

Analiza životnoga ciklusa – izazov za šumarstvo

Andreja Bosner, Tomislav Poršinsky

Nacrta – Abstract

U radu je opisana analiza životnoga ciklusa kao metoda koja proučava utjecaj proizvoda na okoliš u svim razdobljima njegova života. Posebno je dan osvrt na primjenjivost analize životnoga ciklusa u šumarstvu, odnosno kao jednu od metoda utvrđivanja okolišne prihvatljivosti pri izvođenju šumskih radova radi odabira okolišno prihvatljivije inačice.

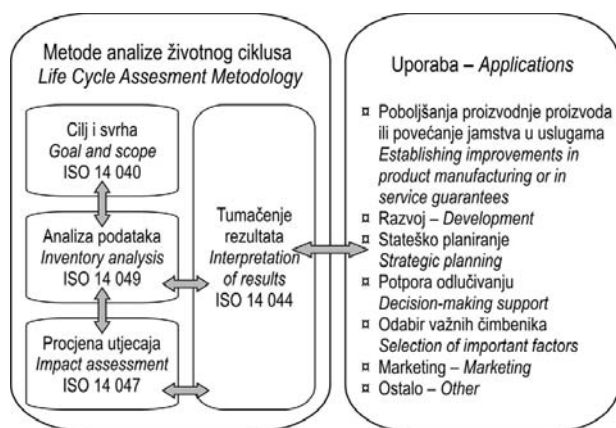
Za šumarstvo je analiza životnoga ciklusa posebno teška zbog dugoga vremenskoga procesa proizvodnje sirovina, u prvom redu drva (duljina ophodnje), te zbog velikoga prostorno-vremenskoga utjecaja koji šume imaju na okoliš. Da bi se uspješno izradila, potrebni su kvalitetni izvori podataka koji će sadržavati sve ulaze i izlaze materijala, utroška energije i količine onečišćavala nastalih tijekom: 1) pridobivanja sirovina, 2) postupaka nastajanja proizvoda, 3) vremena korištenja proizvoda, 4) moguće uporabe i ponovnoga korištenja, 5) konačnoga odlaganja otpada na deponije.

Zbog manjka kvalitetnih izvora podataka, ali i pretvorbe statičkoga karaktera analize životnoga ciklusa u dinamički, potrebna su daljnja istraživanja i unaprjeđenja ovoga, inače korisnoga, ali i vrlo složenoga alata procjene okolišne prihvatljivosti.

Ključne riječi: analiza životnoga ciklusa, okolišna prihvatljivost

1. Uvod – Introduction

Analiza životnoga ciklusa (eng. *Life Cycle Assessment – LCA*) bavi se proučavanjem utjecaja proizvoda na okoliš u svim razdobljima njegova života, od proizvodnje i upotrebe do recikliranja i odlaganja.



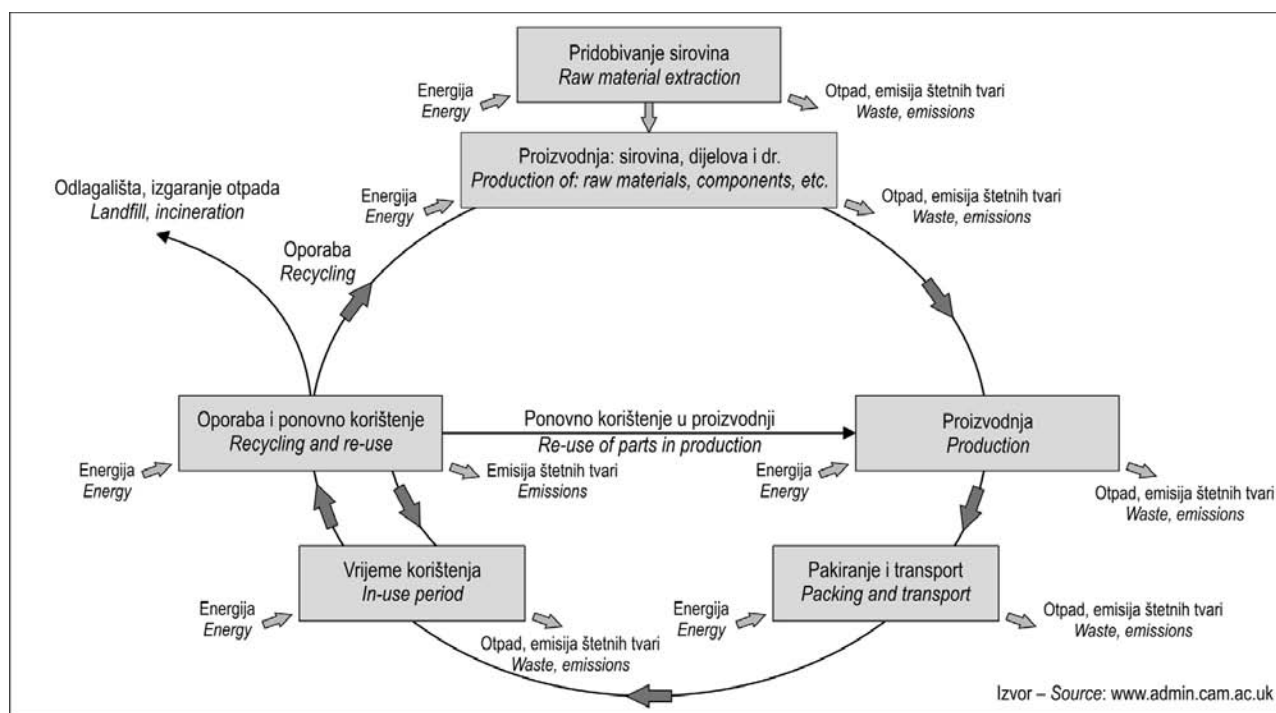
Slika 1. Koraci analize životnoga ciklusa prema normama ISO
Fig. 1 Phases in the LCA according to ISO standards

Prema normi ISO/EN 14040 analiza je životnoga ciklusa zbroj i procjena ulaznih i izlaznih parametara te mogućega utjecaja na okoliš nekoga proizvodnoga sustava u životnom vijeku proizvoda. Metodološki se analiza životnoga ciklusa sastoji od četiriju koraka: 1) određivanje cilja, 2) analiza podataka, 3) procjena utjecaja i 4) tumačenje rezultata (slika 1).

Glavni su razlozi za uvođenje i provođenje analize životnoga ciklusa u šumarstvu prema Memorandumu o razumijevanju COST E9 233/97 (»Analiza životnoga ciklusa za šumarstvo i šumske proizvode«):

- ⇒ pribavljanje kvantitativnih i kvalitativnih informacija radi određivanja utjecaja na okoliš te utvrđivanja prednosti šumskih proizvoda,
- ⇒ poboljšanje procesa proizvodnje i uporabe,
- ⇒ utvrđivanje proizvoda čiji utjecaj na okoliš još nije poznat,
- ⇒ omogućivanje usporedbe između različitih proizvodnih materijala, pod uvjetom da se koriste s istom svrhom.

