

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**IZRAČUN OGLJIČNEGA ODTISA VAKUUMSKO
IZOLACIJSKEGA PANELA**

PETRA KRISTOVIČ

VELENJE, 2023

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**IZRAČUN OGLJIČNEGA ODTISA VAKUUMSKO
IZOLACIJSKEGA PANELA**

PETRA KRISTOVIČ
Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: izr. prof. dr. Viktor Grilc
Somentor: David Božiček, mag. inž. stavb.

VELENJE, 2023

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Visoke šole za varstvo okolja **Petra Kristovič** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Izračun ogljičnega odtisa vakuumsko izolacijskega panela.

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Vacuum insulation panel carbon footprint calculation.

Mentor: **izr. prof. dr. Viktor Grile.**

Somentor: **mag. David Božiček.**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom VŠVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Visoka šola za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | f: 03 89864 13 | e: info@vsvo.si

www.vsvo.si



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Petra Kristovič, vpisna številka 34190037, študentka visokošolskega strokovnega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica diplomskega dela z naslovom Izračun ogljičnega odtisa vakuumsko izolacijskega panela, ki sem ga izdelala pod mentorstvom izr. prof. dr. Viktorja Grilca in somentorstvom Davida Božička, mag. inž. stavb..

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Natalija Majerič, mag. prof. slov. jezika in književnosti,
- dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: _____

Podpis avtorice: _____

ZAHVALA

Zahvalila bi se vsem sodelavcem, ki so mi na kakršenkoli način pomagali pri izdelavi diplomskega dela. Posebna hvala gre obema mentorjema, izr. prof. dr. Viktorju Grilcu in Davidu Božičku, mag. inž. stavb..

Zahvaljujem se tudi direktorju Vladimirju Pogaču, ki mi je omogočil raziskovanje ogljičnega odtisa izdelka na primeru vakuumsko izolacijskega materiala v podjetju Turvac.

Hvala tudi družini za vso podporo.

*»Leti sama v smer, ki boš jo skozi čas spoznala.
Ne bodi ujeta v svojih mislih,
občutkih ...,
odpri se kakor novo zacvetela roža,
boljša,
močnejša,
trpežnejša.
Če ne prideš do vrha, ne pozabi;
Vsak nov dan je nov začetek!«*

Petra Kristovič

IZVLEČEK

V diplomskem delu želimo z izračunom ogljičnega odtisa predstaviti vplive na okolje in možne prihranke v proizvodnem procesu vakuumskih izolacijskih panelov.

Segrevanje našega planeta postaja vedno bolj zaskrbljujoče. Dejavniki, ki vse bolj vplivajo na to, so uporaba fosilnih goriv, krčenje gozdov ter človeški vpliv pri različnih dejavnostih. Največ emisij nastane iz proizvodnih obratov, največkrat so to emisije ogljikovega dioksida in metana. Med povzročitelje emisij ogljikovega dioksida prištevamo tudi porabo električne energije. Prispevek k temu imajo tudi primarni materiali. Ogljični odtis smo izračunali za panel izbranega izdelka z določitvijo obsega študije ter uporabo pristopa od zibke do groba. Pristop vključuje vse faze in meri skupne emisije toplogrednih plinov od pridobivanja surovin do proizvodnje, distribucije, uporabe in odlaganja. Ko izdelek odsluži svojo funkcionalnost, se mora pravilno ravnati z njim. Podatki o emisijah so izraženi v kg CO_{2eq} in ponazarjajo skupne emisije iz različnih segmentov.

Ključne besede: ogljični odtis, vakuumski paneli, toplogredni plini, CO₂, silika, poraba energije, življenjski cikel izdelka.

ABSTRACT

In the thesis, we want to present the impact on the environment and possible savings in the production process of vacuum insulation panels by calculating the carbon footprint.

The warming of our planet is becoming more and more alarming. Factors that increasingly draw attention to this are the use of fossil fuels, deforestation and human influence in various activities. Most of the emissions come from production facilities, mostly carbon dioxide and methane emissions. Electricity consumption is also included among the causes of carbon dioxide emissions. Primary materials also contribute to this. The carbon footprint was calculated for a panel of selected products by determining the scope of the study and using a cradle-to-grave approach. The approach includes all stages and measures total greenhouse gas emissions from raw material extraction to production, distribution, use and disposal. When the product has served its functionality, it must be handled properly. Emissions data are expressed in kg CO_{2eq} and illustrate total emissions from different segments.

Keywords: carbon footprint, vacuum panels, greenhouse gases, CO₂, silica, energy consumption, product life cycle.

KRATICE

% – odstotek ali procent
CO₂ – ogljikov dioksid
CO_{2eq} – ogljikov dioksid - ekvivalent
kg CO_{2eq}/panel/prevoz – kilogram ogljikovega dioksida - ekvivalenta panela ali prevoza
°C – Stopinj Celzija
Bar – tlak
EF – emisijski faktor
EOL – end of life
EPS – ekspandiran polistiren
EU – Evropska unija
GWP – potencial globalnega segrevanja (ang. Global warming potential)
h – ura
HDK – hidrofilni pirogeni silicijev dioksid
kg – kilogram
kWh – kilovatna ura
kWh/panel – kilovatna ura na panel
LCA – ocena življenjskega cikla (ang. Life-cycle assessment)
LCI – popis življenjskega cikla (ang. Life Cycle Inventory)
LCIA – ocena vpliva življenjskega cikla (ang. Life Cycle Impact Assessment)
LLDPE – linearni polietilen nizke gostote (ang. Linear low-density polyethylene)
min – minuta
MJ – megadžul
mm – milimeter
nm – nanometer
RS – Republika Slovenija
s – sekunda
SETAC – Društvo za okoljsko toksikologijo in kemijo (ang. Society of Environmental)
SiO₂ – silicijev oksid ali silika
t – tona
TJ – terajoule
TPG – toplogredni plini
UNFCCC – Globalna konvencija o podnebnju (ang. United Nations Framework Convention on Climate Change)
VIP – vakuumsko izolacijski panel

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Predstavitev problematike	1
1.2 Namen in cilji.....	2
1.3 Materiali in metode dela	2
1.3.1 Opisna metoda.....	3
1.3.2 Analizna metoda	3
1.4 Hipotezi.....	3
2 MEDNARODNI SPORAZUMI IN TEHNIČNI STANDARDI	4
2.1 Pariški sporazum o podnebnih spremembah.....	4
2.2 Glasgowski sporazum	4
3 UPORABLJENO ORODJE ZA IZRAČUN OKOLJSKIH VPLIVOV	6
3.1 Kaj je ogljični odtis?.....	6
3.1.1 Ogljični odtis za proizvode.....	7
3.1.2 Potencial globalnega segrevanja (GWP).....	7
3.2 LCA-metoda na primeru VIP	8
3.3 Specifikacija PAS 2050	9
3.3.1 Izrazi in opredelitev pojmov za namen uporabe PAS 2050.....	9
3.4 SIST ISO 14040:2006	10
3.4.1 Faza opredelitev cilja in obsega	10
3.4.2 Faza analize inventarja	11
3.4.3 Faza ocene učinka	11
3.4.4 Faza interpretacije.....	11
3.5 SIST ISO 14044:2006	11
3.6 SIST ISO 9001:2015	11
4 O PODJETJU IN IZDELKU	13
4.1 Uporaba vakuumske izolacijskih materialov	14
4.1.1 Gradbeništvo.....	14
4.1.2 Hladilni aparati	16
4.1.3 Medicinska ali farmacevtska industrija ter transport v hladni verigi.....	17
5 SESTAVA VAKUUMSKO IZOLACIJSKEGA PANELA	19
5.1 Pirogeni silicijev dioksid ali silika	19
5.2 Polimerna ali viskozna vlakna	20
5.3 Silicijev karbid	20
5.4 Metalizirana folija	20
6 PRAKTIČNI DEL	21
6.1 Politika kakovosti podjetja	21
6.2 Proizvodni postopek pridobivanja VIP-panela	21
6.3 Načrt gospodarjenja z odpadki	23
6.3.1 Vrste odpadkov	23
6.3.2 Ravnanje z odpadki.....	23
6.4 Kategorije vplivov na okolje	26
7 RAČUNANJE OGLJIČNEGA ODTISA NA PRIMERU VAKUUMSKEGA PANELA	27
7.1 Osnovni izračun	27
7.2 Natančen izračun	27
7.3 Poraba energentov v proizvodnem procesu	27
7.3.1 Sestava primarnih virov za proizvodnjo elektrike.....	30
7.3.2 Izračun električne energije s pomočjo emisijskega faktorja	31

8	IZRAČUN PO IZBRANIH METODAH.....	32
8.1	Metoda LCA	32
8.2	Računanje ogljičnega odtisa VIP	33
8.3	Prispevek transporta	34
8.4	Življenjska doba izdelka.....	36
8.5	Izračun ogljičnega odtisa	37
9	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	38
9.1	Ocena življenjskega cikla na podlagi VIP	38
9.2	Ukrepi za zmanjšanje ogljičnega odtisa	39
10	SKLEP	41
11	POVZETEK	43
12	SUMMARY	44
13	VIRI IN LITERATURA	45

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema faze življenjskega cikla izdelka od zibelke do groba (vir: medmrežje 11, 2019)	8
Slika 2: Prikaz specifičnih toplotnih prevodnosti konvencionalnih materialov in ekvivalentnih debelin v primerjavi s Turvac panelom (vir: Turvac, 2021)	13
Slika 3: Umestitev VIP nad okno (vir: Turvac, 2013).....	15
Slika 4: Umestitev VIP na starih objektih (vir: Turvac, 2013).....	15
Slika 5: Integrirani VIP v konstrukcijsko ploščo (foto: Kristovič, 2023)	16
Slika 6: Tanjša izolacija v principu večjega volumna in energijskega razreda v hladilniku ali zamrzovalniku (vir: Turvac, 2013)	17
Slika 7: Škatla, izdelana iz vakuumskih panelov in drugih komponent (foto: Kristovič, 2023)	18
Slika 8: Proces pridobivanja hidrofilnega pirogenega silicijeva dioksida s hidrolizo hlapnih klorosilanov v nadzorovanem plamenu kisika in vodika (vir: Wacker, 2022).....	19
Slika 9: Nalaganje jeder v peči (foto: Kristovič, 2021).....	22
Slika 10: Iztisnjena plata po fazi mešanja surovin (foto: Kristovič, 2021)	22
Slika 11: Ovito jedro, ki nadaljuje nadaljnji proces izdelave panela na avtomatski liniji (foto: Kristovič, 2021).....	23
Slika 12: Sestava primarnih virov za proizvodnjo elektrike v RS v letu 2021.....	30
Slika 13: Prikaz vhodnih in izhodnih podatkov proizvodnega procesa VIP (vir: P. Kristovič, 2022).	32

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prikaz potencialov globalnega segrevanja (vir: UNFCCC, 2022)	8
Preglednica 2: Posamezna vrsta odpadkov v družbi Turvac s klasifikacijskimi številkami (vir: Interni vir podjetja Turvac, 2022).....	25
Preglednica 3: Nastali odpadki v družbi Turvac v letu 2022.....	25
Preglednica 4: Prikaz kategorij vplivov na okolje z opisom, referenčnimi enotami in karakterističnimi faktorji (vir: Medmrežje 7, 2023)	26
Preglednica 5: Poraba električne energije posameznega stroja ali naprave v posamezni fazi v proizvodnem procesu in njihova moč v odvisnosti od časa cikla.....	28
Preglednica 6: Uporabljeni material v procesu VIP, ki ga pridobivamo od svojih dobaviteljev.	32
Preglednica 7: Viri materialov (vir: Dobavitelji, 2022; Ecoinvent, 2023; medmrežje, 2023).....	33
Preglednica 8: Prikaz posameznega materiala ter njegov vpliv na okolje, ki je izražen v kg CO ₂ eq/kg (vir: Dobavitelji, 2022; Ecoinvent, 2023; medmrežje, 2023)	33
Preglednica 9: Prispevek posameznega materiala v izračunu toplogrednih plinov, v kg CO ₂ eq/panel.....	34
Preglednica 10: Prikaz vpliva pomožnih materialov	34
Preglednica 11: Značilne neto kalorične vrednosti in emisijski faktorji za leto 2022 (vir: Agencija RS za okolje, 2023).....	35
Preglednica 12: Izračun izpustov CO ₂ za prevoz materialov od dobavitelja do podjetja....	35
Preglednica 13: Načini ravnanja z odpadki in s tem povezane vrste odpadkov ter uporabljeni materiali.....	36
Preglednica 14: Okvirna ocena izračuna End of life (vir: Johansson, 2021; Vanderreydt, 2021; Pro Carton, 2009; Choi, B, 2018; Megaplast, 2023)	36

Preglednica 15: Izračun ogljičnega odtisa panela (vir: Kristovič, 2023).....	37
Preglednica 16: Prikaz različnih ukrepov in scenarijev za zmanjšanje ogljičnega odtisa (vir: P. Kristovič, 2023).....	39
Preglednica 17: Izračuni, s katerimi smo prišli do rezultatov GWP/panel 1 in 2 (vir: Kristovič, 2023)	40
Preglednica 18: Vpliv na kg CO ₂ eq/panel v primerjavi z ostalimi materiali.....	42

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Prikaz porabe električne energije po posameznem stroju/napravi v procesu (vir: Kristovič, 2023)	38
Graf 2: Scenarij 1: Investicija v zeleno energijo – sončna energija (vir: P. Kristovič, 2023).....	39
Graf 3: Scenarij 2: Primerjava GWP/panel 1 in GWP/panel 2 z nižjo maso silike (vir: Kristovič, 2023)	40

1 UVOD

1.1 Predstavitev problematike

Vakuumsko izolacijski materiali oziroma paneli so toplotno izolacijski materiali, ki so razširjeni v beli tehniki kot vgradnja VIP-ov v hladilnikih in zamrzovalnikih kot tudi v gradbeništvu za različne izolacije, ki predstavljajo energetska in prostorska prednost.

V Sloveniji je vakuumske panele pred leti razvilo podjetje Turna d. o. o., danes jih izdeluje podjetje Turvac d. o. o., ki je skupna naložba lokalnega podjetja Turna in belgijske multinacionalke Recticel SA. Ker imajo vakuumski paneli zelo nizko toplotno prevodnost, se v primerjavi z ostalimi klasičnimi izolacijami razlikujejo tudi po potrebni debelini. Z uporabo VIP-izolacije dosežemo 5–10-krat tanjše plasti toplotne izolacije kot z uporabo konvencionalnih materialov, kot sta kamena volna ali ekspanziran polistiren (EPS).

Vakuumski panel sestavlja jedro, ki ga po recepturi sestavljajo surovine, glavna izmed teh je pirogeni silicijev dioksid (SiO_2) oz. silika. Ta nastane s plamensko oksidacijo silicijevega tetraklorida v prisotnosti vodika, pri čemer se temperatura povzpne nad $1000\text{ }^\circ\text{C}$, ob tem pa nastanejo nanodelci silike v velikosti do 15 nm. Jedro VIP nastane v proizvodnem postopku z mešanjem in stiskanjem primarnih surovin v različne oblike in dimenzije. Nato se proizvod zavari v večslojno visoko barierno folijo z vakuumom, ki se kasneje testira.

Vse večje postaja zavedanje o pomenu varstva okolja in možnih vplivih, ki so povezani s proizvedenimi in porabljenimi proizvodi. Dandanes si ne znamo predstavljati, koliko energije je bilo porabljenega ali kakšen vpliv na okolje so pustile dobrine, ki jih upravljamo. Zato so se razvile metode, s katerimi proučujemo vse okoljske vplive izdelka v vseh fazah življenjske poti. S takšnimi metodami lahko kasneje prepoznamo ovire in najdemo rešitve, kako izdelek izboljšati, da bo vpliv na okolje kar se da nizek.

Ena izmed najbolj uporabljenih metod za celovito oceno okoljskih vplivov različnih sistemov (produkti, storitve, stavbe) je metoda ocena življenjskega cikla (ang. Life Cycle Assessment – LCA). Za namen zagotavljanja zanesljivosti in primerljivosti je metoda standardizirana z mednarodnimi standardi ISO 14040-2006 ter ISO 14044-2006. ISO 14044 podrobneje določa in opisuje zahteve za izvajanje LCA.

Glavne faze izvedbe LCA so:

- opredelitev ciljev in področij uporabljene študije,
- analiza popisa življenjskega cikla (LCI – Life Cycle Inventory), ki zajema izdelavo materialno-energetskih bilanc vseh faz nastajanja, uporabe in ravnanja z odpadnim izdelkom,
- ocena vpliva življenjskega cikla (LCIA – Life Cycle Impact Assessment) – pričakovani učinek na okolje v skladu s SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry),
- interpretacija rezultatov.

