

# Zgrade nulte emisije

---

**Alar, Stipe**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:794163>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-28**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Stipe Alar

# ZGRADE NULTE EMISIJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: Izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Stipe Alar

# **ZERO EMISSION BUILDINGS**

MASTER THESIS

Mentor: Associate professor Bojan Milovanović

Zagreb, 2024.

Sveučilište u Zagreb  
Građevinski fakultet

## OBRAZAC 3

## POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica :

Stipe Alar	0082058795
(Ime i prezime)	(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

Zgrade nulte emisije
(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Zero emission buildings
(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagreb Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum: 17.9.2024.

Mentor: izv.prof. Bojan Milovanović

Potpis mentora:

Komentor:



Sveučilište u Zagreb  
Građevinski fakultet



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

STIPE ALAR, 0082058795

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagreb Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

Zgrade nulte emisije

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

16.09.2024.

Potpis:

Stipe Alar

Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet

## OBRAZAC 6

## IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja:

STIPE ALAR 48415238518

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

Zgrade nulte emisije

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

izv.prof. Bojan Milovanović

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

26.09.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

18.09.2024

Potpis:

## ZAHVALE

*Zahvaljujem izv.prof.dr.sc. Bojanu Milovanoviću na pomoći, savjetima te prenesenom znanju pri izradi ovog diplomskog rada.*

*Veliko hvala mojim roditeljima, koji su mi nesebično pomagali i podupirali za vrijeme cijelog studija.*

## SAŽETAK

Jedan od ciljeva Europske unije je da do 2050. godine postigne ugljičnu neutralnost, a to znači da se postigne ravnoteža između emisije ugljika i njegove apsorpcije iz atmosfere. Ugljični otisak predstavlja količinu ekvivalenta ugljikovog dioksida koja se kroz svakodnevne aktivnosti emitira u atmosferu.

U ovom radu obrađene su tri varijante mobilnih kućica od kojih se svaka razlikuje po ugrađenim materijalima. Mobilna kućica 1 izrađena je od konstrukcijskih elemenata u kombinaciji čelika i drva te s tri strane obložena staklom, mobilna kućica 2 izrađena je od konstrukcijskih elemenata od CLT-a te s tri strane obložena staklom i mobilna kućica 3 izrađena od konstrukcijskih elemenata u kombinaciji čelika i drva te s jedne strane obložena staklom. Primjenom KI expert programa izračunata je potrebna energija za grijanje i hlađenje, proizvedena energija na fotonaponu kao i primarna i konačna energija. Uporabom alata Excel izračunat je potencijal globalnog zatopljenja (GWP [kgCO<sub>2eq</sub>]) za svaku od mobilnih kućica od faze proizvodnje do faze razgradnje i recikliranja, odnosno količina emisije CO<sub>2</sub>.

**Ključne riječi:** zgrada nulte emisije, mobilna kućica, ugljični otisak, potencijal globalnog zatopljenja, energetska svojstva zgrada.



## SUMMARY

One of the main goals of the European Union is that by 2050. it achieves carbon neutrality, meaning to accomplish balance between carbon emission and its atmospheric consumption. Carbon footprint represents quantity of equivalent carbon dioxide that is emitted throughout everyday activity.

In this paper there were 3 variants of mobile homes that were taken into consideration of which everyone differs by materials used. Mobile home 1 is made using a combination of steel-wood and three of its sides are made of glass, mobile home 2 is made where the main construction material is CLT and three of its sides are made of glass and mobile home 3 is made using a combination of steel-wood and one of its sides is made of glass. Using the KI Expert program the following was calculated: required energy for heating and cooling, produced energy on solar panel, primary and total energy. Applying the Excel tool, the global warming potential (GWP [kgCO<sub>2eq</sub>]) was calculated for each of the mobile homes from the production phase to the degradation and recycling phase, i.e. the amount of CO<sub>2</sub> emissions.

**Key words:** zero emission building, mobile home, carbon footprint, global warming potential, energy properties of buildings

## Sadržaj

ZAHVALE .....	i
SAŽETAK.....	ii
SUMMARY .....	iii
1 UVOD.....	1
2 OPĆI DIO.....	3
2.1 Izmjenjena Direktiva o energetskeim svojstvima zgrada .....	3
3 UGLJIČNI OTISAK .....	6
3.1 Ugljični otisak građevinskog materijala .....	7
4 ZELENA GRADNJA.....	9
4.1 Energetski učinkovite zgrade.....	10
5 ZGRADE NULTE ENERGIJE .....	12
5.1 Metodološki aspekti koncepata zgrade nulte emisije .....	15
5.1.1 Granice sustava.....	15
5.1.2 Granica bilance emisije.....	19
5.1.3 Metode izračuna i vremenski okvir.....	20
5.1.4 Pokazatelji i metrika.....	21
5.1.5 Prostorna granica.....	22
5.2 Energetska učinkovitost.....	23
5.3 Obnovljivi izvori energije .....	25
5.3.1 Metodološke granice za obnovljive izvore energije.....	25
5.3.2 Proizvodnja na licu mjesta u odnosu na generiranje izvan mjesta.....	27
5.3.3 Faktor emisije za električnu energiju isporučenu iz mreže.....	27
5.4 Racionalna ZEB definiciji .....	29
5.4.1 Radna energija i emisije.....	29
5.4.2 Energija i emisija tijekom životnog ciklusa.....	32
5.5 Spremnost i potencijal tržišta .....	34
6 MOBILNA KUĆICA.....	36
6.1 Pojam mobilne kućice .....	36
6.2 Opis analiziranih mobilnih kućica .....	37
7 PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE I EMISIJE CO <sub>2</sub> .....	42
7.1 Podaci potrebni za proračun u KI Expert programu.....	42
7.1.2 Klimatski podaci .....	43
7.1.3 Namjena zgrade i podjela u toplinske zone.....	45
7.1.4 Geometrijske karakteristike.....	47
7.1.5 Građevni dijelovi zgrade slojevi i obrada.....	48

---

7.2	Proračun emisije CO <sub>2</sub> mobilnih kućica .....	54
8	REZULTATI I RASPRAVA.....	54
9	ZAKLJUČAK .....	65
	POPIS LITERATURA .....	66
	POPIS SLIKA .....	68
	POPIS TABLICA.....	69

## 1 UVOD

Problem globalnog zatopljenja te sve učestalije klimatske promjene predmet su sve češćih rasprava među znanstvenicima, ekološkim aktivistima, političarima i svima onima na koje iste utječu. Svakodnevnim informiranjima u javnim medijima pokušava se podići svijest o posljedicama globalnog zatopljenja što rezultira donošenja novih propisa i normi kako bi se smanjile posljedice globalnog zatopljenja kako na čovječanstvo tako i na cijeli planet Zemlju. Jedan od uzroka globalnog zatopljenja je još uvijek primjena fosilnih goriva. Nažalost, zbog ubrzanog razvoja gospodarstva, a posebno u razvijenim zemljama, raste i eksploatacija fosilnih goriva. To dovodi do porasta cijena fosilnih goriva, a posljedično ima utjecaja na cjelokupno gospodarstvo i nacionalnu sigurnost zemalja [1].

Na klimatskoj konferenciji Ujedinjenih naroda 2015. godine održanoj u Parizu donijet je sporazum kojim se želi zaustaviti globalno zatopljenje, odnosno globalno zagrijavanje održati na prihvatljivoj razini, tako da porast temperature ne poraste više od 1,5 °C [2, 3]. Njegovim stupanjem na snagu 2016. godine zamjenjuje se dotadašnji Protokol iz Kyota [4,5,6], a obuhvaćene su države koje imaju visoke emisije stakleničkih plinova.

Ujedinjeni narod (engl. *United Nations Environment Programme – ENEP*) su donijeli program za okoliš gdje su dogovoreni ciljevi smanjenja emisije stakleničkih plinova uz što je moguće niže troškove. Očekuje se da ukupna globalna emisija CO<sub>2</sub> neće biti prekoračena 2030. godine. Dostizanje ovog cilja moguće je za zemlje članice EU što je vidljivo iz nekih procijena i studija. Ovo je ostvarivo primjenom obnovljivih izvora energije i njihovim napretkom [7]. Da bi se postiglo klimatski neutralno gospodarstvo potrebno je da svi rade na tome, a najvažniji je rad na smanjenju zaliha energije [8, 9].

Građevinski sektor ima veliki utjecaj na okoliš ne samo u smislu potrošnje energije već i u emisiji stakleničkih plinova (eng. *Greenhous gas-GHG*), ali i u smislu proizvodnje ekstrahiranog materijala i otpada. Na nivou Europske unije građevinske zgrade pridonose potrošnji oko 40 % energije, a emisiji stakleničkih plinova oko 36 % [10]. Europska komisija je stoga građevinski sektor i građevinsku industriju prepoznala kao bitna polja djelovanja u odgovoru na klimatske i ekološke izazove. Europska komisije na kraju godine 2021. donosi izmjenjenu Direktivu o energetske učinkovitosti zgrada (eng. *Energy Performance of Buildings Directive-EPBD*) [10]. Izmjenjena Direktiva nadograđuje postojeći regulatorni okvir i stavlja naglasak na ispunjavanjem hitnih potreba na području energetike. Donošenjem plana u sklopu Direktive može se ostvariti potpuno dekarbonizirani fond zgrada u Europi do 2050. godine. Kroz provedbu mjera koje su predložene planom ubrzati će se proces obnove zgrada, modernizirati sustavi u zgradarstvu te stvoriti pristupačniji fond zgrada [10]. Ovom izmjenom u Direktivi uveden je novi pojam *zgrade nulte emisije*. To su zgrade s izrazito visokim energetske svojstvima, a potrebna količina energije se u potpunosti dobiva iz obnovljivih izvora energije na lokaciji same zgrade ili unutar kvarta. Za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine zgrade nulte emisije su moguće rješenje za granu zgradarstva. Izmjenjenom Direktivom zadržan je pojam *zgrade približno nulte energije* kao temelj da u određenom vremenskom

periodu postane zgrade s nultom emisijom. Predviđeno je da do 2030. godine sve nove zgrade budu zgrade nulte emisije, a obnovom do 2050. sve ostale zgrade [10].

U ovom radu određena je emisije CO<sub>2</sub>eq plinova tijekom cjelokupnog životnog vijeka mobilnih kućica za odmor. Proračun emisije CO<sub>2</sub> proveden je za tri varijante: 1) kuća s konstrukcijskim elementima u kombinaciji čelika i drva te s tri strane obložena staklom; 2) kuća s konstrukcijskim elementima od križno lameliranog drva, CLT-a (eng. - *Cross Laminated Timber-CLT*) te s tri strane obložena staklom i 3) kuća s konstrukcijskim elementima u kombinaciji čelika i drva te s jedne strane obložena staklom. Sve tri mobilne kućice za odmor smještene su u planinskom području, točnije u gradu Gospiću.

## 2 OPĆI DIO

### 2.1 Izmjenjena Direktiva o energetskeim svojstvima zgrada

Krajem 2002. godine EU donosi Direktivu o energetskeim svojstvima zgrada (Direktiva 2002/91/EZ) [11]. Prema Direktivi kako bi se regulirala energetska učinkovitost zgrada države članice EU su trebale do 2006. godine donijeti zakone i implimentirati ih u svoje zakonodavstvo. Europska komisija (EK) 2010. godine na temelju evaluacije i uspješnosti implementacije direktive donosi izmjenu direktive iz 2002. Rezultat izmjene je uvođenje energetske certifikata za zgrade kako bi se klasificirale zgrade prema količini energije koju troše, a kupcima ili unajmljivačima bude važan kriterij za odabir [12]. EK 2018. objavljuje novu direktivu (Direktiva 2018/844/EU) s ciljem ubrzanja obnove zgrada u kojoj su definirane strategije kao i način financiranja.

Prema zadnjoj izmjeni Direktive o energetskeim svojstvima zgrada (EPBD) iz 2024., Europa planira da do 2050. kroz obnovu u svim državama članicama ostvari potpuno ugljično neovisan fond zgrada. Posebna pažnja biti će posvećena zgradama s najlošijim energetskeim svojstvima. Kroz izmjenu Direktive poboljšava se postojeći regulatorni okvir koji je dogovoren 2018. Ovim izmjenama omogućavaju se veće klimatske ambicije uzimajući u obzir i socijalnu komponentu [13].

Pristup stambenim i nestambenim zgradama razlikuje se u novom regulatornom okviru. Zemlje članice EU donijet će svoje nacionalne smjernice kako bi se smanjile prosječne potrošnje primarne energije stambenih zgrada. To smanjenje bi trebalo biti do 2030. godine 16 %, a do 2035. godine od 20 do 22 % [13]. Nacionalnim mjerama mora biti omogućeno da zgrada s najlošijim svojstvima kroz obnove postigne najmanje 55 % smanjenja prosječne potrošnje primarne energije. Odabar prioriternih zgrada kao i odgovarajućih mjera prepušteno je državama članicama [13].

Revizijom Direktiva za nestambene zgrade predviđa se postupno uvođenje minimalnih standarda energetskeim svojstava za obnovu. Do 2030. godine mora biti obnovljeno 16 % zgrada s najlošijim svojstvima, a do 2033. 26 % zgrada s najlošijim svojstvima [13]. Kod određenih kategorija stambenih i nestambenih zgrada države će moći napraviti izuzeđe od tih obaveza a to će se odnositi na povijesno kulturne zgrade te na kuće za odmor [13].

Tako će izmjenjena direktiva omogućiti da zgrade s nultim emisijama postanu normativna mjera za nove zgrade. Prema tome sve nove stambene i nestambene zgrade morat će imati nultu stopu emisija iz fosilnih goriva. Ova mjera primjenjivat će se od 1. siječnja 2028. za zgrade u javnom vlasništvu, a za sve druge nove zgrade od 1. siječnja 2030. uz mogućnost posebnih izuzeća [13].

Još jedna novost iz ažurirane Direktive o energetske svojstvima zgrada je jačanje poticajnog okvira za obnovu. Direktiva uvodi putovnice za obnovu zgrada u cijeloj EU kako bi se vlasnicima zgrada pomoglo da planiraju obnovu [13].

Važna značajka izmjenjene Direktive je optimalnije planiranje. Sukladno izmjenama države članice izradit će nacionalne planove obnove zgrada u cilju uspostave nacionalne strategije za ugljičnu neutralnost fonda zgrada. Također, omogućit će se bolje financiranje, kvalitetnije osposobljavanje te privlačenje kvalificiranije radne snage. Kako bi se lakše mogla usporediti primjena Direktive, uvest će se obrazac s obveznim i neobveznim elementima [13].

Do 2040. godine za uspješnu dekarbonizaciju građevinskog sektora u EU naglašena je potreba za prestankom korištenja fosilnih goriva za grijanje. Izravne emisije iz građevinskog sektora do tada će biti smanjene za oko 80 do 89 %. Primjenom Direktiva će se omogućiti postupno ukidanje kotlova na fosilna goriva u EU [13].

Prosječni životni vijek sustava grijanja je oko 20 godina. Na temelju revidirane Direktive samostalni kotlovi na fosilna goriva neće biti prihvatljivi za javnu potporu od 2025., u skladu s preporukama iz plana REPowerEU. EU u okviru svojeg plana želi okončati svoju ovisnost o ruskim fosilnim gorivima uštedom energije, diversifikacijom opskrbe i ubrzanjem prelaska na čistu energiju. Izmjenjena Direktiva ne defenira rokove za postupno ukidanje kotlova na fosilna goriva na razini EU-a, međutim, ona daje pravnu osnovu državama članicama za nacionalne zabrane te postavljenje zahtjeva za generatore topline na temelju emisija stakleničkih plinova, vrste goriva ili minimalnog udjela energije iz obnovljivih izvora koji se koristi za grijanje. Ove mjere podržava velik broj država članica i smatraju ih neophodnim za postizanje dekarboniziranog fonda zgrada te za poboljšanje kvalitete zraka i zdravlja ljudi [13].

Kako bi se potaknulo brzo uvođenje sustava grijanja s nultim izravnim emisijama, nove zgrade s nultim emisijama ne smiju uzrokovati emisije ugljika iz fosilnih goriva u krugu zgrade. Osim potpore postupnom ukidanju korištenja fosilnih goriva za grijanje u zgradama, revidirana Direktiva uvodi poseban zahtjev da sve nove zgrade moraju biti „spreme za solarnu energiju”, što znači da moraju biti prikladne za kasnije postavljanje krovnih fotonaponskih ili solarnih toplinskih instalacija bez skupih strukturnih intervencija [13].

Države članice trebale bi osigurati i uvođenje odgovarajućih solarnih instalacija na velikim postojećim javnim zgradama i nestambenim zgradama na kojima se obavlja opsežna obnova ili za koje je potrebna dozvola, kao i na novim pokrivenim parkiralištima.

U zgradama s nultim emisijama odnosno svim novim zgradama od 2030. ako će tehnički i ekonomski biti izvedivo, 100 % ukupne godišnje potrošnje primarne energije morat će se pokriti energijom iz obnovljivih izvora proizvedenom u krugu same zgrade ili u blizini energijom iz zajednice obnovljive energije, energijom iz učinkovitog sustava centraliziranoga grijanja i hlađenja ili energijom iz izvora bez emisija ugljika.

Integracija obnovljivih izvora energije također je bolje istaknuta u energetske certifikatima, ali i u putovnicama za obnovu zgrada.

Države članice odredit će vlastite nacionalne putanje za smanjenje prosječne potrošnje primarne energije fonda stambenih zgrada za najmanje 16 % do 2030., 20 do 22 % do 2035. te će imat veliku fleksibilnost pri odlučivanju koje će se mjere primjenjivati i na koje zgrade. Prioritet pri obnove biti će zgrade s najlošijim svojstvima, kojih je oko 43 % fonda zgrada s najnižim energetske svojstvima. Kad je riječ o stambenim zgradama, države članice morat će ostvariti najmanje 55 % poboljšanja energetske svojstava obnovom stambenih zgrada s najlošijim svojstvima, koja je obično troškovno najučinkovitija [13].

Alat za procjenu energetske svojstava zgrada je energetski certifikat. Izmjenjena Direktiva obuhvaća mjere kojima je cilj da energetski certifikati budu jasniji, pouzdaniji, vidljiviji te da se temelje na zajedničkom obrascu za sve članice EU-a. Obrazac mora sadržavati pokazatelj o energiji, emisijama stakleničkih plinova te dodatne pokazatelja o mjestima za punjenje, kao i o postojanju kontrolnih uređaja za praćenje i regulaciju kvalitete zraka u zatvorenim prostorima. Ovakav obrazac pružat će bolje informacije vlasnicima zgrada, kupcima i najmoprimcima, financijskim institucijama i javnim tijelima [13].

Revidirani energetski certifikati temelje se na uobičajenom rasponu oznaka energetske učinkovitosti od A do G. U razred A uvrstit će se zgrade s nultim emisijama, a u razred G zgrade s najlošijim energetske svojstvima u svakoj zemlji. Na taj će se način omogućiti jasniji i jednostavniji sustav klasifikacije zgrada koji će olakšati pristup financiranju, a istovremeno će biti fleksibilan i prilagodljiv nacionalnim karakteristikama fonda zgrada. Države članice moći će i definirati razred energetske svojstava A+ u koji će se uvrstiti zgrade s još boljim energetske svojstvima od zgrada s nultim emisijama te koje godišnje proizvode više energije iz obnovljivih izvora u krugu zgrade u odnosu na energiju koju troše [13].

Preinaka Direktive o energetske svojstvima zgrada uključuje i zajedničke zahtjeve za postojanje nacionalnih baza podataka o energetske svojstvima zgrada, pristup tim bazama podataka i objavu objedinjenih informacija. Dostupnost informacija i njihova kvaliteta olakšat će rad javnih tijela i financijskih institucija u cilju pokretanja obnova u cijeloj Europi [13].

Emisije koje nastaju pri proizvodnji i prijevozu materijala te izgradnji, održavanju i razgradnji zgrade poznate su kao „ugrađene emisije ugljika”. Emisije proizašle iz uporabe zgrade nazivaju se „operativnim emisijama ugljika”. Odabirom odgovarajućih građevinskih postupaka i materijala može se značajno utjecati na operativne i ugrađene emisije ugljika [13].

Nova pravila predstavljaju velik napredak prema rješavanju problema emisija stakleničkih plinova tijekom cijeloživotnog ciklusa zgrada. Te će emisije biti potrebno izračunati i unijeti u energetske certifikate svih novih zgrada od 2030. radi informiranja građana i poduzeća. Države članice EU-a morat će donijeti nacionalne planove i definirati ciljeve za smanjenje takvih emisija [13].



### 3 UGLJIČNI OTISAK

Ugljičnim otiskom (engl. *Carbon Footprint – CF*) naziva se utjecaja ljudske aktivnost na okoliš odnosno na klimatske promjene. Ugljični otisak općenito se prihvaća kao parametar za kvantifikaciju emisije ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) ili stakleničkih plinova (engl. *Greenhouse Gases - GHG*) u smislu  $\text{CO}_2$  ekvivalenta ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ ). Znanstvena definicija "ugljični otisak" je mjera isključive ukupne količine emisija ugljičnog dioksida koja je izravno i neizravno uzrokovana aktivnošću ili se nakuplja tijekom životnog vijeka proizvoda te drugih stakleničkih plinova (posebno metan  $\text{CH}_4$  i dušikov oksid  $\text{N}_2\text{O}$ ) [14]. Ugljični otisak može se odrediti na razini države, grada, pojedinca, tvrtke ili proizvoda. Svi materijali, a posebno građevinski imaju velik utjecaj na ugljični otisak. Proizvodnja tih materijala, njihov transport, ugradnja, eksploatacija, održavanje te eventualno rušenje zahtijevaju određenu količinu energije, što dovodi do povećane emisijom ugljika u atmosferu [14].

Protokolom o stakleničkim plinovima za korporacije (engl. *GHG Protocol Corporate Standard*) i normama HRN ISO 14064-1 i ISO/TR 14069 [15,16] definirana je metodologija za izračun ugljičnog otiska. S ovom metodologijom moraju biti usklađeni nacionalni faktori za emisije i uklanjanje stakleničkih plinova.

Ravnoteža između emisije ugljika i njegove apsorpcije iz atmosfere u ponore ugljika naziva se ugljična neutralnost. Kako bi se postigla nulta stopa emisije svi nastali staklenički plinovi trebale bi se anulirati kroz sekvencijalnu ugljika [14].

Ponor ugljika je sustav koji apsorbira više ugljika nego što ga emitira. Tako su tlo, šume i oceani prirodni ponori ugljika. Dokazano je da prirodni ponori uklanjaju od 9,5 do 11 Gt  $\text{CO}_2$  godišnje. U 2021. godini na globalnoj razini emisija  $\text{CO}_2$  dosegla je 37,8 Gt [14]. Za uspješnu borbu protiv globalnog zatopljenja trebali bi postojati umjetni ponori ugljika kojim bi se uklonilo dovoljno ugljika iz atmosfere. Međutim, s druge strane prirodni ponori kao što su šume uslijed šumskih požara, promjene namjene zemljišta ili siječe, ugljik završava u atmosferu i tako negativno utječe na globalno zatopljenje [14].

U građevinarstvu emisije nastale u jednom sektoru mogu se kompenzirati smanjenjem emisija u drugom sektoru kao i primjenom tehnologija s niskim udjelom ugljika i korištenjem obnovljivih izvora energije. Sustav trgovine emisijama stakleničkih plinova (engl. *Emission Trading System-ETS*) Europske unije primjer je sustava kompenzacije ugljika [17].

### 3.1 Ugljični otisak građevinskog materijala

Jedan od najvećih svjetskih potrošača prirodnih resursa je građevinski sektor. Zbog korištenja i prerade prirodnih materijala nastaje veliki udio stakleničkih plinova u svim fazama, od izgradnje, održavanja pa do rušenja građevina [18]. Da bi se utvrdio utjecaj zgrade na okoliš provodi se ekološko certificiranje u cilju smanjenja emisija CO<sub>2</sub> tijekom uporabnog vijeka građevine, od faze građenja, održavanja pa sve do rušenja [18]. Građevinska proizvodnja predstavlja skup brojnih proizvoda i radova s dugim vijekom trajanja. Od svih faza, faza održavanja je glavni dio eksploatacijskog vijeka građevine. Tako se u u fazi projektiranja mogu uzeti u obzir emisije građevnih materijala i njihov vijek trajanja [18]. Građevinski materijali koji imaju ugljični otisak od najnižih do najviših su nabijena zemlja, četinarsko drvo, križno lamelirano drvo, kamen, glinena opeka, armirani beton, staklo, čelik i aluminij [19].

Nabijena zemlja spada u materijal koji ima najniži ugljični otisak, a ima gotovo 20 puta manju čvrstoću od betona ili opeke. Nabijena zemlja spada u drevnu tehniku te koristi samo prirodne sirovine i to: zemlju, kredu, vapno i šljunak. Zbog malog udijela ugrađenog ugljika (48 kg po m<sup>3</sup>), malog utjecaja na okoliš, jednostavne gradnje i lijepe estetike danas se primjenjuje za izradu modernih zgrada [19].