Iako je analiza životnoga ciklusa znanstvena metoda u razvoju, do sada je uočena njezina važnost za

**Slika 2.** Životni ciklus proizvoda**Fig. 2** Product lifetime

procjenu utjecaja šumarstva i šumskih proizvoda na okoliš. Na primjer, kruženje ugljika započinje fotosintezom u šumi, uključuje pohranu ugljika u stojećim stablima, stvaranjem šumskih proizvoda te završava ispuštanjem CO₂ u atmosferu tijekom razgradnje ili izgaranja. Ponovno korištenje i oporaba produljuje ciklus života proizvoda. Prednosti drva kao obnovljive sirovine (izvora energije) neće biti potpuno vidljive sve dok se ne izradi analiza životnoga ciklusa proizvoda (materijala) i energije dobivene od drva (Karjalainen i Zimmer 2001).

Zbog sve veće potrošnje obnovljivih i neobnovljivih izvora energije te rastućega odlaganja otpada u čvrstom, tekućem i plinovitom stanju analiza životnoga ciklusa postaje naša svakodnevnica (slika 2).

Osim norme ISO/EN 14040 područje analize životnoga ciklusa pokriva i norme:

- ⇒ ISO 14020: 2000 (Environmental labels and declarations – General principles)
- ⇒ ISO 14021: 1999 (Environmental labels and declarations – Self-declared environmental claims, Type II environmental labelling)
- ⇒ ISO 14024: 1999 (Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures)
- ⇒ ISO 14025: 2006 (Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures)

- ⇒ ISO 14040: 2006 (Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework)
- ⇒ ISO 14044: 2006 (Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines)
- ⇒ ISO/TR 14047: 2003 (Environmental management – Life cycle impact assessment – Examples of application of ISO 14042)
- ⇒ ISO/TS 14048: 2002 (Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format)
- ⇒ ISO/TR 14049: 2000 (Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis)

Cilj je ovoga rada približiti domaćoj šumarskoj javnosti analizu životnoga ciklusa općenito, ali i kao jednu od metoda za utvrđivanje okolišne prihvatljivosti izvođenja šumskih radova.

2. Izazovi za analizu životnoga ciklusa u šumarstvu – Challenges for life cycle assessment in forestry

Pri primjeni analize životnoga ciklusa za šumarstvo i šumske proizvode javljaju se određeni problemi, koji se očituju u sljedećemu (COST E9 233/97):

- ⇒ šumarstvo koristi velika prostorna područja,
- ⇒ šumski proizvodi nastaju relativno dugim razdobljem proizvodnje (ophodnja) te njihovi ciklusi započinju u šumi i završavaju odlaganjem, spaljivanjem ili truljenjem u šumi,
- ⇒ životni ciklus proizvoda u šumarstvu, ali i u drvnoj industriji, varira od relativno kratkoga ciklusa (npr. papir) do vrlo dugih ciklusa (npr. piljena građa),
- ⇒ postoji složena povezanost između glavnih i sporednih proizvoda.

2.1 Otpad i proizvodi – *Waste and products*

Iako je definicija otpada u kontekstu analize životnoga ciklusa dana u normi ISO 14040 (»izlazni rezultat iz procesa proizvodnje koji se više ne može koristiti«), sa šumarskoga stajališta otpad može dobiti i novo značenje. Tipičan primjer u šumarstvu, prelaska prvobitnoga otpada u proizvod, jest pridobivanje šumskoga ostatka (nusproizvod izradbe drva u tradicionalne drvene sortimente, a koji predstavlja otpad pri sječi i izradbi drva – granjevina, ovršine) za dobivanje energije od njega. U slučaju da se šumski ostatak ostavi da istrune u šumi, tj. na njemu se neće osvariti dodatna zarada, on je i svojevrsan gubitak, odnosno otpad (Berg 2001). Osim naziva *otpad* dolazi i do komplikacije upotrebom naziva *proizvod*. Skupina normi, ISO 14000, daje definicije za glavni proizvod (*main product*), finalni proizvod (*final product*), nusproizvod (*by-product*) te sporedni proizvod (*co-product*), u kojima je jasno definirano što je proizvod (fizičke tvari s mjerljivim značajkama, kao što su dimenzije, boja, okus i dr., nastale u procesu proizvodnje ili usluge koje se nude potrošačima te su tražene od potrošača). Definicije ostalih podskupina proizvoda u potpunosti ovise o trenutačnim uvjetima na tržištu (Berg 2001).

2.2 Prostorno-vremenski aspekt – *Space-time aspect*

Analiza je životnoga ciklusa statičkoga karaktera, što predstavlja problem primjenjivosti u šumarstvu, koje je određeno izvođenjem radova u prostoru i vremenu pa je i samim time dinamičkoga karaktera. Postoji velika razlika između vremenskoga trajanja i prostornoga djelovanja između ciklusa stvaranja industrijskih proizvoda i proizvodnih lanaca u šumarstvu te je potrebno razvijanje pristupa modeliranja koji će omogućiti stvaranje i prikupljanje reprezentativnih podataka za što točniju analizu životnoga ciklusa. U modeliranju se mogu koristiti empirijski podaci (modeliranje se zasniva na analizi postojećih podataka) te razvojno modeliranje (predviđanje budućih događaja uzimajući u obzir sve promjene u procesu proizvodnje, u obzir se mogu uzeti i neli-

nearno djelovanje korištenjem modela produktivnosti) upotrebom hibridnih modela (Karjalainen i dr. 2001). Za modeliranje je bitno da se složeni dinamički modeli na odgovarajući način pojednostave i kao takvi koriste u analizi životnoga ciklusa. U ovisnosti o načinu gospodarenja šumama, razdoblje se određuje na dva načina:

