

ANTONIJA BOGADI
Veleučilište u Varaždinu, odjel Graditeljstvo
antonija.bogadi@gmail.com

Primljeno: 03. 04. 2012.
Prihvaćeno: 10. 09. 2012.

UTJELOVLJENA ENERGIJA I PROCJENA UKUPNE ENERGIJE U ŽIVOTNOM VIJEKU ZGRADE: STUDIJA SAMOSTOJEĆE OBITELJSKE KUĆE

U studiji se demonstrira metoda izračuna utjelovljene energije u životnom vijeku samostojeće obiteljske kuće u Varaždinu u Hrvatskoj, koja je bazirana na količinski najzastupljenijim građevinskim materijalima u predmetnoj kući. Dobiveni se rezultati koriste za daljnji izračun ukupne energije u životnom vijeku zgrade po metodi Life - Cycle Energy Analysis. Procjenjuje se značenje izvedenih izračuna za određivanje nivoa ekološke održivosti zgrade i utjecaj projektantskih odluka na istu.

UVOD

Poznata je činjenica da procesi u izgradnji i korištenju zgrade pridonose zagađenju vode, tla i zraka, pogotovo ako su kao primarni izvor energije korištena fosilna goriva. Stoga je žarište istraživanja i razvoja tehnologije gradnje postalo upravo smanjenje korištene količine energije dobivene iz fosilnih goriva u sustavima grijanja, ventilacije, hlađenja, rasvjete i drugih sustava za održavanje zgrade. Međutim, današnje tehnologije gradnje nepovoljno utječu na okoliš i u procesu iskopa sirovina, proizvodnji građevinskih materijala, njihovim transportom i ugradnjom, tj. u procesu nazvanom „cradle-to-site“ ili „od kolijevke do gradilišta“. U životnom vijeku zgrade se nadalje koristi energija za njeno održavanje, obnavljanje, adaptaciju i rušenje i u svim se spomenutim fazama fosilno gorivo koristi kao glavni izvor energije. Energija potrebna za izvedbu spomenutih procesa i posljedična emisija zagađivača smatraju se „utjelovljenima“ u zgradi. Prema tome, „utjelovljena energija“ je naziv za količinu energije potrebnu za obradu, opskrbu i ugradnju određenog materijala. Danas su razvijene metode za izmjeru

sveukupnog stupnja održivosti koje brojčano opisuju negativna i pozitivna međudjelovanja ljudskih aktivnosti i okoliša. Metode se razlikuju po različitim disciplinama, a u arhitekturi je razvijeno nekoliko proračuna koji se kombiniraju kako bi se dobio stupanj održivosti analizirane građevine. Danas se u praksi najčešće primjenjuju jednostavniji izračuni za:

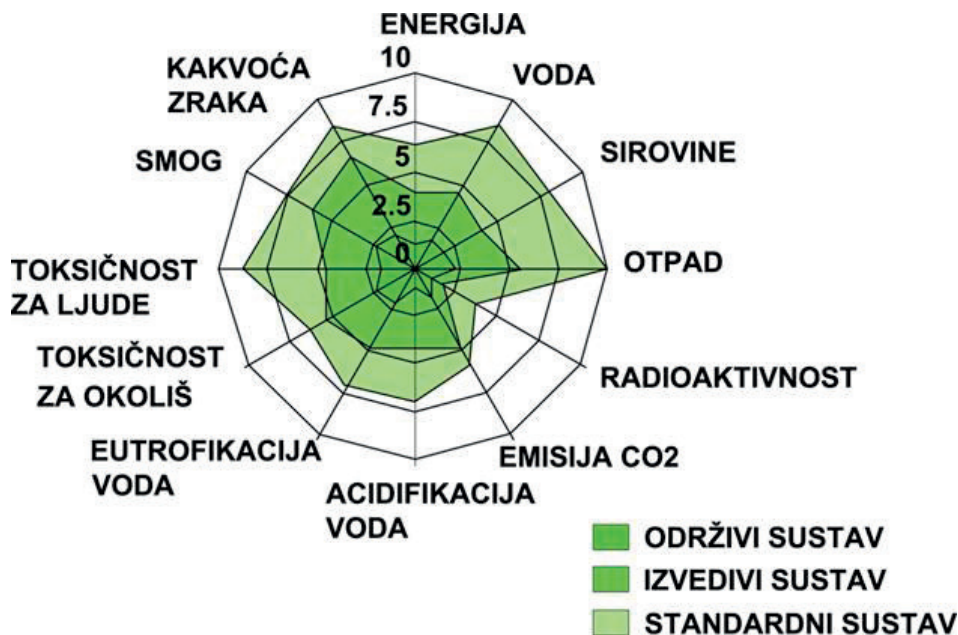
- količinu utjelovljene energije u zgradi,
- količinu operativne energije u zgradi,
- energetske efikasnosti,
- trajnost materijala i sustava,
- utjecaj klimatskih i geografskih karakteristika lokaliteta, koji su podloge za daljnji širi izračun stupnja ukupne održivosti zgrade, a najčešće se koriste slijedeće metode pod nazivima:
 - EcologicalFootprint
 - Eco-Labeling
 - Life Cycle Assessment (LCA).