LCA-metoda načeloma upošteva vse faze od pridobivanja surovin, proizvodnje izdelka, njegove distribucije, uporabe, ponovne uporabe, recikliranja in ravnanja z odpadki. Namen te analize je ugotoviti priložnosti za izboljšanje okoljske učinkovitosti izdelka na različnih točkah njegovega življenjskega cikla in pri strateškem načrtovanju, ki vključuje vse faze v proizvodnem procesu vključno z dobavo. Metodologija stremi k opredelitvi količin porabljenih osnovnih in pomožnih surovin, energentov, emisij toplogrednih plinov in drugih okolju potencialno nevarnih onesnažil. Analiza življenjskega kroga izdelka je pomemben instrument ne samo pri ohranjanju naravnih virov in varovanju okolja, ampak tudi zmanjšanju stroškov in pri izboljšanju konkurenčnosti podjetja.

Obstajajo tudi poenostavljene metode, namenjene ocenjevanju najdominantnejših vplivov na okolje, npr. na povzročanje globalnih toplogrednih učinkov. Ta metoda, izračun t. i. ogljičnega odtisa, bo za izbrani izdelek predstavljena in uporabljena v tej nalogi.

1.2 Namen in cilji

Ogljični odtis človeške družbe postaja vse bolj pomemben pokazatelj segrevanja ozračja, ki je odvisen od različnih dejavnikov. Tem dejavnikom pravimo emisije toplogrednih plinov, ki jih bomo za izbrani izdelek v izbrani proizvodnji preučili s pomočjo kategorije potencialnega globalnega segrevanja (GWP – global warming potential). V proizvodnem procesu bomo ugotovili vire emisij toplogrednih plinov (TPG) kot tudi emisij pri pridobivanju primarnih materialov za izbrani izdelek. Uporabljeni emisijski faktorji bodo porabljena električna energija in fosilna goriva, ki bodo v nadaljnjem poteku izhodišče pri izračunu ogljičnega odtisa proizvodnje VIP. V diplomskem delu bomo preučili in smiselno uporabili Specifikacijo PAS2050 in (deloma) analizo LCA (ISO 14044), ki sta pomembni podlagi pri ocenjevanju emisij toplogrednih plinov v življenjskem ciklu izdelka in pri izračunu ogljičnega odtisa. Z metodo LCA lahko vrednotimo različne okoljske vplive, eden od teh je tudi vpliv na segrevanje ozračja. Ker je LCA široka tematika, se bomo pri izdelavi diplomskega dela omejili na izračun ogljičnega odtisa VIP-panelov kot posledica uporabe materialov in proizvodnje ter ocenjevali vplive različnih scenarijev. Pri izdelavi bomo uporabili funkcionalno enoto panela izbranega izdelka. Izbrani izdelek, za katerega bomo izračunali ogljični odtis, je dimenzije 378 x 405 x 25 mm. Ker je proizvodni proces odvisen od primarnih materialov in zanje nimamo podatkov o emisijah, bomo pri dobaviteljih in drugih virih (npr. baze podatkov in okoljske deklaracije proizvodov) pridobili podatke o ogljičnem odtisu vhodnih surovin. Podatek o materialu bo osnova pri nadaljnjem bilanciranju in izračunu ogljičnega odtisa. Materiali, katere bomo upravljali, so: silika, polimerna vlakna, silicijev karbid in večslojna visokobarierna folija. Vsekakor ne smemo pozabiti na proizvodni učinek, kamor sodijo porabljena energija, emisije CO₂ in drugih TPG iz procesa ipd. Namen diplomske naloge je, da ugotovimo okoljska žarišča pri proizvodnji VIP ter predlagati ukrepe za izboljšanje njegovega ogljičnega odtisa.

Cilji naloge so:

- Izračun ogljičnega odtisa proizvodnje vakuumskih izolacijskih panelov.
- Identifikacija okoljskih žarišč – TPG emisij znotraj same proizvodnje.
- Primerjava primarnih materialov – vpliv na okolje.
- Evalvacija različnih ukrepov oz. scenarijev za zmanjšanje ogljičnega odtisa proizvodnje vakuumskih izolacijskih panelov.
- Podati oceno vpliva VIP-panela na okolje med uporabo in po življenjski dobi izdelka.

1.3 Materiali in metode dela

V diplomskem delu smo proučevali LCA-metodo in druge specifikacije, ki so pomembne pri razumevanju ogljičnega odtisa izdelka. Metoda zajema shemo celotnega proizvodnega procesa, vključno z vsemi materiali, ki jih podjetje pridobiva od svojih dobaviteljev. Pomembno pri tem je bilo, da smo določili meje analize oz. kako daleč bodo segali pridobljeni podatki. Mejo podatkov lahko določimo z oceno življenjskega kroga izdelka. Ta nam pomaga analizirati celoten proces od proizvodnje surovin in do konca življenjske dobe izdelka. V naši raziskavi smo uporabili podatke, pridobljene iz medmrežja, baze Ecoinvent in s strani podjetja Turvac. Za analizo LCA smo si izbrali enotni VIP. V metodo smo vključili vse potrebne materiale in vire TPG, ki se prištevajo k skupnemu izračunu ogljičnega odtisa.

Praktični del diplomske naloge zajema spoznavanje procesa v podjetju Turvac vse od vhoda materialov do izhoda končnega produkta h kupcu. Poleg tega je treba smiselno razumeti specifikacije in druge zahteve, ki se nanašajo na izračun ogljičnega odtisa v povezavi z vplivi

na okolje, ki ga povzroča. Pri sami izdelavi bomo uporabili programsko in analizno metodo ter vse potrebne informacije, s katerimi bomo prišli do zelenega cilja.

1.3.1 Opisna metoda

V diplomskem delu smo proučevali LCA-metodo in druge specifikacije, ki so pomembne pri razumevanju ogljičnega odtisa izdelka. Metoda zajema shemo celotnega proizvodnega procesa, vključno z vsemi materiali, ki jih podjetje pridobiva od svojih dobaviteljev.

Pomembno pri tem je bilo, da smo določili mejo, do kod bodo segali pridobljeni podatki. Mejo podatkov lahko določimo z oceno življenjskega kroga izdelka. Ta nam pomaga analizirati celoten proces od proizvodnje surovin in do konca življenjske dobe izdelka. V naši raziskavi smo uporabili podatke, pridobljene s pomočjo baze podatkov in proizvodne podatke s strani podjetja Turvac. Za analizo LCA smo si izbrali osnovni element VIP. V metodo smo vključili vse potrebne materiale in vire TPG, ki se prištevajo k skupnemu izračunu.

1.3.2 Analizna metoda

Analizo inventarja življenjskega cikla smo določili na podlagi zastavljenih ciljev in širine raziskave. V obsegu študije smo najprej definirali vhodne podatke v proizvodnem procesu in izhodne podatke. Nato smo raziskovali vire za pridobivanje materialov iz surovin ter ugotovili njihov vpliv na okolje. Podatke o porabi električne energije v proizvodnem procesu smo izračunali samostojno.

1.4 Hipotezi

V diplomskem delu smo si zadali naslednji hipotezi, ki ju bomo preverili:

Hipoteza 1: Pridobivanje pirogenega silicijevega dioksida predstavlja največji vpliv na okolje pri izdelavi vakuumskih panelov.

Hipoteza 2: Uporaba obnovljivih virov energije zmanjša ogljični odtis VIP-panel, vendar manj kot poraba silike z nižjim okoljskim vplivom.

2 MEDNARODNI SPORAZUMI IN TEHNIČNI STANDARDI

V nadaljevanju študije bodo omenjeni in uporabljeni naslednji mednarodni sporazumi in standardi:

- **PAS 2050:2011** – zahteve glede izračunavanja emisij toplogrednih plinov (TPG);
- **Pariški sporazum (2016)** – Sporazum o podnebnih spremembah na svetovni ravni;
- **Glasgowski sporazum (2021)** – Konferenca Združenih narodov o podnebnih spremembah;
- **SIST ISO 14040:2006** – Okoljsko upravljanje – Ocena življenjskega cikla (Life cycle assessment);
- **SIST ISO 14044:2006** – Okoljsko upravljanje – Ocena življenjskega cikla – Zahteve in smernice;
- **SIST ISO 9001:2015** – Sistem vodenja kakovosti.

2.1 Pariški sporazum o podnebnih spremembah

Pariški sporazum je večstranski in pravno zavezujoči sporazum o podnebnih spremembah na svetovni ravni. Pri tem gre za pomemben politični dosežek, saj smo se kot vsi narodi sveta povezali za skupno dobro našega planeta. Začel je veljati 4. novembra 2016 in ga je sprejelo minimalno število držav (55), ki pokrivajo vsaj 55 % svetovnih emisij toplogrednih plinov. Za našo državo je začel veljati 15. januarja 2017 (medmrežje 10).

V primerjavi s Kjotskim protokolom je razlika v tem, da ta sporazum omogoča sodelovanje vseh držav ne glede na njihovo razvitost (prav tam)

Najpomembnejšo določilo Pariškega sporazuma so t. i. petletni cikli, v katerem bodo morale države spremljati in izvajati zadane cilje ter jih ustrezno reševati. Tudi tukaj so pomembni ukrepi.

Pogodbenice so leta 2020 objavile svoje nacionalne prispevke k blaženju podnebnih sprememb in strategije do sredine 21. stoletja. Leta 2023 se bodo ti nacionalni cilji prvič prenovili (medmrežje 10).

2.2 Glasgowski sporazum

Glasgowski sporazum je novi globalni sporazum, kjer se je združilo skoraj 200 držav v Združenem kraljestvu z namenom dogovora za ukrepanje na področju podnebnih sprememb ter da se bo spoštoval podnebni pakt. Novembra 2021 je Združeno kraljestvo gostilo 26. letni vrh in poimenovalo podnebni pakt kot COP26, kar pomeni „konferenca pogodbenic“ o podnebnih spremembah. Cilj sporazuma je zmanjšati najhujše vplive podnebnih sprememb. Obenem bi ti vplive, ki ogrožajo celoten svet, ohranjali temperaturo, ki se ne bi dvignila za več kot 1,5 stopinje. Ta globalni sporazum bo pospešil podnebne ukrepe in končno dopolnil Pariški pravilnik, vendar bo lahko dosežen le, če bodo vse države izpolnjevale svoje dolžnosti o tem, kako dosegati skupne cilje v smeri podnebnih izboljšav. Prvič so se tudi dogovorili o postopnem opuščanju energije iz premoga (United Nations Climate Change).

Delo je bilo osredotočeno na zagotavljanju Glasgowskega podnebnega pakta in spodbujanju ukrepov, ki se navezujejo na (prav tam):

- blažitev
- prilagajanje,
- sodelovanje in
- finance.

Pri blažitvi emisij je 153 držav po svetu predlagalo nove ali posodobljene cilje, ki so znani kot NDC, kar pomeni nacionalni določeni prispevek. Te emisije pokrivajo okrog 80 % svetovnih emisij toplogrednih plinov. Po projektu ZN (neto zero) bo teh za približno 5 milijard ton manj do leta 2030. S tem želijo zmanjšati emisije toplogrednih plinov čim bližje ničli in ohranjati globalni neto ničle. Globalni neto ničle ne sme presegati 1,8 stopinje, a kljub temu Glasgowski podnebni pakt ohranja le 1,5 stopinje na vidiku, če države sprejmejo usklajeno in takojšnje ukrepanje za izpolnitev svojih zavez. Za države, ki se odločijo v takojšnje ukrepanje pomeni, to pomeni, da bodo morale postopno opuščati električno energijo iz premoga, zaustavitev elektrarn na fosilna goriva, zmanjšati krčenje gozdov in emisij metana ter pospešiti uporabo električnih vozil. V Evropi so se proizvajalci vozil zavezali k 100-odstotnim vozilom brez emisij. Njihov cilj je do leta 2035 opustiti proizvodnjo vozil na fosilna goriva. Podjetja, ki so se že zavzela, so Audi, Fiat, Volvo, Volkswagen, General Motors in Jaguar (United Nations Climate Change).

3 UPORABLJENO ORODJE ZA IZRAČUN OKOLJSKIH VPLIVOV

3.1 Kaj je ogljični odtis?

Ogljični odtis (angleško: »Carbon Footprint«) je skupna količina toplogrednih plinov, kamor sodijo ogljikovi dioksid, metan in nekateri drugi plini. V veliki meri smo povzročitelji teh emisij ljudje, organizacije, podjetja, letalske združbe in tako dalje (medmrežje 5).

Je tudi izraz, ki se uporablja za opis količin povzročenih emisij toplogrednih plinov določene dejavnosti. Uvrščamo ga med kategorijo vplivov globalnega segrevanja, ki ga uporabljamo kot okoljski kazalec, s katerim vrednotimo potencial globalnega segrevanja (GWP – Global Warming Potential) (Novak 2019).

V preteklosti je bilo podjetjem v interesu, da zmanjšajo »svoj« ogljični odtis, tako da so se osredotočala le na lastne emisije. V današnjem času pa strategija LCA zavzema osredotočanje na emisije v celotni verigi (od samega začetka do konca). TGP merimo v tonah, ekvivalentnih referenčnemu plinu CO₂ (t CO₂ eq). Za te količine CO₂ sta odgovorna posameznik ali organizacija, ki vodi dejavnost oz. storitev. Dejanski namen ogljičnega odtisa je izračun, ki ga ločimo na organizacijski ogljični odtis in izdelčni oz. ogljični odtis izdelka (medmrežje 9):

- Organizacijski odtis vključuje: izračune emisij TGP nekega podjetja, ki so lahko poslovne stavbe, občine, ustanove ... Izračuni temeljijo na povprečnih podatkih za določene energente, materiale, postopke predelav, transportne poti in drugih obstoječih podatkih v določenem časovnem obdobju (največkrat na leto).
- Izdelčni odtis: pri tej vrsti odtisa računamo izpuste, ki jih povzroči neki izdelek ali storitev v celotni življenjski dobi ali določen izdelek v njegovem življenjskem ciklu. To pomeni, da je ogljični odtis izdelka merilo emisij toplogrednih plinov v njegovi celotni življenjski dobi, ki vključuje proizvodnjo materialov, prevoz surovin, proizvodnjo izdelka, distribucijo, ponovno uporabo, recikliranje ali odstranjevanje.

Izhodiščno navodilo za izračun ogljičnega odtisa je PAS 2050 in analiza LCA. PAS 2050 je javno dostopna tehnična specifikacija za ocenjevanje emisij toplogrednih plinov v življenjskem ciklu izdelka, pripravljeno s strani BSI British Standards in sofinancirano s strani Carbon Trust in Oddelka za okolje, prehrano in podeželske zadeve (Defra). V veliko pomoč nam bo tudi PAS 2050, ki je neodvisen standard, ki je razvit s pomembnimi vložki mednarodnih zainteresiranih strani in strokovnjakov akademske, poslovne, vladne in nevladne sfere.

Ogljični odtis izdelka je lahko uporabno orodje, s katerim lahko podjetja dosegajo svojo prepoznavnost in pripomorejo k spreminjanju in nižanju emisij TGP znotraj in zunaj podjetja. Prav tako spodbuja sodelovanje z zaposlenimi, dobavitelji, investitorji in s kupci. Z ogljičnim odtisom izdelka gradimo tudi vrednost blagovne znamke podjetja. Poleg tega podpiramo tudi dobavitelje in kupce za zmanjšanje emisij. Z izračunom lahko prikažemo pomanjkljivosti in možne prihranke v proizvodnem procesu pridobivanja izdelka in v dobavni verigi (medmrežje 9).

Z ogljičnim odtisom življenjskega cikla izdelka merimo skupne emisije toplogrednih plinov, ki jih povzroči izdelek od pridobivanja surovin do konca življenjske dobe. Meri se v ekvivalentih ogljikovega dioksida (CO₂eq). Ta mora biti povezano tudi z obsegom ali mejo, najpogostejši sta (medmrežje 9):

- »Od zibelke do vrat«: večinoma se uporablja za izdelke med podjetji (B2B). Pri tem se merijo skupne emisije toplogrednih plinov od pridobivanja surovin do izdelave izdelka – do vhoda v tovarno;

- »Od zibelke do groba«: večinoma se uporablja za izdelke od podjetja do potrošnika (B2C). Ta meri skupne emisije toplogrednih plinov od pridobivanja surovin do proizvodnje, distribucije, uporabe in morebitnega odlaganja izdelka.

