



Institut Jožef Stefan



ANALIZA OGLJIČNEGA ODTISA NAGROBNIH SVEČ



september 2019





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

Naslov poročila: ANALIZA OGLJIČNEGA ODTISA NAGROBNIH SVEČ

Oznaka dokumenta: IJS – DP – 12932

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	Obravnavani tipi sveč	6
2.1.1	Klasične »plamenske« sveče (PVC, steklo)	7
2.1.2	Elektronske sveče	7
2.2	Materiali	8
2.2.1	Gorivo (parafinski vosek)	8
2.2.2	Polivinil klorid(PVC).....	9
2.2.3	Polietilen tereftalat (PET).....	10
2.2.4	Steklo	11
2.2.5	Jeklo	11
2.2.6	Stenj (bombaž).....	12
2.2.7	Baterije	12
3	ANALIZA OGLJIČNEGA ODTISA NAGROBNIH SVEČ.....	13
3.1	Ozadje raziskave	13
3.2	Okvir sistema	13
3.3	Časovni okvir	13
3.4	Način zbiranja podatkov.....	13
3.5	Funkcionalna enota	13
3.6	Opis življenjskega cikla nagrobnih sveč.....	14
4	REZULTATI.....	15
4.1.1	Proizvodnja	15
4.1.2	Transport osnovnih materialov	19
4.1.3	Oblikovanje	21
4.1.4	Transport do prodajnih mest.....	23
4.1.5	Uporaba sveč - gorenje	23
4.2	Odlaganje/ Razgradnja / reciklaža.....	24
4.2.1	Odlaganje	25
4.2.2	Predelava/reciklaža.....	25
4.2.3	Sežig	26
4.2.4	Povzetek rezultatov po koncu uporabe	27
4.3	Povzetek rezultatov	28
4.4	Interpretacija rezultatov.....	29
4.5	Negotovosti	30
5	ZAKLJUČEK Z DISKUSIJO	32
6	VIRI IN LITERATURA	33

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 nagrobnih sveč v Sloveniji osvetliti in napasti problem nepotrebnih izpustov toplogrednih plinov.

1.1 Opis problema

Prižiganje sveč na pokopališču je že stoletja način za izkazovanje spomina do izgubljenih svojcev. Prižiganje sveče je lahko simbol ljubezni in spoštovanja, utripanje plamena sveče je viden znak, da imamo ljudi, ki so odšli, v našem spominu.

Poznamo več vrst nagrobnih sveč, in sicer voščene in elektronske, ohišja nagrobnih sveč pa so lahko izdelana iz različnih materialov (PVC, polietilen, steklo). Uredba ne ločuje odpadnih nagrobnih sveč glede na vrsto ali glede na materiale in velja tudi za odpadne nagrobne sveče, ki se razvrščajo med odpadno električno in elektronsko opremo, če jih obiskovalci pokopališč odlagajo v zabojnike, namenjene odpadnim nagrobnim svečam.

Slovenija je na vrhu evropskih držav po porabi pokopališč sveč. Letna poraba sveč na pokopališčih znaša približno 16 milijonov z ocenjeno skupno maso približno 6500 ton, kar pri gorenju prispeva k obremenitvam kakovosti zraka, hkrati pa povzroči približno 2400 ton odpadkov (Računsko sodišče RS, 2017).

1.2 Cilji raziskave

Z raziskavo želimo prikazati, kolikšen ogljični odtis povzroča običaj prižiganja nagrobnih sveč. Na podlagi rezultatov želimo argumentirati smisel zmanjšane uporabe nagrobnih sveč ter predlagati najboljšo alternativo za zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov, skupaj z ničelno alternativo t.j. uporabiti drugačne načine spomina na umrle kot je prižiganje sveč.

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 Error! Bookmark not defined.: **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 najpogostejših tipov nagrobnih sveč, ki se pojavljajo na slovenskem tržišču. Sledila je analiza procesov v proizvodnji sveč ter inventarizacija uporabljenih materialov.

2 INVENTARIZACIJA

2.1 Obravnavani tipi sveč

Analiza je bila osredotočena na ogljični odtis klasičnih voščenih/parafinskih nagrobnih sveč s PVC ohišjem. Za potrebe iskanje okoljsko manj spornih alternativ smo v raziskavo vključili tudi klasične steklene sveče z izmenljivim parafinskim vložkom in elektronske sveče.

Raziskava obsega analizo šest različnih modelov pokopaliških sveč, tri klasične plamenske s PVC ohišjem, eno stekleno z izmenljivim parafinskim vložkom in eno elektronsko svečo slovenskih proizvajalcev. Razlikujejo se glede na sestavo (tip gorenja – klasične/parafinske, elektronske) in čas gorenja. Nabor analiziranih sveč je prikazan v tabeli 1.

Tabela 1: Obravnavani tipi sveč

Sveča	Tip	Slika	Čas gorenja	Posoda	Polnilo	Pokrov	Stenj	Drugo
#1 KLASIČNA MIA	kl. nagrobna		40h	34g (PVC)	163g (parafinski vosek)	14g (jeklo)	1,1g	
#2 Klasična LYRA velika	kl. nagrobna		5 dni / 120h	50g (PVC)	515g (parafinski vosek)	14g (jeklo)	1,6g	
#3 Klasična uni-lux SRCE	kl. nagrobna		2,5 dni/ 60h	51g (PVC)	272g (parafinski vosek)	14g (jeklo)	1,2g	
#4 elektronska solza EKO 30	elektronska (30dni)		30 dni / 720h	41g (PVC)	33g ohišje elektronike	8g (PET)	6g led+nastavek za baterije (PET)	15g obtežitev (pesek)
#5 Klasična AVE	steklena z izmenljivim parafinskim vložkom		40h	277g (steklo)	153g (parafinski vosek)	20g (PET)		
#6 KLASIČNA	parafinski vložek		47h	23g (PVC)	194g (parafinski vosek)		1,0g	

2.1.1 Klasične »plamenske« sveče (PVC, steklo)

Tradicionalne pokopališke sveče so tiste, v katerih svetlobo zagotavlja ogenj - tovrstnih svečah je parafinski vosek glavna surovina. Običajno so za enkratno uporabo, najbolj prodajane pa so zaradi svoje nizke cene in duhovne/simbolne podobe in značaja.

Običajno tradicionalno pokopališko svečo sestavljajo naslednje komponente:

- Gorivo/vosek; navadno parafin, čebelji vosek, stearin soja in drugi rastlinski voski, gel itd. Predstavlja približno 70% mase sveče.
- Stenj; je sestavljen iz prepletenih bombažnih ali lanenih vlaken.
- Ohišje; iz plastike, sijajnega papirja ali stekla. Ohranja vosek in ščiti svečo od zunaj; predstavlja približno 30% mase sveče.
- Pokrov; po navadi jeklen ali aluminijast, uporablja se za zaščito in ohranjanje plamena pred vetrom, dežjem in drugimi vremenskimi pojavi.

2.1.2 Elektronske sveče

Elektronske pokopališke sveče so alternativa tradicionalnim pokopališkim svečam. Uporabljajo elektronska vezja z LED žarnicami, ki ustvarijo dolgotrajno realistično utripajočo svetlobo, ki popolnoma simulira plamen voščene sveče. Elektronske sveče gorijo dlje časa in predstavljajo okolju prijazna alternativo tradicionalnim pokopališkim svečam.

Sestavljene so iz naslednjih komponent:

- Polnilo/telo sveče: predstavlja obliko tradicionalne voščene sveče. Narejena je iz PET plastike ali ekspaniranega polistirena, prekrita s svetlo prevleko iz voska.
- LED in elektronsko vezje: zagotavlja svetlobo sveče.
- Plamen: oblika plamena iz plastične mase
- Baterije: običajno dve cinkovo-ogljikovi bateriji 1,5V tipa AA.
- Ohišje: izdelano iz PVC, PET ali polipropilena.
- Pokrov: izdelano iz PET.
- Spodnji del: narejen iz PET, vsebuje vrečke za težo in podpira strukturo sveče.
- Vrečke za obtežitev: elektronske sveče imajo na dnu vrečke napolnjene s težkimi materiali, kot so kovine, pesek ali kamni, da bi povečali stabilnost sveče (za preprečitev prevrnitve ob vremenskih neprilikah).

