

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Petrović, K., 2015. Ogljični odtis produktov in sestavljenih konstrukcijskih sklopov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R., somentorica Dovjak, M.): 24 str.

Datum arhiviranja: 23-10-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Petrović, K., 2015. Ogljični odtis produktov in sestavljenih konstrukcijskih sklopov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R., co-supervisor Dovjak, M.): 24 pp.

Archiving Date: 23-10-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

KLEMEN PETROVIČ

**OGLJIČNI ODTIS PRODUKTOV IN SESTAVLJENIH
KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV**

Diplomska naloga št.: 238/B-GR

**CARBON FOOTPRINT OF BUILDING PRODUCTS AND
ASSEMBLED CONSTRUCTIONAL COMPLEXES**

Graduation thesis No.: 238/B-GR

Mentor:

doc. dr. Roman Kunič

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 20. 10. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Klemen Petrović izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Trajnostna gradnja: ogljični odtis produktov in sestavljenih konstrukcijskih sklopov«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 15.10.2015

Klemen Petrović

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	502/504:546.26:624.07(043.2)
Avtor:	Klemen Petrović
Mentor:	doc. dr. Roman Kunič
Somentor:	doc. dr. Mateja Dovjak
Naslov:	Trajnostna gradnja: Ogljični odtis produktov in sestavljenih konstrukcijskih sklopov
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij-B
Obseg in oprema:	24 str., 11 pregl., 4 sl.
Ključne besede:	Konstrukcijski sklopi, ogljični odtis, okoljski vidik

Izvleček

Toplogredni plini so vedno večji onesnaževalec našega planeta. Ogljikovega dioksida je med toplogrednimi plini največ (70 %), zato ogljični odtis predstavljamo s CO₂ ekvivalentom (CO₂-e). V diplomski nalogi bomo med seboj primerjali različne sestavljene konstrukcijske sklope in njihov ogljični odtis. V začetku diplomske naloge bomo pojasnili kaj toplogredni plini so, ter kako nastanejo. Predstavili bomo nekaj študij, ki raziskujejo področje materialov v sestavljenih konstrukcijskih sklopih v povezavi z ogljičnim odtisom, ki ga pustijo. Poleg tega bo predstavljena tudi zakonodaja na Slovenski, EU in svetovni ravni. Pri konstrukcijskih sklopih bodo spreminjani materiale nosilne konstrukcije (armiran beton, opeka, les, jeklo in aluminij) in materiala toplotne izolacije (ekspandiran polistiren in kamena volna). Med vsemi različicami smo najboljše rezultate v trajnostnem pogledu pridobili pri konstrukcijskem sklopu z lesom in EPS-om (ekspandirani polistiren), najslabše pa pri različici z opeko in kameno volno. Jeklo in aluminij imata med vsemi materiali za nosilno konstrukcijo največji ogljični odtis, les pa najmanjšega. Kljub temu smo pri konstrukcijskih sklopih z jeklom oziroma aluminijem dobili skoraj tako dobre rezultate kot pri različici z lesom. Veliko boljše so različice z lahko nosilno konstrukcijo (les, jeklo, aluminij) kot pa masivni konstrukcijski sklopi (armirani beton, opeka), predvsem zaradi veliko manjše mase potrebnega materiala na enoto površine za enak učinek.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 502/504:546.26:624.07(043.2)
Author: Klemen Petrović
Supervisor: doc. dr. Roman Kunič
Co-advisor: doc. dr. Mateja Dovjak
Title: Sustainable construction: Carbon footprint of building products and assembled constructional complexes
Document type: Graduation Thesis –University studies-B
Notes: 24 p., 11 tab., 4 fig.
Key words: Constructional complexes, carbon footprint, environmental indicator

Abstract

Greenhouse gases are becoming bigger and bigger polluter of our planet. Carbon dioxide represents the largest part of greenhouse gases (70 %), because of that we represent carbon footprint with CO₂ equivalent (CO₂-e). We will compare assembled construction complexes and their carbon footprint in this graduation thesis. At first we will explain what greenhouse gases are and how they are formed. Then we will present some of the studies that research field of materials in constructional complexes and connection with its carbon footprint. Slovenian, European and global legislation about carbon footprint will also be explained. In constructional complexes we will change materials for load-bearing construction (reinforced concrete, brick, wood, steel and aluminum) and thermal insulation (expanded polystyrene and rockwool). Among all versions of constructional complexes wood and expanded polystyrene gave as the best results in sustainable perspective. The worst results gave us the combination with brick and rockwool. Steel and aluminum have the biggest carbon footprint, wood has the smallest. Nevertheless carbon footprint of constructional complexes with steel or aluminum is just a little worse than constructional complexes with wood. We got a lot better results with light weight load-bearing construction (wood, steel, aluminum) then the massive systems type of load-bearing construction (reinforced concrete, brick) because less material is needed per unit area for the same effect.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Romanu Kuniču in somentorici doc. dr. Mateji Dovjak, ki sta mi med pisanjem diplomske naloge nudila strokovno pomoč in nasvete.

Zahvaljujem se tudi svoji družini za njihovo podporo skozi študij.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 O TOPLOGREDNIH PLINIH	2
3 PREDHODNE ŠTUDIJE	4
3.1 Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb	4
3.2 Variabilnost energijske bilance in bilance oglj. dioksida pri leseni in betonski zgradbi	5
3.3 Poraba energije v življenjskem ciklu in emisije ogljikovega dioksida za zasnovo stanovanjskih zgradb v Pekingu	5
3.4 Analiza vsebovanega ogljika in analiza energije modernih metod gradnje stanovanjskih objektov	6
4 ZAKONODAJA	7
4.1 Kjotski protokol	7
4.2 Sistem EU za trgovanje z emisijami	7
4.3 Evropa 2020	8
4.4 Kažipot za prehod v nizkoogljično gospodarstvo do 2050	8
4.5 Slovenska zakonodaja	8
5 METODA IZRAČUNA IN OPIS RAZLIČIC	10
5.1 Armiran beton	11
5.2 Opeka	12
5.3 Les	12
5.4 Jeklo	13
5.5 Aluminij	14
6 OGLJIČNI ODTIS RAZLIČNIH KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV	16
6.1 Armirani beton	16
6.2 Opeka	16
6.3 Les	17
6.4 Jeklo	18

6.5	Aluminij	19
7	ZAKLJUČEK.....	22
VIRI.....		23

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Uporabljeni materiali v konstrukcijskih sklopih.....	10
Preglednica 2: konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz armiranega betona.....	11
Preglednica 3: Konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz opeke.....	12
Preglednica 4: Konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz lesa	12
Preglednica 5: Konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz jekla.....	13
Preglednica 6: Konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz aluminija	14
Preglednica 7: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz armiranega betona ...	16
Preglednica 8: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz opeke	17
Preglednica 9: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz lesa	17
Preglednica 10: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz jekla	18
Preglednica 11: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz aluminija.....	19

KAZALO SLIK

Slika 1: Rast koncentracije toplogrednih plinov [21].....	2
Slika 2: Ogljični odtis TI materialov pri $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [8].....	4
Slika 3: Nastanek CO_2 v življenjskem ciklu objekta [18].....	6
Slika 4: Ogljični odtis konstrukcijskih sklopov	20

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

EPS – Ekspandirani polistiren

KS – Konstrukcijski sklop

NK – Nosilna konstrukcija

TI – Toplotna izolacija

TPG – Toplogredni plini

1 UVOD

Vedno bolj se zavedamo posledic globalnega segrevanja. Prav je, da začnemo delati v smeri zmanjševanja onesnaževanja našega planeta, tako s trdnimi odpadki kot tudi s toplogrednimi plini.

Gradbeništvo je zelo velik porabnik naravnih surovin. Pri predelavi surovin v materiale primerne za grajenje je potrebno veliko energije (jeklo, aluminij, cement, opeka). Ker večinoma še vedno uporabljamo fosilna goriva za pridobivanje električne energije nastajajo zelo veliki izpusti toplogrednih plinov [2].

Zaradi velikih izpustov toplogrednih plinov v okolje moramo že pred samo gradnjo objekta razmišljati o zmanjševanju izpustov toplogrednih plinov. To storimo tako, da izberemo tak konstrukcijski sklop, ki ima čim manjši ogljični odtis. V diplomski nalogi želimo preveriti, ogljični odtis sestavljenih konstrukcijskih sklopov. Osredotočili se bomo na vpliv različnih materialov sistema nosilne konstrukcije in materialov toplotne izolacije na ogljični odtis posameznega konstrukcijskega sklopa.

