

Institut Jožef Stefan

ANALIZA OGLJIČNEGA ODTISA PLASTIČNE EMBALAŽE ZA VODO



september 2019



Naloga: OCENA OGLJIČNEGA ODTISA ZA IZBRANE EMBALAŽNE IZDELKE ZA ENKRATNO
UPORABO TER ZA VOŠČENE SVEČE

Naslov poročila: ANALIZA OGLJIČNEGA ODTISA PLASTIČNE EMBALAŽE ZA VODO

Oznaka dokumenta: IJS – DP –

Datum: september 2019

Avtor poročila: dr. Davor Kontić, univ.dipl.inž.kraj.arh.

Nosilec naloge: dr. Davor Kontić, univ.dipl.inž.kraj.arh.

Direktor IJS: prof.dr. Jadran Lenarčič

Kazalo

1	UVOD	4
1.1	Opis problema	4
1.2	Cilji raziskave	4
1.3	Opis pristopa	4
2	INVENTARIZACIJA	6
2.1	Splošno.....	6
2.2	Materiali	7
2.2.1	Polietilen tereftalat (PET)	7
2.2.2	Polietilen (HD-PE).....	8
2.2.3	Polipropilen (PP)	9
3	ANALIZA OGLJIČNEGA ODTISA	10
3.1	Ozadje raziskave.....	10
3.2	Okvir sistema	10
3.3	Način zbiranja podatkov	10
3.4	Funkcionalna enota	10
3.5	Opis življenjskega cikla plastenke	10
4	REZULTATI	12
4.1	Proizvodnja.....	12
4.1.1	Embalaža - polietilen tereftalat (PET)	12
4.1.2	Zamaški - polietilen (HD-PE).....	13
4.1.3	Etikete - polietilen tereftalat (PET).....	14
4.1.4	Etikete - polipropilen (PP)	15
4.2	Transport osnovnih materialov	15
4.3	Oblikovanje.....	18
4.3.1	Oblikovanje PET.....	18
4.3.2	Oblikovanje PE-HD	19
4.4	Polnjenje.....	19
4.5	Transport do prodajnih mest.....	19
4.6	Uporaba ustekleničene vode - hlajenje.....	20
4.7	Odlaganje/ Razgradnja / reciklaža	20
4.7.1	Odlaganje.....	21
4.7.2	Predelava/reciklaža.....	21
4.7.3	Sežig	22
4.7.4	Povzetek rezultatov po koncu uporabe	23
4.8	Povzetek rezultatov	23
4.9	Interpretacija rezultatov.....	26
4.10	Negotovosti	27
5	ZAKLJUČEK Z DISKUSIJO	28
6	VIRI IN LITERATURA	29

1 UVOD

Obremenitve, ki jih proizvodi na okolje (vključno z embalažo) so različni in raznovrstni zato je treba proizvode obravnavati celovito, in sicer v smislu, da se pojavljajo vplivi na okolje v vseh korakih (fazah), ki so potrebni, da proizvod nastane, med uporabo in po njej. Takšen koncept je ključnega pomena za izboljševanje okoljskih profilov materialov in proizvodov, saj omogoča okoljske posege ter izboljšave vzdolž celotnega sistema dodane vrednosti. Takšen koncept je tudi ozadje pričujoče raziskave, ki želi z analizo ogljičnega odtisa ustekleničene vode (v PET plastenkah) v Sloveniji osvetliti problem nepotrebnih izpustov toplogrednih plinov in hkrati ponuditi podlage za njihovo zmanjšanje.

1.1 Opis problema

Ohranjanje ustrezne hidracije je potrebno za pravilno delovanje skoraj vsakega telesnega sistema. Dehidracija vodi k zmanjšanju človekovega delovanja pogosto ga zaznamujejo glavobol in utrujenost, čeprav so lahko zdravstveni učinki dolgotrajne dehidracije veliko hujši, vključno z odpovedjo ledvic in v skrajnih primerih smrtjo. Da se izognemo dehidraciji, moramo svoje vodne vire napolniti z vnosom hrane in tekočin. Običajno je 20% vode vsakodnevno zahteve so izpolnjene s porabo hrane. Vnos tekočine je potreben, da sešteje preostalih 80%. Zagotavljanje pitne vode je kot izrednega pomena za družbo.

Do nedavnega je bila pitna voda dobavljana izključno s pomočjo komunalnih distribucijskih omrežij. Zaseda porasta industrije ustekleničene vode v devetdesetih letih prejšnjega stoletja, pa se potrošnikom za pitje vode ni več treba zanašati na oskrbo iz vodovodnih sistemov. Posledično več ljudi redno pije ustekleničeno vodo. Na splošno velja, da je konzumiranje ustekleničene voda primerno, ker je ta tako dostopna in prenosna. Toda ta priročnost se odraža v raznih okoljskih obremenitvah in stroških – t.j. onesnaženje zaradi proizvodnje embalaže in prevoza ustekleničene vode, obremenitve morskih ekosistemov zaradi zavržene PET embalaže ipd.

1.2 Cilji raziskave

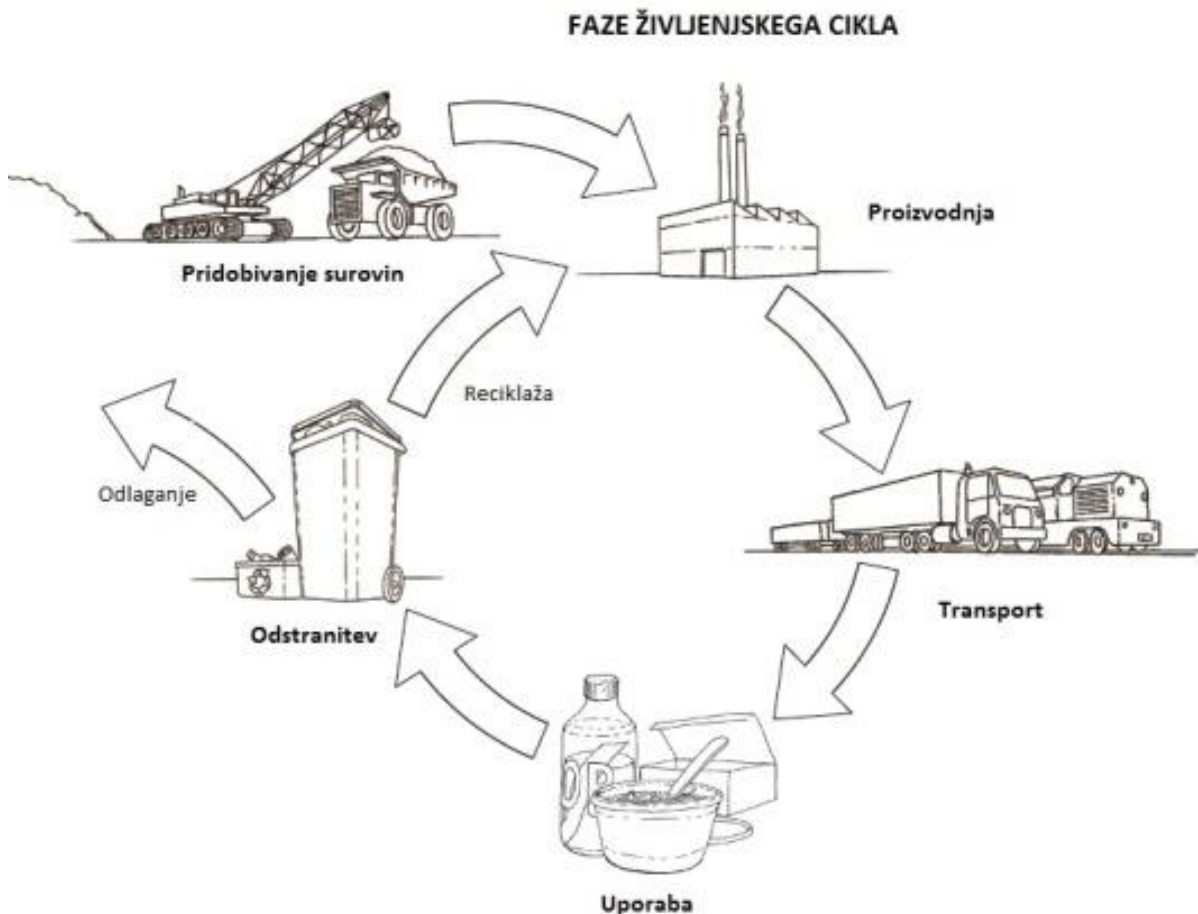
Z raziskavo želimo prikazati, kolikšen ogljični odtis povzroča potrošnja ustekleničene vode v 500 ml plastenkah. Na podlagi rezultatov želimo argumentirati smisel zmanjšane porabe ter predlagati najboljšo alternativo za zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov, skupaj z ničelno alternativo t.j. uporabiti drugačne načine potešitve žeje.