Metoda pod nazivom „Life cycle assessment (LCA)“ ili „Metoda procjene životnog ciklusa“ (u daljnjem tekstu: LCA) je od navedenih metoda najšire prihvaćena sa strane industrije i njezina je velika prednost definirana standardizacija koja omogućuje jedinstvenu evaluaciju materijala i zgrada.⁷ LCA analizom se mjeri sveukupni utjecaj nekog proizvoda, procesa ili aktivnosti na okoliš na način da se mjeri količina korištene energije, materijala i otpada u njihovom cijelom životnom vijeku, od dobivanja i transporta sirovina, (u)gradnje, korištenja, održavanja, recikliranja i razlaganja proizvoda.¹¹ Najčešće korišteni parametri u LCA analizama su:

- količina materijala - izražena u masi i (ili) volumenu
- utjelovljena energija u određenom materijalu, odnosno količina energije potrebna za vađenje, procesuiranje, proizvodnju, transport i ugradnju građevinskog materijala
- količina emitiranih stakleničkih plinova
- količina krutog otpada nakupljenog tijekom proizvodnje i gradnje
- zagađenje voda - odnos količine vode korištene u procesu proizvodnje i ugradnje materijala i količine otpadne vode.

Smisao je LCA analize da se razvije konkretno mjerilo po kojem bi se različiti proizvodi i procesi mogli međusobno uspoređivati s obzirom na utjecaj na okoliš, odnosno po kojem se omogućuje usporedba njihove održivosti. Glavni nedostaci LCA analize su relativno velika količina vremena i troškova izrade točne procjene indeksa održivosti, a svi podaci za izračun gore navedenih parametara nisu uvijek dostupni. Iz perspektive arhitekta je zato teško opravdati razvijanje nekoliko alternativnih projekata kako bi se napravila objektivna uspo-

redba njihovog utjecaja na okoliš. Korištenje „ekoprofila“8 može metodu pojednostaviti, no ostaje problem još uvijek nepostignutog međunarodnog konsenzusa o toleriranom pragu indeksa održivosti i o obuhvatu promatranih procesa.



Slika 1. Korištenje „ekoprofila“ za uvid u stupanj održivosti zgrade. Nakon određivanja i analize utjecaja parametara u životnom toku zgrade, pretvaraju se i usklađuju mjerne jedinice (npr. iz kilograma u tone) i ucrtavaju se u mjernu ljestvicu. Broj parametara određuje broj kuteva u mnogokutu. (B.L.P. PEUPORTIER, *LCA Applide to the Comparative Evaluation of Single Family Houses in the French Context*. Energy and Buildings, Vol.33, 2001.)

ANALIZA KOLIČINE ENERGIJE U ŽIVOTNOM CIKLUSU ZGRADE (LIFE-CYCLE ENERGY ANALYSIS)

Life-Cycle Energy Analysis ili Analiza količine energije u životnom ciklusu zgrade (u daljnjem tekstu: LCEA) je pojednostavljena LCA metoda i prilagođena potrebama građevinske industrije. LCEA sadrži slijedeće parametre: količinu operativne energije te količinu početne i povratne utjelovljene energije tijekom cjelokupnog životnog vijeka zgrade (slika 2). Pri vrednovanju rezultata LCEA analize se promatraju faze ili podfaze u životnom vijeku zgrade uz koje se veže najveća potrošnja energije i tako se jasno kristaliziraju ciljane faze za poboljšanje.