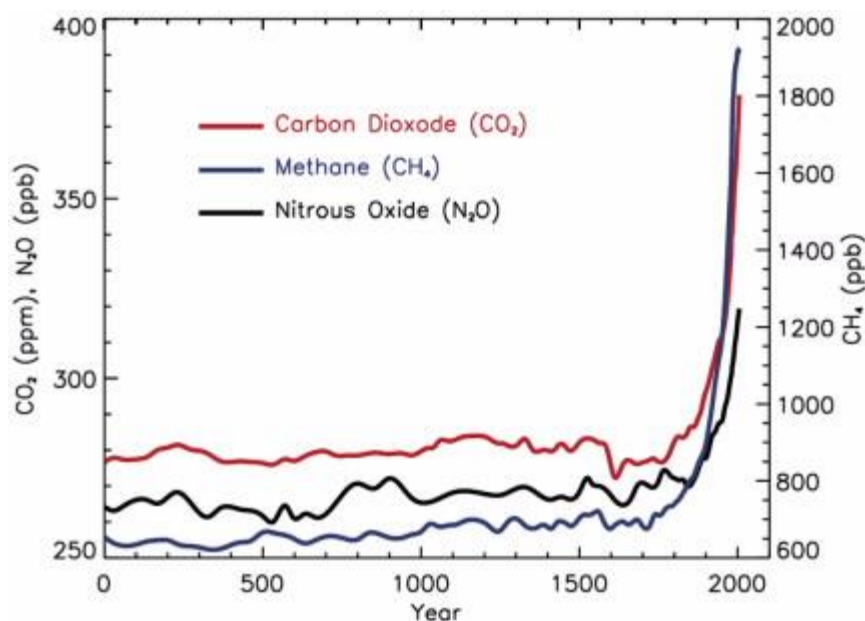
Področje ogljičnega odtisa konstrukcijskih sklopov ni posebno dobro raziskano. Večino študij je narejenih za posamezne dele konstrukcijskih sklopov. Toplotno izolacijske materiale je raziskoval Kunič s sodelavci (Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb, 2012 (Kunič s sod., 2012) [8]). Primerjava ogljičnega odtisa različnih nosilnih konstrukcij je med drugimi opisana v študiji: Poraba energije v življenjskem ciklu in emisije ogljikovega dioksida za zasnovo stanovanjskih zgradb v Pekingu, 2012 (Gong s sod, 2012) [19]. V študiji Analiza vsebovanega ogljika in analiza energije modernih metod gradnje stanovanjskih objektov, 2011: Študija primera s pomočjo analize življ. cikla (Monahan, in Powell, 2011) [20] pa sta glede ogljičnega odtisa obravnavani različni fasadi pri montažni leseni hiši (lesena oziroma opečna fasada) in klasično zidano hišo.

Naloga je razdeljena na 6 poglavij. V prvem poglavju bomo na kratko opisali vsebino diplomske naloge. Osnove o toplogrednih plinih, kateri plini so sploh toplogredni plini in v kakšnem deležu se nahajajo v ozračju bomo predstavili v drugem poglavju. Razložili bomo tudi kakšno enoto uporabljamo za prikaz količine toplogrednih plinov. V tretjem poglavju bomo na kratko predstavili izvedene študije, ki so bo bile narejene na temo ogljičnega odtisa materialov. Zakonodajo s področja toplogrednih plinov bomo predstavili v četrtem poglavju. Metodo izračuna in opis vseh variant konstrukcijskih sklopov bomo prikazali v petem poglavju. V šestem poglavju pa bomo prikazali in komentirali izračune ogljičnega odtisa posameznih konstrukcijskih sklopov.

2 O TOPLOGREDNIH PLINIH

Količina toplogrednih plinov (TGP) se naglo zvišuje vse od začetka industrijske revolucije v 18. stoletju, ko smo začeli kuriti vedno večje količine fosilnih goriv (premog, nafta, zemeljski plin) za proizvodnjo energije. [1] Žal še danes, več kot 200 let pozneje, uporabljamo fosilna goriva (predvsem premog) kot glavni vir za proizvodnjo električne energije. [2] Energija, ki je potrebna za upravljanje stavb v Evropi predstavlja kar 42 % vse porabljene energije. Stavbe tako doprinesejo 35 do 40 % k celotni količini proizvedenih emisij ogljikovega dioksida. Poudariti pa je potrebno, da so kljub temu stavbe v Evropi med najbolj energetske učinkovitimi. [8]

Toplogredne pline tvorijo vodna para, ki je naravni toplogredni plin, ogljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), di-dušikov oksid (N_2O) ter t.i. F-plini, ki obsegajo fluorirane ogljikovodike (HFC), perfluorirane ogljikovodike (PFC) in žveplov heksafluorid (SF_6). [3] Glede na celotno količino TGP (leta 2010) je največ ogljikovega dioksida (70 %), sledi metan z 20 % deležem, nato di-dušikov oksid z 8 % in ostalo je F-plinov (3 %). [4] Strmo rast koncentracije TGP lahko vidimo na Sliki 1. Opazimo lahko, da se je npr. količina ogljikovega dioksida v ozračju od 18. stoletja do danes povečala za približno 40 %.



Slika 1: Rast koncentracije toplogrednih plinov [21]

Kot že samo ime pove, toplogredni plini ustvarjajo toplo gredo, kar pomeni, da zadržijo toploto v atmosferi, ki bi drugače ušla v vesolje. Zaradi tega se Zemlja segreva (globalno segrevanje). Toplogredni plini imajo različno veliko sposobnost zadrževanja toplote in različno dolgo časa ostanejo v atmosferi. Da bi lahko med seboj primerjali učinke TGP na globalno segrevanje se je razširil pojem toplogredni potencial (ang. *Global Warming Potential* – GWP). GWP primerja učinke ostalih toplogrednih plinov z učinkom ogljikovega dioksida na globalno segrevanje. Tako ima CO_2 faktor 1,

CH₄ faktor med 28 in 36, N₂O med 265 in 298, F-plini pa med tisoč in nekaj deset tisoč. GWP je odvisen od časa opazovanja. Zgornji podatki so za 100 letno opazovanje. [5] Ogljikovega dioksida je od toplogrednih plinov v ozračju največ, zato predstavlja ravno CO₂ največji delež onesnaževanja ozračja s toplogrednimi plini (82,9 %). Drugi plin je metan (9,9 %), nato di-dušikov oksid (5,9 %) in zadnji so F-plini (1,4 %); podatki za leto 2012. [3]

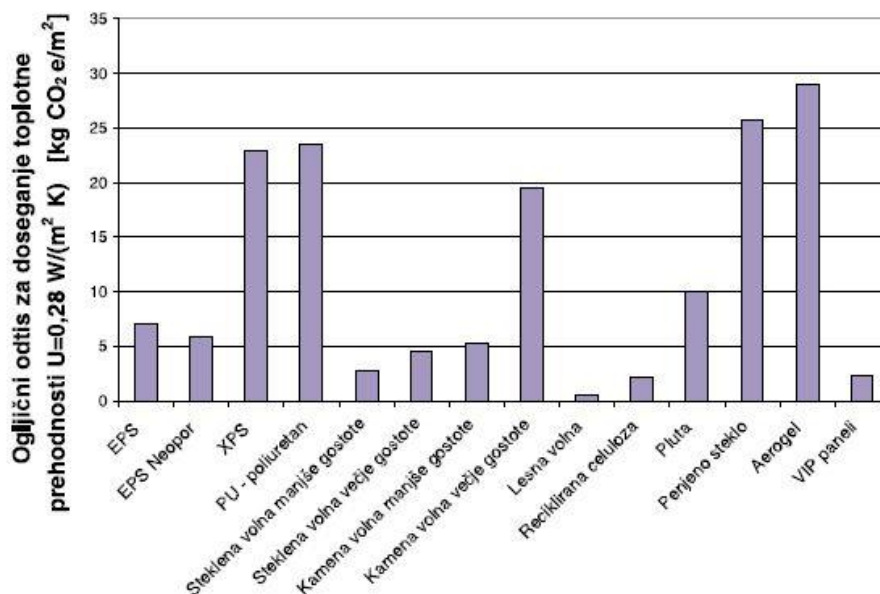
Kot smo lahko opazili, je najbolj problematičen ogljikov dioksid, zato ostale toplogredne pline predstavimo z ekvivalentom CO₂. To storimo tako, da maso, oziroma količino plinov pomnožimo z njihovimi toplogrednimi potenciali (GWP) in nato seštejemo vse izpuste toplogrednih plinov, ki jih ustvari določen izdelek, organizacija ali storitev, tako posredno ali neposredno (v določenem časovnem obdobju). [6, 8]. Ekvivalent CO₂ (CO₂-e ali CO₂-ekv) izražamo v giga gramih (Gg) ali kilo tonah (kt). [7] Enota, ki se uporablja za opis količine izpustov toplogrednih plinov (ekvivalent CO₂) pri izdelavi materialov je kgCO₂-e/kg materiala ali kgCO₂-e/m³ materiala.