3.1.1 Ogljični odtis za proizvode

Ogljični odtis lahko izračunamo tudi za storitve in proizvode. Pomembno je, da vključimo vse vire emisij, ki pripomorejo k temu, da storitev ali proizvod nastane. Na osnovi vseh emisij toplogrednih plinov jih razdelimo na (Višnar, 2009):

- neposredne emisije iz dejavnosti, ki jih organizacija nadzoruje. V to skupino spada zgorevanje raznih vrst fosilnih goriv, pri tem nastaja CO₂. Nekatera podjetja poleg tega izpuščajo metan (CH₄) in uporabljajo dušikova gnojila, iz katerih se sprošča didušikov oksid (N₂O);
- posredne emisije zaradi porabe električne energije. V proizvodnem procesu in na delovnih mestih se uporablja električna energija za osvetlitev prostora in za pogon strojev in naprav. Ta energija, ki jo porabljamo, prihaja iz različnih virov (jedrska energija, energija iz obnovljivih virov energije ...). Največji del proizvedene električne energije dobimo z zgorevanjem fosilnih goriv (premog, nafta, zemeljski plin ...). Čeprav organizacije in podjetja nimajo neposrednega nadzora nad temi emisijami, smo z nakupom elektrike odgovorni za spuščanje ogljikovega dioksida v okolje;
- posredne emisije zaradi proizvodov in storitev. Vsak proizvod ali storitev, ki jo podjetje kupi, je vzrok za nastanek količin TGP. Že pri sami pripravi in prevozu surovin in proizvodov smo odgovorni za nastale emisije, zato tudi podjetja in organizacije, s katerimi poslujemo, sovplivajo na emisije.

Jasno je, da je natančni izračunu celotnega ogljičnega odtisa, ki zajame vse tri vrste emisij, zelo zahteven. Ogljični odtis se lahko prikaže glede na (Višnar, 2009):

- izbrano časovno obdobje – podjetja merijo za obdobje enega leta, lahko pa se prikaže tudi na enoto, npr. glede na storitev ali na proizvod;
- seštevek ogljičnega odtisa, kamor lahko zajamemo vse toplogredne pline, ki so upoštevani v izrazu kot ekvivalent CO₂ (t CO₂-eq).

Odtis lahko izračunamo le na osnovi emisij CO₂ in ga izrazimo v tonah CO₂ (t CO₂).

3.1.2 Potencial globalnega segrevanja (GWP)

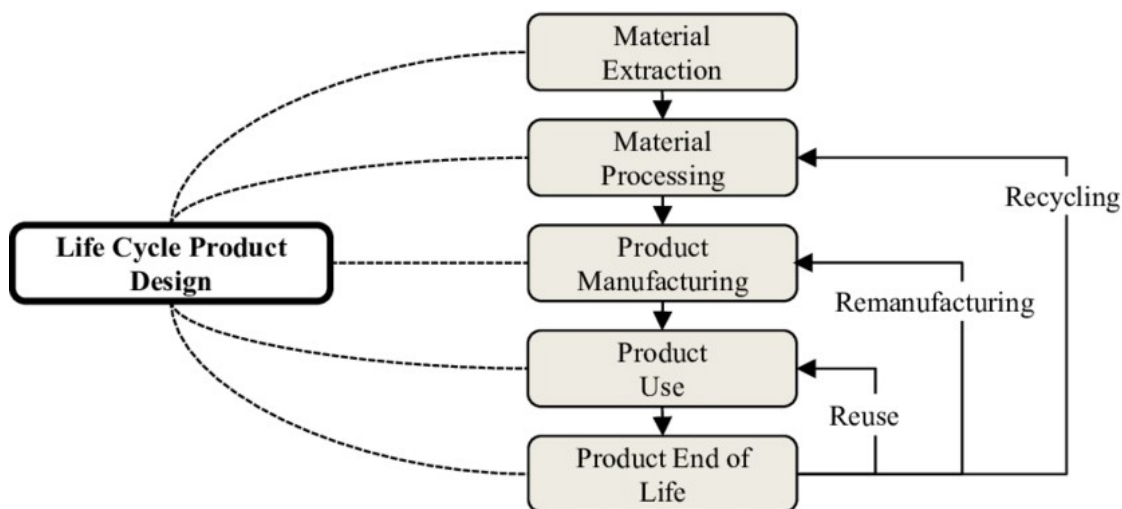
Razvit je bil za primerjavo učinkov različnih plinov na globalno segrevanje. Gre tudi za merilo, koliko energije se bo v določenem časovnem obdobju absorbiralo (emisije tone plina v primerjavi z emisijami tone ogljikovega dioksida). Vsak toplogredni plin ima določen potencial globalnega segrevanja, pri čemer referenčna vrednost predstavlja vrednost 1 t CO₂. Višji, kot je GWP določenega TG plina, bolj segreva Zemljo v primerjavi s CO₂. Časovno obdobje, ki se običajno uporablja za GWP, je 100 let. GWP zagotavlja skupno mersko enoto, ki omogoča seštevanje ocen emisij različnih plinov. V spodnji tabeli so prikazani trije najpogostejši GWP (EPA).

Preglednica 1: Prikaz potencialov globalnega segrevanja (vir: UNFCCC, 2022)

VRSTE	Kemijska formula	Življenjska doba (leta)	Potencial globalnega segrevanja (v letih)		
			20 let	100 let	500 let
Ogljikov dioksid	CO ₂	do 1000 let	1	1	1
Metan	CH ₄	12±3	56	21	6,5
Dušikov oksid	N ₂ O	120	280	310	170

Kot je razvidno iz tabele, 1 ostaja CO₂ v podnebni sistem zelo dolgo. Emisije CO₂ povzročajo povečanje koncentracije CO₂ v ozračju, ki bo trajalo več tisoč let.

3.2 LCA-metoda na primeru VIP



Slika 1: Shema faze življenjskega cikla izdelka od zibelke do groba (vir: medmrežje 11, 2019)

Slika 1 prikazuje sistemsko omejitve (»od zibelke do groba«) življenjskega cikla izdelka, ki vključuje celoten proces od:

- pridobivanja surovin;
- predelave materialov;
- izdelave;
- uporabe in
- odlaganja.

Kar se zgodi po končani življenjski dobi izdelka, je odvisno od vrste materialov. Lahko se ponovno uporabijo, ponovno izdelajo ali reciklirajo.

Na primeru VIP bodo faze življenjskega cikla izdelka vsebovale:

- pridobivanje silike, silicijevega karbida, viskoznih vlaken in drugih materialov;
- predelavo teh materialov;
- izdelavo VIP (celoten proizvodni proces);
- uporabo VIP (gradbeništvo, medicina, gospodinjski aparati);
- način ravnanja z odpadnim izdelkom (recikliranje in ponovna uporaba) in transport.

3.3 Specifikacija PAS 2050

PAS 2050 je javno dostopna tehnična specifikacija (PAS), ki določa zahteve za ocenjevanje toplogrednih plinov (TGP) v povezavi z življenjskim ciklom blaga in storitve. Organizacijam, podjetjem in drugim koristi, saj zagotavlja jasnost in doslednost za količinsko opredelitev emisij toplogrednih plinov (PAS 2050, 1, 2008).

Za uporabo tega PAS so nujno potrebni naslednji dokumenti, na katere se sklicujemo, vključno z vsemi spremembami (PAS 2050, 1, 2008):

- **ISO 14040:2006**, Okoljsko upravljanje – Ocena življenjskega cikla (Life cycle assessment) – Načela in okvir;
- **ISO 14044:2006**, Okoljsko upravljanje – Ocena življenjskega cikla – Zahteve in smernice;
- **ISO/IEC 17021:2006**, Ocenjevanje skladnosti – Zahteve za organe, ki zagotavljajo presojo in certificiranje sistemov vodenja;
- **ISO 14064-1:2006**, Toplogredni plini – 1. del: Specifikacija s smernicami na raven organizacije za količinsko opredelitev emisij in odvzemov toplogrednih plinov ter poročanje o njih;
- **ISO 14025:2006**, Okoljske oznake in deklaracije.

3.3.1 Izrazi in opredelitev pojmov za namen uporabe PAS 2050

- **Predvidene emisije toplogrednih plinov v življenjskem ciklu** (PAS 2050, 2008, str. 2): podatki začetno oceno emisij toplogrednih plinov (za izdelek, izračunan na podlagi sekundarnih podatkov);
- **Investicijsko blago**: kamor sodi blago, kot so stroji, oprema in stavbe, ki se uporabljajo v življenjskem ciklu izdelkov (ne vključuje surovin, goriva ali energije ali drugih vložkov);
- **Ekvivalent ogljikovega dioksida (CO₂ e)**: je enota za primerjavo sevalnega učinka toplogrednih plinov in merilo količine globalnega segrevanja zaradi različnih toplogrednih plinov, izraženo s količino toplogrednih plinov (skupne emisije);
- **Soproizvodnja toplote in električne energije (CHP)** (PAS 2050, 2008, str. 3): hkratna proizvodnja toplotne in električne/mehanske energije v enem postopku;
- **Potrošni material**: je pomožni vložek, potreben za potek procesa, vendar ni bistveni del procesa. To je izdelek ali soproizvod, ki se uporablja pri postopku in vključuje mazalno olje, orodja in druge hitro obrabljive vložke v procesu;
- **Soproizvod**: kadar se lahko iz enega postopka na enoto proizvedeta dva ali več izdelkov, se štejejo kot soproizvod;
- **Ekonomska vrednost**: tržna vrednost proizvoda, soproizvoda ali odpadka na mestu proizvodnje;
- **Emisijski faktor**: stopnja emisij toplogrednih plinov glede na enoto dejavnosti (kg CO₂ ek na enoto vnosa)
- **Nosilec energije**: je sistem ali snov, ki prenaša energijo v uporabni obliki z ene lokacije na drugo kot primarni vir energije (elektrika);
- **Okoljska ocena življenjskega cikla (EIOA)** (PAS 2050, 2008, str. 4): je metoda ocenjevanja emisij toplogrednih plinov (in drugih vplivov na okolje);
- **Vhodni podatki**: to so izdelki, materiali ali tok energije, ki vstopa v življenjski cikel izdelka;
- **Analiza življenjskega cikla na osnovi vhodov in izhodov (IOLCA)** (PAS 2050, 2008, str. 5): metoda, ki vključuje analizo posegov izdelka (funkcionalne enote) v okolje od zibelke do vrat na podlagi okoljske analize vhodov in izhodov (input, output);
- **Vmesni proizvod**: je izhod iz postopka ene enote v drugo enoto enote, ki zahteva nadaljnjo predelavo znotraj sistema;

- **Življenjski cikel:** vključuje zaporedne in medsebojno povezane faze proizvodnega sistema, od samega pridobivanja surovin (naravni viri) do končnega odlaganja (BS EN ISO 14040:2006);
- **Ocena življenjskega cikla (LCA)** (PAS 2050, 2008, str. 5): opredeljuje zbiranje in vrednotenje vhodnih in izhodnih podatkov ter možnih vplivov na okolje sistemov izdelkov v njihovem življenjskem ciklu (BS EN ISO 14040:2006);
- **Emisije toplogrednih plinov v življenjskem ciklu:** vsota vseh emisij toplogrednih plinov, ki nastanejo na vsaki stopnji življenjskega cikla izdelka.

3.4 SIST ISO 14040:2006

ISO 14040:2006 je mednarodni standard, ki opredeljuje metodologijo analize življenjskega cikla (LCA – Life Cycle Assessment). Ta standard se uporablja za analizo vplivov na okolje izdelka v vseh fazah njegovega življenjskega cikla. Življenjski cikel izdelka vključuje različne sistemske omejitve, ki so odvisne od razpona raziskovalne študije in tematike (ISO, 2006).

LCA lahko vsebuje naslednje sistemske meje (medmrežje 7):

- Od “zibelke do vrat”: od pridobivanja surovin, preoblikovanja surovin s proizvodnjo do vstopa k proizvajalcu;
- Od “vrat do vrat”: gre za proces, ki se izvaja znotraj določene organizacije ali podjetja, ki ne zajema pridobivanja in vseh tokov;
- Od “zibelke do groba”: vsebuje vse faze življenjskega cikla izdelka, od pridobivanja surovin vse do konca življenjske dobe izdelka;
- Od “zibelke do zibelke”: posebna vrsta, kjer je pogoj, da mora biti po odstranitvi izdelek recikliran.

Ocena življenjskega cikla (LCA) je večstopenjski postopek za izračun okoljskega vpliva izdelka ali storitve v življenjski dobi. V analizo so vključene vse vrste vplivov na okolje, kot so poraba virov, vode in energije, emisije CO₂ in ostale emisije nevarnih snovi (prav tam):

Študija LCA ima štiri faze, ki jih moramo opredeliti (prav tam):

- faza opredelitve cilja in obsega,
- faza analize inventarja;
- faza ocene učinka (ocena življenjskega cikla),
- faza interpretacije.

3.4.1 Faza opredelitev cilja in obsega

Faza opredelitev cilja določa namen izbrane študije in opis izbranega sistema, ki mora vsebovati (medmrežje 6):

- **Funkcionalno enoto:** to je enota, s katero merimo učinkovitost vhodov in izhodov izdelka. Ne moremo primerjati dveh različnih izdelkov, razen kadar je njuna storitev funkcionalnost (pakiranje, set). Opredelimo jo tako, da lahko primerjamo različne izdelke ali sisteme.
- **Sistemske omejitve:** kako daleč bo mejil naš obseg zaobljenih podatkov, kateri proces bo vključen v raziskavo LCA.
- **Razvrstitev kategorij vplivov:** uporabljen pristop glede na temo diplomskega dela bo potencial globalnega segrevanja – GWP;
- **Navedene hipoteze:** omenjene.
- **Metode ocenjevanja.**

3.4.2 Faza analize inventarja

Zajema poznavanje vseh materialov ali surovin od njihovega izvora, procesov, do porabljene električne energije pri proizvodnji, vključuje tudi transport, emisije in odpadke. Pomembno je, da se opredelijo vhodi in izhodi izbranega sistema za LCA. LCI je popis življenjskega cikla, ki je del zbiranja podatkov za LCA (okoljski vidiki v povezavi s funkcionalno enoto (medmrežje 7)).

3.4.3 Faza ocene učinka

Ocena vpliva življenjskega cikla je med zadnjimi koraki LCA in je odvisna od cilja študije. Namen LCIA je zagotoviti dodatne informacije za oceno rezultatov popisa življenjskega cikla (LCI) in bolje razumeti okoljski pomen rabe naravnih virov in izpustov v okolje. V tej fazi se ocenijo potencialni vplivi na okolje, ki izhajajo iz osnovnih tokov (okoljski viri in izpusti). Cilj študije je omejitev kategorij vplivov na globalno segrevanje in uporaba energentov. Karakteristični faktor na podlagi izbrane teme bo potencial globalnega segrevanja (GWP), kamor sodita količinska poraba električne energije v proizvodnem procesu in transport od dobavitelja do kupca. Opredeljeni faktor je osnova pri izračunu ogljičnega odtisa izdelka (medmrežje 7).

3.4.4 Faza interpretacije

Interpretacija je zadnja faza postopka LCA, v kateri se rezultati LCI ali LCIA povzemajo in obravnavajo kot podlaga za sklepanje in odločanje v skladu z opredelitvijo cilja ter področja uporabe (medmrežje 7).

3.5 SIST ISO 14044:2006

Ta mednarodni standard določa zahteve in smernice za ocenjevanje življenjskega cikla (LCA), vključno z ISO 14040, 2006:

- opredelitev cilja in obsega LCA,
- faza analize popisa življenjskega cikla (LCI),
- faza presoje vplivov življenjskega cikla (LCIA),
- faza razlage življenjskega cikla,
- poročanje in kritični pregled LCA,
- omejitve LCA,
- razmerje med fazami LCA in
- pogoji za uporabo izbirnih vrednosti in neobveznih elementov.

Standard zajema študijo za ocenjevanje življenjskega cikla (LCA) in popisa življenjskega cikla (LCI). Predvidena uporaba rezultatov LCA ali LCI se predvidoma upošteva med opredelitvijo cilja, vendar se rezultati zastavljenih ciljev LCA in LCI prikažejo v fazi interpretacije. Ta standard se navezuje na ISO 14040:2000 (ISO 14004, 2006).

3.6 SIST ISO 9001:2015

ISO 9001 je mednarodni standard za vodenje kakovosti podjetjem in drugim organizacijam. Standard temelji na osmih načelih, ki so pomembna za doseganje dobre poslovne prakse. Načela, ki jih ta standard zajema, so (Bureau Veritas, 2022):

- osredotočenost na odjemalce,
- voditeljstvo,
- vključevanje ljudi,
- procesni pristop,

- sistemski pristop k vodenju,
- nenehno izboljševanje,
- odločanje na podlagi dejstev,
- vzajemno koristni odnosi z dobavitelji.

4 O PODJETJU IN IZDELKU

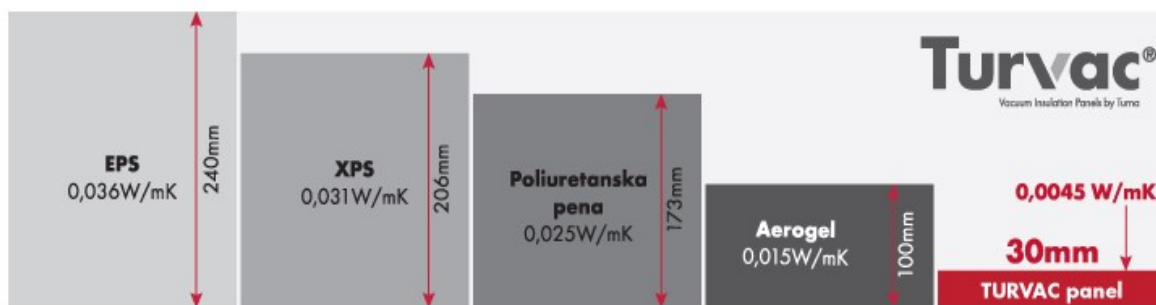
V Sloveniji je pred leti vakuumske panele razvilo podjetje Turna d. o. o., danes pa jih izdelujejo v podjetju Turvac, ki je skupna naložba lokalnega podjetja Turna in belgijske multinacionalke Recticel SA. Podjetje Turvac d. o. o. je bilo ustanovljeno leta 2016, do danes pa se njihov proizvod nenehno širi.