Energija u životnom ciklusu zgrade može biti izražena jednadžbom:

$$LCE = EE_i + EE_r + OE,$$

gdje su:

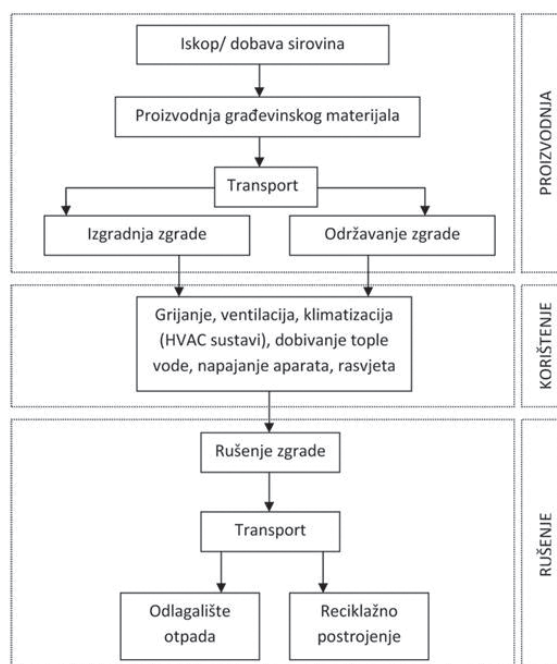
LCE = energija životnog vijeka zgrade;

EEi = početna utjelovljena energija;

EEr = povratna utjelovljena energija;

OE = godišnja operativna energija.

U LCEA analizi se energija potrebna za rušenje zgrade ne uzima u obzir, jer joj je količina mala u usporedbi sa cjelokupnom energijom u životnom ciklusu zgrade. Utjelovljena energija u materijalima koji se nakon rušenja koriste za gradnju novog objekta ulazi u proračun te nove zgrade.



Slika 2. Procesi u životnom vijeku zgrade obuhvaćeni LCEA analizom. (T. RAMESH RAVI PRAKASH, I.K.K. SHUKLA, *Life cycle energy analysis of buildings: An overview*. Energy and Buildings, Vol. 42, No. 10, 2010.)

UTJELOVLJENA ENERGIJA (“EMBODIED ENERGY”)

Utjelovljena energija u određenom proizvodu obuhvaća svu energiju potrebnu za vađenje, transport i obradu sirovina te za proizvodnju građevničkih materijala, njihovo sastavljanje i ugradnju. *Početna utjelovljena energija* se sastoji od *direktne*

energije, tj. energije korištene na gradilištu, a koristi se za izgradnju konstrukcija, rad administracije i cjelokupni transport prilikom trajanja gradnje te *indirektno energije* koja je teže mjerljiva, a sadrži utjelovljenu energiju u svim materijalima od kojih se sastoji zgrada. Količina početne utjelovljene energije je kod svake zgrade različita, a ovisi o upotrebljavanim materijalima i izvorima istih, i zato podaci za isti materijal mogu varirati od države do države.

Utjelovljena energija se uslijed održavanja i obnavljanja zgrade povećava tokom njezinog životnog vijeka i taj se dio potrošene energije naziva *povratnom utjelovljenom energijom*. Ona ovisi o trajnosti i načinu održavanja materijala, komponenti i sustava u zgradi.

Utjelovljena energija se izražava kao količina neobnovljive energije po jedinici materijala, komponente ili sustava: može biti izražena u megadžulima (MJ) ili gigadžulima (GJ) po jedinici mase (kg ili tona) ili prostora (m²). Izmjerom utjelovljene energije se dobiva uvid u trošenje resursa, emisiju stakleničkih plinova i narušavanje biodiverziteta² pa je količina utjelovljene energije pokazatelj cjelokupnog utjecaja upotrebljvanih materijala, sustava i sklopova na okoliš.

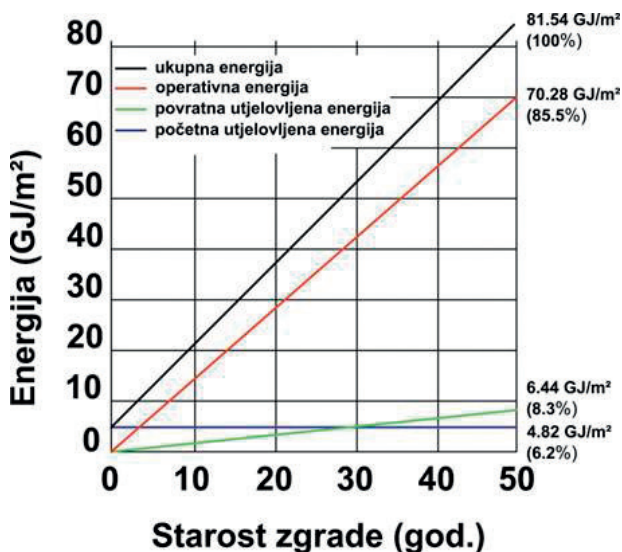
OPERATIVNA ENERGIJA („OPERATIONAL ENERGY“)