3 PREDHODNE ŠTUDIJE

V tem poglavju bomo na kratko predstavili predhodne študije, ki so bile izvedene na temo ogljičnega odtisa materialov, ki se uporabljajo pri konstrukcijskih sklopih zunanje stene.

3.1 Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb

V študiji Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb je Kunič s sod. (2012) [8] preverjal ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov glede na osnovno nalogo materialov (čim večji toplotni upor). Kajti v večini študij je ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov opredeljen glede na enoto teže samega materiala. V tej študiji pa so primerjali toplotnoizolacijske materiale med seboj tako, da so zahtevali maksimalno dovoljeno toplotno prehodnost kot zahteva PURES ($U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Obravnavali so naslednje toplotnoizolacijske materiale: EPS, EPS Neopor, XPS, PU – poliuretan, steklena volna manjše gostote, steklena volna večje gostote, kamena volna manjše gostote, kamena volna večje gostote, lesena volna, reciklirana celuloza, pluta, penjeno steklo, aerogel in VIP-paneli. Prišli so do zanimivih rezultatov, če primerjamo ogljični odtis EPS-a ($\rho = 16 \text{ kg}/\text{m}^3$) in kamene volne večje gostote ($\rho = 160 \text{ kg}/\text{m}^3$) na enoto mase vidimo, da je okoljsko bolj spremenljiva kamena volna (EPS: $3,3 \text{ kg CO}_2\text{-e}/\text{kg}$, kam. volna visoke gostote: $0,9 \text{ kg CO}_2\text{-e}/\text{kg}$). Pri primerjavi ogljičnega odtisa glede na kvadratni meter potrebnega materiala za zadostitev pogoja iz PURESa pa je slika obratna. Ogljični odtis EPS-a je $7,0 \text{ kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2$, medtem ko je količina $\text{CO}_2\text{-e}$ pri kameni volni visoke gostote večja, in sicer $19,5 \text{ kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2$, kar lahko vidimo na Sliki 2, kjer lahko primerjamo še ostale toplotnoizolacijske materiale med seboj. [8]



Slika 2: Ogljični odtis TI materialov pri $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [8]

Naravni materiali so okoljsko bolj spremenljivi, a so manj stabilni in težje vgradljivi kot umetni materiali. Kot zanimivost je navedeno tudi, da če izoliramo hišo s PU peno, ki ima visok ogljični odtis se proizvede toliko CO₂-e kot se ga proizvede pri eni šestini potrebnega betona ali eni sedmini potrebne žgane gline za izgradnjo enodružinske hiše. Kar pomeni, da je pri gradnji enodružinske hiše ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v primerjavi z materiali, ki so potrebni za nosilno konstrukcijo (betonsko in opečno) zelo majhen. [8]

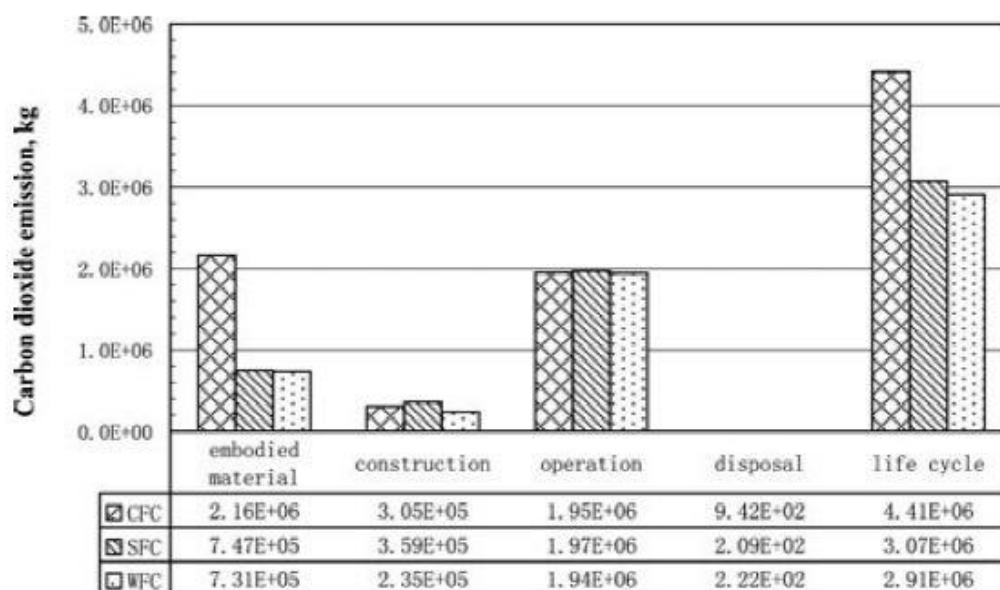
3.2 Variabilnost energijske bilance in bilance oglj. dioksida pri leseni in betonski zgradbi

Študija Variabilnost energijske bilance in bilance ogljikovega dioksida pri leseni in betonski zgradbi, 2006 (Gustavsson in Sathre) [18], temelji na 4 nadstropni stanovanjski stavbi s 16 stanovanji z življenjsko dobo 100 let. Primerjava se je izvedla med leseno in armiranobetonsko okvirno nosilno konstrukcijo. Upoštevali so različne parametre, ki so predstavljeni v nadaljevanju. Pri proizvodnji cementa so spreminjali dodatke k cementu (elektrofiltrski pepel, žindra) in tako znižali potrebno količino klinkerja, s tem je bila manjša poraba energije ter je tako nastalo manj izpustov ogljikovega dioksida. Pridobivanje agregata je bolj energijsko učinkovito, če je agregat iz gramoznice (sejanje, čiščenje, transport) kot če ga pridobivamo iz kamnoloma (drobljenje, sejanje, transport). Jeklo za armiranje je v celoti narejeno iz recikliranega jekla. [18]

Najbolj energetsko učinkovito je zračno sušenje lesa, a se v industriji uporablja predvsem sušenje lesa v pečeh, ker je hitrejše od zračnega. Energetsko učinkovitejše in ekološko bolj spremenljivo je sušenje v pečeh s kontinuiranim doziranjem lesa, kot pa sušenje lesa v šaržah. V študiji so upoštevali, da se električna energija pridobiva iz premoga. Stranski produkti pri proizvodnji lesenih produktov pa se termično izrabijo. Prav tako termično izrabijo 70 % ostankov lesa iz gozda (veje, listje, vrhovi dreves). Energetsko ali drugače (panelne plošče) se v obratu izrabi tudi žaganje in lubje. Kot pričakovano se je glede energetske bilance in ogljičnega odtisa boljše obnesla lesena skeletna gradnja, in sicer v vseh kombinacijah parametrov, razen pri najslabši kombinaciji za les, kjer je bil boljši armiranobetonski skelet. [18]

3.3 Poraba energije v življenjskem ciklu in emisije ogljikovega dioksida za zasnovane stanovanjske zgradbe v Pekingu

V študiji Poraba energije v življenjskem ciklu in emisije ogljikovega dioksida za zasnovane stanovanjske zgradbe v Pekingu, (Gong s sod, 2012) [19] so zajeti trije tipi stanovanjskih zgradb s skeletno nosilno konstrukcijo, ki se razlikujejo po materialu nosilne konstrukcije; beton (CFC), jeklo (SFC) in les (WFC). Študija je narejena po standardu ISO 14040/44: 2006. Največja poraba energije v življenjski dobi objekta je med obratovanjem objekta, sledi pridobivanje materiala, gradnja in rušenje objekta, kjer se porabi najmanj energije (velja za vse tri vrste nosilne konstrukcije). Izpust ogljikovega dioksida pri betonski zgradbi je za 44 % večji kot pri jekleni zgradbi in za 49 % večji kot pri leseni. Pri jekleni zgradbi pa se proizvede 5 % več emisij kot pri leseni. [19]