1.3 Opis pristopa

Pristop temelji na načelih analize celotnega življenjskega cikla izdelka (angl. Life Cycle Assessment - LCA), ki obsega sledeče procese (slika 1):

- pridobivanje surovin,
- pridobivanje energijskih virov,
- proizvodnjo in distribucijo potrebne energije,
- proizvodnjo polizdelkov, izdelkov ter stranskih izdelkov,

- transport in distribucijo,
- uporabo izdelka
- alternativne možnosti ravnanja z izdelki po uporabi.



Slika 1: Okoljski življenjski cikel proizvoda (Vir: www.ecoinnovators.com.au)

Takšen pristop je zlasti pomemben, kadar obstajajo alternativne poti in možnosti izbire tistih različic, ki najmanj obremenjujejo okolje.

Z metodo LCA poskušamo oceniti (ovrednotiti) vse obremenitve okolja, ki jih v svojem življenjskem ciklu izzove nek proizvod s ciljem, da bi ta proizvod okoljsko optimirali. Predstavlja zbir in ovrednotenje vseh elementov, ki vstopajo in izstopajo v in iz življenjskega cikla izdelka, ter potencialnih obremenitev za okolje določenega proizvodnega sistema v celotnem življenjskem ciklu.

Metoda LCA je vodilna mednarodno standardizirana metoda za ocenjevanje vplivov izdelkov v njihovih življenjskih ciklih. Z njo ugotavljamo tako prednosti kot tveganja pri optimizaciji izdelkov od pridobivanja surovin do ravnanja z odpadki.

Izvajanje LCA mestoma zahteva podatke, ki niso zlahka dostopni; v takšnih primerih se analizo izvede na osnovi približkov in domnev. Pri izvedbi analize je treba tehtati razpoložljivost podatkov, čas okvir za izvedbo študije in potrebna finančna sredstva glede na

predvidene koristi LCA. Rezultati analize LCA nudijo osnovo pri postopkih odločanja pri upravljanju z okoljem. Pomagajo lahko pri ugotavljanju, kako se različni tehnološki postopki razlikujejo glede na stopnje obremenitev okolja, ter v katerih fazah življenjskega cikla se pojavljajo.

Na osnovi tega smo izvedli analizo znamk ustekleničene vode, ki se pojavljajo na slovenskem tržišču. Sledila je analiza procesov v proizvodnji embalaže za ustekleničeno vodo ter inventarizacija uporabljenih materialov.

2 INVENTARIZACIJA

2.1 Splošno

Pri pregledu ponudbe ustekleničene vode na slovenskem trgu so kupcem na voljo sledeče znamke:

- Dana (Dana d.d.)
- Oda (Pivovarna Laško-Union d.d.)
- Zala (Pivovarna Laško-Union d.d.)
- Costella (Uskok d.d.)
- Evian (Danone)
- Tiha (Droga Kolinska d.d.)
- Jana (Jamnica d.d.)
- Radenska Naturelle (Radenska d.d.)
- Kaplja (Plastenka d.o.o.)
- Mercator (polni Radenska d.d.)
- Tuš (polni Dana d.d.)
- Kala (Cedevita d.o.o.)
- Izvirna voda 902 (Viva Fit d.o.o.)
- Bistra (Coca Cola)

V nadaljevanju obravnavamo in podajamo specifikacije za plastenke štirih izbranih znamk ustekleničene vode (Tabela 1).

Tabela 1: Obravnavani tipi plastenk

Znamka	PLASTENKA		ZAMAŠEK		ETIKETA	
	masa plastenke (g)	material	masa zamaška (g)	material	masa etikete (g)	material
#Z	18,198	PET (1)	2,09675	PE-HD (02)	0,43701	PET (01)
#C	20,372	PET (1)	2,08585	PE-HD (02)	0,36783	PET (01)
#D	16,842	PET (01)	2,68762	PE-HD (02)	0,32075	PP (05)
#R	18,731	PET (01)	2,77243	PE-HD (02)	0,34174	PET (01)

2.2 Materiali

Nabor materialov, ki so obravnavani v slopu te analize je podan v spodnji preglednici:

Sestavni del	Material
Embalaža	Polietilen tereftalat (PET)
Pokrov	Polietilen (HD-PE)
Etiketa	Polietilen tereftalat (PET) Polipropilen (PP)

2.2.1 Polietilen tereftalat (PET)

Polietilen tereftalat je najpogostejša termoplastična polimerna smola iz družine poliestrov. Sestavljen je iz polimeriziranih enot monomera etilen tereftalata z ponavljajočimi se enotami (C₁₀H₈O₄).

Lahko obstaja kot amorfen (prozoren) in polkristalni polimer, odvisno od njegove obdelave in toplotne zgodovine. Polkristalni material se lahko zdi prozoren (velikost delcev manj kot 500 nm) ali neprozoren in bel (velikost delcev do nekaj mikrometrov), odvisno od njegove kristalne strukture in velikosti delcev.

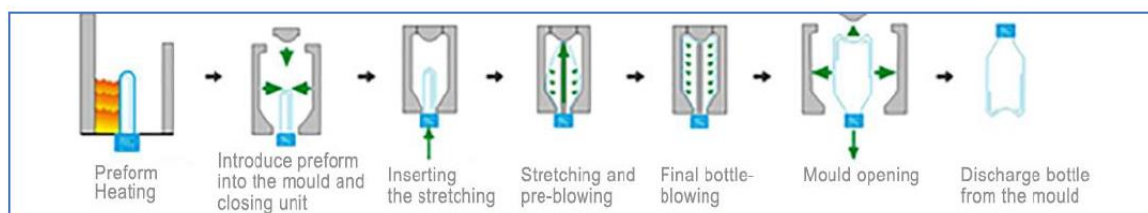
Proizvodnja

Monomer bis (2-hidroksietil) tereftalat lahko sintetiziramo z reakcijo esterifikacije med tereftalno kislino in etilen glikolom z vodo kot stranskim produktom ali s transesterifikacijsko reakcijo med etilen glikolom in dimetil tereftalatom (DMT) z metanolom kot stranskim produktom. Polimerizacija poteka skozi reakcijo polikondenzacije monomerov (izvedeno takoj po esterifikaciji / transesterifikaciji) z vodo kot stranskim produktom.

Oblikovanje

Oblikovanje PET se izvaja z različnimi metodami, za potrebe proizvodnje embalaže pa so te omejene na in injekcijsko brizganje z vpihovanjem (*»Injection blow moulding«*; uporaba za izdelavo plastične embalaže za pijače). V procesu proizvodnje plastenk se pelete PET tali in vbrizga v kalup, da dobimo t.i. "predoblike" - debelostensko epruveto s končnim vratom in vrsto navojnih čepov (slika 2)222. Predoblika se nato segreje, raztegne in piha v končno obliko steklenice. Večje polnilnice večinoma pihajo svoje steklenice iz predoblik na samem

obratu, manjše polnilnice pa v večini dobavljajo že predpihano embalažo. Potrebna masa PET na steklenico je odvisna od sloga, debeline in velikosti steklenice.



Slika 2: Proces oblikovanja PET plastenk

Polietilen tereftalat (PET) etikete se običajno proizvajajo z ekstrudiranjem pihanih filmov. Gre za proizvodni proces, pri katerem se surova plastika tali in oblikuje v neprekinjen profil.

2.2.2 Polietilen (HD-PE)

Polietilen (kratica: PE) ali polietilen je najpogostejša plastika. Svetovna proizvodnja znaša okoli 80 milijonov ton letno. Njegova osnovna uporaba je v embalaži (plastične vrečke, plastične folije, geomembrane, posode, vključno s plastenkami, itd.). Obstaja veliko različnih vrst polietena, večina jih ima molekulska formulo $(C_2H_4)_n$.

Značilnost HDPE je, da ima gostoto večjo ali enako $0,941 \text{ g/cm}^3$. Ima visoko natezno trdnost.

Proizvodnja HDPE

PE nastane s polimerizacijo etilena [BREF 2007]. Na kakovost polimera in njegove lastnosti vpliva zlasti izbira tipa reaktorja, katalitičnega sistema, iniciatorja in ostalih monomerov, ki so prisotni v reaktorju. Za dodajanje odtenka plastiki se pogosto uporabljajo barvni koncentraciji in drugi dodatki.