Pod pojmom operativne energije podrazumijeva se energija koju zgrada koristi za grijanje, hlađenje, ventilaciju, osvijetljenje i napajanje opreme i uređaja. Operativna energija je važna mjera koja omogućuje usporedbu efikasnosti različitih tehnologija gradnje i implementiranih sustava. Sustavi pasivnih kuća, kuća nulte energije, autonomnih kuća i sl. se oslanjaju na način projektiranja omotnice i sustava na način da se iskoriste obnovljivi izvori energije – sunčeva svjetlost i toplina, vjetrova, voda, tlo - za razliku od sustava koji se oslanjaju na mehaničke, električne ili (i) kemijske procese. Danas je primjenom kombinacija tih sustava moguće izgraditi kuće sa vrlo niskom razinom operativne energije, a time se pojačava važnost utjecaja utjelovljene energije na stupanj održivosti zgrade.

ODNOS UTJELOVLJENE ENERGIJE I OPERATIVNE ENERGIJE

Odnosi količina utjelovljene i operativne energije za poslovnu zgradu su prikazani na slici 3. Podaci pokazuju prosječnu potrošnju operativne energije za 6. i 7. klimatsku zonu u uredskoj zgradi sa standardnim fasadnim slojevima i stupnjem energetske efikasnosti ugrađenih sustava. Prikazani odnosi mogu navesti na zaključak da je utjelovljena energija relativno nevažna u izračunu ukupne energije, ali kako će se zahtjevi za količinom operativne energije smanjivati, udio utjelovljene energije postat će sve važniji. Nadalje, kako se pretpostavljeni životni vijek zgrade produžuje i predviđa na minimalno 50 godina, povratna utjelovlje-

na energija može kod energetski visokoefikasnih zgrada imati sve značajniji udio u ukupnoj energiji u životnom ciklusu zgrade. Gledajući još dalje u budućnost, kad će se operativna energija zgrada dobivati isključivo iz obnovljivih izvora, lako je zaključiti da će utjelovljena energija postati vrlo važno mjerilo održivosti u arhitekturi.

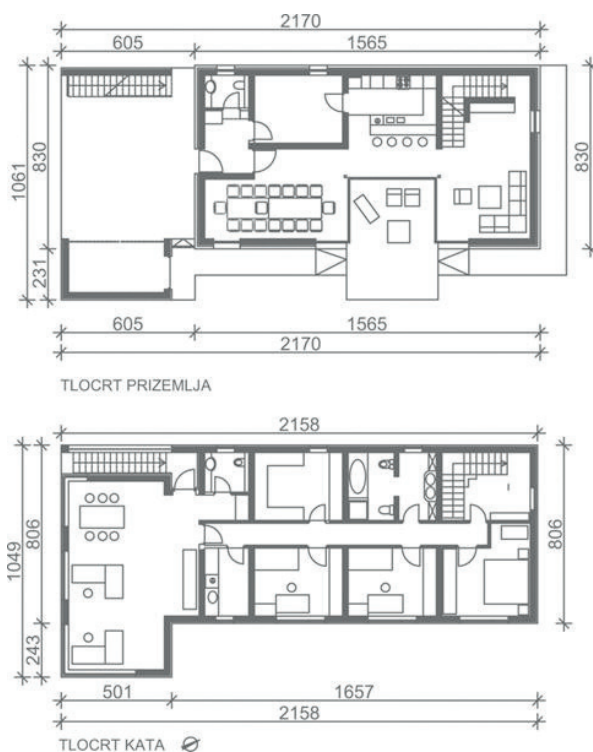


Slika 3. Odnos utjelovljene i operativne energije za tipičnu poslovnu zgradu. Inicijalna utjelovljena energija ostaje na konstantnih 4.82 GJ/m² u 50 godina životnog vijeka zgrade, a povratna utjelovljena energija se povećava od 0 do 6.44c GJ/m² u pedesetoj godini životnog vijeka zgrade. Operativna energija postiže ukupnu vrijednost od 70.28GJ/m² i predstavlja više od 85% ukupne energije u životnom ciklusu zgrade. (J.R. COLE I P.C. KERNAN, *Life Cycle Energy Use in Office Buildings*. Building and Enviroment, Vol. 31, No. 4)