2.2 Materiali

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

Sestavni del sveče	klasične »plamenske« sveče	klasične steklene sveče	Elektronske
Gorivo/polnilo	Parafinski vosek	Parafinski vosek	Polietilen tereftalat (PET) Baterije
Ohišje	Polivinil klorid (PVC)	Polivinil klorid (PVC)	Polivinil klorid (PVC)
Pokrov	Jeklo	Steklo	Polietilen tereftalat (PET)
Stenj	Bombaž	Bombaž	n.a.

2.2.1 Gorivo (parafinski vosek)

Parafinski vosek (ali naftni vosek) je mehka brezbarvna trdna snov, pridobljena iz nafte, premoga ali skrilavca, ki je sestavljena iz mešanice ogljikovodikovih molekul z dvajset do štirideset atomov ogljika. Trdna je pri sobni temperaturi in se začne taliti nad približno 37 ° C , vrelišče pa je nad 370 ° C. Parafinsko olje je mineralna tolšča – viskozna oljnata zmes rumenkasto bele barve brez vonja in okusa, ki se prav tako uporablja v svečarstvu (Freund, M. & Mózes, G. 1982).

Beseda parafin se včasih uporablja tudi kot sinonim za kerozin in druge naftne derivate.

Parafinski vosek je prvi ustvaril Carl Reichenbach v Nemčiji leta 1830 in je pomenil velik napredek v tehnologiji izdelovanja sveč, saj je gorel bolj čisto in zanesljivo od lojastih sveč in je bil cenejši za proizvodnjo.

Najpogostejše rabe vključujejo:

- izdelavo sveč
- medicinska raba, kot sredstvo za odstranjevanje ušesnega masla in za čiščenje kože.*
- v strojni industriji za izdelavo tesnil.
- živilska industrija, kot zaščitno sredstvo, zaradi neoporečnosti in nereaktivnosti.
- papirni industriji za povoščen papir.
- tekstilna industriji za impregnacijo blaga in kot mazivo za pomožna sredstva v tej panogi.
- kot sredstvo za podmazovanje (lubrikacijo)
- ipd.

Proizvodnja

Osnova za pridobivanje parafina je zmes olja in voska, ki so stranski produkt rafiniranja maziv. Prvi korak pri izdelavi parafinskega voska je odstranitev olja (razmastitev) s postopki kristalizacije. Najpogosteje zmes segrejemo, zmešamo s topili na osnovi ketonov in nato ohladimo. Ko se ohladi, iz raztopine kristalizira vosek, pri čemer ostane samo olje. To zmes filtriramo v dva toka: trdno (vosek in nekaj topila) in tekoče (olje in topilo). V nadaljnjih procesih se odstranijo neustrezne barve in vonjave. Vosek lahko končno zmešamo, da dobimo določene želene lastnosti, kot sta tališče in gostota. Ker postopki prečiščevanja v naftni

rafineriji niso standardizirani, poznamo okoli 400 različnih vrst parafina. Parafinski vosek se prodaja v tekoči ali trdni obliki. Najpogostejši parafin ima tališče med 48 in 58 °C. Zanj je značilna kristalna struktura (Kirk-Othmer, 1982)¹

Skladiščenje in transport

Parafin za potrebe svečarstva je običajno shranjen v ogrevanih rezervoarjih ali v neogrevanih skladiščnih prostorih v vrečah ali zabojnikih.

Transport se izvaja v tekoči obliki z avtocisternami.

2.2.2 Polivinil klorid (PVC)

PVC je sintetičen polimer vinil klorida, za polietilenom in polipropilenom tretji najbolj množično proizvajan tip plastike in široko uporabljan v sodobnem svetu kot material za izdelavo številnih predmetov (Allsopp M. W. & Vianello G. 2012)². V svečarstvu se ga v primerjavi z ostalimi plastičnimi materiali uporablja predvsem zaradi slabše gorljivosti.

V čisti obliki je PVC bela, krhka snov, netopna v alkoholu, a dobro topna v tetrahidrofuranu. Dve osnovni obliki predelanega polivinilklorida sta trdni (rigidni) in prožni (fleksibilni); iz prve izdelujejo denimo plastične cevi, profilno stavbno pohištvo (vrata, okenski okvirji), platenke in drugo trdno embalažo za hrano ter manjše uporabne predmete, kot so plačilne kartice. Z dodatkom mehčal, običajno so to ftalati, postane PVC mehkejši in bolj prožen, v tej obliki izdelujejo iz njega prožne cevi, izolacijo za kable, napihljive predmete in mnoge druge, v katerih nadomešča gumo (Allsopp M. W. & Vianello G. 2012).

Proizvodnja

Pridobivajo ga s polimerizacijo monomera vinil klorida. Približno 95% vinil klorida se proizvede z integriranim nizom reakcij, ki se začnejo s klorom (pridobljenim iz kamene soli ali z iz recikliranega klorovodika), etilenom (fosilnega izvora) in zrakom. Večina nastane industrijsko s postopkom polimerizacije v suspenziji: v neprepusten reaktor dovedejo vinil klorid in vodo, skupaj z iniciatorjem in aditivi. Vsebino reaktorja ves čas mešajo, da nastanejo enakomerno veliki delci. Reakcija je eksotermna, zato je treba mešanico hladiti, hkrati pa dovajati vodo, saj ima PVC večjo gostoto od vinil klorida. Po koncu reakcije iz plastične smole odstranijo plinasti vinil klorid in druge nečistoče, s centrifugiranjem odstranijo vodo in jo še dodatno posušijo na vročem zraku. Ostane bel prašek, ki gre neposredno v skladiščenje, ali pa ga prej oblikujejo v granule oziroma pelete (Allsopp M. W. & Vianello G. 2012).

Pred uporabo je treba surovemu PVC-ju dodati različne aditive, kot so toplotni stabilizatorji,

¹ Kirk-Othmer. 1982. Encyclopedia of Chemical technology, third edition, New York, 1982

² Allsopp M. W., Vianello G. 2012. "Poly(Vinyl Chloride)" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2012, Wiley-VCH, Weinheim.

UV-stabilizatorji, mehčala, biocidi, zaviralci gorenja, polnila, pigmenti idr., ki spremenijo njegove lastnosti za določen namen.

Skladiščenje in transport

PVC je običajno shranjen v obliki granul/pelet v neogrevanih skladiščnih prostorih.

Najpogostejša oblika prevoza PVC je v tekoči obliki v 20t avtocisternah.

Oblikovanje

PVC ohišja sveč so izdelana z brizganjem materiala v kalup. Ta tehnika temelji na teh osnovnih korakih:

1. Talimo plastiko: termoplastični polimer segrejemo do taline.
2. Staljeno plastiko oblikujte v predformo: Iztisnemo jo skozi glavo, da nastane votla cev.
3. Zapnite konce pareza: predformo se spusti med dve polovici kalupa, ki se zapreta okoli njega, razen odprtine, skozi katero piha zrak.
4. Napihovanje: predformo se napihne do oblike kalupa, tako da stisnjen zrak spušča po pihalni palici.
5. Ohlajevanje: plastika se strdi, ko se ohladi v kalupu.
6. Odstranjevanje: Kalup se odpre in končni sestavni del se odstrani.
7. Obrezovanje odvečnega materiala.

Recikliranje/ponovna uporaba

Z odpadki iz PVC-ja lahko ravnamo na tri različne načine: recikliranje, odstranjevanje kot pri pridobivanju energije (sežiganje) in odlaganje na odlagališčih.

Procesi vključujejo mletje ali kemične postopke za pridobivanje klora, ki ga lahko ponovno uporabimo pri proizvodnji vinil kloridnih monomerov. Pred recikliranjem mora biti PVC ločen od druge plastike in materialov. Mehanski postopki so sestavljeni iz enot za drobljenje za zmanjšanje velikosti, ločilnih enot in rezalnikov ter ekstruderjev za pretvorbo ločenih plastičnih frakcij v ponovne granulate. Mehansko recikliranje PVC je pogosta in enostavna tehnika; z njo je možno izvajati tudi recikliranje mešanih plastičnih mas, vendar je kakovost recikliranja primerna le za omejeno število uporab.

Potrošniški PVC se pridobiva iz izolacije električnih žic in kablov, gradbenih izdelkov in embalaže. Vloge za reciklirano smolo vključujejo zunanje pohištvo, cevi, tla, okenske profile, blatne lopute, oblačila in podloge.

