,  $Q_{NH}/V_g$  in  $Q_p/A_u$ . Omenjena nejasnost se odraža tudi na izračunanih vrednostih, saj so se ustvarjalci programov ArchiMAID in URSA 4 odločili za upoštevanje te omejitve tudi pri izračunu  $Q_{NH}/A_u$ , nasprotno pa so to omejitve ustvarjalci programov Energija 2010 in TOST upoštevali le pri izračunu  $H'_T$  (preglednica 8.). Dodatna težava se pojavi tudi pri določitvi  $f_0$ , saj iz navedene vrednosti, ki jo izračuna Energija 2010 ( $f_0 = 1,2$ ), lahko sklepamo, da program napačno izračuna faktor oblike, upošteva namreč bruto volumen stavbe, ta napaka se pojavlja tudi pri programu ArchiMAID (ni razvidno iz preglednice 8). Faktor oblike je v PURES 2010 v 4. členu v 3. točki definiran kot: »... razmerje med površino toplotnega ovoja stavbe in neto ogrevano prostornino stavbe«, kar potrjuje, da je za

| Program       | $T_L$<br>(°C) | $f_0$<br>(-) | max. $Q_{NH}/A_u$<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | max. $H'_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) |
|---------------|---------------|--------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| TOST          | 9,4           | 1,5          | 103,70                                     | 0,35                                |
| URSA4         | 10,0          | 1,0          | 71,00                                      | 0,35                                |
| Energija 2010 | 9,4           | 1,2          | 85,70                                      | 0,351                               |
| ArchiMAID     | 9,42          | 1,0          | 73,63                                      | 0,35                                |
| Ročno 1,5     | 9,4           | 1,5          | 103,70                                     | 0,351                               |
| Ročno 1,2     | 9,4           | 1,2          | 86,64                                      | 0,351                               |
| Ročno 1,0     | 9,4           | 1,0          | 73,70                                      | 0,351                               |

Preglednica 8 • Vrednost  $T_L$ ,  $f_0$  ter maksimalna vrednost  $Q_{NH}/A_u$  in  $H'_T$  za lokacijo GKX 46500, GKY 442500 pri primeru 1A. Zadnje tri vrstice vsebujejo »ročne« izračune maksimalnih mejnih vrednosti  $Q_{NH}/A_u$  in  $H'_T$ , ob upoštevanju različnih vrednosti  $f_0$ . Izračunane vrednosti so določene glede na določila 21. člena PURES 2010

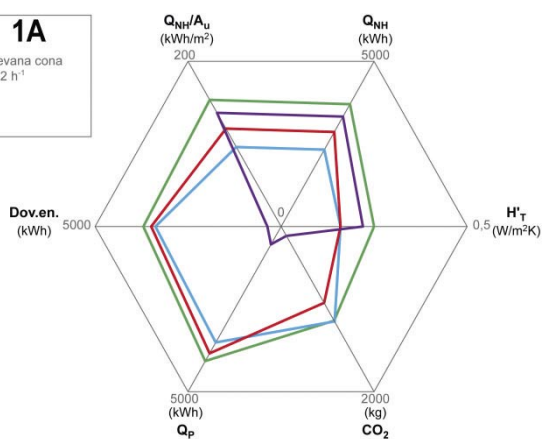
obravnavani primer 1A pravilno izračunana vrednost  $f_0$  enaka 1,5.

V preglednici 9 je prikazan pregled variant z izračunanimi vrednostmi, ki smo jih pridobili s štirimi primerjanimi programskimi orodji. Analiza je podana glede na posamezno programsko orodje.