STUDIJA UTJELOVLJENE ENERGIJE I UKUPNE ENERGIJE U ŽIVOTNOM CIKLUSU OBITELJSKE KUĆE U VARAŽDINU

U studiji je korištena predstavljena LCEA metoda za izračun utjelovljene i operativne energije, no treba uzeti u obzir da pomanjkanje i nedostupnost pojedinih potrebnih podataka o lokaciji iskopa, dobavi, proizvodnji i ugradnji materijala sa sobom donosi nezaobilazna ograničenja i odstupanja koja smanjuju točnost rezultata. Svrha ove studije je usporedba količine energije utjelovljene u različitim materijalima u kući te demonstracija metode izračuna energije u cijelom životnom vijeku kuće.

Radi jednostavnosti i jasnoće izračuna, analiza LCE se primjenjuje na obiteljskoj kući Analizirana „Kuća Vlahek“ se nalazi u Varaždinu, bruto površine 316m², a autorica je dipl. ing. arh. Emilija Vlahek (slika 4. i 5.).



Slika 4. Prikaz predmetne obiteljske kuće: tlocrti prizemlja i kata. (autorica Emilija Vlahek, dia.)



Slika 5. Pogled na predmetnu obiteljsku kuću. (autorica Emilija Vlahek, dia.)

ANALIZA UTJELOVLJENE ENERGIJE U KUĆI

A) Početna utjelovljena energija u kući

Početna utjelovljena energija je energija potrebna za izgradnju zgrade, a izražava se kao:

$$EE_i = \sum m_i M_i + E_c, \quad (1)$$

gdje je EE_i = početna utjelovljena energija;

m_i = količina građevinskog materijala (i);

M_i = utjelovljena energija u materijalu (i) po jedinici mjere;

E_c = energija korištena na gradilištu prilikom gradnje.

U ovoj studiji je u uzračunu utjelovljene energije obuhvaćeno trinaest materijala koji su najzastupljeniji u predmetnoj kući i koji u sebi imaju najviše utjelovljene energije¹ pa time i značajniji utjecaj na okoliš. Evaluiraju se: parket, staklo, beton, armirani beton, keramičke pločice, aluminij, gipskartonske ploče, bitumenska ljepenka, glineni blokovi, fasadna opeka, mineralna vuna i ekspanzirani polistiren. Zbog nedostupnosti podataka o količini energije korištene na gradilištu prilikom gradnje i troškovima transporta materijala do gradilišta, podaci o potrebnoj energiji korištenoj na gradilištu (rasvjeta, napajanje strojeva sl.) preuzeti su iz literature gdje se procjenjuje da jedna osoba po radnom satu na gradilištu koristi 0.36MJ pa za predmetnu kuću ona iznosi 450MJ.²

Izračuni utjelovljene energije po značajnijim materijalima u zgradi (gledano sa aspekta količinskog udjela u zgradi i količine utjelovljene energije) pokazuju na njihov pojedini utjecaj na količinu utjelovljene energije u zgradi i time utjecaj na okoliš. Vidljivo je da najviši udio utjelovljene energije otpada na glinene blokove usljed njihove najveće količinske zastupljenosti u kući, makar je u pojedinim drugim materijalima sadržano više utjelovljene energije. Ukupna količina početne utjelovljene energije u kući je 303, 60GJ (tablica 1).

Materijal	Količina (kg)	Početna utjelovljena energija u materijalu (MJ/kg) 6	Početna utjelovljena energija (MJ)
Parket	56,94	12,0	683,28
Beton MB20	82,92	0,95	78,77
Armirani beton MB30	52,10	4,2	218,82
Staklo	967,2	15,0	14508,0
Aluminij	273,06	159,0	43416,54
Čelični lim	1379,1	31,5	43441,65
Keramičke pločice	2481,05	10,0	24815,0
Glineni blokovi	22451,52	3,0	67354,56
Mineralna vuna	3620,0	16,60	60092,0
Ekspandirani polstiren	312,2	88,6	27660,72
Gipskartonske ploče	312,0	6,75	2106,0
Fasadna opeka	2100,0	8,2	17220,0
Bitumenska ljepenka	33,12	47,0	1556,64
Ukupna početna utjelovljena energija u kući (GJ)	303,15+0,45=303,60		

Tablica 1. Pregled količina utjelovljene energije u značajnijim građevinskim materijalima predmetne kuće.

