

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

MAGISTRSKO DELO
VREDNOTENJE OKOLJSKIH VPLIVOV
PROIZVODNJE PAPIRJA SKLADNO S
STANDARDOM ISO 14025 V PAPIRNICI
V BÍO BÍO REGIJI V ČILU

IZA PETEK STROZAK

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Magistrsko delo

**Vrednotenje okoljskih vplivov proizvodnje papirja skladno s
standardom ISO 14025 v papirnici v Bío Bío regiji v Čilu**

(Evaluation of the environmental impacts of paper production in accordance with ISO
14025 in the paper mill in the Bío Bío, Chile)

Ime in priimek: Iza Petek Strozak

Študijski program: Varstvo narave, 2. stopnja

Mentor: doc. dr. Andreja Kutnar

Koper, september 2014

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Iza PETEK STROZAK

Naslov magistrskega dela: Vrednotenje okoljskih vplivov proizvodnje papirja skladno s standardom ISO 14025 v papirnici v Bío Bío regiji v Čilu

Kraj: Koper

Leto: 2014

Število listov: 71

Število slik: 15

Število preglednic: 7

Število referenc: 48

Mentor: doc. dr. Andreja Kutnar

UDK: 676.8:502.1(83)(043.2)

Ključne besede: Papirnica, analiza življenjskega cikla, okoljski vplivi

Izveček:

Papirna industrija igra pomembno vlogo v gospodarstvu Čila, hkrati pa ima vpliv na okolje. Vpliv na okolje čilanske papirnice smo ovrednotili z analizo življenjskega cikla petih vrst papirja, ki se razlikujejo glede na vrsto celuloze. Glavni cilj raziskave je bil preučiti vplive parametrov proizvodnje na okoljske lastnosti papirjev. Podrobno smo analizirali naslednje vplive na okolje: acidifikacija, eutrofikacija, globalno segrevanje (GWP 100), tanjšanje ozonskega plašča (ODP) in fotokemična oksidacija. Rezultati so pokazali, da je imel izdelek M največji vpliv na štiri izbrane vplive na okolje, predvsem zaradi vpliva transporta vhodnih surovin.

Key words documentation

Name and SURNAME: Iza PETEK STROZAK

Title of master thesis: Evaluation of the environmental impacts of paper production in accordance with ISO 14025 in the paper mill in the Bío Bío, Chile

Place: Koper

Year: 2014

Number of pages: 71

Number of figures: 15

Number of tables: 7

Number of references: 48

Mentor: Assist. Prof. Andreja Kutnar, PhD

UDK: 676.8:502.1(83)(043.2)

Keywords: Papermill, life cycle analysis, environmental impacts

Abstract:

Pulp and paper industry plays an important role Chile, but also significant contributor to Chilean environmental impacts. In order to assess the environmental impact of a Chilean paper mill, a life cycle analysis was performed on five types of paper, which differ in the pulp type. The main goal of the study was to assess the effect of operating conditions on the environmental performance of these papers. Five most important environmental impacts were analysed in detail: acidification, eutrophication, global warming (GWP 100), ozone layer depletion (ODP), and photochemical oxidation. The results showed that product M had the highest impact in four categories of environmental impact, primarily due to the impact of the transport of raw materials.

Zahvala

Za strokovno pomoč, moralno podporo in omogočanje nepozabne izkušnje v strokovnih inštitucijah v Čilu in Združenih državah Amerike se najlepše zahvaljujem svoji požrtvovalni mentorici doc. dr. Andreji Kutnar.

Prav tako se zahvaljujem dr. Claudiu Zarrorju in Mabel Vega iz Univerze Concepcion in vsem sodelavcem na inštitutu Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) za vso podporo pri raziskavi. Za podatke, uporabljene pri tej raziskavi, se zahvaljujem čilenski papirnici.

Za delno subvencioniranje raziskave se zahvaljujem Javnemu skladu Republike Slovenije za razvoj kadrov in štipendije.

Zasluga gre tudi prof. Klavdiji Jug, Splošna gimnazija Velenje, ki mi je že v srednješolskih letih vzbudila ljubezen do naravoslovnih ved.

Posebna zahvala gre moji mami Tani in moji partnerki Mateji ter vsem prijateljem, ki so mi stali ob strani.

Kazalo vsebine

1	UVOD	1
1.1	ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA.....	4
1.1.1	Zgodovina analize življenjskega cikla.....	4
1.1.2	Osnove analize življenjskega cikla.....	6
1.1.2.1	Opredelitev cilja in obseg študije.....	8
1.1.2.1.1	Funkcionalna enota.....	9
1.1.2.1.2	Meje sistema.....	10
1.1.2.1.3	Stopnje obsega študije.....	10
1.1.2.2	Inventar življenjskega cikla.....	13
1.1.2.2.1	Razpoložljivost in kvaliteta podatkov.....	13
1.1.2.2.2	Metodologija inventarja.....	13
1.1.2.2.3	Vrednotenje rezultatov inventarja.....	15
1.1.2.3	Vrednotenje vplivov.....	15
1.1.2.3.1	Klasifikacija.....	16
1.1.2.3.2	Karakterizacija.....	16
1.1.2.3.3	Normalizacija.....	17
1.1.2.4	Interpretacija rezultatov.....	18
1.1.3	Omejitve analize življenjskega cikla.....	18
1.2	MEDNARODNI STANDARDI.....	19
1.2.1	Prednosti mednarodnih standardov.....	20
1.2.2	ISO 14000.....	21
1.2.2.1	ISO 14025 Tip III.....	21
1.2.2.2	Okoljske deklaracije.....	22
1.2.2.2.1	Pravila kategorij proizvodov.....	25
1.3	PROIZVODNJA CELULOZE IN PAPIRJA.....	27
1.3.1	Proces pridelovanja celuloze in papirja.....	28
1.3.1.1	Priprava celulozne kaše.....	28
1.3.1.1.1	Razpad celuloznih vlaken.....	28
1.3.1.1.2	Razvlaknjenje.....	29
1.3.1.1.3	Mletje.....	30
1.3.1.1.4	Dodajanje mešanice različnih dodatkov.....	31
1.3.1.1.5	Čiščenje.....	32
1.3.1.2	Oblikovanje papirja.....	32
1.3.1.3	Mokro stiskanje.....	33
1.3.1.4	Sušenje.....	34
1.3.1.5	Prevlačenje.....	35
1.3.1.6	Zaključna faza.....	35
1.3.1.6.1	Nanos na sušilne valje in glajenje.....	35
1.3.1.6.2	Proces navijanja.....	36
1.3.1.6.3	Rezanje.....	37
1.3.2	Recikliranje papirja.....	37
1.4	VPLIVI PROIZVODNJE CELULOZE IN PAPIRJA NA OKOLJE.....	38
1.4.1	Poraba lesa.....	39
1.4.2	Poraba vode in emisije odpadnih vod.....	39

1.4.3	Emisije v ozračju	40
1.4.4	Trdni odpadki.....	41
1.4.5	Uporaba kemikalij.....	42
1.4.6	Uporaba energije.....	42
1.4.7	Hrup.....	42
2	MATERIALI IN METODE	44
2.1	MATERIALI	44
2.2	METODE.....	45
2.2.1	Cilj in obseg študije.....	46
2.2.2	Inventar življenjskega cikla.....	46
3	REZULTATI	51
3.1	VPLIVI NA OKOLJE PRI PROIZVODNJI IZBRANIH IZDELKOV	51
3.1.1	Acidifikacija	53
3.1.2	Evtrofikacija	55
3.1.3	Potencial globalnega segrevanja	57
3.1.4	Tanjšanje ozonskega plašča.....	59
3.1.5	Fotokemična oksidacija	61
3.2	OMEJITEV ANALIZE ŽIVLJENJSKEGA CIKLA	63
4	DISKUSIJA.....	64
5	LITERATURA	68

Kazalo preglednic

Preglednica 1:	Izbrani izdelki z njihovo največjo proizvedeno količino	44
Preglednica 2:	Glavne surovine za proizvodnjo ene tone izdelka.....	45
Preglednica 3:	Poraba zemeljskega plina, dizla in lesnih sekancev za proizvodnjo ene tone izdelka	48
Preglednica 4:	Poraba dodatkov za proizvodnjo ene tone izdelka	49
Preglednica 5:	Vsebnost emisij v zrak za proizvodnjo ene tone izdelka	50
Preglednica 6:	Količina trdnih komunalnih odpadkov in toplote kot emisija v vodo za proizvodnjo ene tone izdelka.....	50
Preglednica 7:	Prikaz rezultatov analize življenjskega cikla za vse izbrane izdelke	52

Kazalo slik

Slika 1:	Stopnje življenjskega cikla	7
Slika 2:	Ključni koraki pri analizi LCA	9
Slika 3:	Vzorčne stopnje življenjskega cikla.....	12
Slika 4:	Koraki priprave PCR.....	26
Slika 5:	Razpuščevalnik	29
Slika 6:	Prikaz dveh diskov za mletje	30
Slika 7:	Prikaz stiskanja papirja s klobučevino med rolami.....	33
Slika 8:	Navijalni stroj s posameznim postopkom navijanja	36
Slika 9:	Dvojni navijalni stroj	36
Slika 10:	Vhodni in izhodni podatki proizvodne papirnih izdelkov	47
Slika 11:	Skupen vpliv na acidifikacijo in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka	53
Slika 12:	Skupen vpliv na evtrofikacijo in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka	56
Slika 13:	Skupen vpliv na potencialno globalno segrevanje in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka	58
Slika 14:	Skupen vpliv na tanjšanje ozonskega plašča in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka	60
Slika 15:	Skupen vpliv na fotokemično oksidacijo in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka	62

Seznam kratic

EPA	Agencija za varstvo okolja Združenih držav Amerike (ang. United States Environmental Protection Agency)
EPD	Okoljska deklaracija (ang. Environmental Product Declaration)
ISO	Mednarodna organizacija za standardizacijo (ang. The International Organization for Standardization)
IPPC	Preprečevanje in nadzor onesnaževanja (ang. Integrated Pollution Prevention and Control)
LCA	Analiza življenjskega cikla (ang. Life Cycle Assessment)
LCI	Inventar življenjskega cikla (ang. Life Cycle Inventory)
LCIA	Vrednotenje vplivov (ang. Life Cycle Impact Assessment)
OECD	Organizaciji za gospodarsko sodelovanje in razvoj (ang. Organisation for Economic Co-operation and Development)
PCR	Pravila kategorije proizvodov (ang. Product Category Rules)
SETAC	Društvo za okoljsko toksikologijo in kemijo (ang. Society of Environmental Toxicology and Chemistry)
UNEP	Program Združenih narodov za okolje (ang. United Nations Environmental Programme)
USD	Ameriški dolar (ang. United States Dollar)

1 UVOD

Ljudje stremimo k izboljšanju kvalitete okolja. Z ozaveščanjem ljudi o pomembnosti ohranjanja kar se da čistega okolja, se je povečalo zanimanje za preprečevanje negativnih vplivov na okolje.

Proizvodnja papirja in celuloze povzroča velik delež onesnaževanja. Z analizo proizvodnih procesov in njihovih vplivov na okolje lahko zmanjšamo vplive proizvodnje na okolje ali pa vsaj predvidimo, kolikšen vpliv na okolje bo imel nov proizvodni postopek, ki ga šele uvajamo.

Presoja vplivov proizvodnje na okolje je v današnjem času toliko bolj pomembna zato, ker se v razvitih državah in v državah v razvoju povečujejo ekonomske potrebe prebivalstva in s tem proizvodnja dobrin. Posledično se drastično manjšajo zaloge neobnovljivih virov energije, kar pomeni, da postajajo ti s tem tudi vedno dražji in manj dostopni. Cena izrabe neobnovljivih virov energije pa je tudi degradacija okolja, ki prav tako slabi gospodarstvo.

Ker je zaloga neobnovljivih virov omejena in se dražijo ter njihova izraba negativno vpliva na okolje, so se v proizvodnji pričeli v večjem obsegu izkoriščati obnovljivi viri energije. Med obnovljive vire energije, katerih uporaba je najbolj razširjena, sodi les. Les ima široko uporabnost. Uporablja se tako v pohištveni industriji, energetiki, izdelavi celuloze in papirja in gradbeništvu. Prednost lesa je, da gre za naravni material, ki skladišči ogljik in s tem pozitivno vpliva na okolje, pri sežigu pa tvori manjši izpust toplogrednih plinov v okolje kot preostala klasično uporabljana goriva (npr. premog, olje, ipd.).

Les kot obnovljiv vir energije igra pomembno vlogo v lokalnem gospodarstvu Čila, države, ki tvori makrookolje raziskave te magistrske naloge. Magistrska naloga se namreč koncentrira na mikroaspekt čilanskega gospodarstva, to je proizvodnja papirja ene izmed papirnic v Čilu. Da bi bolje razumeli mikroaspekt raziskave, je treba predstaviti širše okolje raziskave. Republika Čile je obmorska država ob jugozahodni obali Južne Amerike. S površino 756.950 km² je 37. država na svetu. Industrija je v Čilu pretežno v rokah lokalnega prebivalstva in koncentrirana v regijah v bližini velikih mest Santiaga, Valparaisa in Conceptiona. Upravno se Čile deli na petnajst regij, ena izmed regij je regija Bío Bío, v kateri se nahaja papirnica, ki je predmet obravnavane raziskave. Industrija je v Čilu pretežno v rokah lokalnega prebivalstva. Veliki industrijski obrati so koncentrirani v bližini velikih mest, v regiji Bío Bío v bližini mesta Conception. V Čilu se je bistveno povečal izvoz. V letu 2002 so izvozili za 18,2 milijardi USD, štiri leta kasneje pa se je izvoz povečal na 58,1 milijarde USD. Čile najpogosteje izvažava v

Združene države Amerike, na Japonsko in Kitajsko. Glavni izvozni produkti so baker, sadje, ribe, kemikalije, vino ter celuloza in papir. Danes se večja podjetja v Čilu želijo prebiti na tuje trge tudi z izvozom storitev (proizvodnja električne energije), izdelkov, ki trenutno še niso glavni izvozni produkti (celuloza in papir) in naravnih virov (gozdarstvo). Njihove naložbe so po večini osredotočene na ostale države Južne Amerike (Chile: Phase 2 2007).

Gozdarstvo igra pomembno vlogo v lokalnem gospodarstvu Čila. Državo pokriva približno 21,5 % gozda, kar znaša 16,2 milijona hektarjev (Raga 2009). Prav zaradi tega igra gozdarstvo pomembno vlogo v lokalnem gospodarstvu Čila, saj predstavlja 13% vrednosti celotnega izvoza države. Zemljišča, ki so bila v preteklosti degradirana, so pogozdili. Danes gozdne plantaže predstavljajo 14% pogozdenih površin, ostalo je naravni gozd (Raga 2009). Na gozdnih plantažah prevladujeta dve plantažni drevesni vrsti, bor (*Pinus radiata*) in evkaliptus (*Eucalyptus globulus*). Bor je z 64% prevladujoča plantažna drevesna vrsta (CORMA 2005). Omenjeni plantažni drevesni vrsti se v večini uporabljajo kot surovine za proizvodnjo celuloze in papirja. Izvoz celuloze je v letu 2010 presegel 4,4 milijon ton. Podobno količino izvoza so v istem letu dosegli tudi papirni izdelki. Sama proizvodnja celuloze in papirja predstavlja pomemben delež v industriji, saj zagotavlja kapital in delovna mesta. Vendar ima papirna industrija tudi velik vpliv na okolje z uporabo vode, kemikalij, goriva in energije med samim procesom izdelave papirnih izdelkov. V preteklosti je industrija celuloze in papirja onesnaževala okolje z emisijami v vodi, zraku in v tleh ter porabljala velike količine energije. V zadnjih štirih desetletjih je pri proizvodnji papirja poudarek na kemičnem beljenju (IPPC 2001). Kemikalije prav tako kot emisije negativno vplivajo na okolje.

Proces pridelave celuloze in papirja je razdeljen na več faz. Glavna sestavina pri pridelavi celuloze in papirja je les. Tega predelajo in ustrezno prečistijo ter pripravijo celulozno kašo. Pri pripravi celulozne kaše razpadejo celulozna vlakna, kaša se prečisti in doda se mešanica različnih dodatkov. Po pripravi celulozne kaše se oblikujejo listi z preoblikovanjem prostornine razredčenih vlaknin v širok in enoten laminat, ki se kasneje pretvori v papir. Oblikovanju listov sledi mokro stiskanje. S pomočjo niza elementov, ki odstranjujejo vodo, se odstrani del vode v papirju. Preostala voda se s toploto odstrani v fazi sušenja. Papir preide iz faze sušenja v fazo prevlačenja, kjer se izboljša kakovost površine primerne za tisk. V zaključni fazi se papir namesti na sušilne valje. Nekatere vrste papirja morajo iti skozi postopek glajenja, ki jim izboljša sijaj in tiskarske lastnosti papirja (About paper - Paper Manufacturing 2008).

Predmet raziskovalnega dela je bila papirnica, ki je locirana v neposredni bližini reke Bío Bío. Papirnica je začela delovati v drugi polovici 20. stoletja. Danes papirnica s pomočjo moderne tehnologije in z visoko usposobljenimi delavci pridelava več kot 125.000 ton

papirnih izdelkov. Glavni proizvod je časopisni papir, izdelujejo pa tudi revije, letake, telefonske imenike in knjige. Približno 45% njihove proizvodnje je namenjene za domači trg, ostalih 55% papirnih izdelkov pa izvažajo v druge Južnoameriške države, predvsem v Argentino, Peru, Bolivijo, Ekvador, Kolumbijo in Paragvaj. Papirnica prideluje papirne izdelke z dvema papirnima strojema. Največji stroj ima letno zmogljivost 120.000 ton papirja, stroj za posebne vrste tiskanega papirja pa 5.000 ton. Papirnica ima tudi različne certifikate. V letu 1994 so pridobili certifikat ISO 9001 (mednarodni standard za vodenje kakovosti), v letu 2003 certifikat ISO 14001 (mednarodni standard za upravljanje z okoljem), v letu 2004 certifikat OHSAS 18001 (mednarodni standard za upravljanje zdravja in varnosti), v letu 2008 certifikat CERTFOR (certificiranje lesa s pridobljenimi izdelki) in v letu 2012 certifikat ISO 50001 (mednarodni standard za upravljanje z energijo).

Čile se je priključil Organizaciji za gospodarsko sodelovanje in razvoj (ang. Organisation for Economic Co-operation and Development, v nadaljevanju OECD) v letu 2010. OECD je mednarodna gospodarska organizacija razvitih držav, ki jo vodijo načela svobodnega trga in predstavniske demokracije. Omenjena gospodarska organizacija sledi trajnostnem razvoju in dobri praksi za zmanjšanje emisij v okolje. OECD je med drugimi za obveščanje o okoljskih vplivih v skladu z mednarodnimi standardi prosil tudi čilensko proizvodnjo za celulozo in papir. Papirnice v Čilu zaradi pomanjkanja študij z analizami življenjskega cikla težko zagotavljajo vse potrebne informacije.

Namen naše raziskave je bil preučiti okoljske vplive z analizo življenjskega cikla pri procesu pridelave celuloze in proizvodnje papirja v papirnici v regiji Bío Bío. Raziskovanje predstavljene tematike je slonelo predvsem na naslednjih hipotezah:

- Pridelava celuloze in proizvodnja papirja sta energetska potratna procesa in vključujeta veliko porabe vode.
- V proizvodnji celuloze in papirja nastajajo odpadki, ki imajo lahko negativni vpliv na okolje ob nepravilnem ravnanju z njimi.
- Zaradi energetske potratnosti, rabe vodnih virov in nastalih odpadkov ima proizvodnja papirja lahko velik, tudi negativni, vpliv na okolje.
- Analiza LCA je primerno orodje, s katerim lahko objektivno ovrednotimo različne okoljske vplive proizvodnje papirja.
- Na podlagi analize LCA lahko identificiramo operacije oziroma faze proizvodnje papirja z največjim doprinosom k okoljskim vplivom papirja oziroma proizvodnje papirja.

1.1 ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA

S širjenjem okoljevarstvene zavesti in sledenje trendu varovanja okolja so bile izdelane številne metode, s katerimi se ugotavlja vpliv proizvodnje in izdelkov na okolje. Proizvodnje s svojimi dejavnostmi različno vplivajo na okolje. Za primerjavo med izdelki je treba objektivno ovrednotiti posamezne vplive. Objektivno vrednotenje naredimo zato, da identificiramo kritične točke in peljemo razvoj v smer zmanjševanja vplivov na okolje. Med najbolj uporabnimi metodami je analiza življenjskega cikla.

Analiza življenjskega cikla (ang. Life Cycle Assessment, v nadaljevanju: analiza LCA) je analitično orodje za sistematično objektivno vrednotenje vseh bistvenih vplivov, ki jih imajo posamezni izdelki, storitve ali subjekti na okolje v svojem življenjskem ciklu. Namen analize LCA je optimizirati dizajn, proizvodne in tržne postopke ter izbiro materiala tako, da so poraba energije, vode in drugih virov ter emisije škodljivih snovi v okolje čim manjši (ISO 14040 2006). Analiza LCA je metodologija, ki navedeno presoja na celovit in pregleden način na podlagi dejstev in strokovnega znanja. Skladno s standardom ISO 14040 (2006), analiza zajema štiri korake življenjskega cikla. Ti koraki so: opredelitev cilja in obsega študije, pridobivanje podatkov, modeliranje in interpretacija rezultatov (ISO 14040 2006).

Pri razvoju novih procesov in izdelkov je pri posameznem izdelku treba upoštevati razmerje med procesi, lastnosti izdelkov in vplivi na okolje. Mednarodni standard ISO 14025 je bil uveden, da bi zagotovili primerljivo okoljsko učinkovitost med proizvodi (ISO 14025 2006). Ta standard opisuje postopke, ki so potrebni, da se pripravi okoljska deklaracija (ang. Enviromantal Product Decleration, v nadaljevanju EPD) za določen proizvod. Za EPD se uporabljajo pravila kategorij proizvodov (ang. Product Category Rules, v nadaljevanju PCR). PCR opredeljujejo meje sistema in indikatorje vplivov na okolje, ki jih analiza LCA določi. Na podlagi PCR se interpretirajo rezultati analize LCA, da so lahko primerljivi rezultatom analize LCA enake skupine proizvodov.

Z analizo LCA lahko analitiki pridobijo sistematično vrednotenje okoljskih posledic, povezanih z določenim proizvodom (Life cycle assesment 2006). Prav tako se analizirajo kompromisne rešitve za okolje, z enim ali več izbranimi specifičnimi izdelki ali procesi. Analiza LCA lahko vključuje primerjavo okoljskih vplivov med obstoječimi izdelki ali novo nastalimi izdelki oziroma s prototipi še neizdelanih izdelkov (Guinée in sod. 2002).

1.1.1 Zgodovina analize življenjskega cikla

Prve študije življenjskega cikla (ang. Life Cycle Assessment, v nadaljevanju: analiza LCA) proizvodov so nastale v poznih šestdesetih in zgodnjih sedemdesetih letih

dvajsetega stoletja (Jensen in sod. 1997). Poudarek raziskovalnih vprašanj je bil na energetski učinkovitosti, porabi surovin in odstranjevanju odpadkov. Leta 1969 je podjetje Coca Cola financiralo študijo, v kateri so proučevali uporabo virov iz okolja, povezanih z nastalo embalažo pijače (Jensen in sod. 1997).

Od metodoloških začetkov analize LCA v osemdesetih letih prejšnjega stoletja do danes je bilo razvitih več metodologij, ki na različne načine klasificirajo, karakterizirajo in normalizirajo vplive na okolje. Medtem ko je bil na začetku razvoja analize LCA velik poudarek na okoljskih vplivih zaradi porabe energije, so v zadnjih letih prevladujoča tema odpadki in emisije. Po naftni krizi leta 1973 je prioriteta analize v zvezi z porabo energije upadla, zanimanje za analizo LCA pa se je nadaljevalo na preostalih kritičnih področjih (Jensen in sod. 1997). Splošen porast zanimanja za analizo LCA pa se je začel v začetku devetdesetih let.

Zaradi neobjektivne uporabe analize LCA, so v Združenih državah Amerike prepovedali uporabo rezultatov analiz LCA za promocijo izdelkov, saj takrat še niso razvili enotne metode za ocenjevanje in interpretacijo rezultatov (Life cycle assesment 2006). Za zagotavljanje primerljivosti in kakovosti študij analize LCA je Mednarodna organizacija za standardizacijo izdala skupino standardov ISO 14040 (2006). V standardu z zaporedno številko ISO 14044 (2006) so opredeljene zahteve in podana navodila, kako izdelati analizo LCA.