Slika 3: Nastanek CO₂ v življenjskem ciklu objekta [18]

Na Sliki 3 vidimo, da emisije CO₂ nastanejo predvsem v fazi obratovanja zgradb. V fazi gradnje in rušenja pa skupaj nastane manj kot 11 % vseh emisij. V fazi proizvodnje materiala za betonsko zgradbo pa so emisije ogljikovega dioksida približno trikrat večje kot pri jekleni ali leseni zgradbi. [19]

3.4 Analiza vsebovanega ogljika in analiza energije modernih metod gradnje stanovanjskih objektov

Vzorčna hiša za izvedbo študije Analiza vsebovanega ogljika in analiza energije modernih metod gradnje stanovanjskih objektov: Študija primera s pomočjo analize življenjskega cikla (Monahan, in Powell, 2011) [20] je dvojček s 83 m² neto uporabne površine v Veliki Britaniji. Študija zajema porabo energije in sproščene emisije ogljikovega dioksida za proizvodnjo materiala in izdelkov, transport na končno lokacijo, emisije zaradi odpadkov, transport odpadkov in energija iz fosilnih goriv uporabljena pri proizvodnji materiala in gradnji objekta (od zibelke do končne lokacije – ang. *from cradle to site*). Med seboj so primerjali tri scenarije, ki jih bomo opisali v nadaljevanju. Vsem trem scenarijem je skupno to, da so temeljeni na armirano betonskih pasovnih temeljih ter, da imajo betonski kolenčni zid. Scenarij 1 predvideva leseno montažno gradnjo s toplotnoizolacijskim polnilom in leseno fasado zmontirano na mestu samem. Scenarij 2 se od prvega scenarija razlikuje po fasadi. Pri tem scenariju je fasada opečna (poveča se debelina zunanje stene). Scenarij 3 pa predvideva klasično grajeno hišo z dvema plastema opeke, med katerima je toplotna izolacija (poveča se debelina zunanje stene in temelji). Pri scenariju 1 na proizvodnjo materiala odpade 82 % emisij ogljikovega dioksida. Scenarij 2 ima 32 % večje skupne emisije ogljikovega dioksida kot scenarij 1. Scenarij 3 pa ima kar 51 % večje skupne emisije kot scenarij 1. Če pogledamo drugače, lesena montažna gradnja (scenarij 1)

povzroči 34 % manj emisij ogljikovega dioksida kot gradnja klasične hiše v Veliki Britaniji (scenarij 3). [20]

4 ZAKONODAJA

Kot članica EU je Slovenija zavezana k upoštevanju pravnih aktov sprejetih na Evropski ravni. Tako smo kot država del Kjotskega sporazuma, strategije Evropa 2020, sistema EU za trgovanje emisij in Kažipota za prehod v nizkoogljično gospodarstvo do 2050. Ta zakonodaja predstavlja omejitve za državo in podjetja, ki v njej poslujejo. Z vidika te diplomske naloge je upoštevanje zgoraj naštetih omejitev potrebno, saj se nanašajo na izpuste pri izdelavi izdelkov, ki so del konstrukcijskih sklopov (opeka, cement, jeklo...).

4.1 Kjotski protokol

Kjotski protokol je eden izmed najpomembnejših mednarodnih pravnih instrumentov za spopadanje s podnebnimi spremembami. Protokol je bil sprejet 11. decembra 1997 v mestu Kjoto, ker Okvirna konvencija Združenih narodov o spremembi podnebja ne vsebuje številčnih podatkov glede obveze posameznih držav za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov za najmanj 5 % glede na leto 1990. [9] Če primerjamo zmanjšanje emisij z emisijami leta 2010 (ob neupoštevanju Protokola) znaša zmanjšanje 29%. [10] Vključenih je 141 držav sveta, njihov delež svetovnih emisij je 61 %. [11] V Protokol niso vključene države v razvoju, ker bi zaviral gospodarsko rast. [10] Protokol uvaja Sistem trgovanja z emisijami, kateri je predstavljen v naslednjem poglavju. Konec leta 2012 je poteklo prvo obdobje. Drugo obdobje bo trajalo od 2013 do 2020. V tem času morajo vključene države zmanjšati emisije TGP vsaj na 82 % vrednosti emisij leta 1990. [12]

4.2 Sistem EU za trgovanje z emisijami

Zelo učinkovit način zmanjševanja in nadzora nad emisijami v Evropski Uniji je t.i. EU Emissions Trading System (EU ETS) ali sistem EU za trgovanje z emisijami (Direktiva 2009/29/ES). EU ETS je trgovanje z emisijskimi pravicami. Nastal je zaradi prej omenjenega Kjotskega sporazuma, saj je orodje za izpolnjevanje obveznosti sporazuma. Po zakonodaji centralni organ države določi mejo dovoljenih izpustov. V sistem so vključena podjetja, ki v zrak spustijo več kot 10.000 ton CO₂ letno. Podjetja nato kupujejo omejeno število dovolilnic, ki jim omogočajo onesnaževanje v višini kupljene dovolilnice. Z dovolilnico se ne določi le samega izpusta, ampak tudi vrsto emisije. S takim tržnim pristopom EU ekonomsko spodbuja podjetja k zniževanju emisij. Podjetja, ki uspejo svoje poslovanje ustvariti bolj učinkovito (predvsem gledano s strani emisij, ki jih povzročijo), lahko presežek dovolilnic prodajo na prostem trgu (na princip delovanja trgovanja z drugimi vrednostnimi papirji – po

tržni ceni). V večini primerov lahko podjetja z boljšo učinkovitostjo svojih procesov ne samo zmanjšajo emisije, ampak tudi znižajo stroške poslovanja ter tako bolj konkurenčno nastopajo na trgu. Število izdanih dovolilnic se bo iz leta v leta zmanjševalo, saj kot omenjeno ta sistem predstavlja tudi način zmanjševanja emisij. Poleg tega ta sistem spodbudi podjetja, da vlagajo v bolj ekološke proizvodnje obrate. [13, 14]

4.3 Evropa 2020

Leta 2007 so v evropskem svetu sprejeli strategijo Evropa 2020 v kateri je med drugimi tudi podnebni in energetski del. Ta del strategije določa cilje za leto 2020 in sicer, tako imenovani cilj 20-20-20. Kar pomeni, da imamo namen v Evropski Uniji zmanjšati emisije toplogrednih plinov za 20 % (glede na leto 1990), izboljšati energetsko učinkovitost za 20 % in povečati delež obnovljivih virov energije za 20 %. Evropska unija je tudi podala možnost zmanjšanja emisij celo za 30 % do leta 2020, če bodo to storile v sorazmernem deležu tudi razvite države in države v razvoju. Če dosežemo cilj 20-20-20 si lahko poleg energetskega in okoljskega dobrobita obetamo tudi pridobitev predvidenih 417 000 novih delovnih mest zaradi 20 % povečanja izrabe obnovljivih virov in 400 000 novih delovnih mest ob 20 % boljši energetski učinkovitosti. [15]

4.4 Kažipot za prehod v nizkoogljično gospodarstvo do 2050

Evropska Unija si je zadala večje oziroma dolgoročneje cilje kot samo do leta 2020. Tako je marca 2011 izšel Kažipot za prehod v nizkoogljično gospodarstvo do 2050, v katerem Evropska komisija opisuje kako zmanjšati emisije TGP za 80 do 95 % (glede na leto 1990) do leta 2050. [16] V tem dokumentu je zapisano tudi, da bo potrebno zadržati globalno segrevanje pod 2°C glede na temperaturo pred industrializacijo. Če bomo vse to dosegli bomo živeli v nizkoogljični družbi in dihali čistejši zrak. Tehnologije za doseganje takšnih rezultatov že obstajajo, vendar jih je potrebno še razvijati. Poleg zmanjševanja emisij bi lahko zmanjšali tudi porabo fosilnih goriv, naravnih surovin, pitne vode in tal za proizvodnjo energije in izdelkov. Na tak način bomo pridobili tudi ekonomsko korist, saj bomo porabili manj energije in surovin ter zaradi vseh inovacij in investicij bo gospodarstvo ponovno cvetelo. [17]