B) Povratna utjelovljena energija u kući

Povratna utjelovljena energija je predviđena tako da se pretpostavlja zamjena i obnova nekih pojedinih dijelova zgrade po ISO standardima⁷, a životni vijek zgrade je procijenjen na 100 godina.

Povratna utjelovljena energija, odnosno energija utjelovljena u materijalima korištenima u održavanju kuće može biti izražena kao

$$EEr = \sum miMi[(Lb/Lmi)-1], \quad (2)$$

gdje je EEr = povratna utjelovljena energija zgrade;

Lb = životni vijek zgrade;

Lmi = životni vijek materijala (i).

Ukupna količina utjelovljene energije za životnog vijeka predmetne kuće je 485, 40GJ (tablica 2).

Starost kuće (god.)	Utjelovljena energija (početna + povratna) (GJ)
0	303,60
25	351,07
75	464,19
100	485,40

Tablica 2. Utjelovljena energija u različitim stadijima u životnom vijeku kuće. Dobivene su vrijednosti za povratnu utjelovljenu energiju s obzirom na obuhvaćene materijale. Utjelovljena energija u kući raste sa starosti kuće zbog utjecaja povratne količine energije zgrade.

OPERATIVNA ENERGIJA U KUĆI

U izračun operativne energije uključena je energija potrebna za održavanje kućanstva: energija potrebna za grijanje i hlađenje, rasvjetu, kuhanje, pripremu tople vode, napajanje aparata i sl. Zrak se grije na plin konvektorima i radiatorima do 21°C i hladi do 26°C u prosjeku 2007,5 sati godišnje, prostorije za boravak imaju jugoistočnu orijentaciju, zaštita od sunca izvedena je od aluminijskih žaluzina, topla voda se dobiva preko toplinskih kolektora, prozori su aluminijski, LOW-E i dvostrukog ostakljenja. Izračun količine energije potrebne za grijanje na plin i elektroopskrbu kuće dobiven je pomoću izvještaja o godišnjoj potrošnji.

Predviđa se da će godišnja količina operativne energije kroz cijeli životni vijek zgrade ostati jednaka, makar se trendovi mijenjaju i teško se može točno predvidjeti njezina količina u budućnosti. Primjerice, očekuje se redukcija potrebne operativne energije zbog napretka u efikasnosti sustava, ali i povećanje zbog konstantnog dizanja očekivanog nivoa komfora kod korisnika. Tu su i očekivane promjene u cijeni energije, legislativi, potrošačkoj moći korisnika i društvenim normama koje će rezultirati smanjenjem ili povećanjem potrebne operativne energije.

Ukupna količina operativne energije kroz jednu godinu za predmetnu kuću iznosi 21.38 GJ/god (od toga 10.37GJ za grijanje, a ostatak na električnu energiju).

Operativna energija u životnom vijeku zgrade može biti izražena kao:

$$OE = EOALb, \quad (3)$$

gdje je OE = operativna energija u životnom vijeku zgrade,

E_{OA} = operativna energija kroz jednu godinu; Lb = životni vijek zgrade izražen u godinama.

Ukupna količina operativne energije za životnog vijeka kuće je 2138,0GJ (tablica 3).

Starost kuće (god.)	Količina operativne energije (GJ)
0	0
25	543,5
75	1603,5
100	2138,0

Tablica 3. Operativna energija u različitim stadijima u životnom vijeku kuće.

ANALIZA UKUPNE KOLIČINE ENERGIJE U ŽIVOTNOM CIKLUSU PREDMETNE ZGRADE

Ukupna količina energije u životnom ciklusu predmetne zgrade izračunata je za starost zgrade od 0, 25, 50 i 100 godina, po formuli:

$$LCE = EEi + EEr + OE \quad (4)$$

i za cijeli životni vijek predmetne zgrade iznosi 2623,40 GJ (tablica 4).