Sežiganje je še ena možnost končnega odlaganja PVC ob koncu življenjske dobe ali ostankov recikliranja. Po popolnem zgorevanju se PVC lahko razgradi na vodo, ogljikov dioksid in vodikov klorid (HCl).

Odlaganje je najmanj zaželena možnost ravnanja z odpadnim PVC.

2.2.3 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 svečarstva pa so te omejene na vbrizgavanje staljenega materiala v kalupe (»injection compression moulding«; uporaba za izdelavo pokrovov ali elektronskih komponent sveč) in injekcijsko brizganje z vpihovanjem (»Injection blow moulding«; uporaba za izdelavo ohišja sveč).

2.2.4 Steklo

Steklo je amorfna trdna snov, ki nastane s taljenjem kamnin z visoko vsebnostjo silikatov in naknadnim ohlajanjem, preden ti lahko tvorijo kristalno strukturo. Je eden najbolj vsestranskih materialov, predvsem zaradi lastnosti, kot so inertnost in enostavna predelava/reciklaža ter obstojnost v ekstremnih vremenskih pogojih (spremembe temperature). Zaradi teh dejavnikov je steklo primeren material za ohišja nagrobnih sveč.

Surovine, ki se uporabljajo pri proizvodnji stekla, so pesek, apnenec (ki je vir kalcija in magnezija), soda-apno, boraks ali borova kislina ter glinica. V proizvodnji stekla po šaržnem postopku se surovine najprej zmeljejo in zmešajo, nato pa prenesejo v peč kjer surovine talijo na temperaturi 1300°C-1600°C. Po taljenju se mora steklovina homogenizirati in rafinirati. Votlo steklo za steklenice in kozarce se proizvaja s pihanjem ali stiskanjem. Tovrstno steklo vsebuje več aluminijevega in kalcijevega oksida, ki izboljšata obstojnost proti vodi. Ko dobi steklo končno obliko, se običajno žari, da se sprostijo notranje napetosti. Sledi končna obdelava (površinska obdelava, laminiranje, premazovanje), ki izboljša kemijsko odpornost stekla, trdnost ali optične lastnosti.

2.2.5 Jeklo

Proizvodnja jekla poteka s taljenjem železove rude z zniževanjem vsebnosti ogljika na ustrezno količino, nakar se mu doda še druge elemente, ki povečujejo trdnost, obstojnost ipd. V nadaljnjih procesih se jeklo vroče oblikuje v polizdelke – v obliki palic, plošč ali gred. Plošče se vroče ali hladno valjajo v pločevino ustrezne debeline, ki je nato neposredno uporabljena pri izdelavi pokrovov za nagrobne sveče.

2.2.6 Stenj (bombaž)

Bombaž so semenske nitke semen bombaževca (*Gossypium*), ki omogočajo, da veter semena prenaša na velikih razdaljah. Največkrat jih predejo v tanke niti, iz katerih se tkejo tkanine.

Stenj sveče je izdelan iz prepletenih vlaken bombaža, ki jih zaradi lažje manipulacije pri izdelavi sveč dodatno prevlečejo s parafinskim voskom, da jim povečajo rigidnost. Deluje na principu kapilarnega dvigovanja, t.j. z vlečenjem stopljenega voska ali goriva do plamena. Ko tekoče gorivo doseže plamen ta izhlapi in zgoreva. Pogosto so prepojeni z različnimi snovmi, da spremenijo svoje značilnosti gorenja. Na primer, običajno je zaželeno, da stenj ne sveti, ko plamen ugasne. Tipična sredstva sta amonijev nitrat in amonijev sulfat ³.

2.2.7 Baterije

Baterije, ki jih uporabljamo pri elektronskih pokopališčih, so običajno ogljikovo-cinkove baterije velikosti 1,5V in AA.

Ta model akumulatorjev se najpogosteje uporablja za naprave, ki potrebujejo svetlobo, saj je njegova nizka cena posledica uporabe poceni materialov in časovno dokazanih konstrukcij.

Ogljikovo-cinkove baterije imajo cinkovo anodo, katodo manganovega dioksida (MnO₂) in rahlo kisli elektrolit⁴.

Ključni koraki za proizvodnjo baterij iz ogljikovega cinka so naslednji:

1. Proizvodnja cinka: pločevinka ima hkrati funkcijo anode in posode
2. Postavitev ločevalnika: vstavi se ločilnik, da se prepreči kratek stik katode in anode.
3. Polnilni katodni material: kot katodni material se vnese mešanico manganovega dioksida, elektrolita in drugih komponent.
4. Vstavljanje ogljikove palice: v sredino pločevinke se vstavi ogljikova palica za zbiranje električne energije.
5. Tesnjenje: posoda je zatesnjena s pokrovom, da se prepreči sušenje in uhajanje
6. Namestitev negativnega materiala in smolne cevi: podložka in priključek za smolo se položi v cinkovo pločevinko na dno in se jo pritrdi.
7. Polaganje pozitivnega priključka in kovinske jakne: pozitiven terminal in podložka sta nameščena na vrhu akumulatorja in prekrita s kovinskim plaščem.
8. Označevanje: na bateriji je nalepljena nalepka.
9. Pregled: na akumulator se preveri napetost, videz in tok.

Reciklaža / ponovna uporaba

Baterije je mogoče reciklirati z več različnimi metodami, ki vključujejo taljenje in druge toplotno-metalurške postopke za ponovno pridobivanje kovin (zlasti cinka).

³ <https://candles.org/elements-of-a-candle/>, 24.9.2019

⁴ http://data.energizer.com/PDFs/carbonzinc_appman.pdf, 22.9.2019

3 ANALIZA OGLJIČNEGA ODTISA NAGROBNIH SVEČ

3.1 Ozadje raziskave

Analiziranih je bilo pet različnih funkcionalno primerljivih nagrobnih sveč, štiri klasične (tri PVC in ena steklena z zamenljivim vložkom) in ena elektronske sveče po metodi ocene življenjskega cikla (LCA). LCA količinsko opredeli vse uporabljene materiale in energijo ter izpuste iz okolja v celotni življenjski dobi vsake od sveč, od pridobitve surovin do končne odstranitve.

3.2 Okvir sistema

Okvir sistema za analizo uporabe sveč obsega:

- Proizvodnjo gorivnega dela sveče od črpanja surove nafte, preko transporta do predelave in izdelave parafinskih ali elektronskih vložkov (vključujoč baterije) v svečah do uporabe (gorenje/delovanje) sveče
- Proizvodnjo, transport in uporabo materialov (PVC, PET, steklo) za izdelavo ohišja ali pokrova sveče
- Proizvodnjo, transport in uporabo materialov (jeklo, PVC, PET) za izdelavo pokrova sveče
- Odlaganje/razgradnja/reciklaža/sežig materialov

3.3 Časovni okvir

Časovni okvir obravnave je eno leto znotraj katerega se povzame podatke o količini sveč, številom obiskov grobov ter podatke o prenehanju uporabe sveč (t.j. odlaganju, predelavi/recikliranju).

3.4 Način zbiranja podatkov

Za življenjski cikel nagrobnih sveč 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 nagrobnih sveč ter s terenskimi ogledi. Zbiranje podatkov o zalogah je potekalo med junijem in septembrom 2019.