Na konferenci Združenih narodov o okolju in razvoju leta 1992 v Rio de Janeiro, je bilo zavzeto skupno stališče, da je metodologija življenjskega cikla novo obetavno orodje za vrednotenje vplivov na okolje. Prišlo je do razvoja programske opreme in posledično do širše uporabe analize LCA. Kljub temu še danes ostajajo številne težave, ki so odvisne od stroke same, kot so kompleksnost številnih metodologij in procesov, visoki stroški in dolgoročne časovne lestvice, pomanjkanje mednarodnih standardov in težko preverljiva kakovost uporabljenih podatkov (Jensen in sod. 1997).

Osupljivo je, da je velik delež interesa za računanje vplivov na okolje, prišel prav iz industrijskega sektorja. Rezultati analize igrajo namreč ključno vlogo pri odločitvah glede naročil, zaradi konkurenčnosti podjetij. O analizi so razpravljali strokovnjaki za zaprtimi vrati in v laboratorijih za raziskave ter razvoj, takrat še brez upoštevanja mnenja širše javnosti (Jensen in sod. 1997). Kasneje se je trend spremenil in pokazala se je večja potreba za komuniciranje z javnostjo zaradi velikega vpliva analize LCA na prihodnost.

Leta 2002 se je pričelo mednarodno sodelovanje na področju analize LCA, ko sta Program Združenih narodov za okolje (ang. United Nations Environmental Programme - UNEP) in Društvo za okoljsko toksikologijo in kemijo (ang. Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC) združila moči in sprožila pobudo za analizo LCA z mednarodnim partnerstvom (Life cycle assesment 2006). Mednarodno sodelovanje je

privedlo do kvalitetnejših in popolnejših informacij, s pomočjo katerih so se izboljšala orodja analize LCA.

1.1.2 Osnove analize življenjskega cikla

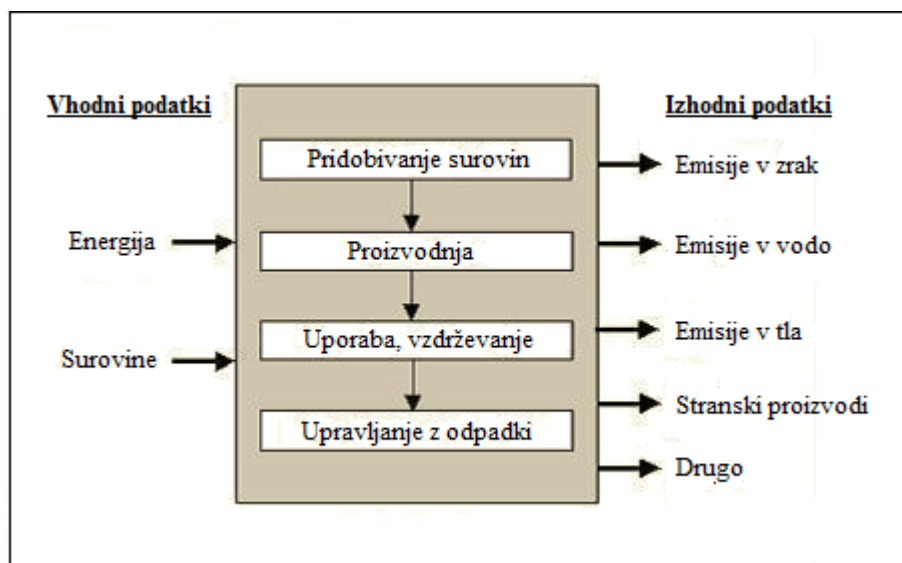
Analiza življenjskega cikla je analitično orodje za sistematično objektivno vrednotenje vseh bistvenih vplivov, ki jih ima izdelek, storitev ali subjekt na okolje v svojem življenjskem ciklu. Namen analize LCA je optimizirati dizajn, proizvodne in tržne postopke ter izbiro materiala tako, da so poraba energije, vode in drugih virov ter emisije škodljivih snovi v okolje čim manjši (ISO 14040 2006). Analiza LCA je metodologija, ki to presoja na celovit in pregleden način na podlagi dejstev in strokovnega znanja.

Analiza LCA je orodje za analizo obremenitev okolja proizvodov v vseh fazah njihovega življenjskega cikla - pridobivanje sredstev, proizvodnja surovin, uporaba izdelka, upravljanje in odstranjevanje odsluženih izdelkov z recikliranjem oz. ponovno uporabo materialov ali odlaganjem na odpad (Guinée in sod. 2002).

V analizi LCA poznamo več različic, slednje so najpogostejše (DuPont Packaging Graphics 2008):

- *Od zibelke do groba (ang. Cradle-to-grave)*: je analiza, ki spremlja proizvodnjo izdelka od začetka nastanka do konca njegove življenjske dobe.
- *Od zibelke do izhoda (ang. Cradle-to-gate)*: je analiza delnega življenjskega cikla od proizvodnje (»zibelke«) do vrat tovarne, preden pride do uporabnika ali potrošnika. Pogosto je ta različica osnova za okoljske deklaracije proizvodov.
- *Od zibelke do zibelke (ang. Cradle-to-cradle)*: je oblikovana analiza, ki se zavzema za odpravo odpadkov z recikliranjem materiala, namesto odlaganja. Je metoda za zmanjševanje vpliva izdelkov na okolje z uporabo trajnostne proizvodnje, delovanja in načini odstranjevanja.

Analiza LCA zagotavlja celovit pregled nad okoljskimi vplivi izdelka ali procesa v celotnem življenjskem ciklu proizvoda. Analiza LCA omogoča oceno kumulativnih vplivov na okolje, ki izhajajo iz vseh faz, vključno s posledicami (npr. pridobivanje surovin, prevoz materiala, odstranitev izdelka, itd.) (Life Cycle Assessment 2006). Izraz »življenjski cikel« se nanaša na glavne dejavnosti; od njegove izdelave, uporabe in vzdrževanja, do končnega odlaganja, vključno s surovinami potrebnimi za izdelavo izdelka (Life cycle assesment: Principles and practice 2006). Možne stopnje življenjskega cikla, ki jih vključuje analiza LCA ter značilni vhodi in izhodi obravnavanega sistema so predstavljene na sliki 1.



Slika 1: Stopnje življenjskega cikla (EPA 2014)

Glavni nameni analize LCA so (Guinée in sod. 2002):

- analiza izvora težav, povezanih z določenim proizvodom;
- primerjava različnih verzij proizvoda;
- oblikovanje novih proizvodov;
- številčnejša izbira med proizvodi.

Obremenitev okolja zajema vse vplive na okolje, vključno emisije nevarnih snovi, pridobivanje različnih vrst virov ter rabe različnih vrst zemljišč. Izraz proizvod oz. izdelek analize je uporabljen v najširšem pomenu besede. Vključuje materialne dobrine, kot tudi storitve na operativni in strateški ravni. V primerjalnih študijah analize se primerja funkcija izdelka (Guinée in sod. 2002).

Skladno s standardom ISO 14040 (2006), analiza zajema štiri korake življenjskega cikla (Life Cycle Assessment 2006), ki so predstavljeni na sliki 2:

1. *Oprelitev cilja in obsega študije* - Definicija in opis izdelka, procesa ali dejavnosti. Določijo se meje sistema oz. obseg študije ter vplivi na okolje, katere želimo ovrednotiti. Oprede se tudi funkcionalna enota, enoto na katero so preračunajo okoljski vplivi.
2. *Pridobivanje podatkov (inventar)* - Zberejo se dve skupini podatkov. Kvalitativni podatki o uporabljenih materialih, porabljeni energiji in emisijski faktorji, povezani z uporabljenimi materiali in energetskimi potrebami.

3. *Modeliranje* - Modeliranje pomeni grupiranje podatkov (npr. material / proces x njegov emisijski faktor) za vsako stopnjo in podstopnjo. Ker je podatkov ponavadi zelo veliko in je potrebno v vsakem koraku zagotavljati masno bilanco materialov, se modeli oblikujejo v obliki podsistemov in mrež. Uporaba napredne programske opreme omogoča poenostavljeno natančno sledenje vsem materialnim tokovom skozi življenjski cikel ter dosledno klasifikacijo in kategorizacijo podatkov - oceniti moramo morebitne človeške in ekološke učinke uporabe energije, vode in surovin, ki so opredeljeni v analizi inventarja.
4. *Interpretacija rezultatov* - Ovrednotenje rezultatov analize, s katerimi pridobimo informacijo o zelenem izdelku, procesu ali dejavnosti.

1.1.2.1 Opredelitev cilja in obseg študije

Prvi korak analize LCA je opredelitev cilja in opredelitev obsega študije. Z opredelitvijo cilja in obsega študije se določi delovni načrt analize LCA.

Cilj raziskave se oblikuje na način, da se določijo: ciljna skupina analize, predvidena uporaba rezultatov in natančno vprašanje raziskave. Pri obsegu študije se opredeli njen časovni, geografski in tehnološki obseg ter stopnja poglobljenosti študije glede na zastavljeni cilj raziskave. V prvem koraku analize so raziskovani izdelki oziroma procesi opisani kot funkcija, funkcionalna enota ali referenčni tokovi (Guinée in sod. 2002).

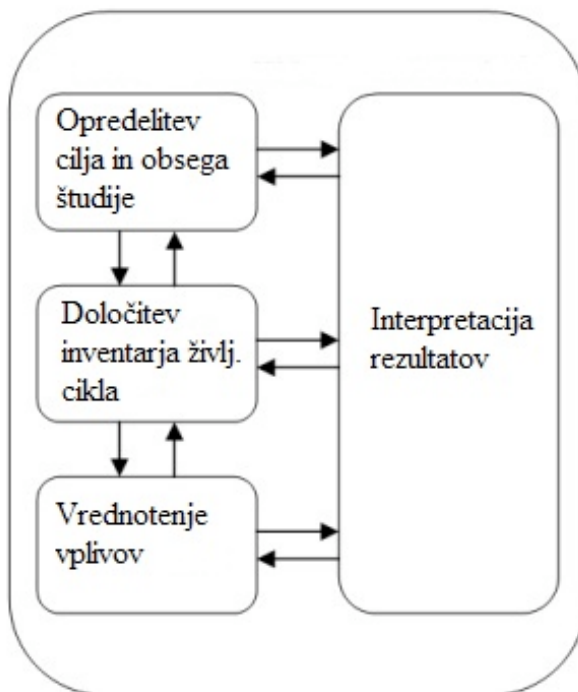
ISO 14044 (2006) navaja, da je pri opredelitvi cilja pomembno, da se določi, kakšen je namen raziskave in razlog za izvedbo študije. Treba je predvideti ciljno skupino, kateri želimo posredovati rezultate študije in predvideti, kateri rezultati so namenjeni širši javnosti.

Ko določamo obseg analize LCA, morajo biti jasno opisane naslednje postavke (ISO 14044 2006):

- Sistem proizvoda
- Funkcija sistema proizvoda, v primeru primerjalnih študij
- Funkcionalna enota
- Meje sistema
- Postopki dodeljevanja
- Metodologija vrednotenja vplivov in vrsta vplivov
- Interpretacija in predpostavke
- Omejitve analize LCA
- Kakovost podatkov

- Kritični pogled, če obstaja
- Vrsta in format poročila

Guinée in sod. (2002) omenjajo, da rezultati cilja in obseg študije sestavljajo jasno specifikacijo cilja študije, funkcionalne enote in referenčnih tokov. Od opredelitve obsega študije so odvisne odločitve o naslednjih fazah analize LCA. Ti rezultati predstavljajo input za naslednjo fazo analize LCA, in sicer določitev inventarja življenjskega cikla.



Slika 2: Ključni koraki pri analizi LCA (ISO 14040 2006)

Analiza LCA zajema vse procese izdelave izdelka oziroma izvedbe procesa ali storitve, ti pa se začnejo s pridobivanjem surovin in proizvodnjo za izdelavo potrebne energije ter upošteva vse procese do konca življenjskega cikla izdelka (Life Cycle Assessment 2006). Kadar imamo dve ali več alternativ za izdelavo posameznega izdelka oziroma izvedbo procesa ali storitve, takrat lahko analiza LCA pomaga pri izbiri ustrežnejšega izdelka, procesa ali storitve.

1.1.2.1.1 Funkcionalna enota

Funkcionalna enota opisuje primarno funkcijo izdelka in omogoča, da se različni izdelki obravnavajo kot enakovredni. Funkcije izdelka morajo biti opredeljene na končno uporabo izdelka, odvisno od cilja in obsega študije, standardov ali priporočene uporabe

referenčnih tokov. Velikost funkcionalne enote izberemo poljubno glede na izdelek (Guinée in sod. 2002). Funkcionalna enota mora biti skladna s ciljem in obsegom študije. Eden glavnih namenov funkcionalne enote je zagotovitev normaliziranih vhodnih in izhodnih podatkov v matematičnem smislu. Omenjena enota mora biti jasno opredeljena in merljiva. Izdelke primerjamo na podlagi iste funkcije ali iste funkcionalne enote v obliki referenčnih tokov. Kot alternativa se lahko sistemu dodajo meje drugega sistema, da bi bili sistemi bolj primerljivi med seboj (ISO 14044 2006). V takšnih primerih je treba izbrane postopke pojasniti in dokumentirati.

1.1.2.1.2 Meje sistema

Meje sistema določijo, katere enote procesa se vključujejo v analizo LCA. Določimo jih v skladu s ciljem študije. Izbris faze v ciklu, procesov, vhodnih in izhodnih podatkov je dovoljen le, če se zaključek študije bistveno ne spremeni. Vsako odločitev za opustitev določene faze življenjskega cikla je treba jasno opredeliti, dodati razloge zanjo in njene morebitne posledice (ISO 14044 2006).

Meje prvotnega sistema določajo dogajanje znotraj sistema (Jensen in sod. 1997). V idealnem primeru mora biti sistem oblikovan na takšen način, da so v analizi obdelani vsi vhodni in izhodni podatki. Vendar iz praktičnega vidika običajno ni nikoli dovolj časa, podatkov ali virov za izvedbo tako obsežne študije.

Potrebni sredstev za izdelavo študije ni smotno porabiti za izmero manjših in zamerljivih vhodnih in izhodnih podatkov, ki ne bi bistveno spremenili splošne ugotovitve študije. Določiti je treba kateri izpusti bodo podrobno opisani v analizi. Pravila, ki odločajo o izbiri vhodnih in izhodnih podatkov, morajo biti jasno opredeljena (Jensen in sod. 1997). Stopnja tajnosti podatkov naročnika je edino merilo pri odločanju sistemskih mej, pri kateri niso ogroženi rezultati študije.

1.1.2.1.3 Stopnje obsega študije

Program Združenih narodov za okolje (UNEP) in Društvo za okoljsko toksikologijo in kemijo (SETAC) sta določila štiri glavne faze oz. stopnje metode življenjskega cikla (slika 3) (Life cycle assesment 2006):

- Pridobivanje surovin
- Proizvodnja
- Uporaba, vzdrževanje
- Recikliranje, upravljanje z odpadki

Pridobivanje surovin:

Življenjski cikel izdelka se začne s pridobivanjem surovin. V tej fazi je vključen tudi transport surovin iz točke oddaje na točko prevzema (Life cycle assesment 2006).

Proizvodnja:

V fazi proizvodnje se surovine preoblikujejo v izdelek. Končni izdelek se nato dobavi potrošniku. Faza proizvodnje je sestavljena iz treh korakov: izdelava materialov, izdelava izdelka ter polnjenje, embalaža in distribucija (Life cycle assesment 2006).

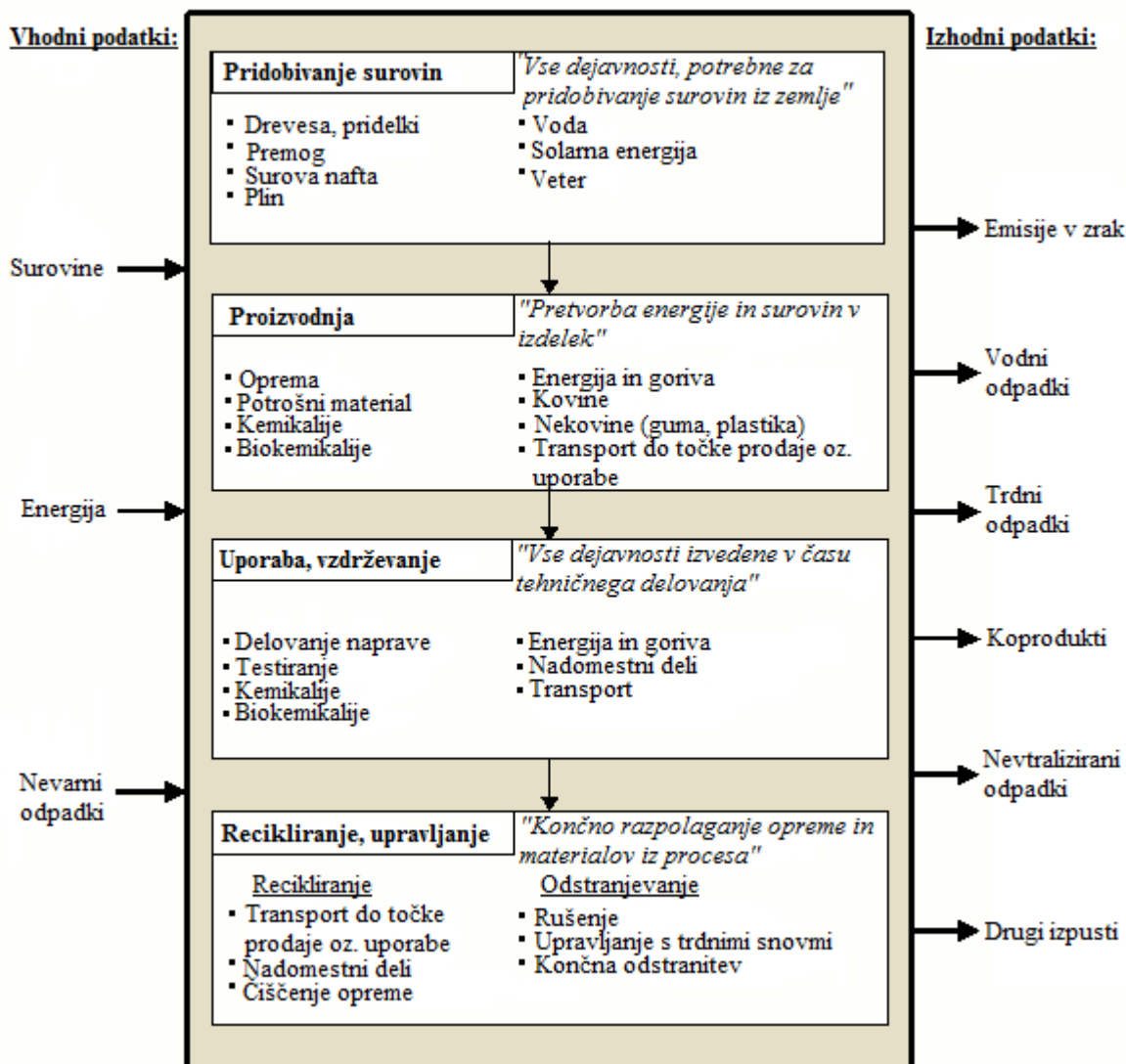
Pri izdelavi materialov so v proizvodnjo vključene aktivnosti, ki pretvarjajo surovine v obliko končnega izdelka (Life cycle assesment 2006). Izdelava končnega izdelka zajema vse procese izdelave izdelka in gradiva za njegovo uporabo ter pakiranje izdelka za nadaljnji transport. Pri polnjenju, embaliranju in distribuciji se izdelek pripravi za transport. Ta korak vključuje vse proizvodne in transportne dejavnosti, ki so potrebne za distribucijo končnega izdelka. Izdelki se dostavijo v trgovine ali neposredno k potrošniku. Ta faza vsebuje vplive na okolje s transportom, predvsem z ladjami in tovornjaki.

Uporaba, vzdrževanje:

Ta faza vključuje dejansko uporabo izdelka pri potrošniku in vzdrževanje proizvoda. Ko izdelek doseže potrošnika, so nadaljnje dejavnosti povezane z življenjsko dobo proizvoda vključene v fazo uporabe in vzdrževanja. Omenjena faza vključuje med drugim potrebo izdelka po energiji in odpadke, povezane z uporabo in vzdrževanjem izdelka (Life cycle assesment 2006). Izdelek se lahko po potrebi obnovi, da ohrani svojo zmogljivost. Po koncu dobe izdelka, se lahko izdelek bodisi reciklira bodisi odstrani.

Recikliranje in upravljanje z odpadki:

Faza recikliranja in upravljanja z odpadki vključuje energetske zahteve za recikliranje in upravljanje z odpadki in odpadke, povezane z zavrženjem izdelka (Life cycle assesment 2006).



Slika 3: Vzorčne stopnje življenjskega cikla (Life cycle assesment 2006)

Vsak korak v življenjskem ciklu izdelka, embalaže ali materiala, je mogoče razvrstiti v samo eno od stopenj življenjskega cikla. Proces ali korak je mogoče gledati kot podsistem celotnega sistema izdelka. To omogoča zbiranje podatkov za popis sistema kot celote.

Pri stopnji obsega študije je odvisno katero različico analize LCA povzamemo. Če obravnavamo različico »od zibelke do izhoda«, nas zanima pridobivanje surovin in proizvodnja. Pri različici »od zibelke do groba« potrebujemo tri glavne faze: pridobivanje surovin, proizvodnja in uporaba ter vzdrževanje. Pri različici »od zibelke do zibelke« potrebujemo vse štiri glavne faze.

1.1.2.2 Inventar življenjskega cikla

Inventar življenjskega cikla (v nadaljevanju analiza LCI) je faza, v kateri se zbirajo vsi pomembni podatki v zvezi z analizo. Inventar podatkov vključuje energijo, surovine, emisije v zraku in vodi, trde odpadke ter ostale vplive za celoten življenjski cikel izdelka, dejavnosti ali procesa. Brez analize LCI nimamo podlage za vrednotenje primerljivih okoljskih vplivov ali možnih izboljšav (Life cycle assesment 2006). Natančnost in podrobnost podatkov se odraža skozi ostale korake analize LCA.

1.1.2.2.1 Razpoložljivost in kvaliteta podatkov

Razpoložljivost in kvaliteta podatkov se zelo razlikuje, saj je analiza LCA po svetu na različnih stopnjah napredka. Delavci v industriji, vladne in raziskovalne ustanove ter svetovalne pisarne se trenutno zanašajo predvsem na podatkovne baze, ki so jih ustvarili zasebni ali akademski razvijalci baz. Dostop do splošnih, javno dostopnih baz podatkov, je pomanjkljiv (Udo de Haes in Van Rooijen 2005). Portali za dostop do podatkovnih baz bi morali biti zasnovani tako, da bi dopolnjevali, krepili in bogatili pomembne podatkovne baze, istočasno pa se izognili podvajanju svojih izsledkov.

V Evropi, tudi v Nemčiji in Švici, ki sta bili aktivni v razvoju podatkovnih baz za inventar, je trenutni izziv povezovanje in zagotavljanje primerljivosti in izmenljivosti različnih baz inventarja. Da bi bili najboljši podatki javno dostopni, je treba spremljati proces integracije, zagotavljati kontinuiteto, ki vodi do nenehnega izboljševanja kakovosti podatkov, od katerih je odvisna zanesljivost rezultatov. Na primer v Nemčiji se predhodna študija imenuje »Nadzor kakovosti in razpoložljivost podatkov o življenjskem ciklu za praktično uporabo«. V tej študiji je uveljavljen dolgoročni splošni koncept za usmerjenje podatkov življenjskega cikla s pomočjo zunanjih strokovnjakov (Udo de Haes in Van Rooijen 2005).

Obstaja večje število zbirk podatkov za LCA analizo, ki temeljijo na input – output analizah (Udo de Haes in Van Rooijen 2005). Široka paleta podatkov inventarja omogoča kakovost analiz LCA. Pomanjkanje doslednosti in preglednosti otežuje preverjanje in dokumentiranje podatkovnih baz.

1.1.2.2.2 Metodologija inventarja

Mednarodni standardi določajo vodilna načela, ki se uporabljajo pri analizi življenjskega cikla, vključno z vprašanji v fazi inventarja. V nekaterih primerih standardi določajo posebne smernice in pravila, ki jih je potrebno upoštevati. Vendar na mnogih drugih področjih, so ti standardi dvoumni. Posledica tega je široka paleta metod, pristopov in

aplikacij, ki si jih lahko izberemo (Udo de Haes in Van Rooijen 2005). Mnogim metodam primanjkuje preglednosti pri več ključnih metodoloških vprašanjih, kar otežuje primerjavo z drugimi metodami. Izboljšana preglednost bi pozitivno vplivala na skladnost in doslednost inventarja in tako vodila k razvoju boljših metod.