Četinarsko drvo je meko drvo bora i smreke, dok je tvrdo drvo hrasta i javora. Drvo četinara emitira u prosjeku 110 kg ugrađenog ugljika po m<sup>3</sup>, što ga čini izvrsnim izborom za upotrebu kao završni materijal za zgrade, posebno stambene zgrade [19].

U zadnje vrijeme među često korištene građevinske materijale u primjeni je i križno lamelirano drvo (eng. *Cross Laminated Timber – CLT*). CLT je pločast proizvod koji ima slojevitou strukturu te izvrsna fizikalno-mehaničkih svojstava. Zbog dobrih svojstava najčešće se primjenjuje u obliku zidnih ili stropnih panela a na gradilištu ne stvara gotovo nikakav otpad. Također, lamelirano drvo ima dobra akustična i toplinska svojstva. Zbog svog niskog ugljičnog otiska s prosječnom emisijom od oko 219 kg utjelovljenog ugljika po m<sup>3</sup>, CLT je danas jedan od najčešće korištenih građevinskih materijala [19].

Jedan od najvažnijih i najstarijih materijala u građevinarstvu je kamen. Kamen je prirodan materijal a odlikuju ga dobra mehanička, kemijska i fizikalna svojstva. Budući da ne zahtjeva nikakvu proizvodnju već samo obradu, utjecaj na okoliš je mali. Emitira oko 237 kg utjelovljenog ugljika po m<sup>3</sup>, što ga čini vrlo dobrim materijalom za primjenu u građevinarstvu [19].

Među najstarije građevinske materijale spada i glinena opeka. Proizvodi se relativno jednostavnim postupkom a posjeduje dobra fizikalna i kemijska svojstva. S prosječnom emisijom ugljika od 345 kg po m<sup>3</sup>, glinena opeka je ekološki materijala za izgradnju zgrada [19].

Beton je kompozitni građevinski materijal koji se dobiva mješanjem agregata (obično šljunka i pijeska), cementa i vode. Odlikuje ga niska vlačna čvrstoća i visoka tlačna čvrstoća. Beton se

ojačava čeličnim šipkama kako bi bio prikladan za zgrade. Armirani beton je materijal koji se danas koristi za izgradnju temelja zgrade (zidovi, temelji, stupovi itd.) S prosječno 635 kg utjelovljenog ugljika po m<sup>3</sup> tijekom proizvodnje i upotrebe armiranog betona. Zbog visoke emisije stakleničkih plinova jedan je od najštetnijih građevinskih materijala [19].

Staklo je građevinski materijal koji se danas dosta primjenjuje, a postoji gotovo u svakoj zgradi na planetu. Zbog zakonskih regulativa za osvjetljenjem unutarnjih prostora zgrade, staklo je danas materijal koji ima široku primjenu kao građevinski materijal. Međutim, s druge strane emisija stakla je 3600 kg utjelovljenog ugljika po m<sup>3</sup>, što je znatno više u odnosu na prethodne materijale [19].

Čelični profili kao građevinski materijali su danas vrlo često u primjeni a s druge strane su jedan od ekološki najneodrživijih materijala. Od ukupne svjetske potražnje za čelike čak 50 % otpada na građevinsku industriju. Čelični profili imaju dobra mehanička svojstva (čvrstoća i žilavost) fleksibilnog su dizajna te su vrlo pristupačni, ali s druge strane ugljični otisak koji nastaje od procesa proizvodnje do isporuke je vrlo velik. S još jednom značajnom razlikom prema staklu, emitira u prosjeku 12090 kg utjelovljenog ugljika po m<sup>3</sup> [19].

U odnosu na sve dosad navedene građevinske materijale, aluminij je materijal koji ostavlja najveći ugljični otisak. Proizvodi se elektrolizom glinice. Prednost aluminija u odnosu na ostale materijale je visok omjer čvrstoće i mase, a osim toga jednostavno se obrađuje i ugrađuje, ima niske troškove prijevoza a nakon ugradnje se jednostavno održava. Ugljični otisak aluminija zbog proizvodnje u odnosu na ostale građevinske materijale je velik i iznosi oko 18009 kg utjelovljenog ugljika po m<sup>3</sup> [19]. Svi građevinski materijali imaju značajan utjecaj na ugljični otisak od same proizvodnje, transporta, ugradnje, održavanja i na kraju rušenja i zbrinjavanja. Svaka od faza zahtjeva i određenu količinu energiju što dovodi i do znatne emisije ugljika u atmosferu. U tablici 1. prikazan je ugljični otisak za građevinske materijale [4].

Tablica 1. Ugljični otisci materijala [4]

Materijala	Ugljični otisak, tCO <sub>2</sub> eq/t
Tlo	0,007
Drvo	-0,0992
Beton	0,112
Asfalt	0,21
Keramika	0,22
Agregat i kamenje	0,004
Metali	1,50
Polimeri	3,25
Staklo	0,669
Gips i paste	0,002

## 4 ZELENA GRADNJA

Kad govorimo o zelenoj gradnji ne misli se samo na energetske učinkovitost već su obuhvaćeni i ekološki prihvaćeni materijali, smanjenje količine građevinskog materijala i otpada koji nastaju u procesu gradnje te razgradnja postojećih zgrada koje nisu više u eksploatacijskoj primjeni. Zelena gradnja poznata je i kao prirodno graditeljstvo. Tako se pod zelenom gradnjom podrazumijeva uporaba isključivo prirodnih materijala za gradnju [20]. U prirodnom graditeljstvu podrazumijeva se primjena prirodnih i recikliranih materijala. U prirodne materijale ubrajaju se kamen, nabijena zemlja, opeka, drvo, slama, trska i ovčija vuna. Pod zelenom gradnjom podrazumijeva se i korištenju obnovljivih izvora energije za funkcioniranje zgrade [20].

Zelenom gradnjom smanjuje se utjecaj na okoliš, poboljšava kvaliteta unutrašnjeg okoliša te smanjuju troškovi vezani uz upravljanje građevinom. Ona obuhvaća cjelovit proces osmišljavanja, izvedbe, održavanja, korištenja i obnove zgrada, temeljen na principu održivosti [20]. Zelena gradnja počiva na cijelovitom pristupu i uzima sve aspekte održivosti zgrade. Ti aspekti su iskorištenje građevinskog zemljišta, način i količina potrošnje vode, krajobraz, odabir i način upotrebe materijala, emisija stakleničkih plinova, korištenje obnovljivih izvora energije te cjelovitu funkcionalnost zgrade.

Pojam zelene gradnje ili prirodnog graditeljstva se često izjednačava s pasivnom kućom. Ovakva usporedba nije ispravna jer pasivna kuća uzima u obzir samo energetske učinkovitost, a zelena gradnja počiva na cijelovitom pristupu [20].

Zelene zgrade imaju mali utjecaj na okoliš, zbog primjene ekoloških materijala i same gradnje te su ekološki učinkovite kroz cijeli životni vijek zgrade [20]. Kraljevski institutu britanskih arhitekata Velike Britanije predložio je šest važnih načela za projektiranje zgrada koje će imati mali utjecaj na okoliš i to [20]:

- integrativni pristup primjeni energije ovisno o tipu zgrade
- upotreba oblika i sastavnih dijelova zgrade za smanjenje energetske potražnje
- visokokvalitetna izolacija
- provedba visoko učinkovitih usluga korištenjem energenta s niskim udjelom ugljika
- provedba djelatnosti s niskim emisijama ugljika u zgradama
- korištenje obnovljive energije.

Kako bi se izgradila zgrada s malim utjecajem na okoliš važno je planiranje i projektiranje zgrade kao i odabir materijala te orijentacija zgrade. Iako još uvijek ne postoji precizna definicija zgrade s malim utjecajem na okoliš, neke zemlje su je definirale potrošnjom energije [20]. Prema Europskoj komisiji, zgrade s ugljičnim otiskom manjim od  $0,5 \text{ tCO}_2\text{eq/m}^2$  su zgrade s malim utjecajem na okoliš [21].

#### 4.1 Energetski učinkovite zgrade

Stambene zgrade koje imaju veću energetsku učinkovitost nego što propisuje zakonodavac nazivaju se energetski učinkovitim zgradama. Ove zgrade ostvaruju veliku uštedu energije upotrebom novih tehnologija i modernog načina gradnje.

Prema literaturnim podacima danas postoji pet glavnih kategorija energetski učinkovitih kuća i to [22]:

- niskoenergetske kuće (engl. *low energy house*)
- pasivne kuće (engl. *passive house*)
- nulta energetska kuća (engl. *zero-energy house*)
- autonomne kuće (engl. *autonomous building*)
- kuće s viškom energije (engl. *energy-plus-house*).

Niskoenergetske kuće imaju malu potrošnju energije. Zbog velikih razlika u nacionalnim normama, niskoenergetska kuća napravljena po normama jedne države ne mora biti niskoenergetska po normama druge države [22]. Tako u Njemačkoj niskoenergetska kuća ima ograničenje u potrošnji energije za grijanje prostorija od 50 kWh/m<sup>2</sup> godišnje [22], dok u Švicarskoj je to 42 kWh/m<sup>2</sup> godišnje. U Hrvatskoj niskoenergetska kuća za potrošnju energije za grijanje prostorija uzima vrijednost od 40 kWh/m<sup>2</sup> što je ekvivalent od 2,7 litara loživog ulja po m<sup>2</sup> godišnje. Niskoenergetske kuće imaju odličnu izolaciju, energetski učinkovite prozore, vrlo malo propuštanje zraka te trebaju manje energije za grijanje i hlađenje [22]. Niskoenergetske kuće temelj su primjene održive gradnje tijekom cijelog svog životnog vijeka počevši od građevinskog materijala čija proizvodnja ne opterećuje okoliš, preko njihove energetske učinkovitosti i racionalnog trošenja energenata tijekom životnog vijeka, pa sve do racionalnog gospodarenja otpadom [22].

Pasivna kuća je građevina koja koristi izvore energije koji su prisutni u njenoj unutrašnjosti, kao što je toplina ljudi koji u žive u njoj, toplina dobivena od električnih uređaja te toplina od Sunca [22]. U pasivnim kućama postiže se ugodna atmosfera prostora bez zasebnog sustava grijanja i klimatizacije, a sve zahvaljujući načelima pasivne gradnje i primjeni načela energetske učinkovitosti. Pasivna kuća u usporedbi s klasičnom niskoenergetskom kućom troši od 80 % do 90 % manje energije. Dva su osnovna načela na kojima se temelji energetska bilanca pasivne kuće, a to su uklanjanje toplinskih gubitaka i maksimizacija slobodnog dobivanja energije. Na potrošnju energije u pasivnoj kući utječu sljedeći faktori [22]:

- oblik pasivne kuće
- orijentacija
- lokacija na kojoj je smještena
- otvori, prozori i vrata
- zaštita od sunca
- raspored prostorija u kući
- okoliš.

Ukupna potrošnja primarne energija u pasivnim kućama bi trebala biti manja od 120 kWh/m<sup>2</sup>. Iz literaturnih podataka danas postoji preko 150.000 različitih pasivnih kuća, kako pojedinačnih domaćinstava i kuća u nizu ili manjih stambenih zgrada [22].

Nulta energetska kuća (eng. *zero-energy house*) je vrsta zgrade koja pokriva svoju godišnju potražnju energije kroz primjenu sustavu solanih ćelija i ostalih obnovljivih izvora energije, a time se znatno smanjuje emisije ugljikovog dioksida u atmosferu. Također, takva zgrada može biti nezavisna od energetske mreže, što znači znači da u nekim periodima koristi energiju iz energetske mreže, a u drugim vraća energiju u energetska mrežu. Postoji nekoliko detaljnijih definicija kojima se određuje što zapravo znači nulta energetska kuća, a najveće razlike odnose se na definicije unutar Europe u odnosu na Sjevernu Ameriku [22].

Autonomne kuće (engl. *autonomous building, house with no bills*) su zamišljene da normalno funkcioniraju neovisno od infrastrukturne podrške izvana. Prema tome takva kuća nema priključka na elektručnu mrežu, vodovod, kanalizaciju, odvodnju, komunikacijsku mrežu, a u nekim slučajevima nema ni priključka ni na javne prometnice. Kod autonomne kuće energija je samo jedan od resursa koji se dobiva iz prirode [23].

Kuće s viškom energije (eng. *energy-plus-house*) su kuće koje u prosjeku tokom cijele godine koristeći obnovljive izvore energije proizvede više energije nego što je uzmu iz vanjskih sustava. Ovo se može postići izborom lokacije za kuću, korištenjem malih generatora električne energije te niskoenergetskom tehnikom gradnje. Kuće s viškom energije koriste najefikasnija energetska rješenja. U nekim razvijenim državama tvrtke za distribuciju električne energije moraju kupovati višak energije iz takvih kuća, Takve kuće pridonose korist vlasnicima [23].

Poznavajući podatke za potrošnju energije za grijanje i hlađenje za svaku zgradu može se izračunati emisije CO<sub>2</sub> te njen utjecaj na GWP. U tablici 2 dan je prikaz emisije CO<sub>2</sub> za pojedinu vrstu zgrade prilikom grijanja u Njemačkoj. Koeficijent za pretvorbu kWh u kg CO<sub>2</sub> iznosi 0,527 [24].

Tablica 2. Emisije CO<sub>2</sub> za pojedine kuće prilikom grijanja [24]

Vrsta kuće	Potrošnja energije, kWh/m <sup>2</sup>	Površina, m <sup>2</sup>	Ukupna potrošnja energije kWh	kWh struje/kg CO <sub>2</sub>	Emisije u kg CO <sub>2</sub>
Standardna kuća	70	126,9	8883	0,527	4681,34
Kuća učinkovitosti 70	45	126,9	5710,5	0,527	3009,43
Kuća učinkovitosti 55	35	126,9	4441,5	0,527	2340,67
Kuća učinkovitosti 40	25	126,9	3172,5	0,527	1671,90
Pasivna kuća	15	126,9	1903,5	0,527	1003,14

Prema podacima iz tablice 2 pasivna kuća prilikom grijanja ima emisiju od 1003,14 kg CO<sub>2</sub> u usporedbi s kućom standardne gradnje to je četiri puta manje. Osim toga pasivna kuća ima i četiri puta nižu ukupnu potrošnju energije. Vidljivo je da energetska efikasna gradnja osim ekonomskih ima i ekološke koristi. Osim mogućih ušteda za režijske troškove postoji i ekološka ušteda u smanjenju emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu. Ipak postoji problem emisije CO<sub>2</sub> u fazi proizvodnje građevinskih materijala i izgradnje pasivne kuće. Korištenjem prirodnih lokalnih materijala te recikliranih materijala, zatim implementacijom znanja o energetske učinkovitosti te primjenom novih tehnologija može se utjecati na potrošnju energije i smanjenje utjecaj na okoliš u svim fazama (od proizvodnje materijala do faze rušenja i zbrinjavanja).

## 5 ZGRADE NULTE EMISIJE

U skladu s prijedlogom direktive (Direktiva 2010/31/EU) zgrada s nultim emisijama definira se kao zgrada s vrlo visokim energetske svojstvima, pri čemu se vrlo mala količina energije koja je i dalje potrebna u potpunosti pokriva energijom iz obnovljivih izvora i bez emisija ugljika iz fosilnih goriva u krugu zgrade [12].

Iako je prijedlog usmjeren na smanjenje operativnih emisija stakleničkih plinova, definicija zgrade s nultom emisijom dodatno uključuje izračun potencijala globalnog zagrijavanja tijekom životnog ciklusa i njegovo objavljivanje putem energetske certifikata zgrade. Prema direktivi (Direktiva 2023/1791/EU) taj zahtjev bi se trebao primjenjivati od 1. siječnja 2027. za sve nove zgrade s korisnom podnom površinom većom od 2000 m<sup>2</sup> i od 1. siječnja 2030. za sve nove zgrade.

U posljednja dva desetljeća razvijen je i globalno primjenjiv koncept izgradnje zgrade s nultom emisijom te se smatra glavnim načinom dekarbonizacije građevinskog sektora. Od 2006. godine znatno se povećava broj istraživanja o zgradama nulte emisije ugljičnog dioksida [25]. Prema literaturnim podacima u tablici 3 dane su definicije za zgrade s nultom ili vrlo niskom emisijom ugljika [25]. Neke od definicija su propisane kroz nacionalno zakonodavstvo, dok su neke razvijene na temelju teorijskih istraživanja. Opći je dogovor da je zgrada s nultom emisijom (eng. *Zero emission building ZEB*) učinkovita zgrada koja proizvodi dovoljno obnovljive energije da nadoknadi svoje emisije stakleničkih plinova [25].

Tablica 3. Definicije zgrade s nultom ili vrlo nisko emisijom ugljika u svijetu [25]

	Definicija
Nulta emisija	<p>Zgrada koja proizvodi dovoljno obnovljive energije tako da može nadoknadi emisije stakleničkih plinova tijekom životnog vijeka nazivamo zgradom nulte emisije.</p> <p>Prema norveškom istraživačkom centar zgrade s nultom emisijom su podjeljene prema broju faza životnog vijeka zgrade koji se računaju. Neke od definicija su:</p> <p>ZEB – O: Zgrada koja proizvodi dovoljno obnovljive energije da kompenzira emisiju stakleničkih plinova koji nastaju tijekom korištenja zgrade.</p> <p>ZEB – O ÷ EQ: Zgrada koja proizvodi dovoljno obnovljive energije da kompenzira emisiju stakleničkih plinova koji nastaju tijekom korištenja zgrade umanjeno za energiju potrošača.</p> <p>ZEB – OM: Zgrada koja proizvodi dovoljno obnovljive energije da kompenzira emisiju stakleničkih plinova koji nastaju tijekom korištenja zgrade te proizvodnje građevinskih materijala od kojih je zgrada izgrađena.</p> <p>ZEB – COM: Zgrada koja proizvodi dovoljno obnovljive energije da kompenzira emisije stakleničkih plinova nastale izgradnjom i korištenjem zgrade te proizvodnjom građevinskih materijala.</p> <p>ZEB – KOMPLETNO: Zgrada koja proizvodi dovoljno obnovljive energije da kompenzira emisiju stakleničkih plinova nastale tijekom cijelog životnog vijeka. To uključuje emisije građevinskog materijala, konstrukcije, korištenja te rušenja i recikliranja.</p>
Zgrada spremna za nultu emisiju	<p>Visoko energetske učinkovite zgrade koje koriste obnovljivu energiju izravno ili iz izvora energije koji će do 2050. biti potpuno dekarbonizirane (električna energija ili toplane) su spremne za nultu emisiju. Ove zgrade će do 2050. postati zgrade nulte emisije bez ikakvih izmjena na zgradi i njejoj opremi.</p>
Neto nulta emisija	<p>Zgrade s neto nultom emisijom su zgrade koje proizvodnjom obnovljive energije na licu mjesta nadoknađuju sve radne i utjelovljene emisije iz građevinskih materijala. "Neto" označava da se energija može izvoziti ili uvoziti u zgradu. Bilanca neto energije ili emisije se izračunava kroz određeno vremensko razdoblje, (najčešće godinu dana). U praksi to su zgrade priključene na energetska mrežu.</p>



Nulta emisija prema Brozovsky i autorima iz 2019.	Zgrade s nultom emisijom usmjerene su na smanjenje emisije stakleničkih plinova, a ne ciljaju korištenje energije kao kriterij, barem ne prvenstveno. Cilj takve gradnje je proizvesti dovoljno obnovljive energije kako bi se kompezirala emisija stakleničkih plinova tijekom cijelog životnog vijeka.
Nulta emisija prema Skaar i autorima iz 2018.	Zgrade s nultom emisijom trebaju zamjeniti fosilna goriva čistom obnovljivom energijom kako bi smanjene emisije bile jednake emisijama uzrokovanim konstrukcijom, radom i materijalom zgrade.
Neto nulta emisija prema Ruparathna i autorima iz 2017.	Zgrade s neto nultom emisijom koriste energiju bez emisija a potrebe za energijom ostvaruju na licu mjesta kroz proizvodnju obnovljive energije.
Bez ugljika	Zgrada s nultom emisijom ugljika nema neto godišnje emisije iz Opsega 1 i 2.  Opseg 1- izravne emisije iz izvora koji su u vlasništvu ili pod kontrolom zgrade. Te su emisije rezultat aktivnosti koje su izravno pod kontrolom zgrade i događaju se na licu mjesta.  Opseg 2 - neizravne emisije iz proizvodnje kupljene električne energije te grijanja i hlađenja koje koristi zgrada. Ove emisije su uzrokovane proizvodnjom energije koju troši zgrada, ali se stvara na izvoru izvan izravne kontrole zgrade.
Nulta emisija prema Australiskoj vladi.	Stambena zgrada koja ne proizvodi niti emitira CO <sub>2</sub> kao i druge stakleničke plinove u atmosferu pri korištenju energije u ili izvan kuće.
Neto nula ugljika (Ugljična neutralnost)	Za renovirane i nove zgrade: količina emisija ugljika povezana je sa građevinskim proizvodima te fazama izgradnje zgrade i iznosi nula ili je negativna.  Neto zgrada s nula ugljika je visoko energetska učinkovita zgrada te se napajan iz obnovljivih izvora energije na lokaciji ili izvan nje.

## 5.1 Metodološki aspekti koncepta zgrade nulte emisije

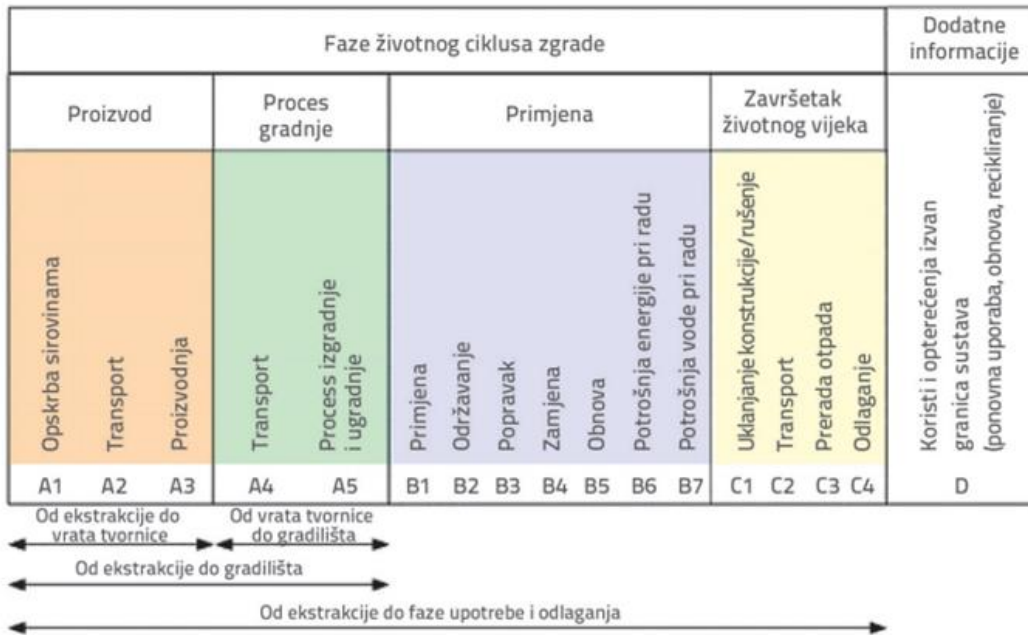
U definiciji zgrade s nultom emisijom ugljika, moraju se obuhvatiti ključni kriterija za definiranje kao što su [25]:

- Granice sustava - faze uključene u proračun stakleničkih plinova tijekom životnog vijeka zgrade (operativni u odnosu na emisije tijekom životnog ciklusa).
- Granica bilance emisija – ambiciozna dimenzija postizanja nulte emisije (apsolutna nula u odnosu na neto nulte) i mogućnosti smanjenja emisija.
- Metode izračuna (statički *prema* dinamički) i vremenski okvir.
- Pokazatelji i metrike - odgovarajući pokazatelji i metrike koje treba navesti u definiciji.
- Prostorna granica – objekt procjene.

### 5.1.1 Granice sustava

Prvi glavni korak je postavljanje granica sustava. Granica sustava, kako je definirano normom HRN EN 15978 2011.[26], predstavlja sučelje u procjeni između zgrade i njezine okoline ili drugih proizvoda sustava. U ovom slučaju, to znači odlučivanje koje su faze, tijekom životnog vijeka zgrade, uključene u izračun emisije stakleničkih plinova (eng. *Greenhous gas GHG*) [25].

