

## VREDNOVANJE TERMO IZOLACIONIH MATERIJALA SA ASPEKTA EMISIJE GASOVA SA EFEKTOM STAKLENE BAŠTE

Marina Nikolić Topalović

Akademija tehničko umetnčkih strukovnih studija Beograd, Odsek Građevinsko geodetski, Hajduk  
Stankova 2, 11000 Beograd, Srbija, [mntopalovic@viggs.rs](mailto:mntopalovic@viggs.rs)

### SAŽETAK

U sprovedenom istraživanju se analizira mogućnost primene metodologije procene ekoloških uticaja koje pojedini termo izolacioni materijali imaju na životnu sredinu. Ekosistemske pristup i unapređenje faze projektovanja u pravcu vrednovanja ekoloških karakteristika predloženih materijala za utopljanje termičkog omotača zgrade. U istraživanju se koristi metodologija Analize životnog ciklusa (LCA) kako bi se sagledalo u kojoj fazi životnog ciklusa predloženih termo izolacionih materijala postoje žarišta i kvantifikuju uticaji. Istraživanje pokazuje da se u fazi izrade elaborata energetske efikasnosti za projekat energetske sanacije zgrada, treba sagledati i uticaj koji primenjeni materijali imaju na životnu sredinu i zdravlje ljudi. Osim vrednovanja smanjenja potrošnje energije za zagrevanje objekta, treba sagledati i uticaj od primenjenih materijala. Istraživanje ukazuje na potrebu za formiranje softvera za proračun ekoloških uticaja. Nacionalni softver bi pomogao u nastojanjima za unapređenje građevinarstva, postupka projektovanja i kvaliteta životne sredine u Republici Srbiji.

**Ključne reči:** energetska efikasnost, termo izolacioni materijali, analiza životnog ciklusa, ekološki uticaji.

### UVOD

Značajan zaokret u pravcu energetske efikasnosti zgrada u Evropi je učinjen 2002.godine sa usvajanjem EU direktive (Council directive, 2002), kojom su dotadašnji propisi o energetske efikasnosti zgrada pooštreni i propisana energetska sertifikacija zgrada. U regulativi se osim metodologije proračuna energetske potreba zgrade, propisuje i obaveza iskazivanja potrošnje CO<sub>2</sub>, kao mere uticaja zgrade na životnu sredinu. Ova direktiva se odnosi na nove, ali i na postojeće zgrade, odnosno na potrebu njihove energetske sanacije. Usvajanjem nove direktiva EU iz 2010 (Council directive, 2010), o energetske svojstvima zgrada, predviđeno je da do 2020. godine sve nove zgrade budu nulti energetske razred, a sve javne zgrade skoro nulte do 2018. Osim tih odrednica akcenat je i na povećanju obima energetske sanacije postojećih zgrada. U Republici Srbiji je 2011.godine usvojena regulativa o energetske efikasnosti zgrada (Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, 2011, Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada, 2012), sa obavezom primene od 2012.god., kojom se propisuje obaveza energetske rangiranja, i minimalni energetske razred za sve nove zgrade, na osnovu potrošnje energije za komforno korišćenje. Prema važećoj legislativi energetske rangiranje se vrši na osnovu potrebne energije za komforno korišćenje zgrade obračunate u kWh/m<sup>2</sup> površine. U skladu sa tim postoji i potreba proračuna emisije CO<sub>2</sub>, koje nastaju kao posledica korišćenja energije, iskazana po kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> površine. Osim novih zgrada usvojena regulativa se odnosi i na energetske saniranje postojećeg građevinskog fonda, i njegovo energetske rangiranje. U regulativi se računaju samo uticaji iz faze korišćenja zgrade, a proizvodnja, transport i ugradnja materijala, nisu ušli u procenu uticaja na životnu sredinu (Padilla-Rivera, Amor, & Blanchet, 2018; Mengxue, & Joseph, 2018). Sa usvajanjem EU direktiva i ISO standarda 14040:2006 (International Standards Organization [ISO 14040], 2006) počinje se sa procenom uticaja proizvoda na životnu sredinu tokom životnog ciklusa.

Brojna istraživanja ukazuju na potrebu za smanjenjem emisije gasova sa efektom staklene bašte (GHG) nastalih izgradnjom i korišćenjem zgrada, zbog njihovog uticaja na klimatske promene (De

Wolf, Pomponi, & Moncaster, 2017, Victoria, & Perera, 2018). O značaju faze projektovanja za identifikovanje uticaja vezanih za građevinske materijale i način izgradnje, kao i mogućnosti za smanjenje negativnih uticaja primenjenih materijala u fazi izrade projekta diskutuju i drugi autori (Baek, Park, Suzuki, & Lee, 2013). Zgrade i izgradnja zajedno troše 36% finalne energije na globalnom nivou i produkuju 39% ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), u analizu je uključen životni ciklus materijala ali i proizvodnja energije (Global Status Report, 2017). Zbog nedovoljne aktivnosti na smanjenju emisija CO<sub>2</sub> do 2030. god., se predviđa dvostruko veća vrednost GHG iz građevinskog sektora (Global Status Report, 2017). Da bi se ispunile globalne klimatske ambicije utvrđene Pariskim sporazumom intenzitet potrošnje energije po kvadratnom metaru (m<sup>2</sup>) zgrada treba smanjiti za 30% do 2030. godine u poređenju sa 2015. godinom (Global Status Report, 2017). Zbog toga je neophodno da se postojeći građevinski fond, izgrađen pre donošenja propisa o energetske efikasnosti zgrada, u skorijoj budućnosti energetski sanira. Iz tog razloga je veoma bitno sagledati i kvantifikovati opterećenje na životnu sredinu koje nastaje od energetske sanacije postojećih objekata sa aspekta uticaja koje materijali imaju na životnu sredinu. Za procenu uticaj građevinskog sektora, koriste se vrednosti emisije GHG što se kvantifikuje kroz emisije CO<sub>2</sub> (Akbarnezhad, & Xiao, 2017; Pomponi, De Wolf, & Moncaster, 2018).