Lokacija proizvodnega obrata je v Šoštanju, na Primorski cesti 6b. V podjetju Turna d. o. o. je skupno zaposlenih več kot 170 zaposlenih, od tega je 35 % ljudi zaposlenih v podjetju Turvac. Glavni proizvodnji programi so (medmrežje 2):

- TURVAC VIP-plošče,
- XTurn tečajji za pečice,
- PVC-tesnila,
- grelci za pečice itd.

Vakuumsko izolacijski paneli so končni proizvodi podjetja, ki so uporabni v gradbeništvu, beli tehniki in farmaciji. Od nekaterih tradicionalnih izolacij so VIP-paneli do približno 10-krat bolj učinkoviti predvsem zaradi toplotne izolativnosti in prostorskih prednosti. Najbolj uporabni so pri produktih in aplikacijah, kjer potrebujemo maksimalno izolacijo in optimalni prostorski izkoristek, kamor spada uporaba VIP-ov v hladilnikih in zamrzovalnikih. Vse bolj se tudi uveljavljajo v gradbeništvu pri izolaciji balkonov, teras in okenskih rolet ter v farmaciji, kjer je pomembno, da so temperaturno občutljive snovi (zdravila, cepiva) shranjujejo in transportirajo pravilno (medmrežje 2).

Leto 2020 je Slovenijo zaznamoval padec gospodarske rasti. Država je bila prisiljena v zapiranje zaradi virusa Covid-19, ki se je razširil iz Vzhodne Azije do Evrope. Številna podjetja in druge organizacije so svoje poslovne poti morale omejevati ali celo zapirati. Podjetju Turvac se je ponudila nova poslovna priložnost – izdelava VIP-škatel v medicinske namene (medmrežje 2).



Slika 2: Prikaz specifičnih toplotnih prevodnosti konvencionalnih materialov in ekvivalentnih debelin v primerjavi s Turvac panelom (vir: Turvac, 2021)

Zgodnja slika prikazuje toplotne prevodnosti različnih konvencionalnih materialov v primerjavi s Turvac panelom. Razvidno je, da je Turvac panel najboljši toplotni prevodnik glede na debelino materiala, ki ga prikazuje slika. Toplotna prevodnost se primerja med seboj v centru panela (medmrežje 2).

Materiali, ki se primerjajo med seboj po debelini in toplotni prevodnosti, so (medmrežje 2):

- ekspanziran polistiren (EPS),
- ekstrudiran polistiren (XPS),
- poliuretanska pena,
- aerogel in
- Turvac panel.

Specifična toplotna prevodnost (λ) Turvac VIP panela znaša 0,0035 W/mK ali 3,5 mW/(mK), toplotna prehodnost klasičnega 20 mm debelega panela je (U) 0,22 W/(m²K). Po toplotni prevodnosti lahko EPS primerjamo s Turvac panelom. 3 cm VIP je enakovreden 24 cm debelemu EPS-u, kar pomeni, da bi za isti učinek toplotne izolativnosti lahko celotni sistemi konstrukcijskih sklopov bili do 5-krat tanjši. Če primerjamo materiale med seboj, so vsi razen Turvac panela debelejši od 10 cm. Z uporabo VIP-panela bi pridobili več prostora na račun tanjših in manjših sten, več izkoriščene prostornine in notranjega prostora pri gradnji objektov. Inovativna izolacija bi omogočala več možnosti in rešitev v pomenu izkoristka debeline in v prostorskem načrtovanju (medmrežje 2).

4.1 Uporaba vakuumsko izolacijskih materialov

VIP se uporablja v različne namene, kjer sta pomembni zelo dobra toplotna in energijska učinkovitost ter se pojavlja prostorska stiska. Uporablja se v različnih panogah, kot so (medmrežje 1):

- gradbeništvo,
- najrazličnejše izolacijske aplikacije (gospodinjski aparati),
- medicinska ali farmacevtska industrija,
- transportu v hladni verigi.

4.1.1 Gradbeništvo

Večinoma se VIP uporablja pri novogradnjah, adaptacijah in sanacijah starih objektov, največkrat pa tam, kjer se kaže prostorska stiska. Če primerjamo klasične izolacije, kot je mineralna volna, ki zahteva debelo izolacijo v konstrukcijah (20–30 cm) v primerjavi z VIP, je toplotna odpornost VIP do 8-krat večja kot na primer mineralna volna. To pomeni, da lahko z uporabo VIP dosežemo boljšo energetsko učinkovitost ter boljši izkoristek pri prostorskem načrtovanju VIP. Pri načrtovanju tanjših, a še vedno učinkovitih izolacijah tako pripomoremo k ohranjanju prostora in lepšemu pogledu na objekt (medmrežje 3).

VIP v gradnji in adaptaciji se uporablja v različne namene (medmrežje 3):

- umestitev VIP nad tlemi, kje je zahtevana visoka toplotna odpornost in kjer je debelina konstrukcije omejena,
- povečanje učinkovitosti sistema talnega ogrevanja,
- vrata – povečanje toplotne učinkovitosti do 50 %,
- nove zgradbe, umestitev v lesene okvirje ali na betonske stene,
- adaptacija starih objektov na zunanji ali notranji strani obstoječega zidu,
- integriranje VIP v konstrukcijsko ploščo,
- povečanje toplotne odpornosti na strehah in terasah.



Slika 3: Umestitev VIP nad okno (vir: Turvac, 2013)

Slika 3 prikazuje umestitev VIP z nanoporjem nad oknom z namenom, da se poveča toplotna učinkovitost.



Slika 4: Umestitev VIP na starih objektih (vir: Turvac, 2013)

Slika 4 prikazuje adaptacijo starega objekta na zunanji strani stene.



Slika 5: Integrirani VIP v konstrukcijsko ploščo (foto: Kristovič, 2023)

Slika 5 prikazuje konstrukcijsko ploščo, v kateri je integrirani VIP. Vgrajujemo ga v zunanje talne površine (balkoni), kjer povečamo toplotno učinkovitost v notranjih prostorih objekta.

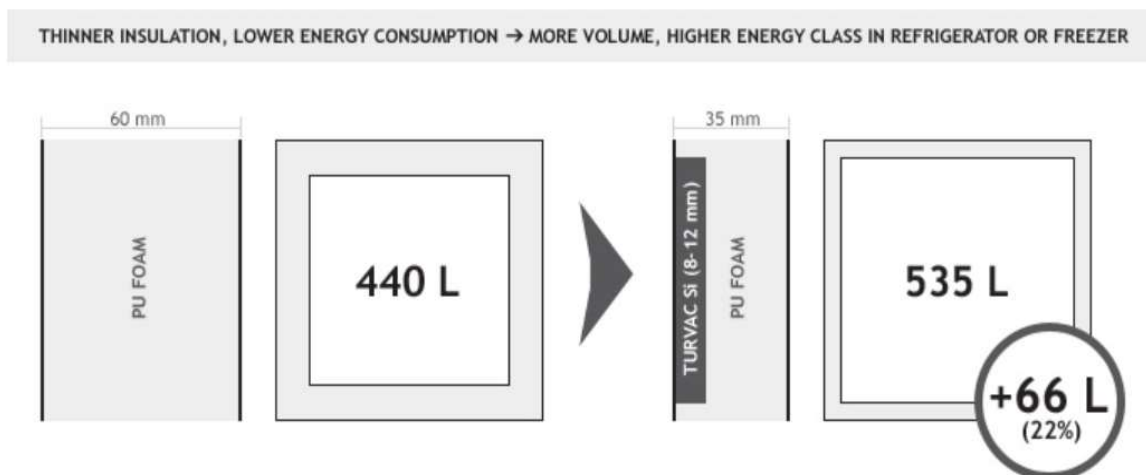
4.1.2 Hladilni aparati

Izolacija VIP se uporablja tudi v gospodinjskih aparatih in zamrzovalnikih, kjer je zelo pomemben dejavnik pri doseganju energetske učinkovitosti. Z gradnjo VIP v hišne aparate bi lahko dosegli razrede, kot so (medmrežje 3):

- A,
- A+,
- A++ in
- A+++.

Večinoma se ti uporabljajo bolj za izolacijo hladilnikov in zamrzovalnikov. S tem lahko zmanjšamo porabo energije med 8–30 % in obenem dosežemo višje energijske razrede in pridobimo, da prostornina ostane nespremenjena. Odvisno je tudi od tega, kako so aparati zasnovani (medmrežje 3).

Slika 6 prikazuje prostornino hladilnika, pri katerem bi se z uporabo VIP prostornina zmanjšala za več kot 20 % in s tem povečala litraža. Prvi del prikazuje izolacijo hladilnika s 60 mm poliuretansko peno, drugi del pa kombinacijo poliuretanske pene z VIP. Iz slike je razvidno, da bi s kombinacijo VIP in poliuretanske pene pridobili 66 l dodatne prostornine v hladilniku ali zamrzovalniku ter s tem povečali energijsko učinkovitost (medmrežje 3).



Slika 6: Tanjša izolacija v principu večjega volumna in energijskega razreda v hladilniku ali zamrzovalniku (vir: Turvac, 2013)

4.1.3 Medicinska ali farmacevtska industrija ter transport v hladni verigi

Poleg osnovnega produkta izdelujemo in razvijamo še mobilne škatle za zdravila, razne posode za distribucijo cepiv, organov darovalcev in farmacevtskih izdelkov. Ključno vlogo pri tem ima stalna temperatura, ki zahteva posebno ravnanje v tovrstni stroki. Da lahko ohranjamo primerno temperaturo v posodah ali škatlah, uporabljamo hladilno komponento, s katero uravnavamo notranjo temperaturo med 2 in 8 stopinj do kar 30 ur. Velika prednost je tudi ta, da lahko zaradi tanjših izolacij povečamo prostornino uporabnega prostora (medmrežje 3).

Hladna veriga je ena izmed pomembnih varnosti tovora pri nadzoru dobavnih verig, ki se nanašajo predvsem na varnost živila in drugih pomembnih izdelkov, ki morajo biti skladiščeni ali transportirani pod določenimi temperaturnimi pogoji in s specializirano logistiko. Z uporabo vakuumsko izolacijskega materiala lahko to tudi omogočamo in dosegamo zaradi nizke toplotne prevodnosti pod temperaturnim nadzorom ter z zaščito, ki nadzoruje hlajenje blaga tako manjših kot tudi večjih prostornin. Prav tako omogoča največjo možno notranjo prostornino skladiščenja (medmrežje 3).



Slika 7: Škatla, izdelana iz vakuumskih panelov in drugih komponent (foto: Kristovič, 2023)

Slika 7 prikazuje škatlo, ki je izdelana iz 6 vakuumskih panelov in drugih komponent. Takšni produkti se največkrat uporabljajo v medicinske ali farmacevtske namene, kjer je potrebna stalna in nadzorovana notranja temperatura.

5 SESTAVA VAKUUMSKO IZOLACIJSKEGA PANELA

Vakuumsko izolacijski paneli so sestavljeni iz primarnih materialov, ki jih pridobimo od dobaviteljev. VIP lahko razdelimo na dva dela:

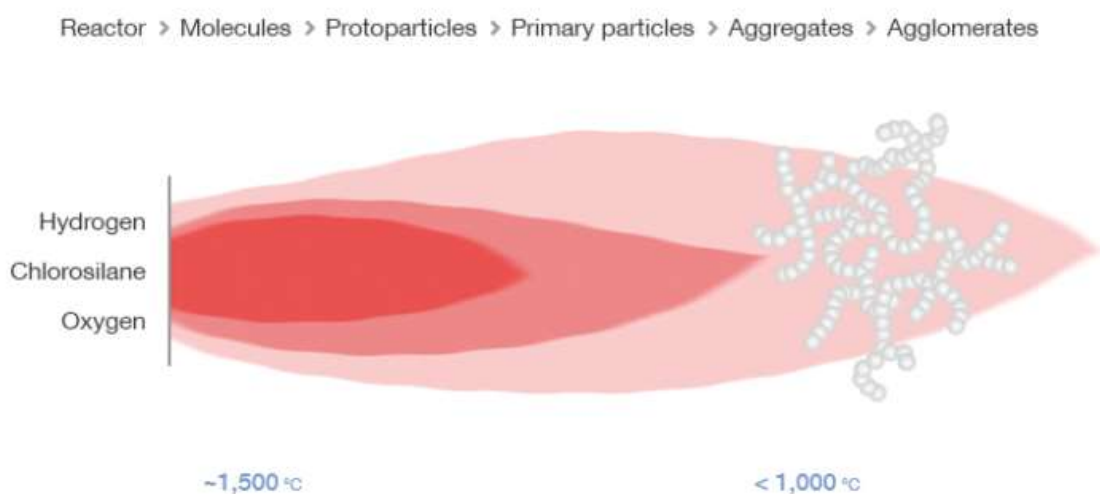
- jedro, ki je lahko sestavljeno iz različnih materialov (pirogeni silicijev dioksid (SiO_2) ali silika, viskozna vlakna, silicijev karbid);
- barierna folija, pri čem obstajajo različne vrste bariernih folij, aluminijaste in metalizirane iz različnega števila slojev.

5.1 Pirogeni silicijev dioksid ali silika

Pirogeni silicijev dioksid (SiO_2) oz. silika je najpomembnejša surovina v proizvodnem procesu VIP.

Pirogeni silicijev dioksid je sipek, voluminozen bel prah, nizko toksičen, kemično inerten ter netopen in ne prevaja ne elektrike ne toplote. Ta beli prašek ima izredno nizko nasipno gostoto in visoko specifično površino. Njegova tridimenzionalna struktura povzroči povečanje viskoznosti tekočin in lahko povzroči tiksotropno vedenje, največkrat se uporablja kot zgoščevalec ali ojačitveno polnilo (medmrežje 1).

V družbi Turvac uporabljajo hidrofilni pirogeni silicijev dioksid (HDK®- hydrophilic pyrogenic silica). Hidrofilni HDK® se proizvaja s hidrolizo hlapnih klorosilanov v plamenu kisika in vodika. V kemijskem smislu je beli prah sestavljen iz zelo čistega amorfnega silicijevega dioksida. Hidrofilni silicijev dioksid se zlahka navlaži v vodi in se v njej lahko dispergira (Wacker).



Slika 8: Proces pridobivanja hidrofilnega pirogenega silicijevega dioksida s hidrolizo hlapnih klorosilanov v nadzorovanem plamenu kisika in vodika (vir: Wacker, 2022)

Slika 8 prikazuje proces pridobivanja hidrofilnega pirogenega silicijevega dioksida. Ta nastane s plamensko oksidacijo silicijevega tetraklorida v plamenu vodika, pri čemer se temperatura povzpne nad $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, ob tem pa nastanejo nanodelci v velikosti do 15 nm . Najprej nastanejo mikroskopske kapljice amorfnega silicijevega dioksida, ki se nato kondenzirajo v razvejane, verigi podobne tridimenzionalne sekundarne delce, ki se nato aglomerirajo v terciarne delce. Povprečna velikost teh aglomeratov je od 100 do 200 nm (Huskić 2020).

5.2 Polimerna ali viskozna vlakna

Polimerna ali viskozna vlakna so najbolj primerna za uporabo kot ojačevalno sredstvo, največkrat v sestavljenih materialih. Visoko zmogljiva polimerna vlakna se uporabljajo kot ojačitveno sredstvo v gumah in drugih materialih, kjer je potrebna dodatna žilavost zaradi njihove uporabe in obstojnosti. To so največkrat kabli, gume in druge strukture, ki se morajo upreti mehanskim in okoljskim vplivom (A. R. Bunsell, 2016, str. 1).

5.3 Silicijev karbid

Silicijev karbid (SiC) se proizvaja pri visoki temperaturi v električnih upornih pečeh, glavni surovini sta kvarčni ali kremenov pesek in naftni koks. Pogosto se uporablja tudi kot ognjevzdržni material in metalurški dodatek. Dodaja se tudi v raznih drugih aplikacijah kot odličen toplotni prevodnik (medmrežje 4).

5.4 Metalizirana folija

Metalizirana folija ali metaliziran laminat je sestavljen iz treh metaliziranih poliestrskih folij, toplotno-tesnilnega sloja LLDPE in zaščitnega sloja PA (najlon). Zagotavlja izjemno dobre zaščitne lastnosti za dolgotrajno uporabo vakuumskih izolacijskih plošč. Ta material je zasnovan tako, da poveča toplotno vzdržljivost ovoja VIP in izboljša mehanske lastnosti z dodatnim slojem PA (Interno gradivo).