3.5 Funkcionalna enota

Funkcionalna enota je določena glede na povprečno frekvenco obiskov pokopališča v letu dni. Slednje je v neposredni povezavi s časom gorenja sveč. V okviru tega smo upoštevali naslednje parametre:

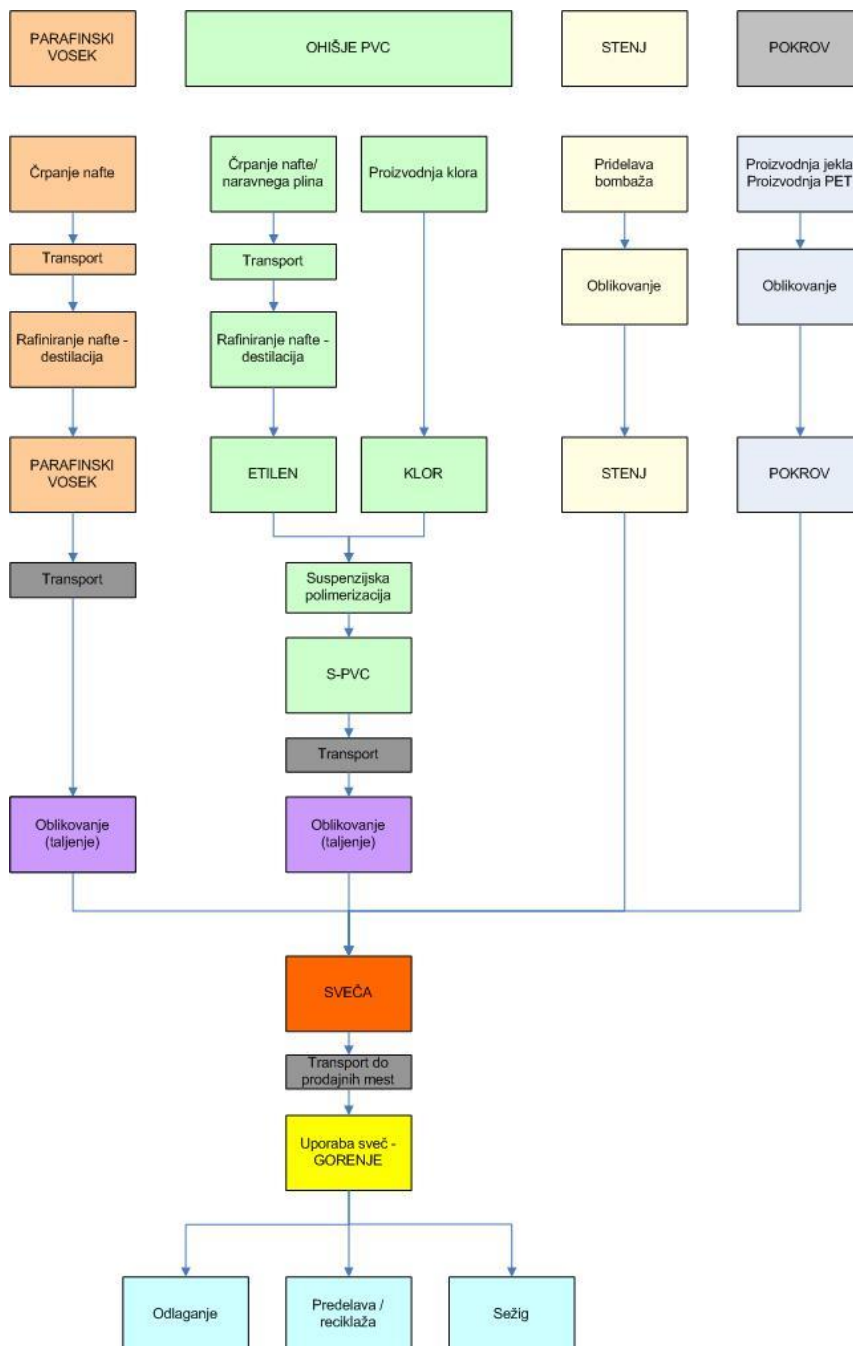
- Povprečna frekvenca obiska grobov je 1 obisk na 1-2 meseca (Arlič V., Terzič S. 2008)
- Pri tem se prižge približno 8-10 klasičnih plamenskih sveč na leto, upošteva dejstvo, da sveča gori do 5 dni, pri čemer jo je treba ob vsakem obisku zamenjati.
- V primeru steklenih sveč je za 1-letno obdobje dovolj eno stekleno ohišje in približno 8-10 izmenljivih parafinskih vložkov.

- V primeru uporabe elektronskih sveč, ki gorijo 30 dni je treba v letu dni sveče (ali zgolj baterije) zamenjati 8-10-krat; če je čas gorenja krajši se pogostnost menjave temu primerno poveča.

Na podlagi tega, da gre za podobno frekvenco porabe pri vseh treh tipih nagrobnih sveč smo za funkcionalno enoto privzeli 1 svečo.

3.6 Opis življenjskega cikla nagrobnih sveč

Shema življenjskega cikla klasičnih voščenih/parafinskih sveč je prikazana na sliki **Error! Reference source not found..**



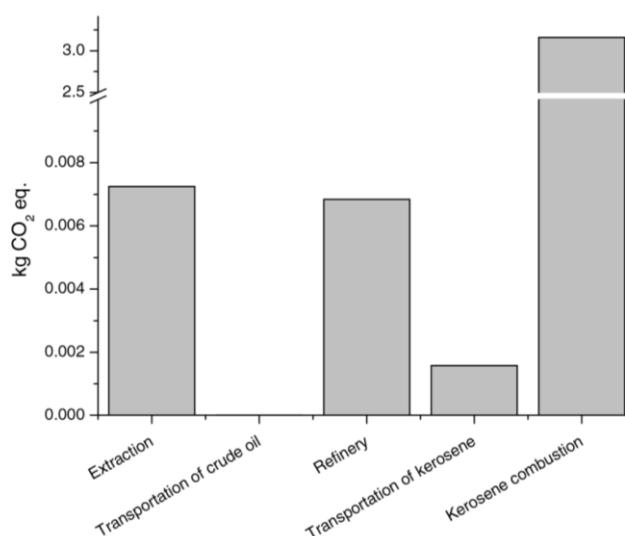
Slika 2: Shema življenjskega cikla klasičnih (PVC) nagrobnih sveč

4 REZULTATI

4.1.1 Proizvodnja

4.1.1.1 Parafinski vosek

Slika 3 prikazuje emisije CO₂eq za podsistema življenjskega cikla za parafin/kerozin. Iz grafa je razvidno, da procesi pridobivanja prispevajo približno 5-6% k celokupnim emisijam CO₂eq za parafin/kerozin (Koroneos C et al, 2015), ki znašajo 2960 - 3150 kg CO₂eq /kg (IPCC, 2006, Koroneos C et al, 2015); na podlagi tega izračuna lahko sklepamo, da znašajo emisijski faktorji proizvodnih procesov za parafin približno 0.15 kg CO₂eq/kg.



Slika 3 Error! Bookmark not defined.: Delež emisij za podsisteme življenjskega cikla za kerozin/parafin (vir: Koroneos C et al, 2015)

Izračuni emisij CO₂eq iz proizvodnje parafina za posamezne tipe sveč so prikazani v tabeli 2.

Tabela 2: Izračuni emisij CO₂eq za proizvodnjo parafinskega voska

	Tipi nagrobnih sveč	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA vložek
	masa (kg)	0.163	0.515	0.272	0.153	0.194
emisije kgCO₂ eq./kg – proizvodnja parafinskega voska	0.15	0.024	0.077	0.041	0.023	0.029

4.1.1.2 Polivinil klorid (PVC)

Proizvodnja PVC vključuje postopke pridobivanja surovin iz surove nafte in postopke rafiniranja/čiščenja do parafinskih olj in nadalje do parafinskega voska. Vzoredno obsega pridobivanje klora iz kamene soli (NaCl). Nadalje postopki vključujejo suspenzijsko polimerizacijo do PVC. Snovna bilanca teh procesov in rezultati za izbrane tipe sveč so prikazani v tabeli 3.

Tabela 3: Izračuni emisij za proizvodnjo PVC (vir: PlasticsEurope, 2015)

Vhodni parametri	Enota	Vrednost (na kg S-PVC)	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#4 elektronska solza EKO 30	#6 KLASIČNA posoda vložka
masa	kg	1,00	0.034	0.050	0.051	0.041	0.023
Neobnovljivi viri energije	MJ	56.9	1.935	2.845	2.902	2.333	1.309
• Energija goriva	MJ	36.2	1.231	1.810	1.846	1.484	0.833
• Energija surovin	MJ	20.7	0.704	1.035	1.056	0.849	0.476
Obnovljivi viri energije	MJ	3.7	0.126	0.185	0.189	0.152	0.085
• Energija goriva	MJ	3.7	0.126	0.185	0.189	0.152	0.085
• Energija surovin	MJ	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Izraba abiotskega potenciala							
• Elementi	kg Sb eq	1.30E-05	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
• Fosilna goriva	MJ	47.2	1.605	2.360	2.407	1.935	1.086
Raba vode	kg	197.7	6.722	9.885	10.083	8.106	4.547
• v procesih	kg	44.2	1.503	2.210	2.254	1.812	1.017
• za hlajenje	kg	153.5	5.219	7.675	7.829	6.294	3.531
Poraba vode	kg	-	-				

Izhodni parametri	Enota	Vrednost (na kg S-PVC)	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#4 elektronska solza EKO 30	#6 KLASIČNA posoda vložka
Globalno segrevanje (GWP)	kg CO ₂ eq	1.99	0.068	0.100	0.101	0.082	0.046

4.1.1.3 Bombaž (stenj)

Podatki in rezultati se nanašajo na procese pridobivanja bombaža in predelavo do niti. Impregnacija s parafinskim voskom je bila pri izračunih zanemarljiva, zato ni neposredno upoštevana.