Pomemben del analize inventarja je definicija meje sistema. Meje sistema so oblikovane na podlagi obsega študije in na začetnem zbiranju podatkov. Na rezultate analize inventarja lahko bistveno vplivamo z opredelitvijo mej sistema. Razlikujemo tri vrste mej v analizi LCI (Udo de Haes in Van Rooijen 2005):

- Meje med sistemom in okoljem
- Meje med sistemom v okviru študije in drugih sorodnih sistemov
- Meje med pomembnimi in nepomembnimi procesi

Prva vrsta sistemskih mej oblikuje okoljske in ekonomske procese, ki so bodisi vključeni bodisi izključeni. Zelo pomembno je, da so meje jasno opisane, saj lahko bistveno vplivajo na rezultate študije (Udo de Haes in Van Rooijen 2005).

Druga vrsta sistemskih mej se nanaša na to, kako je obremenitev okolja dodeljen v »večnamenske procese«. Številni procesi proizvedejo več različnih izdelkov, ki so posledica koprodukcije, recikliranja ali predelave odpadkov. Takšni postopki se imenujejo »večnamenski postopki«, npr. rafinerija nafte. Emisije in viri ekstrahiranih takšnih postopkov morajo biti ustrezno porazdeljeni ali dodeljeni v različne funkcije, ki tak postopek zagotavljajo. To je odvisno od meje, ki pove, ali so v določenem postopku vključeni v analizo vsi izdelki, ali samo eden. Dodelitev lahko temelji na masi, komercialni vrednosti, vsebnosti energije ali podobni lastnosti izdelka (Udo de Haes in Van Rooijen 2005).

Tretja vrsta mej sistema se nanaša na odstranitev procesov, ki so znotraj določenih mej, iz analize inventarja. Procesni se odstranijo zaradi dveh razlogov: zaradi poenostavitve; procesi, ki ne predstavljajo velikega dela denarnega toka oz. imajo zamerljive posledice na okolje, ali zaradi pomanjkanja dostopnosti podatkov (Udo de Haes in Van Rooijen 2005).

Poleg metod in orodij analize LCA, kot so te tri meje sistema, so na voljo tudi smernice. Nekatere izmed smernic so visoke kakovosti in zagotavljajo podrobne informacije, vendar večina smernic temelji na posameznih skupinah, državah ali regijah (Udo de Haes in Van Rooijen 2005). Uporaba teh virov je omejena na mednarodni ravni.

1.1.2.2.3 Vrednotenje rezultatov inventarja

Pri pisanju poročila končnih rezultatov življenjskega cikla inventarja je pomembno, da natančno opišemo metodologijo analize. Poročilo mora jasno opredeliti in analizirati meje, ki so določene. Vse predpostavke pri izvedbi popisa je potrebno jasno razložiti. Študije inventarja obsega veliko raznovrstnih informacij. Analitik mora izbrati obliko predstavitve in vsebino, ki je skladna z namenom analize in ne sme samovoljno poenostavljati informacije (Life cycle assesment 2006). Koristno je opredeliti različne kritične poglede, ki izhajajo iz podatkov inventarja. Rezultate je najbolj smiselno in razumljivo predstaviti v obliki tabele. Izbira tabele se razlikuje glede na cilj in obseg študije.

1.1.2.3 Vrednotenje vplivov

Vrednotenje vplivov (ang. Life Cycle Impact Assessment, v nadaljevanju analiza LCIA) je tretja faza, v kateri se nadaljuje obdelava in interpretiranje nizov rezultatov inventarja (predvsem tabel) okoljskih vplivov in družbenih preferenc. V ta namen se opredeli sezname vplivov ter izbrane modele, ki se nanašajo na okoljske intervencije s primernimi kazalniki različnih kategorij. Dejanski rezultati so modelirani v karakterizaciji, pri neobvezni normalizaciji pa se izračuna delež rezultatov modela na svetovni ali regionalni ravni (Guinée in sod. 2002).

Sestavni del analize vrednotenja vplivov predstavljajo naslednji koraki (Life cycle assesment 2006):

- *Izbor in opredelitev kategorij vplivov* – opredelitev ustreznih kategorij vplivov na okolje (npr. globalno segrevanje, toksičnost);
- *Klasifikacija* – razvrstitev rezultatov iz inventarja v kategorije vplivov (npr. razvrščanje emisij ogljikovega dioksida na globalno segrevanje);
- *Karakterizacija* – modeliranje vplivov znotraj kategorij z uporabo znanstveno utemeljenih faktorjev;
- *Normalizacija* – izražanje možnih vplivov na način, ki je primeren za primerjavo (npr. primerjava vplivov ogljikovega dioksida in metana na globalno segrevanje);
- *Združevanje* – sortiranje ali razvrstitev kazalnikov;
- *Ocenjevanje in poročanje rezultatov LCIA*.

1.1.2.3.1 Klasifikacija

Glavni namen klasifikacije je organiziranje in razvrstitev rezultatov iz faze inventarja v fazo vrednotenja vplivov. Kadar ima inventar življenjskega cikla samo eno kategorijo vplivov, je postopek enoplasten. Tak primer so emisije ogljikovega dioksida, ki se dodelijo v kategorijo globalnega segrevanja. Če obstaja več različnih vplivov, jih je potrebno razvrščati po pravilu za razvrstitev. Po mednarodnih standardih obstajata dva načina razvrščanja (Life cycle assesment 2006):

- Delež rezultatov inventarja se razvrsti v posamezne kategorije vplivov (na katere imajo vpliv). Izvaja se takrat, ko so učinki vplivov medsebojno odvisni.
- Celoten del rezultatov inventarja se razvrsti na vse določene kategorije vplivov. Izvaja se takrat, ko so učinki medsebojni neodvisni.

1.1.2.3.2 Karakterizacija

Pri karakterizaciji se uporabljajo znanstveno utemeljeni oz. karakterizacijski faktorji. Z njimi neposredno primerjamo rezultate inventarja znotraj posamezne kategorije, jih preoblikujemo in sortiramo v ustrezne kazalnike vplivov na naravo in človekovo zdravje. Med drugimi nam karakterizacija omogoča primerjave vplivov na ekotoksičnost zemlje med kromom, svincem in cinkom (Life cycle assesment 2006). Uporaba rezultatov kazalcev za določen cilj in obseg je odvisna od natančnosti, veljavnosti in karakterizacijskih dejavnikov.

Izračun karakterizacije vključuje konverzijo rezultatov inventarja, ki je sestavljena iz pretvorjenih rezultatov znotraj iste kategorije vpliva. Pri pretvorbi se uporabljajo karakterizacijski faktorji, ki podajo izračun v numerični obliki. Način računanja se mora opredeliti in dokumentirati, vključno z izbirno vrednostjo in predpostavkami. Če rezultati iz druge faze niso na voljo ali niso dovolj kakovostni za dosego cilja in obsega študije v LCIA, se morajo slednjemu prilagoditi. Razlike v kakovosti kategorij kazalnikov lahko vplivajo na splošno natančnost analize življenjskega cikla, predvsem zaradi razlik v kompleksnosti okoljskih mehanizmov med mejami sistema in kategorijami, med prostorskimi in časovnimi značilnostmi (npr.: obstojnost snovi v okolju) in v odzivu karakterizacije (ISO 14044 2006).

Določene so različne vrste kategorij vplivov, ki se delijo na globalne, krajevne in lokalne vplive (Life cycle assesment 2006):

- Globalni vplivi:
 - *Globalno segrevanje* – taljenje ledenikov, izguba vlažnosti zemlje, izguba gozdov, spremembe v obnašanju vetrov in morja
 - *Tanjšanje ozonske plasti* – povečano ultravijolično sevanje
 - *Izraba neobnovljivih virov surovin* – zmanjšanje virov za prihodnje generacije
- Krajevni vplivi
 - *Fotokemični smog* – draženje oči, vnetje dihal, zmanjšana vidljivost, negativni vpliv na vegetacijo
 - *Zakisovanje* – vpliv na tla in vegetacijo, povzročanje korozije, zakisovanje vode
- Lokalni vplivi
 - *Človeško zdravje* – povečana umrljivost in bolezni
 - *Toksičnost zemlje* – zmanjšanje biotske raznovrstnosti, upad številčnosti prostoživečih živali za lov in opazovanje
 - *Toksičnost vode* – zmanjšanje vodnih rastlin, manjša raznovrstnost insektov, zmanjšanje komercialnega in rekreacijskega ribolova
 - *Evtrofikacija* – vnos hranil (fosfor in dušik) v vodo, kar povzroča prekomerno rast rastlin in izčrpavanja kisika
 - *Raba zemljišč* – izguba habitatov za prostoživeče živali, zmanjšanje deponijskega prostora
 - *Uporaba vode* – izguba razpoložljivosti vode iz podzemnih in površinskih vodnih virov

1.1.2.3.3 Normalizacija

Normalizacija je orodje analize LCIA, ki služi za pretvorbo podatkov kazalnikov vplivov v takšno obliko, da lahko kategorije vplivov medsebojno primerjamo. Rezultati se normalizirajo z izbrano referenčno vrednostjo. Obstaja več različnih načinov metod za določitev referenčne vrednosti (Life cycle assesment 2006):

- Skupne emisije in izraba virov za določeno območje (globalno, krajevno, lokalno)
- Skupne emisije in izraba virov na določenem območju glede na prebivalca
- Koeficient dveh alternativ (npr. izhodiščnih alternativ)
- Najvišja vrednost med vsemi možnostmi

Na izbiro ustrezne referenčne vrednosti lahko vpliva zastavljen cilj in obseg analize LCA. Treba je upoštevati, da lahko normirane podatke primerjamo le znotraj kategorij vplivov (Life cycle assesment 2006). Na primer učinkov zakisljevanja ne moremo neposredno primerjati s toksičnostjo vode, saj so karakterizacijski faktorji izračunani na podlagi različnih znanstvenih metod.

1.1.2.4 Interpretacija rezultatov

Zadnji del analize življenjskega cikla je interpretacija rezultatov in predstavlja zaključek celotnega dela. Glavni elementi interpretacije so: vrednotenje rezultatov (v smislu doslednosti in popolnosti), analiza rezultatov ter oblikovanje sklepov oz. zaključkov in poročil (Guinée in sod. 2002). Je faza, kjer so zbrani vsi rezultati in predpostavke predhodnih faz, ki so se ustvarili v času analize.

Med izvajanjem faze inventarja in faze vrednotenja vplivov je bistveno, da se sprejmejo odločitve o tem, na kakšen način se bodo vrednotili vplivi, da bo vrednotenje zadovoljilo potrebe javnosti, ki ji je analiza namenjena. Vsaka odločitev mora biti vidna v končnih rezultatih in jasno pojasnjena v zaključku poročila. V nekaterih primerih lahko pride do negotovosti rezultatov, saj ni mogoče ugotoviti, katera alternativa je boljša. Vendar analiza LCA daje informacije, s katerimi pridobimo boljše razumevanje obsega vplivov na okolje in zdravje ljudi, na lokalni, krajevni ali globalni ravni.

1.1.3 Omejitve analize življenjskega cikla

Za analizo življenjskega cikla je značilen celosten značaj, ki je hkrati velika prednost, a hkrati omejitev (Guinée in sod. 2002). Široko področje analiziranja celotnega življenjskega cikla izdelka povzroči poenostavitve nekaterih vidikov pri izdelavi izdelka. Analiza LCA se osredotoča na fizične značilnosti industrijskih dejavnosti in na druge ekonomske procese, ne vključuje pa tržnih mehanizmov ali sekundarnih učinkov tehnološkega razvoja. Temelji na linearnem modeliranju (Guinée in sod. 2002). Okoljski vplivi so pogosto opisani kot »možni vplivi«, saj ti niso določeni v času in prostoru, ampak so povezani z določeno funkcionalno enoto. Pomembno vlogo pri analizi imajo mednarodni standardi, ki preprečijo samovoljnost pri interpretiranju rezultatov (Guinée in sod. 2002). Prizadevanja za izboljšanje analize LCA temeljijo na povečanju preglednosti objektivnega vrednotenja vplivov.

Dodatne omejitve se lahko skrivajo v razpoložljivosti podatkov. Podatkovne baze, ki se razvijajo v različnih državah, so različno oblikovane. V praksi so podatki pogosto zastareli, neprimerljivi ali neznane kakovosti. Podatki so na splošno na voljo na ravni osnovnih sklopov procesov za izdelavo posameznega izdelka, ki so običajno prav tako

sestavljani iz več faz, ne pa tudi na ravni posamezne faze, iz katerih je osnovni sklop procesov sestavljen (Guinée in sod. 2002). Eden najpomembnejših vplivov na točnost podatkov je njihova razpoložljivost, glede na dejansko razpoložljivost pa je treba določiti tudi potreben čas za izvedbo študije ter opredeliti za študijo potrebna finančnih sredstev. Zbrane inpute in outpute, ki so pridobljeni pri naročniku ali v bazah podatkov, se prevede v okoljske vplive na globalni ali regionalni ravni (Life Cycle Assessment and Forest Products 2010). Rezultati iz analize pokažejo morebitne vplive na okolje, ne pa tudi dejanskega neposrednega vpliva posameznega izdelka, procesa ali dejavnosti na okolje. Glede na navedeno je analiza LCA pomemben pokazatelj splošnih vplivov na okolje, ne more nadomestiti pa lokalnih študij, ki analizirajo neposredne vplive posameznega izdelka na okolje.

1.2 MEDNARODNI STANDARDI

Mednarodna organizacija za standardizacijo (ang. The International Organization for Standardization, v nadaljevanju ISO) je svetovna zveza nacionalnih organov za standardizacijo. Pripravo mednarodnih standardov običajno izvajajo strokovnjaki posameznega področja, skupaj z mednarodnim tehničnim odborom za standardizacijo (ISO 14025 2006).

Večina vladnih in nevladnih mednarodnih organizacij uporablja standarde ISO. Mednarodni standardi ISO 14000, ki obravnavajo ravnanje z okoljem, so namenjeni za pomoč organizacijam, ki se ukvarjajo z okoljskimi vplivi. Serije ISO 14000 so podobne serijam ISO 9000, ki so bile objavljene leta 1987. Namen serije ISO 9000 je spodbuditi organizacije k uvedbi kakovostnih programov za upravljanje zavarovanja. Čeprav se ISO 9000 ukvarja s splošnim upravljanjem, ISO 14000 pa z upravljanjem vplivov na okolje, se oba standarda ukvarjata s procesi, kjer se pojavljajo kombinacije obeh standardov (Martincic 1997). Namen mednarodnih standardov je olajšati mednarodno trgovino in sodelovanje v gospodarstvu.

Organizacija, ki je danes znana kot ISO, je bila ustanovljena leta 1926 kot Mednarodna federacija nacionalnih združenj za standardizacijo (ang. International Federation of the National Standardizing Associations - ISA). V začetku je močno osredotočena na področje strojništva. Federacija je bila leta 1942 razpuščena, vendar se je med drugo svetovno vojno ponovno obnovila pod sedanjim imenom ISO (Martincic 1997). Novo ime organizacije odpravlja nejasnosti, ki bi lahko nastale pri prevodu »Mednarodne organizacije za standardizacijo« v različne jezike, saj bi vodilo do različnih kratic (Martincic 1997). Izbor imena »ISO« ni naključje, saj izvira iz grške besede »isos«, ki pomeni »enako« in odraža smoter organizacije, ki je v tem, da naj bi bil odnos standardov pri primerjavi proizvodov, ki izpolnjujejo enake standarde, enakopraven.

1.2.1 Prednosti mednarodnih standardov

Oblikovanje mednarodnih standardov prinaša tehnološke, gospodarske in družbene koristi. Mednarodni standardi pomagajo uskladiti tehnične specifikacije proizvodov in storitev, zaradi česar je industrija bolj učinkovita ter hkrati odstranjuje ovire v mednarodni trgovini. Skladnost z mednarodnimi standardi pomaga potrošnikom zagotoviti, da so izdelki varni, učinkoviti in dobri za okolje.

Standardi se vsakodnevno uporabljajo v različnih podjetjih kot strateška orodja in smernice ter nudijo pomoč podjetjem in tako rešujejo najbolj zahtevne izzive sodobnega poslovanja. Zagotavljajo učinkovito poslovanje, povečujejo produktivnost in podjetjem olajšajo dostop do novih trgov. Prednosti uporabe standardov so številne: prihranki pri stroških (ISO optimizira poslovanje in s tem izboljša izhodišče), izboljšanje kakovosti, zadovoljstvo strank in povečanje prodaje, omogočanje širšega dostopa na nove trge, povečanje tržnega deleža (poveča se produktivnost in konkurenčna prednost) ter prispevanje k zmanjšanju negativnih vplivov na okolje (Benefits of International Standards 2014).

ISO ima več kot 19.500 različnih standardov in standardizira družbo v skoraj vseh vidikih vsakdanjega življenja (Benefits of International Standards 2014). Proizvodi, ki so v skladu z mednarodnimi standardi, so vredni zaupanja, so varni, zanesljivi in kakovostni.

ISO standardi o varnosti v cestnem prometu, varnosti igrač in varnosti embalaže za zdravila so le nekateri izmed tistih, ki pomagajo, da je svet varnejši. Mednarodni standardi o kakovosti zraka, vode in tal, o emisijah plinov ter sevanja, prispevajo k ohranitvi okolja in zdravje državljanov (Benefits of International Standards 2014). Omenjeni standardi so tudi ključen vir za razvoj predpisov v državnih institucijah, saj predstavljajo objektivni kazalnik, na katerega se vežejo predpisi in tudi pomembno lingvistično komponento pri izdelavi in razumevanju predpisov. Standardi so mednarodni, sprejele so jih že vlade številnih držav, kar omogoča dostop do svetovne trgovine. Z vključevanjem v nacionalno ureditev, se državam zagotavlja, da so zahteve za uvoz in izvoz enake po vsem svetu in tako je lažji pretok blaga in storitev med posameznimi državami.

1.2.2 ISO 14000

Prvi zakon o varstvu okolja je bil že leta 1899 sprejet v Združenih državah Amerike (nanašal se je na omejeno okoljsko problematiko rek in pristanišč). Okolje je čez desetletja postalo politični in potrošniški problem. Okoljski aktivizem se je povečal v letu 1980, prav tako tudi ozaveščenost potrošnikov. Vedno več je bilo sprejetih okoljskih predpisov. Podjetja so začela uporabljati te predpise, predvsem kot marketinško orodje (Martincic 1997). Začeli so poudarjati pomembnost varstva okolja, kot npr. Konferenca o okolju in razvoju (UNCED) v Rio leta 1992, kjer je bil poudarek na globalni skrbi za okolje in varstvo okolja.

Okoljski standardi ISO 14000 se ukvarjajo s tem, kako podjetja upravljajo z okoljem tako znotraj svojih objektov, kot tudi neposredno z zunanjim okoljem. Uporaba standardov zahteva tudi analizo celotnega življenjskega cikla produkta, od surovin do končne faze oz. izločitve izdelka. Pri tem se ne osredotočajo na določene ravni onesnaženosti ali učinkovitosti, marveč želijo prikazati procese in postopke, ki vplivajo ali bi lahko vplivali na okolje (Martincic 1997).

Nekateri standardi v seriji ISO 14000 (Martincic 1997):

- *ISO 14001* – Specifikacija sistemov ravnanja z okoljem
- *ISO 14004* – Smernice standarda
- *ISO 14010 do ISO 14015* – Okoljski nadzor in s tem povezane dejavnosti
- *ISO 14020 do ISO 14924* – Okoljsko označevanje
- *ISO 14031 in ISO 14032* – Ocenjevanje uspešnosti okolja
- *ISO 14040 do ISO 14043* – Analiza življenjskega cikla (LCA)
- *ISO 14050* – Pogoji in opredelitve

1.2.2.1 ISO 14025 Tip III

Mednarodna organizacija za standardizacijo je razvila tri tipe standardov za okoljsko označevanje okoljskih vplivov, imenovane Tip I, Tip II in Tip III. Ti so opisani kot (Allison in Carter 2000):

- *Tip I (ISO 14024)* – temelji na kriterijih tretje osebe in obsega širši spekter področja, saj temelji na vplivih življenjskega cikla proizvoda. Organ za dodelitev je lahko nevladna organizacija ali zasebni nekomercialni subjekt.

- *Tip II (ISO 14021)* – temelji na lastnih izjavah in podatkih proizvajalcev oziroma trgovcev.
- *Tip III (ISO 14025)* – obsega informacije o izdelku, ki temeljijo na vrednotenju vplivov življenjskega cikla. Ti vplivi so predstavljeni v obliki, ki omogoča primerjavo med izdelki (npr. nabor parametrov).

Okoljska deklaracija tipa III predstavlja količino okoljskih informacij o analizi življenjskega cikla produkta, ki omogočajo primerjavo med proizvodi, ki imajo isto funkcijo. Takšne deklaracije ustvari ena ali več organizacij, ki temeljijo na neodvisnem preverjanju analize življenjskega cikla v skladu z ISO 14040, uporabljajo vnaprej določene parametre in so namenjene industrijskim sektorjem, javnim organom, agencijam, podjetjem ali drugim organizacijam (ISO 14025 2006).

Pri ISO 14025 tip III ne moremo natančno določiti ciljnega občinstva. Vendar je treba upoštevati potrebo po informacijah za različne kupce ali skupino uporabnikov, na primer velika, mala in srednja podjetja, agencije za javna naročila ter potrošnike. Pozornost mednarodnega standarda je treba nameniti ciljnemu občinstvu. Organizacije, ki sodelujejo na tem mednarodnem standardu, morajo zagotoviti, da so podatki vedno posamično preverljivi. ISO določa splošno opredelitev s »certifikacijo« (postopek, s katerim tretja oseba poda pisno zagotovilo, da je izdelek ali postopek v skladu z določenimi zahtevami). Izvaja se v različnih regijah, da bi se izognili zmedi, pa se uporablja izraz »preverjanje tretje osebe« (ang. Third party verification) namesto »certifikacija« (ISO 14025 2006).

1.2.2.2 Okoljske deklaracije

Certifikat EPD[®] (ang. Environmental Product Declarations, v nadaljevanju EPD) oz. okoljska deklaracija proizvoda poroča o okoljskih vplivih izdelka, ki temeljijo na analizi življenjskega cikla v skladu z mednarodnim standardom ISO 14025. Okoljska deklaracija proizvodov je opredeljena v standardu ISO 14025, kot okoljski vpliv izdelka v vnaprej določeni kategoriji parametrov, ki temeljijo na mednarodnih standardih ISO 14040, vendar pri tem ne izključuje dodatnih informacij o okolju (EPD[®] 2014).

Dodane so nove tržne dimenzije informacij o vplivih izdelka na okolje in storitve, s ključnimi značilnostmi in vodilnimi načeli, ki prinašajo številne prednosti tako za organizacije, ki ustvarjajo EPD[®], kot tudi za tiste, ki uporabljajo EPD[®] informacije (EPD[®] 2014). Skupni cilj okoljskih deklaracij je zagotovitev ustrezne in preverljive informacije, ki izpolnjujejo različne komunikacijske potrebe. Pomemben vidik je vsekakor zagotovitev objektivne primerjave med proizvodi in storitvami. V daljšem časovnem obdobju lahko proizvodi in storitve odražajo izboljšanje vplivov na okolje in

nato se s pomočjo okoljske deklaracije zberejo ustrezne informacije. EPD temelji na načelih, ki so del ISO standarda tipa III (ISO 14025) in tako imajo razširjeno mednarodno priznanje. Glavne značilnosti okoljske deklaracije so (EPD[®] 2014):

- *Objektivnost* – temelji na uporabi mednarodnih priznanih in potrjenih metod za analizo življenjskega cikla. To omogoča opredelitev in osredotočenje na najpomembnejše okoljske vplive celostnega vidika, ki vodi k nenehnemu izboljševanju
- *Verodostojnost* – zahteva kritičen pogled, odobritev in spremljanje objektivnega preverjanja
- *Nevtralnost* – ni okoljskih terjatev, cenitev ali vnaprej določenih ravni uspešnosti
- *Primerljivost* – omogoča primerjave s pomočjo pravil za kategorijo proizvodov (PCR) za izbrane skupine izdelkov ali storitev.
- *Dostopnost* – prost dostop vsem zainteresiranim
- *Usmerjenost okoljskih vplivov* – zagotavlja možnosti za vključitev možnih vplivov na okolje
- *Poučevanje* – sistem EPD poskuša razložiti podatke, s pomočjo razlage izrazov, definicij, konceptov, kot tudi splošnih informacij o pomembnih okoljskih problemih

Danes povpraševanje svetovnega trga temelji na znanosti, preverljivih in primerljivih informacijah o okoljski uspešnosti storitev. Povpraševanje prihaja iz številnih tržnih mest, kot npr. priprava surovin za razvoj izdelka in zeleno javnega naročanja. Zaradi vsesplošnega povpraševanja na svetovnem trgu so nastali mednarodni sistem EPD. Mednarodne okoljske deklaracije nudijo pomoč in podporo organizacijam, da obrazložijo okoljsko učinkovitost izdelka na verodostojen in razumljiv način. Mednarodni sistem EPD ponuja celovit program za vse zainteresirane organizacije, v kateri koli državi, v skladu z ISO 14025:2006 in EN 15804:2012 (Trajnostnost gradbenih objektov – Okoljske deklaracije na proizvodih – Osnovna pravila za kategorije proizvodov za gradbene proizvode) ter ogljikov odtis v skladu z ISO/TS 14067:2013 (EPD[®] 2014). Podpirajo druge programske okoljske deklaracije (nacionalne, sektorske) za sodelovanje in usklajevanje ter pomoč organizacijam na mednarodnem trgu.