6 PRAKTIČNI DEL

6.1 Politika kakovosti podjetja

Podjetje Turvac se zaveda pomembnosti kakovostnih izdelkov, s katerimi skupaj s poslovnimi partnerji ustvarjajo inovativne rešitve za izboljšanje kakovostnega življenja in zmanjševanja negativnih vplivov na okolje. Politika kakovosti v podjetju je zastavljena z upoštevanjem (Interni vir, 2022):

- zagotavljanja kakovostnih izdelkov, pravočasnih in količinskih skladnih dobav brez napak;
- ozaveščanja sodelavcev o pomembnosti kakovosti in pomembnosti izdelkov za dolgoročno vzdrževanje in razvoj udobja, zdravja in bivanja ter pozitivnega vplivanja na okolje;
- predpisov in smernic kupcev v sklopu standarda in zakonskih organov;
- zagotavljanja, preverjanja in ovrednotenja uspešnosti naših procesov, preverjanja in ocenitve vseh morebitnih tveganj, zaznavanja ter analiziranja priložnosti ter primernim ukrepanjem z namenom nenehnega izboljšanja podjetja, procesov in izdelkov.

6.2 Proizvodni postopek pridobivanja VIP-panela

Proizvodni postopek pridobivanja VIP-panela sestoji iz naslednjih faz:

- mešanje in stiskanje primarnih materialov (silika, polimerna vlakna, silicijev karbid),
- razrez jeder,
- finalizacija, kamor sodi avtomatska linija:
 - razrez folije,
 - varjenje folije in
 - oblepljanje panela.

Mešanje in stiskanje v večje plošče je faza, kjer se materiali med seboj strojno premešajo po določeni recepturi in proceduri. Največji delež predstavlja silika, nato karbid in viskozna vlakna. Cikel mešanja traja 8 min, nato se stiskajo plošče različnih velikosti in debelin. Standardna in najkoristnejša je plošča, ki se stisne do dimenzije 765 x1 230 mm. Debeline, ki jih premoremo proizvesti, so od 3 do 50 mm. Čas stiskanja plošč traja 2,5 min pod tlakom 90 barov.

Razrez jeder: ko se iztisnejo plošče v pravilne strukture, začnemo z razrezom plat v manjša jedra, ki so odvisna od naročila kupcev.

Finalizacija: je dolgotrajen proces, ki zajema:

- sušenje jeder, ki traja 30 min in služi izhlapevanju vodnih delcev – vlažnost prostora. To so koncentracije vodne pare, ki so prisotne v zraku. Segreto jedro služi k manjšemu ciklu vakuumiranja, izhlapevanje vode pa k daljšemu staranju izdelka.



Slika 9: Nalaganje jeder v peč (foto: Kristovič, 2021)

Slika 9 prikazuje nalaganje jeder v peč, kjer se jedra segrejejo. Naloga peči je, da odvečne vodikove molekule absorbira in k temu povečuje staranje izdelka. Vodik se povalja vsepovsod, po zraku prostoru in je neviden. Možno ga je opaziti le ob povečani vlažnosti.



Slika 10: Iztisnjena plata po fazi mešanja surovin (foto: Kristovič, 2021)

Slika 10 prikazuje iztisnjeno ploščo po fazi mešanja in stiskanja primarnih surovin v uporabno strukturo in obliko. Ta nastane s pomočjo hidravlične stiskalnice s tlakom 90 barov. Kadar stiskalnica deluje brezhibno, cikel stiskanja traja 3 minute.

Po iztisnjeni plošči in razrezu jeder sledi:

- faza ovijanja jeder: služi k fiksni strukturi jedra, ki ne razpada, ampak delce med seboj tesno povezuje in ščiti;
- vakuumiranje panela: sestoji iz razreza folije, varjenja vreč, vakuumiranja in oblepljanja. Čas cikla je 7 minut. Ti štirje procesi se izvedejo na avtomatski liniji brez ročnega dela. Na sliki 11 je prikazano ovito jedro na liniji, ki se je pred tem ovilo s polietilensko folijo s pomočjo pakirnega stroja.



Slika 11: Ovito jedro, ki nadaljuje nadaljnji proces izdelave panela na avtomatski liniji (foto: Kristovič, 2021)

6.3 Načrt gospodarjenja z odpadki

Načrt gospodarjenja z odpadki je v družbi Turvac zasnovan za obdobje 2021–2024. V nadaljevanju so podani vsi odpadki, ki jih ločeno zbiramo po vrsti odpadka (Interni vir, 2021). Načrt gospodarjenja z odpadki je izdelan na podlagi Uredbe o odpadkih (Uradni list RS, št. 37/15).

6.3.1 Vrste odpadkov

Opadke glede na nevarnost delimo na dve vrsti odpadkov (Interni vir, 2021):

- nenevarne odpadke in
- nevarne odpadke.

6.3.2 Ravnanje z odpadki

Vse odpadke, ki nastanejo v družbi, predamo pooblaščenim zbiralcem, pooblaščenim predelovalcem ali odstranjevalcem razen ostankov od jeder, ki se interno reciklirajo (Interni vir, 2021).

Preglednica 2: Posamezna vrsta odpadkov v družbi Turvac s klasifikacijskimi številkami (vir: Interni vir podjetja Turvac, 2022)

KLASIFIKACIJSKA ŠTEVILKA	VRSTA ODPADKA
08 03 18*	Odpadni tonerji
08 04 09*	Odpadna lepila in tesnila mase, ki vsebujejo organska topila ali druge nevarne snovi
15 01 10*	Embalaža, ki vsebuje nevarne snovi ali je onesnažena z nevarnimi snovmi
15 01 01	Papirna in kartonska embalaža ter embalaža iz lepenke
15 01 02	Plastična embalaža
15 01 03	Lesena embalaža
15 01 06	Mešana embalaža
17 06 04	Izolirni materiali
17 09 04	Mešanice gradbenih odpadkov in odpadkov iz rušenja objektov, ki niso navedene v 17 09 01, 17 09 02 in 17 09 03
20 03 01	Mešani komunalni odpadki

V preglednici 2 so prikazani vsi odpadki, ki jih ločujemo in so prikazani s klasifikacijskimi številkami. Klasifikacijsko število nam pove vir nastanka in v katero skupino spada posamezen odpadek. Glavne skupine odpadkov so od 01 do 12 in 17 do 20, posamične vrste pa so označene s šestmestno številčno oznako. Kadar za odpadek ni ustrezne oznake, se uporabijo splošne skupine 13, 14, 15 ali 16.

Preglednica 3: Nastali odpadki v družbi Turvac v letu 2022

Vir: Agencija RS za okolje, 2022

NAZIV ODPADKA	KOLIČINA ODPADKA (kg)
Papirna in kartonska embalaža ter embalaža iz lepenke	17.104
Plastična embalaža	23.620
Lesena embalaža	6.220

Mešana embalaža	3.040
Izolirni materiali, ki niso navedeni v 17 06 01 in 17 06 03	1.040
Mešanice gradbenih odpadkov in odpadkov iz rušenja objektov, ki niso navedene v 17 09 01, 17 09 02 in 17 09 03	13.700

V preglednici 3 so prikazane količine nastalih odpadkov v letu 2022 za potrebe poročanja Agenciji RS za okolje, ki izdaja letna poročila o nastalih odpadkih v RS in ravnanju z njimi za preteklo leto. V poročilu so navedeni tudi koncesionarji odvoza odpadkov.

6.4 Kategorije vplivov na okolje

Preglednica 4: Prikaz kategorij vplivov na okolje z opisom, referenčnimi enotami in karakterističnimi faktorji (vir: Medmrežje 7, 2023)

KATEGORIJE VPLIVOV NA OKOLJE	OPIS	REFERENČNA ENOTA	KARAKTERISTIČNI FAKTOR
Globalno segrevanje	V zadnjih desetletjih se povečujejo temperature kopenske atmosfere in oceanov. Na vse to vplivajo podjetja s svojimi izpusti, uporaba fosilnih goriv, poraba energije itd.	kg CO _{2eq}	Potencial globalnega segrevanja (GWP)

Preglednica prikazuje glavno kategorijo vplivov na okolje, ki se navezuje na diplomsko delo. Kategorije vplivov na okolje je določilo društvo za okoljsko toksikologijo in kemijo (SETAC).

7 RAČUNANJE OGLJIČNEGA ODTISA NA PRIMERU VAKUUMSKEGA PANELA

7.1 Osnovni izračun

Osnovni izračun ogljičnega odtisa običajno zajema neposredne emisije iz proizvodnega procesa in distribucije ter emisije zaradi uporabe električne energije. Med te spadajo (Višnar 2009):

- poraba goriv v zgradbah organizacije,
- poraba električne energije v zgradbah organizacije.

Da bi dobili točnejše podatke o porabi, moramo določiti (prav tam):

- vire emisij TPG v proizvodnem procesu,
- vključiti in izračunati posamezne energente v celotnem proizvodnem procesu, od začetka pridobivanja do končnega proizvoda,
- pridobiti ključne informacije za izračun.

7.2 Natančen izračun

Za izbrani izračun smo uporabili najpogosteje prodajan VIP, dimenzije 378 x 405 x 25 mm.

Natančen izračun celotnega ogljičnega odtisa vključuje zahtevnejši pristop in zahteva sodelovanje s svojimi partnerji in dobavitelji. Pri izračunu ogljičnega odtisa izdelka na primeru vakuumskega panela je treba vključiti (Višnar 2009):

- vse emisije TGP posameznega materiala, ki jih uporabljamo v proizvodnem procesu končnega izdelka, kamor sodi partnersko sodelovanje in zaupanje proizvajalcev primarnih materialov v javnosti;
- točne izračune iz vseh virov TGP.

Koraki do natančnega računanja ogljičnega odtisa izdelka:

1. Najprej definiramo metodologijo.
2. Določimo obseg in meje zaobjetih podatkov.
3. Zberemo podatke o emisijah in izračunamo ogljični odtis.
4. Verifikacija rezultatov.

Ker se zavedamo, da nekaterih podatkov ne bomo mogli pridobiti s strani dobaviteljev, bomo slednje poiskali v podatkovni bazi Ecoinvent in medmrežju.

7.3 Poraba energentov v proizvodnem procesu

V proizvodnem procesu VIP se uporablja izključno električna energija. Z uporabo električne energije tako posredno vplivamo na emisije TPG na delovnih strojih in napravah. Vsak stroj, naprava ali delovni pripomoček, ki kakorkoli sodeluje pri proizvodnji, je treba upoštevati v celotnem izračunu ogljičnega odtisa. Naprave, ki imajo vpliv na to, so:

- stroj za mešanje primarnih surovin,
- hidravlična stiskalnica,
- žaga 1. in 2.,
- peč,
- pakirni stroj in
- avtomatska linija, kamor sodijo vakuumiranje jedra, razrez metalizirane folije, varjenje in oblepljanje panela.

Naprave, ki jih moramo prištrevati k proizvodnim, so:

- odsesavanje,
- vijačni kompresor in hladilnik vode.

V preglednici 5 so prikazani vsi izračuni porabe električne energije za izdelavo enotnega panela v odvisnosti od časa t (h) in moč posameznega stroja ali naprave. Poraba električne energije je izražena v kWh/panel. Pri tem smo upoštevali velikost panela 378 x 405 x 25 mm (... m³) z maso 0,688 kg.

Preglednica 5: Poraba električne energije posameznega stroja ali naprave v posamezni fazi v proizvodnem procesu in njihova moč v odvisnosti od časa cikla

FAZA V PROIZVODNEM PROCESU	Čas cikla (t)	Moč stroja/naprave [kW]	Izračun	Poraba električne energije kWh/m ³
MEŠANJE PRIMARNIH SUROVIN	8 min	<ul style="list-style-type: none"> moč mikserja pri 70 % = 9,8 kW 	$9,8 \text{ kW} \cdot 0,13 \text{ h} = 1,27 \text{ kWh}$ $= 1,3 \text{ kWh}/36 \text{ plošč} = 0,036 \text{ kWh/panel}$	0,036
STISKANJE PLOŠČ	2,5 min	<ul style="list-style-type: none"> moč stiskalnice = 5,5kW/1,36 = 4kW - 100% = 2,8kW - 70% 	$2,8 \text{ kW} \cdot 0,042 \text{ h} = 0,117 \text{ kWh}/6 \text{ jeder} = 0,019 \text{ kWh/panel}$	0,019
RAZREZ JEDER	10 s	<ul style="list-style-type: none"> moč žage pri 70 % = 1 kW 	$1 \text{ kW}/3600 \cdot 10 \text{ s} = 0,0027 \text{ kWh/jedro}$	0,0027
LINIJA PEČI	0,5 h	<ul style="list-style-type: none"> moč peči pri 35 % = 50 A³ 	$340 \text{ V} \cdot 150 \text{ A} = 51 \text{ kW} \cdot 0,5 \text{ h} = 25,5 \text{ kWh}/6 \text{ panelov} = 4,25 \text{ kWh/panel}$	4,25
TERMOSKRČ LJIVA FOLIJA	13 s	<ul style="list-style-type: none"> moč pakiranega stroja = 2,3 kW + 14 kW (2 motorja) 	$16,3 \text{ kW}/3600 \cdot 13 \text{ s} = 0,0588 \text{ kWh/panel}$	0,0588
AVTOMATSKA LINIJA (vakuumiranje, razrez folije, varjenje, oblepljanje)	0,75 h	<ul style="list-style-type: none"> moč vakuumirke = 35 kW, moč stroja za varjenje vreč = 19,6 kW moč stroja pri zavijkih = 7,7 kW (vsi stroji delajo v 70 %) 	$1. \quad 35 \text{ kW}/4 \cdot 3/180 = 0,145 \text{ kWh/panel}$ $2. \quad 19,6 \text{ kW}/4 \cdot 3/180 = 0,081 \text{ kWh/panel}$ $3. \quad 7,7 \text{ kW}/4 \cdot 3/180 = 0,032 \text{ kWh/panel}$	0,258
STROJ ZA 100 % PREGLED VIP	0,75 h	<ul style="list-style-type: none"> moč stroja = 7,5 kW 	$7,5 \text{ kW}/4 \cdot 3/30 = 0,186$	0,186

DRUGE NAPRAVE	0,75 h	<ul style="list-style-type: none"> • Odsesavanje: moč pri 47 % = 7,8 kWh • Vijačni kompresor; trenutna zmogljivost na 56,5 % = 20,34 kW • Hladilnik vode; trenutna zmogljivost na 70 % = 9,1 kW 	1. Odsesavanje 7,8 kW/4*3/180 = 0,043 kWh 2. Kompresor 20,34 kW/4*3/180 = 0,085 kWh 3. Hladilnik vode 9,1 kWh/4*3/180 = 0,038 kWh	0,17
			SKUPNA PORABA v kWh	4,976

V tabeli so prikazani vsi izračuni porabe električne energije, izraženi v kWh/panel. Do izračunov smo prišli po naslednjih korakih:

1. Najprej smo izmerili čas delovanja posamezne naprave ali stroja, izjema je avtomatska linija in druge pomožne naprave (čas, v katerem se izdelava panel, je 45 min, medtem sta napravi konstantno prižgani);
2. na specifikaciji stroja ali naprave smo razbrali njihovo polno delovno moč, ki je izražena kW (kilovatih);
3. izračunali smo porabo električne energije na podlagi časa, ki smo ga izmerili in ga smiselno pretvorili v kWh/ploščo/jedro/panel.

Porabo energije smo izračunali na posameznih fazah v proizvodnji:

- **Mešanje surovin:** moč mikserja smo pomnožili s časom trajanja cikla ter delili s številom 36 plošč, dimenzije 765 x 1230 x 25 mm, ki jih izdelamo v enem ciklu;
- **Stiskanje plošč:** moč hidravlične stiskalnice je bila takrat na 70 %, zato smo skupno moč morali spremeniti v pravilni odstotek. Moč stiskalnice smo nato pomnožili s časom trajanja ene stisnjene plošče in delili s številom 6 (iz ene plošče dobimo 6 jeder dimenzije 378 x 405 x 25 mm);
- **Razrez jeder:** moč žage smo naprej delili s 3600, ker je čas podan v sekundah in nato pomnožili z 10 s, da smo dobili podatek v kWh/jedro;
- **Linija peči:** moč linije smo naprej pomnožili s 340 V, da smo dobili kW in nato delili s 30 min. Glede na širino peči v 30 min dobimo 6 jeder, ki smo jih preračunali na eno jedro;
- **Termoskrčljiva folija:** čas je izražen v sek., zato smo moč naprave delili s 3600 in nato pomnožili s 13 s, da smo dobili moč motorja na podlagi časa trajanja te faze;
- **Avtomatska linija:** vključuje moč vakuumirke, moč stroja za varjenje in moč stoja pri izdelavi zavihkov. Tukaj smo najprej 1 h razdelili na 4 enake dele in nato pomnožili s 3, kar predstavlja čas 45 min (čas trajanja vseh ciklov in čas trajanja, da panel nastane). V času 45 min lahko proizvedemo 180 VIP, zato smo moč vseh naprav na liniji še delili s tem številom, da smo dobili porabo električne energije za en panel;
- **Stroj za 100-odstotni pregled VIP:** služi k pregledovanju slabih in dobrih kosov;
- **Odsesavanje:** namenjeno k odsesavanju odvečnega prahu v proizvodnem procesu in služi k odstranjevanju delcev, ki se kopičijo v zraku pri samem procesu;
- **Kompresor:** naprava za proizvodnjo stisnjenega zraka, ki ga uporabljamo za napajanje strojev in naprav (pnevmatskih strojev in naprav).