Autori (Beak et al. 2013), zaključuju da je procena ugljeničkog otiska u fazi izrade projekta, bitna za smanjenje uticaja građevinarstva na životnu sredinu. U istraživanju Ibn-Mohammed et al. (Ibn-Mohammed, GreenoughTaylor, Ozawa-Meida, & Acquaye, 2013), zaključuje da zgrade treba da budu projektovane i konstruisane sa minimalnim uticajem na životnu sredinu, kao bi se ublažili efekti koji dovode do klimatskih promena.

Potrošnja energije u građevinskom sektoru Republike Srbije 2011. godine je iznosila 41% celokupne godišnje potrošnje energije (Energy balance of the Republic of Serbia, 2014). Više od 50% ekološkog otiska Srbije potiče od produkcije CO<sub>2</sub>e (Global Footprint Network, 2018), što je mera uticaja svih GHG, kroz potencijal za globalno zagrevanje.

Domaći autori (Jovanović Popović, & Kosanović, 2009; Slavković, & Radivojević, 2014), zapažaju da je za dalju uštedu energije potrebno istražiti utrošenu energiju u materijalima tokom njihovog životnog ciklusa.

U cilju smanjenja uticaja iz građevinskog sektora predlaže se primena ekosistemskog pristupa prilikom odabira termo izolacionog materijala kojim se planira utopljanje termičkog omotača zgrade.

## **CILJ I ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA**

Najčešći način energetske sanacije već postojećih objekata se izvodi kroz dodavanje slojeva termo izolacije na fasadnim zidovima, uz zamenu dotrajale fasadne stolarije. Cilj istraživanja je procena uticaja koje analizirani termo izolacioni materijali imaju na životnu sredinu, i njihovo vrednovanje sa ekološkog aspekta. Kroz ovo istraživanje se želi ukazati na mogućnosti poboljšanja metodologije izrade arhitektonskih projekata, primenom softvera kojima se ti uticaji mogu kvantifikovati u fazi projektovanja. Na osnovu izračunatih uticaja moguće je dati preporuku za primenu materijala sa manjim uticajem na životnu sredinu. Zbog nedostatka nacionalnog programa za kvantifikovanje ekoloških uticaja građevinskih materijala, za potrebe istraživanja koristi se programski paket BEES 2.1., Američkog instituta za standardizaciju i tehnologiju NIST u kome se mogu izračunati uticaji na životnu sredinu sa više različitih aspekata. Program je opremljen podacima za građevinske materijale koji se koriste u zemljama SAD (Softver BEES, 2022). U softverskom paketu BEES 2.1., ima materijala koji su slični termo izolacionim materijalima koji se koriste u Srbiji. U programu ima materijala koji su proizvedeni od primarnih sirovina, ali i od recikliranih, pa je kroz istraživanje i taj aspekt moguće analizirati.

Ovo istraživanje će pokazati da li postoji mogućnost da se pomoću softverskih alata u fazi projektovanja proceni uticaj primenjenog termo izolacionog materijala i odabere onaj koji je sa manjim uticajem na životnu sredinu, posebno sa aspekta uticaja koji se prepoznaju kao bitni, a to je u ovom slučaju GHG, potrošnja vode, potencijal Acidifikacije i Eutrofikacije.

U istraživanju će biti izračunat i potencijal za stvaranje smoga, jer se poslednjih godina identifikuje visok nivo zagađenje smogom u Republici Srbiji.

## MATERIJAL I METOD

Metodologija koja se koristi u istraživanju je procena uticaja životnog ciklusa (LCA), je metodologija za identifikovanje potencijalnih uticaja koje proizvodi ili usluge imaju tokom životnog ciklusa. Međunarodna organizacija za standardizaciju je metodologiju procene životnog ciklusa (LCA) propisala standardom ISO 14040:2006 (ISO 14040, 2006) koji je prihvaćen kao metod za identifikovanje i procenu opterećenja životne sredine od proizvoda, procesa ili usluga identifikovanjem energije i materijala koji se koriste kao i emisija tokom životnog ciklusa (Smith, 2005; Pearce, Sara, Johnson, & Grant, 2007). O prednostima primene LCA metodologije za identifikovanje uticaja građevinskih objekata iznose zaključke i drugi istraživači u svojim radovima (Baek et al., 2013; Karimpour, Belusko, Xing, & Bruno, 2014; Abd Rashid, Idris, & Yusoff, 2017). U istraživanju se vrednuju emisije, tokom životnog ciklusa šest termo izolacionih materijala. Za potrebe istraživanja, termo izolacioni materijali, koji su analizirani u istraživanju, su označeni kao modeli. Njihovi proizvodni nazivi, jedinica mere i oznaka modela, su prikazani u Tabeli 1.

Tabela 1. Termo izolacioni materijali koji su analizirani u istraživanju.

Table 1. Thermal insulation materials that were analyzed in the research.

Proizvodni naziv termo izolacije	Jedinica mere	Oznaka modela
Generic Fiberglass Batt R-13	(1ft <sup>2</sup> ) = (0,093m <sup>2</sup> )	IZ1
Generic Fiberglass Batt R-19	(1ft <sup>2</sup> ) = (0,093m <sup>2</sup> )	IZ2
Average Mineral Wool Board R-13	(1ft <sup>2</sup> ) = (0,093m <sup>2</sup> )	IZ3
Average Mineral Wool Board R-19	(1ft <sup>2</sup> ) = (0,093m <sup>2</sup> )	IZ4
Average Blown Mineral Wool R-13	(1ft <sup>2</sup> ) = (0,093m <sup>2</sup> )	IZ5
Average Blown Mineral Wool R-19	(1ft <sup>2</sup> ) = (0,093m <sup>2</sup> )	IZ6

Program koji se koristi za procenu uticaja pruža niz mogućnosti u smislu procene uticaja građevinskih materijala i proizvoda tokom životnog ciklusa, a za ovo istraživanje se analiziraju uticaji na životnu sredinu prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. Analizirani uticaju na životnu sredinu u istraživanju.