4.5 Slovenska zakonodaja

Slovenija sprejema in je dolžna izpolnjevati zakonodajo s strani Evropske Unije (vsa zgoraj naštetá podpoglavja). Leta 2011 je Slovenija sprejela Uredbo o zelenem javnem naročanju. Po tej uredbi naročnik naroča blago, storitve ali gradnje, ki imajo manjši vpliv na okolje. Narejen je tudi že osnutek

Zakona o podnebnih spremembah (2011), a do sedaj še ni stopil v veljavo. Vsebuje usmeritve glede zmanjševanja emisij toplogrednih plinov. [8]

5 METODA IZRAČUNA IN OPIS RAZLIČIC

V tem poglavju, kot že sam naslov pove, bomo opisali metodo izračuna ogljičnega odtisa različnih konstrukcijskih sklopov in variante konstrukcijskih sklopov. Pri izračunu smo spreminjali materiale iz katerih je narejena nosilna konstrukcija in materiale toplotne izolacije. Izbrali smo nekaj običajnih konstrukcijskih sklopov in nekaj manj pogostih izvedb, vendar vseeno izvedljivih. Pri materialih za nosilno konstrukcijo smo izbirali med armiranim betonom (stena oz. ekso skelet), opeko (ekso skelet), lesom (stebri oz. endo skelet), jeklom (endo skelet) in aluminijem (endo skelet). Toplotno izolacijo je predstavljal ekspanzirani polistiren (EPS) oziroma kamena volna. Pri endo sistemih nosilne konstrukcije so kot polnilo uporabljena celulozna vlakna .

Preglednica 1: Uporabljeni materiali v konstrukcijskih sklopih

Št.	Material	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	Vred. oglj. odtisa [kgCO ₂ -e/kg]	Vred. oglj. odtisa [kgCO ₂ -e/m ³]
1	Opečni zidaki	800	0,33	0,271	216,8
2	Armirani beton	2500	2,33	0,179	447,5
3	Rezan mehki les	470	0,14	0,181	85
4	Jeklo	7850	85,50	1,526	11979,1
5	Aluminij	2700	203,00	8,571	23141,7
6	Cementna malta	2100	1,40	0,243	510,3
7	OSB plošča	660	0,14	0,470	310
8	Fasadna malta	1850	0,70	0,216	399,6
9	Mavčno-kartonska plošča	1400	0,70	0,162	226,8
10	PE folija	1000	0,19	1,85	1850
11	EPS	15	0,039	3,380	50,700
12	Kamena volna	80	0,034	1,080	86,400
13	Celulozna vlakna	50	0,040	0,365	18,250

V Preglednici 1 so prikazani materiali, ki so uporabljeni v konstrukcijskih sklopih. Vidimo lahko razliko pri vrednostih ogljičnega odtisa, če zapišemo vrednost ogljičnega odtisa v kgCO₂-e/kg ali kgCO₂-e/m³. Razlika je najbolj opazna, če primerjamo rezan mehki les in mavčno-kartonsko ploščo. Če vrednost ogljičnega odtisa izrazimo v kgCO₂-e/kg materiala ima manjši vpliv na okolje mavčno-kartonska plošča če pa vrednost ogljičnega odtisa izrazimo v kgCO₂-e/m³ materiala ima manjši vpliv

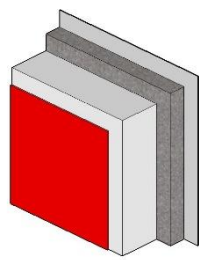
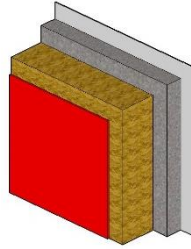
na okolje rezan mehki les. Enako lahko opazimo, če primerjamo opečne zidake in armirani beton. Aluminiij ima največjo vrednost ogljičnega odtisa med izbranimi materiali, ne glede na enoto materiala. Najmanjšo vrednost pa imajo celulozna vlakna. Med materialom z najmanjšo in največjo vrednostjo ogljičnega odtisa je tako skoraj 1300-kratna razlika, če gledamo v kgCO₂-e/m³ materiala. Vrednosti ogljičnega odtisa smo pridobili s pomočjo programa Ecoinvent (2010) [22] in iz študije Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb, 2012 (Kunič s sod., 2012) [8].

Dimenzije nosilne konstrukcije smo izbrali kot da projektiramo enodružinsko hišo. Debelina toplotne izolacije varira v odvisnosti od toplotne prehodnosti le-te. Vsi konstrukcijski sklopi imajo enako toplotno prehodnost, in sicer 0,15 W/m²K. Tako toplotno prehodnost smo izbrali zaradi razloga, da glede toplotne prehodnosti zadostimo zahtevam iz PURES-a in da se ne omejimo samo na maksimalno dovoljeno toplotno prehodnost po PURES-u (0,28 W/m²K) ampak, da imamo čim manjšo toplotno prehodnost ob ne preveliki debelini toplotne izolacije. Debelina toplotne izolacije je določena tako, da dobimo pri vseh različicah enako vrednost toplotne prehodnosti (0,15 W/m²K). Zavedamo se, da so nekatere debeline toplotne izolacije malo ne smiselne s strani izvedbe. Podatke o toplotni prevodnosti λ , kot tudi izračun toplotne prehodnosti U smo pridobili s pomočjo programa TEDI [23]. Skupaj je 10 različnih variant. V nadaljevanju bomo prikazali posamezne variante glede na material nosilne konstrukcije.

5.1 Armiran beton

Armirano betonska stena debeline 10 cm ima na notranji strani cementni omet deb. 0,5 cm, na zunanji pa EPS deb. 25 cm oziroma kameno volno deb. 22 cm ter fasadni omet deb. 1 cm (Preglednica 2).

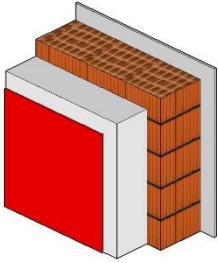
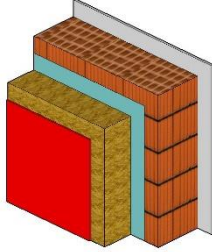
Preglednica 2: konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz armiranega betona

NK: Armirani beton	TI: EPS		
	Material	Debelina	
	Cementna malta	0,5 cm	
	Armirani beton	10 cm	
	EPS	25 cm	
	Fasadna malta	1 cm	
	Skupaj	36,5 cm	
	TI: Kamena volna		
	Material	Debelina	
	Cementna malta	0,5 cm	
	Armirani beton	10 cm	
	Kamena volna	22 cm	
Fasadna malta	1 cm		
Skupaj	33,5 cm		

5.2 Opeka

Stena iz modularnega bloka debeline 29 cm je na zunanji strani izolirana z 22 cm EPSa oziroma 19 cm kamene volne in zaključena s fasadnim ometom v debelini 1 cm. Na notranji strani je stena zaključena s cementnim ometom deb. 1,5 cm. Ko smo izbrali kameno volno za toplotno izolacijo se je prikazala potreba po parni oviri iz PE folije med opeko in kameno volno zaradi nastanka kondenza v kameni volni (Preglednica 3).

Preglednica 3: Konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz opeke

NK: Opeka	TI: EPS		
	Material	Debelina	
	Cementna malta	1,5 cm	
	Opeka	29 cm	
	EPS	22 cm	
	Fasadna malta	1 cm	
	Skupaj	53,5 cm	
	TI: Kamena volna		
	Material	Debelina	
	Cementna malta	1,5 cm	
	Opeka	29 cm	
	PE folija	0,019 cm	
	Kamena volna	19 cm	
	Fasadna malta	1 cm	
Skupaj	50,5 cm		

5.3 Les

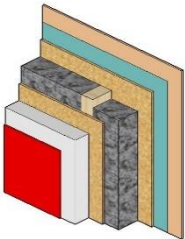
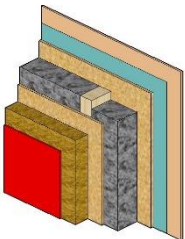
Lesen steber v nosilni konstrukciji je debeline 14 cm in širine 8 cm. Osi stebrov so med seboj oddaljene 80 cm. Kot polnilo med stebri smo uporabili celulozna vlakna. Konstrukcijski sklop je na notranji strani sestavljen iz OSB plošče deb. 1,5 cm, PE folije in mavčno-kartonske plošče deb. 1,25 cm. Na zunanji strani pa je prav tako OSB plošča enake debeline, nato EPS deb. 10 cm oziroma kamena volna deb. 9 cm in zaključen fasadni omet deb. 1 cm (Preglednica 4).