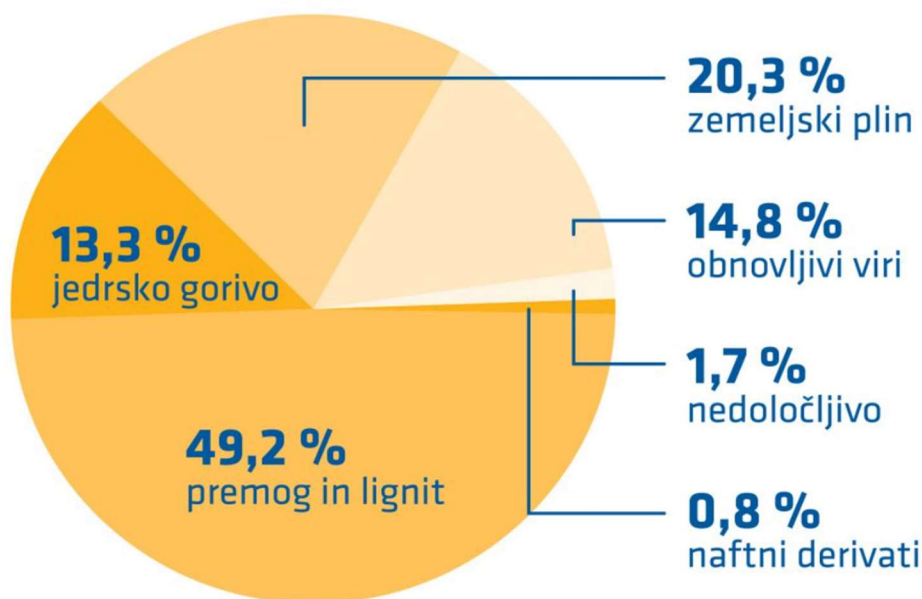
- **Hladilnik vode:** namenjen hlajenju vode v sistemu, ki hladi varilne letve (avtomatska linija).

V celotnem ciklu proizvodnje VIP od začetka do konca proizvodnega procesa smo dobili porabo električne energije, izraženo v kWh/panel. Skupna poraba z vsemi napravami znaša 4,98 kWh/panel.

7.3.1 Sestava primarnih virov za proizvodnjo elektrike

Podjetje Turvac svojo električno energijo pridobiva od podjetja Ece Celje. Vsako leto je treba s strani odjemalca javno razpisati podatek o različnih virih energije in koliko ti znašajo. Njihovi podatki so objavljeni na spletni strani za preteklo obdobje v skladu z Aktom o načinu določanja in prikazovanja deležev posameznih proizvodnih virov elektrike (Uradni list RS, št. 22/16 in 172/21 – ZOOE). ECE, energetska družba, d. o. o. objavlja sestavo primarnih virov za proizvodnjo elektrike v skupni strukturi dobavljene elektrike v letu 2021 ter informacije o izpustih ogljikovega dioksida in nastalih radioaktivnih odpadkih na proizvedeno kWh. Na spodnji sliki so prikazani deleži primarnih virov za leto 2021. Največji delež predstavljata premog in lignit, sledijo jedrsko gorivo, zemeljski plin, obnovljivi viri energije in drugi (Ece, 2021).

Sestava primarnih virov za proizvodnjo elektrike 2021



Slika 12: Sestava primarnih virov za proizvodnjo elektrike v RS v letu 2021

Vir: Ece, 2021

Izpusti celotnih TPG v RS v letu 2021 na podlagi sestavljenih primarnih virov znašajo 0,841 kg CO_{2eq}/kg. proizvedene električne energije (Ece).

7.3.2 Izračun električne energije s pomočjo emisijskega faktorja

S pomočjo pretvorbenih faktorjev kalkulatorja izračunamo emisijo iz porabe električne energije pri izdelavi panela s pomočjo naslednje enačbe (medmrežje 8):

- emisije = skupna poraba energije (gorivo, elektrika) x emisijski faktorji (gorivo, elektrika).

Za električno energijo je izračun emisije TGP: $4,976 \text{ kWh} \times 0,841 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh} = 4,184 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$.

8 IZRAČUN PO IZBRANIH METODAH

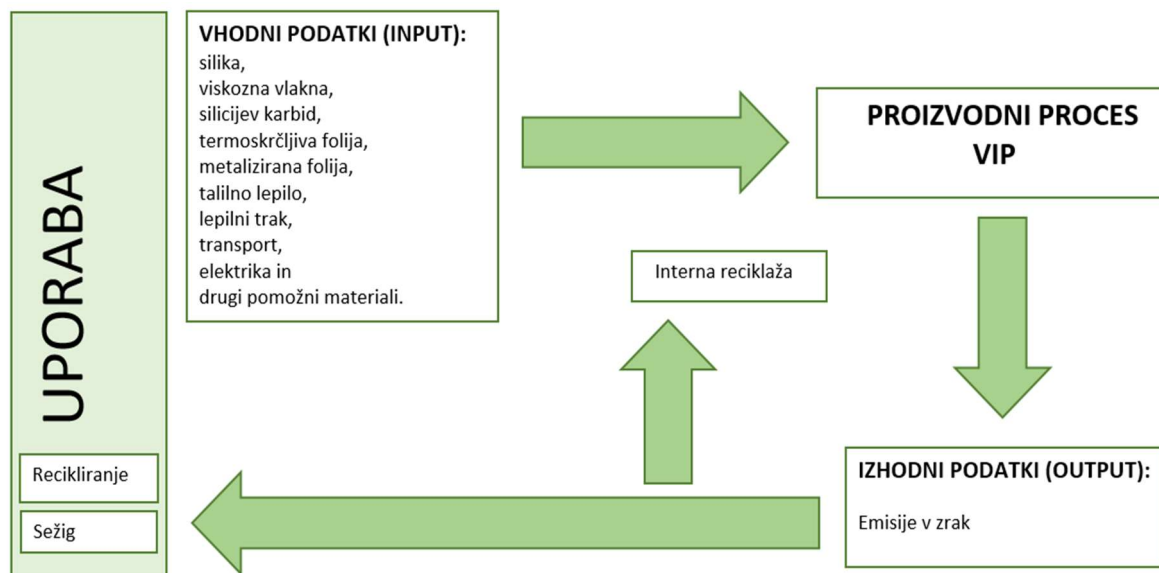
8.1 Metoda LCA

Analiza življenjskega cikla VIP mora vsebovati funkcionalno enoto. Na podlagi zastavljenih ciljev bo to kpanel. V diplomskem delu bomo oceno življenjskega cikla omejili na okoljski vidik globalnega segrevanja. Ocena bo pripomogla k izračunu celotnega ogljičnega odtisa VIP.

Preglednica 6: Uporabljeni material v procesu VIP, ki ga pridobivamo od svojih dobaviteljev.

	Uporabljeni materiali v procesu VIP	Funkcionalna enota
Dobavitelj 1	Silika	panel
Dobavitelj 2	Viskozna vlakna	panel
Dobavitelj 3	Silicijev karbid	panel
Dobavitelj 4	Termoskrčljiva folija	panel
Dobavitelj 5	Metalizirana folija	panel
Dobavitelj 6	Talilno lepilo	panel
Dobavitelj 7	Lepilni trak	panel
Dobavitelj 8	Kartonska embalaža	panel
Dobavitelj 8	Zaščitna folija	panel

V zgornji preglednici so prikazani vsi materiali, ki jih potrebujemo pri izdelavi VIP. Silika, viskozna vlakna in silicijev karbid se uporabljajo v začetni fazi proizvodnega procesa, drugi materiali se uporabljajo v zaključni fazi proizvodnega procesa, kadar je jedro že izdelano in potrebuje samo še dodatne materiale, da nastane končen produkt. Kartonska embalaža in zaščitna folija se uporabljata kot zaščita VIP, preden izdelek gre do kupca.



Slika 13: Prikaz vhodnih in izhodnih podatkov proizvodnega procesa VIP (vir: P. Kristovič, 2022).

Slika 13 prikazuje vhodne in izhodne podatke proizvodnega procesa VIP. Vhodni podatki so vsi materiali, ki se uporabljajo pri izdelavi VIP, transport in poraba električne energije v celotnem proizvodnem procesu nastajanja produkta. Materiale, ki jih uporabljamo v procesu, pridobimo od svojih dobaviteljev, za katere ne moremo vplivati. Na porabo električne energije na način zniževanja emisij v zrak lahko vplivamo tako, da identificiramo okoljska žarišča in predlagamo izboljšave.

Podatke o skupnih emisijah za posamezen material smo pridobili:

- od svojih dobaviteljev,
- z medmrežja,
- z baze Ecoinvent.

V spodnji preglednici so prikazani posamezni materiali in od kod smo pridobili podatek o kg CO_{2eq}.

Preglednica 7: Viri materialov (vir: Dobavitelji, 2022; Ecoinvent, 2023; medmrežje, 2023)

Pridobljen vir	Materiali
Dobavitelj	<ul style="list-style-type: none"> - silika - silicijev karbid - metalizirana folija
Ecoinvent	<ul style="list-style-type: none"> - viskozna vlakna - termoskrčljiva folija - talilno lepilo - lepilni trak
Medmrežje	<ul style="list-style-type: none"> - kartonska embalaža - zaščitna folija

V preglednici 8 so prikazani vsi materiali in njihov vpliv na okolje v domeni emisije TGP. Za vse vrste materialov smo ugotovili njihov vpliv na okolje, ki je izražen v kg CO_{2eq}/kg.

Preglednica 8: Prikaz posameznega materiala ter njegov vpliv na okolje, ki je izražen v kg CO_{2eq}/kg (vir: Dobavitelji, 2022; Ecoinvent, 2023; medmrežje, 2023)

VRSTA MATERIALA	GWP (kg CO _{2eq} /kg)
Silika	5,15
Viskozna vlakna	3,13
Silicijev karbid	4,35
Termoskrčljiva folija	2,92
Metalizirana folija	7,78
Talilno lepilo	1,85
Lepilni trak	2,29
Kartonska embalaža	0,94
Zaščitna folija	2,7

8.2 Računanje ogljičnega odtisa VIP

Računanje ogljičnega odtisa izdelka se navezuje na LCA in s tem povezanimi podatki, kot so:

- meja zaokroženih podatkov;
- uporabljeni materiali;
- poraba energentov,
- transport.

Podatke bomo prikazali na skupne emisije kg CO_{2eq}/panel. Izdelek, ki ga bomo obravnavali in bo vključen v raziskavo, je VIP dimenzije: 378 x 405 x 25 mm, volumen panela znaša 0,00379 m³, masa panela znaša 0,688 kg.

Za računanje smo uporabili industrijsko okolje VIP, kar pomeni vse proizvodne procese, vključno z vsemi energenti in porabljenimi materiali.

V začetni fazi se najprej pomešajo med seboj silika, viskozna vlakna in silicijev karbid. Skupna masa izbranega jedra, ki ga bomo računali, je 0,688 kg. V tabeli 4 so prikazane surovine določenega materiala, izražene v kg ter od tega izračunane skupne emisije (GWP kg CO_{2eq} za posamezni material. Ker v našem primeru meja podatkov sega od dobave materiala in vse do konca življenjske dobe izdelka, smo v raziskavo vključili tudi končno pakiranje z vsemi pomožnimi materiali ter načine, kako prihraniti in znižati emisije CO₂.

Preglednica 9: Prispevek posameznega materiala v izračunu toplogrednih plinov, v kg CO_{2eq}/panel

SUROVINE/MATERIALI	Enota	Količina na enoto	GWP (kg CO _{2eq} /panel)
Silika	kg	0,564	2,905
Silicijev karbid	kg	0,103	0,448
Viskozna vlakna	kg	0,021	0,066
Termoskrčljiva folija	kg	0,0065	0,019
Metalizirana folija	kg	0,023	0,179
Talilno lepilo	kg	0,0265	0,050
Lepilni trak	kg	0,0020	0,005
Skupaj			3,672

Podatke o skupnih emisijah za materiale smo že predhodno pridobili, kot je prikazano v preglednici 8. Ko imamo izdelano jedro, jim sledijo preostali materiali, ki jih porabljamo za izdelavo VIP. Ker so ti materiali večinoma izraženi v tekočih kvadratnih metrih, smo te pretvorili v kg s pomočjo tehnice in izračunali relativno maso posameznega materiala. Do izračuna smo prišli s procentnim računom. Skupne emisije iz uporabljene mase vseh komponent pri izdelavi VIP znašajo 3,893 kg CO_{2eq}/panel. Ta podatek nam pove, kolikšen delež h globalnemu segrevanju prispevajo materiali izbranega panela. K izračunu bomo še posebej prišteli kartonsko embalažo in zaščitno folijo. V eno pakirno enoto izbranega panela lahko embaliramo 250 kom in porabimo 0,10 kg zaščitne folije, masa kartonske embalaže znaša 4,48 kg. Podatki so prikazani v preglednici 10.

Preglednica 10: Prikaz vpliva pomožnih materialov

SUROVINE/MATERIALI	Enota	Količina na enoto	GWP (kg CO _{2eq} /kg)
Kartonska embalaža	kg	4,48	4,21
Zaščitna folija	kg	0,10	0,27
Skupaj			4,48

Do rezultata za panel smo prišli tako, da smo kg CO_{2eq}/kg delili z 250 panelov v embalažni enoti. Ta znaša 0,018 kg CO_{2eq}/panel.

8.3 Prispevek transporta

Med emisije TGP prištevamo tudi tiste pri prevozu materialov od dobavitelja do obrata v podjetje, med prenašanjem blaga v procesu ter prevozu končnega izdelka do kupca. Tukaj gre za transport zunaj podjetja. Znotraj podjetja se dogajajo prav tako premiki, vendar na samo študijo nima kaj veliko vpliva in niso relevantni. Ko izdelek odsluži svojo funkcijo, se dodatno prišteje še odvoz na odlagališče ali nadaljnjo obdelavo glede na zahtevnost materialov. Izpuste iz transporta, izražene v kg CO₂, izračunamo tako, da najprej pomnožimo povprečno porabo vozila, ki je podana v l/100 km (avtomobil, tovornjak, tovorna ladja) s prevoženimi kilometri, da

dobimo celotno porabo goriv v litrih. Celotna poraba je zelo pomemben podatek, saj z njim in toplotno vsebnostjo porabljenega goriva izračunamo emisije. Faktor izpustov je izražen v terajoulih (TJ). Podatke o neto kaloričnih vrednostih in emisijskih faktorjih objavlja Agencija RS Slovenije za okolje na podlagi zadnjih nacionalnih evidenc toplogrednih plinov, predloženih sekretariatu Okvirne konvencije Združenih narodov za podnebne spremembe (UNFCCC). (Agencija RS za Okolje, 2022).

Preglednica 11: Značilne neto kalorične vrednosti in emisijski faktorji za leto 2022 (vir: Agencija RS za okolje, 2023)

Gorivo	Kurilnost – neto kalorična vrednost (TJ/10 ⁶ l)	Emisijski faktor , t CO ₂ /TJ
Plinsko olje (diesel)	36,0 TJ/10 ⁶ litrov	74,1
Bencin	33,1 TJ/10 ⁶ litrov	69,1

V preglednici 11 so prikazane kalorične vrednosti in emisijska faktorja, ki bosta uporabljena pri izračunu izpusta CO₂ pri transportu.

Porabo goriva v domeni energije izračunamo (Toškan, 2017, 56, 57):

- celotna poraba (l) x (36,0 TJ/10⁶ litrov)_{diesel} ali (33,1 TJ/10⁶ litrov)_{bencin}.

Izpust CO₂ izračunamo:

- emisijski faktor CO₂ (t CO₂/TJ) x porabe goriva (TJ).