Prva podijela granice sustava je na dva glavna dijela i to: operativni i utjelovljeni utjecaj. Operativni dio usmjeren je samo na fazu u kojoj se zgrada koristi, dok utjelovljeni utjecaj se odnosi na faze prije i nakon korištenja zgrade, kao što su faza proizvoda, proces izgradnje i faza kraja životnog vijeka. Jasno je da bi svaka od ovih faza dalje mogla biti podijeljena kako bi obuhvatila sve moguće izvore emisije. Čini se da granica sustava ocrtava definiciju ZEB-a. Norveški istraživački centar predlaže pet definicija na temelju granica sustava, dok Riedy i koautori predlažu četiri definicije temeljene na istom pristupu [25]. Good i autori razmatraju puni životni ciklus emisija u definiciji, dok Torcellini i autori uzimaju u obzir samo pogonske emisije [25]. Sukladno normi HRN EN 15978:2011 - te prijedlogu autora Lützkendorf, Frischknecht i Satola predložena je modularna struktura pogonskih emisija kroz faze uporabnog vijeka građevine, kao što je prikazano na slici 1 [4].



Slika 1. Faze uporabnog vijeka građevine [4]

#### 5.1.1.1 Radna energija i emisije

Većina granica sustava usmjerena je samo na operativnu fazu zgrade. Točnije, fokus je na reguliranom korištenju energije, kao u slučaju koncepta zgrada gotovo nulte energije (nZEB), uokvirenog EPBD-om. Pod reguliranom energijom podrazumjeva se grijanje, hlađenje, ventilacija, priprema tople vode, sva rasvjeta ako i pomoćna energija [25].

Neregulirano korištenje energije u zgradi predstavlja potrošnju energije koja nije definirana regulacijskim aktima za zgrade i može biti vezan uz zgradu ili korisnika. Sukladno normi HRN EN 15978:2011 [26] dan je prikaz podjele operativne energije (energije potrebne za funkcioniranje zgrade), slika 2.

potražnja za energijom	Potrošnja energije vezana uz izgradnju		Potrošnja energije koja nije povezana s izgradnjom	
	1. regulirana	2. neregulirana	3. korisnici	4. operativno korištenje vode

Slika 2. Operativna energija u zgradama [25].

Operativno korištenje energije u zgradi može se podijeliti na [25]:

1. Regulirano koje obuhvaća grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu tople vode, rasvjetu, pomoćnu energiju za crpke kao i upravljanje i automatizaciju.
2. Neregulirano korištenje energije se odnosi na energiju koju troši dizalo, pokretne stepenice, automatsko otvaranje vrata, alarmi, komunikacijski sustava kao i svi drugi tehnički sustava potrebni za funkcionalnost zgrade.

Dizala su odgovorna za 2 % do 5 % ukupne potrošnje energije u zgradi. U 2008. godini u zemljama EU dizala i pokretne stepenice činili su udio od 0,7 % u ukupnoj potrošnji električne energije [31].

Potrošnja energije koja nije povezana sa zgradama [25]:

3. Energija povezana s korisnikom je energija koju troše električni uređaji (TV, hladnjaci, informatička oprema itd.). Ovdje spada i energija povezana s proizvodnjom i bilo koja druga energije koju proizvede korisnik zgrade.

S druge strane, ova kategorija stvara toplinske dobitke, stoga ima pozitivan doprinos energetske učinkovitosti zgrade smanjenjem potrebe za grijanjem. Međutim, u cijelom svijetu, korištenje IT uređaja je povezan s 3 % potražnje za električnom energijom i 2 % emisije stakleničkih plinova.

4. Operativno korištenje vode: uključuje svu vodu koja se koristi u izgradnji integriranih procesa potrošnje vode kao što su: pitka voda, voda za sanitaciju, navodnjavanje zelenih površina integriranih u zgradu, bazeni, fontane i bilo koja druga posebna uporaba vode.

Francuska, Švedska, UK, SAD i Australija u nacionalnim projektima za procjenu pogonskih emisija zgrade uključuju i potrebnu energiju za opskrbu pitkom vodom. U Norveškoj i Švicarskoj provode se projekti koji istražuju emisije izazvane dnevnim putovanjem stanovnika [25]. Neki autori predlažu da se električna energija koja se koristi za punjenje električnih vozila uključi u granice sustava. Međutim, ova potrošnja se može pripisati transportnom sektoru, a ne sektoru zgradarstva te je prijedlog da se prati odvojeno i ne uključuje u procjenu zgrade [25].

#### 5.1.1.2 Utjelovljena energija i emisije

Utjelovljena energija i emisije povezane su s fazama prije i poslije životnog vijeka zgrada. Zajedno s operativnim emisijama, utjelovljene emisije ispuštaju stakleničke plinove tijekom cijeloživotnog ciklusa zgrada. Faze životnog ciklusa uključuju vađenje i preradu sirovina, proizvodnju materijala i opreme, prijevoz do gradilišta, proces izgradnje zgrade, instalacije od opremu, kao i proces rušenja te prijevoz i odlaganje otpada [25]. Održavanje i razni popravci u zgradi također spadaju u utjelovljenu emisiju. Značajna utjelovljena emisija odnosi se na zamjenu istrošenih tehničkih sustava tijekom cijeloživotnog vijeka zgrade a ove emisije se mogu usporediti i s emisijama uzrokovane gradnjom zgrade [25].

Trenutačno mjere energetske učinkovitosti uglavnom ciljaju na smanjenje operativne potrošnje energije i emisije stakleničkih plinova dok je utjelovljena energija i emisija stakleničkih plinova zanemarena. Međutim, utjelovljene emisije kroz građevinski fond doprinose oko 11 % ukupnih emisija stakleničkih plinova prema Svjetskom vijeće za zelene zgrade iz 2019. (engl. *World green buildinga councele-WGBC*). U zgrade s gotovo nultom energijom i visoko energetske učinkovitim zgradama ugrađene su veće količine reciklirajućih materijala u usporedbi s konvencionalnim, ugradnja takvih materijala u tehničke sustave je složenija a u slučaju renoviranja, uklanjanje i obrade, takve zgrade imaju veću utjelovljenu emisiju. Emisija ugrađena u materijale tijekom cijeloživotnog vijeka zgrade je veća u odnosu radnu emisiju [25].

Röck i autori ukazuju da su ranije studije uzimale zanemarljivi utjecaju zgrade na okoliš te čimbenike izvan operativne potrošnje energije i emisija, novije studije pokazuju rastuću važnost ugrađene energije i emisija, kako u apsolutnim terminima tako i u relativnom doprinosu tijekom životnog ciklusa [25]. Emisije ugljika ispuštene u atmosferu prije uporabe zgrade iznose negdje oko 50 % emisija tijekom cijeloživotnog ciklusa nove zgrade.

Unatoč činjenici da sve veći broj autora u literaturnim podacima priznaje važnost procjene energije zgrada i učinak emisija iz perspektive životnog ciklusa, vrlo malo studija usmjereno je na postizanje neto nulte primarne energije u životnom ciklusu ili emisiji stakleničkih plinova [25].

Stephan i Stephan [27] u svom radu su prikazali tehničku izvedivost postizanja neto nulte primarne energije i emisije stakleničkih plinova tijekom cijeloživotnog ciklusa za stambene zgrade na Mediteranu. Postizanje neto nule ovisi isključivo o intenzitetu emisije električne mreže.

Cusenza i autori [28] u provedenoj studiji analizirali su samostalnu kuću u gradu Rimu te su došli do zaključka da različite konfiguracije, izolacijski materijal ovojnice zgrade kao i integracija fotonaponskog sustava bi mogli pružiti neto nultu energetske učinkovitost u fazi uporabe. Autori su istaknuli važnost kvantificiranja utjelovljenog utjecaja u niskoenergetskim zgradama tijekom cijeloživotnog ciklusa kako bi se time povećala učinkovitost provedenih radnji. Procjena ugrađenih emisija daje podatak o emisijama tijekom cijeloživotnog ciklusa zgrade te pružaju mogućnost planiranja većeg smanjenja emisija u atmosferu. Izračun utjelovljenih emisija u građevinskim materijalima je vrlo složen i zahtjevan postupak. Tako npr. podaci za ugrađeni materijali u postojećim zgradama nisu uvijek dostupni i potpuni a time i kompletna procjena utjelovljene emisije nije uvijek moguća.

## 5.1.2 Granica bilance emisije

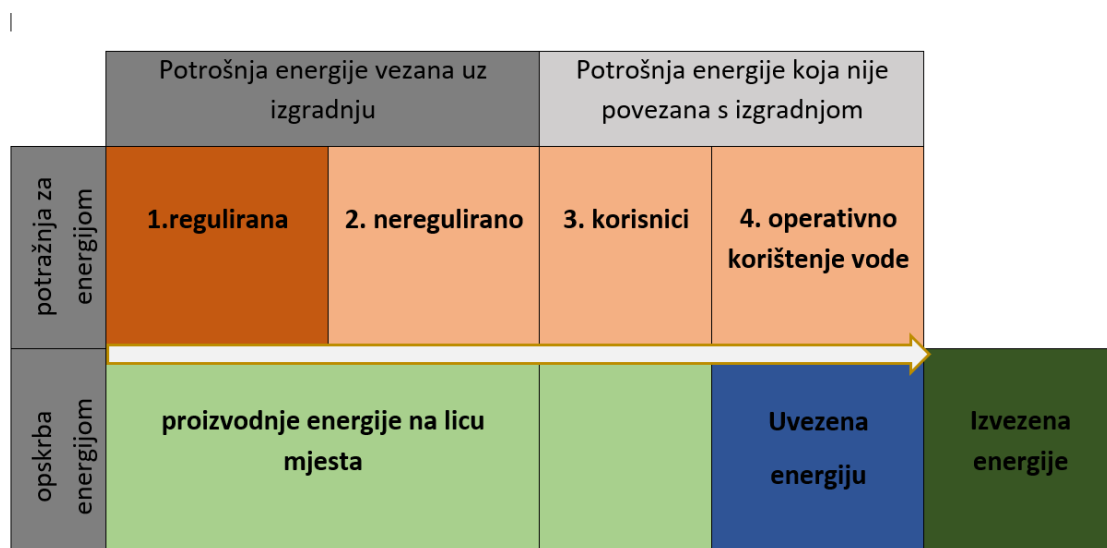
### 5.1.2.1 Neto nulta emisija

Neto nulte emisije podrazumijevaju da je bilanca emisije zgrade tijekom jedne godine nula. Uvriježeno je shvaćanje da neto nula zgrada uvozi energiju iz mreže a izvozi je iz obnovljive energije u energetska mrežu. Prema literaturnim podacima definicija ZEB-a dopušta mrežno povezivanje u cilju uravnoteženja emisija [25].

Međutim, u velikom broju provedenih studija raspravlja se o važnosti smanjenja energetske potreba kroz energetska učinkovitost kao glavni korak u postizanju nulte emisije, dok neke studije ukazuju na mogućnosti uravnoteženja, iako to nije u skladu s „načelom energetska učinkovitost na prvom mjestu“ [25].

Neki od mogućnosti kompenzacije emisija iz zgrada u atmosferu su da zgrada proizvodi i izvozi obnovljivu energiju u mrežu te se tome pripisuju potencijalne koristi. Operativna potražnja za energijom i proizvodnja obnovljive energije na licu mjesta izračunavaju se, a ravnoteža se procjenjuje pripisivanjem prednosti zgrade, izbjegavanja emisija stakleničkih plinova uzrokovanih izvozom energije u mrežu. Neto bilanca emisije je u skladu s "načelom energetske učinkovitosti na prvom mjestu", a može se provesti za energetska učinkovite zgrade s niskom potrošnjom energije te mogućnošću proizvodnje obnovljive energije [25].

Pretpostavlja se da energija proizvedena na licu mjesta prvo pokriva potrošnju energije u zgradi, a zatim potrebnu energiju koja nije povezana s radom zgrade (HRN EN 15978) [26]. Slika 3 prikazuje prioritete u raspodjeli energije proizvedene na licu mjesta [25].



Slika 3. Prioriteti u raspodjeli energije proizvedene na licu mjesta [25]

U ekonomskom pristupu radne emisije ili emisije tijekom cijeloživotnog ciklusa kompenziraju se certifikatom o emisiji CO<sub>2</sub>. Iako se radi o jednostavnom načinu kompenzacije, financijska naknada ne dovodi i do nulte emisije zgrade stoga je potrebno uključiti i druge moguće opcije kao protutežu [25]. Tako se tehnički pristup temelji na tehnologijama kojima je moguće izdvajanje stakleničkih plinova iz atmosfere te skladištenje. Nakon što se procijeni radna emisija ili emisije tijekom cijeloživotnog ciklusa zgrade, mogu se primjeniti tehničke mjere za izdvajanje ekvivalentna količina emisija iz atmosfere. Neke od postupaka smanjenja utjecaja emisije stakleničkih plinova su pošumljavanje, upravljanje zemljištem u cilju povećanja i fiksiranja ugljika u tlu kao i proizvodnja bioenergije te mogućnost skladištenje ugljika [25]. Ovi postupci doveli bi do smanjenje stakleničkih plinova, međutim još uvijek neki aspekti su predmet rasprava npr. geopolitički, troškovi održavanje sustava te rizici od curenja ili ispuštanja CO<sub>2</sub> i dr. [25].

#### 5.1.2.2 Apsolutna nula emisija

Zgrada s apsolutnom nultom emisijom je zgrada koja ima nultu emisiju povezanu s gorivom ili električnom energijom te pokriva potrošnju energije u fazi rada. Osim toga, ako se uzmu u obzir emisije tijekom cijeloživotnog ciklusa, građevinski materijali trebaju biti ekološki bez emisija kao i sam transporta materijala. Tehnologija izgradnje također treba biti okarakteriziran nultom emisijom. Apsolutna nula emisija zgrade bila bi ostvarena mjerama visoke energetske učinkovitosti i obnovljive energiji na licu mjesta tijekom cijeloživotnog vijeka [25].

#### 5.1.3 Metode izračuna i vremenski okvir

Zgrade su dugotrajni proizvodi a životni vijek im je negdje od 50 do 60 godina. Kako se s vremenom mogu očekivati promjene u klimi, potrebama korisnika tako dolazi i do promjene potrebne energije. Kroz vremenski period klimatske promjene vjerojatno će utjecati na operativnu energiju zgrade, što može dovesti do niže potrebe za grijanjem a s druge strane veće potrebe za hlađenjem. U zemljama srednje i južne Europe potrošnje energije u ljetnom periodu zbog klimatizacije će porasti za 3,14 % godišnje [25]. Implementacijom novih tehnologija kao i promjenom u svijesti i ponašanju stanara može se znatno utjecati na operativnu u energiju. Da bi se postigla nulta emisije zgrade tijekom cijeloživotnog vijeka važno je ići u smjeru promjene.

Statičkim i dinamičkim metodama može se procijeniti operativna energetska bilanca zgrade, kao i emisija GHG. Kod stacionarnih metoda sezona grijanja i hlađenja je fiksno određena te je zanemareno dinamičko ponašanje zgrade. Za razliku od statičkih, dinamičke metode uzimaju u obzir stvarno dinamičko ponašanje okoline, varijabilnost toplinskih dobitaka, stupanj ventilacije i infiltracije kao i maseni kapacitet zgrade. Naravno, dinamički pristup je dugotrajniji

i zahtijeva dodatnu digitalizaciju i troškove. Osim toga, može se koristiti samo u kasnijoj fazi projektiranja energetske učinkovitosti kada su svi potrebni parametri poznati. Međutim, na temelju točnih ulaznih podataka, dobiveni rezultati su prikaz stvarnog ponašanja analizirane zgrade [25]. Dinamički pristup je bolji i kad se određuje intenzitet ugljika u energetske mješavini a koji se mijenja tijekom godina. Korištenje faktora emisije stakleničkih plinova s detaljnijom vremenskom skalom omogućuje preciznije i pouzdanije izračunavanje emisija stakleničkih plinova uključivanjem u opseg procjene značajnih varijacija emisija stakleničkih plinova u energetske miksu tijekom vremena. Stephan i autori su istaknuli da opadajući intenzitet stakleničkih plinova u električnim mrežama može otežati zamjenu početnih utjelovljenih emisija stakleničkih plinova zgrade. Kod teoretski potpuno dekarbonizirane energetske mreže, početne utjelovljene emisije više se ne zamjenjuju izvozom obnovljive energije u mrežu [25]. Intenzitet emisije stakleničkih plinova iz mješavine električne energije može se razmatrati po satu, danu, mjesecu, sezoni (ljetu, zima) ili po godini. Prema Satolu i autorima upotreba faktora emisije stakleničkih plinova po satu i specifičnostima regije smatra se važnim za pouzdan i točan prikaz koristi povezanih s provedbom strategije smanjenja emisija stakleničkih plinova, gdje su sustavi obnovljive energije na licu mjesta [25].

#### 5.1.4 Pokazatelji i metrika

Izbor pokazatelja i metrike za mjerenje ekološke učinkovitosti zgrade ovisi o ekološkim ciljevima te cilju zaštite. Za procjenu i usporedbu ekoloških izvedbi zgrada već duži period kao jednostavan pokazatelj koristio se prirodni resurs i obnovljivi izvor primarne energije [25]. Uz sve veću pažnju posvećenu zaštiti klime i potrebu za postizanjem ambicioznih klimatskih ciljeva, emisije stakleničkih plinova postaju glavni pokazatelj uspješnosti, a uvode se zahtjevi za klimatskom neutralnošću kako u radu tako i u životnom ciklusu.

Operativni dio procjene životnog ciklusa zgrade temelji se na izračunu ukupne energije potrebe za funkcioniranje zgrade. Ukupna energija obuhvaća grijanje, hlađenje, opskrbu toplom vodom, ventilaciju ili klimatizaciju, potrebnu energiju za crpke te fiksnu rasvjetu, a u nekim slučajevima obuhvaća i energiju potrebnu za utičnice. Pomoću faktora primarne energije (eng. *primary energy factors PEF*) moguće je odrediti primarnu potrošnju obnovljive energije. Iz podataka o ukupnoj energetske potrebi zgrade i faktora emisije može se odrediti ukupna emisija stakleničkih plinova [25].

Direktiva o energetske svojstvima zgrada (EPBD), primarnu energiju definira kao oblik energije uzet iz prirode bez pretvorbe ili procesa transformacije. To je energija sadržana u kemijskom potencijalu fosilnih goriva, drva ili biomase, nuklearnoj energiji, kinetičkoj energiji vjetra, potencijalnoj energiji vodenih tokova ili toplinske energiji geotermalnih izvora. Prema Hifchinu definicija primarne energije temelji se na toplinske energiji a može se realizirati obično izgaranjem, koja se zatim pretvara u nositelja energije kao što je električna energija, uz gubitke u procesu [25]. U slučaju fosilne primarne energije, PEF daje naznaku štetnog učinka



takve potrošnje energije na razini resursa. Parkin i autori naglašavaju da je primjena ovog načela na obnovljivu energiju manje realna jer početni izvor nije tako lako identificirati [25].

Norma o energetske učinkovitosti zgrada HRN EN ISO 52000-1:2017 kategorizira PEF-ove na sljedeći način [29]:

- neobnovljivi PEF uzimaju u obzir samo režijske troškove isporuke neobnovljive energije do mjesta korištenja, isključujući režijske troškove obnovljive energije i komponente primarne energije
- obnovljivi PEF uzimaju u obzir samo režijske troškove isporuke obnovljive energije do točke korištenja, isključujući režijske troškove neobnovljive energije i komponente primarne energije
- ukupni PEF predstavlja zbroj neobnovljivog i obnovljivog PEF-a.

Za neobnovljive izvore energije kao što su fosilna goriva postoji jaka veza između PEF-a i koeficijenta emisije ugljika. Međutim, ta veza postaje slabija za izvore energije koji su manje jasno definirani kao neobnovljivi. Hitchin naglašava da ne postoji konsenzus o PE za izvore energije kao što su obnovljivi izvori energije, biomasa, nuklearna energija i izgaranje otpadnog materijala [25].

Standard o izvješćivanju o primarnim energetskim faktorima i koeficijentu emisije CO<sub>2</sub> (prEN 17423) pruža transparentan okvir za izvješćivanje o izborima za određivanje PEF-ova i koeficijenata emisije ugljika za energiju isporučenu i/ili izvezenu iz zgrada, kao što je opisano u ISO 52000- 1:2017 [29].

Norma HRN ISO 16745:2017 [30] o održivosti zgrada i inženjerskih građevina u 1. dijelu obuhvaća ugljičnu metriku postojeće zgrade tijekom faze uporabe, dok 2. dio pruža skup metoda za izračun, izvješćivanje, komunikaciju i verifikaciju zbirke metričkih podataka o ugljiku za emisije stakleničkih plinova koje proizlaze iz izmjerene potrošnje energije tijekom aktivnosti zgrade, izmjerene potrošnje energije povezane s korisnikom i drugih relevantnih emisija i uklanjanja stakleničkih plinova. Ugljična metrika je zbroj godišnjih emisija stakleničkih plinova i uklonjenih stakleničkih plinova koji se izražavaju kao CO<sub>2</sub> ekvivalenti a povezani su sa stupnjem uporabe zgrade [25].

#### 5.1.5 Prostorna granica

Geometrijske karakteristike zgrade su drugi važan parametar u definiranju ZEB-a . Općenito, to može biti jedna građevina, grupa, četvrt, grad ili čak cijeli nacionalni fond zgrada [25].

Prema literaturnim podacima velik broj studija usmjeren je na jednu zgradu. Nekoliko velikih projekata koji se bave nultom energijom također obrađuju i smanjenje stakleničkih plinova. Sandberg i koautori modelirali su energetske učinkovitost norveškog fonda zgrada prema dva ZEB scenarija i otkrili potencijal od 23 i 36 TWh uštede energije u ukupnoj procijenjenoj isporučenoj energiji do 2050. Međutim, šire prostorne granice podrazumijevaju važniji učinak

na smanjenje emisija pri čemu je potrebna složenija metodologija te se treba graditi na jasnom konceptu nulte emisije na razini zgrade [25].

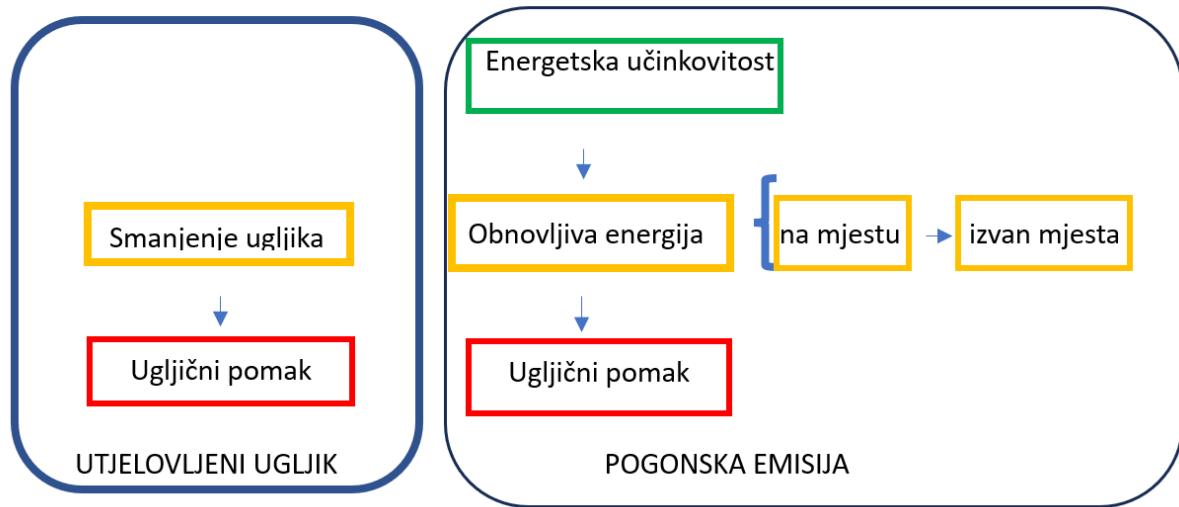
ZEB-ovi bi trebali uzimati u obzir različite vrste zgrada (nove i postojeće, stambene i nestambene) jer se njihove energetske potrebe, primjenjive mjere energetske učinkovitosti, izvori obnovljive energije te mogućnosti smanjenja emisija stakleničkih plinova mogu značajno razlikovati. Nove zgrade mogu se modelirati promjenom parametara različite geometrije, orijentacije i toplinske ovojnice. Niskoenergetskim tehnologijama i obnovljivim izvorima mogu se zadovoljiti potreba za energijom. Razina energetske učinkovitosti postojeće zgrade, podložna je tehnološkoj izvedivosti i mogućnostima uz razinu optimalnih troškova. Među bitnim razlikama između postojećih i novih zgrada je primjena obnovljivih izvora energije a to posebno dolazi do izražaja u gusto naseljenim gradskim kvartovima gdje proizvodnja obnovljive energije na licu mjesta može biti ograničena [25]. Osim toga, fokus na glavne obnovljive izvore energije potaknut je dominantnom energetskom potrebom u zgradi, bilo toplinskom ili električnom, što je opet potaknuto, između ostalog, vrstom zgrade (stambena, upravna, školska, bolnica itd.).