HD-PE je bolj trden in manj upogljiv in se v glavnem uporablja za izdelavo stabilnih plastičnih posod, zabojev, steklenic, zamaškov, zabožnikov in cevi (v gradbeništvu), pa tudi za industrijsko zavijanje in folije. Druge uporabe poliolefinov vključujejo različne sektorje, kot so gospodinjstvi in gospodinjstvi aparati, pohištvo, kmetijstvo, šport, zdravje in varnost [PlasticsEurope, 2012].

Polietilen se proizvaja po vsej Evropi; obrati so običajno v bližini rafinerij, ki oskrbujejo monomere. V mnogih primerih se PE in PP proizvajata na istih lokacijah in v istih podjetjih. Večina etilena se proizvede s parnim razklopom nafte. Nadaljnji postopek obsega parni razklop ogljikovodikov v nižje olefine in polimerizacijo monomerov v polietilen.

PE spada med tako imenovane polimere blaga, ki se uporabljajo v velikih količinah in jih je mogoče komercialno proizvajati z razmeroma nizkimi stroški za večje uporabe [BREF 2007]. Blagovni polimeri kot celota predstavljajo približno 80% celotnega povpraševanja po plastiki

v Evropi, vodili pa so PE z 29% tržnega deleža in PP z 19% [PLASTICSEUROPE 2012]. V letih 2011/2012 se evropska zahteva PE pokaže z več kot 8000 kt / leto [PLASTICSEUROPE 2012].

Oblikovanje

PE-HD se za potrebe proizvodnje zamaškov oblikuje s procesom brizganja staljenega materiala v kalupe («injection compression moulding»; uporaba za izdelavo zamaškov). Ta postopek se začne s postopnim taljenjem granulata s pomočjo obračalnih vijaki in grelnikov, ki so razporejeni vzdolž cevi. Staljeni polimer se nato potisne v kalup, kjer se strdi med hlajenjem.

2.2.3 Polipropilen (PP)

Polipropilen (PP) je **termoplastični** "adicijski polimer", izdelan iz kombinacije propilenskih monomerov. Uporablja se v različnih aplikacijah, ki vključujejo embalažo za potrošniške izdelke, plastične dele za različne rabe v industriji ter v gospodinjstvu. Njegove lastnosti in sposobnost prilagajanja različnim tehnikam izdelave omogočajo, da se izkažejo kot dober material za široko paleto uporab.

Proizvodnja PP

Polipropilen proizvajajo s polimerizacijo propilena, desetih z drugimi so-monomeri, predvsem etilenom. V Evropi se velik delež propilena pridobiva s parnim razklopom nafte. Približno 23% uporabljenega propilena nastane v rafinerijah s tekočinskim katalitičnim razklopom (FCC) težkih surovin, kot so plinska olja in drugi ostanki destilacije. Nadaljnji postopek obsega parni razklop ogljikovodikov v nižje olefine in polimerizacijo monomerov v polipropilen. Model postopka proizvodnje polimera predstavlja komercialne tehnologije proizvodnje polipropilena.

Polipropilen je razvrščen kot termoplastičen material, kar je povezano z načinom, kako se plastika odziva na toploto. Termoplastični materiali postanejo tekoči na svojem tališču (približno 130 stopinj Celzija v primeru polipropilena). Glavni uporabni atribut termoplastov je, da jih je mogoče segreti na njihovo tališče, ohladiti in znova ogreti brez znatne razgradnje, zato omogoča enostavno brizganje in naknadno recikliranje.

Oblikovanje

Etikete se proizvajajo z ekstrudiranjem pihanih filmov. Gre za proizvodni proces, pri katerem se surova plastika tali in oblikuje v neprekinjen profil. Ta postopek se začne z dodajanjem plastičnega materiala (pelete, granule, kosmiči ali prah). Material se postopoma stopi z mehansko energijo, ki jo ustvarijo obračalni vijaki in grelniki, ki so razporejeni vzdolž cevi. Staljeni polimer nato potisnemo v matrico, ki oblikuje polimer v obliko, ki se strdi med hlajenjem.

3 ANALIZA OGLJIČNEGA ODTISA

3.1 Ozadje raziskave

Analizirane so bile štiri različne funkcionalno primerljive 500 ml plastenke za ustekleničeno vodo po metodi ocene življenjskega cikla (LCA). LCA količinsko opredeli vse uporabljene materiale in energijo ter izpuste iz okolja v celotni življenjski dobi vsake od plastenk, od pridobitve surovin do končne odstranitve.

3.2 Okvir sistema

Okvir sistema za analizo embalaže za ustekleničeno vodo obsega:

- Proizvodnjo embalaže (PET) od črpanja surove nafte, preko transporta do predelave in izdelave embalaže
- Proizvodnjo, transport in uporabo materialov (HD-PE) za izdelavo zamaškov
- Proizvodnjo, transport in uporabo materialov (PET, PP) za izdelavo etiket
- Odlaganje/razgradnja/reciklaža/sežig materialov po zaključku življenjske dobe

3.3 Način zbiranja podatkov

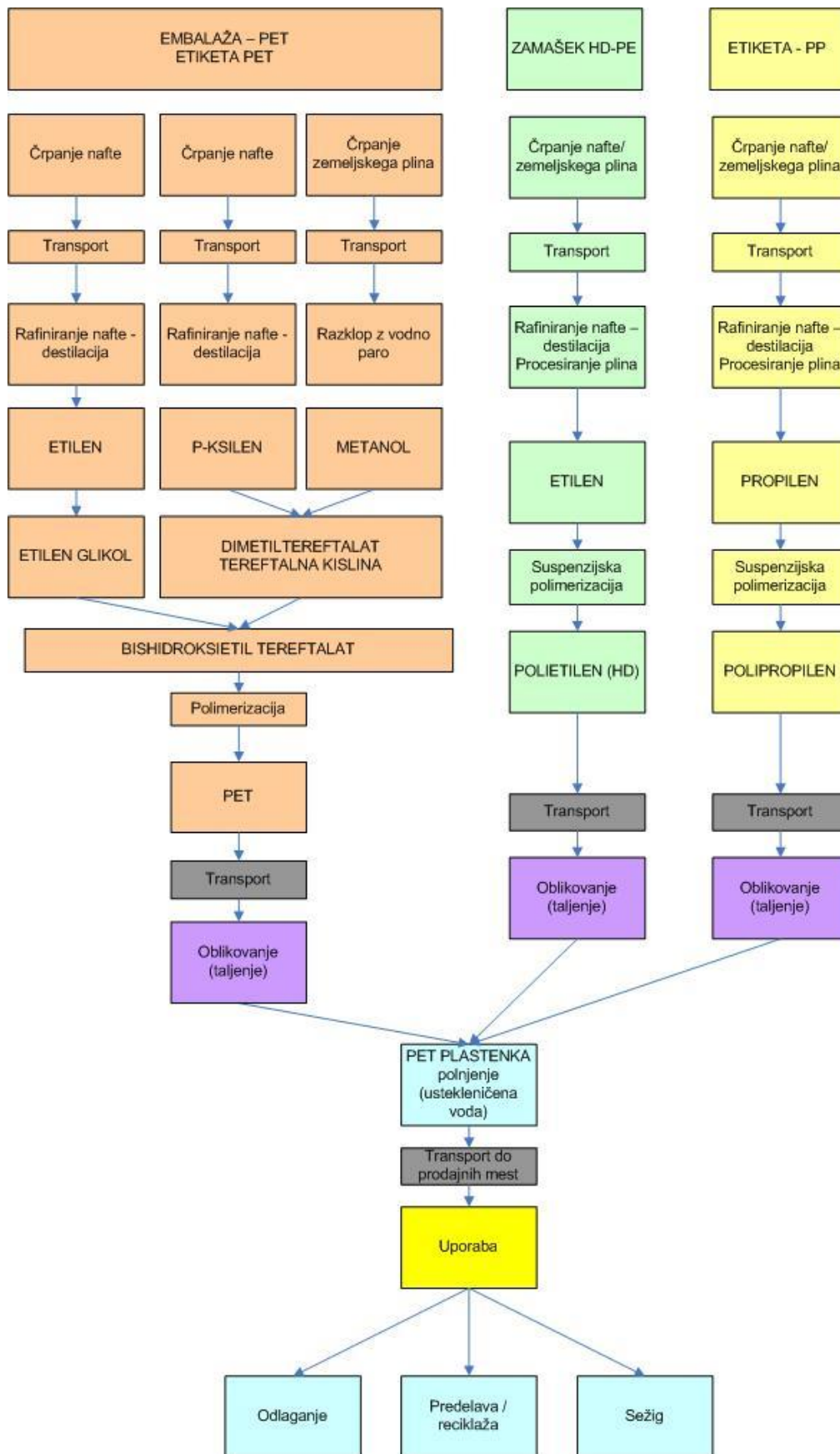
Za analizo življenjskega cikla ustekleničene vode so bili uporabljeni številčni in kvalitativni podatki o proizvodnji, transportu, skladiščenju in uporabi. Primarni vir podatkov je bil spletni portal Plastics-Europe (<https://www.plasticseurope.org>), ter znanstvena in strokovna literatura. Podatki o procesih, količinah snovi (snovnih bilancah ipd.) so bili primarno pridobljeni z intervjuji s proizvajalci in prodajalci ustekleničene vode. Zbiranje podatkov o zalogah je potekalo med marcem in septembrom 2019.