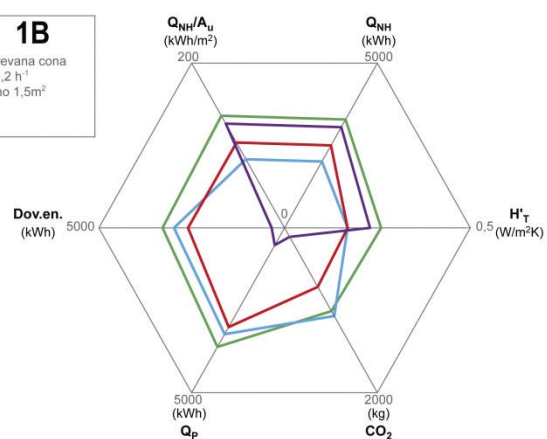
Rezultati, izračunani s programom ArchiMAID, v vseh variantah niso smiselni. Program napačno izračuna faktor oblike ( $f_0$ ), saj upošteva bruto volumen stavbe, moral pa bi upoštevati neto volumen (PURES 2010, 4. člen). Posledično ta napaka vpliva na maksimalno dovoljeno  $Q_{NH}/A_u$  in  $H'_T$ . Če izračunamo stavbo s tlemi ali brez njih ostane vrednost  $H'_T$  nespremenjena (npr.: 0,22 pri primeru 1A), čeprav bi se vrednost načeloma morala spremeniti (zmanjšati). Rezultati za  $H'_T$ ,  $Q_{NH}$  in  $Q_{NH}/A_u$  so smiselni le pri uporabi ene ogrevane cone (variante 1A, 1B, 1C in 1D). Pri uporabi dveh con (primer 2A, 2D in 4D) je smiseln le izračun  $H'_T$  in  $Q_{NH}$ .  $Q_{NH}/A_u$  je

izračunan napačno, saj program upošteva tudi površino neogrevane cone, kar ni pravilno. V primerjavi s TOST vrednosti  $Q_{NH}$  odstopajo od -20,22 % (primer 2D) do +10,18 % (primer 1A). Napačno je izračunana vrednost  $Q_{NH}/V_g$ , ker program upošteva bruto volumen namesto neto volumna kondicionirane cone. Dovedena energija,  $Q_p$  in  $CO_2$  so vselej napačno izračunani, saj so mnogokrat nižji od potrebne energije za ogrevanje. V primeru 4D je  $Q_p$  celo manjša od dovedene energije, kar pri uporabi kurilnega olja ni smiselni rezultat. Program je v nekaj poskusih ob upoštevanju priprave tople vode izračunal smiselne vrednosti za dovedeno energijo,  $Q_p$  in  $CO_2$ , vendar so bili takšni primeri naključni (kar predstavlja problem zaradi dvoma o zanesljivosti programa). Uporabniški vmesnik programa je dokaj kompleksen in zaradi svoje zasnove nepregleden za začetne uporabnike. Vmesnik je zasnovan podobno kot pri programu URSA4. Z uporabo se je pokazalo, da v nekaterih primerih

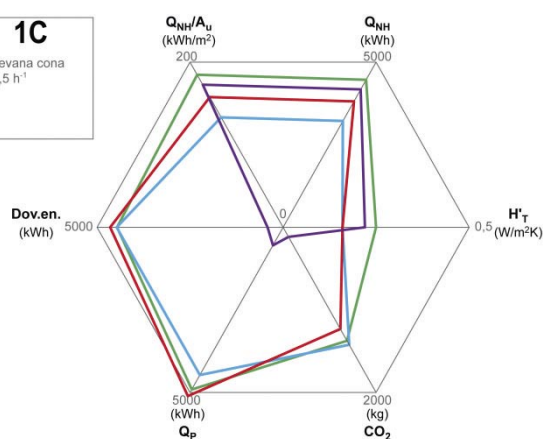
**1A**  
Ogrevana cona  
 $n=0,2 \text{ h}^{-1}$