## 5.2 Energetska učinkovitost

Načelo energetske učinkovitosti na prvom mjestu (eng. *Energy efficiency first principle, EE1st*) ključni je stup za postizanje klimatskih ciljeva i smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima iz inozemstva, povećanje sigurnosti opskrbe i poticanje korištenja obnovljive energije (Europski parlament i Vijeće, 2018.). Načelo bi trebalo osigurati da se proizvodi samo potrebna energija i da se izbjegavaju ulaganja u neodržavanu imovinu na putu postizanja klimatskih ciljeva (Europska komisija, 2021.). U zgradama s nultim udjelom ugljika, mjere za smanjenje potrebe za energijom ključne su za sprječavanje proizvodnje energije koja se može izbjeći isplativim mjerama energetske učinkovitosti. Stoga je logičan pristup u skici definicije ZEB-a, smanjiti potrebe za energijom što je više moguće kroz provedbu mjera energetske učinkovitosti prije implementacije tehnologija obnovljivih izvora energije [25].

Operativna potrošnja energije predstavlja najveći udio tijekom životnog ciklusa zgrade, dok se ostatak odnosi na utjelovljenu energiju. Jasno je da mjere energetske učinkovitosti i dalje predstavljaju ključan način za nultu emisiju ugljika u zgradama zbog svog doprinosa u učinkovitom smanjenju operativne potrošnje energije čime se smanjuje potrošnja energije u životnom ciklusu zgrada. Dobivanje zgrade s nultom emisijom a da nema zahtjeva za energetskom učinkovitošću značilo bi opskrbu velikih količina energije iz obnovljivih izvora što općenito nije izvedivo kao ni isplativo. Slika 4 prikazuje prioritete u postizanju nulte emisije u zgradama. Pri projektiranju zgrade operativne i utjelovljene emisije mogu se smanjiti mjerama energetske učinkovitosti te upotrebom materijala s niskim udjelom ugljika. Korištenje obnovljive energije dodatno smanjuje pogonske emisije. Obnovljiva energija na licu mjesta je prioritet, iako kupnja obnovljive energije izvan mjesta ostaje opcija gdje je proizvodnja na licu

mjesta ograničena. Konačno, za zaostale emisije, utjelovljene i operative potrebno je razmotriti i implementirati mogućnosti kompenzacija [25].



Slika 4. Prioriteti u postizanju ZEB-ova [25].

Mjerama energetske učinkovitosti značajno se može smanjiti operativna energija zgrade na gotovo nulu ili čak nulu, ali isto tako mogu dovesti do povećanja utjelovljene energije ako se posveti malo pažnje cijeloj zgradi tijekom njenog životnog ciklusa. Sartorija i Hestnesa u svojim studijama iz 2007. godine iznose da visokoenergetski učinkovite zgrade u usporedbi s konvencionalnim zgradama imaju bolje rezultate tijekom svog životnog ciklusa [25].

Međutim, u slučaju samodostatnih zgrada situacija je nešto drugačija. Nekoliko je studija istaknulo da zgrade s nultom energijom troše više energije od zgrada s niskim udjelom ugljika s obzirom na cijeloživotni ciklus. Razlog je veća ugrađena energija zbog dodatnih mjera energetske učinkovitosti. Naglašeno je da i pretjerana uporaba pasivnih i aktivnih značajki može biti neučinkovita [25].

Zaključno, smanjenje potražnje za energijom trebalo bi biti glavni prioritet nakon kojeg slijedi procjena i smanjenje utjelovljene energije u fazi projektiranja zgrade. Osobito u zgradama spojenim na mreže s mješavinom električne energije s visokim udjelom ugljika, smanjenje radne potražnje za energijom obvezno je za postizanje životnog ciklusa zgrada s nultom emisijom. Osim toga, u visoko energetski učinkovitim zgradama potreba za radnom energijom dominira neregulirana energija korisnika (kao što su električni uređaji, kuhanje) u usporedbi s tradicionalnim zgradama gdje su energetske potrebe za grijanje i hlađenje vodeće u energetske bilanci zgrade [25].

### 5.3 Obnovljivi izvori energije

Obnovljivi izvori energije su izvori koji se stalno ili određenim postupcima obnavljaju pa se mogu iskorištavati bez iscrpljivanja. Obnovljivi izvori energije su energija Sunce, vjetar i hidrotermalna voda. Korištenjem obnovljivih izvora čuva se okoliš, jer su to izvori čiste energije koja ga ne zagađuje. Veliki broj država u okviru svojih energetske politike potiče izgradnju postrojenja obnovljivih izvora energije jer primjenjuju različite poticajne mjere kako bi osigurale rast udjela obnovljivih izvora energije u energetske miks. Prema načelu „energetske učinkovitosti na prvom mjestu“ ZEB-om se umanjuju energetske potrebe [25].

#### 5.3.1 Metodološke granice za obnovljive izvore energije

Međutim, nemaju sve zgrade pristup dovoljnoj količini obnovljivih izvora energije na lokaciji, u takvim slučajevima korisnicima treba dopustiti da se oslanjaju na izvore izvan lokacije kako bi zadovoljili zahtjeve za obnovljivom energijom. Slijedom toga, ključni aspekt koji treba uzeti u obzir u definiciji ZEB-a je koja se vrsta proizvodnje obnovljive energije može pripisati zgradi i unutar kojih granica sustava [25].

Opskrba obnovljivom energijom zgrada može se ostvariti s nekoliko opcija. Slika 5 prikazuje različite opcije primijenjene u međunarodnim metodologijama izračuna energije, poredane prema lokaciji opcije opskrbe energijom u odnosu na zgradu:

- Opcija I- odnosi se na proizvodnju energije iz OIE instaliranih na zgradi, kao što su PV i solarna toplina instalirana na krovu ili na fasadama zgrade
- Opcija II- odnosi se na korištenje obnovljivih izvora energije dostupnih na lokaciji (npr. PV na parkiralištima)
- Opcija III- odnosi se na korištenje obnovljivih izvora energije koji su dostupni izvan lokacije za proizvodnju energije na lokaciji (npr. biomasa ili drveni peleti koji se mogu uvesti)
- Opcija IV-odnosi se na ulaganja u proizvodnju obnovljive energije izvan lokacije
- Opcija V- odnosi se na kupnju zelene energije.



Slika 5. Pregled mogućih opcija opskrbe obnovljivim izvorima energije [25].

Opcija V također uključuje mogućnost kupnje obnovljive topline koja se u zgradu isporučuje preko mreže daljinskog grijanja, generirana pomoću geotermalne, solarne (PV ili termalne) energije i biomase. Dobavljači plina svojim kupcima nude mogućnost kupnje plina s niskim emisijama ili plina iz obnovljivih izvora. U budućnosti bi se mogle praviti mješavine bioplina kao i uvođenje vodika u mrežu prirodnog plina što bi dovelo do smanjenja emisije prirodnog plina. Klasifikacija na slici 5 ne predstavlja hijerarhijsko rangiranje od najpoželjnije opcije do one najmanje poželjne [25].

Panwar i suradnici sugeriraju da izvezena električna energija izvan granica sustava može kompenzirati emisije stakleničkih plinova povezane s energijom koju koristi zgrada. Drugi autori predlažu da se prednosti izvezene energije prikažu kao dodatna informacija, u skladu sa standardom ISO 16475. Lützkendorf i Frischknecht navode da se pripisivanje ovih prednosti isključivo zgradi oslanja na neizvjestan scenarij da se izvezenom električnom energijom izbjegava prosječna današnja proizvodnja mreže. Postoji rizik od dvostrukog računanja smanjenja emisija kako kod proizvođača (zgrada) tako i kod korisnika (kupac izvezene energije) [25].

### 5.3.2 Proizvodnja na licu mjesta u odnosu na generiranje izvan mjesta

Nekoliko okvira za procjenu zgrada omogućuje uravnoteženje (životnog ciklusa) emisija stakleničkih plinova s izbjegnutim emisijama zahvaljujući obnovljivoj energiji iz proizvodnje na licu mjesta i izvan njega. Međutim, samo fokusiranje na proizvodnju na licu mjesta čini se prikladnim uglavnom za nove i relativno male zgrade, stoga bi trebale biti dopuštene različite mogućnosti kompenzacije. Ipak, čini se da postoji opći konsenzus da bi proizvodnja obnovljivih izvora energije na licu mjesta trebala biti prioritet [25].

Mogući pristup mogao bi biti fokusiranje na vlastito postrojenja za obnovljivu energiju, a ne na njegovu lokaciju te se treba pažljivo osmisliti kako bi se izbjegao rizik od dvostrukog zbrajanja. U tom smislu, Satola ukazuju na preporuku Američke agencije za energetiku, usmjerenu na sprječavanje dvostrukog računanja koristi za okoliš u slučaju razmjene obnovljive energije u obliku certifikata za obnovljivu energiju, povlačenjem certifikata samo nakon službene ekološke tvrdnje.

Što se tiče tehnologija obnovljive energije u zemljama s mediteranskom klimom koje imaju koristi od sunčevog zračenja, pogodniji izvori su solarna toplina i fotonaponske ćelije (eng. *Photovoltaics-PV*), a u sjevernoj Europi u zemljama s hladnijom klimom da se primjenjuju dizalice topline (geotermalna energija) i biomasa u sustavima grijanja [25].

Uz tradicionalne fotonaponske ćelije ugrađene na krovu, fotonaponski sustavi integrirani u zgradu (eng. *Building Integrated Photovoltaics-BIPV*) mogu biti ključni u postojećim i novim zgradama. Fotonaponske ćelije mogu osigurati električnu energiju potrebnu za napajanje dizalice topline, grijanje, hlađenje kao i toplu vodu za kućanstvo. Sekundarni proizvodni sustav, kao što je kotao na biomasu, mogao bi podržavati dizalicu topline u zimskim mjesecima, kao obnovljiv izvor energije. Provedene studije u Španjolskoj na obiteljskim kućama ukazuju da bi se zamjena kotlova na fosilna goriva, kotlovima na biomasu moglo postići smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu od 90 % do 94 % [25].

Međutim, još uvijek su potrebna objašnjenja o emisiji stakleničkih plinova koja su povezana s korištenjem biomase. Korištenje biomase za proizvodnju energije često se smatra „ugljično neutralnim“ jer se pretpostavlja da izgaranje biomase oslobađa istu količinu CO<sub>2</sub> koju je biljka utjelovila tijekom svog rasta. Utjecaj bioenergije na okoliš može se značajno razlikovati ovisno o nekoliko čimbenika kao što su sirovina, računovodstvena pravila i granice sustava unutar analize životnog ciklusa te udaljenosti transporta sirovine. Sukladno tome, procjene potencijala ublažavanja stakleničkih plinova mogu varirati nekoliko vrijednosti [25].

### 5.3.3 Faktor emisije za električnu energiju isporučenu iz mreže

Kao odgovor na nacionalne i međunarodne politike ublažavanja klimatskih promjena tijekom vremena dolazi do promjene smjese goriva koja se koristi za proizvodnju električne energije. Obzirom na klimatske promjene, vrijednost korištenja električne energije iz električne mreže

ili kompenzacije električne energije iz mreže obnovljivom električnom energijom nije ista u svim zemljama EU, a mijenja se s vremenom.

Za opisivanje mješavine električne energije primjenjuju se dva različita koncepta [25]:

- Načelo "prosječne električne energije" uključuje nekoliko međusobno povezanih regionalnih zona a predstavlja statističke prosječne emisije općenito izražene u  $\text{gCO}_2\text{-eq/kWh}$  iz cjelokupnog miksa električne energije.
- Načelo „granične električne energije” uzima u obzir lokalne i stvarne učinke različitih djelovanja na elektroenergetsku mrežu. Definirana je kao granična promjena u emisijama stakleničkih plinova, koja su uzrokovana promjenama u proizvodnji električne energije bez baznog opterećenja satnih ili dnevnih varijacija u profilu potrošnje električne energije.

U većini pristupa u procjeni zgrada koje su analizirane primjenjuje se načelo "prosječne električne energije". Dva pristupa predstavljaju hibridnu upotrebu prosječnog i graničnog faktora miksa električne energije: faktor emisije za prosječni miks opskrbe koristi se za procjenu emisija stakleničkih plinova od korištenja električne energije u zgradi dok se pristup graničnog faktora emisije koristi za određivanje koristi za okoliš od lokalno proizvedene električne energije izvezene u mrežu [25].

Faktori emisije predloženi u pristupima ocjenjivanja zgrada značajno utječu na procjenu svojstava zgrada s nultom emisijom ugljika i izbora optimalnih strategija projektiranja. Zgrada smještena u zemlji ili regiji koju karakterizira nizak intenzitet ugljika u mješavini električne energije (npr. s velikim udjelom električne energije koja dolazi iz obnovljivih izvora ili nuklearne energije) u načelu bi mogla lakše postići svojstvo nulte emisije u usporedbi s zgradom u zemlji ili regiji s visokim intenzitetom ugljika u električnoj mreži. Potrebe zgrade za energijom se podmiruju električnom energijom a pristup procjene uzima u obzir samo operativne emisije [25].

Neki autori naglašavaju veliku ovisnost između emisijskih faktora i mogućnosti uravnoteženja ugrađenih emisija, također su primijetili da je ukupnu bilancu emisija, uključujući operativnu i utjelovljenu energiju teško ostvariti te postići niske emisije ugljika iz mreže [25].

Parkin i autori dokazali su da je vrijednost kompenzacije foto električne energije visoka kao i intenzitet ugljika u električnoj mreži. Višak proizvodnje električne energije stvara veliki udio ugljika koji može kompenzirati emisije ugljika iz potražnje za toplinom te utjelovljuje ugljik. Zgrade kod kojih je potražnja za električnom energijom veća nego se proizvede iz fotonaponskog sustava takva električna mreža ima visok intenzitet ugljika koji se pretvara u značajan ugljični dug koji vjerojatno neće biti u potpunosti nadoknađen negativnim ugljikom sadržanim u građevinskoj strukturi. Prema tome faktora emisije za električnu energiju utječe i doprinosi potencijalnoj koristi uzrokovanoj energijom proizvedenom na licu mjesta te energiji predanoj u električnu mrežu [25].

## 5.4 Racionalna ZEB definiciji

Koncept ZEB-a trebao bi se temeljiti na jasnoj i transparentnoj metodologiji i uskladiti s troškovno optimalnim pristupom. Metodologija bi trebala jasno navesti komponente i granice komponenti uključene u definiciju. Osim toga, metodologija bi trebala omogućiti fleksibilnost da odražava različite klime diljem Europe, definicije i konfiguracije zgrada, energetske sustave i tehnologije, dostupne izvore energije kao i heterogenost fonda zgrada u slučaju obnove [25].

Glavne značajke moguće definicije zgrade bez emisija sukladno Direktivi o energetskim svojstvima zgrada (EPBD).

- Godišnja operativna ambicija neto nulte emisije postavljena je primjenom pristupa neto bilance, tj. bilanca primarne energije ili emisija CO<sub>2</sub> tijekom godine su nula. Prema definiciji zgrada uvozi energiju iz mreže i izvoz obnovljive energiju u energetska mrežu.
- Definicija se odnosi na nove i postojeće zgrade.
- Nove zgrade moraju biti u skladu s brojčanim mjerilima koja su stroža od razine nZEB.
- Razina ZEB u postojećim zgradama može se izvesti u pristupu od slučaja do slučaja korištenjem troškovno optimalne metodologije, ali nadilazeći razinu nZEB za postojeće zgrade.
- Numerička referentna vrijednost mogla bi se osmisliti u smislu ukupnih i neobnovljivih pragova potražnje za primarnom energijom u kWh/m<sup>2</sup>/god. kao u slučaju preporuka nZEB-a te dodavanjem CO<sub>2</sub>-ekvivalentnih pragova u kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/god..
- Osim toga, definicija traži izvješće o utjelovljenim emisijama kako bi se podigla svijest o ugljičnom otisku zgrade i pomoglo u odlučivanju o mogućnostima i prioritetima za daljnje kompenziranje utjelovljenih emisija prema životnom ciklusu s nultom emisijom.

### 5.4.1 Radna energija i emisije

Ovdje su dani prijedlozi o mogućem grupiranju korištenja energije i povezanih emisija za izračun ZEB-a, kao i koraci za izvođenje numeričkih referentnih vrijednosti za radnu energiju [25].

#### 5.4.1.1 Koristi pokrivenost

Do sada je samo potrošnja energije u zgradi za grijanje, hlađenje, ventilaciju, toplu vodu, rasvjetu i pomoćnu energiju u određenoj mjeri regulirana važećom EPBD (unutar troškovno



optimalne metodologije i definicije nZEB-a), dok se o nereguliranoj energiji, energiji korisnika kao i energiji za operativno korištenje vode odlučuje na nacionalnoj razini [25].

Međutim, norma HRN EN 15978:2011 predlaže da pogonska potrošnja energije uključuje energiju koju koriste svi tehnički sustavi integrirani u zgradu tijekom normalne uporabe zgrade. Ako se također uzima u obzir korištenje energije koje nisu povezano s korištenjem zgrade, to se mora zasebno prijaviti.

Slika 6. prikazuje prijedlog mogućih grupa korištenja energije koje treba uzeti u obzir u definiciji ZEB-a [25].

- Grupa A uključuje izračun regulirane potrošnje energije vezane uz zgrade i povezane emisije stakleničkih plinova. Kao i nZEB definicija u cijeloj EU pokriva iste upotrebe kao troškovno optimalna metodologija.
- Grupa B za pravilnu funkcionalnost zgrade obuhvaća osim reguliranog korištenja energije i korištenje energije od strane drugih tehničkih sustava.
- Grupa C obuhvaća sve vrste operativne uporabe energije identificirane u zgradi a opisane su i u normi HRN EN 15978:2011 .

Korištenje energije vezano uz izgradnju		korištenje energije koje nije povezano s izgradnjom	
1) reguliran	2) nereguliran	3) odnosi se na korisnika	4) operativno korištenje vode

Slika 6. Predloženo grupiranje korištenja energije [25].

Međutim, s obzirom na složenost obračunavanja za neregulirano i nevezano korištenje energije u fazi projektiranja zgrade, bilo bi logično da se početna ZEB definicija usredotoči na već reguliranu potrošnju energije. Države članice u EU bi mogle prijeći ovu granicu u ambicioznijem pristupu sve dok se ne definiraju jasne sinergije između politika o zgradama i uređajima te drugim tehničkim sustavima koji se koriste u zgradama [25].

#### 5.4.1.2 Metodologija za izvođenje numeričkih mjerila

Smjer proračuna počinje procjenom energetske potrebe zgrade, korištenja energije, isporučene energije, primarne energije i emisija CO<sub>2</sub> (od potreba do izvora) za različite scenarije [25].

Toplinske usluge su grijanje, hlađenje i topla voda, dok su električne usluge klimatizacija, ventilacija, rasvjeta, i dr., a u zgradama se razmatraju odvojeno.

Toplinska potreba zgrade predstavlja energetska potrebu za grijanje, hlađenje, ovlaživanje i odvlaživanje te pripremu tople vode. Potrošnja energije za hlađenje, grijanje i pripremu tople vode predstavlja unos energije u sustav [25].

Potrošnja energije za rasvjetu i ventilaciju predstavlja unos električne energije u sustave rasvjete odnosno ventilacijski sustav. Energija koja se koristi obuhvaća neobnovljivu i obnovljivu energiju proizvedenu na licu mjesta.

Isporučena energija je energija izražena po nositelju energije, koja se dovodi u tehnički sustav u zgradi kroz granicu sustava kako bi se zadovoljile promatrane potrebe za grijanjem, hlađenjem, ventilacijom i klimatizacijom, potrošnom toplom vodom i rasvjetom ili za proizvodnju električne energije [25].

Primarna energija je oblik energije uzet iz prirode bez pretvorbe ili procesa transformacije. Primarna energija ( $E_p$ ) uključuje neobnovljivu i obnovljivu energiju, a izračunava se iz isporučene i izvezene energije korištenjem pretvorbenih faktora i prikazuje jednadžbom [25]:

$$E_p = \sum(E_{del,i} f_{P,del,i}) - \sum E_{exp,i} f_{P,exp,i} \quad (1)$$

Gdje je:

$E_{del,i}$  - isporučena energija za nositelja energije  $i$

$E_{exp,i}$  - izvezena energija za nositelja energije  $i$

$f_{P,del,i}$  - faktor primarne energije za isporučenu energiju nositelja energije  $i$

$f_{P,exp,i}$  - faktor primarne energije za izvezenu energiju nositelja energije  $i$ .

Sukladno normi HRN EN 15603:2008 koeficijent emisije CO<sub>2</sub> izračunava se za svaku pojedinu pošiljku a predstavlja količinu CO<sub>2</sub> ispuštenu u atmosferu po jedinici isporučene energije a mogu se uključiti i ekvivalentne emisije drugih stakleničkih plinova [25].

Emisije stakleničkih plinova izražene u kg ekvivalenta CO<sub>2</sub> (mCO<sub>2</sub>-eq) povezane su s potrošnjom energije zgrade izračunate na temelju isporučene energije za svaki nositelj plus energije proizvedene na licu mjesta prema HRN ISO 16745-1:2017 [25]:

$$m \text{ CO}_{2\text{-eq}} = \sum((E_{del,ci} \times K_{del,ci}) + (E_{site,ci} \times K_{site,ci})) \quad (2)$$

Gdje je:

$E_{del,ci}$  - isporučena energija za nositelja energije  $del,ci$

$E_{site,ci}$  - energija proizvedena na licu mjesta za nositelja energije  $site,ci$

$K_{del,ci}$  - koeficijent emisije stakleničkih plinova za isporučeni energent  $del,ci$

$K_{site,ci}$  - koeficijent emisije stakleničkih plinova na mjestu nositelja energije  $site,ci$ .

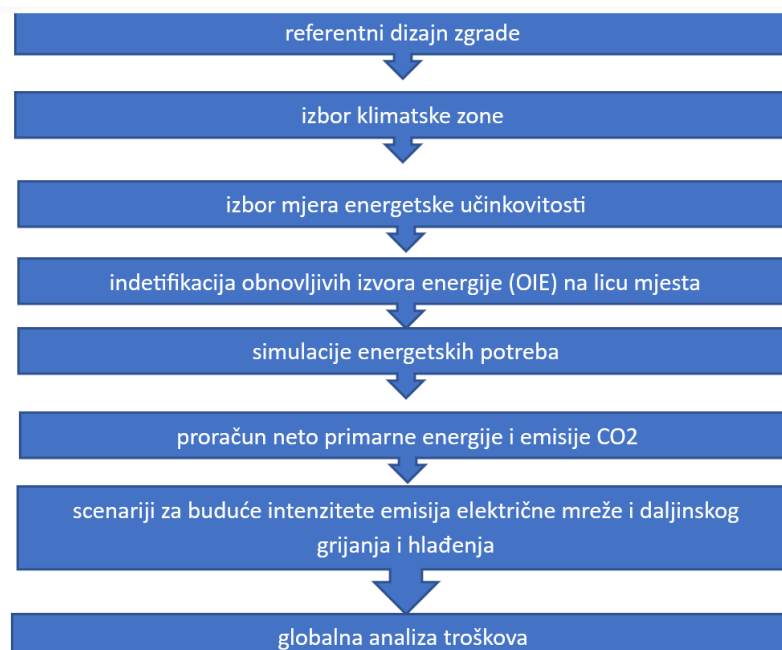
Emisije stakleničkih plinova ( $mCO_2-eq$ ) povezane s izvezenom energijom proizvedenom na licu mjesta dane su sljedećom jednadžbom prema ISO 16745-2:2017 [25]:

$$m CO_{2-eq} = \sum (E_{exp,ci} \times K_{exp,ci}) \quad (3)$$

$E_{exp,ci}$  - izvezena energija za nositelja energije  $exp,ci$

$K_{exp,ci}$  - koeficijent emisije stakleničkih plinova za izvezeni energent  $exp,ci$ .

Slikom 7 dani su glavni koraci u izvođenju numeričkih referentnih vrijednosti za izračun emisije  $CO_2$  i stakleničkih plinova [25].



Slika 7. Glavni koraci za izvođenje numeričkih referentnih vrijednosti [25].

#### 5.4.2 Energija i emisija tijekom životnog ciklusa

Okvir koji je objavila Europska komisija u prosincu 2020. postavlja pokazatelje i smjernice za izvješćivanje o potrošnji energije u fazi uporabe, utjelovljenoj emisiji ugljika i operativnim emisijama ugljika, među ostalim aspektima održivosti.

Prema Dodd-u i koautorima utjelovljene emisije povezane s različitim fazama cijeloživotnog ciklusa zgrade mogu se procijeniti i prijaviti prema pokazatelju „Potencijalu globalnog

zagrijavanja“ (engl. *Global Warming Potential- GWP*) a imaju za cilj kvantificirati ugljični otisak zgrade u smislu ekvivalentne godišnje emisije CO<sub>2</sub> po korisnoj površini poda (kgCO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/god.) [25].