3.4 Funkcionalna enota

Za funkcionalno enoto privzeli eno 500 ml plastenko.

3.5 Opis življenjskega cikla plastenke

Shema življenjskega cikla plastenk je prikazana na sliki 3.



Slika 3: Shema življenjskega cikla pastenk

4 REZULTATI

4.1 Proizvodnja

4.1.1 Embalaža - polietilen tereftalat (PET)

Proizvodnja PET vključuje postopke pridobivanja surovin iz surove nafte in postopke rafiniranja/čiščenja do polimerizacije. Snovna bilanca teh procesov in rezultati za izbrane plastenke so prikazani v tabeli 2.

Tabela 2: Izračuni emisij za proizvodnjo polietilen tereftalata (PET) (vir: PlasticsEurope, 2005)

Vhodni parametri	Enota	Vrednost (na kg PET)	#Z	#C	#D	RADENSKA	POVPR.	KOMPENZ. *1.12
masa	kg	1,00	0.01820	0.02037	0.01684	0.01873	0.01854	0.02076
Neobnovljivi viri energije	MJ	69.6	1.26658	1.41789	1.17220	1.30368	1.29009	1.44490
• Energija goriva	MJ	35.5	0.64603	0.72321	0.59789	0.66495	0.65802	0.73698
• Energija surovin	MJ	34.1	0.62055	0.69469	0.57431	0.63873	0.63207	0.70792
Obnovljivi viri energije	MJ	1.6	0.02912	0.03260	0.02695	0.02997	0.02966	0.03322
• Energija goriva	MJ	1.6	0.02912	0.03260	0.02695	0.02997	0.02966	0.03322
• Energija surovin	MJ	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

• Elementi	kg Sb eq	2.41E-04	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
• Fosilna goriva	MJ	62	1.12828	1.26306	1.04420	1.16132	1.14922	1.28712
Raba vode	kg	95.8	1.74337	1.95164	1.61346	1.79443	1.77572	1.98881
• v procesih	kg	6.7	0.12193	0.13649	0.11284	0.12550	0.12419	0.13909
• za hlajenje	kg	89	1.61962	1.81311	1.49894	1.66706	1.64968	1.84764
Poraba vode	kg	48.8	0.88806	0.99415	0.82189	0.91407	0.90454	1.01309

			#Z	#C	#D	#R	POVPR.	KOMPENZACIJA *1.12
Izhodni parametri	Enota	Vrednost na kg PET	0.018198	0.020372	0.016842	0.018731	0.018536	0.020760
Globalno segrevanje (GWP)*	kg CO ₂ eq	2.19	0.03985	0.04461	0.03688	0.04102	0.04059	0.04546

*vir: plasticseurope.org

4.1.2 Zamaški - polietilen (HD-PE)

Proizvodnja HD-PE vključuje postopke pridobivanja surovin iz surove nafte in postopke rafiniranja/čiščenja do polimerizacije. Snovna bilanca teh procesov in rezultati za izbrane plastenke so prikazani v tabeli 3.

Tabela 3: Izračuni emisij zaradi proizvodnje etiket iz polietilena (HD-PE) (vir: PlasticsEurope, 2005)

			ZAMAŠKI				
Vhodni parametri	Enota	Vrednost (na kg HDPE)	#Z	#C	#D	#R	POVPR.
masa	kg	1,00	0.00210	0.00209	0.00269	0.00277	0.00241
Neobnovljivi viri energije		79.3	0.16627	0.16541	0.21313	0.21985	0.19117
• Energija goriva	MJ	31.5	0.06605	0.06570	0.08466	0.08733	0.07594
• Energija surovin	MJ	47.8	0.10022	0.09970	0.12847	0.13252	0.11523
Obnovljivi viri energije		0.8	0.00168	0.00167	0.00215	0.00222	0.00193
• Energija goriva	MJ	0.8	0.00168	0.00167	0.00215	0.00222	0.00193
• Energija surovin	MJ	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
• Elementi	kg Sb eq.	4.40E-08	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
• Fosilna goriva	MJ	72	0.15097	0.15018	0.19351	0.19961	0.17357
Raba vode			0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
• v procesih	kg	73.6	0.15432	0.15352	0.19781	0.20405	0.17742
• za hlajenje	kg	31.9	0.06689	0.06654	0.08574	0.08844	0.07690
			#Z	#C	#D	#R	POVPR.
Izhodni parametri	Enota	HDPE	0.00210	0.00209	0.00269	0.00277	0.00241
Globalno segrevanje (GWP)*	kg CO ₂ eq	1.8	0.00377	0.00375	0.00484	0.00499	0.00434

4.1.3 Etikete - polietilen tereftalat (PET)

Rezultati v tabeli 4 vključujejo izpuste CO₂ eq iz postopkov pridobivanja surovin iz surove nafte in postopke rafiniranja/čiščenja do polimerizacije.

Tabela 4: Izračuni emisij zaradi proizvodnje etiket iz polietilen tereftalata (PET) (vir: PlasticsEurope, 2005)

ETIKETE						
Vhodni parametri	Enota	Vrednost (na kg PET)	#Z	#C	#R	POVPR.
masa	kg	1,00	0.00044	0.00037	0.00032	0.00034
Neobnovljivi viri energije	MJ	69.6	0.03042	0.02560	0.02232	0.02379
• Energija goriva	MJ	35.5	0.01551	0.01306	0.01139	0.01213
• Energija surovin	MJ	34.1	0.01490	0.01254	0.01094	0.01165
Obnovljivi viri energije	MJ	1.6	0.00070	0.00059	0.00051	0.00055
• Energija goriva	MJ	1.6	0.00070	0.00059	0.00051	0.00055
• Energija surovin	MJ	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
• Elementi	kg Sb eq	2.41E-04	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
• Fosilna goriva	MJ	62	0.02709	0.02281	0.01989	0.02119
Raba vode	kg	95.8	0.04187	0.03524	0.03073	0.03274
• v procesih	kg	6.7	0.00293	0.00246	0.00215	0.00229
• za hlajenje	kg	89	0.03889	0.03274	0.02855	0.03041
Poraba vode	kg	48.8	0.02133	0.01795	0.01565	0.01668
			#Z	#C	#R	POVPR.
Izhodni parametri	Enota	Vrednost na kg PET	0.00044	0.00037	0.00032	0.00034
Globalno segrevanje (GWP)*	kg CO ₂ eq	2.19	0.00096	0.00081	0.00070	0.00075

4.1.4 Etikete - polipropilen (PP)

Rezultati za proizvodnjo polipropilena (material za etiketo vode #D) vključuje postopke pridobivanja surovin iz surove nafte in zemeljskega plina ter postopke do polimerizacije - tabela 5.

Tabela 5: Izračuni emisij zaradi proizvodnje polipropilena

Vhodni parametri	Enota	Vrednost (na kg PP)	#D
masa	kg	1,00	0.00032
Neobnovljivi viri energije	MJ	29.7	0.00953
• Energija goriva	MJ	47.4	0.01520
• Energija surovin	MJ	0.7	0.00022
Obnovljivi viri energije	MJ	0.7	0.00022
• Energija goriva	MJ	0	0.00000

• Elementi	kg Sb eq	1.40E-07	0.00000
• Fosilna goriva	MJ	70.2	0.02252
Raba vode	kg		0.02761
• v procesih	kg	58.5	0.01876
• za hlajenje	kg	27.6	0.00885

Kazalnik	Enota	PP	0.00032
Globalno segrevanje (GWP)*	kg CO ₂ eq.	1.63	0.00052

4.2 Transport osnovnih materialov

Materiali za izdelavo predoblik so večinoma dobavljeni iz držav daljnega vzhoda in EU – podrobnosti so podane v tabeli 6.