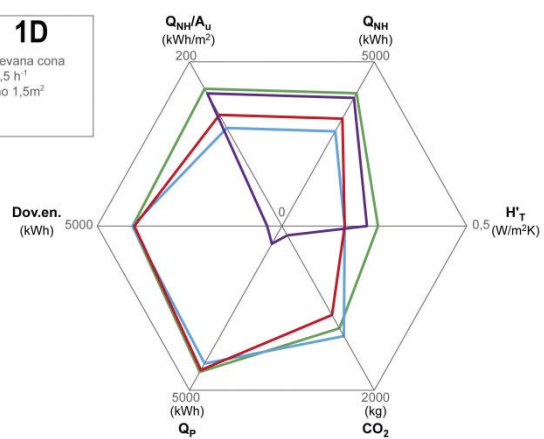
**1B**  
Ogrevana cona  
 $n=0,2 \text{ h}^{-1}$   
Okno  $1,5 \text{ m}^2$



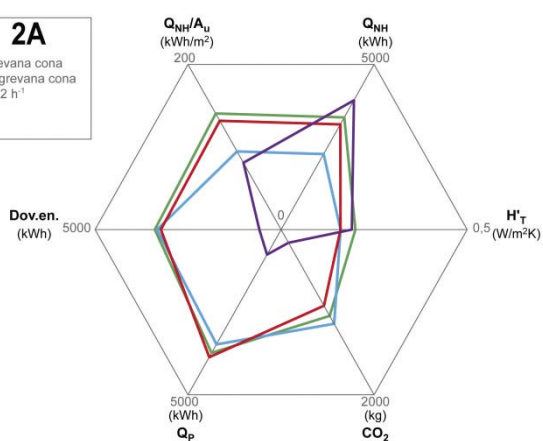
**1C**  
Ogrevana cona  
 $n=0,5 \text{ h}^{-1}$



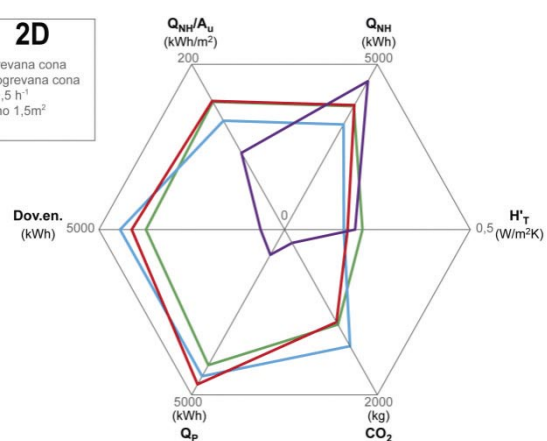
**1D**  
Ogrevana cona  
 $n=0,5 \text{ h}^{-1}$   
Okno  $1,5 \text{ m}^2$



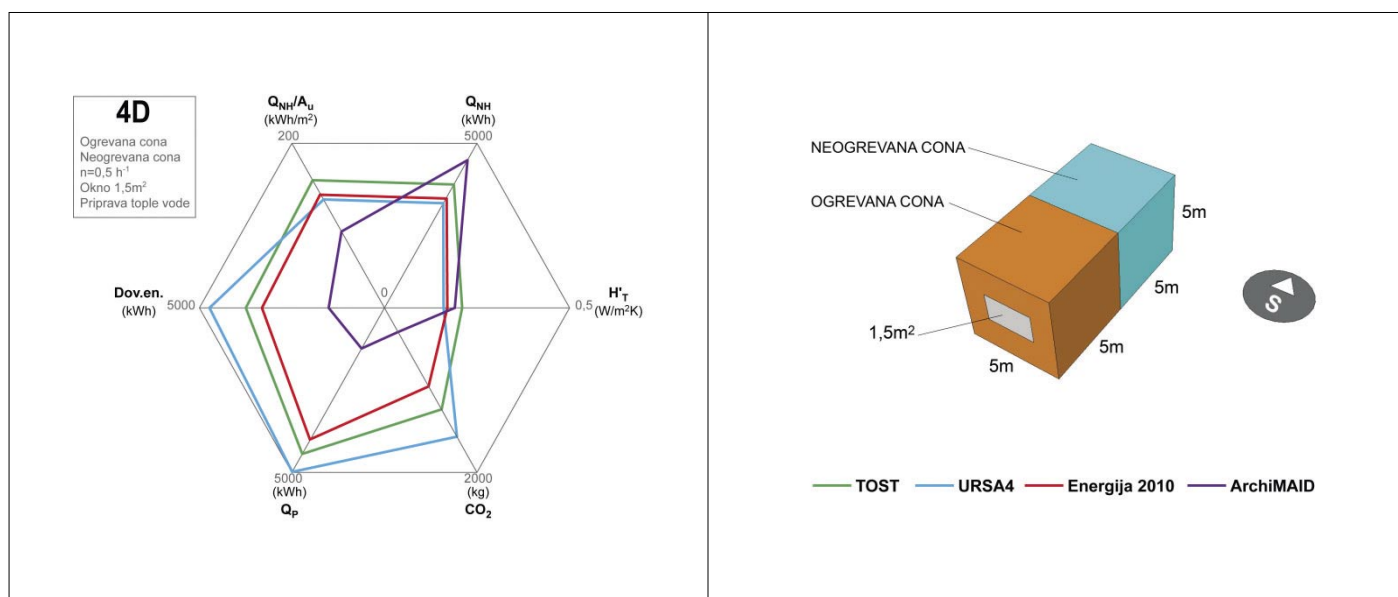
**2A**  
Ogrevana cona  
Neogrevana cona  
 $n=0,2 \text{ h}^{-1}$