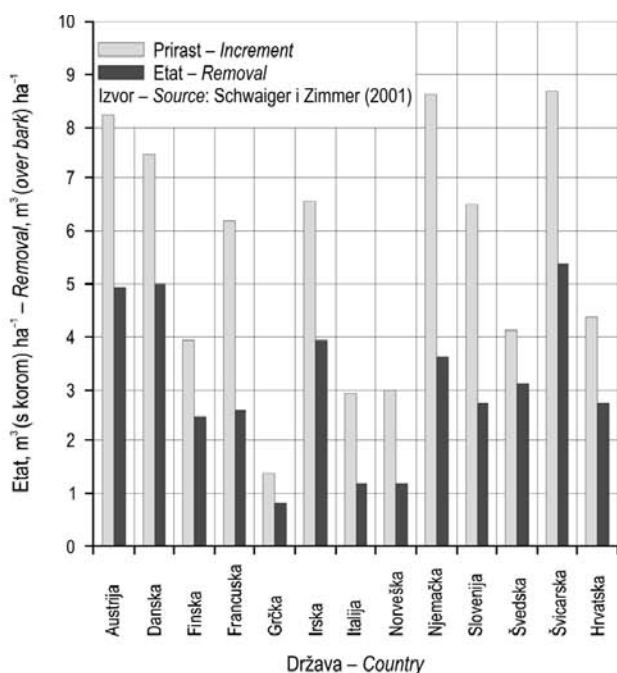
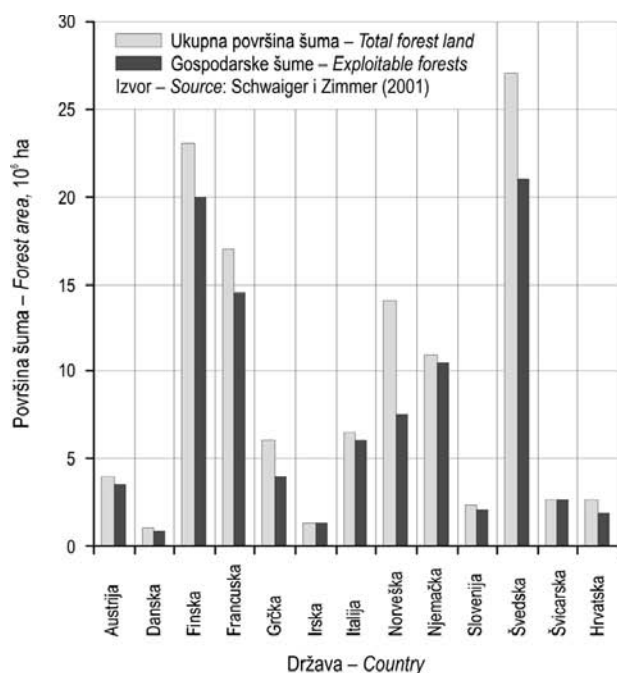
- ⇒ za regularne šume predlaže se modelirano razdoblje (određeno duljinom ophodnje),
- ⇒ za raznodobne šume predlaže se korištenje razdoblja od 120 godina.

Klasična analiza životnoga ciklusa sadrži statički pristup koji zanemaruje dimenziju vremena te se tokovi unutar ciklusa analize određuju emisijama tvari koje nastaju u nekom razdoblju, dok se trajanje samoga razdoblja ne uzima u obzir. Šumarstvo s druge strane upravo pomoću dinamičkih modela predviđa proizvodnju te je tako dimenzija vremena u potpunosti nužna za modeliranje. Nadalje, akumulacija se tvari u klasičnoj analizi životnoga ciklusa zanemaruju te se samo tokovi tvari između sustava proizvodnje i okoliša uzimaju u obzir, dok su u šumarstvu upravo zalihe osnovna informacija za modeliranje. Potrebno je naglasiti da statička analiza životnoga ciklusa za šumarstvo još nije izvedena zbog navedene dinamičnosti proizvodnih sustava u šumarstvu općenito. Karjalainen i dr. (2001) navode da je, kratkoročno gledajući, jednostavnije primjenjivati dinamičke modele u analizama za šumarstvo posebno u prikazu kruženja tvari (CO₂, NH₃, NO₃ i dr.).

FAO (2006) iznosi podatak da šume zauzimaju 30 % svjetske površine (40 mil. km²) i ta velika prostorna komponenta dodatno otežava analizu životnoga ciklusa šumskih proizvoda. Domino-efekt, koji uzrokuje korištenje zemljišta, započinje aktivnošću na njem prihranjivanjem tla, utjecajem vegetacije na tlo, utjecajem na hranjive tvari i vodu u tlu, zbijanje tla (vjerojatnost erozije, a time i gubitka plodnoga tla), pa sve do kraja ciklusa proizvoda, kroz koji se može vidjeti ukupan utjecaj proizvoda na okoliš (Guinée i dr. 2006). Cowell i Clift (2000) predlažu kako uklopiti problem erozije tla u analizu životnoga ciklusa. Oni smatraju da je ispiranje tla kategorija utjecaja, posljedica je erozije gubitak plodnoga tla (kg/ha/god.), a pokazatelj su erozije globalne zalihe plodnoga tla. Globalne su zalihe plodnoga tla određene kao odnos ukupnoga gornjega sloja tla u svijetu (t) i godišnjega gubitka gornjega sloja tla zbog djelovanja erozije (t/god.).

2.3 Pridobivanje drva i dostupnost podataka *Harvesting operations and data bases availability*

Schwaiger i Zimmer (2001) daju prikaz podataka za 12 europskih zemalja za koje navode da količina i



Slika 3. Podaci o šumovitosti, prirastu i etatu nekih europskih zemalja

Fig. 3 Data of forest land, increment and removal of some European countries

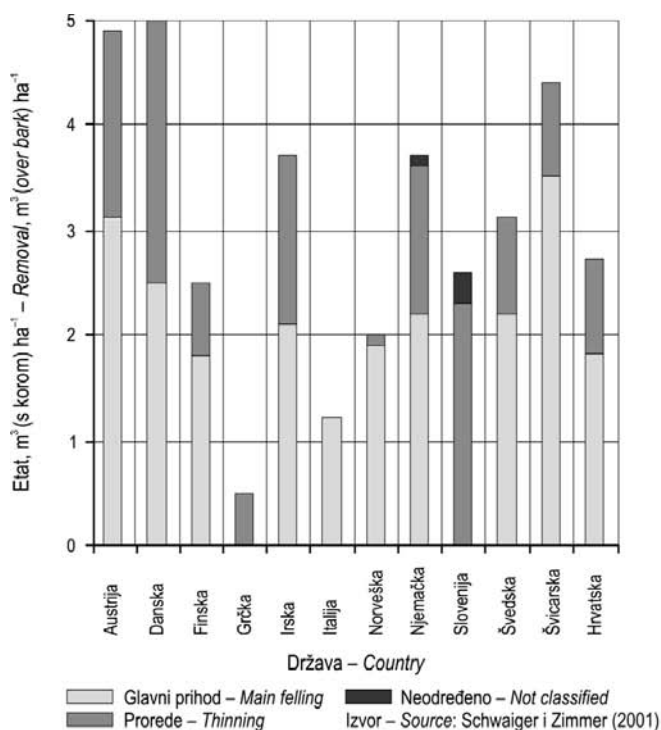
kakvoća dostupnih podataka znatno varira. Podaci, kao što su etat, prirast, površina šuma i dr., dostupni su u svim zemljama (slika 3), a za podatke o izvođenju šumskih radova navode da često nisu dostupni (npr. udaljenosti se daljinskoga transporta pretpostavljaju ...). U zemljama poput Austrije, Finske, Švicarske i

Švedske dostupna je veća količina podataka na nacionalnoj razini. Ipak, treba naglasiti da se ni u jednoj od analiziranih zemalja ne spominju sekundarni šumski proizvodi (u analizi životnoga ciklusa) te da se ne radi razlika između drva pridobivenoga proredama, odnosno dovršnim (čistim) sječama (slika 4).