Uporabljeni emisijski faktorji so sledeči:

- ladijski transport – 0.021kg CO₂ eq /tkm (DEFRA, 2005)
- kamionski transport – 0.102 kg CO₂ eq /tkm (DEFRA, 2005)

Tabela 6: Izračuni emisij zaradi transporta osnovnih materialov

Način	Prevozno sredstvo	CO2 (kg/tkm)	Način	Prevozno sredstvo	CO2 (kg/tkm)	Način	Prevozno sredstvo	CO2 (kg/tkm)
Pomorski promet	Ladja Container (Panamax-like,	0,021	Železniški promet	Vlak, Diesel, long (90 TEU)*	0,03	Cestni promet	Kamion, priklopnik	0,102

	Delež	Ladja			Vlak			Kamion			TOTAL Emisije CO2 (kg)
		Lokacija	Razdalja	Emisije CO2 (kg)	Lokacija	Razdalja	Emisije CO2 (kg)	Lokacija	Razdalja	Emisije CO2 (kg)	
#Z masa PET: 0,02038176	2018	25%	Indonezija - Koper	12100	0,00129		0	Koper - Celje	184	9,56312E-05	0,003171667
		25%	Indonezija - Rijeka	12000	0,001284051		0	Rijeka - Celje	192	9,97891E-05	
		25%				Bolgarija	1100	0,00016815		0	
		25%				Litva	1500	0,000229295		0	
		SUM			0,002578802		0,000397444			0,00019542	
	2019	50%	Kitajska - Koper 50%	15000	0,003210127			Koper - Celje	184	0,000191262	
		30%	Turčija - Koper 30%	2100	0,000269651			Koper - Celje	184	0,000114757	
		20%	Indonezija - Koper 20%	12100	0,001035801			Koper - Celje	184	7,6505E-05	
		SUM			0,004515579					0,000382525	
		#C masa PET: 0,02281664	2018	25%	Indonezija - Koper	12100	0,001449427			Koper - Celje	
25%	Indonezija - Rijeka			12000	0,001437448			Rijeka - Celje	192	9,97891E-05	
25%						Bolgarija	1100	0,000188237		0	
25%						Litva	1500	0,000256687		0	
SUM				0,002886875		0,000444924			0,00019542		
2019	50%		Kitajska - Koper 50%	15000	0,003593621			Koper - Celje	184	0,000191262	
	30%		Turčija - Koper 30%	2100	0,000301864			Koper - Celje	184	0,000114757	
	20%		Indonezija -	12100	0,001159542			Koper - Celje	184	7,6505E-05	

			Koper 20%										
		SUM			0,005055027							0,000382525	
#D	2018 /19	50%	Kitajska 50% (ocena)	15000	0,002970929							0	
		50%					EU 50% (ocena)	1000	0,000282946			0	
0,01886304		SUM			0,002970929				0,000282946				
#R	2018	25%	Indonezija - Koper	12100	0,001332673					Koper - Celje	184	9,56312E-05	
		25%	Indonezija - Rijeka	12000	0,001321659					Rijeka - Celje	192	9,97891E-05	
		25%					Bolgarija	1100	0,000173074			0	
		25%					Litva	1500	0,000236011			0	
		SUM			0,002654333				0,000409085			0,00019542	
	2019	50%	Kitajska - Koper 50%	15000	0,003304148						Koper - Celje	184	0,000191262
		30%	Turčija - Koper 30%	2100	0,000277548						Koper - Celje	184	0,000114757
		20%	Indonezija - Koper 20%	12100	0,001066139						Koper - Celje	184	7,6505E-05
		SUM			0,004647835							0,000382525	
												0,005437551	
												0,003253874	
												0,003258838	
												0,00503036	

Ocene obremenitev za transport predoblik (epruвет) od proizvajalcev do polnilnic so prikazane v tabeli 7.

Tabela 7: Izračuni emisij zaradi transporta preoblik (epruвет)

	Masa plastenke	Kamion		
		Lokacija/relacija	Razdalja (km)	Emisije CO2 (kg)
#Z	0.01820	Celje-Ljubljana	70	0.00012
#C	0.02037	Celje - Kostel (SLO)	160	0.00033
#D	0.01684	Litva - Mirna (SLO)	1500	0.00257
		Madžarska - Mirna (SLO)	560	0.00096
		Bolgarija - Mirna (SLO)	1100	0.00188
#R	0.01873	Celje-Radenci (SLO)	105	0.00020

4.3 Oblikovanje

Proces oblikovanja obsega predelavo materiala iz polizdelkov v izdelek.

4.3.1 Oblikovanje PET

Polimerni peleti se pretvorijo v plastične steklenice z uporabo postopka razteznega pihanja. Količina emisij CO2 pri oblikovanju PET je vezana predvsem na porabo električne energije v procesih taljenja in vpihovanja v modele.

Za proizvodnjo 1 kg PET plastenke je potrebnih 1,12 kg PET smole in 2,33 kWh električne energije. Izračuni emisij so podani v tabeli 8.

Tabela 8: Izračuni emisij zaradi procesa oblikovanja PET

		PLASTENKE				
		#Z	#C	#D	#R	POVPR.
	PET plastic – injection stretch blown molding	0.01820	0.02037	0.01684	0.01873	0.01854
poraba električne energije kWh/kg (Papong et al, 2014)	2.33	0.04240	0.04747	0.03924	0.04364	0.04319
emisije CO2 eq za taljenje in vpihovanje v kalupe - MIN (kg)*	1.22	0.02220	0.02485	0.02055	0.02285	0.02261

*Upoštevan je bil pretvornik 0.5236 kg CO2eq na kWh električne energije (Elduque et. Al. 2018)

4.3.2 Oblikovanje PE-HD

Izračuni emisij za proces oblikovanja zamaškov (PE-HD) so podani v tabeli 9.

Tabela 9: Izračuni emisij zaradi procesa oblikovanja zamaškov

Unit	HDPE	ZAMAŠKI				POVPR.
		#Z	#C	#D	#R	
		0.00210	0.00209	0.00269	0.00277	0.00241
poraba električne energije kWh/kg (Iwko et al, 2018, Thirez & Gustowski, 2006)	1.86	0.00390	0.00388	0.00500	0.00516	0.00448
emisije CO ₂ eq za taljenje in vpihovanje v kalupe - MIN (kg) (Iwko et al, 2018)	0.97	0.00203	0.00202	0.00261	0.00269	0.00234
poraba električne energije kWh/kg (Iwko et al, 2018, Thirez & Gustowski, 2006)	3.64	0.00763	0.00759	0.00978	0.01009	0.00877
emisije CO ₂ eq za taljenje in vpihovanje v kalupe - MAX (kg) (Iwko et al, 2018)	1.91	0.00400	0.00398	0.00513	0.00530	0.00460

* Upoštevan je bil pretvornik 0.5236 kg CO₂eq na kWh električne energije (Elduque et. Al. 2018)

4.4 Polnjenje

Po proizvodnji steklenic in obdelavi vode stroji nato izplaknejo, napolnijo, zaprejo in označijo PET plastenke. Pregled energetskih specifikacij kaže, da povprečni stroj porabi za čiščenje, polnjenje in zapiranje približno 0,006 MJ (0.0017 kwh) na plastenko. Stroji za etiketiranje in pakiranje porabijo približno 0,008 MJ (0.0022 kwh) na steklenico. Tako znaša celotna poraba energije za čiščenje, polnjenje, zapiranje, etiketiranje in približno 0,014 MJ (0.0039 kwh) na steklenico (Gleick & Cooley, 2009).

Emisije zaradi procesa polnjenja znašajo približno 0.00209 kg CO₂ eq na 0.5L plastenko.

4.5 Transport do prodajnih mest

Za transport do prodajnih mest smo privzeli 100km razdaljo po predpostavki, da gre za središčno lokacijo vira distribucije. Faktor za oceno emisij CO₂ je bil 0,102 kg CO₂ eq na km prevožene tone ustekleničene vode (tkm) (DEFRA, 2005). Izračuni emisij so podani v tabeli 10.