Granica sustava obuhvaća sve faze počevši od proizvodnje materijala do rušenja zgrade i povrata građevinskog materijala. Međutim, okvir uključuje i dva pojednostavljena pristupa. Kvantifikacija potencijala globalnog zatopljenja za nove zgrade u fazi projektiranja omogućuje smanjenje utjelovljenih emisija u svakoj fazi kao i optimalnu ravnotežu između utjelovljenih i pogonskih emisija. Za postojeće zgrade poznavanje već utjelovljenih emisija omogućuje dizajniranje paketa obnove kako bi se uravnotežile i utjelovljene emisije uz operativne emisije. Međutim, procjena sadržanih emisija u postojećoj zgradi može biti teška, čak i nemoguća, u nedostatku potpunih i pouzdanih podataka, što je slučaj s mnogim postojećim zgradama [25].

Nakon izračuna GWP-a životnog ciklusa, razrađuju se scenariji za kompenzaciju preostalih sadržanih emisija u pokušaju postizanja nulte emisije tijekom životnog ciklusa.

Akcijski plan za kružno gospodarstvo također spominje reviziju Uredbe o građevinskim proizvodima (Europska komisija, 2022.), zajedno s drugim radnjama kao što je primjena okvira razine (Europska komisija, 2021.) za integraciju procjene životnog ciklusa u javnosti nabave i održivog financijskog okvira EU-a (Europska komisija, 2020.), te mogućoj reviziji ciljeva uporabe materijala postavljenih u zakonodavstvu EU-a za građevinski otpad i otpad od rušenja. Na slici 8 prikazan je Europski regulatorni okvir za održive zgrade [25].



Slika 8. Regulatorni okvir za održive zgrade u EU [25].

Obuhvaćanje svih emisijama stakleničkih plinova u životnom ciklusu iz građevinskog sektora zahtijeva koordinaciju između različitih instrumenata politike EU-a. Kao što je prije spomenuto, EPBD se usredotočio na radnu potrošnju energije (i povezane emisije), što je dovelo do toga da nove zgrade imaju vrlo visoku energetske učinkovitost. Da bi se održao utjelovljeni utjecaj zgrade primjenjuju se drastične mjere za smanjenje emisija stakleničkih plinova prilikom vađenja sirovina, proizvodnje građevinskih proizvoda, izgradnje i obnove zgrada kroz veću učinkovitost materijala [25].

Revidirana Uredba o građevinskim proizvodima (eng. *Construction Product Regulation Member State- CPR*) definira ekološke obveze za proizvođače, uključujući obvezu deklariranja

GWP-a, čime se omogućuje procjena i izvješćivanje o održivosti zgrada, koristeći europski okvir. Štoviše, nova Uredba oslanja se na digitalizaciju (tj. digitalnu putovnicu proizvoda) za obradu svih informacija o proizvodima čime se osigurava bolja transparentnost i omogućuje pohranjivanje podataka u dnevnik zgrada [25].

Osim toga, EU taksonomija održivog financiranja postavlja zahtjeve doprinosa ublažavanju klimatskih promjena za svaku aktivnost, uključujući izgradnju novih zgrada i obnovu postojećih zgrada. Kriterij značajnog doprinosa je da se GWP životnog ciklusa koji proizlazi od izgradnje zgrade mora izračunati za svaku fazu u životnom ciklusu i objaviti investitorima i klijentima na zahtjev za sve nove zgrade s površinom većom od 5000 m<sup>2</sup> [25].

Daljnji doprinos ograničavanju emisija stakleničkih plinova tijekom životnog ciklusa iz građevinskog sektora mogao bi doći iz paketa „Prilagođeni 55” usvojenog u srpnju 2021., posebno iz prijedloga za proširenje Sustava trgovanja emisijama (eng. *Emission Trading System-ETS*) na zgrade i cestovni promet (ETS II). Trenutačno ETS pokriva oko 30 % emisija zgrada iz grijanja kroz sustavnu pokrivenost daljinskog grijanja i električne energije koja se koristi za grijanje. Novi prijedlog ETS-a pridonio bi rješavanju problema emisija u građevinskom sektoru uvođenjem trgovanja emisijama kao zasebnog samostalnog sustava za sve zgrade počevši od 2025. Inicijativa će nadopuniti Uredbu o podjeli napora (ESR) (Europski parlament i Vijeće, 2018.) koja uspostavlja cilj smanjenja stakleničkih plinova na razini cijele EU i pojedinačne ciljeve za države članice. EPBD, CPR i revidirani ETS mogu djelovati u sinergiji kako bi se uhvatili u koštac s emisijama stakleničkih plinova koje nastaju tijekom različitih faza životnog ciklusa zgrade [25].

## 5.5 Spremnost i potencijal tržišta

Dekarbonizacija građevinskog sektora može se postići samo kombinacijom mjera energetske učinkovitosti, građevinskih materijala s niskim udjelom ugljika i „čistih”/obnovljivih izvora energije.

U fazi projektiranja zgrade identificirana su dva glavna načina za smanjenje utjelovljenih emisija i to: smanjiti što je više moguće volumen materijala i usredotočiti se na strukturne materijale s niskim udjelom ugljika kao što su reciklirani čelik, zeleni beton, masovno drvo itd. Izbor tehnologije obnovljivih izvora energije također mogu imati utjecaj na utjelovljeni ugljik u zgradi što bi trebalo uzeti u obzir u fazi projektiranja [25].

Više od polovice utjelovljenih emisija zgrade nalazi se u njezinim strukturnim elementima, naime u temeljima, gredama, stupovima i zidovima zbog velike količine materijala koji su korišteni, odnosno koriste se materijali s visokim emisijama ugljika kao što su čelik, beton, aluminij i stakla. Građevinska industrija odgovorna je za oko 25 % emisija stakleničkih plinova na globalnoj razini. Konkretno, beton je odgovoran za oko 8 % ukupnog globalnog

stakleničkog plina iz čega proizlazi da je ključni korak prema dekarbonizaciji promjena u procesu proizvodnje ovih osnovnih i naširoko korištenih građevinskih materijala [25].

Cement je drugi najveći svjetski izvor ugljičnog dioksida i odgovoran je za 7 % emisije stakleničkih plinova. Primjenom betona s niskim udjelom ugljika u zgradama temelj je za dekarbonizaciju industrije cementa. Trenutačno su ključne strategije za smanjenje emisija u procesu proizvodnje cementa prelazak na goriva s niskim udjelom ugljika dobivena iz otpada i razvoj nove formule za cement koji smanjuje udio klinkera i uključuje upotrebu sirovina. Također, korištenje tehnologija za hvatanje, korištenje i skladištenje ugljika (eng. *Carbon Capture, Utilisation and Storage-CCUS*) moglo bi doprinijeti procesu dekarbonizacije. Osim toga, dvojna uloga cementa u globalnom ciklusu emisija mogla bi se razmotriti. Cement je prepoznat kao potencijalno značajan ponor ugljika zbog reapsorpcije ugljika u proizvodima na bazi cementa tijekom karbonizacije. Studije pokazuju da je veličina takve sekvestracije ugljika slična aktivnoj CCUS sekvestraciji, što ukazuje da politike usmjerene na dekarbonizaciju cementne industrije trebaju uzeti u obzir spužvasti učinak cementa [25].

Što se tiče industrije čelika, iako je čelik jedan od materijala koji se danas najviše reciklira (od 80 do 90 %), reciklirane količine nisu dovoljne da zadovolje proizvodne potrebe. Izravni intenzitet ugljika u proizvodnji čelika bio je relativno konstantan posljednjih nekoliko godina. Niskougljična goriva, izravna elektrifikacija i CCUS tehnologije održivi su putevi za smanjenje emisija ugljika u procesu proizvodnje čelika. U planu održivog razvoja IEA (eng. *International Energy Agency, IEA*) koja predviđa smanjenje emisija u proizvodnji čelika do 2050. za oko 60 % gdje se 30 % procjenjuje na temelju tehnologija koje su danas samo u fazi prototipa, u nadolazećim godinama inovacije će biti ključne za smanjenje intenziteta ugljika u proizvodnji čelika [25]. Unatoč činjenici da su dostupne tehnologije za dekarbonizaciju proizvodnih procesa s visokim udjelom ugljika, njihova je cijena glavna prepreka u globalnom uvođenju. Općenito, mnoge inovativne tehnologije za proizvodnju materijala s niskim udjelom ugljika imaju veće troškove od onih s intenzivnim ugljikom, što čini njihov prodor na tržište izazovnim u većem opsegu. U sektoru građevinskih materijala planiraju se promjene s ciljem postizanja ugljične neutralnosti do 2050., za što će biti potreban dug period da se proizvodni proces materijala u određenoj mjeri dekarbonizira [25].

Ovaj problem bi se mogao riješiti određivanjem cijena ugljika, čineći materijale s visokim udjelom ugljika manje privlačnima od onih s niskim udjelom ugljika. EK priznaje da je određivanje cijena ugljika ključno političko oruđe u strategiji za postizanje ciljeva Pariškog sporazuma. Donedavno cijena ugljika u EU-u bila je preniska da bi dovela do važnih promjena. Potaknuta oporavkom nakon pandemije i ruskim ratom u Ukrajini, cijena ugljika u EU gotovo se utrostručila u 2022. (98 eura po toni CO<sub>2</sub>). Međutim, bez dodatne potpore politike čak i uz više cijene ugljika, većina tehnologija s niskim udjelom ugljika neće biti ekonomski održiva prije 2030. Potrebna je intenzivna podrška politike od proizvodnje do krajnje uporabe kako bi te tehnologije s niskim udjelom ugljika mogle utjecati na tržište prema uspješnom ostvarenju Pariškog sporazuma [25].

## 6 MOBILNA KUĆICA

### 6.1 Pojam mobilne kućice

Pod pojmom mobilne kućice, a neki autori je nazivaju i “pokretna kućica” (eng. *mobile home*), podrazumjeva se opremu za smještaj na otvorenom prostoru. Definicija se razlikuje od zemlje do zemlje tako se npr. u Velikoj Britaniji mobilna kućica definira kao objekt u kojoj žive ljudi, a obično je postavljena na jednom mjestu s mogućnošću da se po potrebi može premjestiti i na drugo mjesto uz primjenu vozila. U nekim slučajevima mobilne kućice imaju i vlastiti pogon. U nekim zemljama kao što su SAD, mobilne kućice se definiraju kao prostor koji je jeftin, jednostavan i povoljan za stanovanje. Prema svim definicijama mobilna kućica se podrazumjeva kao stambena konstrukcija koja se najčešće postavlja na čelični okvir. Ono što ih razlikuje od ostalih građevinskih zgrada je to da se mobilna kućica mora transportirati do mjesta postavljanja. Također, ne smiju se samostalno voziti cestom kao ostala kamp vozila. Danas su mobilne kućice najnovije u nizu inovacija prijenosne opreme za kampiranje koje nude visoku razinu udobnosti. Broj mobilnih kućica svakim danom je u porastu i sve više su u primjeni u svim zemljama. [31].

Prema Zakonu o gradnji (NN 125/2019) koji definira pojam građevine, proizlazi da mobilne kućice nisu građevina, već su objekt koji ne zahtijeva građenje kako je definirano u čl. 2, stavak 10. Mobilne kućice nemaju fiksnu lokaciju te za njihovo postavljanje nije potrebna građevinska ili lokacijska dozvola kako je to zakonom propisano za građevinske zgrade. Prema Pravilniku o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN112/2017) koji spominje druge vrste građevina poput skladišta, sjenica, plastenika, itd. ni tu nije uključena mobilna kuća. Za spomenute objekte nije potrebna građevinska dozvola ali je potrebno izraditi projekt. Iz svega navedenog, mobilna kućica se može definirati kao gotovi proizvod koji je pokretan, a izrađuje se u pravilu na industrijski način te kao gotov proizvod postavlja na mjesto privremenog ili stalnog boravka. Mobilne kućice su najčešće smještene u kampovima i nisu trajno pričvršćene za tlo već se po potrebi mogu pomicati pa i ukloniti sa smještajne jedinice na kojoj se nalazi [31].

## 6.2 Opis analiziranih mobilnih kućica

U ovom radu proveden je proračun potrošnje energije za grijanja i hlađenja kao i emisija CO<sub>2</sub> za tri varijante mobilnih kućica. Sve tri mobilne kućice imaju istu vanjsku i unutarnju površinu. Vanjska površina iznosi 21,1 m<sup>2</sup>, dok je unutarnja površina 18,8 m<sup>2</sup>. Analizirane mobilne kućice izrađene su od različitih materijala i to:

- 1) kuća s konstrukcijskim elementima u kombinaciji čelika i drveta te je s tri strane obložena staklom
- 2) kuća s konstrukcijskim elementima od CLT te je s tri strane obložena staklom
- 3) kuća s konstrukcijskim elementima u kombinaciji čelika i drva te je s jedne strane obložena staklom.

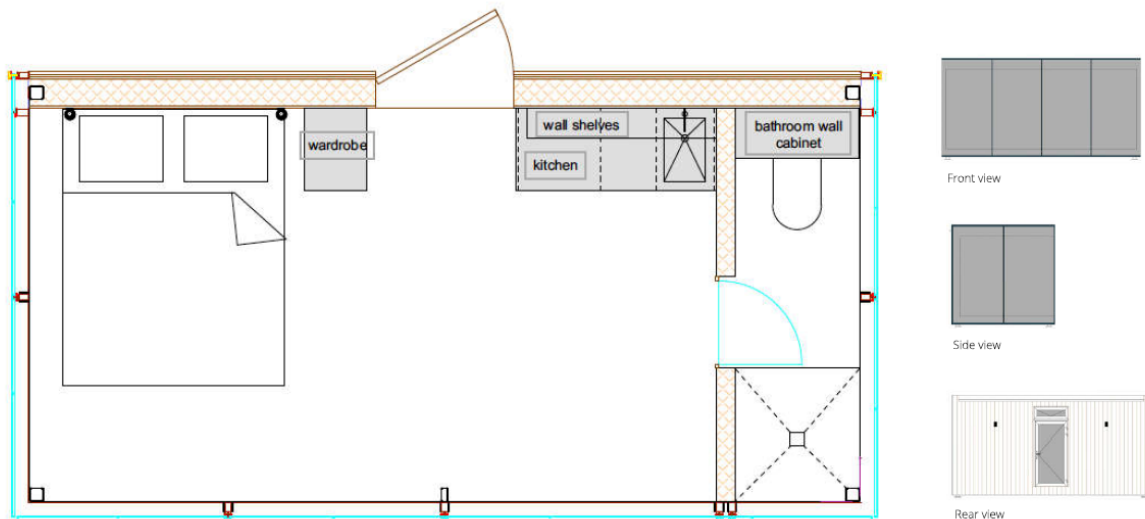
Mobilne kućice namjenjene su za odmor (hotel), a smještene su u planinskom dijelu točnije u gradu Gospiću. Na slici 9 je dan izgled jedne mobilne kućice [32].



Slika 9. Mobilna kućica [32].

Slikom 10. dan je tlocrt mobilnih kućica, a u tablici 4 dane su dimenzije mobilnih kućica.



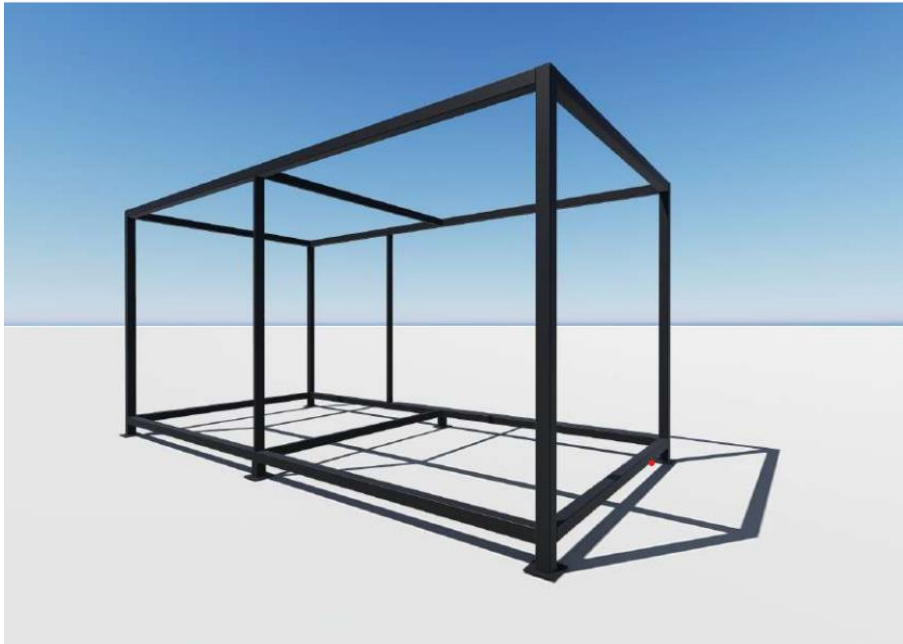


Slika 10. Tlocrt mobilne kućice [32].

Tablica 4. Dimenzije mobilnih kućica

	Mobilna kućica 1	Mobilna kućica 2	Mobilna kućica 3
Vanjska površina, m <sup>2</sup>	21,1	21,1	21,1
Unutarnja površina, m <sup>2</sup>	18,8	18,8	18,8
Dužina, m	6,32	6,32	6,32
Širina, m	3,33	3,33	3,33
Visina, m	3,13	3,13	3,13
Volumen, m <sup>3</sup>	65,87	65,87	65,87
Masa, kg	~ 6800	~ 3000	~ 3500

Prikaz konstrukcije mobilne kućice 1 te ugrađenog materijala dan je slikama od 11 do 16.



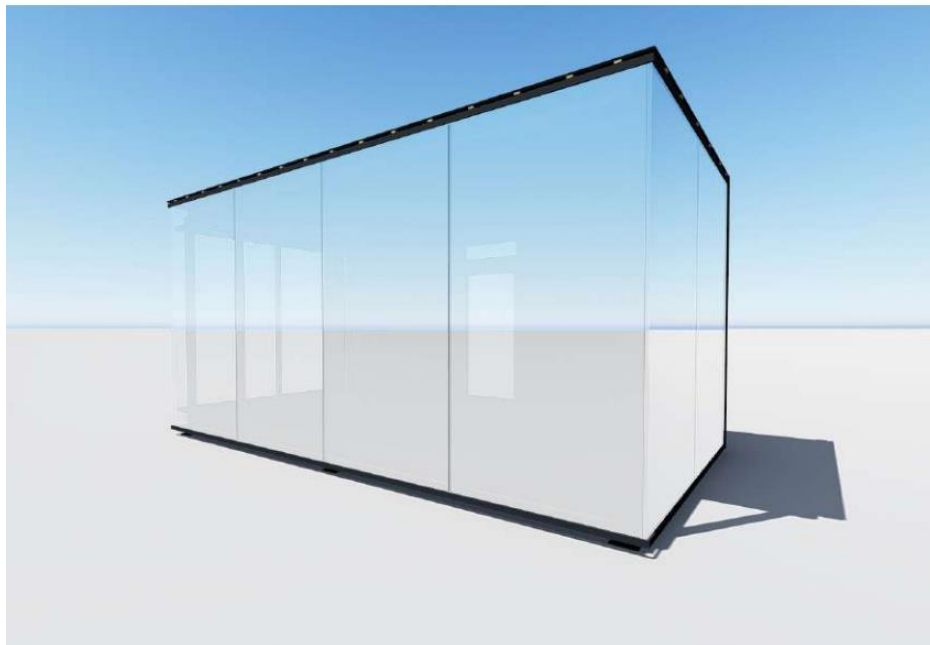
Slika 11. Pocinčani i obojeni čelični okvir s vješalicama za grede i vijke [32].



Slika 12. Drveni okvir za pod, strop i zidne konstrukcije [32].



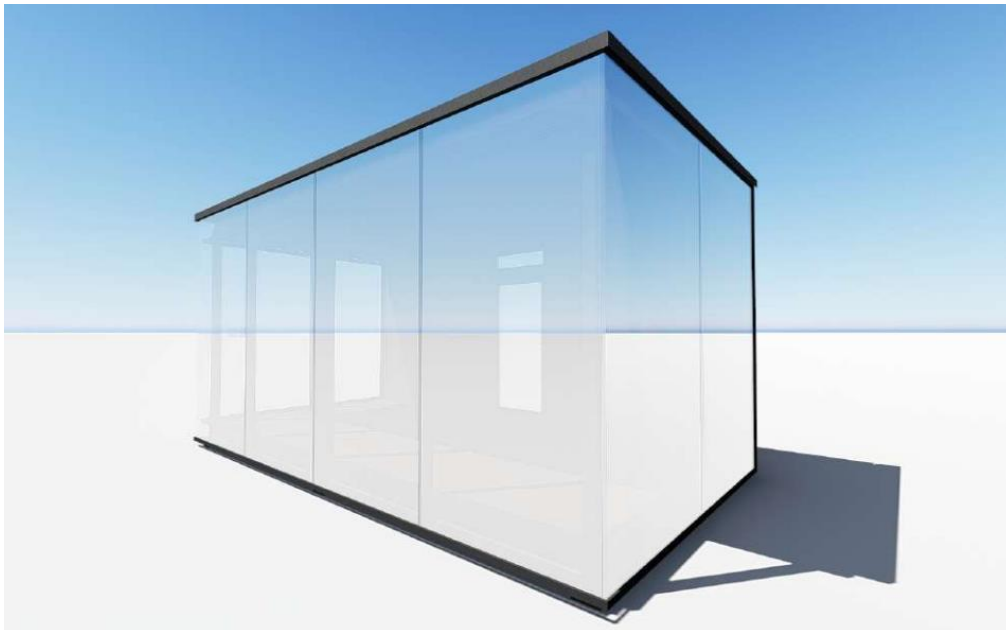
Slika 13. Aluminijski fasadni sustav za dvoslojna izo stakla (antracit) [32].



Slika 14. 3 - strane izrađene od dvoslojne izo staklene jedinice (6mm+6mm/punjene argonom) s reflektirajućim premazom [32].



Slika 15. 1 strana izrađena od brodske šperploče debljine 15 mm, obložena tvrdim drvetom od termički modificiranog jasena. Vrata i prozori su s aluminijskim okvirom [32].



Slika 16. Sustav oluka, krovne kape [32].

## 7 PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE I EMISIJE CO<sub>2</sub>

### 7.1 Podaci potrebni za proračun u KI Expert programu

Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje se temelji na normi HRN EN ISO 13790 [33]. Prema uputama iz norme izračunava se energija za grijanje i hlađenje, te isporučena i primarna energija. Koristeći upute iz algoritma za proračun ukupne potrošnje energije dobiva se teorijska vrijednost potrošnje energije u određenoj zoni. Postupci proračuna godišnje potrebne energije dani su u nastavku poglavlja.

#### *Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje*

Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje  $Q_{H,nd}$  je računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade. Potrebna toplinska energija za grijanje dana je izrazom [33]:

$$Q_{H,nd} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{Hgr}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad (4)$$

Gdje je:

$Q_{Tr}$  – izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu (kWh)

$Q_{Ve}$  – potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu (kWh)

$\eta_{Hgr}$  – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka,

$Q_{int}$  – unutarnji toplinski dobitci zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta) (kWh)

$Q_{sol}$  – toplinski dobitci od Sunčeva zračenja (kWh)

Mobilne kućice koji se obrađuju u ovom radu su definirane kao prostor za odmor te je u njima kao takvima predviđen sustav grijanja koji radi s prekidima tj. sustav s kraćim prekidima (dnevni/noćni režim). Stoga se potrebna toplinska energija za grijanje zgrade/zone u i-tom mjesecu računa kao sustav s nekontinuiranim radom (s prekidom tijekom noći):

$$Q_{H,nd,a} = \sum \alpha_{H,red,i} \cdot Q_{H,nd,cont,m,i} \cdot L_{H,m,i} / d_{m,i} \quad (5)$$

Gdje je:

$Q_{H,nd,a}$  – ukupna toplinska energije za grijanje zgrade (zone) pri nekontinuiranom radu u periodu grijanja (kWh/a)

$\alpha_{H,red,i}$  – redukcijski faktor koji uzima u obzir prekide u grijanju u i-tom mjesecu

$d_{m,i}$  – ukupan broj dana u i-tom mjesecu (d/mj)

$L_{H,m,i}$  – broj dana rada sustava grijanja u i-tom mjesecu (d/mj).

### Godišnja potrebna energija za hlađenje

Godišnja potrebna energija za hlađenje  $Q_{C,nd}$  je računski određena količina energije potrebne tijekom jedne godine za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja hlađenja zgrade. Proračun potrebne toplinske energije za hlađenje dana je izrazom [33]:

$$Q_{C,nd} = Q_{int} + Q_{sol} - \eta_{C,Is}Q_{Tr} + Q_{Ve} \quad (6)$$

Gdje je:

$\eta_{C,Is}$  – faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja.