Preglednica 4: Konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz lesa

NK: Les	TI: EPS + celulozna vlakna		
	Material	Debelina	
	Mavčno - kartonska pl.	1,25 cm	

se nadaljuje ...

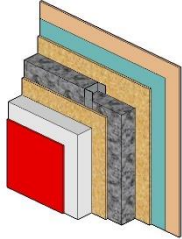
... nadaljevanje Preglednice 4

	PE folija	0,019 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	Cel. vlakna + lesen steber 14/8 cm	14 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	EPS	10 cm	
	Fasadna malta	1 cm	
	Skupaj	29,3 cm	
	TI: Kamena volna + celulozna vlakna		
	Material	Debelina	
	Mavčno - kartonska pl.	1,25 cm	
	PE folija	0,019 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	Cel. vlakna + lesen steber 14/8 cm	14 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	Kamena volna	9 cm	
	Fasadna malta	1 cm	
	Skupaj	28,3 cm	

5.4 Jeklo

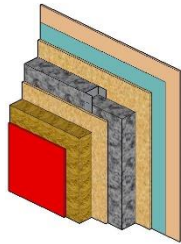
Za nosilno konstrukcijo smo upoštevali jeklene hladno valjane C profile debeline 0,16 cm, višine 10 cm in širine 5,5 cm. Med osmi stebrov je 80 cm. Sestava konstrukcijskega sklopa z jeklenimi C profili je enaka kot pri lesu. Spremenijo se le debeline. Polnilo iz celuloznih vlaken je tako debeline 10 cm, EPS deb. 14 cm oziroma kamena volna deb. 13 cm (Preglednica 5).

Preglednica 5: Konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz jekla

NK: Jeklo	TI: EPS + celulozna vlakna		
	Material	Debelina	
	Mavčno - kartonska pl.	1,25 cm	
	PE folija	0,019 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	Cel. vlakna + jeklen C profil 10/5,5/0,16 cm	10 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	EPS	14 cm	

se nadaljuje ...

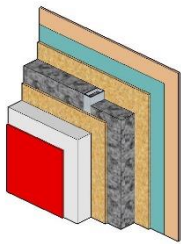
... nadaljevanje Preglednice 5

	Fasadna malta	1 cm	
	Skupaj	29,3 cm	
	TI: Kamena volna + celulozna vlakna		
	Material	Debelina	
	Mavčno - kartonska pl.	1,25 cm	
	PE folija	0,019 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	Cel. vlakna + jeklen C profil 10/5,5/0,16 cm	10 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	Kamena volna	13 cm	
	Fasadna malta	1 cm	
	Skupaj	28,3 cm	

5.5 Aluminij

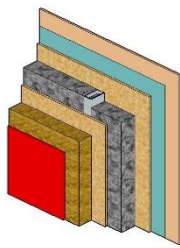
Nosilna konstrukcija je sestavljena iz aluminijastih škatlastih profilov na medosni razdalji 80 cm, višine 10 cm, širine 5 cm in debeline 0,25 cm. Konstrukcijski sklop razen drugačnega materiala nosilne konstrukcije je enak konstrukcijskem sklopu pri katerem je nosilni material jeklo (Preglednica 6).

Preglednica 6: Konstrukcijska sklopa z nosilno konstrukcijo iz aluminija

NK: Aluminij	TI: EPS + celulozna vlakna		
	Material	Debelina	
	Mavčno - kartonska pl.	1,25 cm	
	PE folija	0,019 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	Cel. vlakna + al. škatlast profil 10/5/0,25 cm	10 cm	
	OSB plošča	1,5 cm	
	EPS	14 cm	
	Fasadna malta	1 cm	
	Skupaj	29,3 cm	
	TI: Kamena volna + celulozna vlakna		
	Material	Debelina	
	Mavčno - kartonska pl.	1,25 cm	
	PE folija	0,019 cm	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 6

OSB plošča	1,5 cm	
Cel. vlakna + al. škatlast profil 10/5/0,25 cm	10 cm	
OSB plošča	1,5 cm	
Kamena volna	13 cm	
Fasadna malta	1 cm	
Skupaj	28,3 cm	

Ko smo definirali vse variante konstrukcijskih sklopov lahko pričnemo z izračunom. Za izračun ogljičnega odtisa konstrukcijskih sklopov smo uporabili program Microsoft Excel.

Ogljični odtis posameznih materialov imamo podan v $\text{kgCO}_2\text{-e/kg}$ materiala oziroma v $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^3$ materiala (s pomočjo gostote materiala lahko enoto pretvorimo). Za izračun potrebujemo ogljični odtis materiala v $\text{kgCO}_2\text{-e/m}^3$ materiala. Potem pomnožimo ta podatek z debelino sloja in dobimo ogljični odtis sloja za en kvadratni meter konstrukcijskega sklopa ob praktično enakem učinku nosilnosti in toplotne prehodnosti. Na tak način pa ne moremo dobiti ogljičnega odtisa za nosilno konstrukcijo iz lesa, jekla in aluminija, ker nosilna konstrukcija ni na celotnem prerezu stene. Da dobimo ogljični odtis za te materiale moramo stebre pretvoriti v povprečno debelino nosilne konstrukcije. To smo naredili tako, da smo najprej izračunali prostornino stebra višine 1 meter (enak postopek za les, jeklo in aluminij), nato pa smo prostornino delili z medosno razdaljo stebrov in enim metrom. Tako smo dobili ogljične odtise vseh materialov. Pri posamezni varianti jih moramo tako le še sešteti, da dobimo ogljični odtis posamezne variante konstrukcijskega sklopa.

6 OGLJIČNI ODTIS RAZLIČNIH KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV

V tem poglavju bomo prikazali ogljične odtise za posamezno varianto. Prikaze variant smo med seboj združili glede na material nosilne konstrukcije. Rezultati bodo v nadaljevanju prikazani v preglednicah in skupnem grafikonu.

Ker imata kamena volna in ekspanzirani polistiren približno enako debelino pri posameznih različicah in ker ima kamena volna večji ogljični odtis kot EPS, imajo vsi konstrukcijski sklopi s kameno volno večji ogljični odtis kot tisti z EPS-om.

6.1 Armirani beton

Pri konstrukcijskem sklopu z nosilno konstrukcijo iz armiranega betona je razlika pri velikosti ogljičnega odtisa je le pri toplotni izolaciji. Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z ekspanziranim polistirenom je za 9 % manjši od ogljičnega odtisa konstrukcijskega sklopa s kameno volno. Delež ogljičnega odtisa armiranega betona v ogljičnem odtisu konstrukcijskega sklopa je povprečno 65 %.

Preglednica 7: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz armiranega betona

NK: Armirani beton	TI: EPS		
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO ₂ -e/m ²]
	Cementna malta	0,005	2,552
	Armirani beton	0,1	44,750
	EPS	0,25	12,675
	Fasadna malta	0,01	5,103
	Skupaj	0,365	65,080
	TI: Kamena volna		
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO ₂ -e/m ²]
	Cementna malta	0,005	2,552
Armirani beton	0,1	44,750	
Kamena volna	0,22	19,008	
Fasadna malta	0,01	5,103	
Skupaj	0,335	71,413	

6.2 Opeka

Poleg tega, da ima kamena volna večji ogljični odtis je bilo potrebno namestiti še polietilensko (PE) folijo, da preprečimo navlaževanje TI in tako se je ogljični odtis konstrukcijskega sklopa s kameno volno še povečal (Preglednica 8). Ogljični odtis na enoto prostornine opeke je skoraj šestkrat večji od ogljičnega odtisa EPS-a oziroma skoraj štirikrat večji od ogljičnega odtisa kamene volne. Opazimo

lahko, da je ogljični odtis vsote obeh ometov približno enak ogljičnemu odtisu toplotne izolacije iz ekspandiranega polistirena. PE folija glede na ostale materiale doprinese zelo malo k celotni velikosti ogljičnega odtisa KS, zaradi svoje majhne debeline. Večinski delež ogljičnega odtisa KS (približno 70 %) doprinese nosilna konstrukcija.

Opečni zid debeline 29 cm ima 40 % večji ogljični odtis kot deset centimetrski armiranobetonski zid.