Vodilna načela mednarodne okoljske deklaracije po mednarodnem standardu ISO 14025 so (EPD[®] 2014):

- *Prostovoljnost* – ni obvezno
- *Preglednost* – skozi vse faze razvoja in delovanja programa

- *Dostopnost* – dostopna za vse potencialne kandidate, ki izpolnjujejo zahteve programa
- *Komunikacija zainteresiranih strank in posvetovanje o PCR* – formalno in javno posvetovanje z zainteresiranimi strankami, da bi pridobili mnenja o PCR dokumentu
- *Funkcionalnost izdelka* – predvidena uporaba in učinkovitost izdelka
- *Znanstvena utemeljitev* – temelji na podlagi metodologije za razvoj EPD, ki temeljijo na znanstvenih uveljavljenih metodah LCA
- *Zaupnost* – zagotovitev popolne zaupnosti določenih informacij
- *Učinkovitost stroškov* – temelji na odprtih, uveljavljenih, tržno usmerjenih in mednarodnih priznanih sistemih za preverjanje in registracijo

Mednarodni EPDji se uporabljajo za vse vrste proizvodov in storitev v okviru jasno določenih kategorij proizvodov. Zasnovani so za izpolnjevanje različnih potreb po informacijah v dobavni verigi in za končne proizvode, tako v zasebnem kot v javnem sektorju, kot tudi za bolj splošne namene. Glavne prednosti za tiste, ki ustvarjajo EPD in zagotavljajo informacije o trgu so (EPD[®] 2014):

- *Objektivnost* – z uporabo znanstvenih veljavnih metod, ki temeljijo na mednarodnih standardih analize življenjskega cikla
- *Neselektivnost in nevtralnost* – ni vnaprej določenih ravni okoljskih uspešnosti
- *Prilagojenost* – omogoča spremembe in izboljšanje EPD, ki jih podjetje ali organizacija zahteva

Za tiste, ki uporabljajo EPD informacije za različne namene pa so (EPD[®] 2014):

- *Primerljivost* – podatki v EPD omogočajo primerljivost, ker so zbrani in izračunani na podlagi sprejetih mednarodnih pravil
- *Verodostojne* – redni inšpekcijski pregledi, spremljanje s strani neodvisnega člana
- *Natančnost* – informacije so redno posodobljene

Informacije okoljske deklaracije so včasih nespecifične in zajemajo preširok spekter sprejemanja ter tako zajemajo tudi vse pomembne okoljske vplive na izdelek. V večini primerov potrebujemo različne informacije o vplivih, kot na primer za preverjanje odsotnosti nevarnih kemikalij ali kateri so možni vplivi na okolje za izbrani izdelek. EPD informacije so običajno navedene v obliki, kjer so že vnaprej določeni obvezni podatki za ustrezne kategorije vpliva. Zaradi kompleksnosti je prišlo do sorazmerno malega pretoka

tržnih EPD informacij. Mednarodni sistem okoljskih deklaracij je predstavil koncept »enovrstnih okoljskih deklaracij« in tako so prilagodili potrebne informacije v preprostejšo obliko, da lahko bolje ustrezajo zahtevam kupcev in trgov (EPD[®] 2014).

1.2.2.2.1 Pravila kategorij proizvodov

Pravila za kategorijo proizvoda (ang. Product Category Rules, v nadaljevanju PCR) so dokument, ki opredeli zahteve EPD za določeno kategorijo izdelka. Je bistvenega pomena pri deklaracijah EPD, saj omogoča preglednost in primerljivost med različnimi deklaracijami različnih izdelkov, ki temeljijo na istih pravilih za kategorijo proizvoda (EPD[®] 2013). To omogoča objektivne primerjave vplivov na okolje med podobnimi izdelki (Product category rules 2014). Pravila kategorij proizvodov se razvijajo v sodelovanju z javnostjo, podobno kot industrijski standardi. Zainteresirane stranke lahko sodelujejo pri posvetovanju odprtega tipa, postavljajo vprašanja in podajajo komentarje. Zaradi urejenosti dokumentov je pomembna popolna uvrstitev izdelka. Shema za popolno uvrstitev izdelka (ang. Complete product classification – CPC) zajema izdelke in storitve in temelji na njihovih fizikalnih lastnostih. Običajna uvrstitev v shemo je le z eno dejavnostjo, na način, ki je opredeljen v mednarodni standardni klasifikaciji vseh gospodarskih dejavnosti. Sistem popolne uvrstitve izdelka v strukturi pravil kategorij proizvodov vsebuje dve dimenziji (PCR Basic Module 2011):

- *Horizontalna dimenzija* – opisuje verige vrednosti proizvoda, ki so razdeljene po poslovnih področjih
- *Vertikalna dimenzija* – opredeljuje vsak posamezni informacijski modul

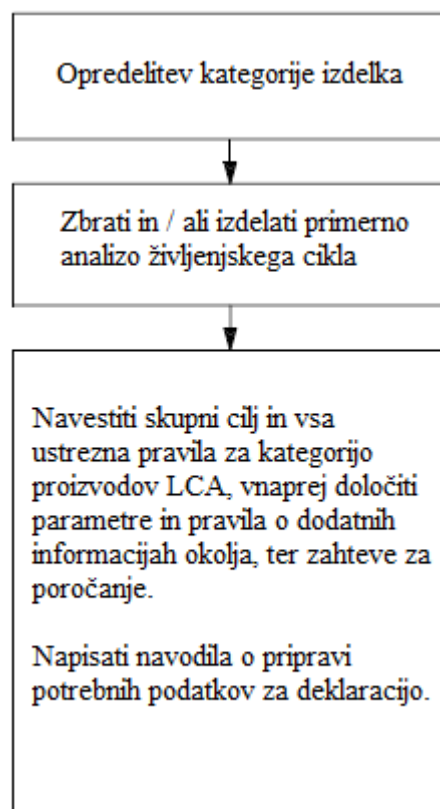
Koncept popolne uvrstitve izdelka služi kot osnova za strukturo pravil kategorij proizvodov, saj zagotavljajo strukturo za »core« modul, »up-stream« modul in »down-stream« modul znotraj mej sistema (PCR Basic Module 2011). S pravilno strukturo dokumenta dosežemo urejenost in objektivnost dokumenta. Tako lahko naredimo primerjamo med dvema ali večima alternativama in povzamemo razlike že v osnovnih modulih. Ugotovljene razlike v modulih med alternativami lahko pomagajo pri boljši interpretaciji rezultatov vplivov na okolje.

Osnovni modul dokumenta PCR vključuje (PCR Basic Module 2011):

- *Besedilo, ki je skupno vsem pravilom kategorije proizvodov glede na skupino izdelka*

- *Besedilo, vključno z zahtevami, ki so skupne za vse proizvode, ki spadajo v določeno skupino izdelkov (npr. CPC Division 32: Vlakinine, papir in papirni izdelki, tiskovine in sorodni izdelki)*
- *Identifikacijo posebnih zahtev ali informacij, napisano v poševnem tisku, ki mora biti bolj podrobno določena kot CPC Divison*

PCR določa pravila za odločitev, katero metodologijo ter podatke bomo uporabili v analizi življenjskega cikla. Ima tudi zahteve glede informacij, navedenih v okoljski deklaraciji, kot na primer dodatne informacije o okolju. Splošna zahteva glede podatkov, ki so vključeni v okoljski deklaraciji, je preverljivost informacij (PCR Basic Module 2011). PCR dokument mora biti primerno strukturiran. Koraki omenjenega dokumenta so prikazani na sliki 4.



Slika 4: Koraki priprave PCR (ISO 14025 2006)

PCR opredeli in dokumentira cilj ter obseg študije analize življenjskega cikla za pravila kategorij proizvodov in pravila za proizvodnjo dodatnih informacij okolja na kategorijo izdelka. Določi tudi stopnje življenjskega cikla, ki morajo biti vključene in parametre, ki jih je treba zajeti in o njih poročati. Zaradi popolnosti in doslednosti, PCR dokument temelji na eni ali več analizah življenjskega cikla (v skladu s standardom ISO 14040) in

drugih ustreznih študijah o vplivih na okolje (ISO 14025 2006). Vse študije so navedene v dokumentu PCR. Dokument PCR mora vsebovati naslednje (ISO 14025 2006):

- *Opredelitev in opis kategorije proizvodov*- npr. funkcija, tehnične zmogljivosti, uporaba
- *Cilj in obseg študije analize življenjskega cikla v skladu z ISO 14040 vključno z:*
 - Funkcionalno enoto
 - Meje sistema
 - Opis podatkov
 - Merila za vključitev inputov in outputov
 - Zahteve glede kakovosti podatkov, vključno s pokritostjo in natančnostjo
 - Enote
- *Analiza inventarja*
- *Izbira kategorij vplivov*
- *Določitev parametrov za poročanje LCA podatkov*
- *Zahteve za zagotavljanje dodatnih okoljskih informacij*
- *Navedene materiale in snovi* – npr. informacije o vsebini izdelka
- *Navodila za pripravo podatkov, potrebnih za vzpostavitev deklaracije*
- *Navodila o vsebini v obliki okoljske deklaracije tipa III*
- *Informacije, pri katerih se ne upoštevajo faze, če deklaracija ne temelji na LCA*
- *Rok veljavnosti*

1.3 PROIZVODNJA CELULOZE IN PAPIRJA

Papirna industrija ima pomembno vlogo v svetovnem gospodarstvu. Za pridelovanje celuloze in papirja se uporabljajo različne surovine. Najbolj pogosta surovina je les, uporabljajo pa se tudi različni tipi celuloze, pridobljene iz sladkornega trsa, slame ali rastlinskih vlaken konoplje. Proti koncu 20. stoletja sta celulozna in papirna industrija doživele ogromen val tehnoloških sprememb. Industrija je preoblikovala svoje osnovne proizvodnje procese, sisteme delovanja, upravljanja in nadzora. Danes vsa papirna industrija temelji na informacijskih sistemih in programski opremi, ki nadzorujejo celoten proces pridelovanja celuloze in papirja. Pri sami proizvodnji celuloze in papirja nastanejo večje količine trdih komunalnih odpadkov. Recikliranje papirja je dobra alternativa za zmanjšanje potreb po odlaganju ali sežiganju odpadkov, prispeva k skladiščenju ogljika in k zmanjšanju porabe energije, vode ter zmanjšanju emisije toplogrednih plinov. V

naslednjih poglavjih bosta predstavljena proces pridelovanja celuloze in papirja ter recikliranje papirja.

1.3.1 Proces pridelovanja celuloze in papirja

Proces pridelave papirja je razdeljen na več različnih faz poteka (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Priprava celulozne kaše* (razpad celuloznih vlaken, razvlaknjenje, prečiščevanje, mešanica različnih dodatkov, čiščenje)
- *Oblikovanje listov*
- *Mokro stiskanje*
- *Sušenje*
- *Prevlačenje*
- *Zaključna faza:* Nanos na sušilne valje, glajenje, proces navijanja in rezanje

1.3.1.1 Priprava celulozne kaše

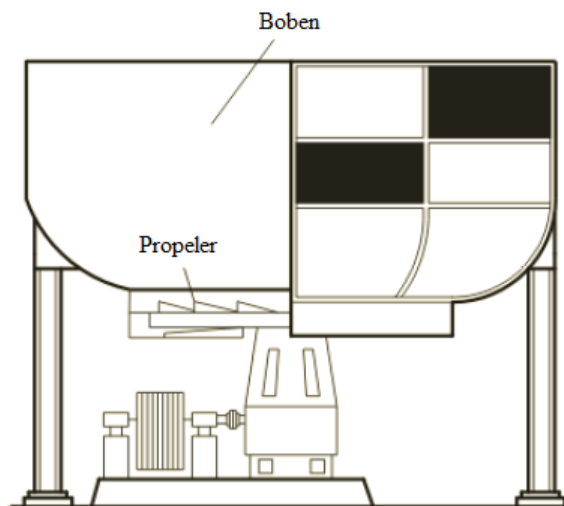
Priprava celulozne kaše je prva faza proizvodnje papirja. Razdeljena je na več delov: razpad celuloznih vlaken, razvlaknjenje, prečiščevanje, dodajanje mešanice različnih dodatkov in čiščenje (About paper - Paper Manufacturing 2008). Vsaka faza priprave celulozne kaše bo predstavljena v naslednjih podpoglavjih.

1.3.1.1.1 Razpad celuloznih vlaken

Papirnice lahko same izdeluje celulozo. V tem primeru jih imenujemo integrirane ali alternativne papirnice. Če papirnice uporabljajo celulozo, ki jo prejmejo od drugih papirnic, pa se imenujejo ne integrirane papirnice. V obratih, kjer ne izdelujejo celuloze v svojih prostorih, prejmejo celulozo v obliki stisnjenih plošč, ki se mora potopiti v vodo, da celulozna vlakna se razbijejo. Na tak način je celuloza uporabna kot surovino za nadaljnji proces. Papirni odrezki, ki se proizvajajo v vseh tovarnah in so posledica obrezovanja ali ostanki delov robov koluta, se lahko ponovno uporabijo ali reciklirajo v procesu. Tudi te je treba predhodno potopiti v vodo. Ta mehanski postopek imenujemo razpad celuloznih vlaken. Pri obratih, ki sami izdelujejo celulozo, gre vlaknena suspenzija (voda in vlakna) direktno v proces mletja (About paper - Paper Manufacturing 2008).

Celulozna vlakna je treba razgraditi. Proces razgradnje celuloznih vlaken se odvija v razpuščevalniku (slika 5). Vlakna morajo iti skozi serijo postopkov. Ti postopki oblikujejo in zagotavljajo vse potrebne lastnosti za vsak tip papirja posebej.

Razpuščevalnik je visoko zmogljiv stroj valjaste oblike. V spodnjem delu je nameščen propeler, ki pretrese celulozne liste. S pomočjo stalnega drgnjenja celuloze pri propelerju, se vlakna ločijo, pri čemer nastane v vodi suspenzija, z gostoto med 6% in 12% suhe snovi (About paper - Paper Manufacturing 2008).



Slika 5: Razpuščevalnik (About paper - Paper Manufacturing 2008)

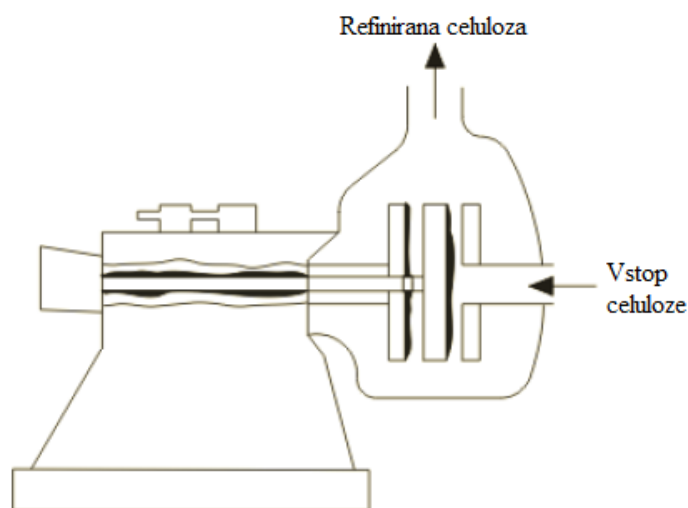
Ko se vlakna razčlenijo, se proces v razpuščevalniku konča. Celuloza prehaja skozi rešetke, ki ne dovoljujejo prehoda velikim delcev, ki niso dovolj razčlenjeni, in tako se deponira v boben za nadaljnjo uporabo (About paper - Paper Manufacturing 2008). Velike delce, ki ne gredo v nadaljnji proces, se odstrani.

1.3.1.1.2 Razvlaknjenje

Po razpadu celuloznih vlaken sledi razvlaknjanje. Proces razvlaknanje se odvija bodisi v trgalniku bodisi v razvlaknjevalniku. Vendar trgalnik ni vedno najbolj primeren kos opreme za razpad celuloznih vlaken, saj pri tem porabi ogromno energije. Za rešitev tega problema so bolj primerni razvlaknjevalniki, ki se uporabljajo za skupno razčlenjevanje vseh vlaken (About paper - Paper Manufacturing 2008). Razvlaknjevalnik je naprava, sestavljena iz treh plošč, ki so lahko luknjaste ali rebraste. Med gibanjem teh plošč pri visoki hitrosti, so vlakna izpostavljena trkom, potujejo skozi ozke cevi, kjer se dokončno razčlenijo. Pridobljena vlakna, prvotno iz lesa ali drugih rastlin, morajo izboljšati določene lastnosti, potrebne za ustrezno oblikovanje listov ter za poznejšo uporabo (About paper - Paper Manufacturing 2008). Vsaka vrsta papirja zahteva mletje, ki izboljšuje posebne karakteristike papirja. S tem postopkom celuloza pridobi lastnosti za proizvodnjo različnih vrst papirja.

1.3.1.1.3 Mletje

Mletje je postopek za pripravo celuloze, v katerem se zaradi mehanskega delovanja in prisotnosti vodnega medija, spremeni morfologija vlaken in njihova fizikalno-kemična struktura. Stroj, ki se uporablja za mletje, je sestavljen iz dveh diskov: statičnega in rotacijskega, med katerima dvema potuje celuloza. Ti elementi so opremljeni s kovinskimi palicami in noži, izdelani iz posebnih zlitin (About paper - Paper Manufacturing 2008). Stroj je prikazan na sliki 6.



Slika 6: Prikaz dveh diskov za mletje (About paper - Paper Manufacturing 2008)

Faza mletja porabi veliko energije. Večina energije se uporabi za premikanje stroja in ne za sam proces (About paper - Paper Manufacturing 2008). Kot posledica tega so stroški relativno nizki.

Pri samem mletju je pomembna sestava in struktura vlaken. vlakna so sestavljena iz različnih kemičnih spojin. Delimo jih na lignin, ogljikove hidrate in druge spojine (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Lignin*: Je temno obarvana, zelo spremenljiva kemijska spojina, ki povzroča staranje. Ne omogoča dovajanje tekočine, tako da ni smiselna pri proizvodnji papirja. Izloči se s kuhanjem (omehča se pri 130°C do 160°C), vendar majhen delež (do 3%) lignina se veže s celulozo.
- *Ogljikovi hidrati (celuloza in hemiceluloza)*:
 - Celuloza: Predstavlja približno 40% skupnega zneska. Je ogljikov hidrat, ki vsebuje večinoma glukozo. Tvori tridimenzionalno kristalno mrežo, ki ima hidrofilno zunanjo površino. Poznamo tri različne vrste celuloze:
 - α -celuloza: dolge verige, sestavljene iz glukoze
 - β -celuloza: krajše verige glukoze kot α -celuloza

- γ -celuloza: najkrajše verige glukoze
- Hemiceluloza: Vsebuje do pet različnih sladkorjev.
- *Druge spojine*: smola, tanini in mineralni materiali

Vlakna so sestavljena iz različnih plasti, ki se delijo na primarne in sekundarne stene (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Primarna stena*: Je zelo tanka in vsebuje nekaj filamentov, ki prehajajo med seboj in leži skoraj pravokotno na os vlakna. Lahko vsebuje do 50% lignina in izgine pri beljenju in kuhanju v proizvodnem procesu celuloze.
- *Sekundarna stena*: Sestavljena iz zunanje, srednje in notranje sekundarne stene.

Mletje kot proces vpliva na vlakna. Med procesom se primarna in zunanja sekundarna stena vlakna pretrga in delno odstrani. Tako je omogočeno prodiranje vode v notranjost. Sproščajo se notranja vlakna, ki so ločena in proizvajajo lepša mikrovlakna na površini vlakna. Zaradi vseh teh vplivov postanejo vlakna bolj prožna in mehka, hkrati se jim poveča površina in specifičen volumen. Vse te učinke lahko razdelimo v tri skupine (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Hidracija* – Zaradi mešanja vlaken pri mletju, voda prodre med vlakna, ki proizvajajo učinek hidracije v vlaknu. To je posledica dejstva, da se voda in celuloza združita s pomočjo kemijske reakcije.
- *Fibrilacija* – Sproščanje in ločevanje vlaken, ki imajo delno razbito steno, zaradi drenja nožev in vlaken med seboj.
- *Obrezovanje* – Učinek, ki ga povzroči delovanje lopatic na vlaknu ter zmanjšuje njegovo dolžino.

1.3.1.1.4 Dodajanje mešanice različnih dodatkov

Pri izdelavi papirja je bistveno, da ima končni izdelek značilnosti in lastnosti, primerne za posamezno uporabo papirja. V procesu priprave celuloze so lastnosti vlaken že spremenjene s kemično-mehanskimi postopki. Pri ustvarjanju potrebnih pogojev običajno ne zadostuje samo uporaba različnih vrst rastlinskih vlaken. V skladu z vrsto papirja se dodajo dodatki, ki spremenijo karakteristiko papirja in / ali dodatki, ki so v pomoč v proizvodnji papirja in pri tem ne spreminjajo lastnosti papirja. Najpogostejši dodatki, ki spremenijo karakteristiko papirja so (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Pigmenti*

- *Barvila in optična belila*
- *Smola za zagotavljanje odpornosti v vlažnih razmerah*
- *Dodatek za velikost*
- *Dodatek za zagotavljanje odpornosti v suhih razmerah*

Dodatki, ki olajšajo proizvodnjo določene vrste papirja so (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Dodatki za preprečevanje nastanka pene*
- *Mikrobicidi - antibiotiki*
- *Sredstva za zadrževanje*

1.3.1.1.5 Čiščenje

Pri izdelavi papirja je bistvenega pomena nadzor izdelkov. Med postopkom priprave celuloze se kontrola izvaja z uporabo sistema čiščenja. Pri čiščenju se ločujejo vlakna ali izdelki, od vseh nezaželenih delcev, ki bi lahko škodovali papirju ali povzročali težave med proizvodnjo. Glavna cilja čiščenja sta pridobiti čisti papir brez madežev ter preprečiti poškodbe in obrabe v proizvodnji (About paper - Paper Manufacturing 2008). Tisti del papirja, ki ni čist, se ga po potrebi odstrani iz proizvodnje.

Čiščenje lahko poteka ob različnem času v procesu proizvodnje papirja, odvisno od vrste papirja. Nečistoča je razdeljena na dva dela (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Nečistoča v masi (težka in lažja):* pesek, sponke
- *Nečistoča v velikosti:* drobci, lepljive snovi

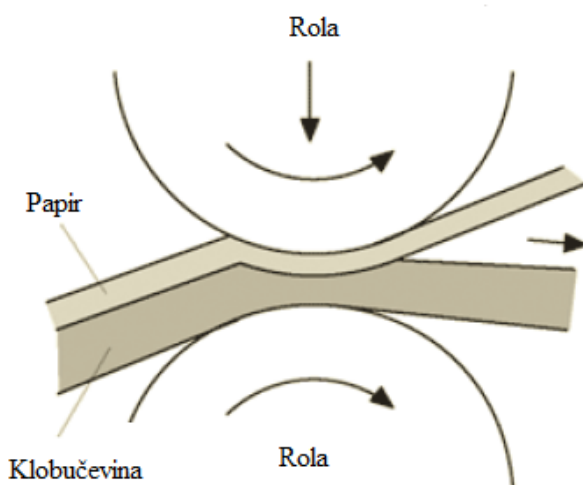
1.3.1.2 Oblikovanje papirja

Ko je celulozna kaša pripravljena s vsemi potrebnimi lastnostmi in pravimi surovinami (vlakna, dodatki, pigmenti) v mešalnem polju, so naslednje faze v postopku izdelave papirja precej podobne, ne glede na vrsto papirja. Faza oblikovanja papirja vključuje preoblikovanje prostornine razredčenih vlaknin v fini, širok in enoten laminat, ki se kasneje pretvori v papir. V papirni industriji se oblikovanje papirja razume kot način, pri katerem se vlakna medsebojno povezujejo med seboj (About paper - Paper Manufacturing 2008). Po fazi oblikovanja papirja sledi faza mokrega stiskanja.

1.3.1.3 Mokro stiskanje

S pomočjo stiskanja lahko odstranimo del vode v papirju. Preostala voda, ki jo vsebuje papir, se odstrani na poti do končnega oblikovanja. Postopek sušenja, ki se uporablja takoj po fazi oblikovanja papirja, je znano kot mokro stiskanje. Mokro stiskanje je nadaljevanje procesa proizvodnje papirja z izločanjem vode (About paper - Paper Manufacturing 2008).