Emisije CO₂ eq so podane za različne geografske lokacije pridelave bombaža in sicer ločeno za EU ter v razponu med najnižjimi in najvišjimi vrednostmi za svetovno proizvodnjo. Za izračun emisij celotnega življenjskega cikla so bile upoštevane povprečne vrednosti. Izračuni so prikazani v tabeli 4.

Tabela 4: Izračuni emisij za proizvodnjo bombaža (vir: Kissinger M. et.al, 2013)

		#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA vložek
Bombaž - proizvodnja	kg CO₂eq/kg	0.0011	0.0016	0.0012	0.0010	0.0010
kg CO ₂ eq emisije - MIN	12.76	0.0020	0.0029	0.0022	0.0018	0.0018
kg CO ₂ eq emisije - MAX EU	6.5	0.0048	0.0070	0.0052	0.0044	0.0044
kg CO ₂ eq emisije - MAX svetovna proizvodnja	30	0.0202	0.0294	0.0221	0.0184	0.0184
kg CO₂eq emisije - AVG	21.5	0.0512	0.0744	0.0558	0.0465	0.0465

4.1.1.4 Steklo

Emisije CO₂ eq so podane za različne geografske lokacije proizvodnje stekla in sicer ločeno za EU ter v razponu med najnižjimi in najvišjimi vrednostmi za svetovno proizvodnjo (tabela 5). V nadaljnjih izračunih so bile upoštevane povprečne vrednosti.

Tabela 5: Izračuni emisij za proizvodnjo stekla (vir: Kissinger M. et.al, 2013)

		#5 Klasična AVE
Steklo	proizvodnja kg CO₂eq/kg	0.277
kg CO ₂ eq emisije - MIN	0.60	0.166
kg CO ₂ eq emisije - MAX EU	1.05	0.291
kg CO ₂ eq emisije - MAX svetovna proizvodnja	1.80	0.499
kg CO₂eq emisije - AVG	0.99	0.274

4.1.1.5 Jeklo (pokrov)

Izračuni za emisije zaradi izdelave pokrova obsegajo faze od pridobivanja železove rude preko končne obdelave v ploskovno jeklo (tabela 4). Oblikovanje jekla iz plošč v pokrove je zanemarljivo in ni neposredno upoštevano v izračunih.

Tabela 6: Izračuni emisij za proizvodnjo jekla (pokrovi sveč)

		#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE
Jeklo	proizvodnja kg CO ₂ eq/kg*	0.0144	0.0142	0.0141
kg CO ₂ eq emisije - MIN	1.800	0.0259	0.0256	0.0254
kg CO ₂ eq emisije - MAX EU	2.430	0.0350	0.0345	0.0343
kg CO ₂ eq emisije - MAX svetovna proizvodnja	4.204	0.0605	0.0597	0.0593
kg CO₂eq emisije - AVG	2.530	0.0364	0.0359	0.0357

*vir: Kissinger M. et.al, 2013

4.1.1.6 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 tipe sveč so prikazani v tabeli 7.

Tabela 7: Izračuni emisij za proizvodnjo polietilen tereftalata (PET) (vir: PlasticsEurope, 2005)

Vhodni parametri	Enota	Vrednost (na kg PET)	#4 Elektr polnilo – ohišje električnega vezja
masa	kg	1,00	0.033
Neobnovljivi viri energije	MJ	69.6	2.2968
• Energija goriva	MJ	35.5	1.1715
• Energija surovin	MJ	34.1	1.1253
Obnovljivi viri energije	MJ	1.6	0.0528
• Energija goriva	MJ	1.6	0.0528
• Energija surovin	MJ	0	0

• Elementi	kg Sb eq	2.41E-04	0.000008
• Fosilna goriva	MJ	62	2.046
Raba vode	kg	95.8	3.1614
• v procesih	kg	6.7	0.2211
• za hlajenje	kg	89	2.937

Poraba vode	kg	48.8	1.6104
-------------	----	------	--------

Izhodni parametri	Enota	Vrednost na kg PET	#4 Elektr polnilo
Globalno segrevanje (GWP)*	kg CO ₂ eq	2.19	0.07227

*vir: plasticseurope.org

4.1.1.7 Elektronski elementi (baterije)

Izračuni emisij CO₂eq iz proizvodnje baterij za uporabo v elektronskih svečah so prikazani v tabeli 8.

Tabela 8: Izračuni emisij za proizvodnjo baterij tipa AA (vir: Sullivan, J L et al. 2010)

Baterije AA (Zn/MnO ₂)	proizvodnja kg CO ₂ eq/kg	#4 elektronska solza
kg CO ₂ eq emisije – MIN*	12.00	0.624

*Sullivan et al. 2010

4.1.2 Transport osnovnih materialov

Materiali za izdelavo sveč so večinoma dobavljeni iz držav EU – podrobnosti so podane v tabeli 9.

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 9: Izračuni emisij zaradi transporta osnovnih materialov

Tip sveče	Delež	Ladja			Kamion		
		Lokacija	Razdalja	Emisije CO ₂ eq (kg)	Lokacija	Razdalja	Emisije CO ₂ eq (kg)
#1 KLASIČNA MIA	50%				Nemčija	1000.00	0.001734
masa ohišje (PVC): 0.034	50%				Italija	800.00	0.001387
	SUM						0.003121

Masa PARAFIN	100%				Nizozemska	1200	0.0199512
0.163	SUM						0.0199512
#2 Klasična LYRA velika	100%				EU	1000	0.0051
masa ohišje: 0.050	SUM						0.0051
Masa PARAFIN	100%				EU	1000	0.05253
0.515	SUM						0.05253
#3 Klasična uni-lux SRCE	100%				EU	1000	0.005202
masa ohišje (PVC): 0.051	SUM						0.005202
Masa PARAFIN	100%				EU	1000	0.027744
0.272	SUM						0.027744
#5 Klasična AVE	100%				Poljska	1000	0.003468
masa ohišje (steklo): 0.277	SUM						0.003468
Masa PARAFIN	50%				Poljska	1000	0.007803
0.153	30%	Turčija	2100	0.00202419	Koper - Slo	100	0.00046818
	20%				Ukrajina	1700	0.00530604
	SUM			0.00202419			0.01357722
#6 KLASIČNA VLOŽEK	50%				Nemčija	1000	0.001173
masa ohišje (PVC):	50%				Italija	800	0.0009384
0.023	SUM						0.0021114
Masa PARAFIN	100%				Nizozemska	1000	0.019788
0.194	SUM						0.019788
#4 elektronska elektro	50%				Nemčija	1000.00	0.002091
masa ohišje, pokrov (PVC):	50%				Italija	800.00	0.001673
0.041	50%				Nemčija	1000.00	0.000408
0.008	50%				Italija	800.00	0.000326
Masa elektronika (ogrodje, baterije)	SUM						0.004498
0.033	100%	Kitajska	15000	0.010395	Koper - Slo	100	0.0003366
0.052	100%	Kitajska	15000	0.01638	Koper - Slo	100	0.0005304
	SUM			0.026775			0.000867

4.1.3 Oblikovanje

Proces oblikovanja obsega predelavo materiala iz polizdelkov v izdelek.

4.1.3.1 Oblikovanje parafina

Oblikovanje parafina obseg in ulivanje v ohišja; alternativna metoda oblikovanja parafina zajema ohlajanje taline do trdne oblike pred doziranjem v ohišja. Pred doziranjem predhodno ohlajeni (trdni) parafin spenijo s čimer se mu zmanjša specifična gostota z namenom zmanjšati njegovo porabo pri polnjenju v sveče. Taljenje poteka v električnih ogrevalnikih. Za izračun CO₂eq za proces taljenje/oblikovanja parafinskega voska smo upoštevali, da je parafin shranjen v neogrevanem skladišču (v vrečah ali rezervoarjih). Pri tem je bila upoštevana povprečna letna temperatura zraka 10.3 °C (vir: STAT, 2014); razlika do talilne temperature (46°C) (Nasser & William, 1999) znaša 36°C.