Tabela 10: Izračuni emisij zaradi transporta do prodajnih mest (distribucija)

	#Z	#C	#D	#R	POVPR.
Masa ustekleničene vode (kg)	0.51820	0.52037	0.51684	0.51873	0.518535
Emisije kg CO ₂ eq za kamionski prevoz; razdalja 100 km	0.00528	0.00530	0.00527	0.00529	0.005285

4.6 Uporaba ustekleničene vode - hlajenje

Potrebna je tudi energija za hlajenje ustekleničene vode pred prodajo ali porabo. Za to obstajata dve komponenti - energija za hlajenje vode od sobne temperature do temperature hladilnika in energija za vzdrževanje hladne vode, dokler se ne proda. Za prvo komponento ocenjujemo, da se ustekleničena voda hladi od sobne temperature okoli 20,0 ° C do običajne hladilnice ali hladilne temperature okoli 5 ° C. Glede na to, da specifična energija vode znaša približno 4,2 kJ/kgK, ocenjujemo, da se za hlajenje 0,5L vode porabi 0,031 MJ energije, kar se odrazi v približno 0,00447 kg emisij CO₂ eq.

4.7 Odlaganje/ razgradnja / reciklaža

Prazno embalažo PET potrošnik po uporabi zavrže in postane PET odpadek.

Končna ocena obremenitev s CO₂ po koncu uporabe temelji na naslednjih treh možnosti odstranjevanja embalaže:

- Odlaganje: Sem spada ureditev odlagališča, procesiranje odlaganih odpadkov, ter posredne obremenitve emisij v tla, zrak in vode.
- Sežig: zajema infrastrukturo sežigalnice, postopek sežiganja, proizvedeno električno energijo in odlaganje ostanka pepela (na odlagališča). Rekuperacija električne energije je upoštevana kot zmanjšanje obremenitev okolja.
- Recikliranje: pri tem se upošteva infrastruktura obrata za recikliranje, postopki sortiranja in recikliranja, dobljeni proizvodi in nastali odpadki. Šteje se, da proizvodi, pridobljeni v postopku recikliranja, izpodrivajo neobdelane surovine in so poštrevani kot zmanjšanje obremenitev okolja.

Upoštevani deleži posameznih načinov so: 29% odlaganje, 31% reciklaža in 40% termična obdelava (sežig) (PlasticsEurope, 2018)

4.7.1 Odlaganje

Izračuni emisij CO₂ eq za procese odlaganja so prikazani v tabeli 11. Emisije upoštevajo vse procese priprave materiala in odlaganja; rezultati ne upoštevajo izpustov CO₂eq zaradi naravne razgradnje PET.

Tabela 11: Izračuni emisij CO₂ eq za procese odlaganja PET

	Emisijski faktor (kg CO ₂ eq/kg PET)	#Z	#C	#D	#R	POVPR.
		masa (kg)	masa (kg)	masa (kg)	masa (kg)	masa (kg)
		0,018198	0,020372	0,016842	0,018731	0,01854
Priprava materiala / odlaganje - MIN	0,08	0.00146	0.00163	0.00135	0.00150	0,00148
Priprava materiala / odlaganje - MAX	0,1	0.00182	0.00204	0.00168	0.00187	0,00185

4.7.2 Predelava/reciklaža

Visokokakovostni granulati plastičnih odpadkov, ki vsebujejo eno samo plastično vrsto (npr. PET, HDPE ali PP), lahko vstopijo neposredno v proizvodnjo plastičnih izdelkov, podobnih originalnim plastičnim granulatom.

Neposredne emisije iz ravnanja s plastičnimi odpadki so povezane s postopki pretvarjanja plastike v izdelek, ki ga je mogoče prodati drugim industrijskim branžam z namenom predelave plastike v nove izdelke ali ponovno energetske izrabo. V tem kontekstu je ključna sortiranje, oziroma takoimenovana predobdelava, ki obsega drobljenje, pranje, ločevanje in sušenje. V tej fazi se uporablja energija (npr. elektrika, nafta, zemeljski plin, kurilno olje itd.) za ravnanje in mehansko obdelavo plastičnih odpadkov. Precejšen del tega obsega porabo električne energije. Na podlagi podatkov (Astrup et al, 2009) smo ocenili, da se poraba električne energije giblje od približno 25 kWh/t plastičnih odpadkov (kar ustreza preprostem razvrščanju in drobljenju) do približno 600 kWh/t plastičnih odpadkov (v primerih, ko se jih pred končno granulacijo tali, da se iz kontaminiranih odpadkov pridobi visokokakovosten izdelek). Običajne vrednosti so verjetno v območju med 25-300 kWh/t plastičnih odpadkov.

Faktorji emisij, ki smo jih uporabili v izračunih so:

- Predobdelava/predelava: 25-300 kWh/t odpadne plastike. Poraba električne energije se lahko pomnoži z ustreznim faktorjem emisij (npr. 0,52 kg CO₂eq./kWh, kar pomeni, da je bilo zaradi porabe električne energije v fazi predelave izpuščenih približno 0,013-0,150 kg CO₂eq/kg odpadne plastike).

Analiza predelave PET obsega predvsem mehanično obdelavo – izračuni so prikazani v tabeli 12 za ilustracijo je podan tudi izračun za taljenje odpadnega materiala za nadaljnjo uporabo. Tabela prikazuje tudi prihranek pri emisijah CO₂ zaradi predelave plasten v primerjavi z izdelavo plasten iz osnovnih surovin (črpanje in predelava surove nafte, transport PET granulata do proizvajalcev predform). V primeru ponovne uporabe plasten

pa bi bil prihranek lahko višji, in sicer na račun eliminacije porabe energije v procesu priprave material na predelavo in energije potrebne za preoblikovanje odpadnih plastenk v sekundarno surovino.

Tabela 12: Izračuni emisij zaradi reciklaže PET

Proces	Vrednost (na kg PET)	#Z masa (kg)	#C masa (kg)	#D masa (kg)	#R masa (kg)	POVPR. masa (kg)
kgCO₂ eq/kg PVC	masa	0,018198	0,020372	0,016842	0,018731	0,01854
Priprava materiala za predelavo - MIN	0,013	0,00024	0,00026	0,00022	0,00024	0,00024
Priprava materiala za predelavo - MAX	0,15	0,00273	0,00306	0,00253	0,00281	0,00278
Predelava (taljenje)	0,3	0,00546	0,00611	0,00505	0,00562	0,00556
Predelava - MIN		0,00570	0,00638	0,00527	0,00586	0,00580
Predelava - MAX		0,00819	0,00917	0,00758	0,00843	0,00834
Prihranek CO ₂ zaradi predelave - MIN		-0,03906	-0,04368	-0,03487	-0,04019	-0,03945
Prihranek CO ₂ zaradi predelave - MAX		-0,03656	-0,04088	-0,03256	-0,03762	-0,03691

4.7.3 Sežig

Plastični odpadki se lahko pretvorijo v trdo predelano gorivo ali gorivo z odpadki in se uporabijo kot gorivo v industrijskih procesih. Frakcije odpadne plastike se uporabijo kot dopolnitev običajnih fosilnih goriv. Plastični peleti, ki se uporabljajo kot gorivo v industrijskih procesih ali elektrarnah, se običajno dozirajo neposredno v proces sežiganja. Količina porabljenih plastičnih peletov in količina alternativnih goriv se določi glede na njihovo energijsko vsebnost. Peleti imajo običajno energijsko vsebnost med 30–40 GJ/t in nadomeščajo fosilna goriva, kot so premog, nafta, dizel, zemeljski plin itd. (Astrup T et al. 2011, Buekens A.& Cen K.2011).

Predelava plastičnih odpadkov za izkoriščanje energije zahteva vrsto operacij, da nastanejo visoko kakovostni energijski produkti z visoko energijsko vsebnostjo, nizko vsebnostjo klora in nizko vsebnostjo nečistoč. Tovrstna predobdelava za energetske izrabe lahko zahteva manjše procese s porabo električne energije približno 25–200 kWh/t plastičnih odpadkov, emisije CO₂ v teh procesih pa znašajo med 0,012–0,22 kg CO₂ eq/ kg PET (Papong et al. 2014, Benner et al. 2007, Pasqualino J. et al. 2011).

Izgorevanje tone plastičnih odpadkov povzroči emisije 2188 do 3117 kg CO₂ (fosilnih), ob predpostavki popolne oksidacije ogljika, pri čemer je ves ogljik fosilnega izvora in njegova vsebnost od 70 do 85% (glede na maso) (Benner et al. 2007, Astrup T et al. 2011).