Preglednica 12: Izračun izpustov CO₂ za prevoz materialov od dobavitelja do podjetja

	Prevože na razdalja (km)	Vrsta prevoza	Povpreč na poraba (l/100km)	Celotna poraba (l)	EF. CO ₂ (t CO ₂ /TJ)	Poraba energije (TJ)	Izpust (kg CO ₂ /prevoz)
Dobavitelj 1	443,0	tovornjak	28,0	124,04	74,1	0,0045	0,33
Dobavitelj 2	808,0	tovornjak	28,0	226,24	74,1	0,0081	0,60
Dobavitelj 3	290,5	tovornjak	28,0	81,34	74,1	0,0029	0,21
	4.000,0	tovorna ladja	900	68/kontejner	74,1	0,0025	0,19
Dobavitelj 4	1.078,0	tovornjak	28,0	301,84	74,1	0,0109	0,81
Dobavitelj 5	35,0	avtomobil	6,76	9,8	69,3	0,00032	0,022
Dobavitelj 6	86,0	kombi	10	8,6	69,3	0,00028	0,019
Dobavitelj 7	35,0	avtomobil	6,76	2,37	74,1	0,00008	0,006
Dobavitelj 8	18,0	avtomobil	6,76	1,217	69,3	0,00004	0,003
Kupec	1.700	tovornjak	28,0	476	74,1	0,017	1,26

Preglednica 11 prikazuje dejanski izpust CO₂ na podlagi prevoženih kilometrov in vrste prevoznega sredstva vse od dobavitelja do kupca, ki znaša 3,45 kg CO₂/prevoz.

8.4 Življenjska doba izdelka

Kar se zgodi po končani dobi izdelka, je odvisno od vrste odpadkov. Slika 13 točno prikazuje, kaj se zgodi s panelom, ko odsluži svojo funkcijo. Odpadki se ločeno zbirajo in primerno skladiščijo, nato gredo na zbirališče odpadkov, kjer se reciklirajo, ter v nadaljnji sežig.

V preglednici 13 so prikazani načini ravnanja z odpadki, vrste odpadkov in materiali, da si lažje predstavljamo, kaj se z njimi zgodi, ko izdelek več ni uporaben, in kako ustrezno ravnamo z njim.

Preglednica 13: Načini ravnanja z odpadki in s tem povezane vrste odpadkov ter uporabljeni materiali

Ravnanje z odpadkom	Vrsta odpadka	Material
Recikliranje	Plastična embalaža	- termoskrčljiva folija - zaščitna folija - kartonska embalaža
Sežig	Plastična embalaža	- metalizirana folija - talilno lepilo - lepilni trak
Interno recikliranje	Mešanice gradbenih odpadkov in odpadkov iz rušenja objektov, ki niso navedene v 17 09 01, 17 09 02 in 17 09 03.	- mešanica silike, silicijevega karbida in viskoznih vlaken

Pri reciklaži mineralnega dela odpadka upoštevamo izluščeno jedro, ki se zmelje in dodaja v svežo mešanico. Okvirna poraba električne energije za dodatno obdelavo bo znašala 0,009 kWh, kar ustreza 0,008 kg CO_{2q}

Preglednica 14: Okvirna ocena izračuna End of life (vir: Johansson, 2021; Vanderreydt, 2021; Pro Carton, 2009; Choi, B, 2018; Megaplast, 2023)

Material	Ravnanje z odpadkom	End of life (kg CO _{2eq})	End of life (kg CO _{2eq} /panel)
Zaščitna folija	Recikliranje	1,54	0,0017
Metalizirana folija	Sežig	5,75	1,03
Termoskrčljiva folija	Recikliranje	0,32	0,0006
Lepilni trak	Sežig	2,71	0,014
Talilno lepilo	Sežig	2,71	0,14
Kartonska embalaža	Recikliranje	1,127	0,019
Mešanica silike, silicij karbida in viskoznih vlaken	Interno recikliranje	/	0,008
Skupaj			1,21

End of life postopek je sprejet le za omejeno število odpadkov, kot so papir, steklo, kovine, plastika. V preglednici 14 je podana okvirna ocena End of life ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}$) ali EOL posameznih materialov, ki so bili nato pomnoženi s količino posameznega materiala na enoto (preglednica 9). Iz preglednice je razvidno, da skupna ocena znaša $1,21 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{panel}$.

8.5 Izračun ogljičnega odtisa

Preglednica 15: Izračun ogljičnega odtisa panela (vir: Kristovič, 2023)

Potencial globalnega segrevanja	Distribucija	Proizvodnja (material, porabljena električna energija)	Transport	EOL	Skupaj
GWP ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{panel}$)	2,19	7,86	1,26	1,21	12,52

V študijo smo vključili vse faze življenjskega cikla izdelka od distribucije surovin do konca življenjske dobe izdelka, kot je prikazano v preglednici 15. Skupna ocena potenciala globalnega segrevanja znaša $12,29 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{panel}$, medtem ko imata najvišjo oceno med vsemi segmenti poraba električne energije v obratu ter uporaba surovin skupno za kar 62 %. Podatek, ki je bil vključen v raziskavo, je panel dimenzije: $378 \times 405 \times 25 \text{ mm}$.

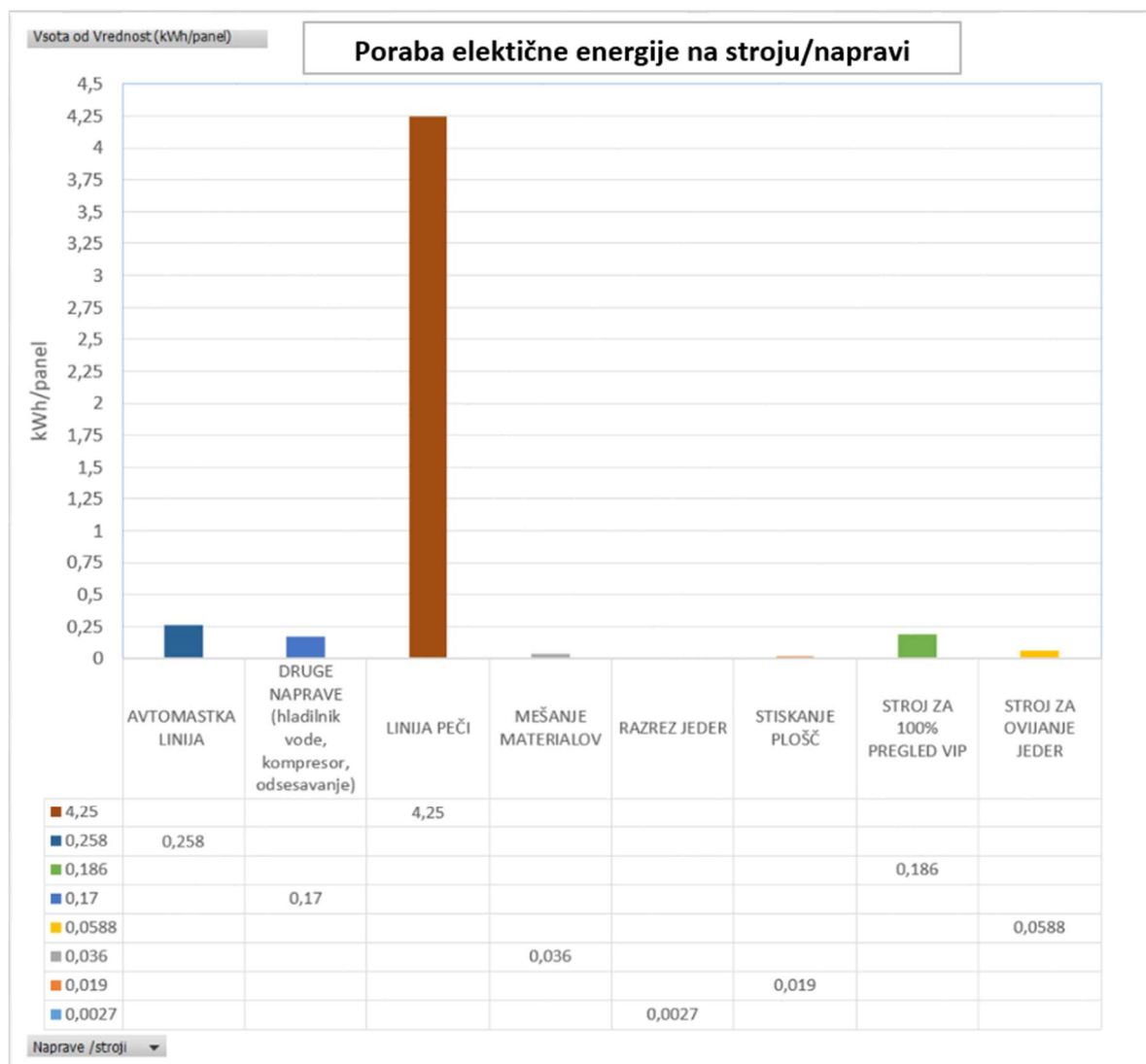
9 REZULTATI IN RAZPRAVA

9.1 Ocena življenjskega cikla na podlagi VIP

Na podlagi VIP smo skozi celoten proizvodni proces določili porabo energije in posledične okoljske vplive posameznih materialov pri izdelavi tipskega panela. Skozi celoten proizvodni proces smo ugotovili, da imamo samo emisije CO₂, drugih toplogrednih plinov neposredno ni prisotnih. Izhajali smo iz različnih virov energije v proizvodnji ter izračunali njihovo porabo električne energije, ta je izražena v kWh/panel.

Iz grafa 1 je razvidno, da je največji potrošnik električne energije v proizvodnji linija peči, ki porabi pri izdelavi enega panela 4,25 kWh. Sledita ji avtomatska linija (razrez folije in varjenje), stroj za pregled ter druge naprave (hladilnik vode, kompresor, odsesavanje). Najmanjši delež porabljene električne energije v proizvodnem procesu predstavlja stroj za stiskanje plošč in razrez jeder.

Graf 1: Prikaz porabe električne energije po posameznem stroju/napravi v procesu (vir: Kristovič, 2023)



9.2 Ukrepi za zmanjšanje ogljičnega odtisa

Preglednica 16: Prikaz različnih ukrepov in scenarijev za zmanjšanje ogljičnega odtisa (vir: P. Kristovič, 2023)

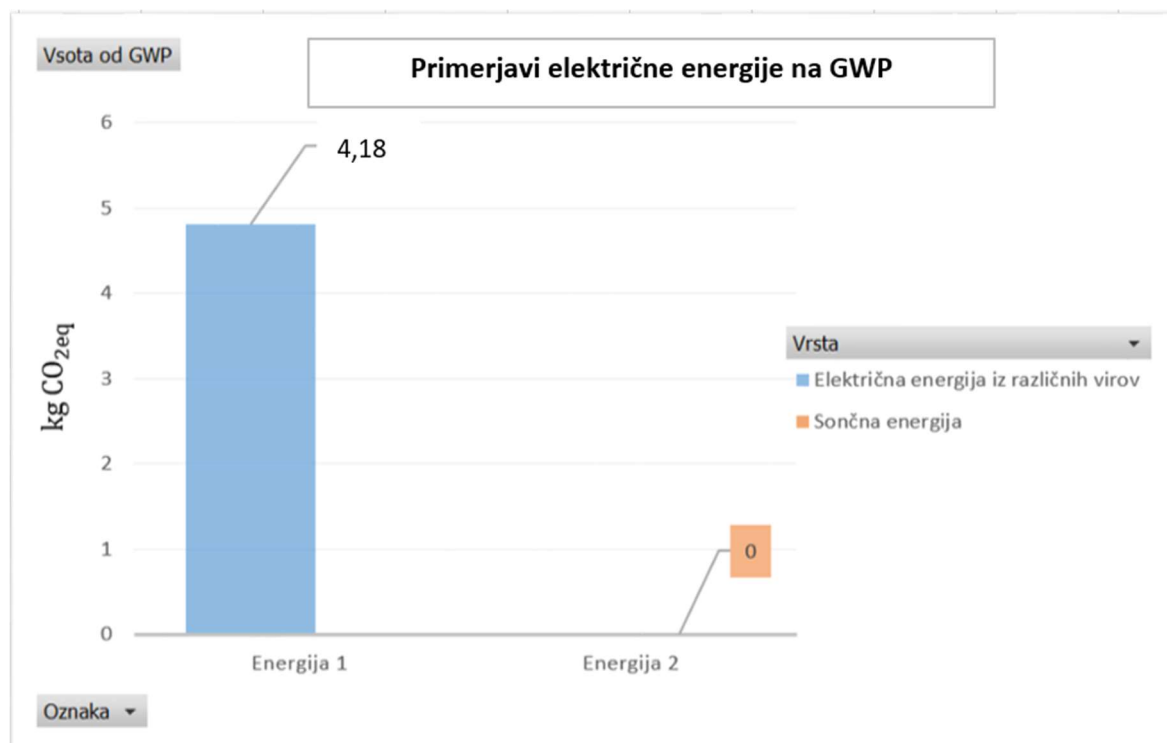
	Distribucija	Električna energije	Surovine	Transport
Ukrepi/scenariji	Ni vpliva	Obnovljiv vir električne energije	Zmanjšati maso silike	Ni vpliva

V preglednici 16 so prikazani različni ukrepi, s katerimi bi znižali ogljični odtis VIP. Razdeljen na štiri segmente:

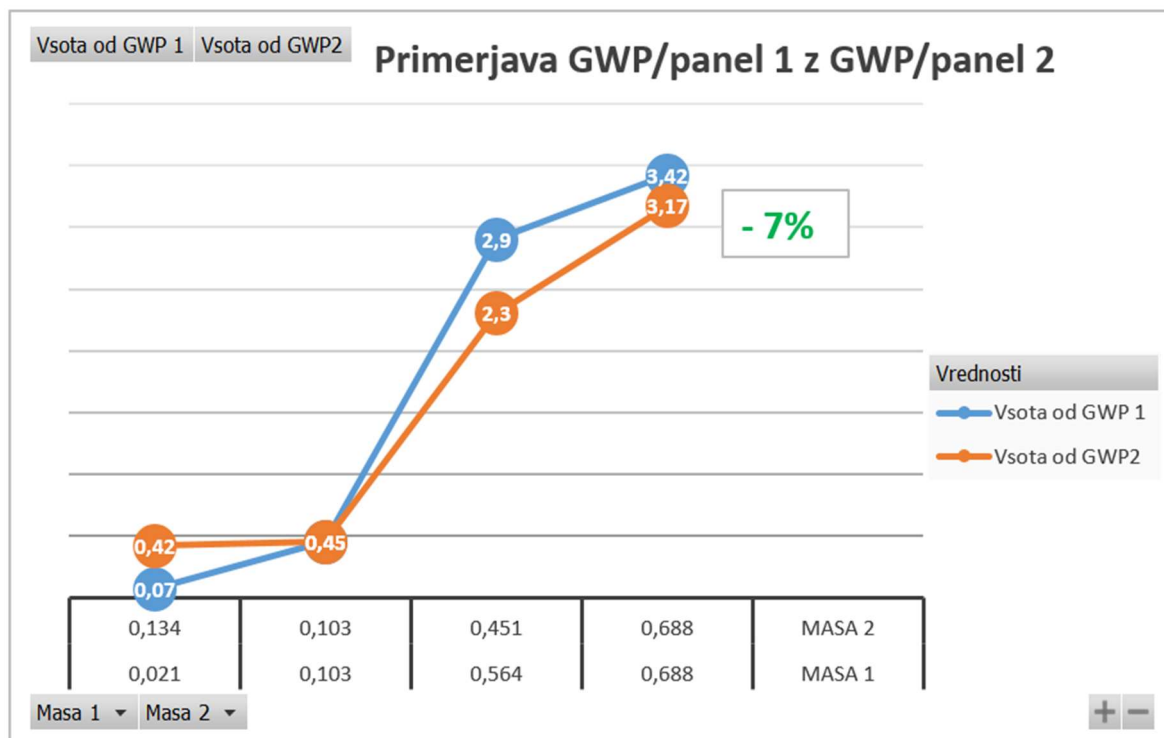
- nabava in distribucija: če izhajamo z vidika novih dobaviteljev, ki bi bili bližje (km) in imeli dobavno ceno materiala enako, ne bo imelo večjega vpliva;
- električna energija: investirati v obnovljivi vir energije – sončna energija («zero carbon»);
- surovine: Uporabo silike bi zmanjšali na 20 % in temu primerno zvišali druge surovine, ne da bi pri tem spremenili obstoječe lastnosti izdelka. Ogljični odtis bi znižali;
- transport: nimamo vpliva;
- EOL: nimamo vpliva.

Na grafu 2 in 3 sta prikazana ukrepa, s katerima bi znižali ogljični odtis izdelka. Največji doprinos pri znižanju ogljičnega odtisa bi bila investicija v izrabo sončne energije, s pomočjo katere bi svoj odtis pri porabi električne energije znižali na 0 ter prihranili stroške dobave električne energije. V tem segmentu bi postali tudi ogljično nevtralni, kar pomeni, da bi dosegli neto ničelne emisije. V scenariju ni upoštevana proizvodnja fotovoltaičnih celic. (graf 2).