Parafinski vosek ima specifično toplotno kapaciteto 2,14–2,9 J g⁻¹ K⁻¹ in latentno toploto 200–220 J g⁻¹. [14] (Nasser & William, 1999)

Električna energija za taljenje 1 kg parafina tako znaša:

$$\begin{aligned} (1) & 220 \text{ J/g (latentna toplota)} = 220 \text{ kJ/kg} = 220 \text{ kJ za taljenje 1 kg parafinskega voska} \\ (2) & 2.9 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \times 36\text{K} = 2.9 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \times 36\text{K} = 104,4 \text{ kJ za 1 kg za segrevanje od povprečne} \\ & \text{temperature to tališča (ko ga lahko ulijemo v ohišja sveč)} \\ & = 324.4 \text{ kJ/kg} = 0,09 \text{ kWh/kg} \end{aligned}$$

Izračuni emisij za posamezne tipe sveč so podani v tabeli 10.

Tabela 10: Izračuni emisij zaradi procesa oblikovanja/ulivanja parafina

		#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA posoda vložka
Parafin - taljenje/ ulivanje		0.1630	0.5150	0.2720	0.1530	0.1940
poraba električne energije kWh/kg	0.0900	0.0147	0.0464	0.0245	0.0138	0.0175
emisije CO ₂ eq za taljenje- MIN (kg)*	0.0471	0.0077	0.0243	0.0128	0.0072	0.0091

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

4.1.3.2 Oblikovanje PVC

V procesih oblikovanja gre večinoma za taljenje PVC v osnovni obliki (granule) in oblikovanje s postopki vpihovanja v kalupe. Izračuni emisij za posamezne tipe sveč so podani v tabeli 11.

Tabela 11: Izračuni emisij zaradi procesa oblikovanja PVC

		#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#4 elektronska solza EKO 30	#6 KLASIČNA posoda vložka	#5 Klasična POKROV
PVC – brizganje z vpihovanjem		0.0340	0.0500	0.0510	0.0410	0.0230	0.0200
poraba električne energije kWh/kg	1.47	0.0500	0.0735	0.0750	0.0603	0.0338	0.0294
emisije CO ₂ eq za taljenje in vpihovanje v kalupe - MIN (kg)*	0.77	0.0262	0.0385	0.0393	0.0316	0.0177	0.0154

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

4.1.3.3 Oblikovanje PET

Gre za taljenje PET v osnovni obliki (granule) in oblikovanje s postopki vpihovanja v kalupe. Izračuni emisij za posamezne tipe sveč so podani v tabeli 12.

Tabela 12: Izračuni emisij zaradi procesa oblikovanja PET

		#4 elektronska solza EKO 30		
		Posoda	Pokrov	LED + nastavek za baterije
PET – brizganje z vpihovanjem		0.041	0.008	0.033
Poraba energije za taljenje in vpihovanje v kalupe (kg)* (kwh/ lb)*	3.14	0.129	0.0251	0.1036
emisije CO ₂ eq za taljenje in vpihovanje v kalupe - MAX (kg)*	0.63	0.025	0.0050	0.0208
Poraba energije za taljenje in vpihovanje v kalupe (kg)* (kwh/ kg)*	2.33	0.095	0.0186	0.0769
emisije CO ₂ eq za taljenje in vpihovanje v kalupe - MIN (kg)*	1.22	0.050	0.0097	0.0403

*vir: Papong et al, 2014

4.1.3.4 Oblikovanje stekla

Izračuni emisij za proces oblikovanja stekla za posamezne tipe sveč so podani v tabeli 13.

Tabela 13: Izračuni emisij zaradi procesa oblikovanja stekla

		#5 Klasična AVE
Steklo - oblikovanje	oblikovanje kg CO₂eq/kg	0.277
poraba električne energije kWh/kg - MIN	0.8	0.222
poraba električne energije kWh/kg - MAX	1.18	0.327
emisije CO ₂ eq za taljenje- MIN (kg)*	0.42	0.116
emisije CO ₂ eq za taljenje- MIN (kg)*	0.61	0.169

*vir: Worrell et al. 2008

4.1.4 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 sveč (tkm) (DEFRA, 2005). Izračuni emisij za proces oblikovanja stekla za posamezne tipe sveč so podani v tabeli 13.

Tabela 14: Izračuni emisij zaradi transporta do prodajnih mest (distribucija)

Tip sveče	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#4 elektronska solza EKO 30	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA posoda vložka
Masa sveče	0.211	0.579	0.337	0.155	0.45	0.217
Kamionski prevoz; razdalja 100 km	0.002	0.006	0.003	0.002	0.005	0.002

4.1.5 Uporaba sveč - gorenje

Gorenje je glavni vir emisij CO₂ eq v celotnem življenjskem ciklu nagrobne sveče. Ker so v parafinskem vosku prisotne nečistoče v obliki drugih naftnih frakcij (ogljikovodikov) podajamo v spodnji tabeli nabor več emisijskih faktorjev (tabela 15). Izračuni emisij za delovanje/gorenje sveč podani v tabeli 16.

Tabela 15: Emisijski faktorji za izbrana fosilna goriva (IPCC, 2006)

Gorivo	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t
Surova nafta	3100.59	0.423	0.02538	3118.73
Kerozin	3153.15	0.441	0.02646	3172.06
Parafinski vosek	2946.66	0.402	0.02412	2963.90
Špirit	2946.66	0.402	0.02412	2963.90
Drugo	2946.66	0.402	0.02412	2963.90

Tabela 16: Izračuni emisij zaradi gorenja/delovanja sveč

		#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA vložek
Gorenje/delovanje sveč		0.163	0.515	0.272	0.153	0.194
CO ₂ emisije (kgCO ₂ /kg) - kerozin	3.153	0.514	1.624	0.858	0.482	0.612
CO ₂ emisije (kgCO ₂ /kg) - parafinski vosek	2.963	0.483	1.526	0.806	0.453	0.575

4.2 Odlaganje/ Razgradnja / reciklaža

Odpadne nagrobne sveče nastanejo po uporabi nagrobnih sveč (običajnih in elektronskih) in se uvrščajo med komunalne odpadke. Odpadne nagrobne sveče so sestavljene iz ohišja, ki je običajno iz plastike (PVC) ali stekla, kovinskega pokrovčka, ostankov voska in v primeru odpadnih elektronskih nagrobnih sveč tudi iz elektronske komponente. Obiskovalci pokopališč, kjer nastane največ odpadnih nagrobnih sveč, jih odlagajo v posebne zabojnike na pokopališču ali ob njem, kjer jih v večini primerov prevzame izvajalec obvezne občinske gospodarske javne službe zbiranja komunalnih odpadkov.

Na podlagi podatkov nosilcev skupnih načrtov upravljanja z odpadnimi svečami smo za izračune povzeli podatek, da znaša količina predhodno obdelanih odpadnih nagrobnih sveč znaša približno 2.440t, količina odpadnih nagrobnih sveč, ki so bile reciklirane pa v povprečju 2.370 t (podatki za leti 2015-2016) (Računsko sodišče RS, 2017).

Sistem ravnanja z odpadki omogoča, da se reciklira 97,8 odstotka predhodno obdelanih odpadnih nagrobnih sveč oziroma 95,8 odstotka zbranih (prevzetih).

4.2.1 Odlaganje

Po podatkih zberemo v Sloveniji v povprečju 38% masni delež zbranih sveč glede na prodano količino⁵. To je predvsem na račun izgorelega parafina – ostanek neizgorelega parafinskega voska v odpadnih svečah znaša po oceni proizvajalcev znaša približno 30%. Preostalih 8% lahko pripišemo ohišju sveče, pokrovom ipd. Ocenjena masa odloženih odpadnih sveč znaša približno 3% celotne mase odpadnih sveč, t.j. delež zbranih sveč, ki niso primerne za reciklažo. Ocenjeno je, da se v 100 letih, kolikor je okvir analize LCA zaradi kemijskih reakcij razgradi približno 3% plastike (Eriksson O. & Finnveden G., 2009.). Ker so procesi razgradnje dolgotrajni in prispevki zanemarljivi, odlaganje ni bilo neposredno upoštevano pri prispevkih k emisijam CO₂ eq.