Preglednica 8: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz opeke

NK: Opeka	TI: EPS		
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO ₂ -e/m ²]
	Cementa malta	0,015	7,655
	Opeka	0,29	62,872
	EPS	0,22	11,154
	Fasadna malta	0,01	5,103
	Skupaj	0,535	86,784
	TI: Kamena volna		
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO ₂ -e/m ²]
	Cementa malta	0,015	7,655
	Opeka	0,29	62,872
	PE folija	0,00019	0,3515
	Kamena volna	0,19	16,416
	Fasadna malta	0,01	5,103
Skupaj	0,505	92,397	

6.3 Les

Sestava konstrukcijskega sklopa pri katerem je nosilna konstrukcija iz lesa se razlikuje samo po vrsti toplotne izolacije, zato ima , kot že na začetku poglavja omenjeno, večji ogljični odtis KS s kameno volno. Za razliko kot v prejšnjih dveh različicah pri tej varianti nosilna konstrukcija nima večinskega doprinosu k ogljičnem odtisu celotnega konstrukcijskega sklopa. Nosilna konstrukcija iz lesa doprinese približno 5 % k celotnem ogljičnem odtisu KS. K ogljičnem odtisu KS največ doprineseta OSB plošči (35 % pri varianti z EPS-jem oziroma 32 % pri varianti s kameno volno).

Preglednica 9: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz lesa

NK: Les	TI: EPS + celulozna vlakna		
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO ₂ -e/m ²]
	Mavčno - kartonska pl.	0,0125	2,835
	PE folija	0,00019	0,3515
OSB plošča	0,015	4,650	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 9

	Celulozna vlakna	0,14	2,555
	Les s povp. debelino	0,014	1,190
	OSB plošča	0,015	4,650
	EPS	0,1	5,070
	Fasadna malta	0,01	5,103
	Skupaj	0,293	26,405
TI: Kamena volna + celulozna vlakna			
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO₂-e/m²]
	Mavčno - kartonska pl.	0,0125	2,835
	PE folija	0,00019	0,3515
	OSB plošča	0,015	4,650
	Celulozna vlakna	0,14	2,555
	Les s povp. debelino	0,014	1,190
	OSB plošča	0,015	4,650
	Kamena volna	0,09	7,776
	Fasadna malta	0,01	5,103
	Skupaj	0,283	29,111

6.4 Jeklo

Tako kot pri lesu imata večinski doprinos k ogljičnem odtisu konstrukcijskega sklopa OSB plošči (Preglednica 10). Jeklena nosilna konstrukcija, če jo prikažemo s povprečno debelino, ima na kvadratni meter manjši ogljični kot je ogljični odtis kvadratnega metra ene OSB plošče. Tudi kvadratni meter EPS-ja ali kamene volne ima večji ogljični odtis kot povprečen kvadratni meter jeklene nosilne konstrukcije. Jeklena nosilna konstrukcija ima pričakovan večji ogljični odtis kot lesena NK. Ogljični odtis povprečnega kvadratnega metra NK iz jekla je skoraj trikrat večji kot ogljični odtis povprečnega kvadratnega metra NK iz lesa, a skoraj štirinajstkrat manjša kot ogljični odtis kvadratnega metra opečne stene.

Preglednica 10: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz jekla

NK: Jeklo	TI: EPS + celulozna vlakna		
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO₂-e/m²]
	Mavčno - kartonska pl.	0,0125	2,835
	PE folija	0,00019	0,3515
	OSB plošča	0,015	4,650
	Celulozna vlakna	0,1	1,825
	Jeklo s povp. debelino	0,0003775	4,522
	OSB plošča	0,015	4,650

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 10

EPS	0,14	7,098
Fasadna malta	0,01	5,103
Skupaj	0,293	31,035
TI: Kamena volna + celulozna vlakna		
Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO2-e/m2]
Mavčno - kartonska pl.	0,0125	2,835
PE folija	0,00019	0,3515
OSB plošča	0,015	4,650
Celulozna vlakna	0,1	1,825
Jeklo s povp. debelino	0,0003775	4,522
OSB plošča	0,015	4,650
Kamena volna	0,13	11,232
Fasadna malta	0,01	5,103
Skupaj	0,283	35,169

6.5 Aluminij

Tudi pri NK iz aluminija, tako kot pri lesu in jeklu imata največji vpliv na ogljični odtis OSB plošči (28 % oziroma 25 %). Enako kot pri lesu in jeklu, tudi pri aluminiju večji delež k ogljičnem odtisu celotnega KS doprinese ogljični odtis toplotne izolacije kot pa ogljični odtis nosilne konstrukcije.

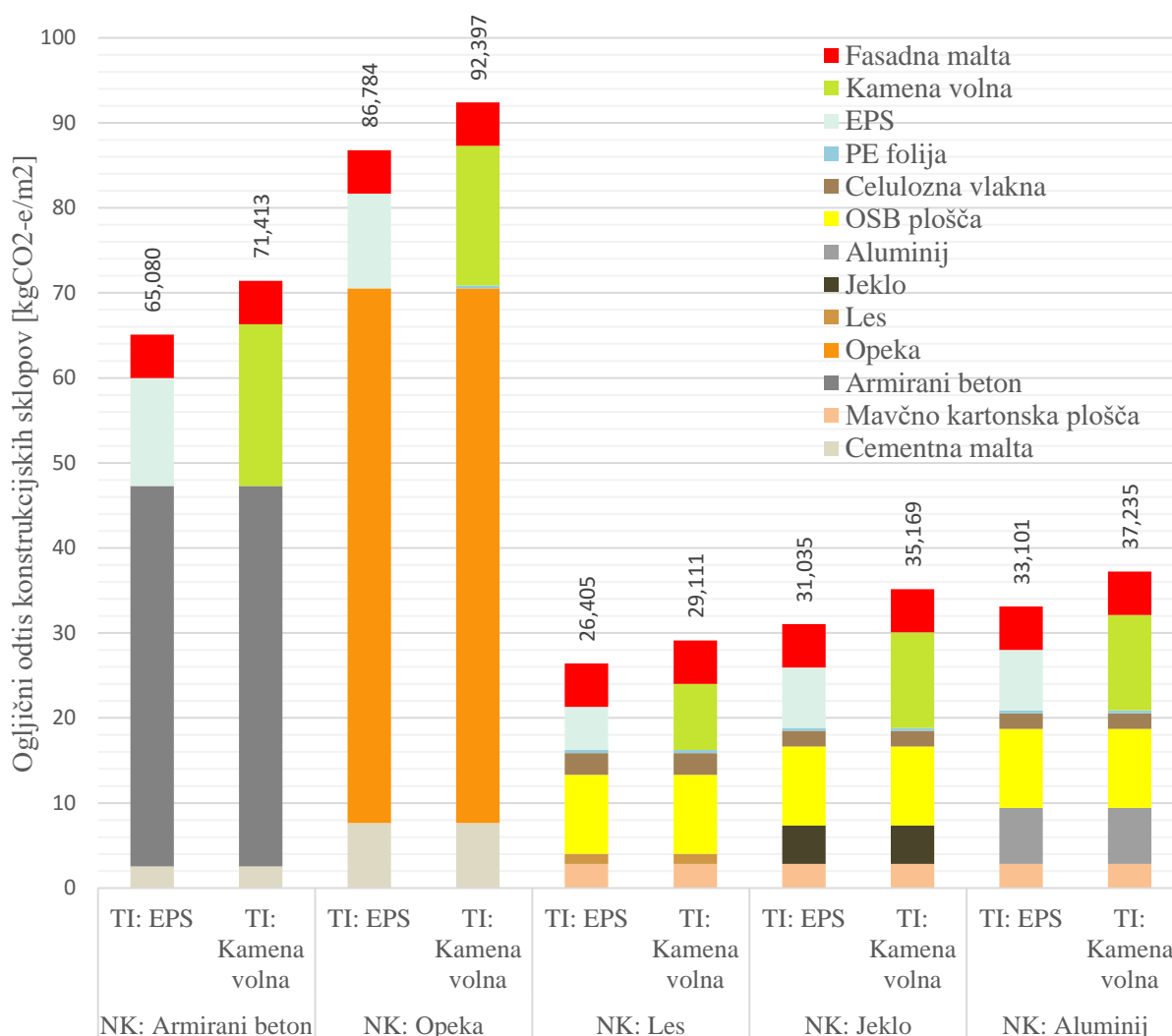
Preglednica 11: Ogljični odtis konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz aluminija