Vrijeme rada sustava hlađenja s normalnom postavnom vrijednošću iznosi  $t_d = 24$  h/d za stambene zgrade za sustave bez prekida rada tijekom noći, a za sustave s prekidom rada tijekom noći iznosi  $t_d = 15$  h/d (od 08:00 do 23:00 sati). Godišnja vrijednost potrebne energije za hlađenje odabrane zone  $Q_{C,nd,a}$  (kWh/a), izračunava se kao suma pozitivnih mjesečnih vrijednosti [33]:

$$Q_{C,nd,a} = \sum \alpha_{C,red,i} Q_{C,nd,m,i} L_{C,m,i} / d_{m,i} \quad (7)$$

Gdje je:

$L_{C,m,i}$  – broj dana rada sustava hlađenja u i-tom mjesecu (d/mj)

$\alpha_{C,red,i}$  – bezdimenzijski redukcijski faktor koji uzima u obzir prekide u hlađenju.

### 7.1.2 Klimatski podaci

Predmetne mobilne kućice se nalazi u Gospiću te je za referentnu postaju u računalnom programu „KI Expert Plus“ odabrana postaja Gospić. Klimatološki podaci za referentnu postaju Gospić su dani u tablici 5.

Prema referentnoj postaji mobilne kućice se nalazi u 2. zoni globalnog Sunčevog zračenja sa srednjom mjesečnom temperaturom vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade  $\theta_{e,mj,min} \leq 3^\circ\text{C}$  i unutarnjom temperaturom  $\theta \geq 18^\circ\text{C}$ , tablica 6.

Tablica 5. Klimatološki podaci po mjesecima za referentnu postaju Gospić

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
<b>Temperature zraka (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>													
m	-0,6	0,7	4,5	8,8	14	17,7	19,6	19,2	13,7	9,8	5,2	0,2	9,4
min	-17,2	-12,7	-13,4	-3,7	1,3	6,8	9,5	8,9	5,1	-3,2	-8,6	-15,4	-17,2
max	12	10,7	17	18,2	23,4	25,6	26,6	26,1	23,6	20,2	17,1	13,3	26,6

<b>Tlak vodene pare (Pa)</b>													
m	500	540	620	780	1080	1340	1450	1440	1230	960	730	560	939,9999

<b>Relativna vlažnost zraka (%)</b>													
m	81	74	70	68	67	66	64	66	75	77	80	82	73

<b>Brzina vjetra (m/s)</b>													
m	1,2	1,5	1,6	1,8	1,4	1,2	1,1	1	1	1,3	1,5	1,3	1,3

<b>Broj dana grijanja</b>													
Temperatura vanjskog zraka											$\leq 10^\circ\text{C}$	182,4	
											$\leq 12^\circ\text{C}$	197,6	
											$\leq 15^\circ\text{C}$	209,3	

Tablica 6. Globalno Sunčevo zračenje

Orij	[ $^\circ$ ]	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
<b>Globalno Sunčevo zračenje (<math>\text{MJ/m}^2</math>)</b>														
S	0	123	176	345	452	609	641	688	629	421	271	137	96	4589
	15	149	206	384	473	613	632	685	654	465	320	166	116	4862
	30	169	226	405	474	592	601	656	649	486	354	188	131	4930
	45	181	236	408	454	547	547	600	614	484	370	200	140	4781
	60	184	235	392	414	482	473	522	552	458	368	203	143	4427
	75	179	223	357	359	401	387	427	467	410	348	197	139	3891
	90	165	200	307	290	310	294	323	365	344	310	180	128	3216
SE, SW	0	123	176	345	452	609	641	688	629	421	271	137	96	4589
	15	141	197	372	468	612	635	686	648	452	305	157	109	4783
	30	153	209	386	468	597	611	666	646	467	327	171	119	4821
	45	159	213	385	451	563	570	624	621	464	335	177	123	4685
	60	158	208	368	419	511	511	563	573	441	328	175	122	4377
	75	150	194	336	373	445	440	486	506	400	306	166	116	3917
	90	135	172	292	316	369	361	400	424	345	271	149	105	3341
E, W	0	123	176	345	452	609	641	688	629	421	271	137	96	4589
	30	122	173	336	436	583	611	657	607	411	268	136	95	4433
	45	118	167	323	416	552	576	621	579	395	260	132	91	4230

	60	111	157	303	386	509	529	573	538	371	246	124	86	3933
	75	102	144	275	347	456	473	513	486	338	225	114	78	3550
	90		15	123	176	343	449	602	632	679	624	419	271	4137
NE, NW	0	123	176	345	452	609	641	688	629	421	271	137	96	4589
	15	104	153	308	424	587	625	666	590	378	232	116	82	4264
	30	90	133	271	384	542	584	617	533	331	197	100	72	3854
	45	76	117	239	342	487	526	552	471	290	172	84	63	3420
	60	69	95	207	304	432	467	489	415	254	136	74	57	3000
	75	62	83	157	257	378	410	429	356	196	110	67	51	2556
	90	54	73	128	186	294	329	336	255	140	98	59	45	1996
E, N	0	123	176	345	452	609	641	688	629	421	271	137	96	4589
	15	92	140	291	411	575	614	652	572	358	210	103	73	4090
	30	80	107	226	352	508	550	576	484	280	147	86	67	3462
	45	75	100	173	279	419	459	472	374	197	130	130	63	2823
	60	69	92	157	208	316	353	351	253	164	120	74	57	2216
	75	62	83	143	183	230	239	234	203	151	110	67	51	1756
	90	54	73	128	164	208	214	214	187	137	98	59	45	1581

### 7.1.3 Namjena zgrade i podjela u toplinske zone

Već je spomenuto da je namjena zgrade nestambena tj. namjenjene su za odmor (hotel), sve tri mobilne kućice tretirane su kao jedna zona, a griju se na prosječnu unutarnju temperaturu od 20 °C, a unutarnja temperatura hlađenja je 22 °C. U tablici 7 dani su svi podaci o namjeni, temperaturi i dr. parametri za sve tri mobilne kućice.

Tablica 7. Podaci o mobilnim kućicama

Toplinska zona 1-mobilna kućica 1		
<b>Naziv zone</b>	<b>ZONA 1 VAR.1</b>	
Namjena zone	Nestambeni dio	
Vrsta zgrade	Hoteli i restorani	
Vrsta prostora	Ostalo (ručni unos)	
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja	$\Theta_{int,set,H}$ [°C]	20,00
Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja	$\Theta_{int,set,C}$ [°C]	22,00
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade	$\Theta_{e,mj,max}$ [°C]	19,60
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade	$\Theta_{e,mj,min}$ [°C]	-0,60
Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone	$\varphi_e$ [%]	73,00
Relativna unutarnja vlažnost zraka	$\varphi_i$ [%]	50,00
Vrijeme rada sustava	Hoteli, moteli i sl.	
Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje	00:00 - 24:00	
Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju	00:00 - 24:00	
Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu	$d_{use,tj}$ [dan/tj]	7,00
Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja	$t_d$ [h]	24,00
Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju	$t_{kor}$ [h]	24,00
Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije	$t_{v,mech}$ [h]	24,00
Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine	$V_A$ [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h]	3,00
Toplinska zona 2-mobilna kućica 2		



Naziv zone	ZONA 2 VAR 2	
Namjena zone	Nestambeni dio	
Vrsta zgrade	Hoteli i restorani	
Vrsta prostora	Ostalo (ručni unos)	
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja	$\Theta_{\text{int,set,H}} [^{\circ}\text{C}]$	20,00
Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja	$\Theta_{\text{int,set,C}} [^{\circ}\text{C}]$	22,00
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade	$\Theta_{\text{e,mj,max}} [^{\circ}\text{C}]$	19,60
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade	$\Theta_{\text{e,mj,min}} [^{\circ}\text{C}]$	-0,60
Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone	$\varphi_{\text{e}} [\%]$	73,00
Relativna unutarnja vlažnost zraka	$\varphi_{\text{i}} [\%]$	50,00
Vrijeme rada sustava	Hoteli, moteli i sl.	
Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje	00:00 - 24:00	
Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju	00:00 - 24:00	
Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu	$d_{\text{use,tj}} [\text{dan/tj}]$	7,00
Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja	$t_{\text{d}} [\text{h}]$	24,00
Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju	$t_{\text{kor}} [\text{h}]$	24,00
Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije	$t_{\text{v,mech}} [\text{h}]$	24,00
Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine	$V_{\text{A}} [\text{m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}]$	3,00
<b>Toplinska zona 3-mobilna kućica 3</b>		
Naziv zone	ZONA 3 VAR 3	
Namjena zone	Nestambeni dio	
Vrsta zgrade	Hoteli i restorani	
Vrsta prostora	Ostalo (ručni unos)	
Unutarnja projektna temperatura u sezoni grijanja	$\Theta_{\text{int,set,H}} [^{\circ}\text{C}]$	20,00
Unutarnja projektna temperatura u sezoni hlađenja	$\Theta_{\text{int,set,C}} [^{\circ}\text{C}]$	22,00
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade	$\Theta_{\text{e,mj,max}} [^{\circ}\text{C}]$	19,60
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade	$\Theta_{\text{e,mj,min}} [^{\circ}\text{C}]$	-0,60
Srednja godišnja vlažnost zraka izvan zone	$\varphi_{\text{e}} [\%]$	73,00
Relativna unutarnja vlažnost zraka	$\varphi_{\text{i}} [\%]$	50,00
Vrijeme rada sustava	Hoteli, moteli i sl.	
Period korištenja sustava za grijanje/hlađenje	00:00 - 24:00	
Period korištenja sustava za mehaničku ventilaciju	00:00 - 24:00	
Broj dana korištenja sustava grijanja/hlađenja u tjednu	$d_{\text{use,tj}} [\text{dan/tj}]$	7,00
Broj sati rada sustava grijanja/hlađenja	$t_{\text{d}} [\text{h}]$	24,00
Broj sati korištenja prostora za mehaničku ventilaciju	$t_{\text{kor}} [\text{h}]$	24,00
Broj sati rada sustava mehaničke ventilacije/klimatizacije	$t_{\text{v,mech}} [\text{h}]$	24,00
Minimalno potrebni protok vanjskog zraka po jedinici površine	$V_{\text{A}} [\text{m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}]$	3,00

### 7.1.4 Geometrijske karakteristike

Kako bi se odredila godišnja potrebna energija, za grijanje i hlađenje, potrebno je, na osnovu zadane vanjske ovojnice i grijane zone, odrediti geometrijske karakteristike predmetnih kućica.

U tablic 8. su dani uvjeti i status koji su ispunjeni za sve tri mobilne kućice. Tablicom 9. dan je prikaz geometrijskih karakteristika za sve tri kućice.

Tablica 8. Parametri koji su ispunjeni za sve tri mobilne kućice

Uvjet	Status
Koeficijenti prolaska topline	ZADOVOLJAVA
Difuzija	ZADOVOLJAVA
Dinamičke toplinske karakteristike	ZADOVOLJAVA
Korisna energija	NE ZADOVOLJAVA
Primarna energija	ZADOVOLJAVA

Tablica 9. Geometrijske karakteristike mobilnih kućica

Potrebni podaci	Zona 1, Zone 2 i Zone 3
Oplošje grijanog dijela zgrade – $A$ [ $m^2$ ]	97,24
Obujam grijanog dijela zgrade – $V_e$ [ $m^3$ ]	47,27
Obujam grijanog zraka – $V$ [ $m^3$ ]	41,27
Faktor oblika zgrade – $f_o$ [ $m^{-1}$ ]	2,06
Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade – $A_k$ [ $m^2$ ]	18,80
Proračunska korisna površina grijanog dijela zgrade – $A_{k'}$ [ $m^2$ ]	18,80
Ukupna ploština pročelja – $A_{uk}$ [ $m^2$ ]	78,44
Ukupna ploština prozora – $A_{wuk}$ [ $m^2$ ]	43,04

Gdje je:

- $A$  - Oplošje grijanog dijela zgrade,  $A$  ( $m^2$ ), jest ukupna ploština građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, tla ili negrijanih dijelova zgrade (ovojnica grijanog dijela zgrade), uređena prema HRN EN ISO 13789:2008, dodatak B, za slučaj vanjskih dimenzija građevnih dijelova.
- $V_e$  - Obujam grijanog dijela zgrade,  $V_e$  ( $m^3$ ), jest bruto obujam, obujam grijanog dijela zgrade kojemu je oplošje  $A$  ( $m^2$ ).
- $V$  - Obujam grijanog zraka,  $V$  ( $m^3$ ), jest neto obujam, obujam grijanog dijela zgrade u kojem se nalazi zrak. Taj se obujam određuje koristeći unutarnje dimenzije ili prema približnom izrazu  $V = 0,76 \times V_e$  za zgrade do tri etaže, odnosno  $V = 0,8 \times V_e$  u ostalim slučajevima.
- $f_o$  - Faktor oblika zgrade,  $f_o = A/V_e$  ( $m^{-1}$ ), jest količnik oplošja,  $A$  ( $m^2$ ), i obujma,  $V_e$  ( $m^3$ ), grijanog dijela zgrade.

- $A_k$  - Ploština korisne površine grijanog dijela zgrade,  $A_k(m^2)$ , jest ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela.

### 7.1.5 Građevni dijelovi zgrade slojevi i obrada

Definirani slojevi građevnog dijela (u smjeru toplinskog toka) prikazani za građevne dijelove grupirane prema zonama i vrsti građevnog dijela za analizirane mobilne kućice. U tablicama 10, 11 i 12 dani su podaci za mobilnu kućicu 1. U tablicama 13 i 14 dani su otvori na mobilnoj kućici 1 kao i podaci o definiranim prostorijama s najvećim udjelom ostakljenja u površini pročelja te tablica 15 s podacima koji su uzeti za proračun.

Tablica 10. Mobilna kućica 1- vanjski zid

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.01 Gipskartonske ploče	1,500	0,250	8,00	0,12	900,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
3	HOMESEAL LDS 35 parna	0,050	0,500	205000,00	50,00	520,00
4	Heterogeni sloj	19,500	0,000	0,00	0,00	0,00
5	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
6	7.01 Mineralna vuna (MW)	6,000	0,035	1,00	0,06	100,00
7	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna- vodonepropusna	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
8	Dobro provjetran sloj zraka	2,000	-	1,00	0,01	-
9	4.06 Drvo - tvrdo - bjelogorica	2,000	0,180	200,00	4,00	700,00
Definirane ploštine [m <sup>2</sup> ]:				Sjever	16,60	

Tablica 11. Mobilna kućica 1- pod

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.03 Keramičke pločice	1,000	1,300	200,00	2,00	2300,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	2,200	0,130	50,00	1,10	650,00
3	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna- vodonepropusna	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
4	7.01 Mineralna vuna (MW)	19,500	0,038	1,00	0,20	135,00
5	Bitumenska ljepenka (traka)	0,500	0,230	50000,00	250,00	1100,00
6	Šperploča	1,500	0,130	200,00	3,00	500,00
Definirana ploština [m <sup>2</sup> ]:					18,80	

Tablica 12. Mobilna kućica 1-strop

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.01 Gipskartonske ploče	1,500	0,250	8,00	0,12	900,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
3	HOMESEAL LDS 35 parna	0,050	0,500	205000,00	50,00	520,00
4	7.01 Mineralna vuna (MW)	19,500	0,038	1,00	0,20	135,00
5	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna- vodonepropusna	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
6	Dobro provjetran sloj zraka	1,500	-	1,00	0,01	-
7	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
8	Bitumenska ljepenka (traka)	0,850	0,230	50000,00	425,00	1100,00
Definirana ploština [m <sup>2</sup> ]:						18,80

Tablica 13. Mobilna kućica 1- otvori zgrade

Naziv otvora	Uw [W/m <sup>2</sup> ]	Orijentacija	Aw [m <sup>2</sup> ]	n
ulazna vrata	1,40	Sjever	2,77	1,00
fasada (staklene stijenke)	0,73	Istok	1,00	10,45
	0,73	Zapad	1,00	10,45
	0,73	Jug	1,00	19,37

Tablica 14. Mobilna kućica 1-orijentacija i ostakljenja u površini pročelja

Naziv prostorije	Orijentacija	A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ]	f	g <sub>tot</sub> f	max	Zadovoljava
staklo 1 zona 1	Istok	10,45	0,95	0,09	0,03	0,25	Da
staklo 2 zona1	Zapad	10,45	0,95	0,09	0,03	0,25	Da
staklo3 zona 1	Jug	19,37	0,95	0,05	0,01	0,25	Da

Tablica 15. Mobilna kućica 1-podaci o otvorima uzeti u proračun

Podaci o otvorima koji su uzeti u obzir prilikom navedenog proračuna.

Naziv prostorije	Naziv otvora	f <sub>c</sub>	A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ]	g <sub>⊥</sub>	n
staklo 1 zona 1	fasada (staklene stijenke)	0,90	0,95	0,36	1
staklo 2 zona1	fasada (staklene stijenke)	0,90	0,95	0,36	1
staklo3 zona 1	fasada (staklene stijenke)	0,90	0,95	0,36	1

U tablici 16 dani su podaci o sustavu grijanja i energentu za grijanje za mobilnu kućicu 1.

Tablica 16. Sustav grijanja i energent

Sustav grijanja:	Centralno
Vrijeme rada sustava:	Hoteli, moteli i sl.
Udio vremena s definiranom unutarnjom temperaturom – $f_{H,hr}$	0,39
Omjer dana u tjednu s definiranom unutarnjom temperaturom (za hlađenje) – $f_{C,day}$ :	0,71
Vrsta energenta za grijanje:	Električna energija
Vrsta i način korištenja obnovljivih izvora energije:	
Udio obnovljive energije u isporučenoj energiji [%]:	100,00

U tablici 17, 18 i 19 dani su podaci o građevnim materijalima za mobilnu kućicu 2. U tablicama 20 i 21 dani su otvori na mobilnoj kućici 2 kao i podaci o definiranim prostorijama s najvećim udjelom ostakljenja u površini pročelja te tablica 22 s podacima koji su uzeti za proračun.

Tablica 17. Mobilna kućica 2- vanjski zid

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.01 Gipskartonske ploče	1,500	0,250	8,00	0,12	900,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
3	HOMESEAL LDS 35 parna	0,050	0,500	205000,00	50,00	520,00
4	4.06 Drvo - tvrdo - bjelogorica	18,000	0,180	200,00	36,00	700,00
5	7.01 Mineralna vuna (MW)	7,500	0,038	1,00	0,08	135,00
6	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
7	Dobro provjetravan sloj zraka	2,000	-	1,00	0,01	-
8	4.06 Drvo - tvrdo - bjelogorica	2,000	0,180	200,00	4,00	700,00
Definirane ploštine [m <sup>2</sup> ]:				Sjever	16,60	

Tablica 18. Mobilna kućica 2- pod

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.03 Keramičke pločice	1,000	1,300	200,00	2,00	2300,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	2,200	0,130	50,00	1,10	650,00
3	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
4	4.06 Drvo - tvrdo - bjelogorica	10,000	0,180	200,00	20,00	700,00
5	7.01 Mineralna vuna (MW)	19,500	0,034	1,00	0,20	25,00
6	Bitumenska ljepenka (traka)	0,500	0,230	50000,00	250,00	1100,00
7	Šperploča	1,500	0,090	150,00	2,25	300,00
Definirana ploština [m <sup>2</sup> ]:					18,80	

Tablica 19. Mobilna kućica 2- strop

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.01 Gipskartonske ploče	1,500	0,250	8,00	0,12	900,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
3	HOMESEAL LDS 35 parna	0,050	0,500	205000,00	50,00	520,00
4	4.06 Drvo - tvrdo - bjelogorica	10,000	0,180	200,00	20,00	700,00
5	7.01 Mineralna vuna (MW)	19,500	0,034	1,00	0,20	25,00
6	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna-	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
7	Dobro provjetravan sloj zraka	1,500	-	1,00	0,01	-
8	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
9	Bitumenska ljepenka (traka)	0,850	0,230	50000,00	425,00	1100,00
Definirana ploština [m <sup>2</sup> ]:						18,80

Tablica 20. Mobilna kućica 2- otvori zgrade

Naziv otvora	Uw [W/m <sup>2</sup> K]	Orijentacija	Aw [m <sup>2</sup> ]	n
ulazna vrata	1,40	Sjever	2,77	1,00
fasada (staklene stijenke)	0,73	Istok	1,00	10,45
	0,73	Zapad	1,00	10,45
	0,73	Jug	1,00	19,37

Tablica 21. Mobilna kućica 2- orijentacija i ostakljenja u površini pročelja

Naziv prostorije	Orijentacija	A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ]	f	g <sub>tot f</sub>	max	Zadovoljava
staklo1	Istok	10,45	0,80	0,08	0,02	0,25	Da
staklo 2	Zapad	10,45	0,80	0,08	0,02	0,25	Da
staklo 3	Jug	19,37	0,80	0,04	0,01	0,25	Da

Tablica 22. Mobilna kućica 2- podaci uzeti u proračun

Naziv prostorije	Naziv otvora	fc	A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ]	g <sub>⊥</sub>	n
staklo1	fasada (staklene stijenke)	0,90	0,80	0,36	1
staklo 2	fasada (staklene stijenke)	0,90	0,80	0,36	1
staklo 3	fasada (staklene stijenke)	0,90	0,80	0,36	1

U tablici 23 dani su podaci o sustavu grijanja i energentu za grijanje za mobilnu kućicu 2.

Tablica 23. Sustav grijanja i emergent

Sustav grijanja:	Centralno
Vrijeme rada sustava:	Hoteli, moteli i sl.
Udio vremena s definiranom unutarnjom temperaturom – $f_{H,hr}$	1,00
Omjer dana u tjednu s definiranom unutarnjom temperaturom (za hlađenje) – $f_{C,day}$ :	1,00
Vrsta energenta za grijanje:	Električna energija
Vrsta i način korištenja obnovljivih izvora energije:	
Udio obnovljive energije u isporučenoj energiji [%]:	61,85

U tablicama 24, 25 i 26 dani su podaci o građevnom materijalu za mobilnu kućicu 3. U tablici 27 dani su podaci o otvorima na mobilnoj kućici 3 kao i podaci o definiranim prostorijama s najvećim udjelom ostakljenja u površini pročelja (tablica 28) te tablica 29 s podacima koji su uzeti za proračun.

Tablica 24. Mobilna kućica 3- vanjski zid

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.01 Gipskartonske ploče	1,500	0,250	8,00	0,12	900,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
3	HOMESEAL LDS 35 parna	0,050	0,500	205000,00	50,00	520,00
4	Heterogeni sloj	19,500	0,000	0,00	0,00	0,00
5	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
6	7.01 Mineralna vuna (MW)	6,000	0,034	1,00	0,06	25,00
7	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna- vodonepropusna	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
8	Dobro provjetran sloj zraka	2,000	-	1,00	0,01	-
9	4.06 Drvo - tvrdo - bjelogorica	2,000	0,180	200,00	4,00	700,00
Definirane ploštine [m <sup>2</sup> ]:					Istok	10,45
					Sjever	16,60
					Zapad	10,45

Tablica 25. Mobilna kućica 3-pod

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.03 Keramičke pločice	1,000	1,300	200,00	2,00	2300,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	2,200	0,130	50,00	1,10	650,00
3	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna- vodonepropusna	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
4	7.01 Mineralna vuna (MW)	19,500	0,034	1,00	0,20	25,00
5	Šperploča	1,500	0,090	150,00	2,25	300,00
Definirana ploština [m <sup>2</sup> ]:						18,80

Tablica 26. Mobilna kućica 3-strop

R.b.	Materijal	d [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	4.01 Gipskartonske ploče	1,500	0,250	8,00	0,12	900,00
2	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
3	HOMESEAL LDS 35 parna	0,050	0,500	205000,00	50,00	520,00
4	7.01 Mineralna vuna (MW)	19,500	0,034	1,00	0,20	25,00
5	HOMESEAL LDS 0,02 paropropusna- vodonepropusna	0,050	0,200	52,00	0,03	240,00
6	Dobro provjetravan sloj zraka	1,500	-	1,00	0,01	-
7	4.09 Drvene ploče od usmjerenog iverja (OSB)	1,500	0,130	50,00	0,75	650,00
8	Bitumenska ljepenka (traka)	0,850	0,230	50000,00	425,00	1100,00
Definirana ploština [m <sup>2</sup> ]:					18,80	

Tablica 27. Mobilna kućica 3-otvori

Naziv otvora	Uw [W/m <sup>2</sup> ]	Orijentacija	Aw [m <sup>2</sup> ]	n
ulazna vrata	1,40	Sjever	2,77	1,00
fasada (staklene stijenke)	0,73	Jug	1,00	19,37

Tablica 28. Mobilna kućica 3- podaci o orijentaciji i ostakljenju

Naziv prostorije	Orijentacija	A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ]	f	g <sub>tot f</sub>	max	Zadovoljava
Južna strana	Jug	19,37	0,95	0,05	0,01	0,25	Da

Tablica 29. Mobilna kućica 3-Podaci uzeti u proračun

Naziv prostorije	Naziv otvora	f <sub>c</sub>	A <sub>g</sub> [m <sup>2</sup> ]	g <sub>⊥</sub>	n
Južna strana	fasada (staklene stijenke)	0,90	0,95	0,36	1

U tablici 30 dani su podaci o sustavu grijanja i energentu za grijanje za mobilnu kućicu 3.