**2D**  
Ogrevana cona  
Neogrevana cona  
 $n=0,5 \text{ h}^{-1}$   
Okno  $1,5 \text{ m}^2$







Preglednica 9 • Grafična predstavitev rezultatov predstavljenih izračunanih primerov: 1A – ogrevana cona,  $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ ; 1B – ogrevana cona,  $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ , okno  $1,5 \text{ m}^2$ ; 1C – ogrevana cona,  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ ; 1D – ogrevana cona,  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ , okno  $1,5 \text{ m}^2$ ; 2A – ogrevana cona + neogrevana cona,  $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ ; 2D – ogrevana cona + neogrevana cona,  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ , okno  $1,5 \text{ m}^2$ ; 4D – ogrevana cona + neogrevana cona,  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ , okno  $1,5 \text{ m}^2$ , priprava tople vode

program izračuna različne rezultate ob istih vhodnih podatkih – vzorca pojavljanja takšnih dogodkov ni bilo opaziti.

Rezultati, izračunani s programom Energija 2010, so pri vseh primerih smiselni. Program napačno izračuna faktor oblike ( $f_0$ ), saj upošteva bruto volumen stavbe, moral pa bi upoštevati neto volumen (PURES 2010, 4. člen), posledično ta napaka vpliva na maksimalno dovoljeno  $Q_{NH}/A_u$  in  $H'_T$ . Izračunani  $H'_T$  je po pridobljenih vrednostih bližje programu URSA4 kot programoma TOST in ArchiMAID. Če izračunamo stavbo z upoštevanjem tal ali brez upoštevanja, ostane vrednost  $H'_T$  nespremenjena (npr.:  $0,16$  pri primeru 1A). Vrednost bi se načeloma morala spremeniti (zmanjšati). V primerih, kjer sta bili v izračunih uporabljeni dve coni, se rezultati, pridobljeni z Energijo 2010 in TOST, skoraj popolnoma ujemajo. V primerjavi s TOST vrednosti  $Q_{NH}$  odstopajo od  $-0,78 \%$  (primer 2D) do  $+23,93 \%$  (primer 1B). Napačno je izračunana vrednost  $Q_{NH}/V_{br}$ , saj program upošteva bruto volumen namesto neto volumna kondicionirane cone. Program je izdelan pregledno in je dokaj enostaven za uporabo, dobrodošla je možnost vstavljanja strojnih inštalacij s čarovnikom, kar olajša uporabo. Rezultati pridobljeni s programom URSA4 so smiselni, vendar v večini primerov izračunane vrednosti precej odstopajo od izračunov s programoma TOST in Energija 2010. Če izračunamo stavbo s tlemi ali brez njih, osta-