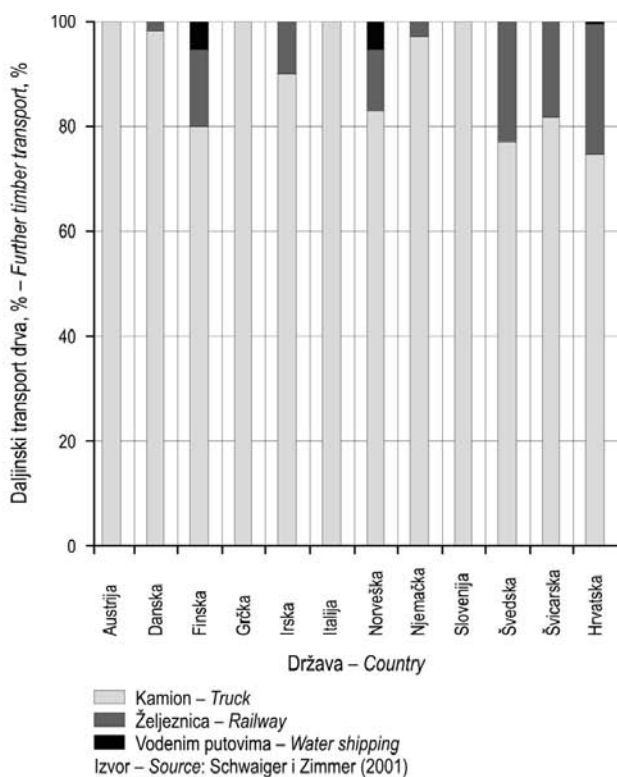
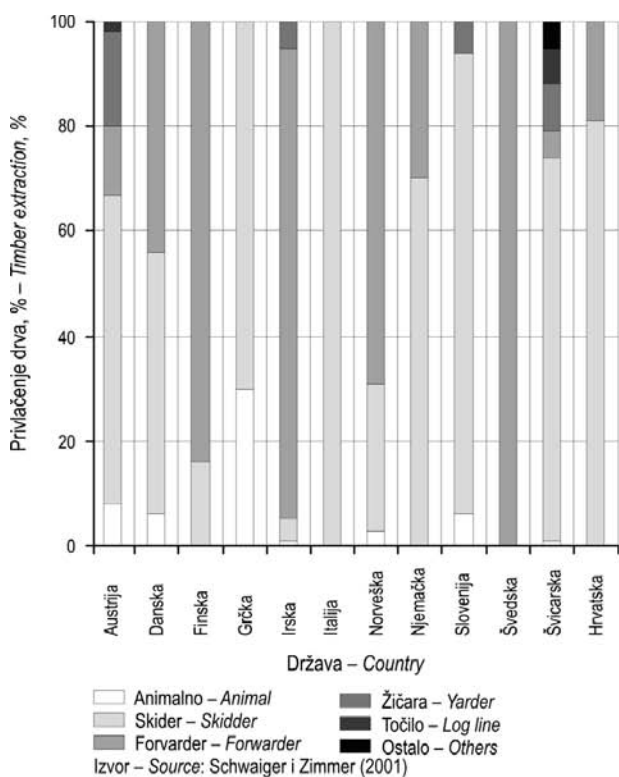
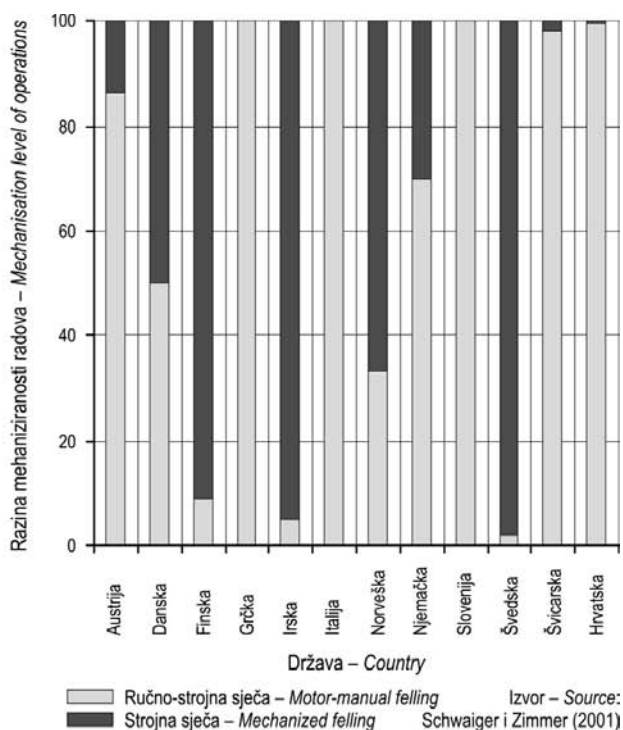
Tablica 1. Distribucija vlasništva nad šumskim zemljištem (Schwaiger i Zimmer 2001)

Table 1 Distribution of the forest ownership (Schwaiger and Zimmer 2001)

Država – State	Državne šume State forests	Savezne šume Federal forests	Šume u vlasništvu korporacija Corporation forests	Privatne šume Private forests	Šume u vlasništvu poduzeća Company forests
			%		
Austrija – Austria	17,0	3,5	9,8	69,7	-
Danska – Denmark	40,0	-	-	-	60,0
Finska – Finland	33,2	-	4,7	54,3	7,8
Francuska – France	10,2	-	16,2	73,6	-
Njemačka – Germany	4,3	29,6	26,1	40,0	-
Grčka – Greece	-	-	-	-	-
Irska – Ireland	-	-	-	35,0	65,0
Italija – Italy	7,6	-	27,4	59,9	5,1
Norveška – Norway	7,0	2,0	-	91,0	-
Slovenija – Slovenia	32,6	-	-	64,9	2,4
Švedska – Sweden	3,4	-	8,0	49,2	39,4
Švicarska – Switzerland	5,0	1,0	62,0	29,0	3,0
Hrvatska – Croatia	76,0	19,7	-	4,3	-



Slika 4. Struktura etata i razina mehaniziranosti sječe i izradbe drva
Fig. 4 Removal structure and mechanisation level of felling and processing



Slika 5. Struktura načina privlačenja i daljinskoga transporta drva
Fig. 5 Structure of timber extraction and further transport

Isti autori napominju da je dostupnost podataka odstupala u ovisnosti o vlasništvu nad šumskim zemljištem (tablica 1) zbog toga što su podaci od fizičkih i pravnih šumovlasnika često bili nepotpuni.

Radi stvaranja standardiziranih i reprezentativnih podataka pogodnih za međusobnu usporedbu radovi na pridobivanju drva razdijeljeni su na sječu i izradbu (slika 4), odnosno transport drva (slika 5). Transport drva dodatno je razdijeljen na privlačenje i daljinski transport.

Razinu mehaniziranosti sječe i izradbe drva među pojedinim europskim zemljama ponajprije treba uspoređivati s obzirom na udjel pojedinih vrsta u drvenoj zalihi, način gospodarenja šumama, prohodnost terena (utjecaj nagiba terena, površinskih prepreka i nosivosti podloge šumskoga bespuća na kretnost vozila) te na odnos prethodnoga i glavnoga prihoda drva u ostvarenom etatu (slika 4).