NK: Aluminij	TI: EPS + celulozna vlakna		
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO2-e/m2]
	Mavčno - kartonska pl.	0,0125	2,835
	PE folija	0,00019	0,3515
	OSB plošča	0,015	4,650
	Celulozna vlakna	0,1	1,825
	Aluminij s povp. debelino	0,00055	6,589
	OSB plošča	0,015	4,650
	EPS	0,14	7,098
	Fasadna malta	0,01	5,103
	Skupaj	0,293	33,101
	TI: Kamena volna + celulozna vlakna		
	Material	Debelina [m]	Ogljični odtis [kgCO2-e/m2]
	Mavčno - kartonska pl.	0,0125	2,835
	PE folija	0,00019	0,3515
OSB plošča	0,015	4,650	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 11

	Celulozna vlakna	0,1	1,825
	Aluminij s povp. debelino	0,00055	6,589
	OSB plošča	0,015	4,650
	Kamena volna	0,13	11,232
	Fasadna malta	0,01	5,103
	Skupaj	0,283	37,235



Slika 4: Ogljični odtis konstrukcijskih sklopov

Že s hitrim pogledom na Sliko 4 lahko opazimo, da imajo precej manjši ogljični odtis konstrukcijski sklopi, ki so zgrajeni iz lahkih konstrukcij (les, jeklo, aluminij). Razlog je v tem, da pri masivnih stenah (armirani beton in opeka) potrebujemo za praktično enak učinek toplotne prehodnosti veliko več materiala za nosilno konstrukcijo kot pri lahkih konstrukcijah. Zaradi tega razloga je gradnja z

lahkimi konstrukcijami prijaznejša do okolja. Kljub temu, da imata npr. jeklo in aluminij zelo velik ogljični odtis.

Najmanjši ogljični odtis ima KS z leseno nosilno konstrukcijo in toplotno izolacijo iz celuloznih vlaken in ekspaniranega polistirena, največji pa KS s toplotno izolacijo iz EPS-a in NK iz opeke. Največji ogljični odtis KS je 3,5-kratnik najmanjšega.

Vsota obeh ogljičnih odtisov z NK iz lesa je manjša kot sama vrednost ogljičnega odtisa opečnega zidu ($55,52 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2$ proti $62,87 \text{ kgCO}_2\text{-e/m}^2$).

7 ZAKLJUČEK

Iz primerjav in izračunov smo ugotovili, da je, pričakovano, najboljša različica konstrukcijskega sklopa z nosilno konstrukcijo iz lesa in toplotno izolacijo iz celuloznih vlaken ter ekspaniranega polistirena. Zelo presenetljivo je, da smo najslabše rezultate dobili pri različici z opeko in kameno volno (250 % večji izpusti TGP kot pri najugodnejši različici). Malo boljše rezultate smo dobili pri uporabi opeke in EPS-ja (229 % večji izpusti). Tako smo prišli do spoznanja, da z gradnjo, ki danes prevladuje v Sloveniji proizvedemo zelo veliko izpustov toplogrednih plinov pri sami proizvodnji gradbenega materiala.

Zanimive in nepričakovane rezultate smo dobili pri nosilni konstrukciji iz jekla oziroma aluminija. Različice z jeklom oziroma aluminijem so se odrezale veliko bolje kot različici z armiranim betonom oziroma opeko, a malo slabše kot različici z nosilno konstrukcijo iz lesa. Kljub temu, da imata jeklo in aluminij zelo velik ogljični odtis. Razlog za dobljene rezultate se skriva v količini porabljenega materiala za nosilno konstrukcijo na kvadratni meter konstrukcijskega sklopa. Za kvadratni meter nosilne konstrukcije iz armiranega betona ali opeke porabimo veliko materiala, zelo malo pa ga porabimo pri NK iz jekla ali aluminija ob praktično istem učinku nosilnosti.

Konstrukcijski sklopi s toplotno izolacijo iz EPS-a imajo povprečno 10 % (od 6,5 % do 13,3 %) manjši ogljični odtis kot KS s kameno volno. KS z nosilno konstrukcijo iz lesa in toplotno izolacijo iz ekspaniranega polistirena ima za 146 % manjši ogljični odtis kot z EPS-om izolirani armirani beton. Različica z lesom in EPS-om ima za samo 17 % nižji ogljični odtis od jekla in EPS-a in 25 % nižji od KS iz aluminija in EPS-a. Pri KS s kovinsko NK pa ima za slabih 7 % nižji ogljični odtis različica z jeklom in EPS-om.

Čas bi že bil, da bi predvsem pri javnih naročilih, kot tudi pri individualnih projektih začeli upoštevati tudi okoljski vidik in ne samo cenovnega ter se pri tem ne odločali samo na podlagi subjektivne ocene ali celo 'naravnega' ali 'bio' videza nosilnega ali izolativnega gradbenega materiala.

VIRI

[1] Toplogredni plini. 2015.

<http://www.global-greenhouse-warming.com/greenhouse-gas.html> (Pridobljeno 10. 5. 2015.)

[2] Svetovna proizvodnja električne energije. 2014.

<http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart>

(Pridobljeno 10. 5. 2015.)

[3] Toplogredni plini. 2013. ARSO.

http://okolje.arsso.gov.si/onesnazevanje_zraka/vsebine/toplogredni-plini (Pridobljeno 10. 5. 2015.)

[4] Razdelitev TGP po plinih. 2010.

<http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-GHG-Emissions-by-Gas#tspQvChart> (Pridobljeno 10.

5. 2015.)

[5] Razumevanje toplogrednega potenciala. 2015.

<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gwps.html> (Pridobljeno 10. 5. 2015.)

[6] Ekvivalent ogljikovega dioksida. 2012.

<http://www.eco-hub.eu/ecohub/index.php/en/glossary-sl-2/21-glossary/144-ekvivalent-ogljikovega-dioksida-co2-ekv> (Pridobljeno 10. 5. 2015.)

[7] Mekinda, M. T. 2014. Izpusti toplogrednih plinov. Agencija RS za okolje.

http://kazalci.arsso.gov.si/?data=indicator&ind_id=619 (Pridobljeno 10. 5. 2015.)

[8] Kunič, R., Tavzes, Č., Kutnar, A. 2012. Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb. Gradbeni vestnik 61, 9: 206-213.

[9] Kjotski protokol o spremembi podnebja. 2011.

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_sl.htm

(Pridobljeno 28. 6. 2015.)

[10] West, L. 2015. Kaj je Kjotski protokol.

<http://environment.about.com/od/kyotoprotocol/i/kyotoprotocol.htm> (Pridobljeno 28. 6. 2015.)

[11] Cegnar, T. 2011. O podnebnih spremembah. Agencija RS za okolje.

<http://www.arsso.gov.si/podnebne%20spremembe/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/O%20podnebnih%20spremembah.pdf> (Pridobljeno 22. 7. 2015.)

[12] Kjotski protokol. 2014.

http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php (Pridobljeno 22. 7. 2015.)

[13] Trgovanje z emisijami. 2015.

http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm (Pridobljeno 18. 5. 2015.)

[14] Evropski sistem trgovanja z emisijami. 2015.

<http://www.arhiv.evropa.ukom.gov.si/si/energetika/evropski-sistem-trgovanja-z-emisijami/>

(Pridobljeno 18. 5. 2015)

[15] Evropa 2020. 2015.

http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm (Pridobljeno 18.5.2015)

[16] Slovenija znižuje CO₂. 2014.

<http://www.slovenija-co2.si/index.php/o-projektu.html> (Pridobljeno 19.5.2015)

[17] Kažipot. 2015.

http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm (Pridobljeno 19.5.2015)

[18] Gustavsson, L., Sathre, R. 2006. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* 41: 940-951.

[19] Gong, X., Nie, Z., Wang, Z., et al. 2012. Life cycle energy consumption and carbon dioxide emission of residential building designs in Beijing. *Journal of Industrial Ecology* 16, 4: 576-587.

[20] Monahan, J., Powell, J. C. 2011. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy and Buildings* 43: 179-188.

[21] Kakšne so spremembe TPG od industrijske revolucije. 2015.

<http://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/greenhousegases/industrialrevolution.html>

(Pridobljeno 25.9.2015)

[22] Ecoinvent 2.0 2010. 2014. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Švica.

[23] Krainer, A., Perdan, R. 2012. TEDI- Program za analizo toplotnega prehoda, toplotne stabilnosti in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002. Ljubljana, UL FGG, KSKE.