Tablica 30. Mobilna kućica 3- grijanje i energent

Sustav grijanja:	Centralno
Vrijeme rada sustava:	Hoteli, moteli i sl.
Udio vremena s definiranom unutarnjom temperaturom – $f_{H,hr}$	1,00
Omjer dana u tjednu s definiranom unutarnjom temperaturom (za hlađenje) – $f_{C,day}$ :	1,00
Vrsta energenta za grijanje:	Električna energija
Vrsta i način korištenja obnovljivih izvora energije:	
Udio obnovljive energije u isporučenoj energiji [%]:	92,42

## 7.2 Proračun emisije CO<sub>2</sub> mobilnih kućica

Zbog sve većeg globalnog zatopljenja i porasta temperature uzrokovane stakleničkim plinovima donijet je plan o smanjenju „efekta staklenika“ na klimatske promjene. Planom su propisane mjere koje treba provoditi kako bi se postiglo smanjenje emisija ugljikovog dioksida i stakleničkih plinova. Kako bi te mjere bile učinkovite, potrebno ih je definirati s obzirom na realno stanje emisija. Najvažniji podaci su poznavanje količina emisija ugljikovog dioksida i stakleničkih plinova. Najjednostavniji postupak da bi se dobila neka vrijednost je da se izmjeri. Međutim, u građevinskom sektoru to nije moguće već se emisije računaju pomoću različitih fizikalnih varijabli koje je moguće izmjeriti i dovesti u vezu s emisijom CO<sub>2</sub>. U ovom radu emisija CO<sub>2</sub> mobilnih kućica određena je iz količine ugrađenih materijala u mobilne kućice primjenom softverskog paketa Microsoft Excel. Podaci o građevnim materijalima preuzeti su iz baze podataka Institut Bauen und Umwelte.

## 8 REZULTATI I RASPRAVA

Podaci potrebne operativne energije za mobilne kućice za odmor dobiveni su korištenjem KI expert plus programa. Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje mobilnih kućica prikazan je u tablicama 31, 34 i 37. Rezultati proračuna godišnje primarne energije (tablice 32, 35 i 38) te sumarni prikaz energetskih tokova termotehničkih sustava za analizirane mobilne kućice dani su u tablicama 33, 36 i 39.

Tablica 31. Rezultati proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje mobilne kućice 1

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje prema poglavlju VII. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, za zgradu grijanu na temperaturu 18°C ili više	
Oplošje grijanog dijela zgrade	$A = 97,24 \text{ [m}^2\text{]}$
Obujam grijanog dijela zgrade	$V_e = 47,27 \text{ [m}^3\text{]}$
Faktor oblika zgrade	$f_o = 2,06 \text{ [m}^{-1}\text{]}$
Ploština korisne površine grijanog dijela	$A_k = 18,80 \text{ [m}^2\text{]}$
Proračunska ploština korisne površine grijanog dijela	$A_k' = 18,80 \text{ [m}^2\text{]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje	$Q_{H,nd} = 2341,12 \text{ [kWh/a]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene i nestambene zgrade)	$Q''_{H,nd} = 124,53 \text{ (max = 69,98) [kWh/m}^2\text{ a]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici obujma grijanog dijela zgrade (za nestambene zgrade prosječne)	$Q'_{H,nd} = - \text{ (max = -) [kWh/m}^3\text{ a]}$
Godišnja potrebna energija za hlađenje	$Q_{C,nd} = 2610,81 \text{ [kWh/a]}$
Ukupna isporučena energija	$E_{del} = 636,04 \text{ [kWh/a]}$
Godišnja isporučena energija po jedinici ploštine korisne	$E''_{del} = 33,83 \text{ [kWh/m}^2\text{ a]}$
Ukupna primarna energija	$E_{prim} = 1026,58 \text{ [kWh/a]}$
Ukupna primarna energija po jedinice ploštine korisne	$E''_{prim} = 54,61 \text{ (max = 90,00) [kWh/m}^2\text{ a]}$
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade	$H'_{tr,adj} = 0,49 \text{ (max = 0,58) [W/m}^2\text{ K]}$

Tablica 32. Rezultati proračuna godišnja primarna energija mobilne kućice 1

Energent	Svrha / Potrošač	$E_{del}$ [kWh]	Faktor $f_p$	$E_{prim}$ [kWh]
Električna energija	Energija za grijanje	702,34	1,614	1133,57
Električna energija	Energija za hlađenje	783,24	1,614	1264,15
Električna energija	Energija za PTV	0,00	1,614	0,00
Električna energija	Fotonaponski sustav 1	-849,53	1,614	-1371,15
<b>Ukupno</b>		<b>636,04</b>		<b>1.026,58</b>

Tablica 33. Sumarni prikaz glavnih energetski tokova termotehničkih sustava zone - mobilna kućica 1

Opis energetskog toka	Oznaka	Vrijednost
Potrebna energija za grijanje	$Q_{H,nd}$ [kWh]	2341,12
Potrebna energija za PTV	$Q_w$ [kWh]	0,00
Ukupna potrebna energija za grijanje i PTV	$Q_{HW,nd}$ [kWh]	2341,12
Broj dana u sezoni grijanja	$d_g$ [dan]	225,00
Broj dana izvan sezone grijanja	$d_{ng}$ [dan]	140,00
Konačna energija za grijanje i PTV	$Q_{HW,gen,in}$ [kWh]	702,34
Konačna energija za rasvjetu i fotonapon	$E_{del}$ [kWh]	849,53
Ukupna konačna energija	$E_{del,ukupno}$ [kWh]	1551,87

Tablica 34. Rezultati proračuna potrebne energija za grijanje i hlađenje mobilne kućice 2

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje prema poglavlju VII. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, za zgradu grijanu na temperaturu 18°C ili više	
Oplošje grijanog dijela zgrade	$A = 97,24 \text{ [m}^2\text{]}$
Obujam grijanog dijela zgrade	$V_e = 47,27 \text{ [m}^3\text{]}$
Faktor oblika zgrade	$f_o = 2,06 \text{ [m}^{-1}\text{]}$
Ploština korisne površine grijanog dijela	$A_k = 18,80 \text{ [m}^2\text{]}$
Proračunska ploština korisne površine grijanog dijela	$A_k' = 18,80 \text{ [m}^2\text{]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje	$Q_{H,nd} = 2529,78 \text{ [kWh/a]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene i nestambene zgrade)	$Q''_{H,nd} = 134,56 \text{ (max = 69,98) [kWh/m}^2\text{ a]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici obujma grijanog dijela zgrade (za nestambene zgrade prosječne)	$Q'_{H,nd} = - \text{ (max = -) [kWh/m}^3\text{ a]}$
Godišnja potrebna energija za hlađenje	$Q_{C,nd} = 2048,74 \text{ [kWh/a]}$
Ukupna isporučena energija	$E_{del} = 524,02 \text{ [kWh/a]}$
Godišnja isporučena energija po jedinici ploštine korisne	$E''_{del} = 27,87 \text{ [kWh/m}^2\text{ a]}$
Ukupna primarna energija	$E_{prim} = 845,77 \text{ [kWh/a]}$
Ukupna primarna energija po jedinice ploštine korisne	$E''_{prim} = 44,99 \text{ (max = 90,00) [kWh/m}^2\text{ a]}$
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade	$H'_{tr,adj} = 0,51 \text{ (max = 0,58) [W/m}^2\text{ K]}$

Tablica 35. Rezultati proračuna godišnja primarne energije mobilne kućice 2

Energent	Svrha / Potrošač	$E_{del}$ [kWh]	Faktor $f_p$	$E_{prim}$ [kWh]
Električna energija	Energija za grijanje	758,93	1,614	1224,92
Električna energija	Energija za hlađenje	614,62	1,614	992,00
Električna energija	Energija za PTV	0,00	1,614	0,00
Električna energija	Fotonaponski sustav 2	-849,53	1,614	-1371,15
<b>Ukupno</b>		<b>524,02</b>		<b>845,77</b>

Tablica 36. Sumarni prikaz glavnih energetski tokova termotehničkih sustava zone - mobilna kućica 2

Opis energetskog toka	Oznaka	Vrijednost
Potrebna energija za grijanje	$Q_{H,nd}$ [kWh]	2529,78
Potrebna energija za PTV	$Q_w$ [kWh]	0,00
Ukupna potrebna energija za grijanje i PTV	$Q_{HW,nd}$ [kWh]	2529,78
Broj dana u sezoni grijanja	$d_g$ [dan]	239,00
Broj dana izvan sezone grijanja	$d_{ng}$ [dan]	126,00
Konačna energija za grijanje i PTV	$Q_{HW,gen,in}$ [kWh]	758,93
Konačna energija za rasvjetu i fotonapon	$E_{del}$ [kWh]	849,53
Ukupna konačna energija	$E_{del,ukupno}$ [kWh]	1608,46

Tablica 37. Rezultati proračuna energija za grijanje i hlađenje mobilne kućice 3

Rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje prema poglavlju VII. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, za zaradu grijanu na temperaturu 18°C ili više	
Oplošje grijanog dijela zgrade	$A = 97,24 \text{ [m}^2\text{]}$
Obujam grijanog dijela zgrade	$V_e = 47,27 \text{ [m}^3\text{]}$
Faktor oblika zgrade	$f_o = 2,06 \text{ [m}^{-1}\text{]}$
Ploština korisne površine grijanog dijela	$A_k = 18,80 \text{ [m}^2\text{]}$
Proračunska ploština korisne površine grijanog dijela	$A_{k'} = 18,80 \text{ [m}^2\text{]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje	$Q_{H,nd} = 2093,21 \text{ [kWh/a]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene i nestambene zgrade)	$Q''_{H,nd} = 111,34 \text{ (max = 69,98) [kWh/m}^2\text{ a]}$
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici obujma grijanog dijela zgrade (za nestambene zgrade prosječne)	$Q'_{H,nd} = - \text{ (max = -) [kWh/m}^3\text{ a]}$
Godišnja potrebna energija za hlađenje	$Q_{C,nd} = 970,94 \text{ [kWh/a]}$
Ukupna isporučena energija	$E_{del} = 69,71 \text{ [kWh/a]}$
Godišnja isporučena energija po jedinici ploštine korisne	$E''_{del} = 3,71 \text{ [kWh/m}^2\text{ a]}$
Ukupna primarna energija	$E_{prim} = 112,51 \text{ [kWh/a]}$
Ukupna primarna energija po jedinice ploštine korisne	$E''_{prim} = 5,98 \text{ (max = 90,00) [kWh/m}^2\text{ a]}$
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade	$H'_{tr,adj} = 0,38 \text{ (max = 0,44) [W/m}^2\text{ K]}$

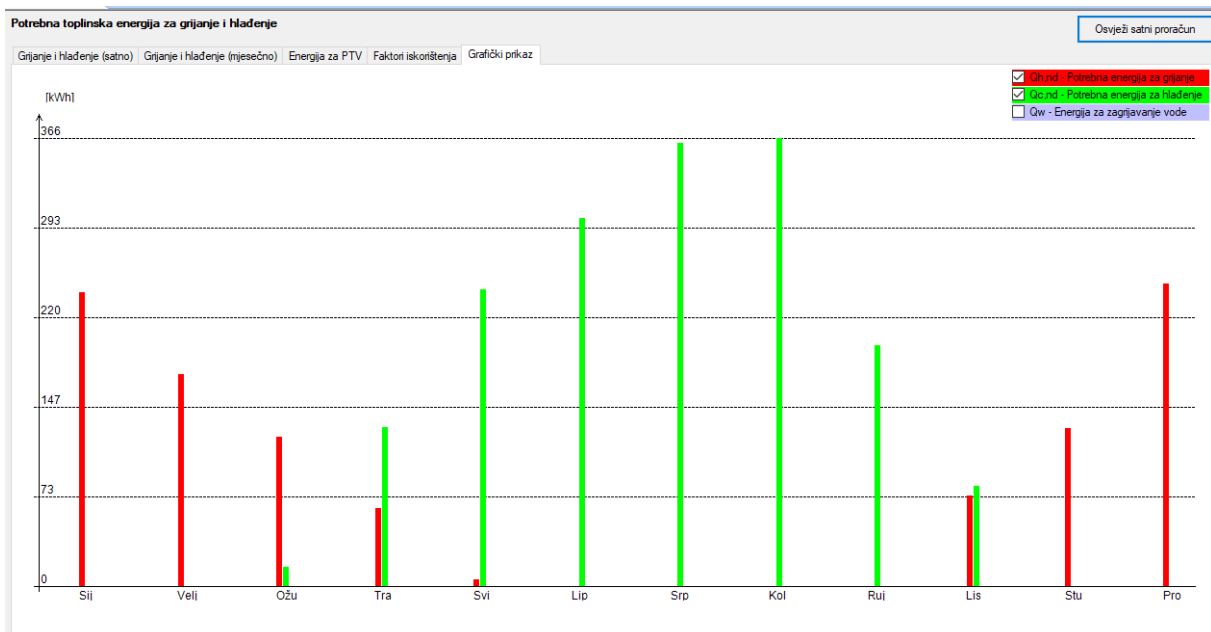
Tablica 38. Rezultati proračuna godišnje primarne energije mobilne kućice 3

Energent	Svrha / Potrošač	$E_{del}$ [kWh]	Faktor $f_p$	$E_{prim}$ [kWh]
Električna energija	Energija za grijanje	627,96	1,614	1013,53
Električna energija	Energija za hlađenje	291,28	1,614	470,13
Električna energija	Energija za PTV	0,00	1,614	0,00
Električna energija	Fotonaponski sustav 3	-849,53	1,614	-1371,15
<b>Ukupno</b>		<b>69,71</b>		<b>112,51</b>

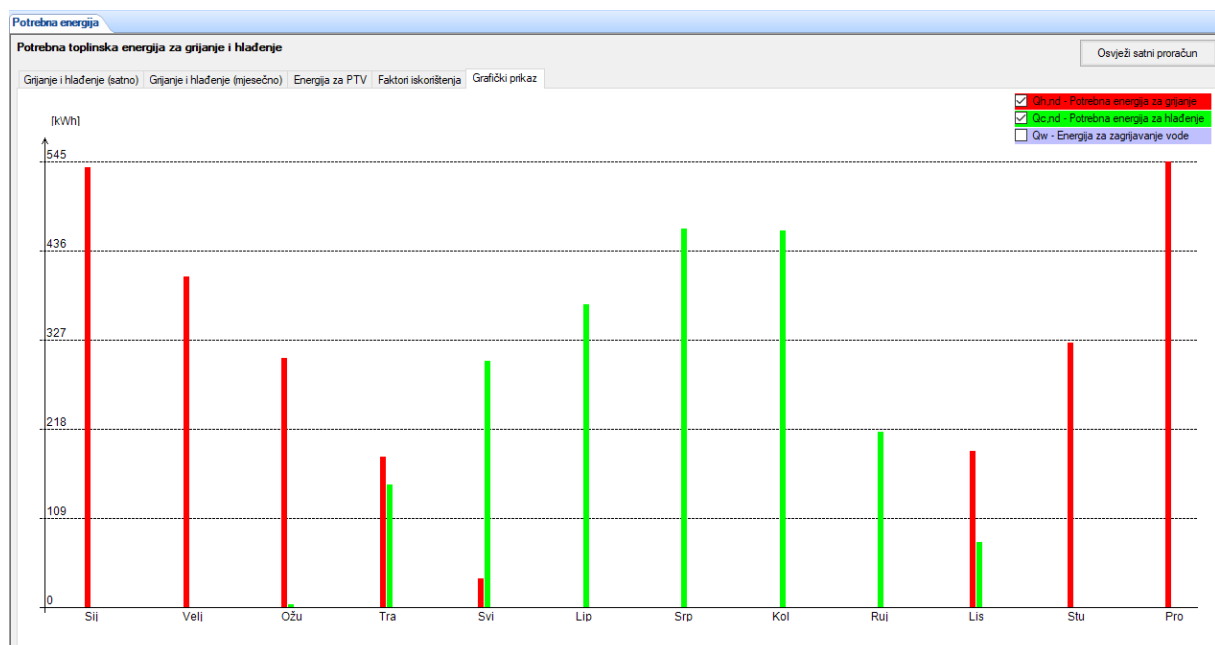
Tablica 39. Sumarni prikaz glavnih energetske tokova termotehničkih sustava zone-mobilna kućica 3.

Opis energetskega toka	Oznaka	Vrijednost
Potrebna energija za grijanje	$Q_{H,nd}$ [kWh]	2093,21
Potrebna energija za PTV	$Q_w$ [kWh]	0,00
Ukupna potrebna energija za grijanje i PTV	$Q_{HW,nd}$ [kWh]	2093,21
Broj dana u sezoni grijanja	$d_g$ [dan]	252,00
Broj dana izvan sezone grijanja	$d_{ng}$ [dan]	113,00
Konačna energija za grijanje i PTV	$Q_{HW,gen,in}$ [kWh]	627,96
Konačna energija za rasvjetu i fotonapon	$E_{del}$ [kWh]	849,53
Ukupna konačna energija	$E_{del,ukupno}$ [kWh]	1477,49

Na slikama 17, 18 i 19 da je grafički prikaz potrebne energije za grijanje i hlađenje kroz godinu za analizirane mobilne kućice.



Slika 17. Mobilna kućica 1- potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje



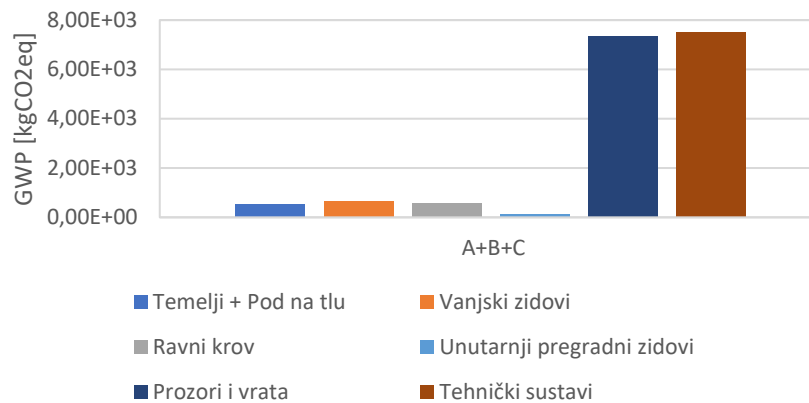
Slika 18. Mobilna kućica 2- potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje



Slika 19. Mobilna kućica 3- potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje

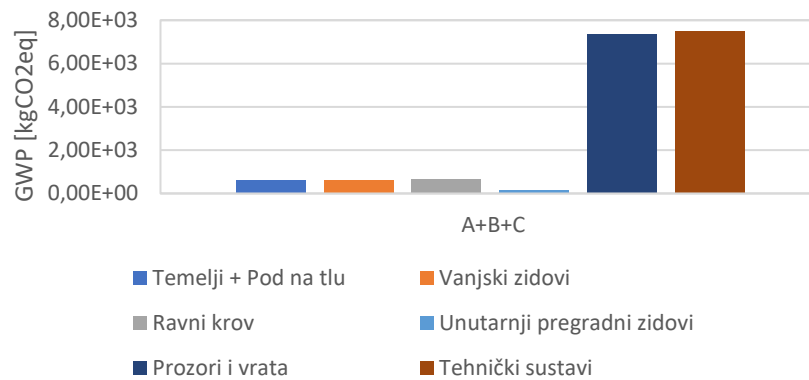
Proračun emisije CO<sub>2</sub> u Excel programu temeljio se na množenju količine ugrađenog građevinskog materijala prema funkcionalnoj jedinici s GWP a dobiveni rezultati prikazani su grafički. Na slikama 20, 21 i 22 dan je grafički prikaz količine potencijala globalnog zagrijavanja za svaku od mobilnih kućica, a obuhvaća sve faze od ekstrakcije do faze upotrebe i odlaganja. Vidljivo je da se za sve tri kućice najveći udio ugljičnog otiska odnosi na tehničke sustave, a zatim na prozore i vrata. Također, mobilna kućica 1 i 2 zbog većih staklenih površina (3 staklene plohe) odnosno utjelovljenog ugljika imaju veći globalni potencijal zagrijavanja u odnosu na mobilnu kućicu 3 koja je obložena samo s 1 staklenom plohom. Ostali analizirani građevni elementi imaju približno isti utjecaj na emisiju ugljika.

## Građevni elementi ukupno A+B+C



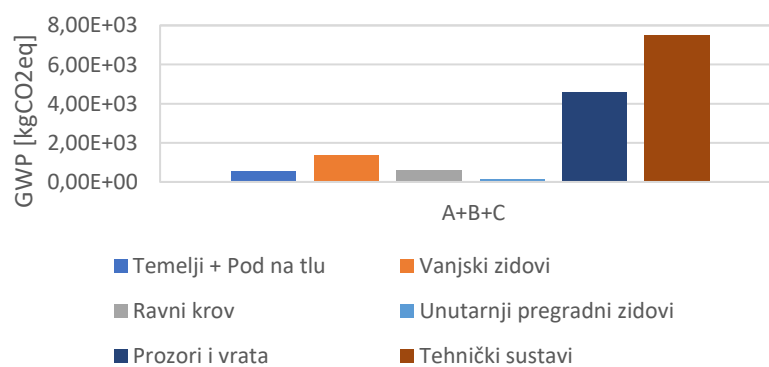
Slika 20. Potencijal globalnog zatopljenja ugrađenih građevnih elemenata od faze A do faze C- mobilna kućica 1

## Građevni elementi ukupno A+B+C



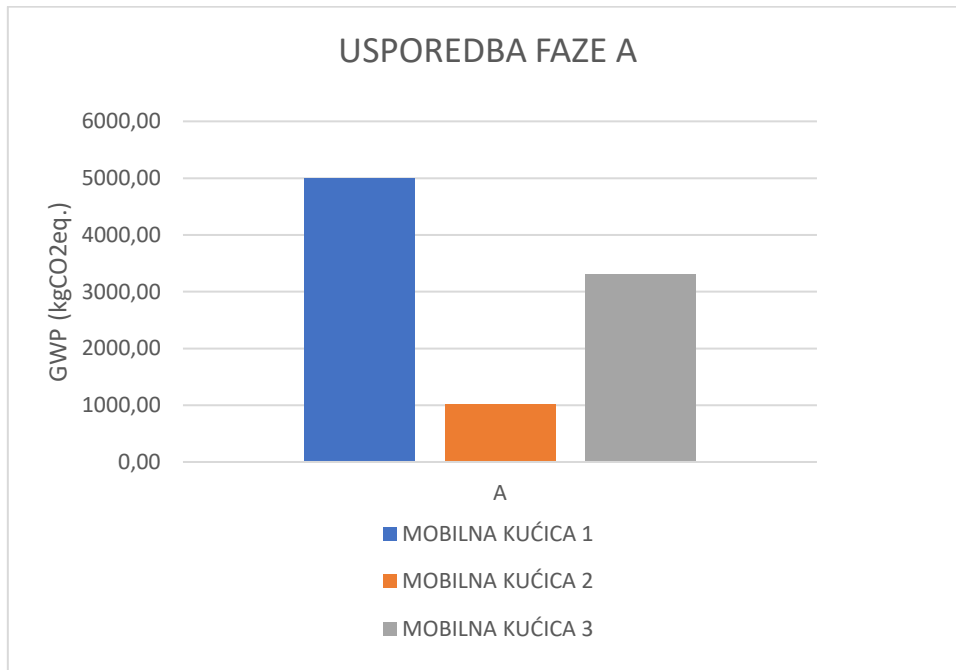
Slika 21. Potencijal globalnog zatopljenja ugrađenih građevnih elemenata od faze A do faze C- mobilna kućica 2

## Građevni elementi ukupno A+B+C



Slika 22. Potencijal globalnog zatopljenja ugrađenih građevnih elemenata od faze A do faze C- mobilna kućica 3

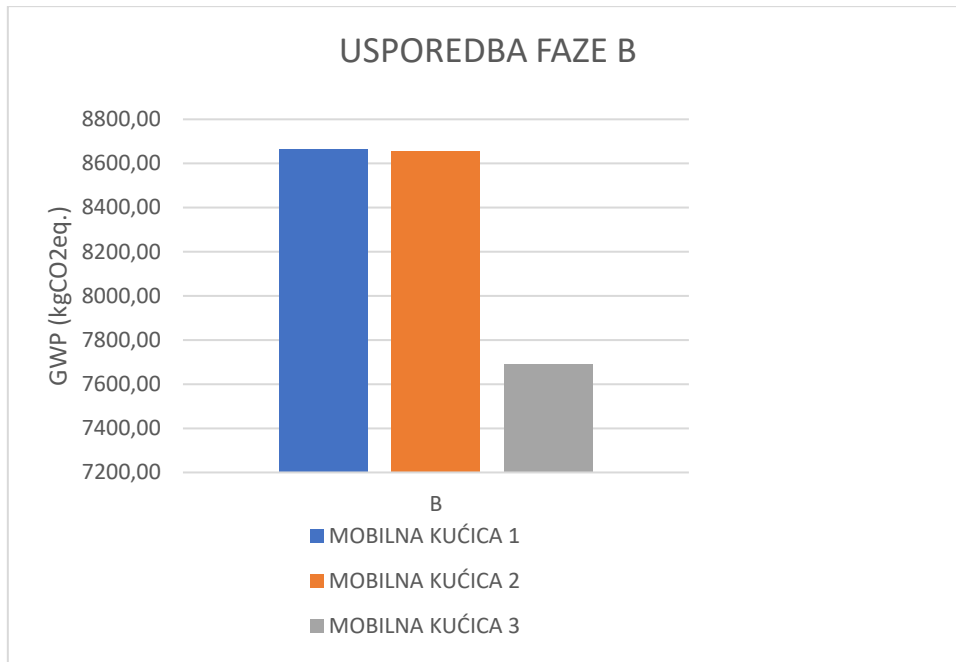
Na slici 23 dan je usporedni grafički prikaz potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu A koja obuhvaća faze od ekstrakcije do faze ugradnje na gradilištu. Mobilna kućica 1 izrađena od konstrukcijskih elemenata u kombinaciji čelika i drva te s tri strane obložena staklom, kao i mobilna kućica 3 izrađena od kombinacije čelika i drva te s jednostranom obložena staklom pokazuju znatno veću emisiju CO<sub>2</sub> u odnosu na mobilnu kućicu 2 koja je izrađena od konstrukcijskih elemenata CLT-a i stakla. Razlika u emisiji je posljedica ugrađenog ugljika u čeličnu konstrukciju.