Na način i izbor korištenih sredstva privlačenja drva utječu također već spomenuti terenski čimbenici izvođenja šumskih radova te svakako razina otvorenosti šuma, što je dovelo do značajnih različitosti izvođenja primarnoga transporta drva među europskim zemljama (slika 5).

Daljinski transport drva svih europskih zemalja pretežito se oslanja na prijevoz drva kamionima (>75 %).

Udjeli željezničkoga i vodnoga transporta u pojedinim europskim zemljama vezani su uz postojanje mreže željezničkih pruga te njihove pripadnosti me-

đunarodnim transportnim koridorima, odnosno postojanju plovnih vodenih putova.

U analizi životnoga ciklusa, osim općenitih podataka vezanih uz pojedino šumarstvo (slike 3, 4 i 5), za procjenu utjecaja na okoliš potrebni su i podaci o proizvodnosti, potrošnji goriva te količinama ispuštenih onečišćavala sredstava za rad koja su sastavni dio pojedinoga sustava pridobivanja drva (tablica 2).

Prijevoz drva kamionima znakovito utječe na analizu životnoga ciklusa jer potrošnja goriva i količina ispušnih (stakleničnih) plinova ovise o udaljenosti transporta i tipu vozila. Svakako treba naglasiti da se zakonska ograničenja znatno razlikuju unutar europskih zemalja (tablica 3), te da na dopuštenu težinu vučnoga i priključnoga vozila utječe ukupan broj osovina. Potrošnja goriva po prijeđenom kilometru za kamione ovisi o tipu i dobi vozila, njegovoj ukupnoj težini i o samoj udaljenosti transporta. Međutim, zbog nedostatka podataka o strukturi prijeđenih udaljenosti, ovisno o vrsti prometnice (javne, šumske ceste), najveća je pažnja posvećena odnosu potrošnje goriva s obzirom na obujam prevezenoga drva (tablica 3).

Ukupna količina onečišćavala odloženih u okoliš tijekom izvođenja šumskih radova neposredno je povezana s potrošnjom fosilnih goriva. Tablica 4 prikazuje procijenjenu jediničnu potrošnju goriva u europskim zemljama po sastavnicama pridobivanja drva.

Tablica 2. Proizvodnost, potrošnja goriva te količina ispušnih plinova sredstava za rad u pridobivanju drva

Table 2 Productivity, fuel consumption and amount of exhaust gasses in harvesting operations

Sredstvo za rad (proizvođač) <i>Means of work (producer)</i>	Izvor podataka <i>Reference</i>	Proizvodnost <i>Productivity</i>	Potrošnja goriva <i>Fuel consumption</i>		Ispušni plinovi <i>Exhaust gasses</i>		
					CO ₂	N ₂ O	CH ₄
		m ³ /h	L/h	kg/m ³	g/kg goriva – g/kg <i>fuel</i>		
Sječa i izradba drva – <i>Felling and processing</i>							
Motorna pila – <i>Chainsaw</i> (Stihl 026)	Fedrau (2000)	4,0	1,5	0,28	3150	0,02	6,91
Motorna pila – <i>Chainsaw</i> (Stihl 036)	Fedrau (2000)	8,0	2,4	0,23	3150	0,02	6,91
Motorna pila – <i>Chainsaw</i> (Stihl 026/036)	Fedrau (2000)	6,0	2,0	0,24	3150	0,02	6,91
Harvester – <i>Harvester</i> (Timberjack 1270)	Knechtle (1997)	13,0	11,3	0,77	3455	2,20	5,23
Transport drva – <i>Timber transport</i>							
Životinja [konj] – <i>Animal (horse)</i>	FPP(1991)	1,5	–	–	–	–	–
Skider – <i>Skidder</i> (Mahler Unifant)	Fedrau (2000)	7,0	6,0	0,64	3455	2,20	5,23
Forvarder – <i>Forwarder</i> (Timberjack 810B)	Knechtle (1997)	17,0	9,8	0,43	3455	2,20	5,23
Žičara – <i>Yarder</i> (Sincrofalke)	Winkler (1997)	6,0	7,2	0,90	3455	2,20	5,23
Točilo – <i>Log line</i> (Leykam)	Trzesniowski (1989)	1,5	–	–	–	–	–
Kamion – <i>Truck</i> (MAN)	Frischnecht (1995)	–	4,0	–	3180	0,10	0,20

Izvor – Source: Schwaiger i Zimmer (2001)

Tablica 3. Potrošnja goriva i dopuštena ukupna težina kamiona**Table 3** Fuel consumption and total allowed weight of trucks

Država Country	Potrošnja goriva Fuel consumption	Dopuštena težina Allowed weight
	kg/m ³ * 100 km	t
Austrija - Austria	1,47	38
Danska - Denmark	1,28	48
Finska - Finland	1,16	56
Njemačka - Germany	1,42	40
Grčka - Greece	1,47	24
Irska - Ireland	1,43	40
Italija - Italy	1,42	44
Norveška - Norway	1,28	50
Slovenija - Slovenia	1,42	40
Švedska - Sweden	1,14	60
Švicarska - Switzerland	1,42	40

Izvor - Source: Schwaiger i Zimmer (2001)

Berg (1999) navodi da velik utjecaj na analizu životnoga ciklusa imaju i načini prikupljanja podataka. Isti autor na primjeru švedskoga šumarstva uspoređuje dva pristupa u prikupljanju podataka za analizu:

- ⇒ Statistički podaci o posječenom drvu (m³/ha) i obavljenom transportu drva (t/km).
- ⇒ Podaci iz istraživanja (studij rada i vremena) koji se zasnivaju na proizvodnosti i potrošnji goriva po jedinici proizvoda (m³) ili jedinici

utrošenoga vremena. Podaci se prikupljaju tijekom radova na određenom području unutar jedne godine (kalendarsko vrijeme) te se razvrstavaju u 4 kategorije ovisno o podrijetlu:

- ⇒ Precizna kratkotrajna mjerenja – razrađena struktura utrošaka vremena, pridobivena količina drva i potrošnja goriva.
- ⇒ Praćenja izvršenja radova – podaci o količini drva i strojnom radnom vremenu uz praćenje potrošnje goriva.
- ⇒ Lokalni prosjeci – podaci koji se odnose na strojeve ili opremu korištenu na određenom području.
- ⇒ Opći prosjeci – npr. podaci o željezničkom transportu na razini cijele države.