Ob prehodu papirja iz faze oblikovanje v fazo sušenja, imajo listi približno 80% vode. Na koncu stiskanja ostane le še približno 60% vode. V tem procesu se listi papirja stiskajo med rolami, ki pritiskajo na papir in tako iztiskajo vodo, hkrati pa dajejo papirju določeno površino in lastnosti, ki so ugodne za njegovo poznejšo uporabo (About paper - Paper Manufacturing 2008). Proces mokrega stiskanja je prikazan na sliki 7.



Slika 7: Prikaz stiskanja papirja s klobučevino med rolami (About paper - Paper Manufacturing 2008)

Klobučevina je tkanina, ki se vrti okoli rol v stiskalnici in je odgovorna za prevoz listov. Zaradi svoje velike sposobnosti po absorpciji vode, vpija vso stiskano vodo. Po končanem procesu se spere, posuši in se pripravi na novo stiskanje. Role izvajajo pritisk na papir, ki povzroči sproščanje vode. Zaradi absorpcije vode se klobučevina kasneje tudi odstrani. Glavne funkcije stiskanja so (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Visoka raven učinkovitosti in primernosti za strojno obdelavo, zagotavljajo listom večjo odpornost pri stiskanju*
- *Varčevanje energije v procesu, ki poteka po sušenju*
- *Listi pridobijo površinsko gladkost, ne da bi pri tem zamenjali debelino*

Fazi mokrega stiskanja sledi faza sušenja, kjer se vlaga papirja zniža na minimum.

1.3.1.4 Sušenje

Papir, ki prihaja iz faze mokrega stiskanja, vsebuje približno 60% vode. Vsebnosti vode več ne moremo znižati s fizikalnimi postopki. V fazi sušenja se uporablja toplota. Vlaga v papirju se zmanjša na približno 5%. Minimalna vlaga je potrebna zaradi elastičnosti papirja. Postopek sušenja poteka s toploto, ki povzroči izhlapevanje vode iz papirja. Faza sušenja porabi največjo količino energije v proizvodnji papirja (About paper - Paper Manufacturing 2008). Kot posledica velike uporabe energije, je tudi najdražja faza v procesu proizvodnje papirja. Z ustreznimi metodami se s pomočjo toplote dviguje temperatura v območju sušenja, kar povzroči izhlapevanje vode. Zaradi spremembe stanja vode je ta proces kemični proces. V postopku se prenašata energija in masa. Masa je voda, ki se spremeni v paro in se izloči v ozračje (About paper - Paper Manufacturing 2008). Para je odličen transporter energije, ki ima naslednje prednosti: za njeno proizvodnjo se uporablja voda, lažje jo je nadzorovati in prenaša velike količine energije na enoto mase. Kondenzirana voda, ki nastane med postopkom, mora biti izločena iz notranjosti sušilnikov, da ne pride do težav pri sušenju (About paper - Paper Manufacturing 2008). Pomembno je, da para ne vsebuje tujih delcev, kot so trdni delci iz vode ali iz poroznih cevi. Za preprečevanje dostopa delcev v pari, so v ceveh nameščeni filtri.

Učinkovitost izhlapevanje vode je odvisna predvsem od temperature, kakovosti zunanjega zraka in kroženje zraka v oddelku za sušenje. Prenos toplote za ogrevanje listov pri sušenju se dogaja na dva načina. Prvi način je s prevodnostjo, kjer se izvaja skozi telo predmeta. Drugi način pa je s konvekcijo, kjer se toplota spremeni v tekočino in pline. Na podlagi različnih metod prenosa toplote, obstaja veliko različnih sistemov za sušenje papirja (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Sušenje s pomočjo zraka*
- *Sušenje s zračnimi curki*
- *Infrardečo sušenje*
- *Sušenje z ogrevanimi valji*

Po končani fazi sušenja je papir pripravljen za fazo prevlačenja. Do faze prevlačenja je že nastal primeren papir.

1.3.1.5 Prevlačenje

V fazi prevlačenja površina papirja še ni primerna za tiskanje s črnilom. Prevlačenje izboljša kakovost površine, da se lahko uspešno in enostavno uporabijo barve. Papirju daje gladkost in sijaj, ki sta potrebno za črnila (About paper - Paper Manufacturing 2008).

Papir ima zaradi vlaken porozno strukturo. Če papir pride v stik s tiskarskim črnilom, se ta običajno razširi v vse smeri. Pomembno je, da se to prepreči z gladko in ravno površino (About paper - Paper Manufacturing 2008). Za izboljšanje papirja se dodajajo dodatki, ki dajejo papirju lastnosti. Te lastnosti so sijaj, motnost, gladkost in belina. Prevlačenje se izvaja izključno na določenih tipih papirja, ki so namenjeni za pisanje ali tiskanje. Po fazi prevlačenja sledi zaključna faza.

1.3.1.6 Zaključna faza

V zaključni fazi se papir nanosi na sušilne valje. Papir gre po potrebi skozi postopek glajenja. Sledi proces navijanja in rezanja (About paper - Paper Manufacturing 2008). Omenjeni deli zaključne faze so opisani v podpoglavjih tega poglavja.

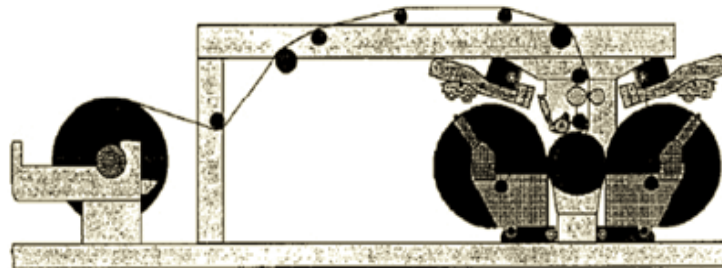
1.3.1.6.1 Nanos na sušilne valje in glajenje

Nekatere vrste papirja so po prehodu skozi nanos že pripravljene na postopek s tiskarskim črnilom. Papirji, ki zahtevajo visoko kakovost površine, morajo iti skozi postopek glajenja. Glavni namen glajenja je izboljšati sijaj in tiskarske lastnosti papirja. Obstaja več karakteristik papirja (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *Gladkost* – pomemben vidik, kadar gre za tiskanje papirja. Daje večjo gladkost, večji sijaj in boljšo absorpcijo črnila
- *Debelina* – glajenje zmanjša debelino papirja, ki je izmerjena z visoko natančnostjo z mikrometrom
- *Optične lastnosti* – številne značilnosti, ki so odvisne od vpada svetlobe na list papirja:
 - Barva: Ob odbitju svetlobe na papir sprejmemo sevanje (barvo).
 - Belina: Papir odraža vso barvo v enakem razmerju. Pigmenti in dodatki povečajo belino.
 - Motnost: Odvisna je od količine svetlobe, ki prečka papir.
 - Sijaj: Odvisen od količine svetlobe, ki prehaja na papir.

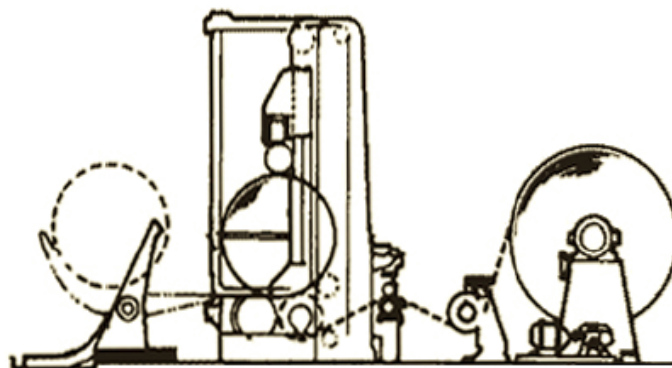
1.3.1.6.2 Proces navijanja

Porabniki papirja potrebujejo papir v obliki, ki zadostuje njihovim potrebam. Papir se pri fazi glajenja in nanašanja na valje zvija v obliki kolutov, za lažji transport in uporabo v drugih postopkih. Vsak kolut se nato shrani do naslednje faze – navijanje. Obstajata dva različna tipa navijalnih strojev: navijalni stroj s posameznim postopkom navijanja (slika 8) in dvojni navijalni stroj (slika 9) (About paper - Paper Manufacturing 2008).



Slika 8: Navijalni stroj s posameznim postopkom navijanja (About paper - Paper Manufacturing 2008)

Namen postopka navijanja je, da se zmanjšajo obsegi kolutov iz velikega na manjši premer in manjšo širino. Ta postopek poteka v navijalnem stroju. Temelji na mehanski napravi, ki pretvori velike role papirja na več manjših kolutov ustreznega premera, velikosti in trdote (About paper - Paper Manufacturing 2008). Zahteve so odvisne od strank ali od dejavnosti, ki se izvajajo naknadno (skladiščenje, transport, ponovna uporaba).



Slika 9: Dvojni navijalni stroj (About paper - Paper Manufacturing 2008)

1.3.1.6.3 Rezanje

Papir, ki zaključuje svoj proces proizvodnje, je izdelan v kolutih. Preden ga stranka prevzame, je lahko podvržen različnim procesom, kateri ustvarijo potrebne lastnosti in dimenzije, ki jih stranka potrebuje. Končni izdelek se lahko prevzame v dveh oblikah (About paper - Paper Manufacturing 2008):

- *V kolutih* – neposredno iz navijalnih strojev, s posebnimi dimenzijami
- *V formatu ali listih* – izdelani so iz kolotov papirja, kjer se jih razreže na pravokotne kose pravih dimenzij, v skladu z zahtevami strank

Papir je treba obdelati s postopkom rezanja, s katerim zagotovimo pravilne dimenzije za določeno uporabo papirja. Nato ga je treba pregledati, zložiti, prešteti in pripraviti za transport. V procesu se lahko kadarkoli pojavijo napake, ki zaznamujejo končni proizvod. Obstajajo dve vrsti napak: napake, ki so že prisotne v kolutu in napake, ki nastanejo v stroju za rezanje. Ko je papir narezan, se pošlje s transportnimi trakovi, ki delujejo na valjih, do prostora, kjer se prične zlaganje (About paper - Paper Manufacturing 2008). Nato se papirji zložijo, spakirajo in pošljejo naročniku. Vsak paket mora biti ustrezno označen. Paketi papirja se nato preštejejo. Preštevanje se izvede samodejno, kar omogoča nadzor nad procesom proizvodnje papirja.

1.3.2 Recikliranje papirja

Recikliranje je vrsta dejavnosti, ki vključuje zbiranje materialov, ki se sicer štejejo med odpadke, vendar jih lahko recikliramo, sortiramo in pridelamo v reciklažno surovino, kot so vlakna ali surovine za nove izdelke (Municipal solid waste 2014). Recikliranje papirja je v današnjem času postala pomembna dejavnost v papirnih industrij. Le ta prinaša prednosti k varovanju okolja, ki so (Paper recycling 2013):

- *Zmanjševanje emisije toplogrednih plinov:* z izogibanjem emisij metana in zmanjšanjem energije, potrebne za številne papirne izdelke
- *Prispevanje k skladiščenju ogljika*
- *Prihrani veliko deponijskega prostora*
- *Zmanjšuje porabo energije in vode*
- *Zmanjšuje potrebo po odstranjevanju:* npr. odlagališča ali sežig

Agencija za varstvo okolja (2013) opisuje proces recikliranja v treh korakih. Uspeh in vrednost recikliranja zagotavlja zbiranje in pridelava surovin, proizvodnja izdelkov iz recikliranega materiala in nato nakup teh izdelkov:

- *Zbiranje in pridelava:* Pri zbiranju reciklaže obstajajo štiri osnovne metode: ločeno zbiranje odpadkov, odkupni centri, zbirni centri in program za zamenjavo izdelkov. Ne glede na metodo materiale pošljejo v obrat za predelavo materialov, kjer jih sortirajo in pripravijo kot tržno blago za proizvodnjo. Cene le teh se spreminjajo in nihajo glede na potrebe trga.
- *Proizvodnja izdelkov:* Ko so materiali sortirani in očiščeni, nadaljujejo svoj proces v proizvodnjo izdelkov. Skupni gospodinjski predmeti, ki vsebujejo reciklirane materiale, vključujejo časopise, papirnate brisače, aluminij, plastiko in steklene posode.
- *Nakup recikliranih proizvodov:* Z nakupom teh izdelkov podpremo reciklažo. Potrošniki zahtevajo izdelke, ki so okolju prijazni, zato se proizvajalci trudijo zadovoljiti njihove potrebe in pridelati visoko kakovostne reciklirane izdelke.

Odpadni papir mora biti čist, suh in brez onesnaževalcev, da ga lahko industrija uporabi kot surovino za izdelavo novega izdelka. V nekaterih papirnatih izdelkih je sprejemljiva majhna količina onesnaževal, vendar je pri stopnji onesnaževalcev potrebna omejitev. Onesnaževalci lahko hudo poškodujejo delavce ali opremo. Ti so (Recovered paper quality 2014):

- *Plastike*
- *Steklo*
- *Kovinski delci*
- *Lepila in trakovi*
- *Odpadki hrane*
- *Premazi*

1.4 VPLIVI PROIZVODNJE CELULOZE IN PAPIRJA NA OKOLJE

Proizvodnja papirja je veljala za velikega porabnika naravnih virov, kot sta les in energija, predvsem fosilna goriva in elektrika. Industrija je povzročila izpuste onesnaževalcev v okolje. S pomočjo številnih okoljskih ukrepov se je izboljšal nadzor nad emisijami. Od leta 1980 so se emisije zmanjšale za 80 – 90% (IPPC 2001). IPPC (2001) zajema naslednje vidike vplivov na okolje:

- *Poraba lesa*
- *Poraba vode in emisije odpadnih vod*
- *Emisije v ozračje*
- *Trdni odpadki*
- *Uporaba kemikalij*
- *Uporaba energije*
- *Hrup*

1.4.1 Poraba lesa

Za proizvodnjo celuloze se lahko uporabljajo vse vrste lesa. Za proizvodnjo ene tone kemične celuloze se običajno porabi 4 do 6,6 m³ lesa. V gospodarstvo se prostornina lesa izmeri brez lubja, gostota pa je odvisna od vrste lesa, ki je med 0,4 in 0,6 g/cm³ (IPPC 2001). Poraba lesa mora biti okolju prijazna in primerno načrtovana s trajni gospodarjenjem, da ohranimo ekološke niše in ekosisteme ter poskrbimo za varovanje biodiverzitete.

1.4.2 Poraba vode in emisije odpadnih vod

V primerjavi z drugimi industrijami, je v papirni proizvodni relativno visoka poraba vode. Voda je nujno potrebna pri procesih pridelave papirja: pri razgradnji celulozne kaše in beljenju papirja, prevozu, pranju vlaken med pridelavo celuloze in pri nastajanju različnih suspenzij. Uporablja se pri procesu hlajenja, ker ima visoko energetska intenzivnost in običajno nima onesnažil (Environmental guide for pulp and paper production 2014). Zaradi hitro naraščajočega števila prebivalstva na svetu se povečuje onesnaževanje in intenzivna raba, kar povečuje potrebo po odgovornem ravnanju in načrtovanju porabe vode.

Okoljski vodnik za proizvodnjo celuloze in papirja (Environmental guide for pulp and paper production 2014) opisuje parametre, s katerimi se opisuje koliko organskih snovi je v vodi. Ti parametri so:

- *Kemijska potreba po kisiku – KPK (ang. COD – Chemical Oxygen Demand):* je merilo, pri katerem se meri organsko onesnaževanje površinskih in odpadnih vod.
- *Biokemijska potreba po kisiku - BPK (ang. BOD – Biological Oxygen Demand):* je merilo za ugotavljanje biorazgradljivosti organskih onesnaževal s pomočjo mikroorganizmov.

- *Adsorbilivi organski halogeni (ang. AOX – Adsorbable Organic Halogens):* je vsota vseh adsorpcijskih organskih halogenov v odpadni vodi. Zajema različne snovi s posebnimi kemijskimi lastnosti, ki so nevarne okolju.
- *Skupne suspendirane snovi (ang. TSS – Total Suspended Solids):* so neraztopljene trdne snovi, ki se sproščajo v odpadno vodo in so sestavljene iz anorganskih polnil, pigmentov in vlaken.
- *Skupna količina dušika (ang. Ntot – Total Nitrogen):* dušik v odpadnih vodah. Pri proizvodnji papirja se emisije dušika izločajo iz celuloze, večinoma v fazi razgradnje celulozne kaše.
- *Skupna količina fosforja (ang. Ptot – Total Phosphor):* fosfor v odpadnih vodah. Pri proizvodnji papirja se emisije fosforja izločajo iz celuloze, v glavnem med razgradnjo celulozne kaše in postopkom beljenja.

Organske snovi, ki so lahko razgradljive ali obstojne in se sproščajo v naravnem okolju (npr. reke, jezera), imajo potencial, da negativno vplivajo na kakovost vode. Omenjene snovi porabijo ves kisik, ki je na voljo. Razumeti je treba, da je iz okoljskega vidika absolutna obremenitev organskih onesnaževal v veliki meri odvisna od vrste in velikosti prejemnika (Environmental guide for pulp and paper production 2014). Med vnosi organskih onesnaževal v majhne reke in jezera ali v velike reke in morja je očitna razlika.

1.4.3 Emisije v ozračju

Emisije, ki gredo v ozračje, so sestavljene predvsem iz spojin, ki vsebujejo žveplo (npr. žveplov dioksid) in smrdljivih žveplovih spojin (npr. metil merkaptan, dimetil sulfid in vodikov sulfid). Slednje pogosto imenujemo »skupna količina žvepla« (ang. TRS – Total reduced sulphur) (IPPC 2001). V naravnem okolju SO₂ reagira z žveplovo kislino, ki skupaj z NO_x povzroča pojav, znan kot »kisli dež«. V višjih koncentracijah nosi tudi tveganje negativnih vplivov na zdravje ljudi (npr. astma). Zaradi visoke energetske intenzivnosti pri proizvodnji celuloze in papirja, so emisije SO₂ ena izmed ključnih okoljskih parametrov, ki so odgovorni za uspešnost proizvodnje izdelkov pri zmanjšanju vplivov na okolje (Environmental guide for pulp and paper production 2014).

NO_x so dušikovi oksidi, kot so NO in NO₂, ki se oblikujejo v vseh procesih v atmosferi. Za razliko od SO₂, ki nastane kot posledica žvepla v gorivu, nastajanje NO_x ni odvisno od določenega deleža dušika. Dušikovi oksidi izhajajo iz vseh kurilnih procesov za proizvodnjo energije in prevozov. Izhajanje dušikovih oksidov povzroči, da NO_x prispeva k oblikovanju smoga in kislih usedlin (Environmental guide for pulp and paper

production 2014). Povišane koncentracije dušikovih oksidov v ozračju resno ogroža zdravje človeka.

Eden izmed bolj prepoznavnih plinov, ki povzročajo globalno segrevanje, je ogljikov dioksid. Ogljikov dioksid nastane pri izgorevanju fosilnih goriv, kot so premog, nafta in plin za proizvodnjo energije. Emisije pri proizvodnji papirja nastajajo običajno izključno iz goriva, ki temelji na proizvodnji energije iz fosilnih goriv (Environmental guide for pulp and paper production 2014).

Poleg plina se izločajo tudi majhne količine prahu (trdnih delcev), tako imenovan pepel, ki nastane pri izgorevanju trdnih goriv, kot sta premog in biomasa (Environmental guide for pulp and paper production 2014). Višje koncentracije delcev lahko povzročilo težave z dihanjem.

Veliko problematiko predstavljajo tudi klorove spojine, ki se uporabljajo pri kemični pripravi papirja (IPPC 2001). Vplivajo na tanjšanje ozonskega plašča, ki povzroča intenzivnejši prehod UV žarkov (Environmental guide for pulp and paper production 2014). Učinki UV žarkov so lahko negativni za človeka, ker vplivajo na kožo in oči.

Hlapne organske spojine se sproščajo v ozračje iz lesnih sekancev, vendar so odvisne od časa shranitve, temperature in vrste lesa (IPPC 2001). Na kakovost zraka najbolj vplivajo emisije v zraku, zato je potrebno omejiti človekovo aktivnost, da preprečimo škodljive vplive na zdravje ljudi in okolje.

1.4.4 Trdni odpadki

Proizvodnja papirja ustvarja različne frakcije trdnih odpadkov: anorgansko blato iz kemične pridelave, lubje in lesni ostanki, blato iz odpadnih vod, prah iz kotlov in peči, pepel ter razni materiali. Organske snovi, ki se štejejo kot odpadni produkt, se sežgejo za pridobivanje energije. Če sežig organskih snovi ni mogoč, se le te obravnava kot odpadki. Lesni pepel iz kotlov za lubje vsebuje hranila, dokler niso okuženi s kovinami (IPPC 2001). Težke kovine obremenjujejo okolje in lahko škodujejo zemljini ter podzemni vodi.

Blato iz čistilne naprave je ena od glavnih skupin potencialnih odpadkov in je običajno zgoščeno (IPPC 2001). Potrebno je zagotoviti primerno odstranjevanje oz. obdelovanje blata, še posebno tistega, ki vsebuje veliko težkih kovin. Če je blato brez škodljivih snovi, se ga lahko izkoristi za nanos na kmetijska zemljišča ali za proizvodnjo energije.

Po IPPC (2001) je neto energija iz blata nična ali negativna, če je vsebnost suhih trdnih snovi v blatu pod 40% in če vsebuje preveč anorganskega materiala. Za izboljšanje pogojev se uporabljajo pomožna goriva ali mešanje blata z lubjem in drugimi lesnimi

odpadki. Sežig blata tako zmanjšuje količino odpadkov in ostankov pepela, ki se običajno odlagajo na odlagališčih.

Okoljski vodnik za proizvodnjo celuloze in papirja (2014) omenja, da izhajajo v proizvodnji celuloze in papirja tudi manjše emisije metana iz procesov zgorevanja. Emisije metana lahko nastajajo tudi v anaerobnih pogojih (npr. v odpadnih vodah) in so vedno prisotne v organskih odpadkih (blato in lubje). Te emisije se lahko uporabijo pri recikliranju papirja ali pri ponovni uporabi za proizvodnjo energije. Če se emisije ne uporabijo pri recikliranju papirja ali za proizvodnjo energije, se odložijo skupaj z drugimi ne ločenimi odpadki na odlagališču. Potencial toplogrednega plina metana velja za 25-krat višji kakor potencial ogljikovega dioksida (Environmental guide for pulp and paper production 2014). Upravljanje z metanom mora biti pravilo, saj skupaj z zrakom ustvarja eksplozivne zmesi.

1.4.5 Uporaba kemikalij

Uporaba kemikalij se razlikuje od papirnice do papirnice, veliko podatkov ni javno dostopnih, saj veljajo za zaupne.

1.4.6 Uporaba energije

Večji del toplotne energije se uporablja za ogrevanje različnih tekočin, za izhlapevanje vode ter za spodbujanje in nadzor kemijskih reakcij. Električna energija se večinoma uporablja za transport materiala in za delovanje papirnih strojev. Pri proizvodnji beljene celuloze se porabi okoli 10 – 14 GJ / ADT toplotne energije, kjer para za proizvodnjo električne energije ni vključena. Poraba električne energije je 600 – 800 kWh / ADT, vključno s sušenjem celuloze. Pri sušenju celuloze se uporabi približno 25% toplotne energije in 15 – 20% električne energije. Poraba energije je odvisna od konfiguracije, procesne opreme in učinkovitosti procesov (IPPC 2001). V večini primerov je poraba energije povezana z različnimi emisijami v zraku pri izgorevanju goriv. V preteklosti so bile obravnavane predvsem emisije SO₂ in NO_x, danes pa se CO₂ šteje kot najbolj problematičen vpliv na rabo energije (Environmental guide for pulp and paper production 2014).

1.4.7 Hrup

Po IPPC (2001) obstaja več virov hrupa: ventilatorji, motorji, dimniki, parne šobe, odstranjevanje lubja in prevozi. Tovornjaki in druga vozila, ki se uporabljajo v obratih proizvodnje, povzročajo hrup okolici. Iz dveh primerov švedskih papirnicah lahko

domnevamo, da se nivo hrupa širi 500m okoli jedra proizvodnje, pri jakosti 50dB. Čez noč se hrup razširi tudi do 2km.

2 MATERIALI IN METODE

2.1 MATERIALI

V naši raziskavi smo uporabili podatke papirnice v Čilu. Papirnica v regiji Bío Bío izdeluje več tipov papirnih izdelkov. Za analizo LCA smo izbrali pet vrst izdelkov glede na največjo proizvedeno količino v letu 2011, 2012 in 2013 (preglednica 1). Vse potrebne podatke za analizo LCA smo pridobili v papirnici in v podatkovnih bazah.