Table 2. Analyzed impact on the environment in the research.

Analizirani uticaji
Potencijal globalnog zagrevanja
Potrošnja vode
Eutrofikacija
Acidifikacija
Potencijal za stvaranje smoga

Uticaji koje proizvodi imaju na životnu sredinu se mogu kvantifikovati kroz ekološki otisak. Ugljenični otisak se kvantifikuje emisijom GHG koji nastaju tokom životnog ciklusa, a kroz LCA analizu se identifikuju izvori, i formiraju strategije za smanjenje uticaja (Sturgis, 2017). Emisije GHG su potencijal globalnog zagrevanja koji se meri kroz količinu emitovanih gasova sa efektom staklene bašte u kilogramima ugljen dioksid ekvivalenta (kgCO<sub>2</sub>eq).

Rezultati procene potencijala globalnog zagrevanja će pokazati koji od termo izolacionih materijala, može pomoći u smanjenju ugljeničnog otiska energetske sanacije zgrade. Softver ima mogućnost podešavanja vrste transporta, kao i rastojanja od mesta proizvodnje do mesta ugradnje, i u ovom istraživanju za sve je sve analizirane termo izolacione materijale je uzeto isto rastojanje od 160 km.

Vodeni otisak je analitički alat koji može biti instrument za razumevanje kako aktivnosti u proizvodnji, potrošnji, dovode do zagađenja vode, kao posledica upotrebe ili emisija u životnu sredinu (Selvarajan et al., 2017). Procena vodenog otiska je analitički alat metodološki propisan standardom ISO 14046:2014. (ISO 14046, 2014). Potencijal za uticaj na vodu će bit analiziran kroz potencijal Acidifikacije i Eutrofikacije, ali će biti i analiziran potrošnja vode za izradu i montažu termo izolacionog materijala tokom životnog ciklusa.

Potencijal za Eutrofikaciju je posledica emisija gasova poput NO<sub>x</sub>, koji se emituju u vazduh od faze sirovina preko proizvodnje, transporta, ugradnje i eksploatacije. Potencijal Eutrofikacije ima za posledicu obogaćivanje vode nitratima, što dovodi do promene ekosistema i povezan je sa produkcijom algi, vodenih biljaka, promenom ribljeg fonda ili izumiranjem pojedinih vrsta zbog poremećaja ekosistema i stvaranja toksičnih jedinjenja koja kroz vodu stižu u tlo i reke, i kroz lanac ishrane dolaze do biljnog i životinjskog sveta pa i ljudi.

Potencijal za Acidifikaciju je ekološki problem koji nastaje zbog emisija SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> i NO<sub>x</sub>. Zakiseljavanje povećava prisustvo teških metala u zemljištu i ima uticaj na vodene i kopnene životinje i biljke menjajući ekosistem kroz lanac ishrane.

O značaju WF ukazuju istraživanja pojedinih naučnika koji ukazuju na činjenicu da se izvozna politika pojedinih regiona treba korigovati, i sagledati sa aspekta WF, i prema tome doneti strategija izvoza. Jedan broj evropskih zemalja izvozi proizvode koji direktno smanjuju raspoloživost vodom u svojim regionima. Prema istraživanjima (Selvarajan et al., 2017) vodom siromašni regioni treba profil industrijske proizvodnje i izvoza da usklade sa raspoloživim vodnim resursima. Nedostatak vode prvo vodi do povećanja cene ovog resursa, i nestašice vode za piće, poljoprivredu i ishranu stanovništva. To za posledicu ima i povećanje cena proizvoda i dugoročno, migraciju stanovništva iz tih predela (OECD, 2012).

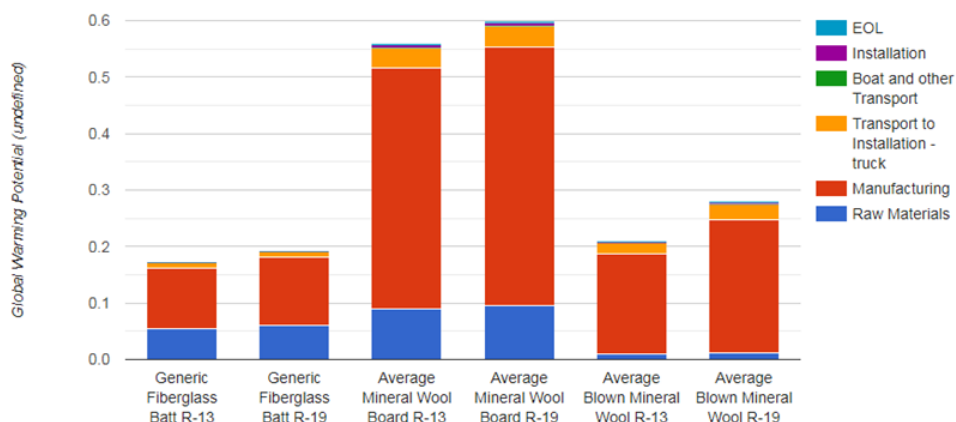
## **REZULTATI I DISKUSIJA**

Potencijal globalnog zagrevanja je posledica emisija u vazduh grupe gasova sa efektom staklene bašte, pa je veoma bitno, zbog uticaja na klimatske promene, da te vrednosti budu što manje. Rezultati istraživanja primenom softverskog paketa BESS 2.1, za procenu ekoloških uticaja tokom životnog ciklusa šest analiziranih termo izolacionih materijala u ovom istraživanju analizom LCA, prikazani su u Tabeli 3.