ne vrednost  $H'_T$  nespremenjena (npr.:  $0,16$  pri primeru 1A). Vrednost bi se načeloma morala spremeniti (zmanjšati). Obstaja sum, da so vrednosti  $Q_{NH}$  in  $Q_{NH}/A_u$  napačno izračunane, saj so vedno nižje od preostalih treh programov. Od programa TOST vrednost  $Q_{NH}$  odstopa od  $-15 \%$  (primer 2D) do  $-39 \%$  (primer 1B). Od povprečja treh programov (povprečen  $Q_{NH}$ , izračunan s TOST, Energijo 2010 in ArchiMAID) pa od  $-18 \%$  (primer 4D) do  $-35 \%$  (primer 2A). Napačno je izračunana vrednost  $Q_{NH}/V_{br}$ , saj program upošteva bruto volumen namesto neto volumna kondicionirane cone. Pri pretvorbi iz dovedene energije v primarno energijo ( $Q_p$ ) so v programu očitno uporabljeni drugačni faktorji, kot so navedeni v TSG4. Program v nekaterih primerih uporablja nesmiselno nizke faktorje pretvorbe (npr.: primer 1C in 2D), drugje pa so vedno nižji od predpisanega faktorja za kurilno olje, ki je bilo uporabljeni energent v izračunanih primerih. Program pri veliko nižjih vrednostih  $Q_{NH}$  in  $Q_{NH}/A_u$  glede na druge programe doseže zelo podobne rezultate za dovedeno energijo,  $Q_p$  in količino  $CO_2$ , kar kaže na drugačne faktorje pretvorbe, kot so predpisani v TSG4. Program pri izračunu količine emisij  $CO_2$  izračuna najvišjo vrednost izpustov  $CO_2$  glede na preostale programe, čeprav izračuna nižjo vrednost  $Q_p$  kot programa TOST in Energija 2010. To kaže na uporabo višjih vrednosti emisij  $CO_2$  na energijsko enoto energenta, kot so tiste, predpisane v TSG4. Uporabniški

vmesnik programa je dokaj kompleksen in zaradi svoje zasnove nepregleden za začetne uporabnike. Vmesnik je zasnovan podobno kot pri programu ArchiMAID, pojavljajo se tudi nekonsistentnosti, saj program omogoča definiranje neogrevane cone na dveh mestih, ki se medsebojno ne izključujeta. Med uporabo se je pokazalo, da v nekaterih primerih program izračuna drugačne rezultate ob istih vhodnih podatkih – vzorca pojavljanja takšnih dogodkov ni bilo opaziti.

Rezultati, izračunani s programom TOST, so pri vseh primerih smiselni. Če izračunamo stavbo s tlemi ali brez njih se vrednost  $H'_T$  spremeni (npr.: z  $0,22$  na  $0,16$  pri primeru 1A), kar je smiseln rezultat. Obstaja sum, da programi URSA 4, ArchiMAID in Energija 2010 napačno upoštevajo oziroma ne upoštevajo vpliva tal pri izračunu  $H'_T$ . Ročno izračunani  $H'_T$  brez vpliva tal znaša pri obravnavani stavbi  $0,16$ , kar je enako kot  $H'_T$ , izračun s programom TOST. Izračunani rezultati za  $Q_{NH}$ ,  $Q_{NH}/A_u$  in  $H'_T$  so praviloma višji kot v preostalih programih ter s tem na varni strani. V primeru uporabe dveh con so izračunani rezultati skoraj identični z rezultati, pridobljenimi s programom Energija 2010. V primerjavi z drugimi tremi programi omogoča TOST tudi definiranje steklenjaka kot specifične neogrevane cone in posebne elemente ovoja (zbiralno shranjevalne stene, prezračevane elemente ovoja in netransparentne elemente s transparentno izolacijo). Pri temperaturnih conah ima TOST dve specifični