Izračuni emisij so prikazani v tabeli 13. Emisije upoštevajo vse procese priprave materiala in sežiganja PET, z odštetim potencialom zmanjšanja emisij CO₂ eq zaradi energetske izrabe.

Tabela 13: Izračuni emisij zaradi sežiga PET

Emisije kgCO ₂ eq	Emisijski faktor (kg CO ₂ eq/kg PET)	#Z	#C	#D	#R	POVPR.
		masa (kg)	masa (kg)	masa (kg)	masa (kg)	masa (kg)
		0,018198	0,020372	0,016842	0,018731	0,01854
Priprava material na sežig - MIN	0,012	0,00022	0,00024	0,00020	0,00022	0,00022
Priprava material na sežig - POVPR.	0,1	0,00182	0,00204	0,00168	0,00187	0,00185
Priprava material na sežig - MAX	0,22	0,00400	0,00448	0,00371	0,00412	0,00408
Sežig - MIN	1,68	-0,03057	-0,03422	-0,02829	-0,03147	-0,03114
Sežig - POVPR.	2,567	-0,04671	-0,05229	-0,04323	-0,04808	-0,04758
Sežig - MAX	3,117	-0,05672	0,06350	-0,05250	-0,05838	-0,05778
SKUPAJ MIN		-0,03035	-0,03398	-0,02809	-0,03124	-0,03092
SKUPAJ POVPR.		-0,04489	-0,05026	-0,04155	-0,04621	-0,04573
SKUPAJ MAX		-0,05272	-0,05902	-0,04879	-0,05426	-0,05370

4.7.4 Povzetek rezultatov po koncu uporabe

Tabela 14 povzema izračune emisij ob prenehanju uporabe embalaže ustekleničene vode; rezultati so podani v razponu od najnižjih do najvišjih doprinosov k celokupnim emisijam CO₂eq. Upoštevani deleži posameznih načinov so: 29% odlaganje, 31% reciklaža in 40% termična obdelava (sežig) (PlasticsEurope, 2018).

Tabela 14: Povzetek izračunov emisij zaradi predelave/reciklaže/sežiga odpadnih PET plastenk

				#Z	#C	#D	#R	POVPR.
MIN	Odlaganje	kg CO ₂ /kg PET	29%	0,00146	0,00163	0,00135	0,00150	0,00148
	Reciklaža	kg CO ₂ /kg PET	31%	-0,03906	-0,04368	-0,03487	-0,04019	-0,03945
	Sežig	kg CO ₂ /kg PET	40%	-0,03035	-0,03398	-0,04155	-0,04621	-0,02405
	SUM		100%	-0,02382	-0,02383	-0,02666	-0,02704	-0,03051
MAX	Odlaganje	kg CO ₂ /kg PET	29%	0,00182	0,00204	0,00168	0,00187	0,00185
	Reciklaža	kg CO ₂ /kg PET	31%	-0,03656	-0,04088	-0,03256	-0,03762	-0,03691
	Sežig	kg CO ₂ /kg PET	40%	-0,01756	-0,01966	-0,01625	-0,01808	-0,01789
	SUM		100%	-0,01783	-0,01995	-0,01611	-0,01835	-0,01806

4.8 Povzetek rezultatov

Tabela 15 povzema izračune emisij CO₂eq celotnega življenjskega cikla embalaže za ustekleničeno vodo.

Tabela 15: Povzetek izračunov emisij celotnega življenjskega embalaže ustekleničene vode 0.5L (izraženo v kg CO₂ eq)

Plastenka	#Z	#C	#D	#R	POVPR.
Masa plastenke (kg)	0,01820	0,02037	0,01684	0,01873	0,01854
Masa Zamaška (kg)	0,00210	0,00209	0,00269	0,00277	0,00241
Masa etikete (kg)	0,00044	0,00037	0,00032	0,00032	0,00034
Masa SUM (kg)	0,02073	0,02283	0,01985	0,02182	0,02129

Plastenka	Proizvodnja materiala	0,0399	0,0446	0,0369	0,0410	0,0406
	Transport	0,0049	0,0054	0,0033	0,0050	0,0047
	Oblikovanje	0,0222	0,0249	0,0205	0,0229	0,0226

Zamašek	Proizvodnja materiala	0,0038	0,0038	0,0048	0,0050	0,0043
	Oblikovanje	0,0040	0,0040	0,0051	0,0053	0,0046

Etiketa	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
---------	--------	--------	--------	--------	--------

Transport predform	0,0012	0,00033	0,00257	0,00188	0,00150
--------------------	--------	---------	---------	---------	---------

Polnjenje	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021
-----------	--------	--------	--------	--------	--------

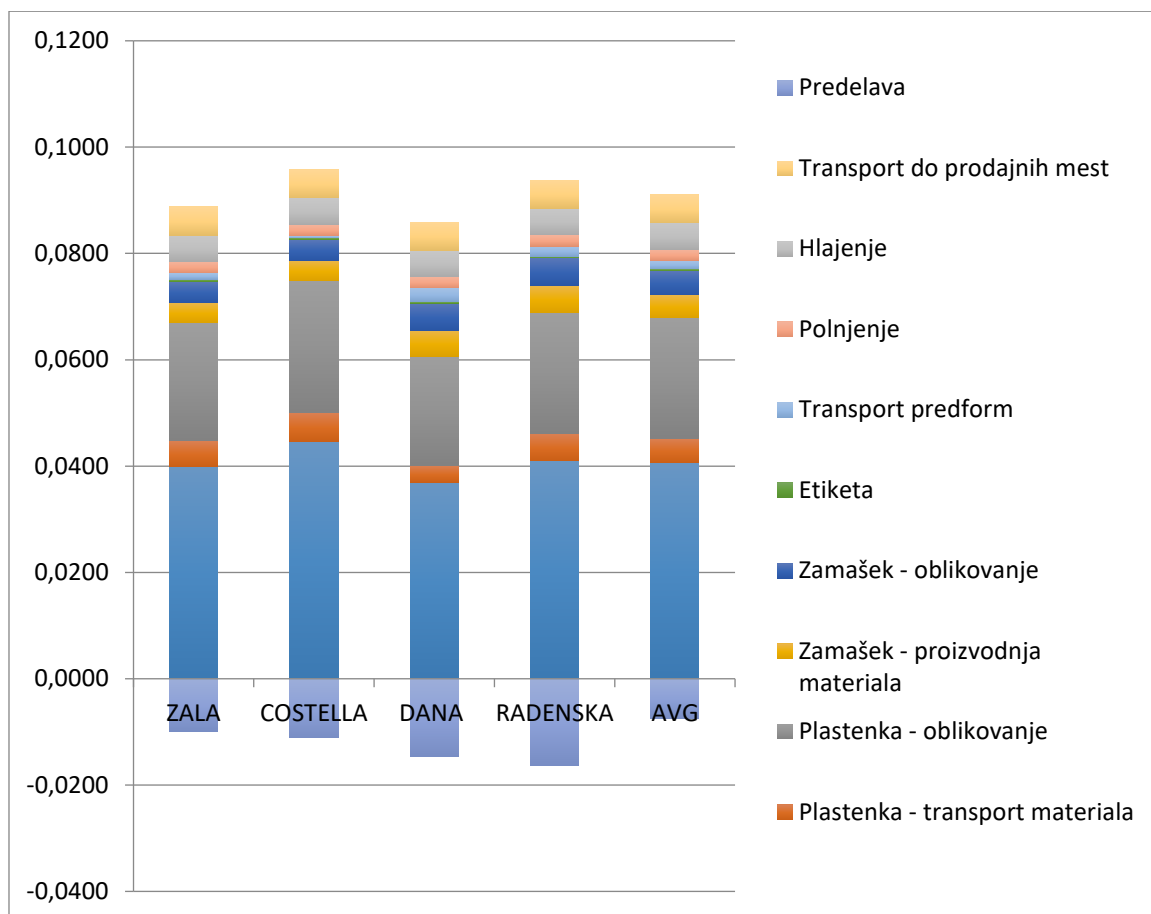
Hlajenje	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
----------	--------	--------	--------	--------	--------

Transport do prodajnih mest	0,0053	0,0053	0,0053	0,0053	0,0053
-----------------------------	--------	--------	--------	--------	--------

SKUPAJ	0,0887	0,0957	0,0859	0,0938	0,0910
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Predelava	MIN	-0,0178	-0,0199	-0,0161	-0,0184	-0,0181
	MAX	-0,0238	-0,0267	-0,0270	-0,0305	-0,0214
	POTENCIAL - MIN	0,0709	0,0758	0,0698	0,0754	0,0729
	POTENCIAL - MAX	0,0649	0,0690	0,0589	0,0633	0,0696

Iz rezultatov je razvidno (tabela 15 in slika 4), da je največji prispevek k izpustom CO₂ eq postopek proizvodnje osnovnih materialov in oblikovanja plastenk s postopki vpihovanja (PET).