Najniže vrednosti potencijala globalnog zagrevanja ima model IZ1(Generic Fiberglass Batt R-13) termoizolacija od fiberglasa. Nešto više vrednosti potencijala globalnog zagrevanja ima model IZ2(Generic Fiberglass Batt R-19). Više vrednosti imaju modeli: IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19), oba modela su termo izolacije od reciklirane mineralne vune. Veće vrednosti potencijala globalnog zagrevanja ima model IZ3(Average Mineral Wool Board R-13), a najviše vrednosti beleži model IZ4(Average Mineral Wool Board R-19). Oba modela su termo izolacija od mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina. Model IZ4 (Average Mineral Wool Board R-19), termo izolacija od mineralne vune, ima tri ipo puta veće vrednosti potencijala globalnog zagrevanja u odnosu na model sa najnižim vrednostima a to je model IZ1 (Generic Fiberglass Batt R-13). Ono što je zabrinjavajuće je činjenica da se izolacija od mineralne vune proizvedena od primarnih materijala često koristi u Republici Srbiji. Vrednosti potencijala globalnog zagrevanja su prikazane na Slici 1. po fazama životnog ciklusa.

Tabela 3. Rezultati LCA analize potencijala Globalnog zagrevanja po fazama životnog ciklusa.  
 Table 3. Results of LCA analysis of Global Warming potential by life cycle stages.

Faza životnog ciklusa	Potencijal globalnog zagrevanja po fazama životnog ciklusa LCA za modele					
	IZ1	IZ2	IZ3	IZ4	IZ5	IZ6
Sirovine	5,42e-2	6,00e-2	8,89e-2	9,53e-2	9,06e-3	1,21e-2
Proizvodnja	1,08e-1	1,20e-1	4,27e-1	4,58e-1	1,77e-1	2,36e-1
Transport do gradilišta-kamionom	9,23e-3	1.03e-2	3,47e-2	3,72e-2	2,02e-2	2,70e-2
Ostali transporti	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14
Montaža	0,00e+0	0,00e+0	5,34e-3	5,34e-3	1,53e-3	2,04e-3
EOL	8,70e-4	9,71e-4	3,13e-3	3,35e-3	1,88e-3	2,51e-3
Ukupno	1,72e-1	1,92e-1	5,59e-1	5,99e-1	2,10e-1	2,80e-1



Slika 1. Potencijal Globalnog zagrevanja.  
 Figure 1. Global warming potential.

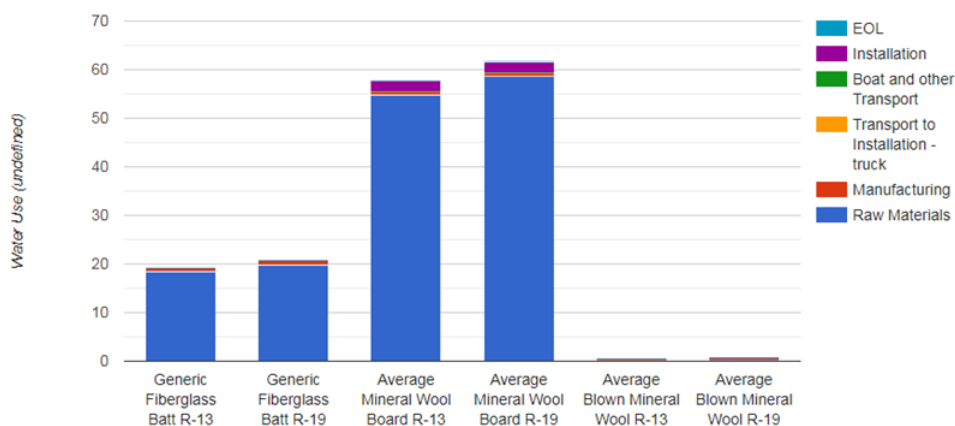
Najbolje rangirani modeli sa aspekta globalnog zagrevanja su: IZ1(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ2(Generic Fiberglass Batt R-19). Najveći uticaji kod ovih modela potiču delimično od sirovina a većim delom od faze proizvodnje. Nešto veći potencijal globalnog zagrevanja imaju modeli: IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19), kod kojih je uticaj od sirovina minimalan, oni se proizvode od recikliranih komponenti, ali je faza proizvodnje kod ovih modela sa nešto većim uticajem, pa je bilans za ova dva modela sa većim uticajem globalnog zagrevanja. Modeli: IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19), kojima su predstavljeni termo izolacioni materijali proizvedeni iz recikliranih sirovina imaju najmanje vrednosti emisija iz faze sirovina, i najveće vrednosti iz faze proizvodnje, pa su ova dva modela najmanje povoljna po životnu sredinu. Faza proizvodnje za modele IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19) ima veće uticaje tri puta od proizvodnje modela IZ1(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ2(Generic Fiberglass Batt R-19). Potrošnja vode za analizirane termo izolacione materijale prikazana je u Tabeli 4.

Tabela 4. Rezultati LCA analize po fazama životnog ciklusa za upotrebu vode.

Table 4. Results of LCA analysis by life cycle stages for water use.