coni, ki omogočata simuliranje kleti (ogrevana cona z ogrevano kletjo in neogrevana cona z neogrevano kletjo). V primerjavi z drugimi tremi programi TOST pristopa k izračunu vpliva instalacij nekoliko drugače, saj se te podajajo s tipom energenta in faktorjem izkoristka na nivoju generacije, distribucije in emisije. Takšen način je bolj smiselni, kadar projekt strojnih napeljav še ni izdelan, torej v večini primerov v fazi PGD (osnovni namen PURES 2010). Količine, predvidene v računu v fazi PGD, morajo nato projektanti upoštevati pri izdelavi projekta za izvedbo. V takšnih primerih vnašanje podrobnih značilnosti strojnih napeljav stavbe ni smiselno, saj te še niso znane. Izdelovalec elaborata gradbene fizike se mora tako zateči k ugibanju oziroma k predlaganim prednastavljenim vrednostim. TOST se izvaja v okolju Microsoft Excel in je zasnovan tako, da uporabnika pelje skozi

serijo zaporedno nanizanih zavihkov, ki si vsebinsko sledijo od osnovnih vhodnih podatkov do končnih rezultatov. Zasnova z zaporedno nanizanimi zavihki omogoča preglednost in hitro spreminjanje vhodnih podatkov, s tem pa tudi učinkovito generiranje variantnih rešitev. V članku opravljene in opisane primerjave so izvedene na namenoma izrazito hipotetičnem primeru stavbe in tako ne omogočajo neposredne primerjave z realnimi stavbami. V praksi primerjava med simulacijsko pridobljenimi rezultati in dejansko (merjeno) porabo energije v stavbah poraja veliko vprašanj. Ker na porabo energije v stavbah vpliva veliko več parametrov, kot jih je zajetih v metodi, ki jih uporabljajo primerjani programi, je seveda smiselno pričakovati, da bodo nastajala odstopanja med računsko in izmerjeno porabo energije v stavbah. Glede na dosedanje izkušnje primerjav merjene in

računske vrednosti porabe energije v stavbi lahko trdimo, da sta glavna razloga za nastanek odstopanj v načinu uporabe stavbe in v podnebnih podatkih (Ahčin, 2013). Kar se tiče vpliva klimatskih podatkov, je izvor odstopanja dokaj jasan, saj so v simulacijskih programih uporabljeni povprečni podnebni podatki, ki predstavljajo 30-letna povprečja, merilne v realnem okolju pa so opravljene v specifičnih letih, v katerih je bilo veliko odstopanj od dolgoletnega povprečja. Drugi dejavnik predstavlja skupino faktorjev, ki jih je veliko težje natančno definirati. Način uporabe stavbe je namreč zelo odvisen od obnašanja uporabnikov, to pa je izrazito individualno in ga je zato težko natančno predpostaviti. Zgoraj opisana odstopanja so ilustriрана v dveh diplomskih nalogah, ki sta bili opravljeni pod mentorstvom članov KSKE ((Žvab, 2012), (Ahčin, 2013)).

## 5 • RAZPRAVA IN SKLEPI

Glede na zgoraj predstavljeno primerjavo delovanja programskih orodij za izračun porabe energije v stavbah lahko zaključimo, da so ugotovljena odstopanja med programi velika in močno presegajo pričakovane vrednosti. Iz pričujoče primerjave je razvidno, da rezultati nekaterih programov, ki so trenutno dostopni uporabnikom, niso dovolj zanesljivi, da bi lahko trdili, da v vseh ali vsaj nekaterih primerih pravilno opravijo izračun porabe energije v stavbah v skladu s PURES 2010 in TSG4.