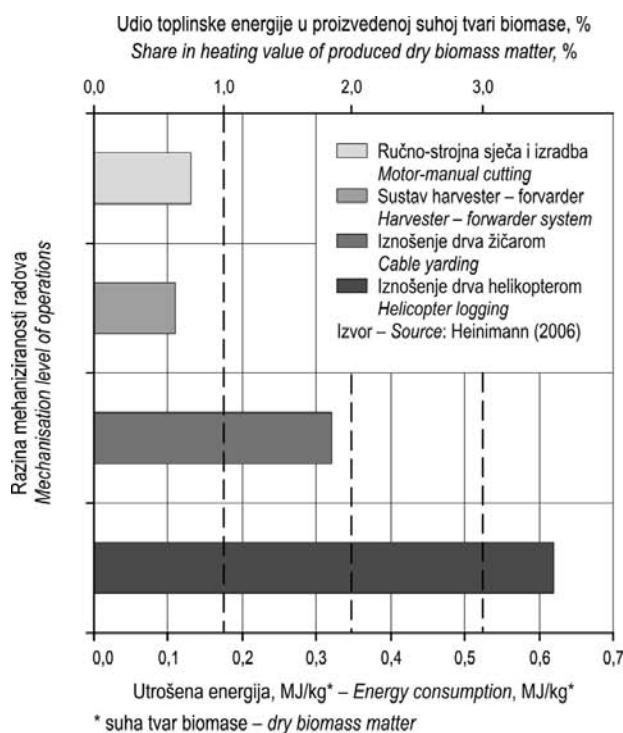
Pri prikupljanju podataka u švedskom šumarstvu u najčešći je uočeni nedostatak neprikupljanje pojedine vrste podataka, čime su i daljnje analize djelomično ograničene. Isto tako, prisutan je širok raspon vrijednosti utvrđenih podataka zbog neprecizno određenih granica između pojedinih faza sječe i izradbe te transporta drva, ali i uzgojnih mjera. Prisutna su i odstupanja u podacima o djelotvornosti strojeva (proizvodnost i potrošnja energije) te u samoj kakvoći prikupljenih podataka (ovisno o njihovu podrijetlu). Podaci su od privatnih poduzetnika rijetko dostupni, posebno ako nisu certificirani normom ISO 14000, pa i stoga procjena emisije izgoranih plinova (na osnovi prethodnih mjerenja) nije moguća.

Berg i Karjalainen (2000) istražuju emisije CO₂ nastale tijekom pridobivanja drva (sječa i izradba,

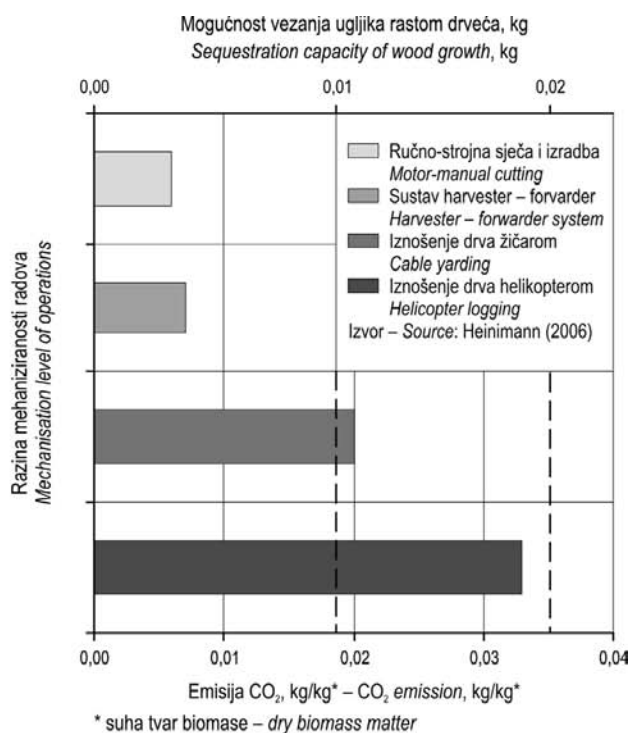
Tablica 4. Procijenjena potrošnja fosilnih goriva pri pridobivanju drva**Table 4** Estimated fossil fuel input for harvesting operations

Država Country	Sječa i izradba Felling and processing	Privlačenje drva Timber extraction	Daljinski transport Further transport	Ukupno Total
	kg goriva/m ³ - kg fuel/m ³			
Austrija - Austria	0,31	0,59	3,68	4,6
Danska - Denmark	0,51	0,46	1,28	2,3
Finska - Finland	0,73	0,36	2,08	3,2
Njemačka - Germany	0,40	0,58	1,42	2,4
Grčka - Greece	0,28	0,45	5,89	6,6
Irska - Ireland	0,75	0,48	1,98	3,2
Italija - Italy	0,24	0,64	0,86	1,7
Norveška - Norway	0,60	0,47	1,41	2,5
Slovenija - Slovenia	0,24	0,62	0,99	1,9
Švedska - Sweden	0,77	0,43	2,08	3,3
Švicarska - Switzerland	0,25	0,58	1,22	2,0

Izvor - Source: Schwaiger i Zimmer (2001)



Slika 6. Okolišna pogodnost pojedinih postupaka pridobivanja drva
Fig. 6 Environmental suitability of some harvesting technologies



privlačenje te prijevoz drva) u Švedskoj i Finskoj. Udio posječenoga drva u proredama i oplodnim (čistim) sječama, radni uvjeti, vrsta strojeva korištenih za sječu i izradbu slični su u obje zemlje, a razlika se pojavila jedino u kategoriji terena i stupnju mehaniziranosti radova u proredama. Autori su zaključili da je pri analizama vrlo bitno koristiti podatke prikupljene istom metodologijom (studij rada i vremena, kontinuirano praćenje rada strojeva). Miješanje podataka iz različitih izvora dovodi do krivih izračuna, posebice pri potrošnji energije.

Athanassiadis (2000) pri potpuno mehaniziranom pridobivanju kratkoga drva (sustav harvester – forvarder) utvrđuje jediničnu potrošnju energije (82 MJ/m³), a za vrijednosti emisija ispušnih plinova navodi da značajno variraju u ovisnosti o korištenoj vrsti goriva. Procijenjena je i potrošnja ulja za podmazivanje reznoga uređaja harvesterske glave (35 L/1000 m³), a prolijevanje je hidrauličnoga ulja pri pucanju uljnih vodova harvester i forvardera procijenjeno na 20 L/1000 m³. Također je procijenjeno da će se tijekom normalnoga uporabnoga razdoblja zamijeniti 52 % (ukupne mase) dijelova forvardera, 56 % jednozahvatnoga harvestera te 50 % dvo-zahvatnoga harvestera.

Heinmann i dr. (2006) navode da se od uvođenja norme ISO 14030 sve više govori o mjerenju utjecaja na okoliš, ali da je ipak još malen broj izrađenih i/ili

objavljenih studija šumarske tematike. Isti autor istražuje okolišnu pogodnost pojedinih postupaka pridobivanja drva s obzirom na potrošnju energije, emisiju ugljičnoga dioksida, kao i mogućnost njegova vezanja tijekom rasta drveća. Utvrđuje potrošnju energije u rasponu od 0,12 do 0,62 MJ/kg, što je tek 0,5 – 3,7 % energije dobivene proizvodnjom šumske biomase. Emisija je CO₂ iznosila 0,005 – 0,032 kg/kg šumske biomase, za što se mora proizvesti 0,005 – 0,018 kg šumske biomase da bi došlo do vezanja ispuštenoga ugljika. Iako se do sada smatralo da su sječa i izradba drva motornom pilom okolišno prihvatljivije, pokazalo se da potpuno mehanizirano pridobivanje kratkoga drva i ručno-strojna sječa i izradba zapravo imaju jednak utjecaj na okoliš.