Faza životnog ciklusa	Upotreba vode po fazama životnog ciklusa LCA za modele					
	IZ1	IZ2	IZ3	IZ4	IZ5	IZ6
Sirovine	1,85e+1	1,99e+2	5,48e+1	5,87e+1	2,24e-1	3,98e-1
Proizvodnja	6,78e-1	7,57e-1	5,77e-1	6,18e-1	2,68e-1	3,57e-1
Transport do gradilišta-kamion	0,00e+0	0,00e+0	0,00e+0	0,00e+0	0,00e+0	0,00e+0
Ostali transporti	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14
Montaža	0,00e+0	0,00e+0	2,36e+0	2,36e+0	0,00e+0	0,00e+0
EOL	2,79e-2	3,12e-2	1,00e-1	1,08e-1	6,05e-2	8,07e-2
Ukupno	2,79e-2	2,07e+1	5,78e+1	6,18e+1	5,52e-1	7,36e-1

Dijagrami sa vrednostima za upotrebu vode su prikazani na Slici 2, po fazama životnog ciklusa. Najmanju potrošnja vode beleže modeli: IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19), kojima su predstavljeni termo izolacioni materijali proizvedeni iz recikliranih sirovina, pa se sa aspekta upotrebe vode ovi materijali mogu preporučiti kao najpovoljniji. Kod modela: IZ1(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ2(Generic Fiberglass Batt R-19), beleže veće vrednosti potrošnje vode, a to su termo izolacije od fiberglasa. Najveću potrošnju vode imaju modeli: IZ4 (Average Mineral Wool Board R-19), i IZ3(Average Mineral Wool Board R-13), a to su materijali od mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina.



Slika 2. Upotreba vode po fazama životnog ciklusa.

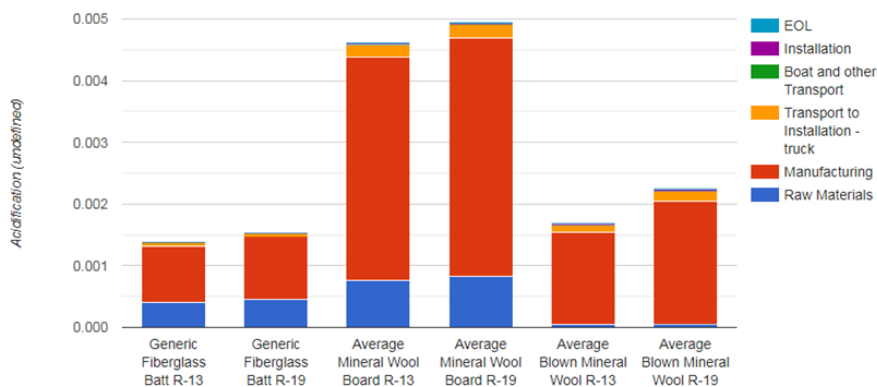
Figure 2. Water use by stages of the life cycle.

Sa aspekta potrošnje, vode od šest analiziranih termo izolacionih materijala najmanji uticaj imaju: IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19), termo izolacioni materijali koji se proizvode od recikliranih komponenti. Nešto veću potrošnju vode imaju modeli: IZ1(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ2(Generic Fiberglass Batt R-19), i ta potrošnja uglavnom potiče iz faze sirovina od kojih se proizvode ovi termo izolacioni materijali. Najveću potrošnju vode imaju modeli: IZ4 (Average Mineral Wool Board R-19), i IZ3(Average Mineral Wool Board R-13) i to iz faze sirovina od kojih se proizvode ovi termo izolacioni materijali, a to su primarne sirovine. Ovi modeli su najmanje preporučljivi sa aspekta potrošnje vode. Potencijal Acidifikacija za analizirane termo izolacione materijale prikazan je u Tabeli 5.

Tabela 5. Rezultatai potencijala Acidifikacije LCA analize po fazama životnog ciklusa.  
 Table 5. Results and potential of Acidification LCA analysis by life cycle phase.

Faza životnog ciklusa	Potencijal globalnog zagrevanja po fazama životnog ciklusa LCA za modele					
	IZ1	IZ2	IZ3	IZ4	IZ5	IZ6
Sirovine	5.09e-4	4.51e-4	7.71e-4	8.26e-4	4.25e-5	5.67e-5
Proizvodnja	9,12e-4	1,02e-3	3,61e-3	3.87e-3	1,50e-3	1,99e-3
Transport do gradilišta-kamion	5,48e-5	6.12e-5	2,06e-4	2,21e-4	1,20e-4	1,60e-4
Ostali transporti	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14
Montaža	0,00e+0	0,00e+0	1,33e-5	1,33e-5	2,06e-5	2,78e-5
EOL	6,44e-6	7,19e-6	2,32e-5	2,48e-5	1,40e-5	1,86e-5
Ukupno	1,38e-3	1,54e-3	4,62e-3	4,95e-3	1,69e-3	2,26e-3

Dijagram na kome se prikazuje potencijal Acidifikacije po fazama LCA za analizirane termo izolacione materijale prikazan je na Slici 3.



Slika 3. Potencijal Acidifikacije po fazama životnog ciklusa.  
 Figure 3. Acidification potential by stages of the life cycle.