V nasprotju z Nemčijo, kjer je po naročilu države Fraunhofer Institut für Bauphysik iz Stuttgarta (FIB) pripravil programsko jedro, potem pa so različna podjetja na komercialni osnovi izdelala uporabniške vmesnike, je zakonodajalec v Sloveniji izdelavo programske opreme popolnoma prepustil trgu, obenem pa ni zagotovil njene verifikacije. Dejstvo je, da smo takrat imeli možnost, da se na FIB vključimo v proces priprave jedra, a je resno ministrstvo naše pobude ignoriralo. Na takratnem slovenskem ministrstvu za okolje in prostor se očitno niso zavedali, kakšna škoda lahko nastane, če se v delu dokumentacije za gradbeno dovoljenje pojavljajo različni izračuni, ki naj bi zagotovili skladnost z obstoječo zakonodajo, v tem primeru PURES 2010.

Zakonodajalec je naredil napako, ker je pripravil programov popolnoma prepustil trgu, saj je

zaradi kompleksnosti izračuna izredno težko preveriti pravilnost rezultatov. Takšno stanje je v interesu vseh treba čim prej odpraviti. Le upamo lahko, da se zakonodajalec zaveda dejstva, da izračun porabe energije v stavbi ni sam sebi namen, ampak je del širše strategije zmanjšanja porabe energije na nacionalnem nivoju. Zaradi neurejenega stanja na tem področju so pravzaprav prizadeti vsi v verigi:

- projektant, ker s svojim podpisom jamči za (ne)verodostojnost izračuna in na katerega se prevlila vsa odgovornost za nedosledno delovanje pristojnih državnih institucij,
- izvajalec, ker ne dela tako, kot bi moral,
- investitor, ki potencialno financira nekaj, česar na koncu ne dobi,
- uporabnik, ker prenaša potencialno slabše pogoje in plačuje za nedoslednosti,
- država, ki ne dosega zastavljenih in predpisanih ciljev.

Pridobi le kverulentni sistem, ki je učinkovit takrat, ko so drugi sistemi neučinkoviti, in ki po nepotrebnem obremenjuje od davkoplačevalcev financirana sodišča. Slovenijo čakajo v naslednjih letih težko dosegljive obveznosti. Ne glede na to, da večina strokovne javnosti v Sloveniji pozna DEUS in DEU, predstavljamo v naslednjih dveh odstavkih njune glavne zahteve.

Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev) v členu 9

skoraj ničenergijske stavbe zahteva, da države članice zagotovijo, da (a) so do 31. decembra 2020 vse nove stavbe skoraj ničenergijske in (b) so po 31. decembru 2018 nove stavbe, ki jih javni organi uporabljajo kot lastniki, zagotovijo, da so to skoraj ničenergijske stavbe. Brez upoštevanja te zahteve ni pravno veljavnega gradbenega dovoljenja.

Direktiva 2011/0370 Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti in razveljavitvi Direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ES, poglavje II, Učinkovitost rabe energije, v členu 4 javni organ zahteva, da (1.) države članice brez poseganja v člen 7 Direktive 2010/31/EU zagotovijo, da se 3 % skupne tlorisne površine v lasti njihovih javnih organov od 1. januarja 2014 vsako leto prenovi z namenom izpolnitve vsaj minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti, ki jih določi zadevna država članica v skladu s členom 4 Direktive 2010/31/EU. Izračuna se 3-odstotna stopnja skupne tlorisne površine stavb s skupno tlorisno površino več kot 250 m<sup>2</sup> v lasti javnih organov zadevne države članice, ki 1. januarja posameznega leta ne izpolnjujejo nacionalnih minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti, določenih v skladu s členom 4 Direktive 2010/31/EU.

Verjetno ni treba opozarjati, da neizpolnjevanju zahtev EU sledijo finančne kazni.