Slika 23. Potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu A

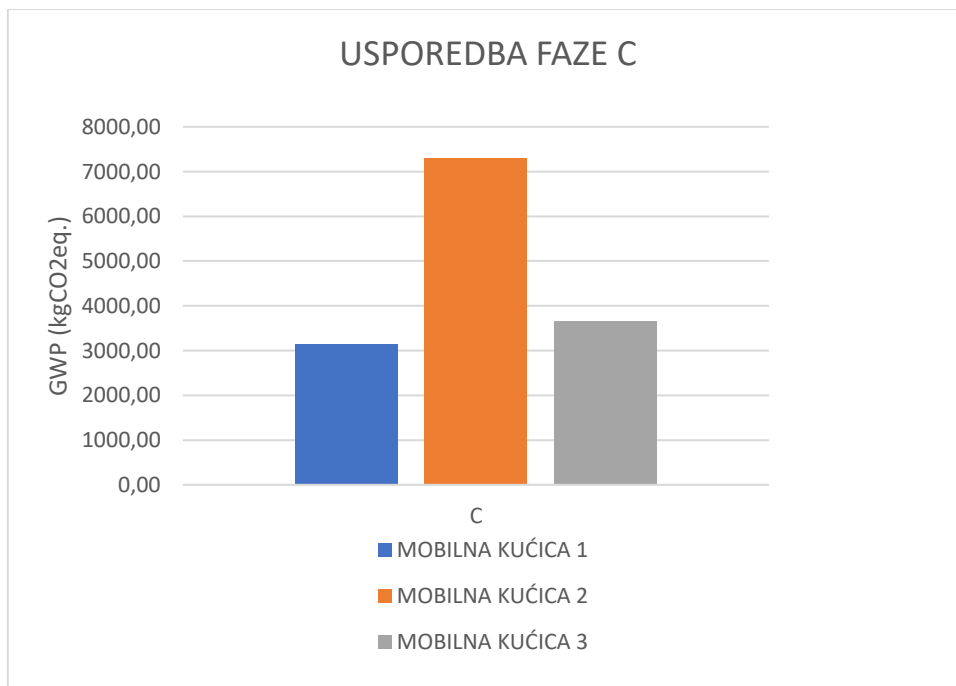
Slikom 24. dan je usporedni grafički prikaz potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu B koja obuhvaća fazu korištenja. Mobilna kućica 1 i 2 zbog staklenih ploha (prozori) koje su u proračunu uzete s većim vrijednostima od mobilne kućice 3 imaju veću emisiju CO<sub>2</sub>.





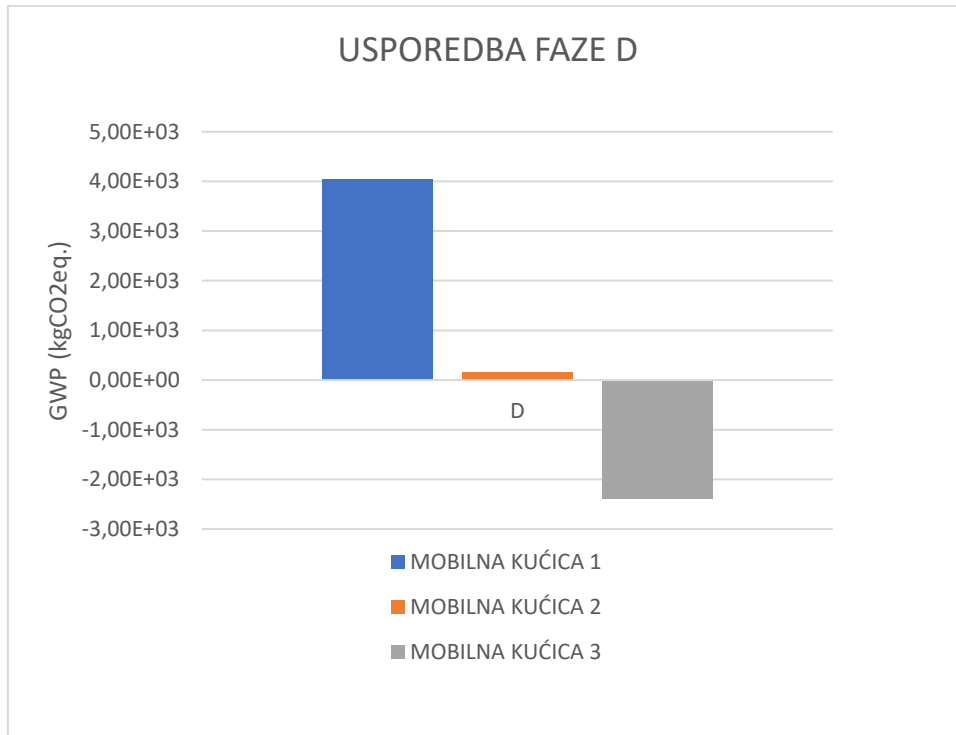
Slika 24. Potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu B

Na slici 25. za sve tri mobilne kućice dan je usporedni grafički prikaz potencijala globalnog zagrijavanja za fazu C koja obuhvaća rušenje, transport, preradu otpada i odlaganje. Mobilna kućica 2 izrađena od CLT-a i staklenih ploha ima veću emisiju CO<sub>2</sub> u odnosu na ostale dvije kućice. Razlog veće emisije CO<sub>2</sub> kućice 2 je prerada vanjskih zidova izrađenih od CLT-a u odnosu na mobilnu kućicu 1 i 3 koje su izrađene od manje količine drveta.



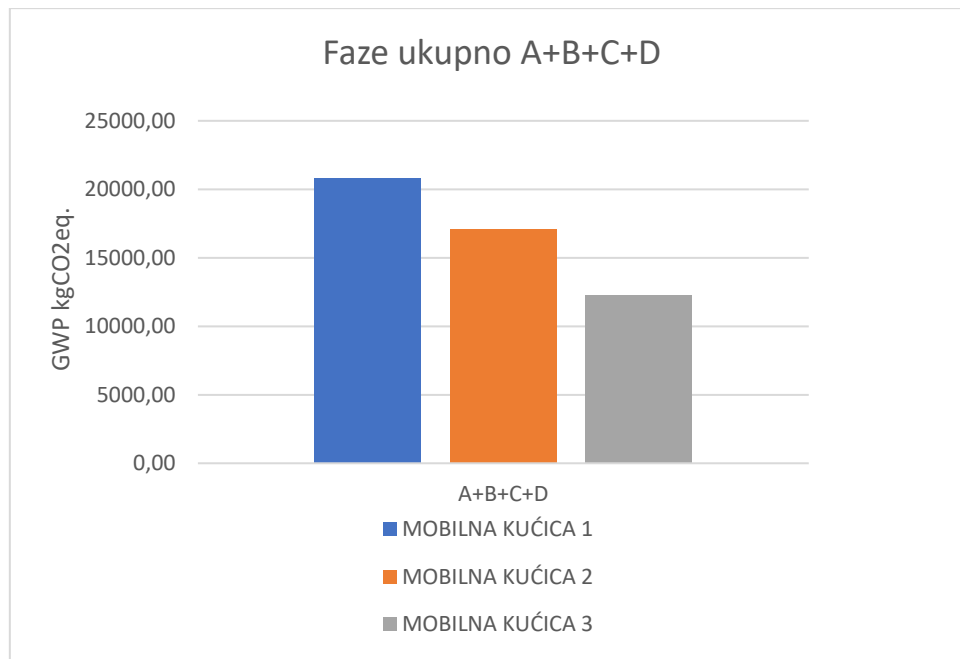
Slika 25. Potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu C

Slikom 26. dan je usporedni grafički prikaz potencijala globalnog zagrijavanja za fazu D koja obuhvaća ponovnu uporabu, obnovu i recikliranje. Mobilna kućica 3 koja ima najmanju staklenu površinu ima smanjen utjecaj na CO<sub>2</sub> zbog lakšeg recikliranja drveta u odnosu na mobilne kućice 1 i 2 koje imaju velike staklene površine. Iz ovoga proizlazi da građevni materijali imaju značajan utjecaj na emisiju ugljičnog dioksida.



Slika 26. Potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu D

Slikom 27. dana je usporedba utjecaja analiziranih mobilnih kućica na emisiju CO<sub>2</sub> tijekom cijelokupnog uporabnog životnog vijeka. Vidi se da mobilna kućica 1 s konstrukcijskim elementima u kombinaciji čelika i drva te s tri strane obložena staklom ima najveći ugljični otisak, 20,84 t CO<sub>2</sub>eq, dok kućica 3 s konstrukcijskim elementima u kombinaciji čelika i drva te s jedne strane obložena staklom ima najmanju emisiju, 12,26 t CO<sub>2</sub>eq. Dobiveni rezultati su u skladu s literaturnim podacima s obzirom da staklo kao materijal ima najveću količinu utjelovljenog ugljika (3600 kg/m<sup>3</sup>) što je daleko više u odnosu na drvo (110 kg/m<sup>3</sup>) i CLT (219 kg/m<sup>3</sup>). Mobilna kućica samo s jednom staklenom plohom ima i najmanji utjecaj emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu.



Slika 27. Ugljični otisak mobilnih kućica 1, 2 i 3 od faze A do D

## 9 ZAKLJUČAK

U zadnjem desetljeću velik naglasak je na zaštiti okoliša odnosno smanjenju emisije CO<sub>2</sub> i stakleničkih plinova. Budući da građevinska industrija značajno doprinosi globalnom zatopljenju, građevinski sektor ima važnu ulogu u borbi protiv klimatskih promjena. Sve dosadašnje mjere i trendovi nisu dovoljni za postizanje ugljične neutralnosti koja se planira do 2050. pa je došlo nekoliko puta do izmjene Direktive o energetskej učinkovitosti zgrada. U novoj izmjeni direktive donijete su smjernice za smanjenje emisija stakleničkih plinova iz zgrada kao i definicija zgrade s nultom emisijom (ZEB). Iz ukupne potrebne energije zgrade može se odrediti njen utjecaj na okoliš.

U ovom radu primjenom KI exper programa proveden je proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje, proizvedena energija na fotonaponu, kao primarna i konačna energija za tri mobilne kućice koje su izrađene od različitih materijala a smještene su u gradu Gospiću u cilju određivanja emisije CO<sub>2</sub> tijekom cijeloživotnog vijeka. U Excel programu proveden je proračun emisije CO<sub>2</sub>.

Na temelju provedenih proračuna može se zaključiti da:

- najveću potrebnu toplinsku energije za grijanje treba mobilna kućica 2
- najveću potrebnu toplinsku energije za hlađenje treba mobilna kućica 1
- sve tri mobilne kućice imaju istu proizvedenu energiju na fotonaponu (849,53 kWh)
- mobilna kućica 3 ima najmanju primarnu energiju ( $E_{prim} = 112,51$  kWh) što znači da je najbliža zgradi nulte emisije
- mobilna kućica 3 izrađena od konstrukcijskih elemenata u kombinaciji čelika i drva te s jedne strane obložena staklom ima manju emisiju CO<sub>2</sub> tijekom cjelokupnog životnog ciklusa (12,26 t CO<sub>2eq</sub>) u odnosu na mobilnu kućicu 1 (20,84 t CO<sub>2eq</sub>) i mobilnu kućicu 2 (17,11 t CO<sub>2eq</sub>).

Iz dobivenih rezultat može se zaključiti da ugrađeni materijali imaju značajan utjecaj na potencijal globalnog zatopljenja.

## POPIS LITERATURA

- [1] Dagla, A., Louka, P., Efstathiou, Y., Kalatzis N., Protonotarios, V.; Argyridis A.; Smart farming to support agricultural crop damage assessment: interweaving Earth Observation and IoT data, Elsevier BV, 2024. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91068-2.00024-2>
- [2] Krejza, Z., Varijante određivanja ugljičnog otiska građevinske proizvodnje, Građevinar 75 (2023) 3, 273-281, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.3396.2021>
- [3] Ren, X., Weitzel, M., O'neil, B.C. P. Lawrence, P. Meiyappan, S. Levis, E.J. Balistreri, M. Dalton: Avoided economic impacts of climate change on agriculture: integrating a land surface model with a global economic model, Climate change, 146 (2018)3 517-531
- [4] Emekci, S., Abbas, A., Preispitivanje stanovanja s gledišta ekološke održivosti: empirijska analiza, Građevinar 75 (2023)11, 1083-1093, <https://doi.org/10.14256/JCE.3814.2023>
- [5] Tanaka, K., O'neil, B.C.: The Paris Agreement zero-emissions goal is not always consistent with the 1,5 °C and 2 °C temperature targets, Nature climate change, 8 (2018) 4, 319-324
- [6] Aakre, S.: The political feasibility of potent enforcement in a post-Kyoto climate agreement, International environmental agreements: politics, law and economics, 16 (2016)1, 145-159
- [7] Cellura, M. Guarino, F., Longo, S., Mistretta, M., Orioli, A.: Aakre, S.: The role of the building sector for reducing energy consumption and greenhouse gases: An Italian case study, Renewable energy, 60 (2013) 586-597
- [8] C Hausfather, Z., Peters, G.P.: Emissions-the business as usual story is misleading, Nature, 577(2022) 7792, 618-620
- [9] Emma Serwaa Obobisa<sup>a</sup>, Haibo Chen<sup>a</sup>, Isaac Adjei Mensah, The impact of green technological innovation and institutional quality on CO<sub>2</sub> emissions in African countries, Technological Forecasting and Social Change, 180 (2022) 121670 <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121670>
- [10] Direktiva EU i Vijeća o energetske svojstvima zgrada (2021/0426) 15.12.2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0802&from=NL>, (preuzeto 8.8.2024.)
- [11] Direktiva o energetske svojstvima zgrada (2002/91/EZ) / The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj>, (preuzeto 5.9.2024.)
- [12] Direktiva EP i Vijeća (2010/31/EU) o energetske svojstvima zgrada (revidirana) [https://www.menea.hr/wpcontent/uploads/2013/12/OJ\\_L\\_2015\\_005\\_FULL\\_HR\\_TXT-ispravak.pdf](https://www.menea.hr/wpcontent/uploads/2013/12/OJ_L_2015_005_FULL_HR_TXT-ispravak.pdf) (preuzeto 2.9.2024)
- [13] Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća 2024/1275/EU od 24. travnja 2024. o energetske svojstvima zgrada (preinaka), [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202401275](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275), (preuzeto 2.9.2024)
- [14] Fuk, B: Ugljični otisak, Sigurnost 63 (2021) (4) 443-447

- [15] HRN ISO 14064-1:2008, Staklenički plinovi -- 1. dio: Specifikacija sa smjernicama na razini organizacije za kvantificiranje i izvješćivanje o emisijama i uklanjanju stakleničkih plinova
- [16] ISO/TR 14069 Greenhouse gases, <https://www.iso.org/standard/43280.html> (preuzeto 9.9.2024.)
- [17] <https://www.pbl.nl/en/latest/news/achieving-zero-emissions-in-all-sectors-is-a-difficult-task> (preuzeto 20.8.2024.)
- [18] Štrimer, N.; Utjecaj građevnog materijala na okoliš, Radovi Zavoda za znanost i umjetnički rad u Požegi, 1 (2012) 293-311, <https://hrcak.srce.hr/en/file/143331>
- [19] <https://pliteq.com/news/building-vs-carbon-footprint/> (preuzeto 25.8.2024)
- [20] Korasić, M Zelena gradnja u krajobraznoj arhitekturi, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, 2019.
- [21] <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/european-green-deal.html>, (preuzeto 2.9.2024)
- [22] Šimić, L., Grijanje i hlađenje obiteljskih kuća nulte energije, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2023.
- [23] <https://repository.uel.ac.uk/item/882x7> (preuzeto 5.9.2024)
- [24] Žakula, B. Energetska učinkovitost i održiva gradnja, Diplomski rad, Sveučilište Jurja Dobrila u Puli, 2024.
- [25] Maduta, C., Melica, G., D'agostino, D., Bertoldi, P.: Defining Zero-Emission Buildings, Support for the revision of the Energy Performance of Buildings, Publications office of the European Union, Luxembourg, 2003, doi:10.2760/107493, JRC129612
- [26] HRN EN 15978:2011 Održivost građevina -- Ocjenjivanje svojstva zgrada s obzirom na okoliš -- Proračunska metoda
- [27] Stephan, A., Stephan, L., Achieving net zero life cycle primary energy and greenhouse gas emissions apartment buildings in Mediterranean climate, Applied Energy, 280 (2020)115932, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115932>
- [28] Cusenza, M.A., Guarino, F., Longo, S., Cellura, M.; An untegrated energy simulation and life cycle assessment to measure the operational and embodied energy of a Mediterranean net zero energy building, Energy and Buildings, 254 (2022) 111558, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111558>
- [29] HRN EN ISO 52000-1:2017 Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures
- [30] HRN ISO 16745-1:2021, Održivost zgrada i inženjerskih građevina -- Ugljična metrika postojeće zgrade tijekom faze uporabe -- 1. dio: Proračun, izvještavanje i komunikacija (ISO 16745-1:2017)
- [31] Cvelić Bonifači, J., Mobilne kućice, Hotelska kuća 2022, Zbornik radova konferencije, 19- 33, Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu Sveučilišta u Rijeci, doi: <https://doi.org/10.20867/hk.1>.
- [32] [www.oodhouse.com](http://www.oodhouse.com)
- [33] <https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Propisi/2017/Algoritam-HRN-EN-ISO-13790.pdf>, (preuzeto 25.8.2024.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Faze uporabnog vijeka građevine [4] .....	16
Slika 2. Operativna energija u zgradama [25].....	16
Slika 3. Prioriteti u raspodjeli energije proizvedene na licu mjesta [25] .....	19
Slika 4. Prioriteti u postizanju ZEB-ova [25].....	24
Slika 5. Pregled mogućih opcija opskrbe obnovljivim izvorima energije [25]. .....	26
Slika 6. Predloženo grupiranje korištenja energije [25].....	30
Slika 7. Glavni koraci za izvođenje numeričkih referentnih vrijednosti [25]. .....	32
Slika 8. Regulatorni okvir za održive zgrade u EU [25].....	33
Slika 9. Mobilna kućica [32].....	37
Slika 10. Tlocrt mobilne kućice [32].....	38
Slika 11. Pocinčani i obojeni čelični okvir s vješalicama za grede i vijke [32].....	39
Slika 12. Drveni okvir za pod, strop i zidne konstrukcije [32].....	39
Slika 13. Aluminijski fasadni sustav za dvoslojna izo stakla (antracit) [32]. .....	40
Slika 14. 3 - strane izrađene od dvoslojne izo staklene jedinice.....	40
Slika 15. 1 strana izrađena od brodske šperploče debljine 15 mm, obložena tvrdim drvetom od termički modificiranog jasena. Vrata i prozori su s aluminijskim okvirom [32].....	41
Slika 16. Sustav oluka, krovne kape [32]. .....	41
Slika 17. Mobilna kućica 1- potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje .....	58
Slika 18. Mobilna kućica 2- potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje .....	58
Slika 19. Mobilna kućica 3- potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje .....	59
Slika 20. Potencijal globalnog zatopljenja ugrađenih građevnih elemenata od faze A do.....	60
Slika 21. Potencijal globalnog zatopljenja ugrađenih građevnih elemenata od faze A do.....	60
Slika 22. Potencijal globalnog zatopljenja ugrađenih građevnih elemenata od faze A do faze C- mobilna kućica 3 .....	60
Slika 23. Potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu A.....	61
Slika 24. Potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu B.....	62
Slika 25. Potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu C.....	62
Slika 26. Potencijala globalnog zagrijavanja za sve tri mobilne kućice za fazu D .....	63
Slika 27. Ugljični otisak mobilnih kućica 1, 2 i 3 od faze A do D .....	64

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Ugljični otisci materijala [4] .....	8
Tablica 2. Emisije CO <sub>2</sub> za pojedine kuće prilikom grijanja [24] .....	11
Tablica 3. Definicije zgrade s nultom ili vrlo nisko emisijom ugljika u svijetu [25] .....	13
Tablica 4. Dimenzije mobilnih kućica .....	38
Tablica 5. Klimatološki podaci po mjesecima za referentnu postaju Gospić .....	44
Tablica 6. Globalno Sunčevo zračenje .....	44
Tablica 7. Podaci o mobilnim kućicama .....	45
Tablica 8. Parametru koji su ispunjeni za sve tri mobilne kućice .....	47
Tablica 9. Geometrijske karakteristike mobilnih kućica .....	47
Tablica 10. Mobilna kućica 1- vanjski zid .....	48
Tablica 11. Mobilna kućica 1- pod .....	48
Tablica 12. Mobilna kućica 1-strop .....	49
Tablica 13. Mobilna kućica 1- otvori zgrade .....	49
Tablica 14. Mobilna kućica 1-orijentacija i ostakljenja u površini pročelja .....	49
Tablica 15. Mobilna kućica 1-podaci o otvorima uzeti u proračun .....	49
Tablica 16. Sustav grijanja i energent .....	50
Tablica 17. Mobilna kućica 2- vanjski zid .....	50
Tablica 18. Mobilna kućica 2- pod .....	50
Tablica 19. Mobilna kućica 2- strop .....	51
Tablica 20. Mobilna kućica 2- otvori zgrade .....	51
Tablica 21. Mobilna kućica 2- orijentacija i ostakljenja u površini pročelja .....	51
Tablica 22. Mobilna kućica 2- podaci uzeti u proračun .....	51
Tablica 23. Sustav grijanja i emergent .....	52
Tablica 24. Mobilna kućica 3- vanjski zid .....	52
Tablica 25. Mobilna kućica 3-pod .....	52
Tablica 26. Mobilna kućica 3-strop .....	53
Tablica 27. Mobilna kućica 3-otvori .....	53
Tablica 28. Mobilna kućica 3- podaci o orijentaciji i ostakljenju .....	53
Tablica 29. Mobilna kućica 3-Podaci uzeti u proračun .....	53
Tablica 30. Mobilna kućica 3- grijanje i emergent .....	54
Tablica 31. Rezultati proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje mobilne kućice 1 ..	55
Tablica 32. Rezultati proračuna godišnja primarna energija mobilne kućice 1 .....	55
Tablica 33. Sumarni prikaz glavnih energetski tokova termotehničkih sustava zone - mobilna kućica 1 .....	55
Tablica 34. Rezultati proračuna potrebne energija za grijanje i hlađenje mobilne kućice 2 ...	56
Tablica 35. Rezultati proračuna godišnja primarne energije mobilne kućice 2 .....	56
Tablica 36. Sumarni prikaz glavnih energetski tokova termotehničkih sustava zone - mobilna kućica 2 .....	56



Tablica 37. Rezultati proračuna energija za grijanje i hlađenje mobilne kućice 3 .....	57
Tablica 38. Rezultati proračuna godišnje primarne energije mobilne kućice 3.....	57
Tablica 39. Sumarni prikaz glavnih energetske tokova termotehničkih sustava zone-mobilna kućica 3.....	57