Slika 4: Prispevki k izpustom CO₂eq iz posameznih faz LCA

4.9 Interpretacija rezultatov

Na podlagi spodnjih izračunov je razvidno, da pitje ustekleničene vode v Sloveniji prispeva približno 2.275t CO₂eq, kar prispeva 0,0013% k celokupnim letnim izpustom CO₂eq v Sloveniji oziroma 0,0011% promile, če upoštevamo potencial za reciklažo.

	Brez reciklaže	Z reciklažo	
POVPREČNI IZPUSTI kg CO ₂ eq/plastenka	0,0910	0,0870	
Poraba ustekleničene vode (št. plastenk/leto)	25.000.000		
CELOKUPNI IZPUSTI	CO ₂ eq (t)	2.275	2.174
IZPUSTI CO ₂ eq - Slovenija ¹ (t)	17.000.000		
Delež iz proizvodnje in distribucije ustekleničene vode	0,000013	0,000011	
	=0,0013%	0,0011%	

¹ [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Total_greenhouse_gas_emisije_by_countries,_1990-2017_\(Million_tonnes_of_CO2_equivalents\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Total_greenhouse_gas_emisije_by_countries,_1990-2017_(Million_tonnes_of_CO2_equivalents).png)

4.10 Negotovosti

Ocena obremenitev v celotnem življenjskem ciklu je neogibno izpostavljena specifičnim negotovostim, ki jih je treba prepoznati pri interpretaciji rezultatov.

V okviru opravljenega dela negotovosti izhajajo iz niza predpostavk, ki so bile sprejete kot osnova za analizo, skupaj s spremenljivimi (aleatornimi) in s pomanjkanjem znanja (epistemičnimi) negotovostmi v vrednostih parametrov ki so bili uporabljeni pri izračunih. To se nanaša predvsem na emisijske faktorje ter na elemente posameznih procesov znotraj življenjskega cikla PET embalaže ustekleničene vode.

Negotovost se pojavlja v vseh fazah analize življenjskega cikla in se v prvi fazi nanaša na metodološke odločitve, pri nadaljnji obravnavi pa na primer na variabilnost parametrov, nereprezentativnost inventarnih podatkov, negotovosti modelov ipd. Negotovosti se v postopek izračunavanja vključujejo (pojavljajo) predvsem pri predpostavkah, ki se nanašajo na lokacije črpanja surovin (nafta) in s tem povezana razdalja transporta do obratov za predelavo surovin v polizdelke (npr PET granulat).

Drug sklop negotovosti se nanaša na emisije povezane s transportom polizdelkov - v študiji so privzete razdalje temeljile na podatkih pridobljenih od izbranih obratov za polnjenje ustekleničene vode v Sloveniji na podlagi katerih je nato sledilo posploševanje in povprečenje za t.i. »tipsko« plastenko; pri podrobnem popisu dejanskih transportnih poti bi lahko prišlo do manjših odstopanj, vendar za ne več kot 5% glede na celotne izračunane vrednosti emisij toplogrednih plinov.

Dodaten vir negotovosti lahko pripišemo razlikam v proizvodnih procesih. Tukaj gre predvsem za manjša odstopanja od privzetih vrednosti emisijskih faktorjev, predvsem v smislu porabe energije v procesih preoblikovanja polizdelkov v plastenke in zamaške (taljenje materiala, relativna poraba energije glede na kapacitete polnjenja ipd.). Tovrstne negotovosti so obravnavane v okviru analize občutljivosti (t.j. primerjava med MIN in MAX razponom rezultatov), vendar so ta odstopanja zanemarljiva v smislu občutljivosti rezultatov.

Emisije toplogrednih plinov povezane s transportom na strani uporabnikov – t.j. od lokacije nakupa ustekleničene vode do doma (ali druge lokacije zaužitja) – so zanemarljive in zaradi tega ta del življenjskega ni bil eksplicitno obravnavan pri izračunih.

Pomemben vir negotovosti pri interpretaciji rezultatov je predvsem podatek o porabi plastenk zaradi pitja ustekleničene vode, ki variira tudi za 50%. Prispevek k celokupnim emisijam CO₂ eq je tako lahko za faktor 2 višji, vendar pa je prispevek k celokupnim količinam še vedno razmeroma nizek.

5 ZAKLJUČEK Z DISKUSIJO

Iz rezultatov je razvidno, da je količina izpustov toplogrednih plinov zaradi porabe ustekleničene vode relativno majhna. Vendar je potrebno poudariti, da vsako zmanjšanje nepotrebnih izpustov in sprememba življenjskih navad lahko pomaga pri spopadanju s podnebnimi spremembami.

Izračuni predvsem kažejo, da se največ izpustov zgodi pri pridobivanju surovin in izdelavi plastenke, čemur sledi zaključek, da se prav s tem, ko se odpovemo vodi iz plastenk za enkratno uporabo izognemo največjemu deležu izpustov v njenem življenjskem ciklu. Pomembnejšo vlogo igra tudi količina odpadkov, ki pri tem nastajajo. Sicer je to področje v Sloveniji razmeroma dobro urejeno, vendar si kljub temu želimo zmanjšanja njihove količine in posledično zmanjšanja obremenitve na okolje – precejšen potencial se še vedno pojavlja pri reciklaži/predelavi PET (vključno s pojavljanjem novih tehnologij) in pri povečevanju kapacitet za sežig.

Glavna usmeritev za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, predvsem pa odpadkov, zaradi konzumiranja ustekleničene vode je seveda zahteva spremembo navad predvsem v smeri uporabe embalaže iz drugih materialov (npr. nerjavečega jekla, steklovine ipd.), ki so primernejši za ponovno uporabo, pri čemer je racionalna in vzdržna raba vsekakor v ospredju. Strategije za zmanjšanje vpliva vode iz plastenk lahko vključujejo tudi ukrepanje na organizacijski ravni (lokalna uprava, javni zavodi in restavracije), izobraževanje s ciljem, da bi potrošnike spodbudili k pitju vode iz vodovoda, kot tudi izboljšanje sistema za zbiranje prazne embalaže.

6 VIRI IN LITERATURA

- Astrup T., Fruergaard T. & Christensen T.H. 2009. Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Manag Res* 27 (2009) 763-772
- BREF. 2007. Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polymers, European Commission, Brussels, August 2007
- DEFRA. 2005. *'Guidelines for Corporate Reporting of Greenhouse Gas Emissions, London*
- Elduque A, Elduque D., Pina C., Clavería I. and Javierre C. 2018. Electricity Consumption Estimation of the Polymer Material Injection-Molding Manufacturing Process: Empirical Model and Application, *Materials*, 11 (2018) 1740
- Gleick P.H. & Cooley H.S. 2009. Energy implications of bottled water, *Environ. Res. Lett.* 4 (2009) 014009 (6pp) doi:10.1088/1748-9326/4/1/014009
- Iwko J., Wroblewski R., Steller R. 2018. Experimental study on energy consumption in the plasticizing unit of the injection molding machine, *Polimery* 63 (2018) 362-371
- Papong, S. Malakul, P., Trungkavashirakun, R., Wenunun, P., Chom-in, T., Nithitanakul, M., Sarobol, E. 2014. Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*. 65 (2014) 539-550.
- PlasticsEurope. 2005. Eco-profiles of the European Plastics Industry, Polyethylene Terephthalate (PET) - Bottle grade, March 2005
- PlasticsEurope. 2012. Eco-profiles of the European Plastics Industry, Polyethylene (PE), 2012
- PlasticsEurope. 2014. Eco-profiles of the European Plastics Industry, Polypropilene (PP), 2014
- PlasticsEurope. 2018. *Plastics – the Facts 2018, An analysis of European plastics production, demand and waste data*, dostopno na https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf, 25.4.2019
- Šager, B. 2018. *Zvestoba ustekleničeni vodi*, diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, ekonomska fakulteta, Ljubljana 2010.
- Thiriez A. and Gutowski T.. 2006. An environmental analysis of injection molding, *Electronics and the Environment: Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium*, Scottsdale, AZ, USA, 8–11 May 2006.