McManus i dr. (2004) analiziraju životni ciklus mineralnoga ulja i bioulja (uljana repica) korištenih u mobilnim hidrauličnim sustavima. Autori navode kako je upotreba bioulja relativno nov proces te da je teško doći do preciznih ulaznih podataka. U većini emisija štetnih tvari nastalih pri proizvodnji obje vrste ulja, emisije onečišćavala kod bioulja nadmašuju one nastale proizvodnjom i korištenjem mineralnih ulja, osim u emisiji stakleničnih plinova. Autori nadalje zaključuju da iako nije uvijek bolje koristiti bioulja (negativan utjecaj na dijelove hidrauličnih sustava – brtve i uljne vodove), proizvodnja je mine-

ralnoga ulja nepostojana samim time što nastaje iz neobnovljivoga izvora energije.

Frühwald (2000) istražuje mogućnost iskaza pozitivnoga učinka šuma na ekosustav, za koji navodi da je teško iskazljiv. Nadalje izražava stav o presudnoj važnosti socijalnih i okolišnih učinaka šumarstva te smatra da se oni trebaju uvrstiti u analize životnoga ciklusa.

Wollenman (2006) istražuje vezanje ugljika i emisije plinova u kulturi eukaliptusa i prirodnoj bukovoj sastojini. Utvrđuje količinu akumuliranoga ugljika u kulturi od 85 kg/m^3 te 180 kg/m^3 u bukovoj sastojini. S obzirom na istraživanu površinu i izvršene radove mogućnost je vezanja ugljika $0,18 \text{ kg/m}^2$ u kulturi te $0,14 \text{ kg/m}^2$ u prirodnoj šumi. Ista autorica zaključuje da način gospodarenja određuje i buduće vezanje ugljika.

2.4 Podaci od proizvođača – *Manufacturers data*

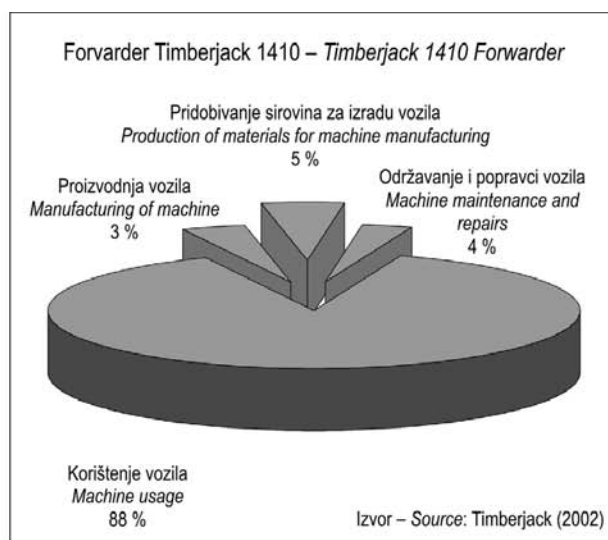
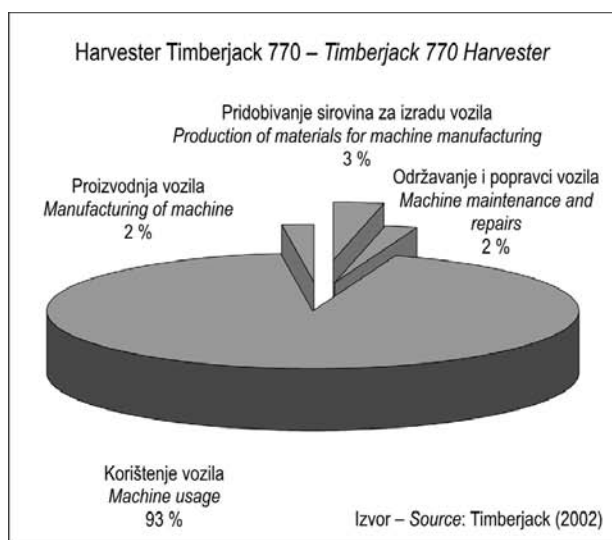
Podatke o životnom ciklusu strojeva koji se rabe u šumarstvu moguće je pribaviti i od nekih njihovih proizvođača. Timberjack (član grupacije John Deere) u svojoj »Okolišnoj deklaraciji« daje podatke o utjecaju na okoliš harvesteri Timberjack 770 i forvarderi Timberjack 1410 tijekom njihova životnoga ciklusa (slika 7), koji je razdijeljen u pet razdoblja:

- ⇒ pridobivanje sirovina – utjecaj na okoliš pri proizvodnji čelika, lijevanoga željeza, gume ...
- ⇒ proizvodnja vozila – utjecaj na okoliš pri izradi i sastavljanju vozila (određen normom ISO 14001)

- ⇒ korištenje vozila – odlaganje onečišćavala u okoliš zbog potrošnje goriva i maziva
- ⇒ održavanje vozila i popravci – utjecaj na okoliš zbog zbrinjavanja i uporabe dotrajalih ulja, guma i drugih dijelova vozila
- ⇒ korištenje materijala po završetku životnoga ciklusa – uporaba materijala i ponovno korištenje dijelova te odlaganje neoporabljivih materijala.

Najveći utjecaj na okoliš tijekom životnoga ciklusa oba vozila ima razdoblje korištenja vozila (slika 7). Razdoblje korištenja vozila treba poimati preko dvaju parametara poznatija u kalkulacijama troškova strojnoga rada: 1) normalno vrijeme uporabe odgovara broju pogonskih sati tijekom kojih se trošak po pogonskom satu ne povećava zbog povećanja troškova održavanja (za harvester i forvarder iznosi 10 000 pogonskih sati), 2) vrijeme zastarijevanja stroja koje odgovara vremenski najvećemu razdoblju korištenja izraženom u godinama kada je uporaba stroja još ekonomična, a nakon koje dolazi do tehničkoga zastarijevanja (korozija, umor materijala) i smanjenja sigurnosti rada (za harvester i forvarder iznosi 10 godina).

U razdoblju korištenja vozila najveći je utjecaj na okoliš zbog potrošnje fosilnih goriva i maziva (tablica 5). Najznačajnija su onečišćavala ispušni plinovi. Ugljični je dioksid najznačajniji staklenički plin koji utječe na globalno zatopljenje. Dušični oksidi jedan su od uzroka kiselih kiša, a jednako tako i sumporni oksidi koji dodatno izazivaju i bolesti dišnoga sustava.