Preglednica 1: Izbrani izdelki z njihovo največjo proizvedeno količino

Vrsta izdelka	2011 [ton/leto]	2012 [ton/leto]	2013* [ton/leto]	Povprečje [ton/leto]
Izdelek A	25487	25270	23223	24660
Izdelek B	5673	7996	13688,6	9119
Izdelek C	11049	6602	6290	7980
Izdelek M	57138	60737	57967	58614
Izdelek Q	3748	3856	3951	3852

* Proizvedena količina za celotno leto 2013 je bila ocenjena glede na proizvedeno količino do julija 2013

V analizo LCA smo vključili dve vrsti papirja, in sicer časopisni papir in hibrid. Vrsta časopisnega papirja so bili izdelki A, B, M in Q, vrsta hibrida pa izdelek C. Glavni razliki med analiziranimi tipi papirja sta bili vrsta papirja in vsebnost celuloze (preglednica 2).

Preglednica 2: Glavne surovine za proizvodnjo ene tone izdelka

Vrsta izdelka	Sulfatna celuloza [ADT*/ton]	Mehanična celuloza [ADT*/ton]	Recikliran papir [ton/ton]
Izdelek A	0,04	0,68	0,00
Izdelek B	0,10	0,92	0,01
Izdelek C	0,12	1,00	0,01
Izdelek M	0,06	0,95	0,03
Izdelek Q	0,13	0,99	0,01

*ADT - ena tona suhe celulozne kaše

Preglednica 2 prikazuje glavne surovine za proizvodnjo ene tone izdelka. Papirnica uporablja sulfatno celulozo, mehanično celulozo in recikliran papir pri izdelavi papirnih izdelkov. Najvišjo vsebnost mehanične celuloze imajo izdelek B (0,92 ADT/ton), izdelek C (1,00 ADT/ton), izdelek M (0,95 ADT/ton) in izdelek Q (0,99 ADT/ton). Najmanjšo vsebnost mehanične celuloze ima izdelek A (0,68 ADT/ton). Papirnica uporablja manjše količine sulfatne celuloze v proizvodnji papirja. Najvišjo količino sulfatne celuloze imata izdelek C (0,12 ADT/ton) in izdelek Q (0,13 ADT/ton). V nasprotju omenjenih izdelkov z najvišjo vsebnostjo sulfatne celuloze, imajo izdelek A, B in M najmanjšo vsebnost sulfatne celuloze. Vsebnost recikliranega papirja je pri vseh izdelkih mala, razen pri izdelku M (0,03 ADT/ton). Izdelek A ne vsebuje recikliranega papirja.

2.2 METODE

Okoljske vplive proizvodnje papirja smo določili na izbranih petih vrstah papirja, ki so se med seboj razlikovali v vsebnosti snovi v papirju. Okoljske vplive smo določili z analizo LCA. Analizo LCA smo izdelali skladno s standardom ISO 14044 (2006). Določili smo cilj analize, funkcionalno enoto in meje sistema. Analiza LCA je bila izdelana za del življenjskega cikla papirja, in sicer »od zibelke do vrat«. Kvalitativni podatki za analizo LCA so bili pridobljeni iz papirnice, ki nam je podatke rabe vhodnih surovin, energije, transporta, nastalih odpadkih, itd. posredovala na podlagi proizvedenih količin v letu 2011, 2012 in 2013. Emisijske faktorje, povezane z rabo virov, nastalih odpadkov in emisij, pa smo pridobili iz podatkovne baze Ecoinvent 2.0. (2010).

Analizo LCA smo izvedli s programsko opremo Simapro 7.3.3, ki omogoča poenostavljeno natančno sledenje vsem materialnim tokovom skozi življenjski cikel ter dosledno klasifikacijo in kategorizacijo podatkov. Določili smo okoljske vplive papirjev, ki so določeni v pravilih kategorij proizvodov, PCR, za celulozo, papir in papirne izdelke.

Zato smo uporabili metodo CML 2 baseline 2000, s katero smo določili naslednje okoljske vplive: acidifikacija, eutrofikacija, globalno segrevanje, tanjšanje ozonskega plašča in fotokemična oksidacija.

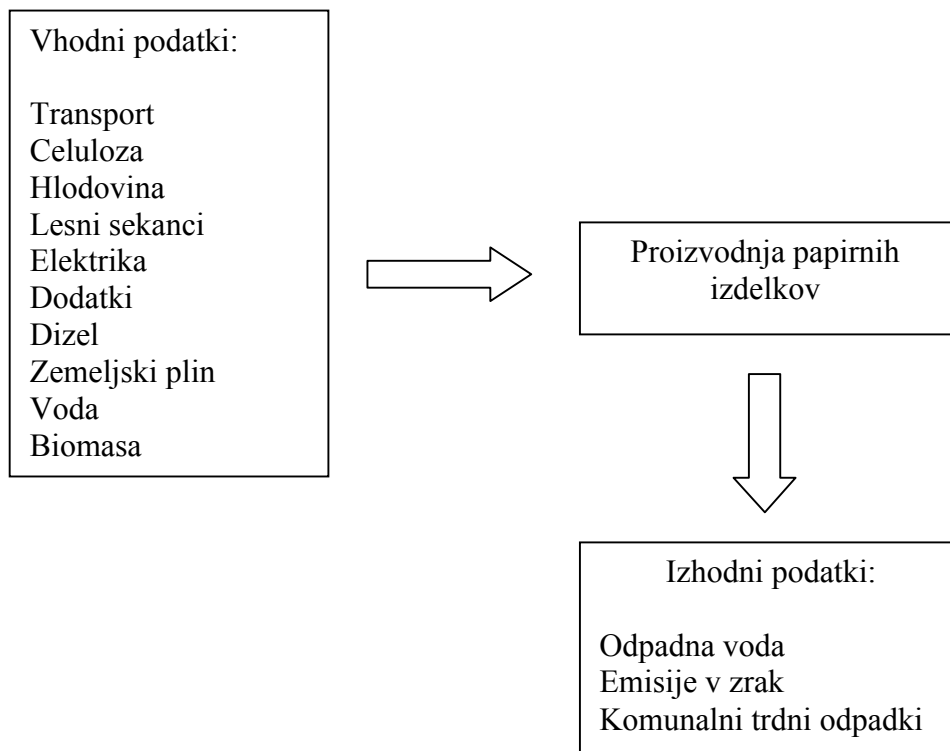
2.2.1 Cilj in obseg študije

Glavni cilj raziskave je bil objektivno ovrednotenje okoljskih vplivov petih različnih vrst papirja, ki ga izdelujejo v papirnici v Bío Bío regiji v Čilu. Za doseg cilja smo sledili mednarodni okoljski deklaraciji in pravilom kategorij proizvodov. Zaradi objektivnega ovrednotenja okoljskih vplivov posameznih vrst papirja smo lahko naredili grafično primerjavo in interpretacijo rezultatov. Cilj grafične primerjave in interpretacije je bil, da kritično presodimo, katera vrsta papirja je imela najbolj ugoden vpliv na okolje. Hkrati smo kritično ocenili fazo v proizvodnji celuloze in papirja, ki je imela največji doprinos k okoljskim vplivom. Funkcionalna enota je bila ena tona papirnega izdelka.

Z analizo LCA smo analizirali del življenjskega cikla s pristopom »od zibelke do vrat«. Študija je obsegala proizvodnjo celuloze in proizvodnjo papirja, prevoz surovin in dodatkov, porabo energije, vode in odlaganje trdnih komunalnih odpadkov. V obsegu študije niso bili upoštevani nadaljnji procesi po proizvodnji papirnih izdelkov.

2.2.2 Inventar življenjskega cikla

Inventar podatkov življenjskega cikla smo določili na podlagi cilja in obsega naše raziskave. Pri inventarju smo upoštevali vhodne in izhodne podatke papirnice (slika 10). Podatki o vnosu energije, surovin, stranskih proizvodov, transportu, odpadkov in izpustov v zrak, vodo in tla so bili podani iz podatkovnih baz papirnice. Emisijski faktorji so bili podani iz podatkovne baze Ecoinvent 2.0. (2010).



Slika 10: Vhodni in izhodni podatki proizvodne papirnih izdelkov

Papirnica je uporabila različna goriva pri proizvodnji petih analiziranih vrst izdelkov (preglednica 3). Pri proizvodnji izdelkov je papirnica poleg zemeljskega plina in dizla, uporabila tudi lesne sekance, ki so stranski produkt njihove lastne proizvodne. Količina uporabljenega goriva se razlikuje pri izdelkih. Pri proizvodnji papirnih izdelkov je bila poraba zemeljskega plina med 0,2 GJ/ton in 0,04 GJ/ton. Izdelek C je imel največjo porabo zemeljskega plina (0,04 GJ/ton) in lesnih sekancev (41,8 GJ/ton). V nasprotju z najvišjo uporabo pri zemeljskem plinu in lesnih sekancih, ima izdelek C najmanjšo uporabo dizla (0,55 GJ/ton). Med proizvodnjo vseh petih analiziranih izdelkov je bila poraba dizla med 0,55 GJ/ton in 0,71 GJ/ton. Izdelek B je imel največjo porabo dizla (0,71 GJ/ton) in najmanjšo porabo zemeljskega plina (0,02 GJ/ton) in lesnih sekancev (38,9 GJ/ton). Poraba lesnih sekancev med proizvodnjo izdelkov je bila med 38,9 GJ/ton in 41,8 GJ/ton. Iz preglednice 3 lahko razberemo, da papirnica dobro izkorišča gorivo lesnih sekancev, kot stranski produkt. Količina porabe lesnih sekancev na tono papirja je višja, kot poraba zemeljskega plina in dizla.

Preglednica 3: Poraba zemeljskega plina, dizla in lesnih sekancev za proizvodnjo ene tone izdelka

Vrsta izdelka	Zemeljski plin [GJ/ton]	Dizel [GJ/ton]	Lesni sekanci [GJ/ton]
Izdelek A	0,03	0,59	40,8
Izdelek B	0,02	0,71	38,9
Izdelek C	0,04	0,55	41,8
Izdelek M	0,03	0,60	40,6
Izdelek Q	0,03	0,61	41,3

Poraba dodatkov v proizvodnji posameznega izdelka je prikazana v preglednici 4. Papirnica je uporabila pet različnih vrst dodatkov pri izbranih vrstah izdelkov. Ti dodatki so bili: bela glina, modificiran škrob, natrijev karbonat, optična belila in natrijev hidrosulfat. Bela glina je bila dodana samo pri proizvodnji izdelka Q (1,42 kg/ton). Vsebnost modificiranega škroba je bila med 1,15 kg/ton in 5,95 kg/ton. Modificiran škrob je bil edini dodatek, ki so ga vsebovali vsi analizirani izdelki. Najvišjo vsebnost modificiranega škroba je imel izdelek B (5,95 kg/ton), na drugi strani pa je imel izdelek C najnižjo vrednost omenjenega dodatka (1,15 kg/ton) in najvišjo vrednost natrijevega karbonata (3,00 kg/ton). Vsebnost natrijevega karbonata v analiziranih izdelkih je bila od 0,55 kg/ton do 3,00 kg/ton. Natrijev karbonat so vsebovali izdelek C (3,00 kg/ton), izdelek M (0,55 kg/ton) in izdelek Q (0,93 kg/ton). Optična belila so bila dodana samo pri enem izdelku, in sicer pri hibridnem izdelku C (2,25 kg/ton). Vsebnost natrijevega hidrosulfata je bila med 0,70 kg/ton in 10,85 kg/ton. Omenjeni dodatek je bil prisoten pri izdelku A, B, C in M. Izdelek B (0,70 kg/ton) je imel najnižjo vsebnost natrijevega hidrosulfata, medtem ko je bila vsebnost natrijevega hidrosulfata pri izdelku C (10,85 kg/ton) najvišja.

Preglednica 4: Poraba dodatkov za proizvodnjo ene tone izdelka

Vrsta izdelka	Bela glina [kg/ton]	Modificiran škrob [kg/ton]	Natrijev karbonat [kg/ton]	Optična belila [kg/ton]	Natrijev hidrosulfat [kg/ton]
Izdelek A	0	4,40	0	0	0,95
Izdelek B	0	5,95	0	0	0,70
Izdelek C	0	1,15	3,00	2,25	10,85
Izdelek M	0	5,85	0,55	0	0,75
Izdelek Q	1,42	5,02	0,93	0	0

Med proizvodnjo posameznih izdelkov so nastale emisije v zraku. V preglednici 5 so prikazane različne emisije, in sicer odpadna toplota, ogljikov monoksid, ogljikov dioksid, dušikov oksid in kisik. Vsebnost odpadne toplote je bila med 2,79 MJ/ton in 4,36 MJ/ton pri proizvodnji analiziranega izdelka. Najvišjo vsebnost odpadne vode je imel hibridni izdelek C (4,36 MJ/ton), medtem ko je imel izdelek B (2,79 MJ/ton) vsebnost odpadne toplote najnižjo. Vsebnost ogljikovega monoksida je bila med 4,48 kg/ton in 7,75 kg/ton. Ponovno je imel izdelek C (7,75 kg/ton) najvišjo vrednost in izdelek B (4,48 kg/ton) najnižjo vrednost ogljikovega monoksida. Emisije ogljikovega dioksida so bile med 832,72 kg/ton in 1242,00 kg/ton. Prav tako je imel izdelek C (1242,00 kg/ton) najvišjo vsebnost ogljikovega dioksida in izdelek B (832,72 kg/ton) najnižjo vsebnost ogljikovega dioksida. Vsebnost dušikovega oksida v zraku za analizirane izdelke je bila med 0,80 kg/ton in 1,16 kg/ton. Izdelek C (1,16 kg/ton) je imel ponovno najvišjo vsebnost dušikovega oksida in izdelek B (0,80 kg/ton) je imel ponovno najnižjo vsebnost omenjene emisije. Izdelek M (1,07 kg/ton) in izdelek Q (1,07 kg/ton) sta imela enak izpust dušikovega oksida. Emisije kisika so bile med 388,37 kg/ton in 652 kg/ton med proizvodnjo izbranih izdelkov. Prav tako je imel izdelek C (652 kg/ton) najvišjo vrednost kisika in izdelek B (388,37 kg/ton) najnižjo vrednost kisika. Količina vsebnosti emisij je podobna pri izdelkih A, M in Q, izdelek B in C pa s svojimi vrednostmi izstopata.

Preglednica 5: Vsebnost emisij v zrak za proizvodnjo ene tone izdelka

Vrsta izdelka	Odpadna toplota [MJ/ton]	Ogljikov monoksid [kg/ton]	Ogljikov dioksid [kg/ton]	Dušikov oksid [kg/ton]	Kisik [kg/ton]
Izdelek A	3,92	6,59	1148,50	1,09	563,65
Izdelek B	2,79	4,48	832,72	0,80	388,37
Izdelek C	4,36	7,75	1242,00	1,16	652,06
Izdelek M	3,81	6,36	1121,37	1,07	544,89
Izdelek Q	3,84	6,46	1123,80	1,07	551,98

Papirnica črpa vodo iz reke Bío Bío. Količina porabljene vode je bila za vse analizirane vrste izdelkov enaka, in sicer 0,04 m³. Vodo po končani uporabi zlijejo ponovno v reko Bío Bío s povprečno temperaturo 34°C. V proizvodnji izbranih izdelkov so nastali trdni komunalni odpadki in toplota (preglednica 6). Količina trdnih komunalnih odpadkov je bila med 0,05 kg/ton in 0,80 kg/ton. Izdelek M (0,80 kg/ton) je imel največjo količino trdnih komunalnih odpadkov, medtem ko je imel izdelek Q (0,05 kg/ton) najmanjšo količino omenjenih odpadkov. Izdelek M odstopa v preglednici 6 zaradi velike količine trdnih komunalnih odpadkov. Količina toplote je bila med 2583 MJ/ton in 2626 MJ/ton. Najnižjo količino toplote sta imela izdelka A (2583 MJ/ton) in M (2583 MJ/ton), medtem ko je imel izdelek Q (2626 MJ/ton) največjo količino toplote.

Preglednica 6: Količina trdnih komunalnih odpadkov in toplote kot emisija v vodo za proizvodnjo ene tone izdelka

Vrsta izdelka	Trdni komunalni odpadki [kg/ton]	Toplota [MJ/ton]
Izdelek A	0,34	2583
Izdelek B	0,12	2594
Izdelek C	0,11	2588
Izdelek M	0,80	2583
Izdelek Q	0,05	2626

3 REZULTATI

3.1 VPLIVI NA OKOLJE PRI PROIZVODNJI IZBRANIH IZDELKOV

Določili smo okoljske vplive izdelkov, ki so vplivali na okolje med proizvodnjo izbranih izdelkov. V preglednici 7 je prikazanih deset vplivov, in sicer abiotsko izkoriščanje, acidifikacija, eutrofikacija, potencial globalnega segrevanja, tanjšanje ozonskega plašča, toksičnost za človeka, ekotoksičnost za sladkovodne vire, ekotoksičnost za morske vire, ekotoksičnost za zemljo in fotokemična oksidacija. Izdelek M je imel najvišje vrednosti pri šestih vplivih: abiotsko izkoriščanje (15,25 kg SB e), acidifikacija (20,66 kg SO₂ e), eutrofikacija (3,83 kg PO₄ e), potencial globalnega segrevanja (1370,85 kg CO₂ e) in ekotoksičnost za zemljo (10,46 kg 1,4-DB e). Iz preglednice 1 je razvidno, da je imel izdelek M hkrati tudi največjo produkcijo v letih med 2011 in 2013. Hibridni izdelek C je imel najvišje vrednosti pri toksičnosti za človeka (1585,70 kg 1,4-DB e), ekotoksičnosti za morske vire (946292 kg 1,4-DB e) in fotokemični oksidaciji (0,99 kg C₂H₄ e). Izdelek B je imel najvišjo vrednost pri vplivu ekotoksičnosti na sladkovodne vire (434,59 kg 1,4-DB e), hkrati pa je imel omenjeni izdelek najnižjo vrednost pri globalnem segrevanju (719,51 kg CO₂ e). Izdelek A je imel najnižje vrednosti pri vseh vplivih na okolje, razen pri globalnem segrevanju. Omenjeni izdelek je imel drugo največjo količino proizvodnje v analiziranih letih (preglednica 7).

Preglednica 7: Prikaz rezultatov analize življenjskega cikla za vse izbrane izdelke

Vrsta vpliva na okolje	Izdelek A	Izdelek B	Izdelek C	Izdelek M	Izdelek Q
Abiotsko izkoriščanje [kg SB]	10,29	12,49	13,78	15,25	12,95
Acidifikacija [kg SO ₂]	15,18	18,22	20,04	20,66	19,33
Evtrofikacija [kg PO ₄]	3,13	3,75	3,49	3,83	3,60
Potencial globalnega segrevanja [kg CO ₂]	1282,82	719,51	1062,68	1370,85	853,0
Tanjšanje ozonskega plašča [kg CFC]	14,4×10 ⁻⁵	16,29×10 ⁻⁵	18,02×10 ⁻⁵	22,35×10 ⁻⁵	16,53×10 ⁻⁵
Toksičnost za človeka [kg 1,4-DB]	1238,62	1459,44	1585,70	1550,51	1538,2
Ekotoksičnost za sladkovodne vire [kg 1,4-DB]	320,89	434,59	424,89	429,22	432,91
Ekotoksičnost za morske vire [kg 1,4-DB]	674813	898176	946292	929559	939693
Ekotoksičnost za zemljo [kg 1,4-DB]	8,16	9,92	10,36	10,46	10,19
Fotokemična oksidacija [kg C ₂ H ₄]	0,76	0,85	0,99	0,97	0,94

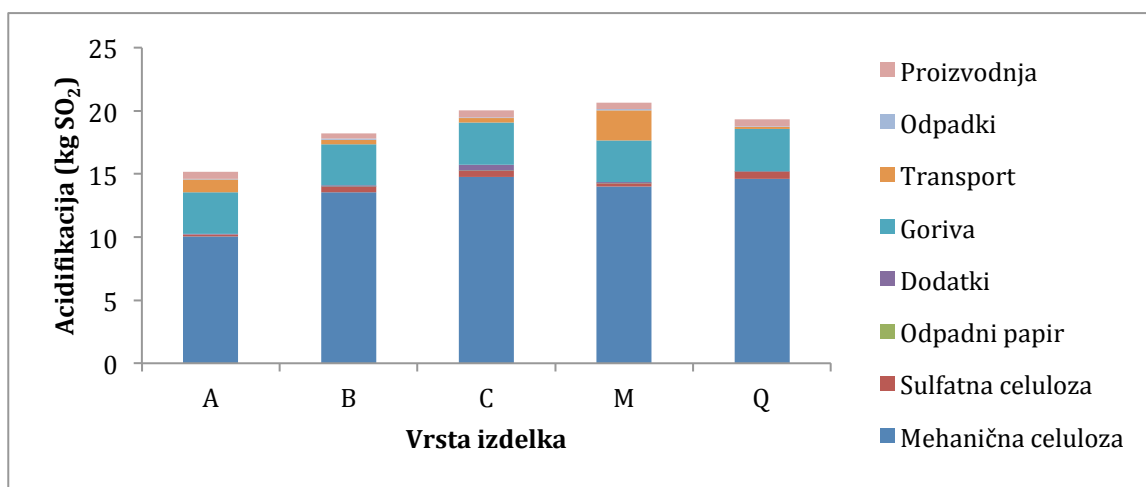
Izmed desetih okoljskih vplivov izbranih izdelkov smo izbrali pet vplivov, ki so določeni v pravilih kategorij proizvodov PCR za celulozo, papir in papirne izdelke (Product category rules – PCR Basic Module – CPC Division 32: Pulp, paper and paper products; printed matter and related articles 2011). Izbrani vplivi na okolje so bili: acidifikacija, evtrofikacija, potencial globalnega segrevanja, tanjšanje ozonskega plašča in fotokemična

oksidacija. Vsak posamezni okoljski vpliv analiziranih izdelkov je podrobno prikazan in interpretiran v naslednjih podpoglavjih.

3.1.1 Acidifikacija

Acidifikacija oz. zakisljevanje okolja je posledica onesnaženja zraka z dušikovimi oksidi (NO_x) in žveplovimi oksidi (SO_2). Zakisljevanje okolja je lahko naravni proces ali pa posledica antropogenega vpliva na okolje. Običajno je pojav pospešen v bližini kmetijskih in degradiranih območjih (Soil condition 2007). Pojav pogosto ni opazen v kratkem časovnem obdobju. Stopnja zakisljevanja okolja je izražena kot sprememba pH zemlje, ki je merilo za kislost ali alkalnost zemlje. Usedline dušikovih in žveplovih oksidov lahko povzročijo kisel dež (Soil acidification 2014). Kisel dež uničuje ekosisteme in posledično vpliva na življenjski krog živih bitij. Tla so zaradi acidifikacije revna s hranilnimi snovmi, hkrati pa se poveča koncentracija škodljivih snovi in izpiranje organskih in anorganskih snovi iz zemlje.

Osnovna enota za acidifikacijo v analizi LCA je bila izmerjena v kilogramih ekvivaletnega žveplovega oksida ($\text{kg SO}_2 \text{ e}$). Delež zakisljevanja analiziranih vrst izdelkov je prikazan na sliki 11. Največji vpliv na acidifikacijo med izbranimi izdelki je imel izdelek M ($20,66 \text{ kg SO}_2 \text{ e}$). Izdelku M sta po količini vpliva na acidifikacijo sledila izdelek C ($20,04 \text{ kg SO}_2 \text{ e}$) in izdelek Q ($19,33 \text{ kg SO}_2 \text{ e}$). Najmanjši vpliv na acidifikacijo med izbranimi izdelki sta imela izdelek B ($18,22 \text{ kg SO}_2 \text{ e}$) in izdelek A ($15,18 \text{ kg SO}_2 \text{ e}$).



Slika 11: Skupen vpliv na acidifikacijo in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka

Izdelek M je imel največji prispevek transporta (11,70%) med izbranimi izdelki, ki je v veliki meri prispeval k maksimalni vrednosti vpliva na acidifikacijo (slika 11). Vpliv transporta je opazen zunaj industrijskega obrata. Za zmanjšanje negativnega vpliva

transporta se je treba osredotočiti na motnje v prometu, javno varnost in izpušne pline (FAO 1996). Izpušni plini vozil nastanejo kot posledica izgorovanja goriv. Pri izgorovanju goriv nastanejo ogljikov dioksid, ogljikov monoksid, dušikov oksid, žveplov dioksid, ogljikovodikove spojine in drobni trdni delci (Car exhaust gases 2014). Žveplov dioksid je plin, ki nastane pri izgorovanju nafte in premoga ter je topen v vodi. Omenjeni plin se lahko ob prisotnosti katalizatorjev oksidira, kar privede do nastanka kislega dežja (Air pollution 2014).

Med drugimi je imel izdelek M tudi največji prispevek odpadnega papirja (0,05%), ki je prav tako prispeval k vplivu na okolje. Keefe in Kay (2011) sta v svoji raziskavi ugotovila, da se samo 35% odpadnega papirja reciklira. V svetovni proizvodnji papirja se količina odpadnega papirja giba med 150 in 500 milijoni ton papirja.