Pri izobraževanju se je vsaj za silo gornja problematika celovito obravnavala v okviru enega predmeta na UL FGG, ki pa je bil, ob bolonjski prenovi v okviru študijskega programa gradbeništvo, odstranjen iz obveznega programa. Trenutno res poteka na tej fakulteti

magistrski študijski programa stavbarstvo, kjer je problematika celovito zajeta. Zaradi različnih ovir se je lani začetni študij zakasnil za vsaj dve leti, v šolskem letu 2012/2013 pa študij ni bil razpisan. Na žalost lahko ponovno ugotovimo le, da Slovenija na prihajajoče naloge ni pripravljena. Ne nazadnje je glede na dogajanja na UL FGG vprašanje, kdo bo zagotovil kakovostno strokovno podporo na ravni projektiranja med

drugim tudi energetske učinkovite stavbe in njihove izvedbe, za aktivnosti, potrebne za realizacijo zahtev iz obeh direktiv in uredbe, če tega področja ne bo v učnem programu in se na tak način fakulteta odpoveduje enemu najbolj perečih problemskih področij gradbeništva. Področja celovite učinkovitosti stavb in drugih gradbenih objektov je določeno v Uredbi 305/2011, kjer je poudarjeno, da so

države sprejele ne le določbe, ki se nanašajo na varnost stavb in drugih gradbenih objektov, ampak tudi na zdravje, trajnost, varčevanje z energijo, varstvo okolja ter na gospodarske in druge pomembne vidike javnega interesa (točka 4). To so vsebine, ki jih zajema magistrski študijski programa stavbarstvo, katerega izvedba je vsako leto odvisna od razporeditve »demokratske« večine na UL FGG.

## 6 • LITERATURA

- Ahčin, M., Primerjava merjene in računske porabe toplote za ogrevanje v večstanovanjskih stavbah na Jesenicah, diplomska naloga, UL FGG, 2013.
- DEU COM 2011/0370, Direktiva o energetske učinkovitosti ter razveljavitvi direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ES, povzeto po: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0370:FIN:SL:PDF>, dostop 19. 10. 2012.
- DEUS 2010/31/EU, Direktiva o energetske učinkovitosti stavb, povzeto po: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF>, dostop 10. 1. 2012.
- DGP 89/106/EEC, Direktiva o približevanju zakonov in drugih predpisov držav članic, ki se nanašajo na gradbene proizvode, povzeto po: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:13:09:31989L0106:SL:PDF>, dostop 10. 1. 2012.
- Fibran NORD, d. o. o., ArchiMAID – v.2.1.105.0 (Build 2.1.4484.35674), 2012.
- KnaufInsulation, d. o. o., Energija 2010 – v.3.8.5.0, 2012.
- Krainer, A., Perdan, R., Jereb, S., TOST-1, Program za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, upoštevajoč EN 832 in EN ISO 13790, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, UL FGG, 2008.
- Krainer, A., Perdan, R., TOST, Program za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, PURES2010, upoštevajoč SIST EN ISO 13790 in TSG-1-004:2010, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, UL FGG, 2012.
- Pajk, L., Miko, B., Poročilo o opravljenih vajah pri predmetu zgradba, okolje, energija II., arhiv Katedre za stavbe in konstrukcijske elemente, UL FGG, 2012.
- PURES 2010, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list Republike Slovenije, št. 52, 2010.
- SIST EN ISO 13790, 2008 SIST EN ISO 13790:2008, Energijske lastnosti stavb, Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov, International Organization for Standardization, Ženeva, 2008.
- Stritih, U., Oman, M., Butala, V., Primerjava izračunov letne rabe energije za stanovanjsko hišo, EGES, I. 15, št. 4, 20–23, 2011.
- Šestan, P., Primerjava delovanja programskih orodij za izračun porabe energije v stavbah: diplomska naloga, UL FGG, 2012.
- TSG-1-004, Tehnična smernica za graditev TSG-1-004, Učinkovita raba energije, povzeto po: [http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004\\_2010.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf), dostop 30. 11. 2011.
- Uredba št. 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS, povzeto po: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:SL:PDF>, dostop 10. 1. 2012.
- URSA Slovenija, d. o. o., Gradbena fizika URSA 4 – v.4.0.0.61, 2012.
- Žvab, G., Analiza porabe energije za ogrevanje v večstanovanjski stavbi, diplomska naloga, UL FGG, 2012.