Starost kuće	Ukupna količina energije u životnom ciklusu kuće (GJ)
0	303,60
25	894,57
75	2067,70
100	2623,40

Tablica 4. Ukupna količina energije u različitim stadijima u životnom ciklusu predmetne zgrade.

ZAKLJUČAK

Iako bi se cetrifikati za ukupni nivo održivosti mogli zasnivati na procjeni korištene energije tijekom života zgrade, nedostupni i nepotpuni potrebni podaci, pojednostvaljenja i generalizacije povezani sa LCEA metodom nisu sigurni pokazatelji ukupne održivosti zgrade i stoga se ne mogu koristiti kao nedvojbeno polazište za izradu istih.

Usprkos tome, izračun energije u životnom vijeku zgrade po LCEA metodi ukazuje na nedvojbeno značajni udio utjelovljene energije u ukupnoj energiji tijekom života zgrade. Studija pokazuje da u ukupnoj količini energije u životnom

vijeku zgrade 83 ÷ otpada na operativnu energiju, a 17 ÷ na utjelovljenu energiju. Izračun o utjelovljenoj energiji u životnom vijeku predmetne kuće ilustrira i u kolikoj mjeri odabir materijala može utjecati na razinu utjelovljenje energije u kući odnosno njezin utjecaj na okoliš.

Kako bi se smanjila razina operativne energije, danas su u širokoj primjeni mjere za energetska efikasnost kuća: povećanje termozolacijskog sloja, korištenje višestrukog *LOW-E* ostakljenja, izmjenjivača topline, toplinskih pumpi, solarnih toplinskih kolektora i fotopanela. Danas je moguće izgraditi kuće sa gotovo nultim stupnjem operativne energije, ali je gotovo nemoguće sa nultim stupnjem ukupne energije tijekom njezinog životnog ciklusa što je krajnji cilj u razvoju održivih sustava i zato se prilike za redukciju utjelovljene energije ne bi smjele zanemarivati. Mogućnost u smanjenju iste nalazi se u odabiru materijala i sklopova čija proizvodnja zahtjeva manje energije, materijalima koji imaju duži vijek trajanja i koji se lako recikliraju.

ZAHVALA

Autorica zahvaljuje Emiliji Vlahek, dia. iz ureda *E-projekt* na dopuštenju da se „Kuća Vlahek“ koristi za predmetnu studiju.

LITERATURA

1. Asif, M. , MUNEEER, T. i Kelley, R., 2007., *Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland*. Building and Environment, No. 42, 1391 – 1394.
2. Berge B., 2001., *The ecology of Building Materials*, Architectural Press, Oxford.
3. Citherlet, S. i Defaux, T., 2007., *Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span*. Building and Environment, No. 42, 443 – 450.
4. Cole, J. R. i Kernan P. C., *Life Cycle Energy Use in Office Buildings*. Building and Environment, Vol. 31, No. 4, 307 – 317.
5. Fay, R., Treloar G. i Iyer-Raniga U., 2000., *Life-cycle energy analysis of buildings: a case study*. BUILDING RESEARCH & INFORMATION, No. 28 (1), 31 – 41.
6. Hammond, G. P. i Jones, C. I., 2006., *Inventory of Carbon and Energy (ICE)*, Beta Version V1.5, Department of Mechanical Engineering, University of Bath.
7. International Organization for Standardization, 1997. *ISO 14040 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, International Organization for Standardization Geneva, Switzerland.
8. Peuportier, B. L. P., 2001., *LCA Applied to the Comparative Evaluation of Single Family Houses in the French Context*. Energy and Buildings, Vol. 33, 443 – 450.
9. Ramesh Ravi Prakash, T. i Shukla, K.K., 2010., *Life cycle energy analysis of buildings: An overview*. Energy and Buildings, Vol. 42, No. 10, 1592 – 1600.
10. Sartori, I. i Hestnes, A. G. , 2007., *Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article*. Energy and Buildings, Vol. 39, 249 – 257.
11. Society for Environmental Toxicology and Chemistry, 1993. *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice*, SETAC, Brussels

SAŽETAK

UTJELOVLJENA ENERGIJA I PROCJENA UKUPNE ENERGIJE U ŽIVOTNOM VIJEKU ZGRADE: STUDIJA SAMOSTOJEĆE OBITELJSKE KUĆE

Izgradnja zgrade podrazumijeva potrošnju energije u cijelom njezinom životnom vijeku, od energije potrebne za iskop, transport i proizvodnju građevinskih materijala do energije potrebne za njezinu izgradnju, održavanje i rušenje. Izračuni količina energije korištenih u različitim fazama životnog ciklusa zgrada omogućuju uvid u periode u kojima se koristi najviše energije - i s time povezano emitira najviše stakleničkih plinova - kako bi se ciljano razvile strategije za njihovo smanjivanje. Obaveza smanjenja stakleničkih plinova na nacionalnim razinama prema *Protokolu iz Kyota* utječe na sve veću potrebu za korištenjem takvih analiza.