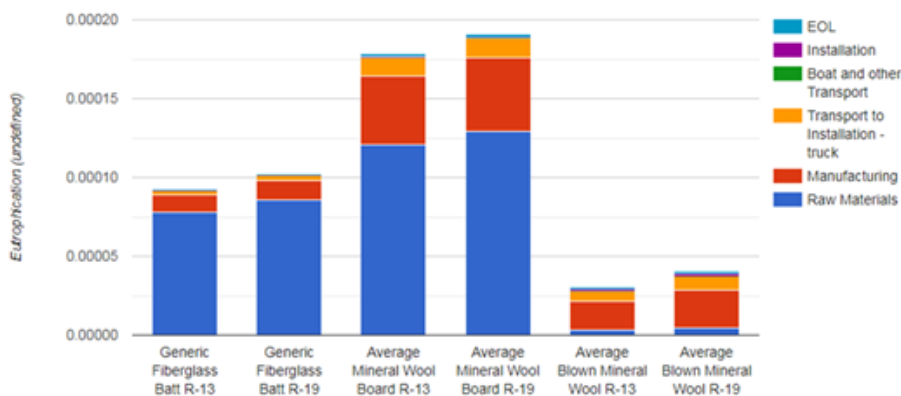
Sa aspekta potencijala Acidifikacije od šest analiziranih termo izolacionih materijala najmanji uticaj imaju: IZ1(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ2(Generic Fiberglass Batt R-19), i taj uticaj potiče najvećim delom iz faze proizvodnje, a manjim delom iz faze sirovina od kojih se proizvode ovi termo izolacioni materijali. Nešto veći uticaj imaju modeli: IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19), termo izolacioni materijali koji se proizvode od recikliranih komponenti, a najveći deo njihovog uticaja potiče iz faze proizvodnje materijala. Najveći potencijal Acidifikacije imaju modeli: IZ4 (Average Mineral Wool Board R-19), i IZ3(Average Mineral Wool Board R-13) mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina, a njihov uticaj potiče iz faze proizvodnje u najvećoj meri, ali i iz faze sirovina od kojih se proizvode, a to su primarni materijali. Ovi materijali su najmanje povoljan izbor sa aspekta potencijala Acidifikacije. Potencijal Eutrofikacije za analizirane termo izolacione materijale prikazana je u Tabeli 6.

Tabela 6. Potencijal Eutrofikacije po fazama životnog ciklusa.

Table 6. Eutrophication potential by life cycle stages.

Faza životnog ciklusa	Potencijal Eutrofikacije po fazama životnog ciklusa LCA za modele					
	IZ1	IZ2	IZ3	IZ4	IZ5	IZ6
Sirovine	7.78e-5	8.58e-5	1.21e-4	1.29e-4	3.24e-6	4.33e-6
Proizvodnja	1.10e-5	1.23e-5	4.39e-5	4.70e-5	1.81e-5	2.42e-5
Transport do gradilišta-kamion	3.05e-6	3.41e-6	1.15e-5	1.23e-5	6.70e-6	8.93e-6
Ostali transporti	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Montaža	0.00e+0	0.00e+0	4.89e-7	4.93e-7	1.25e-6	1.66e-6
EOL	5.02e-7	5.61e-7	1.81e-6	1.93e-6	1.09e-6	1.45e-6
Ukupno	9.23e-5	1.02e-4	1.78e-4	1.91e-4	3.04e-5	4.06e-5

Dijagram na kome se prikazuje potencijal Eutrofikacije po fazama LCA za analizirane termo izolacione materijale prikazan je na Slici 4.



Slika 4. Potencijal Eutrofikacije po fazama životnog ciklusa.

Figure 4. Eutrophication potential by life cycle stages.

Sa aspekta potencijala Eutrofikacije od šest analiziranih termo izolacionih materijala najmanji uticaj imaju modeli: IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19), termo izolacioni materijali koji se proizvode od recikliranih komponenti, a najveći deo njihovog uticaja potiče iz faze proizvodnje materijala. Nešto veći uticaj imaju modeli: IZ1(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ2(Generic Fiberglass Batt R-19), i taj uticaj potiče najvećim delom od sirovina, a manjim delom iz faze proizvodnje. Najveći uticaj za potencijal Eutrofikacije imaju modeli: IZ4(Average Mineral Wool Board R-19) i IZ3(Average Mineral Wool Board R-13) mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina, a njihov uticaj potiče iz faze sirovina u najvećoj meri, ali i iz faze proizvodnje. Ovi materijali su najmanje povoljan izbor sa aspekta potencijala Eutrofikacije. Potencijal za stvaranje Smoga za analizirane termo izolacione materijale prikazan je u Tabeli 7.

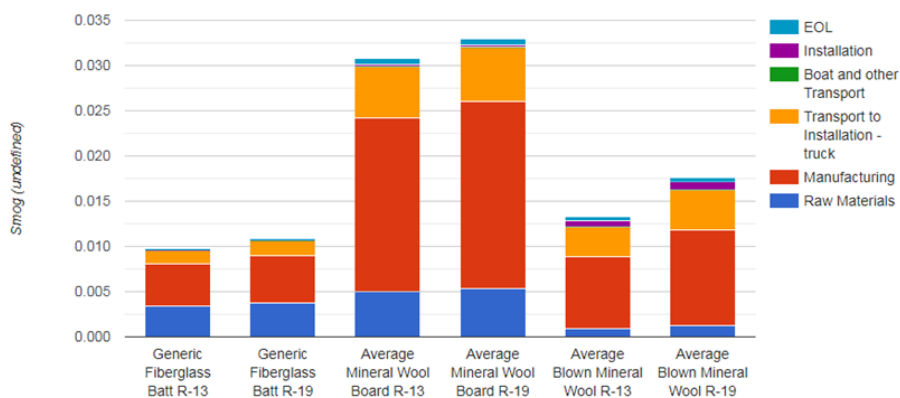
Tabela 7. Potencijal za stvaranje Smoga po fazama životnog ciklusa.

Table 7. Smog generation potential by life cycle stage.

Faza životnog ciklusa	Potencijal za stvaranje Smoga po fazama životnog ciklusa LCA za modele					
	IZ1	IZ2	IZ3	IZ4	IZ5	IZ6
Sirovine	3.39e-3	3.75e-3	5.00e-3	5.35e-3	9.56e-4	1.28e-3
Proizvodnja	4.68e-3	5.22e-3	1.92e-2	2.06e-2	7.95e-3	1.06e-2
Transport do gradilišta-kamion	1.50e-3	1.68e-3	6.64e-3	6.04e-3	3.29e-3	4.39e-3
Ostali transporti	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14	1,00e-14
Montaža	0,00e+0	0,00e+0	2.24e-4	2.25e-4	6.62e-4	8.82e-4
EOL	1.80e-4	2.01e-4	6.48e-4	6.94e-4	3.90e-4	5.21e-4
Ukupno	9.75e-3	1.09e-2	3.07e-2	3.29e-2	1.32e-2	1.77e-2

Dijagram na kome se prikazuje potencijal za stvaranje Smoga po fazama LCA za analizirane termo izolacione materijale prikazan je na Slici 5.