Graf 2: Scenarij 1: Investicija v zeleno energijo – sončna energija (vir: Kristovič, 2023)



Graf 3: Scenarij 2: Primerjava GWP/panel 1 in GWP/panel 2 z nižjo maso silike (vir: Kristovič, 2023)



Predpostavili smo, da bomo porabo silike zmanjšali za 20 % in temu primerno zvišali viskozna vlakna. Pri tem ne bi spremenili obstoječih lastnosti izdelka. Izhajali smo iz stališča, da je surovina okolju prijaznejša ter bo imela nižji ogljični odtis $\text{kg CO}_{2\text{eq}}$ kg/surovine . Masa 1 in masa 2 sta ostali enaka, le pri masi 2 smo povišali težo viskoznih vlaken ter znižali porabo silike. Ogljični odtis viskoznih vlaken znaša 3,13, $\text{kg CO}_{2\text{eq}}$. Iz grafa 3 je razvidno, da bi z dodatno maso viskoznih vlaken in z nižanjem mase silike svoj ogljični odtis hipotetično gledano znižali za 7 %. V spodnji preglednici 17 so prikazani vsi izračuni, masa obeh panelov je ostala enaka.

Preglednica 17: Izračuni, s katerimi smo prišli do rezultatov GWP/panel 1 in 2 (vir: Kristovič, 2023)

Surovina/material	Masa 1 (kg)	GWP/ panel 1	Masa 2 (kg)	GWP/panel 2
Silika	0,564	2,9	0,451	2,3
Silicijev karbid	0,103	0,45	0,103	0,45
Viskozna vlakna	0,021	0,07	0,134	0,42
Skupaj	0,688	3,42	0,688	3,17

10 SKLEP

V diplomskem delu smo se osredotočili na izračun ogljičnega odtisa izbranega izdelka (VIP). Vse potrebne podatke smo pridobili v podjetju Turvac. V pomoč so nam bili standardi in druge specifikacije, ki se navezujejo na izračun in imajo pri tem pomembno vlogo. Osnovni standard za izvedbo je bil ISO 1440:2006, ki opredeljuje metodologijo življenjskega cikla (LCA) in se uporablja za analizo vplivov na okolje glede na izbrani izdelek. S tem standardom smo najprej določili mejo zaokroženih podatkov ter opredelili študijo LCA v štiri pomembne faze za izvedbo. Te faze zajemajo cilje naloge in obseg, inventar, oceno učinka in interpretiranje rezultatov na podlagi zastavljenih ciljev.

Pri oceni vplivov na okolje smo se omejili na karakteristični faktor globalnega segrevanja. Skozi celoti proizvodni proces smo tako spoznali vire emisij TPG in bolje spoznali materiale na podlagi vira izvora in njihovega vpliva na okolje. Izračun ogljičnega odtisa smo izrazili v $\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{panel}$. Poleg tega smo želeli ugotoviti, kateri izmed materialov in proizvodnih operacij bo predstavljal največji vpliv na okolje. Materiale, ki smo jih primerjali med seboj, so bili silika, silicijev karbid, polimerna vlakna in drugi pomožni materiali. Da smo prišli do vseh teh ugotovitev, smo najprej podatke pridobili s strani naših dobaviteljev, medmrežja in baze Ecoinvent. Če primerjamo vpliv GWP na panel, predstavlja silika največjega, v primerjavi z drugimi materiali na VIP-panel. Svojo hipotezo smo potrdili. V raziskavo smo tudi vključili našo oceno VIP med uporabo in po končani dobi izdelka. Ocena med uporabo VIP, če vključimo distribucijo, transport, proizvodnjo primarnih materialov ter porabo električne energije, znaša $11 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{panel}$ in po končani dobi izdelka $1 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{panel}$. V raziskavo je bila vključena funkcionalna enota panela izbrane dimenzije: $378 \times 405 \times 25 \text{ mm}$. Na podlagi rezultatov največji delež ocene med uporabo VIP predstavljata poraba električne energije, ki znaša $4,18 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{panel}$, ter silika $2,9 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{panel}$. Skupne emisije TPG, izražene na panel, znašajo med in po življenjski dobi izdelka $12,52 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$.

Če želimo emisije v podjetju zmanjšati in s tem prihraniti denar, je najboljša rešitev investicija v izrabo sončne energije. S tem ukrepom bi znižali emisije električne energije za 100 % ter bili okoljsko nevtralni. Sončna energija se uvršča med »zero carbon«, kar pomeni, da v celoti ne proizvaja in ne vsebuje emisij ogljika. Ogljični odtis porabljene električne energije bi bil 0. Zaradi proizvodnje fotovoltaičnih celic tega ne moremo zatrditi, saj je treba upoštevati še uskladiščeni ogljični odtis, ki ne more biti 0. Predpostavljamo, da je ogljični odtis elektrike iz sončne energije lahko le 0. Ukrep, s katerim bi še dodatno znižali emisije GWP, je zmanjšanje silike za 20 %, ne da bi pri tem spremenili mehanske lastnosti izdelka z že obstoječimi materiali. Z uvedbo hipotetičnega scenarija 2 bi ogljični odtis izdelka znižali za 7 %.

Na podlagi vseh pridobljenih rezultatov skozi celotno diplomsko nalogo lahko preverimo hipoteze, ki smo si jih pred začetkom zastavili.

Hipoteza 1: Pirogeni silicijev dioksid predstavlja največji vpliv na okolje pri izdelavi vakuumskih panelov.

S pomočjo pridobljenih rezultatov, ki so prikazani v preglednici 18 je razvidno, da največji vpliv na okolje pri izdelavi vakuumskih panelov predstavlja silika. Če rezultate primerjamo na kg CO_{2eq}/panel na funkcionalno enoto panela, svojo hipotezo potrdimo, saj silika predstavlja kar 79 % deleža.

Preglednica 18: Vpliv na kg CO_{2eq}/panel v primerjavi z ostalimi materiali

SUROVINE/MATERIALI	kg CO _{2eq} /panel	Delež (%)
Silika	2,905	79
Silicijev karbid	0,448	12
Viskozna vlakna	0,066	2
Termoskrčljiva folija	0,019	0,5
Metalizirana folija	0,179	5
Talilno lepilo	0,050	1,4
Lepilni trak	0,005	0,1

Hipoteza 2: Uporaba obnovljivih virov energije zmanjša ogljični odtis VIP-panela, vendar manj kot poraba silike z nižjim okoljskim vplivom pri izboljšanju učinkovitosti proizvodnje.

Z uporabo obnovljivih virov energije bi GWP iz porabljene električne energije anulirali. Rezultati so pokazali, da bi s sončno energijo za 100 % znižali emisije proizvodnje elektrike, vendar ogljični odtis vseeno ne more biti 0, saj je pri LCA treba upoštevati še prispevek proizvodnje fotovoltaičnih celic. Emisije proizvodnje bi tako zmanjšali za 100 %, kar vodi do 100-odstotnega zmanjšanja glede na referenčni scenarij. Svojo hipotezo delno potrjujemo, saj z obnovljivimi viri električne energije res zmanjšamo emisije v zraku, vendar hkrati zavrnemo, ker ima poraba silike z izboljšano učinkovitostjo še vedno večjo vrednost od 0. Tudi če pri tem uporabimo manj silike ali reciklirana jedra, bi ogljični odtis bil manjši za 7 %, kar je več kot v primeru uporabe obnovljivega vira elektrike. Vrednost na panel za interno recikliranje znaša 0,008 kg CO_{2eq}, kar je večje od 0.

11 POVZETEK

VIP je toplotno izolacijski material za najzahtevnejše toplotno-energijske zahteve in v pogojih prostorske stiske. Sestavljen je iz različnih surovin in materialov, v največjih deležih so silika, silicijev karbid in viskozna vlakna. Ti skupaj določajo toplotno učinkovitost izdelka. Drugi pomožni materiali, ki oblikujejo in karakterizirajo VIP, so metalizirana folija, termoskrčljiva folija in talično lepilo ter drugi pomožni materiali, ki so odvisni od sistema. Skupaj s pomožnimi materiali, nabavo in distribucijo surovin in izdelkov, električno energijo in z internim transportom tvorijo ogljični odtis izdelka. Metodologija, ki opredeljuje sistemske meje življenjskega cikla, je standard SIST ISO 14040:2006. Ta predpisuje LCA-metodo (Life Cycle Assessment) za določanje vplivov vseh okoljskih vidikov v celotnem življenjskem ciklu izdelka. Najpomembnejši okoljski vidik je toplogredni vpliv. Ta meri skupne emisije toplogrednih plinov od pridobivanja surovin do proizvodnje, distribucije, uporabe ter odlaganja odpadnega izdelka. LCA-metoda opredeljuje tudi štiri faze, najprej se morata opredeliti cilj in obseg študije, nato se izvede analiza inventarja, kamor sodi poznavanje vseh materialov ali surovin glede na izbrani proces. Pri tem je pomembno, da se opredelijo vhodni in izhodni podatki izbranega sistema ter se ob koncu poda ocena učinka v življenjskem ciklu skupaj z interpretacijo. Izračun ogljičnega odtisa izdelka omogoča tudi vpogled na dominantne in ostale (marginalne) vidike okoljskih vplivov in izdelavo predlogov za potencialno zmanjševanje največjih vplivov. Pri izvedbi diplomskega dela smo kot delovni primer obravnavali proizvodnjo VIP v podjetju Turvac v Šoštanjju.

12 SUMMARY

VIP is a thermal insulation material for the most demanding thermal energy requirements and in conditions of limited space. It consists of various raw materials and materials, the largest proportions of which are silica, silicon carbide and viscose fibers. Together, these determine the thermal efficiency of the product. Other auxiliary materials that form and characterize VIP are metallized foil, heat-shrinkable foil and hot-melt adhesive, and other auxiliary materials that depend on the system. Together they form the carbon footprint of the product, with auxiliary materials, procurement and distribution of raw materials and products, electricity and internal transport. The methodology that defines the system boundaries of the life cycle is the SIST standard ISO 14040:2006. This prescribes the LCA method (Life Cycle Assessment) for determining the impact of all environmental aspects throughout the product's life cycle. The most important environmental aspect is the greenhouse effect. This measures the total emissions of greenhouse gases from the extraction of raw materials to the production, distribution, use and disposal of the waste product. The LCA method also defines four phases, first the goal and scope of the study must be defined, then an inventory analysis is carried out, which includes the knowledge of all materials or raw materials according to the selected process. Here, it is important to define the input and output data of the selected system and at the end give an assessment of the impact in the life cycle, together with an interpretation. The calculation of the product's carbon footprint also enables an insight into the dominant and other (marginal) aspects of environmental impacts and the creation of proposals for potentially reducing the greatest impacts. During the implementation of the thesis, we considered the production of VIP in the company Turvac in Šoštanj as a working example.

13 VIRI IN LITERATURA

1. A. R. Bunsell. Fibers with High Modulus. Encyclopedia of Materials: Science and Technology: Publisher: Elsevier, 2016. Medmrežje: <https://www.sciencedirect.com/sdfe/pdf/download/eid/3-s2.0-B008043152600560X/first-page-pdf> (5. 4. 2023).
2. BASF SE. 2021. Construction: Styrenic Foams for Insulation of Buildings. Medmrežje: https://construction.basf.com/global/en/styrenic_foams_for_construction.html (14. 8. 2021).
3. Bureau Veritas. Analiza življenjskega cikla LCA. Specializirano podjetje za standardizacijo: Ljubljana. Medmrežje: https://www.bureauveritas.si/needs/analiza-zivljenjskega-cikla-lca?gclid=Cj0KCQjwuaiXBhCCARIsAKZLt3nozOmRv_tdQDkt1-SlJH1Ggyzc68WIM420D-loxTL8DpHOqgKDd1UaArxIEALw_wcB (1. 8. 2022).
4. Bureau Veritas. ISO 9001 – Sistem vodenja kakovosti. Specializirano podjetje za standardizacijo: Ljubljana. Medmrežje <https://www.bureauveritas.si/certificiranje/iso-9001> (3. 8. 2022).
5. Carbon trust. Carbon footprinting: Introductory guide: the next step to reeducing your emissions. United Kingdom, 2007.
6. Choi B., Yoo S., Park S. Carbon Footprint of Packaging Films Made from LDPE, PLA, and PLA/PBAT Blends in South Korea. Encyclopedia of Materials: Science and Technology: Publisher. The impact of policy measures on promoting the modal, 18, 1423–1429.
7. Ece. Medmrežje 7: Struktura proizvodnih virov električne energije za dom | ece (5. 4. 2023).
8. EPA. Medmrežje : <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>.
9. Huskić, M. 2020 Funkcionalni polimeri: Medmrežje: <https://www.ftpo.eu/Portals/0/Funkcionalni%20polimeri-skripta.pdf?ver=2020-07-02-085548-920> (20. 8. 2021).
10. ISO 14044:2006(en): Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. Medmrežje: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en> (23. 8. 2021).
11. Johansson A. 2021. Life Cycle Assessment Of the stretch films DX and Doxess By Doxa. Sweden: Miljögiraff, Doxa. Medmrežje: <https://www.doxaplastics.com/wp-content/uploads/2021/07/LCA-Doxa-Milj%C3%B6giraff.pdf> (12. 7. 2023).
12. Matelič, G. (2006). Metoda analize življenjskega cikla (LCA) kot metoda za odločanje v gradbeni proizvodnji. Univerza v Ljubljani: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Diplomsko delo.
13. Medmrežje 11: https://www.researchgate.net/figure/nfluence-of-design-on-cradle-to-grave-product-life-cycle-stages-see-online-version-for_fig1_325532222 (3. 8. 2022).
14. Medmrežje 2: <https://www.turna.si/Programi/VakuumskoizolacijskipaneliTURVAC.aspx> (22. 10. 2021).
15. Medmrežje 4: <http://www.ferroeast.com/products/superfine-sic-powder-4000mesh-6000mesh.html> (6. 7. 2022).
16. Medmrežje 5: <https://www.nature.org/en-us/get-involved/how-to-help/carbon-footprint-calculator/> (28. 1. 2022).
17. Medmrežje 6. Ocena življenjskega cikla in stroški. Medmrežje: http://www.ecosign-project.eu/wp-content/uploads/2018/09/BASICS_UNIT04_SI_Lecture.pdf (21. 8. 2021).
18. Medmrežje 7 : http://www.ecosign-project.eu/wp-content/uploads/2018/09/BASICS_UNIT04_SI_Slides.pdf (21. 8. 2021).
19. Medmrežje 8: <https://businessenergyscotland.org/guides/how-calculate-your-business-carbon-footprint/> (4. 6. 2023).

20. Medmrežje:
https://www.procarton.com/files/file_manager/press_0810/carton_carbon.pdf (12. 7. 2023).
21. Megaplast. Medmrežje: <https://www.megaplast.gr/products/environmental-footprint/> (12. 7. 2023).
22. Novak Pintarič, Z., Krajnc, D. 2019. Analiza LCA kot orodje za okoljsko načrtovanje proizvodov. Univerza v Mariboru: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo. Medmrežje: https://okoljskidan.gzs.si/Portals/Portal-Okoljski-dan/Vsebine/OD-2019/5_Zorka%20Novak%20in%20Damjan%20Krajnc.pdf (13. 8. 2021).
23. PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION: PAS 2050 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, PAS 2050:2008. United Kingdom, 2008.
24. Tihec S. 2008. Varčujem z energijo: Superizolacija. Medmrežje: <https://www.varcevanje-energije.si/termoizolacije/superizolacija.html> (14. 8. 2021).
25. Toškan T. 2017. Izdelava smernic za izračun ogljičnega odtisa majhnih podjetij po protokolu o toplogrednih plinih. Univerza v Ljubljani: Ekonomska fakulteta. Medmrežje: <http://www.cek.ef.uni-lj.si/magister/toskan2520.pdf> (12. 7. 2023).
26. Turvac. Interni vir.
27. Umanotera. Medmrežje 9: <https://www.umanotera.org/kaj-delamo/aktualne-kampanje-in-projekti/ogljicni-odtis/> (17. 8. 2021).
28. Umanotera. Medmrežje 10: <https://www.umanotera.org/kaj-delamo/aktualne-kampanje-in-projekti/ogljicni-odtis/> (1. 8. 2022).
29. United Nations Climate Change. Medmrežje: <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf> (5. 4. 2023).
30. Vanderreydt, I., Rommens, R., Tenhunen, A. (2021). Greenhouse gas emissions and natural capital implications of plastics (including biobased plastics). European Environment Agency: Eionet Report – ETC/MMGE 2021/3 (12. 7. 2023).
31. Višnar K. 2009. Ogljični odtis: Uvod za podjetja in organizacije. Umanotera, Slovenska fundacija za trajnostni razvoj, ustanova Ljubljana. Medmrežje: <http://www.umanotera.org/wp-content/uploads/2014/10/Ogljicni-odtis.pdf> (21. 1. 2022).
32. Wacker. Medmrežje : <https://www.wacker.com/cms/en-us/products/product-groups/pyrogenic-silica/pyrogenic-silica.html> (17. 8. 2021).
33. Wiedmann, T., Minx, J. (2007). A Definition of 'Carbon Footprint'. ISA UK: United Kingdom. 07-01 (5. 4. 2023).