Metoda nazvana *Life-Cycle Energy Analysis*, kojom se procjenjuje ukupna količina energije u životnom vijeku zgrade, uključuje sve potrebne parametre za određivanje utjecaja zgrade na okoliš, odnosno za utvrđivanje nivoa njezine održivosti, iako je upitno i još uvijek neutvrđeno do koje je širine smisleno postaviti obuhvat promatranog sustava.

U ovom se članku ukratko predstavlja metoda *Life-cycle energy analysis* i uz nju vezani pojmovi, kako bi se primjenila na procjenu utjelovljene energije i ukupne energije u životnom vijeku obiteljske kuće u Varaždinu. Za izračun utjelovljene energije uzeta je utjelovljena energija za trinaest energetski najbitnijih i najzastupljenijih građevinskih materijala u predmetnoj zgradi. Izračun pokazuje da utjelovljena energija za predmetne materijale iznosi 303,60GJ, te da je najviše utjelovljene energije u glinenim blokovima, toplinskoj izolaciji te čeličnom limu.

Rezultati studije nadalje ukazuju ne samo na očekivani većinski udio operativne energije, nego i na relativno značajni udio utjelovljene energije, na koju otpada 17% ukupne korištene energije u životnom vijeku zgrade.

Vremenom će razvoj i sve šira primjena integriranih sustava zasnovanih na održivim izvorima energije sve više smanjivati udio operativne energije u životnom vijeku kuće, pa će time utjelovljena energija dobivati sve veći značaj u ukupnoj korištenoj energiji. Predmetna studija o korištenoj energiji u životnom vijeku kuće ilustrira u kolikoj mjeri projektantske odluke mogu utjecati na razinu utjelovljene energije u kući odnosno na njezin ukupni utjecaj na okoliš. Svrha ove studije je usporedba količine energije utjelovljene u različitim materijalima u kući te demonstracija metode izračuna energije kroz čitav životni vijek kuće.

Ključne riječi: procjena ukupne energije u životnom vijeku zgrade; utjelovljena energija; samostojeća obiteljska kuća; Hrvatska.

SUMMARY

EMBODIED ENERGY AND LIFE-CYCLE ENERGY ANALYSIS: A CASE STUDY OF A DETACHED HOUSE

Buildings imply energy consumption in their life cycle, right from the excavation, transport and production of the construction material, up to the energy demanded for their construction, maintenance and demolition. Studies on energy use during the different phases in life cycle of the building could identify phases of the largest energy use and related greengases emissions to develop target strategies for their reduction.

Kyoto target obligations necessitating the quantification of greenhouse gas emissions at the national level caused the growing need of the usage of this kind of an analyses. The method of assessing lifetime building energy and its environmental impact is known as Life-Cycle Energy Analysis, though the final agreement and standards for the scope of the monitored system have not been yet achieved.

This paper briefly explains Life-Cycle Energy Analysis method as well as associated terminology providing an embodied energy and life cycle energy assessment of a detached house in Varaždin, Croatia. Main construction materials i.e. aluminium, glass, concrete and clay blocks have been analysed to determine building's embodied energy. Embodied energy of the various construction materials involved has been estimated to be equal to 303,60 GJ, and it is also found that clay blocks, mineral wool and steel sheet are the three most energetically expensive materials.

Furthermore, results show expected importance of the operating energy (83%) as well as the significance of the embodied energy (17%) in building's life cycle energy demand.

Operating energy share in total lifetime building energy is anticipated to decrease through efficiency improvements and lifestyle changes, so the significance of the embodied energy value will increase. The case study illustrates how particular design strategies make a significant impact on building's embodied energy and life cycle energy. The aim of this study is to compare embodied energy in different building materials and to demonstrate Life Cycle Energy Assessment on the studied house.

Key Words: lifetime building energy assessment; embodied energy; detached house; Croatia.