Izdelek C je sledil izdelku M po količini zakisljevanja okolja. Izdelek C je imel pri proizvodnji maksimalni prispevek proizvodnje (2,89%), mehanične celuloze (73,58%) in dodatkov (2,35%). Med izbranimi izdelki je največja razlika v količini dodatkov, ki se jih dodaja v proizvodnji izdelkov. Hibridni izdelek C je imel pri proizvodnji največ dodatkov (preglednica 4). Ti dodatki so bili: modificiran škrob, natrijev karbonat, optična belila in natrijev hidrosulfat. Optična belila (13,04%) so se uporabila samo v proizvodnji izdelka C. Optična belila dajejo izdelku svetlost (ang. brightness) in belino (ang. whiteness). Na omenjene lastnosti vpliva tudi gladkost papirja. Optična belila so kemično težko razgradljive snovi. Prav zaradi tega so škodljive okolju, zlasti vodnim telesom v naravi (Copying and Graphic paper: Background Product Report 2008). Poleg optičnih belil je imel izdelek C največjo vsebnost natrijevega karbonata (17,39%) in natrijevega hidrosulfata (62,90%) v primerjavi z ostalimi analiziranimi izdelki. Omenjena dodatka sta komercialno pomembna in se pojavljata v številnih industrijah za nastanek posameznih izdelkov. Emisije žveplovih spojin, ki nastanejo pri proizvodnji celuloze in papirja, imajo negativen vpliv na vegetacijo. Pri veliki količini žveplovih emisij se lahko pojavi vonj po gnilih jajcih v bližini tovarne.

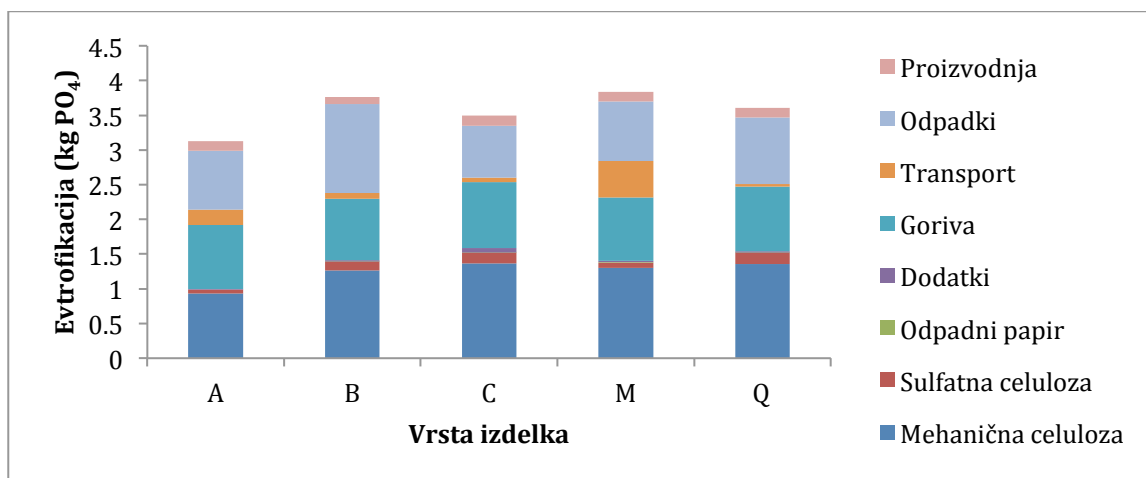
Izdelek Q je imel podoben vpliv na acidifikacijo kot izdelek C. V nasprotju z izdelkom C je imel izdelek Q največji prispevek sulfatne celuloze (2,89%) in goriva (17,31%) med izbranimi izdelki. Med izgorovanjem goriva nastanejo emisije žveplovih spojin, ki se prav tako lahko pretvorijo v kisel dež. Izdelek Q je imel edini med analiziranimi izdelki dodatek belo glino (19,27%). Izdelek B in izdelek A sta imela najmanjši vpliv na acidifikacijo. Izdelek B je imel najmanjši prispevek proizvodnje (2,20%) in goriva (17,84%), medtem ko je imel vpliv odpadnega papirja (0,02%) enak kot pri izdelku C in izdelku Q. Pri izdelku B in A so uporabili samo dva dodatka, in sicer modificiran škrob in natrijev hidrosulfat. Izdelek B je imel drugi največji vpliv dodatkov, kljub temu pa je imel drugi najmanjši vpliv na acidifikacijo.

Izdelek A je imel najmanjši prispevek mehanične celuloze (66,06%), sulfatne celuloze (1,13%) in dodatkov (0,37%). Pri izdelku A ni bilo prispevka odpadnega papirja.

3.1.2 Evtrofikacija

Evtrofikacija je prekomerna bogatitev vodnih teles s hranilnimi organskimi snovmi. Povišana koncentracija hranilnih organskih snovi povzroči povečano količino biomase v vodnem telesu. Dušik in fosfor sta stranska produkta biomase, ki nastaneta pri mikrobem in živalskem metabolizmu. V naravi lahko ekosistemi delujejo optimalno, če imajo uravnotežene dinamične odnose med populacijami in njihovim okoljem. Motnje ekosistema se pojavijo zaradi preobsežnih antropogenih dejavnosti (Cloern 2007). Evtrofikacija se pojavi zaradi prekomernega vnosa dušika in fosforja iz različnih družbenih dejavnosti. Dušikove in fosforjeve spojine se pojavijo pri izogrevanju fosilnih goriv. Izogrevanje fosilnih goriv lahko povzroči kopičenje nitratov, fosfatov in raztopljenega kisika v vodnih telesih. Pri prekomernem vnosu organskih snovi in hranil se razrastejo alge, ki porabijo razpoložljiva hranila in zmanjšajo dostopnost sončne svetlobe v vodno telo (Eriksson in sod. 2007; Alty in Pryor 2007; Gordon 2003). Pojav evtrofikacije je eden izmed najbolj perečih okoljskih problemov širom sveta. Ta pojav predstavlja tveganje za biotsko raznovrstnost v prizadetih vodnih telesih, kot so reke, jezera, podzemne vode, obalne vode in ekosistemi odprtega morja.

Osnovna enota za evtrofikacijo v analizi LCA je bila izmerjena v kilogramih ekvivalenta fosforja ($\text{kg PO}_4 \text{ e}$). Delež evtrofikacije analiziranih vrst izdelkov je prikazan na sliki 12. Največji vpliv na evtrofikacijo med izbranimi izdelki sta imela izdelek M (3,83 $\text{kg PO}_4 \text{ e}$) in izdelek B (3,75 $\text{kg PO}_4 \text{ e}$). Izdelku M in izdelku B sta po količini vpliva na evtrofikacijo sledila izdelek Q (3,60 $\text{kg PO}_4 \text{ e}$) in izdelek C (3,49 $\text{kg PO}_4 \text{ e}$). Najmanjši vpliv na evtrofikacijo je imel izdelek A (3,13 $\text{kg PO}_4 \text{ e}$).



Slika 12: Skupen vpliv na evtrofikacijo in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka

Izdelek M je imel največji vpliv na evtrofikacijo zaradi maksimalnega prispevka transporta med analiziranimi izdelki. Le ta je prispeval 13,65% vpliva na skupni vpliv evtrofikacije. Izdelek M je imel tudi največji prispevek odpadnega papirja (5,32%). Izdelek B je imel drugi največji vpliv na evtrofikacijo zaradi maksimalnega prispevka odpadkov (34,03%). V papirni industriji nastajajo velike količine odpadkov, predvsem pepel, blato in trdni komunalni odpadki. Količine in lastnosti odpadkov so odvisne od proizvodnje in vrste papirja, ki jih izdeluje papirnica. Odpadki imajo visoko vsebnost organskih snovi, kar predstavlja veliko ekološko obremenitev za okolje (Likon in Trebše 2012). Nutrienti, kot sta dušik in fosfor, lahko v stiku z vodo povzročijo evtrofikacijo. Vse organske snovi se raztopijo v vodi. Posledica raztapljanja snovi v vodi je spreminjanje ekoloških značilnosti, ki povzročijo izgubo biotske raznovrstnosti (Cloern 2007).

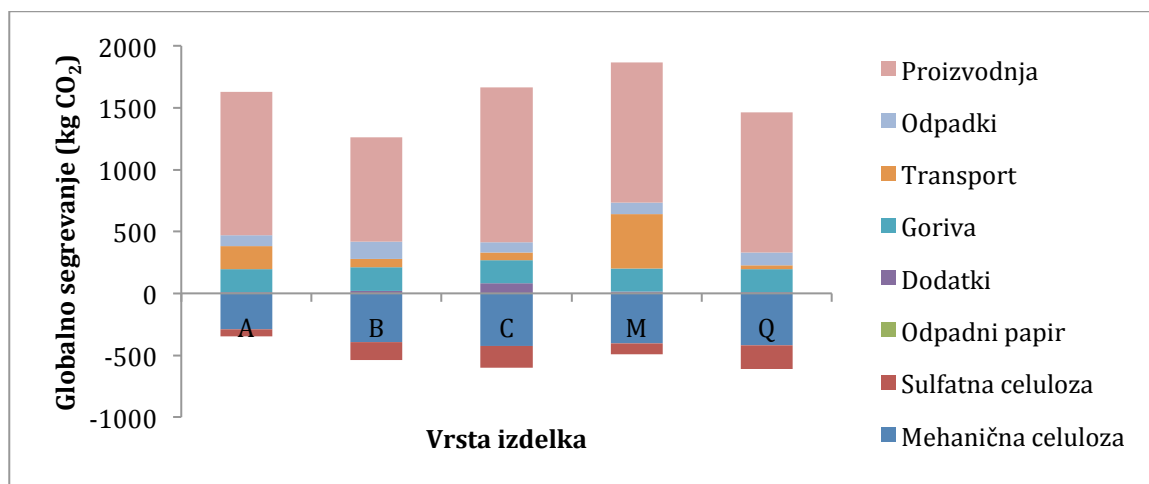
Tudi izdelek Q je imel velik prispevek odpadkov (26,55%) in velik prispevek porabljenih goriv (25,84%). Hkrati je imel omenjeni izdelek maksimalni prispevek sulfatne celuloze. Sulfatna celuloza je prispevala 4,68% k skupnem vplivu na evtrofikacijo pri izdelku Q. Kljub maksimalnem prispevku sulfatne celuloze je imel izdelek Q manjši vpliv na evtrofikacijo, kot izdelek M in izdelek B. Izdelek C je imel maksimalni prispevek mehanične celuloze (34,93%), dodatkov (1,84%) in goriv (26,93%). Kljub omenjenim maksimalnim prispevkom je imel izdelek C drugi najmanjši vpliv na evtrofikacijo. Na drugi strani pa je imel izdelek C najmanjši prispevek odpadkov (21,25%) in najmanjši prispevek transporta (2,05%), takoj za prispevkom transporta pri izdelku Q (0,97%). Najmanjši vpliv na evtrofikacijo je imel izdelek A. Izdelek A je imel najmanjši prispevek mehanične celuloze (29,78%), sulfatne celuloze (1,66%) in dodatkov (0,48%). Omenjeni izdelek ni imel prispevka odpadnega papirja med samim procesom izdelka.

Pri skupnem vplivu na evtrofikacijo so bile največje razlike v količini prispevka transporta in odpadkov. Razlike med prispevki mehanske celuloze, sulfatne celuloze, odpadnega papirja, goriva in proizvodnje niso bili tako izrazito pomembni pri skupnem vplivu na evtrofikacijo. Prispevek mehanske celuloze je bil med 29,78% in 39,15%, prispevek sulfatne celuloze je bil med 1,66% in 4,68%, prispevek odpadnega papirja je bil med 0% in 0,05%, prispevek goriva je bil med 23,46 in 26,93% in prispevek proizvodnje je bil med 2,76% in 4,31% na celoten vpliv evtrofikacije. Za razliko od omenjenih prispevkov, so razlike med prispevki transporta, odpadkov in dodatkov izstopale in močno vplivale na razlike pri količini skupnega vpliva evtrofikacije.

3.1.3 Potencial globalnega segrevanja

Potencial globalnega segrevanja opisuje dvig povprečne temperature zemeljskega ozračja in oceanov. Povišana koncentracija toplogrednih plinov povzroči absorbiranje dolgovalovnega sevanja, kar vpliva na toplotno bilanco Zemlje. Toplogredni plini so ogljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), di-dušikov oksid (N_2O), fluorirani ogljikovodiki (HFC), perfluorirani ogljikovodiki (PFC) in žveplovevi heksafluoridi (SF_6). Medvladni odbor za podnebne spremembe pri Združenih narodih (IPCC) so potrdili, da je dvig temperature od leta 1950 posledica človeških dejavnosti. Koncentracija CO_2 se je od leta 1750 povečala za 40%, povprečna globalna temperatura pa se je v zadnjem stoletju zvišala za $0,85 \pm 0,2$ stopinj celzija (Toplogredni plini 2014). Potencialno globalno segrevanje lahko izračunamo za določen čas. V večini primerov izračunamo za 20, 100 ali 500 let.

V tej raziskavi je bil učinek potencialnega globalnega segrevanja izračunan v kilogramih ekvivalenta ogljikovega dioksida v 100 letih (slika 13). Največji potencial globalnega segrevanja je imel izdelek M (1372,51 kg CO_2 e), sledita mu izdelek A (1282,82 kg CO_2 e) in izdelek C (1064,01 kg CO_2 e). Izdelek Q (854,71 kg CO_2 e) in izdelek B (721,99 kg CO_2 e) sta imela najmanjši potencial za globalno segrevanje.



Slika 13: Skupen vpliv na potencialno globalno segrevanje in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka

Na sliki 13 je prikazana negativna vrednost mehanične in sulfatne celuloze. Uporaba takšne lesne surovine je pomembna pri zmanjšanju posledic globalnega segrevanja, saj pride do procesa skladiščenja ogljika. Najpomembnejša mehanizma, ki odstranjujeta CO₂ v naravi sta fotosinteza in karbonatni cikel. Fotosinteza je biokemijski proces, pri katerem rastline pridelajo ogljikov dioksid v celulozo in biomaso. Pri karbonatnem ciklu pa se ogljikov dioksid pretvori v netopne karbonate (Lipušček in Tišler 2003). Ogljikov dioksid se tako začasno umakne iz ozračja. Kljub temu industrija celuloze in papirja povzroča izpuste CO₂. Za realni izračun potencialnega globalnega segrevanja je potrebno izpuste CO₂, ki nastanejo med proizvodnjo celuloze in papirja, odšteti od skladiščenega ogljika. Pri mehanični in sulfatni celulozi se torej skladišči ogljik. Iz slike 13 lahko razberemo, da imata izdelek Q (-610,80 kg CO₂) in izdelek C (-600,51 kg CO₂) največji prispevek skladiščenega ogljika. Omenjenima izdelkoma sledi izdelek B (-537,34 kg CO₂). Najmanjša prispevka skladiščenega ogljika imata izdelek M (-491,93 kg CO₂) in izdelek A (-347,82 kg CO₂). Majhen prispevek skladiščenega ogljika je tudi posledica, da imata izdelek M in izdelek A največji vpliv na potencialno globalno segrevanje.

Promet je eno izmed področij, ki ima negativni vpliv na okolje in prispeva k globalnem segrevanju ter podnebnim spremembam. Izpušni plini, ki so del toplogrednih plinov, se sproščajo kot posledica izgorevanja goriv pri uporabi vozila. Ta vpliv je mogoče zmanjšati z boljšim izkoristkom goriv, uporabi obnovljivih virov energije in z zmanjšanjem prevozov (Cars and trucks and global warming 2014). Izdelek M (32,10%) in izdelek A (14,46%) sta imela največji prispevek transporta. Izdelku M in izdelku A je sledil izdelek B z 9,46% prispevkom transporta na celoten vpliv globalnega segrevanja. Izdelek C je ponovno izstopal zaradi prispevka dodatkov (7,85%). Hkrati pa je imel omenjeni izdelek med nižjimi vrednostmi vpliva na potencialno globalno segrevanje

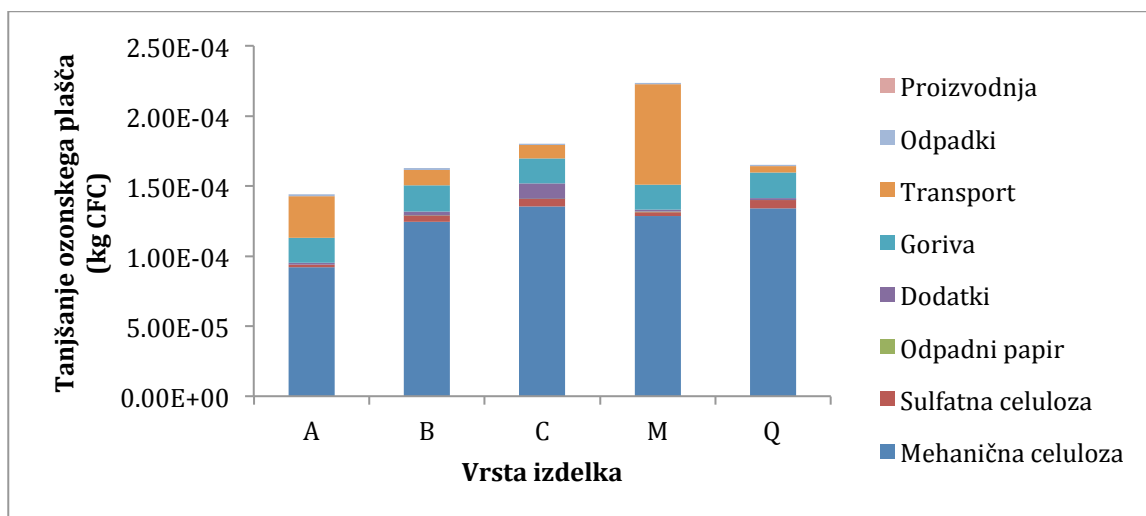
zaradi velike količine skladiščenega ogljika. Razlike v količini prispevkov, kateri so bili odpadki, goriva in odpadni papir, pri analiziranih izdelkih niso izstopale pri vplivu na potencialno globalno segrevanje.

Prispevek proizvodnje je bil največji med vsemi prispevki vhodnih in izhodnih podatkov. Najmanjši prispevek proizvodnje je imel izdelek B (839,57 kg CO₂) in največji prispevek proizvodnje je imel izdelek C (1253,86 kg CO₂). Kljub temu, da je imel izdelek C največji prispevek proizvodnje, je imel drugi največji prispevek skladiščenega ogljika. Prispevek proizvodnje je zaznamoval vpliv potencialnega globalnega segrevanja.

3.1.4 Tanjšanje ozonskega plašča

Ozonska plast je del zemeljske atmosfere, ki vsebuje visoke koncentracije ozona (O₃). Plast leži v spodnjem delu stratosfere, na višini med 15 in 30 km nad Zemljo in deluje kot ščit pred ultravijoličnimi žarki, ki jih oddaja sonce. Debelina ozonske plasti se spreminja sezonsko ali geografsko. Tanjšanje ozonskega plašča poteka ob izpustu škodljivih snovi, kot sta klor in brom. Posledica ob izgubi ozona v stratosferi na določeni lokaciji je ozonska luknja. Skozi ozonsko luknjo lahko prodre večja količina ultravijoličnih žarkov, ki doseže Zemljo. Ultravijolični žarki lahko dosežejo različne bolezni pri ljudeh, zavirajo reproduktivne cikle organizmov in pojavijo se motnje v prehranjevalni verigi. Klorofluoroogljikovodiki (CFC) so kemikalije, ki jih industrija sprosti v obliki aerosolov v ozračje (Ozone Depletion 2014). Izpusti CFC kemikalij povzročijo razpad spojin, ki vsebujejo klor, ob stiku z ultravijoličnimi žarki. Klor reagira z atomi kisika v ozonu, pri tem poteče reakcija in molekula ozona se razgradi.

Tanjšanje ozonskega plašča je bil izračunan v kilogramih ekvivalenta klorofluoroogljikovodikov (slika 14). Največji vpliv na tanjšanje ozonskega plašča je imel izdelek M ($22,35 \times 10^{-5}$ kg CFC e), sledil mu je izdelek C ($18,02 \times 10^{-5}$ kg CFC e) in izdelek Q ($16,53 \times 10^{-5}$ kg CFC e). Najmanjši vpliv sta imela izdelek B ($16,29 \times 10^{-5}$ kg CFC e) in izdelek A ($14,4 \times 10^{-5}$ kg CFC e).



Slika 14: Skupen vpliv na tanjšanje ozonskega plašča in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka

Iz slike 14 je razvidno, da imata mehanična celuloza in transport največji prispevek pri tanjšanju ozonskega plašča. Najmanjši prispevek mehanične celuloze glede na celoten vpliv je imel izdelek A (63,93%), največji prispevek omenjene celuloze pa je imel izdelek C (75,15%). V nasprotju z mehanično celulozo, je transport bil glavni razlog za velike razlike pri negativnem vplivu na ozonski plašč. Izdelek M, ki je imel največji vpliv na ozonski plašč, je imel največji prispevek transporta in sicer 31,94% glede na celoten vpliv. Izdelku M je po prispevku transporta sledil izdelek A (20,83%), vendar je izdelek A kljub temu imel najmanjši vpliv na tanjšanje ozonskega plašča. Kemijske spojine CFC tanjšajo ozonski plašč. Omenjene spojine se uporabljajo v vozilih pri klimatskih napravah, elektronski opremi in penastih izolacijah. Starejša vozila imajo večje izpuste CFC spojin zaradi delovanja starejših hladilnih sistemov (Ozone layer protection – regulatory programs 2014). Ukrepi za zmanjšanje izpustov CFC spojin so preventivno vzdrževanje in namestitve novejša opreme hladilnih sistemov, preverjanje uhajanja CFC spojin in recikliranje opreme, ki povzroča prevelike izpuste CFC spojin.

Izdelek C je imel drugi največji vpliv na tanjšanje ozonskega plašča. Tako kot pri ostalih vplivih na okolje izdelka C je bil ponovno poudarek na prispevkih dodatkov omenjenega izdelka. Dodatki v izdelku C so vplivali 6,10% na celotni vpliv tanjšanje ozonskega plašča. Snovi, ki tanjšajo ozonski plašč, so različne kemikalije in dodatki, ki jih med drugimi uporablja tudi papirna industrija. Uporaba omenjenih kemikalij in dodatkov se je v zadnjih 50 letih zmanjšala, predvsem zaradi ozaveščanja in vedno boljše okoljske politike. Najbolj znane so spojine CFC, vendar obstajajo tudi druge škodljive spojine, kot npr. bron in klor. Bron in klor sta dolgo obstojni spojini, kar predstavlja velik okoljski problem. Omenjeni spojini potrebujejo dolgo časa, da se razgradita v zraku. Danes

vsebnost bronu in kloru v zraku presega razumno vsebnost teh istih spojin, ki je bila pred 50 leti (Shanklin 2014). Spojine CFC so odkrili leta 1928, vendar so šele kasneje odkrili njihov negativni učinek. Industrija je spustila že več kot 20 milijonov ton CFC spojin v ozračje. CFC spojine lahko ostanejo v ozračju tudi do 130 let, ne da bi pri tem spremenile svoje lastnosti. Med časom odkritja CFC spojin in danes, so omenjene spojine odgovorne za okoli 45% vsega zmanjšanja količine ozona (Operativni program Republike Slovenije za ravnanje s klorofluoroogljikovodiki 2003).

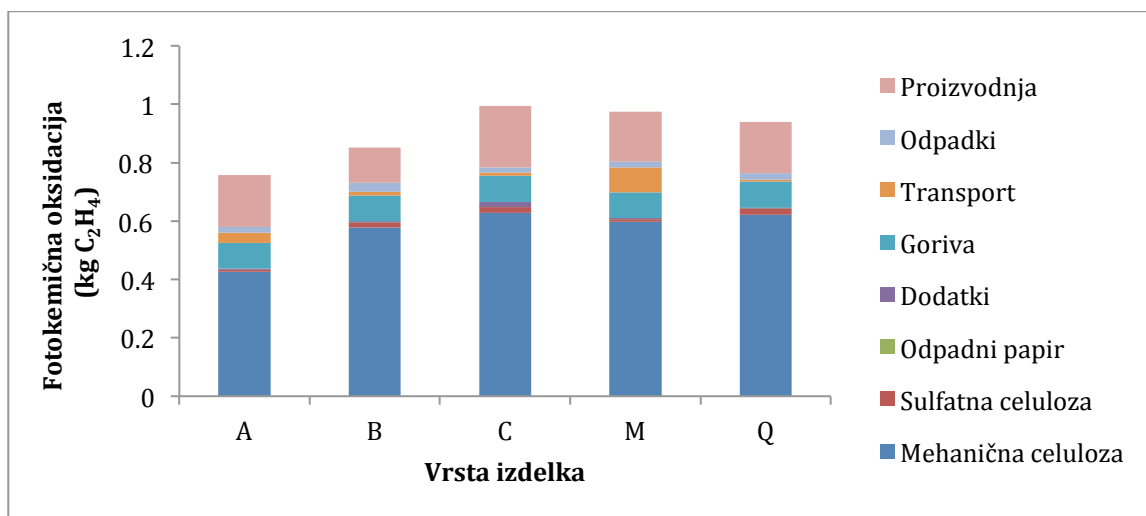
Izdelek B in izdelek Q nista imela velikih prispevkov dodatkov ali transporta, zato tudi nista izstopala pri vplivu na tanjšanje ozonskega plašča. Izdelek A je imel podobne prispevke kot izdelek B, hkrati pa je imel drugi največji vpliv transporta. Vendar zaradi minimalnega prispevka mehanične celuloze je imel izdelek A najnižji vpliv na tanjšanje ozonskega plašča.