4.2.2 Predelava/reciklaža

Visokokakovostni granulati plastičnih odpadkov, ki vsebujejo eno samo plastično vrsto (npr. PVC, HDPE, PP ali PET), 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 energetska izrabo. V tem kontekstu je ključna sortiranje, oziroma takoimenovana predobdelava. 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 preprostemu 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).
- Izračun predelave temelji na dejstvu, se pri voščeni sveči reciklira predvsem ohišje (PVC) in približno 30% ostanka parafina (ocena povprečne količine parafinskega voska v sveči, ko ta ne pogori do konca).

Zaradi neučinkovitega sistema recikliranja elektronskih sveč izračuni za prihranke CO₂ pri reciklaži niso bili upoštevani.

Analiza predelave PVC obsega predvsem mehanično obdelavo – izračuni so prikazani v tabeli 17 za ilustracijo je podan tudi izračun za taljenje odpadnega materiala za nadaljnjo uporabo PVC v gradbeništvu (PVC odtočne cevi).

⁵ <https://www.orz.si/ne-ve%C4%8D,-ampak-bolje/ne-ve%C4%8D,-ampak-bolje-aktivnosti/387-problematika-odpadka-odpadnih-nagrobnih-sve%C4%8D>, 29.9.2019

Tabela 17: Izračuni emisij zaradi reciklaže PVC iz odpadnih sveč

Proces	Vrednost (na kg S-PVC)	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#6 KLASIČNA posoda vložka
kgCO₂ eq/kg PVC	masa	0.034	0.050	0.051	0.023
Priprava materiala za predelavo - MIN	0.013	4.23E-04	6.23E-04	6.35E-04	2.86E-04
Priprava materiala za predelavo - MAX	0.150	4.89E-03	7.19E-03	7.33E-03	3.31E-03
Predelava (taljenje)	0.300	9.77E-03	1.44E-02	1.47E-02	6.61E-03

Predelava ima negativni predznak, zato ker se ostanek parafina lahko ponovno uporabi pri izdelavi sveč. Izračuni emisij zaradi reciklaže parafina iz odpadnih sveč so prikazani v tabeli 18.

Tabela 18: Izračuni emisij zaradi reciklaže parafina iz odpadnih sveč

Proces	Vrednost (na kg parafina)	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA vložek
kgCO₂ eq/kg	masa	0.163	0.515	0.272	0.153	0.194
Proizvodnja parafina	-0.150	-0.007	-0.023	-0.012	-0.007	-0.009
Predelava parafina (taljenje)	-0.047	-0.002	-0.007	-0.004	-0.002	-0.003
Gorenje	-2.963	-0.145	-0.458	-0.242	-0.136	-0.172
SKUPAJ		-0.155	-0.488	-0.258	-0.145	-0.184

4.2.3 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 (19-26 MJ/kg za PVC) 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 energetska izrabo lahko zahteva manjše procese s porabo električne energije približno 25–200 kWh/t plastičnih odpadkov.

Izgorevanje 1 tone plastičnih odpadkov povzroči emisije 2567 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; pri PVC je ta delež manjši).

Po podatkih je bilo v letu 2016 termično obdelanih cca 0.5% zbranih sveč, kar znese približno 11 ton odpadkov (Računsko sodišče RS, 2017). Ob tem velja poudariti, da je PVC zaradi vsebnosti klora manj primeren za termično predelavo. Izračuni emisij so prikazani v tabeli 19.

Tabela 19: Izračuni emisij zaradi sežiga PVC iz odpadnih sveč

Proces	Vrednost (na kg S-PVC)	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#6 KLASIČNA posoda vložka
kgCO₂ eq/kg PVC	masa	0.034	0.050	0.051	0.023
Priprava material na sežig - MIN	0.012	2.04E-06	3.00E-06	3.06E-06	1.38E-06
Priprava material na sežig - MAX	0.10	1.70E-05	2.50E-05	2.55E-05	1.15E-05
Sežig - MIN	2.567	4.36E-04	6.42E-04	6.55E-04	2.95E-04
Sežig - MAX	3.117	5.30E-04	7.79E-04	7.95E-04	3.58E-04
SKUPAJ MIN		4.38E-04	6.45E-04	6.58E-04	2.97E-04
SKUPAJ MAX		5.47E-04	8.04E-04	8.20E-04	3.70E-04

* delež odpadkov za sežig 0.5%

4.2.4 Povzetek rezultatov po koncu uporabe

Tabela 20 povzema izračune emisij ob prenehanju uporabe nagrobnih sveč; rezultati so podani v razponu od najvišjih do najnižjih doprinosov k celokupnim emisijam CO₂eq.

Tabela 20: Povzetek izračunov emisij zaradi predelave/reciklaže/sežiga odpadnih sveč

Proces	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA posoda vložka
Reciklaža ohišja	4.2E-04	6.2E-04	6.4E-04		2.9E-04
Reciklaža parafina	-0.155	-0.488	-0.258	-0.145	-0.184
Sežig	4.4E-04	6.4E-04	6.6E-04		3.0E-04
SKUPAJ MIN	-0.154	-0.487	-0.257	-0.145	-0.183

Proces	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA posoda vložka
Reciklaža ohišja	4.89E-03	7.19E-03	7.33E-03		3.31E-03
Reciklaža parafina	-0.155	-0.488	-0.258	-0.145	-0.184
Sežig	5.5E-04	8.0E-04	8.2E-04		3.7E-04
SKUPAJ MAX	-0.149	-0.480	-0.250	-0.145	-0.180

4.3 Povzetek rezultatov

Tabela 20 povzema izračune emisij CO₂eq celotnega življenjskega cikla nagrobnih sveč.

Tabela 21: Povzetek izračunov emisij celotnega življenjskega cikla nagrobnih sveč (izraženo v kg CO₂ eq)

Sveča	#1 KLASIČNA MIA	#2 Klasična LYRA velika	#3 Klasična uni-lux SRCE	#4 elektronska solza EKO 30	#5 Klasična AVE	#6 KLASIČNA
Tip	kl. nagrobna PVC	kl. nagrobna PVC	kl. nagrobna PVC	elektronska (30dni) PVC	steklo	Parafinski vložek, PVC ohišje
Masa ohišja (g)	34	50	51	41	277	23
Masa polnila (g)	163	515	272	33	153	194
Masa SUM (g)	211	579	337	155	450	217

Ohišje	Proizvodnja materiala	0.0677	0.0995	0.1015	0.0816	0.2742	0.0458
	Transport	0.0031	0.0051	0.0052	0.0045	0.0035	0.0021
	Oblikovanje	0.0262	0.0385	0.0393	0.0316	0.116	0.0177

Polnilo (vosek)	Proizvodnja materiala	0.0245	0.0773	0.0408	0.0723	0.0230	0.0291
	Transport	0.0166	0.0525	0.0277	0.0009	0.0136	0.0198
	Oblikovanje	0.0051	0.0162	0.0085		0.0048	0.0061

Stenj	0.0048	0.0070	0.0052	n.a	0.0044	0.0044
-------	--------	--------	--------	-----	--------	--------

Pokrov	0.0364	0.0359	0.0357	0.0175	0.0438	n.a
--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----

Transport do prodajnih mest	0.0022	0.0059	0.0034	0.0016	0.0046	0.0022
--------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Gorenje	0.4830	1.5259	0.8059	0.6240	0.4533	0.5748
---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

SKUPAJ	0.6695	1.8638	1.0733	0.8339	0.9411	0.7020
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Predelava	Min	-0.1537	-0.4870	-0.2566	n.a	-0.1450	-0.1833
	Max	-0.1491	-0.4802	-0.2497	n.a	-0.1450	-0.1802
	POTENCIAL MIN	0.5158	1.3768	0.8168	0.8339	0.7961	0.5186
	POTENCIAL MAX	0.5204	1.3836	0.8236	0.8339	0.7961	0.5217

4.4 Interpretacija rezultatov

Na podlagi spodnjih izračunov je razvidno, da prižiganje sveč na pokopališčih prispeva približno 19.000t CO₂eq, kar prispeva 1,1 promilo k celokupnim letnim izpustom CO₂eq v Sloveniji oziroma 0,8 promile, če upoštevamo potencial za reciklažo.