Rezultati analize LCA za potencijal za stvaranje Smoga, pokazuju da najmanji uticaj od šest termo izolacionih materijala koji su u ovom istraživanju analizirani imaju modeli: IZ1(Generic Fiberglass Batt R-13) i IZ2(Generic Fiberglass Batt R-19). Nešto veće vrednosti imaju modeli: IZ5(Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6(Average Blown Mineral Wool R-19), mineralne vune proizvedene od recikliranih komponenti.



Slika 5. Potencijal za stvaranje Smoga po fazama životnog ciklusa.

Figure 5. Smog generation potential by life cycle stage.

Najmanje povoljan izbor od šest termo izolacionih materijala koji su u ovom istraživanju analizirani imaju modeli: IZ3(Average Mineral Wool Board R-13) i IZ4 (Average Mineral Wool Board R-19), mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina, a to su upravo materijali koji se često uvoze, koriste i proizvode u Republici Srbiji, za energetska sanaciju postojećih objekata, ili za izgradnju novih. Potencijal za stvaranje Smoga, kako iz procesa proizvodnje tako i iz faze sirovina i transporta je veći nego kod preostala četiri termo izolaciona materijala.

## ZAKLJUČCI

Iz sprovedenog istraživanja, u fazi izrade projekta se upotrebom softvera može napraviti procena koliki su uticaji od izabrane vrste termo izolacionog materijala i na osnovu toga i termičkih karakteritika napravi najbolji izbor. Ovo istraživanje je značajno zbog toga što je

značajan broj postojećih objekata koje treba energetske sanirati u narednom periodu, radi smanjenja potrebne energije za zagrevanje zgrada. Od analiziranih šest termo izolacionih materijala kroz LCA analizu i obračun vrednosti potencijala globalnog zagrevanja, najmanju vrednost ima model IZ1 (Generic Fiberglass Batt R-13), nešto veće vrednosti ima model IZ2 (Generic Fiberglass Batt R-19). Sledeće nešto veće emisije GHG imaju modeli: IZ5 (Average Blown Mineral Wool R-13) i IZ6 (Average Blown Mineral Wool R-19), izolacija od reciklirane mineralne vune poboljšanih karakteristika. Ova četiri modela imaju približne vrednosti potencijala GHG, sa različito strukturiranim emisijama tokom životnog ciklusa (misli se na uticaje iz faze sirovina i proizvodnje). Najmanje povoljan izbor su modeli: IZ3 (Average Mineral Wool Board R-13) i IZ4 (Average Mineral Wool Board R-19), termo izolacije od mineralne vune proizvedene od primarnih sirovina. Na žalost to su termo izolacioni materijali koji se u Republici Srbiji često koriste, posebno za nove savremene zgrade, imaju dobra termička svojstva, ali evidentno imaju i veliki uticaj na životnu sredinu. Jeftine i dostupne prirodne sirovine koje postoje u Srbiji, nisu dovoljan stimulan za osavremenjavanje tehnologije proizvodnje mineralne vune, sa druge strane nema obaveze vraćanja u energetske tokove otpadne mineralne vune i njeno zbrinjavanje na kraju životnog ciklusa, pa se onda potencijalni resurs za proizvodnju deponuju, umesto da se vraćaju u tokove proizvodnje.

Sprovedeno istraživanje pokazuje da je primenom softverskih paketa moguće, u fazi projektovanja, vrednovati građevinske materijale sa aspekta uticaja na životnu sredinu i pomoći u donošenju odluke koju termo izolaciju treba primeniti.

Istraživanje ukazuje na potrebu da se u fazi projektovanja uključi obračun ekoloških uticaja koje primenjeni građevinski materijali imaju tokom životnog ciklusa na životnu sredinu. Obračunom ekoloških uticaja se može unaprediti projektovanje i pomoći pri donošenju odluke koji je projekat povoljniji za životnu sredinu.

Istraživanje ukazuje i na potrebu za nacionalnim softverom za vrednovanje ekoloških uticaja koji arhitekti može pomoći u nastojanju za smanjenje ekološkog otiska Republike Srbije.

## LITERATURA

- Abd Rashid, A.F., Idris, J. S., & Yusoff, S. (2017). Environmental Impact Analysis on Residential Building in Malaysia Using Life Cycle Assessment. *Sustainability*, 9, 329-338. Retrieved May 12, 2022, from <https://doi.org/10.3390/su9030329>.
- Akbarnezhad, A., & Xiao, J. (2017). Estimation and minimization of embodied carbon of buildings: a review. *Buildings*, 7(5). Retrieved March 20, 2022, from [www.mdpi.com/journal/buildings](http://www.mdpi.com/journal/buildings)
- Baek, C., Park, S., Suzuki, M., & Lee, S. (2013). Life cycle carbon dioxide assessment tool for buildings in the schematic design phase. *Energy Build*, 61, 275-287.
- Council directive of the European Parliament, 2002/91/EC, Brussels. Retrieved May 10, 2022, from <http://www>
- Council directive of the European Parliament and of the Council, 2010/31/EU, Brussels. Retrieved May 10, 2022, from <http://www>
- De Wolf, C., Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice. *Energy and Buildings*, 140, 68-80.
- Energy balance of the Republic of Serbia. (2014). Report. Retrieved March 2, 2019, from [www.mre.gov.rs/.../EN%20BILANS%20ZA%2014](http://www.mre.gov.rs/.../EN%20BILANS%20ZA%2014)>.
- Global Footprint Network. (2020). Network today at an event at Oxford University. Retrieved May 10, 2020, from [https://www.footprintnetwork.org/2018/04/09/has\\_humanitys\\_ecological\\_footprint\\_reached\\_its\\_peak/](https://www.footprintnetwork.org/2018/04/09/has_humanitys_ecological_footprint_reached_its_peak/)
- Global status report. (2017). Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Retrieved May 10, 2022, from [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188\\_GABC\\_en%20%28web%29.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf)
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L., & Acquaye, A. (2013). Operational vs. Embodied emissions in Buildings – A Review of Current Trends. *Energy and*