Nihče od analiziranih izbranih izdelkov ni imel prispevek proizvodnje.

3.1.5 Fotokemična oksidacija

Fotokemična oksidacija oz. poletni smog je vrsta onesnaženja, pri kateri gre za kompleksno mešanico škodljivih plinastih spojin in aerosolov. Kemijska reakcija z dušikovimi oksidi in ogljikovodiki s pomočjo sončnega sevanja povzroči nastanek ozona. Emisije dušikovih oksidov in ogljikovodikov nastanejo z nepopolnim izgorevanjem goriv. Fotokemične oksidacije so izražene kot etilen (C_2H_4 e). Visoka koncentracija ozona se pojavi ob prisotnosti močne svetlobe, nizke vlažnosti in izmenjave zraka ter visoki koncentraciji ogljikovodikov v zraku. Koncentracija ozona v zraku je odvisna v glavnem od vremena, hkrati pa je potrebno upoštevati tudi lokalne naravne značilnosti (Capuder 2012). Poletni smog se v večini primerov pojavlja na velikih poseljenih območjih z veliko prometa in industrije. Prisotnost smoga povzroča materialno in vegetacijsko škodo.

Osnovna enota za fotokemično oksidacijo v analizi LCA je bila izmerjena v kilogramih ekvivalenta etilena ($kg C_2H_4 e$). Rezultati vpliva na fotokemično oksidacijo analiziranih izdelkov so prikazani na sliki 15. Največji vpliv je imel izdelek C ($0,99 kg C_2H_4 e$). Izdelku C sta sledila izdelek M ($0,97 kg C_2H_4 e$) in izdelek Q ($0,94 kg C_2H_4 e$). Najmanjši vpliv na fotokemično oksidacijo sta imela izdelek B ($0,85 kg C_2H_4 e$) in izdelek A ($0,76 kg C_2H_4 e$).



Slika 15: Skupen vpliv na fotokemično oksidacijo in delež posameznih prispevkov izbranega izdelka

Izdelek C je imel največji vpliv na fotokemično oksidacijo, zaradi maksimalnega prispevka mehanične celuloze (63,02%) in dodatkov (1,79%). Hkrati je bil prispevek proizvodnje pri izdelku C najvišji. Proizvodnja je prispevala 21,06% na celotni vpliv fotokemične oksidacije. Izdelku C je sledil izdelek M. Izdelek M je imel največji prispevek transporta (8,69%) in zamerljivo, a vendar največji prispevek odpadnega papirja (0,04%) med analiziranimi izdelki. Zaradi velikega prispevka transporta, je izdelek M imel drugi največji vpliv na fotokemično oksidacijo. Emisije izpušnih plinov pri transportu imajo negativne posledice na kakovost zraka. Primarna onesnaževala so škodljivi plini, kot so ogljikov monoksid, dušikov oksid, organske spojine in drugi delci. Primarna onesnaževala gredo direktno v zrak. V zraku nato nastanejo sekundarni onesnaževalci s kemijskimi reakcijami primarnih onesnaževalcev. Sekundarni onesnaževalci so ozon, nitrat, karboksilne kisline in sekundarni aerosoli (Grosjean in Grosjean 1997). Emisije izpušnih plinov je potrebno zmanjšati, jih nadzirati in meriti njihove koncentracije. Večja mesta z veliko ljudi in industrije imajo večjo verjetnost, da bodo imela onesnaženje s fotokemično oksidacijo.

Izdelek Q in izdelek B sta imela podobni vpliv na fotokemično oksidacijo. Izdelek Q je imel poleg izdelka C največji prispevek mehanične celuloze, ki je z 66,23% vplival na celoten vpliv poletnega smoga. Izdelek Q je imel tudi največji prispevek sulfatne celuloze (2,35%) in goriva (9,59%). Izdelek A je imel najmanjši prispevek mehanične celuloze (56,33%) in sulfatne celuloze (0,90%). Hkrati pa je imel omenjeni izdelek druga največja prispevka proizvodnje (23,47%) in transporta (4,71%), vendar kljub temu ni imel izrazitega vpliva na fotokemično oksidacijo.

3.2 OMEJITEV ANALIZE ŽIVLJENJSKEGA CIKLA

Glavne omejitve te študije so bile sledeče:

1. Analiza LCA je bila zasnovana glede na podatke, neposredno pridobljenih iz papirnice med letom 2011 in 2013.
2. Podatki za izpust vode in emisije v zrak so bili izračunani za 350 dni v leto. Pri tem smo upoštevali, da papirnica preneha delovati za 10 dni v letu zaradi vzdrževanja in adaptacije.
3. Vsi podatki za leto 2013 so bili pridobljeni do meseca julija. Glede na podane podatke smo ocenili predvideno povprečje vseh podatkov za leto 2013.
4. Analiza LCA je bila narejena v samo eni papirnici, ki proizvaja 17 vrst papirnih izdelkov.
5. Podatki za transport so temeljili na osnovnih podatkih za transport v Čilu iz leta 2009 in na podatkih transporta za tono papirja letne proizvodnje.

4 DISKUSIJA

Glavni namen raziskave je bil objektivno ovrednotiti okoljske vplive proizvodnje papirja skladno s standardom ISO 14025 v papirnici v Bío Bío regiji v Čilu. Študija je vključevala vplive na okolje petih različnih papirnih izdelkov. S pomočjo analize LCA smo izračunali in določili okoljske vplive papirjev, ki so določeni v pravih kategorijah proizvodov, PCR za celulozo, papir in papirne izdelke. V raziskavi so bili podrobno interpretirani in grafično prikazani okoljski vplivi. Ti so bili acidifikacija, evτροφikacija, potencial globalnega segrevanja, tanjšanje ozonskega plašča in fotokemična oksidacija.

Izdelek M je imel največji vpliv na acidifikacijo, evτροφikacijo, potencialno globalno segrevanje in tanjšanje ozonskega plašča. Maksimalni prispevek transporta pri omenjenemu izdelku najbolj izstopa pri vseh petih vplivih na okolje. Čeprav je imel izdelek M maksimalni prispevek transporta pri vplivu fotokemične oksidacije, je kljub temu imel izdelek C največji vpliv fotokemične oksidacije. Pri izdelku C sta izstopala deleža dodatkov in proizvodnje, ki sta bila največja v vseh analiziranih okoljskih vplivih. Iz preglednice 4 lahko razberemo, da hibridni izdelek C uporablja vse dodatke, razen bele gline. Izdelek C je imel poleg največjega vpliva na fotokemično oksidacijo še drugi največji vpliv pri acidifikaciji, evτροφikaciji in tanjšanju ozonskega plašča.

Izdelek B in izdelek Q sta bila po količini vpliva vedno za izdelkom M in izdelkom C, razen pri evτροφikaciji. Pri evτροφikaciji je imel izdelek B drugi največji vpliv, predvsem zaradi največjega prispevka odpadkov. Izdelek B in izdelek Q sta imela podobne deleže prispevkov pri acidifikaciji, tanjšanju ozonskega plašča in fotokemični oksidaciji. Tudi pri potencialnem globalnem segrevanju sta imela omenjena izdelka podobne deleže, kljub temu, da je imel izdelek B večjo količino skladiščenega ogljika in manjši delež prispevka proizvodnje, kot izdelek Q.

Izdelek A je imel najmanjši vpliv pri acidifikaciji, evτροφikaciji, tanjšanju ozonskega plašča in fotokemični oksidaciji. Zaradi sorazmerno velikega deleža proizvodnje in najmanjše količine skladiščenega ogljika pri potencialnem globalnem segrevanju, je imel izdelek A drugi največji vpliv globalnega segrevanja.

V študiji se je pokazalo, da imajo posamezni izdelki velik vpliv na okolje. Izdelek M se je izkazal kot izdelek z največjim vplivom pri štirih od petih vplivov na okolje. Hkrati pa papirnica prideluje največ izdelka M in izdelka A. Izdelek A ima najmanjše vplive med analiziranimi izdelki, razen pri vplivu globalnega segrevanja. Iz preglednice 1 je razvidno, da se je proizvodnja izdelka B močno povečala v analiziranih letih. V interesu papirnice je, da se poveča kapital, hkrati pa se zmanjšajo vplivi na okolje. Študija je z metodo analize LCA pokazala vplive na okolje posameznih analiziranih izdelkov.

Papirnica lahko glede na rezultate vplivov na okolje prilagodi trend proizvodnje analiziranih izdelkov, tako da poveča količino proizvodnje in zmanjša vplive na okolje. Pred raziskavo smo sklepali, da je pridelava celuloze in papirja energetsko potraten proces in vključuje veliko porabo vode. Ta hipoteza je bila potrjena, saj je papirna industrija ena iz med največjih porabnic energije in vode v industrijskem svetu. Papirnice so peti največji porabnik energije in porabijo približno 4% celotne energije na svetu (Bahar in sod. 2011). Papirnica, v kateri smo delali študijo, porablja fosilna goriva, kot sta zemeljski plin in dizel, za proizvodnjo celuloze in papirja. Poleg fosilnih goriv so veliki porabniki lesnih sekancev in elektrike. Cena elektrike v Čilu se je povečala za 50 do 150 odstotkov v zadnjih letih (Nordling 2014). Hkrati se je razvilo gospodarstvo in s tem se je povečalo povpraševanje po energiji. Na območjih, kjer je razvita gozdarska industrija, so postavljene hidroelektrarne, s katerimi pridobivajo več kot tretjino celotne elektrike v državi. Kljub temu, da so hidroelektrarne donosne, jih je premalo. Postavitev hidroelektrarn v Čilu ovirajo okoljski in politični vzroki. Količina elektrike pridelana v hidroelektrarnah je odvisna od letnega časa. Zmanjšana količina pridobljene elektrike je predvsem poleti, ko je zmanjšan vodostaj lokalnih rek (Nordling 2014). Proizvodnja celuloze in papirja je energetsko potraten proces, vendar papirnica običajno pridobi polovico energije z odvečno biomaso preko generatorjev znotraj proizvodnje celuloze in papirja (International energy outlook 2013 2013). Papirnica, v kateri je bila narejena študija, pridobi 19% energije celotnega procesa znotraj proizvodnje celuloze in papirja. Večje papirnice lahko znotraj proizvodnje pridelajo več energije, kot jo potrebujejo in jo nato pošljejo v električno omrežje.

Papirnica, za katero smo naredili študijo, leži v bližini reke Bío Bío. Vodo, ki jo potrebujejo med proizvodnjo celuloze in papirja, črpajo izključno iz reke Bío Bío. Po končani uporabi papirnica zlije vodo ponovno v reko. V zadnjih letih so bile narejene številne raziskave o kakovosti reke Bío Bío. Večina raziskav se je osredotočala na ekotoksičnost, ki jo povzročajo odpadne vode iz papirnice. Karrasch in sod. (2006) so naredili študijo o mikroplanktonu in mikrobni samočistilni zmogljivosti reke Bío Bío ob prisotnosti odplak proizvodnje celuloze in papirja. Ugotovili so, da odplake iz papirnice poslabšajo kakovost vode. Omenjena reka je imela v času študije povečano koncentracijo nitratov, nitritov, fosforja, anorganskih in organskih snovi. Hkrati je v reki Bío Bío upadla koncentracija klorofila a in gostota heterotrofnih bičkarjev. Odplake iz papirnice so povzročile povečano koncentracijo biomase v vodi, saj so se razširile bakterije predvsem zaradi anorganskih in organskih snovi v industrijskih in komunalnih odpadnih vodah. Hkrati so avtorji omenjene študije ugotovili, da se je v enem delu reke izboljšala samočistilna sposobnost reke, zaradi uporabe vode v papirnici. Kljub temu se je pokazal prevelik poseg papirnice v ekološko stanje reke Bío Bío.

Obstajajo boljše alternative za zmanjšanje negativnega vpliva v reki Bío Bío. Temperatura vode je v proizvodnji celuloze in papirja veliko višja, kot je temperatura vode pri zlitju v reko. Papirnica tako porabi veliko energije, da ohladi vodo na 34°C. Ta temperatura je zgornja meja dovoljene temperature vode, ki jo industrijski obrati lahko v Čilu zlijejo v vodna telesa. Vročo vodo bi lahko uporabili za alternativno ogrevanje majhnega delavskega naselja v bližini, za kar bi prihranili energijo za hlajenje vode in ogrevanje hiš. Hkrati bi papirnica ohranila biodiverzitetu in ekološko stanje reke Bío Bío. V proizvodnji celuloze in papirja nastajajo odpadki, ki imajo lahko negativni vpliv na okolje, če jih industrijski obrat ne skladišči pravilno. V papirnicah so najpogostejši odpadki pepel, blato in trdni komunalni odpadki. Nepravilno odlaganje teh odpadkov povzroči okoljske probleme, zaradi visoke vsebnosti organskih snovi, patogenov, pepela in težkih kovin (Monte in sod. 2009). Bahar in sod. (2011) so opisali dva sodobna pristopa za zmanjševanje odpadkov. Prvi način je kemijska predelava in recikliranje odpadkov. Drugi način pa se nanaša na uporabo najboljših razpoložljivih tehnologij, ki so v skladu z IPPC. Količina nevarnih odpadkov se lahko zmanjša z metodami za ravnanje z odpadki, vključno z proizvodnjo, načrtovanjem, prilagoditvijo postopkov, zamenjavo materialov in recikliranjem.

Proizvodnja celuloze in papirja onesnažuje zrak. Najpomembnejša emisija papirnice je para (Bahar in sod. 2011). Poleg pare so še druge emisije plina, kot na primer ogljikov monoksid, ogljikov dioksid, dušikov oksid in kisik. Emisije plinov se razlikujejo glede na vrsto proizvodnje celuloze in papirja. V emisijah se lahko pojavijo tudi trdni delci. Hibridni izdelek C povzroča največ emisij v zrak v primerjavi z ostalimi analiziranimi izdelki. Vzrok velike količine emisij v zrak izdelka C je v surovinah, saj ima omenjeni izdelek največ dodatkov v proizvodnji. Na drugi strani ima izdelek B najmanjše količine emisije v zrak. Trend proizvodnje tega izdelka se je eksponentno zvišal do leta 2013. Za papirnico je dobro, da uveljavljajo izdelke, ki imajo v osnovi manjši vpliv na okolje.

Papirnice so same po sebi glasne, predvsem zaradi velike količine strojne opreme in transporta, ki je povezan z dobavo surovin in oddajo izdelkov. Papirnica, v kateri smo delali študijo, ima minimalno hrupno onesnaževanje. Lokacija papirnice je na območju industrijske cone Concepciona, ki ni gosto poseljena.

Analiza LCA je primerno orodje, s katerim lahko objektivno ovrednotimo različne okoljske vplive proizvodnje papirja. V naši študiji smo naredili analizo LCA od zibelke do vrat, pri kateri smo upoštevali pridobivanje surovin in proizvodnjo celuloze in papirja do vrat tovarne. Vsi koraki proizvodnje so bili opredeljeni in določeni za vsako stopnjo v življenjskem ciklu. Vhodni in izhodni podatki, ki so bili pridobljeni bodisi iz papirnice bodisi iz podatkovnih baz, so bili objektivno pretvorjeni v vplive na okolje in so bili podlaga za interpretacijo rezultatov in oblikovanje sklepov. Na podlagi analize LCA

lahko identificiramo operacije oziroma faze proizvodnje papirja z največjim doprinosom okoljskih vplivov papirja oziroma proizvodnje papirja. Pomen rezultatov študije je pomemben, saj smo s to raziskavo pridobili podatke o vplivu na okolje papirnice. Vodstvo papirnice se zaveda pomena varstva okolja in želi delovati trajnostno v skladu z načeli narave. Papirnica lahko s pomočjo te študije preuči vplive na okolje in tako izboljša celotno proizvodnjo celuloze in papirja. Trenutno papirnica izvažata 55% svojih izdelkov v druge države Južne Amerike, predvsem v Argentino, Peru, Bolivijo, Ekvador, Kolumbijo in Paragvaj. Papirnica iz regije Bío Bío bi lahko prosperirala tudi v Evropi, če bi zmanjšala vplive na okolje in bi tako pridobila potrebne okoljske deklaracije za proizvodnjo celuloze in papirja. S takšno potezo bi mala papirnica pridobila dodatni kapital, ki bi kasneje omogočil razširitev proizvodnje celuloze in papirja ter dal nujno potrebna nova delovna mesta.

5 LITERATURA

About paper – Paper Manufacturing. 2008. Torrasapel S.A. Barcelona: 4 – 50.

Air pollution. 2014. Industrial Emission Controls: Sulphur Dioxide.
<http://www.air-quality.org.uk/27.php> (Datum dostopa: 21.8. 2014)

Allison C., Carter A. 2000. Study on different types of Environmental Labelling (ISO Type II and III labels): Proposal for an Environmental Labelling Strategy. Final report. Oxford. Environmental Resources Management: 1.

Ally J., Pryor T. 2007. Life Cycle Assessment of Diesel, Natural Gas and Hydrogen Fuel Cell Bus Transportation System. Journal of Power Sources, 170 (2): 401-411.

Bahar I. K., Zeynep C., Orhan I. 2011. Pollution Prevention in the Pulp and Paper Industries. Environmental Management in Practice. ISB 978-953-307-358-3.

Benefits of International Standards. 2014. ISO – International Organization for Standardization. <http://www.iso.org/iso/home/standards/benefitsofstandards.htm> (Datum dostopa: 8. 8. 2014)

Car exhaust gases. 2014. Safetsolution. Total Environment centre.
<http://www.safersolutions.org.au/a/46?task=view> (Datum dostopa: 21. 8. 2014)

Capuder L. 2012. Analiza življenjskega cikla enostanovanjske zgradbe s poudarkom na fazi proizvodnje gradbenih materialov. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Univerzitetni študij gradbeništva: 49.

Cars and trucks and global warming. 2014. Union of Concerned Scientists. Citizens and Scientists for Environmental Solutions. http://www.ucsusa.org/clean_vehicles/why-clean-cars/global-warming/cars-and-trucks-and-global.html (Datum dostopa: 1. 9.2014)

Chile: Phase 2. 2007. Report on the application of the convention on combating bribery of foreign public officials in international business transactions and the 1997 revised recommendation on combating bribery in international business transactions. Directorate for Financial and Enterprise Affairs. OECD: 16.

Cloern J. E. 2007. The encyclopedia of earth. Eutrophication.
<http://www.eoearth.org/view/article/152690/> (Datum dostopa: 28. 8. 2014)

Copying and Graphic paper: Background Product Report. 2008. European Commission Green Public Procurement (GPP) Training Toolkit. European Commission. Barcelona: 8.

DuPont Packaging Graphics. 2008. A Glossary of Common Sustainability Terms. Du pont.

Environmental guide for pulp and paper production. 2014. Eugropa.
http://www.eugropa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=6
(Datum dostopa: 8. 8. 2014)

EPA. 2014. United states environmental protection agency. <http://www.epa.gov/> (Datum dostopa: 11. 8. 2014)

EPD[®]. 2014. The green yardstick. <http://www.environdec.com> (Datum dostopa: 15.8. 2014)

Eriksson E, Gilesie AR, Gustavsson L, Langvall O, Olsson M, Sathre R. 2007. Integrated Carbon Analysis of Forest Management Practices and Wood Substitution. Canadian Journal of Forest Research, 36: 671-681.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1996. Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry. <http://www.fao.org/docrep/005/v9933e/v9933e04.htm> (Datum dostopa: 21. 8. 2014)

Grosjean E., Grosjean D. 1997. Formation of Ozone in Urban Air by Photochemical Oxidation of Hydrocarbons: Captive Air Experiments in Porto Alegre, RS. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-50531998000200004&script=sci_arttext
(Datum dostopa: 3. 9. 2014)

Gordon G. 2003. Interior lighting for designers. New Jersey: John Wiley and Sons Inc. pp. 197-198.

Guinée B. J., Gorée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., Van Oers L., De Koning A., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., De Bruijn H., Van Duin R., Huijbregts M. A. J. 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. Dordrecht , Kluwer Academic Publishers: 5 – 9; 63 – 65.

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). 2001. Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. European commission: 9; 31 – 57.

International energy outlook 2013. 2013. U.S. Energy Information Administration, Washington, USA: 127 – 139.

ISO 14025. 2006. Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures: 8 – 10.

ISO 14040.2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and Framework: 2.

ISO 14044. 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines: 8.

Jensen A., Hoffman L., Møller B., Schmidt A., Christiansen K., Elkington J. 1997. Life Cycle Assessment, A guide to approaches, experiences and information sources, European Environment Agency: 13-16.

Karrash B., Parra O., Cid H., Mehrens M., Pacheco P., Urrutia R., Valdovinos C., Zaror C. 2006. Effects of pulp and paper mill effluents on the microplankton and microbial self-purification capabilities of the Bio Bio River, Chile. *Science of The Total Environment*, vol. 359 (1-3): 194 – 208.

Keefe A. Kay T. 2011. Environmental and Public Health Issues. *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*.
<http://www.ilo.org/oshenc/part-x/paper-and-pulp-industry/disease-and-injury-patterns/item/856-environmental-and-public-health-issues> (Datum dostopa: 21. 8. 2014)

Life Cycle Assessment and Forest Products. 2010. A White Paper. Feel good about Canadian pulp, paper, and wood. Forest Products Association of Canada: 7.

Life cycle assesment: Principles and practice. 2006. Ohio. National Risk Management Research Laboratory. Scientific Applications International Corporation (SAIC): 2, 4, 11-14.

Likon M., Trebše P. 2012. Recent Advances in Paper Mill Sludge Management, Industrial Waste. InTech.

Lipušček I., Tišler V. 2003. Les – Skladiščenje ogljika. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 71: 71 – 89.

Martincic J. C. 1997. The ISO 14000 Series of Standards.
<http://www.sis.pitt.edu/~mbsclass/standards/martincic/iso14000.htm> (Datum dostopa: 8. 8. 2014)

Monte M.C., Fuente E., Blanco A., Negro C. 2009. Waste management from pulp and paper production in the European Union. *Waste Management* 29: 293 – 308.

Municipal solid waste. 2014. U.S. Environmental protection agency
<http://web.archive.org/web/20060308134427/http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/recycle.htm> (Datum dostopa: 8. 8. 2014)

Nordling A. 2014. Making pulp and paper mills more energy efficient. ÅF.
<http://www.afconsult.com/fr/Sectors/Sustainability-Services/Improvement/References/Making-pulp-and-paper-mills-more-energy-efficient/>
(Datum dostopa: 7. 9. 2014)

Operativni program Republike Slovenije za ravnanje s klorofluorogljikovodiki. 2003. Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Republika Slovenija: 1.

Ozone Depletion. 2014. Losing Earths Protective Layer. National Geographic. <http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/ozone-depletion-overview/> (Datum dostopa: 1. 9. 2014)

Ozone layer protection – regulatory programs. 2014. EPA – United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/ozone/title6/609/consumers/cons2.html> (Datum dostopa: 1. 2. 2014)

Udo de Haes A. H., Van Rooijen M. 2005. Life cycle approaches. The road from analysis to practice, UNEP: 45.

Product category rules – PCR Basic Module – CPC Division 32: Pulp, paper and paper products; printed matter and related articles. 2011. The International EPD system. Version 1.1.

Product Category Rules (PCRs). 2014. UL. <http://www.ul.com/global/eng/pages/offersings/businesses/environment/services/epd/pcr/> (Datum dostopa: 8. 8. 2014)

Raga F. 2009. The Chilean Forestry Sector and associated risks. http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/imagen.cmd?path=1053534&posicion=2 (Datum dostopa: 8. 8. 2014)

Recovered paper quality. 2014. U.S. Environmental protection agency <http://www.epa.gov/epawaste/conserves/materials/paper/basics/quality.htm> (Datum dostopa: 10. 8. 2014)

Shanklin J. 2014. The ozone Layer Fact Sheet. The Ozone hole. <http://www.theozonehole.com/fact.htm> (Datum dostopa: 1. 2. 2014)

Soil acidification. 2014. Alberta. Environment and Sustainable Resource Development. <http://environment.alberta.ca/02192.html> (Datum dostopa: 15. 8. 2014)

Soil condition. 2007. National Land & Water resources Audit. Australian Government: 1.

Toplogredni plini. 2014. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Ministrstvo za kmetijstvo in okolje. http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_zraka/vsebine/toplogredni-plini (Datum dostopa: 1. 9. 2014).