	Brez reciklaže	Z reciklažo	
POVPREČNI IZPUSTI kg CO ₂ eq/sveča	1,2022	0,9031	
Število prižganih sveč (na leto)	16.000.000		
CELOKUPNI IZPUSTI	CO ₂ eq (t)	19.236	14.450
IZPUSTI CO ₂ eq - Slovenija ⁶	17.000.000		
Delež iz svečarstva:	0,0011	0,0008	
	=0,11%	0,08%	

Če pa primerjamo količino energije, ki se porabi s prižiganjem sveč, je razvidno, da bi se s količino parafina, ki ga v obliki nagrobnih sveč v povprečju porabi povprečno slovensko gospodinjstvo lahko zagotovili 0.3 GJ energije, kar je primerljivo s porabo energije za 1 mesec priprave hrane (kuhanje) ali celo deležu električne energije, ki ga v letu porabimo za ogrevanje sanitarne vode.

POVPREČNA MASA PARAFINA (kg)	0,317
Število prižganih sveč (na leto)	16.000.000
CELOKUPNA MASA PARAFINA (t)	cca 5100
CELOKUPNA ENERGIJSKA VREDNOST (TJ)*	213
*Energijska vrednost parafina = 42 MJ/kg	
Število gospodinjstev v Slo:	824.618
IZGUBA ENERGIJE (na gospodinjstvo) (TJ)	0,0003

⁶ [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)

PORABA ENERGIJE (na gospodinjstvo) ⁷						
	Skupaj1)	Ogrevanje	Hlajenje	Ogrevanje	Kuhanje	Drugo
		prostorov	prostorov	sanitarne vode		
TJ						
Energetski vir - skupaj1)	0.0528	0.0324	0.0002	0.0092	0.0029	0.0082
Ekstra lahko kurilno olje	0.0063	0.0054		0.0009		
Zemeljski plin	0.0045	0.0031		0.0011	0.0003	
Lesna goriva	0.0223	0.0192		0.0028	0.0004	
Utekočinjeni naftni plin	0.0001	0.0002		0.0001	0.0010	
Električna energija	0.0136	0.0014	0.0002	0.0003	0.0001	0.0082
Premog	0.0000	0.0000		0.0000		
Daljinska toplota	0.0034	0.0003		0.0008		
Sončna energija	0.0006	0.0000		0.0005		
Toplota iz okolice	0.0009	0.0004		0.0005		-

4.5 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 nagrobnih sveč.

Pri izgorevanju fosilnih goriv so negotovosti glede emisijskih faktorjev CO₂ razmeroma majhne. Ti emisijski faktorji so določeni z vsebnostjo ogljika v gorivu, zato obstajajo fizične omejitve glede obsega s tem povezanih negotovosti. Naftni derivati običajno izpolnjujejo dokaj stroge specifikacije, ki omejujejo možno območje vsebnosti ogljika in kalorično vrednost. V smernicah IPCC 1996 (tabela A1-1, letnik I, str. A1.4) so negotovosti za emisijske faktorje CO₂ iz fosilnih goriv ocenjene na 7%.

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

⁷ <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/5495>, 26.9.2019

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. PVC ali PET).

Drug sklop negotovosti se nanaša na emisije povezane s transportom polizdelkov - v študiji so privzete razdalje temeljile na podatkih pridobljenih od izbranih proizvajalcev sveč v Sloveniji na podlagi katerih je nato sledilo posploševanje in povprečenje za t.i. »tipsko« svečo; 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. Podobno je tudi z obravnavo negotovosti pri izračunih celokupnih emisij toplogrednih plinov, saj povprečenje na »tipsko« nagrobnih svečo ne upošteva deležev različnih velikosti sveč zaradi pomanjkanja podatkov.

Dodaten vir negotovosti lahko pripišemo razlikam v procesih izdelave sveč. Tukaj gre predvsem za manjša odstopanja od privzetih vrednosti v smislu porabe energije v procesu preoblikovanja polizdelkov v sveče (taljenje materiala za ohišja, parafinskega voska ipd.), vendar so ta odstopanja zanemarljiva v smislu občutljivosti rezultatov.

Emisije toplogrednih plinov povezane s transportom na strani uporabnikov – t.j. od lokacije nakupa sveč do pokopališča – so zanemarljive in zaradi tega ta del življenjskega ni bil eksplicitno obravnavan pri izračunih.

5 ZAKLJUČEK Z DISKUSIJO

Slovenija je na vrhu evropskih držav po porabi pokopališč sveč, primerljiva je le z drugimi državami, kot so Hrvaška, Portugalska in nekateri deli Poljske. Slovenske pokopališke sveče so običajno narejene iz PVC-ja, ki ima številne strupene učinke. Nekateri proizvajalci sveč so prešli na druge manj onesnažujoče materiale, kot so polipropilen (PP), papir in steklo.

Iz rezultatov je razvidno, da sta količina izpustov toplogrednih plinov in vzporedna zavržena količina energije znatni. Pomembno vlogo igra tudi količina odpadkov, predvsem na račun ohišij sveč, ki pri tem nastajajo. Sicer je to področje v Sloveniji ustrezno urejeno, vendar si kljub temu želimo zmanjšanja njihove količine in posledično zmanjšanja obremenitve na okolje. Kot je razvidno iz primerjave med različnimi tipi sveč, elektronske sveča, ki velja za okolju bolj prijazno alternativo vseeno v večji meri ne prispeva k zmanjšanju ogljičnega odtisa. Tudi zaradi svojega nesimbolnega značaja ni širše sprejeta med javnostjo – prodaja in uporaba zajema še vedno cca 15% vse prodaje nagrobnih sveč.

Glavna usmeritev za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov zaradi običaja prižiganja sveč je seveda sprememba navad v smeri polaganja cvetja ali, na primer, pobarvanih kamnov na grobove. Predlagamo tudi, da se v znak spomina prižge virtualno svečo, denar namenjen za nakup sveče pa namenimo v dobrodelne namene. V kolikor uporabniki ne želijo premeniti običaja prižiganja klasičnih nagrobnih sveč pa predlagamo, da izbirajo čim manjše sveče, tj. s čim manjšo količino parafinskega voska, ali sveče, izdelane iz CO₂ nevtralnih goriv (odpadna olja, rastlinska olja, čebelji voski ipd.).

6 VIRI IN LITERATURA

- Arlič V., Terzič S. 2008. Nagrobna sveča - odpadek?, raziskovalna naloga, Velenje, 2008
- 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
- Buekens A. & Cen K. 2011. Waste incineration, PVC, and dioxins *J Mater Cycles Waste Manag* (2011) 13:190–197
- 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
- Eriksson O. & Finnveden G. 2009. Plastic waste as a fuel - CO₂-neutral or not? *Energy Environ. Sci.*, 2 (2009) 907–914
- Freund, M., Mózes, G. (1982). Paraffin products: properties, technologies, applications. Translated by Jakab, E. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. p. 121.*
- IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
- Kissinger M., Sussmann C., Jennie Moore J., William E. Rees. 2013. Accounting for Greenhouse Gas Emission of Materials at the Urban Scale-Relating Existing Process Life Cycle Assessment Studies to Urban Material and Waste Composition, *Low Carbon Economy*, 2013 (4) 36-44
- Nasser, William E (1999). "Waxes, Natural and Synthetic". In McKetta, John J (ed.). Encyclopedia of Chemical Processing and Design. 67. New York: Marcel Dekker. p. 17. ISBN 978-0-8247-2618-8.* This can vary widely, even outside the quoted range, according to such factors as oil content and crystalline structure)
- 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. 2015. Eco-profiles and Environmental Product Declarations of the European Plastics Manufacturers, Vinyl chloride (VCM) and Polyvinyl chloride (PVC) *PlasticsEurope /*
- Računsko sodišče RS. 2017. Revizijsko poročilo - Sistem ravnanja z odpadnimi nagrobnimi svečami, Št: 320-2/2017/25, Ljubljana, 2017

STAT. 2014. Statistični letopis RS, Povprečne letne in mesečne temperature zraka po: meteorološka postaja, obdobje, leto 2014

Sullivan, J L, Gaines, L, and Energy Systems. 2010. A review of battery life-cycle analysis : state of knowledge and critical needs. United States

The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM), May 2015

Worrell E., Galitsky C., Masanet E., and Graus W. 2008. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, March 2008

Kirk-Othmer. 1982. Encyclopedia of Chemical technology, third edition, New York, 1982

Allsopp M. W., Vianello G. 2012. "Poly(Vinyl Chloride)" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2012, Wiley-VCH, Weinheim.