*Buildings*, 66, 232-245. Retrieved May 10, 2020, from [https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026\(10.08.2018\)](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026(10.08.2018)).

- International Standards Organization. (2006). Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. Geneva, Switzerland: International Standards Organization. Retrieved May 10, 2022, from <http://www>
- International Standards Organization. (2014). Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines, Geneva, Switzerland: International Standards Organization. Retrieved May 10, 2022, from <http://www>
- Jovanović Popović, M., & Kosanović, S. (2009). Selection of building materials based upon ecological characteristics: priorities in function of environmental protection. *Spatium*, 20, 7-23.
- Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K., & Bruno, F. (2014). Minimizing the life Cycle Energy of buildings: review and Analysis. *Buildings and Environment*, 73, 106-114. Retrieved May 10, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.019> (15.09.2019).
- Mengxue, L., & Joseph, H.K. (2018). Building energy: A review on constructions, policies, rating schemes and standards. In *Proceedings 10th International Conference on Applied Energy (ICAE 2018)* (pp 22-25). Hong Kong, China.
- OECD Publishing. (2012). OECD Environmental outlook to 2050 the consequences of inaction. Retrieved May 10, 2020, from <https://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>
- Padilla-Rivera, A., Amor, B., & Blanchet, P. (2018). Evaluating the Link Between Low Carbon Reductions Strategies and Its Performance in the Context of Climate Change: A Carbon Footprint of Wood-Frame Residential Building in Quebec, Canada. *Sustainability*, 10, 2715.
- Pearce, J.M., Sara, J. Johnson, J.S., & Grant, G.B. (2007). 3D-mapping optimization of embodied energy transportation. *Resources, Conservation and Recycling*, 51, 435-453.
- Pomponi, F., De Wolf, C., & Moncaster, A. (2018). *Embodied Carbon in Buildings, Measurement, Management, and Mitigation*, Springer.
- Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, Službeni glasnik RS, 61/2011. Preuzeto 12. 3. 2020, sa <http://www.mgsi.gov.rs>.
- Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada, Službeni glasnik RS, 69/2012. Preuzeto 12. 3. 2020, sa <http://www.mgsi.gov.rs>.
- Selvarajan, M., Anand Bohra, K. R. P., Nath, M.V.R., Rao, N. K., Tiwary, K., & Saxena, A. (2017). Water Footprint Assessment of Cement Plants. In *Proceedings 15<sup>th</sup> NCB seminar Water Footprint paper*. New Delhi, India.
- Slavković, K., & Radivojević, A. (2014). Evaluation of energy embodied in the external wall of the single-family buildings in the process of energy optimization. *Energy Efficiency*. Retrieved March 5, 2022, from <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/192?show=full>
- Smith, P. (2005). *Architecture in a Climate of Change – A Guide to sustainable design*. Elsevier/Architectural Press. Burlington.
- Softver BEES 2.1. (2022). Report. Retrieved May 10, 2022, from <https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>.
- Sturgis, S. (2017). Targeting Zero: Embodied and Whole Life Carbon Explained. *Carpet* 6, 99-117. Retrieved May 10, 2022, from [http://sturgiscarbonprofiling.com/news/targeting-zero-embodied-and-whole-life-carbon-explained/>.\[](http://sturgiscarbonprofiling.com/news/targeting-zero-embodied-and-whole-life-carbon-explained/>.[)
- Victoria, M.F., & Perera, S. (2018). Managing embodied carbon in buildings: a Pareto approach., *Built Environment*, 8(5), 504-514. Retrieved May 10, 2022, from <https://doi.org/10.1108/BEPAM-10-2017-0095>

## **EVALUATION OF THERMAL INSULATION MATERIALS FROM THE ASPECT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS**

Marina Nikolić Topalović

Academy of Technical and Art Applied Studies Belgrade, Department School of Civil Engineering and Geodesy, Hajduk Stankova 2, 11000 Belgrade, Serbia, [mntopalovic@viggs.rs](mailto:mntopalovic@viggs.rs)

### **ABSTRACT**

The conducted research analyzes the possibility of applying the methodology for assessing the environmental impacts that certain thermal insulation materials have on the environment. Ecosystem approach and improvement of the design phase in the direction of evaluating the environmental characteristics of the proposed materials for thermal insulation. The research uses the methodology of Life Cycle Analysis (LCA) to see at what stage of the life cycle of the proposed thermal insulation material there are hotspots and quantify the impacts. The research shows that in the phase of preparing the energy efficiency study for the project of energy rehabilitation of buildings, the impact that the applied materials have on the living environment and human health should be considered. In addition to evaluating the reduction of energy consumption for heating the building, the impact of the applied materials should also be considered. The research indicates the need for the formation of software for the calculation of environmental impacts. National software would assist in efforts to improve construction, design and environmental quality in the Republic of Serbia.

**Keywords:** energy efficiency, thermal insulation materials, life cycle analysis, environmental impacts.