Slika 7. Utjecaj na okoliš tijekom različitih razdoblja životnoga ciklusa harvesteri i forvarderi

Fig. 7 Environmental impact throughout different life cycle phases of harvester and forwarder

Tablica 5. Emisija onečišćavala tijekom životnoga ciklusa harvesteri i forvarderi**Table 5** Pollutions during harvester and forwarder life cycle

Vrsta vozila Vehicle type	Emisija plinova i štetnih tvari – Gaseous and particulate emission							
	CO ₂		NO _x , NO ₂		SO _x , SO ₂		Štetne tvari – Particulates	
	Ukupno Total	Tijekom korištenja During usage	Ukupno Total	Tijekom korištenja During usage	Ukupno Total	Tijekom korištenja During usage	Ukupno Total	Tijekom korištenja During usage
	kg							
Harvester – Harvester	499.000	451.400	5428	5.293	624	523	284	256
Forwarder – Forwarder	509.100	451.400	4356	4.206	713	523	232	209

Izvor – Source: Timberjack (2002)

Okolišna pogodnost pojedinoga proizvoda iskazuje se i u mogućnosti uporabe ili ponovnoga korištenja materijala na kraju njegova životnoga ciklusa. Postupak uporabe mora biti u prvom redu tehnološki izvediv, ali i ekonomski isplativ.

Stopa uporabe vozila na kraju razdoblja korištenja određena je odnosom mase materijala koju je moguće uporabiti i ukupne mase vozila. Prema Direktivi 2000/53/EC EU-a stopa uporabe na kraju razdoblja korištenja vozila mora iznositi najmanje 80 % (tj. 85 % kada se pribroji i stopa ponovnoga korištenja dijelova stroja). Do 2015. godine propisana će stopa uporabe iznositi 85 % (tj. 95 % kada se pribroji i stopa ponovnoga korištenja dijelova stroja).

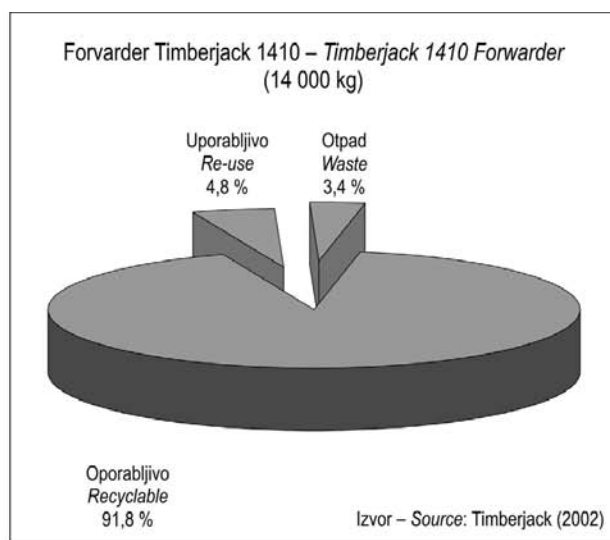
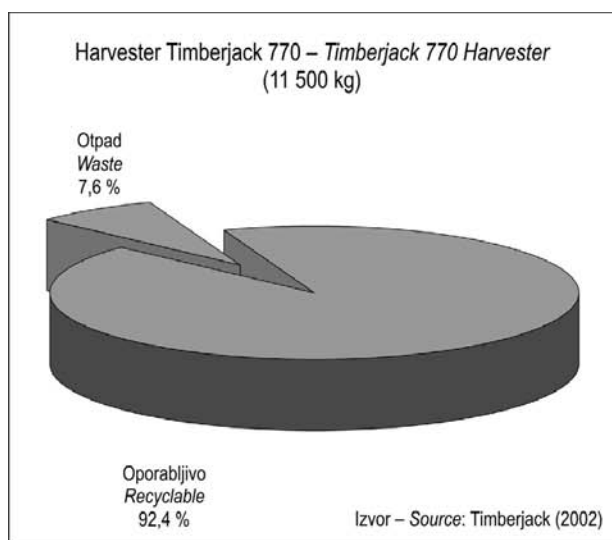
Na kraju razdoblja korištenja kod harvesteri otpad (neoporabljeni materijal) iznosi < 8 % ukupne mase, a za forvarder otpad je manji od 4 % ukupne mase vozila (slika 8).

2.5 Šumske prometnice – Forest roads

Šumske prometnice omogućuju pristupnost šumi, a njihova gradnja predstavlja jednu od najvećih investicija u šumarstvu. Višenamjensko korištenje šumskih cesta stvara problem uključivanja postupaka izgradnje i održavanja šumskih prometnica u analizu životnoga ciklusa. Vijek prometnice teško je odrediti jer on ovisi o brojnim čimbenicima te se poopćava s vremenom njihove amortizacije.

Mroueh i dr. (2000) u studiji analize životnoga ciklusa u izgradnji šumskih prometnica navode brojne čimbenike na koje treba obratiti pozornost:

- ⇒ potrošnja energije i goriva (uključuje energiju koju troši stroj, vozilo tijekom obradbe sirovina te energiju sadržanu u organskim materijalima)
- ⇒ emisija štetnih plinova i prašine
- ⇒ zagađenje okoliša bukom

**Slika 8.** Stopa uporabe harvesteri i forvarderi**Fig. 8** Harvester and forwarder recyclability rate

Tablica 6. Razina buke strojeva za rad* (Mroueh i dr., 2000)**Table 6** Noise levels of work machines* (Mroueh et al. 2000)

Stroj Machine	Raspon razine buke Noise level range	Pros. razina buke Average noise level
	dB(A)	
Bušilica - <i>Drilling rig</i>	98 - 101	100
Eksplodije - <i>Blasting</i>	125 - 136	130
Hidraulični čekić - <i>Hydraulic hammer</i>	87 - 92	90
Transporter s trakom - <i>Conveyor belt</i>	84	84
Kamenolom - <i>Crushing plant</i>	100	100
Hidraulični rovokopač - <i>Hydraulic excavator</i>	82 - 100	89
Strojevi za iskop tla - <i>Earth moving machines</i>	91	91
Kamion - <i>Lorry</i>	84	84
Buldožer - <i>Bulldozer</i>	80 - 89	84
Valjak - <i>Road roller</i>	84 - 101	92
Stroj za postavljanje asfalta - <i>Asphalt layer</i>	74 - 89	81
Grejder - <i>Road grader</i>	85 - 89	87

* na udaljenosti 7 m od izvora - *at a distance of 7m from the source*

⇒ tvari koje se ispuštaju u tlo ovisno o tipu građevnoga materijala (npr. sulfatni spojevi, živa, arsen, krom, bakar, vanadij itd.).

Isti autori prema studiji Häkinnena i Mäkele (1996) procjenjuju okolišna opterećenja koja nastaju prilikom održavanja i popravaka prometnica u Finskoj u razdoblju od 50 godina. Učestalost je popravaka određena unaprijed donesenom strategijom.

2.6 Sekundarni šumski proizvodi – *Secondary forest products*

Drvo je primarni šumski proizvod, ali ne treba zaboraviti i sekundarne šumske proizvode (smola, pluto, gljive i dr.), koji se nisu spominjali u analizama životnoga ciklusa šumskih proizvoda sve do radionice COST E9 2001 (*Energy, carbon and other mate-*

rial flows in the life cycle assesment of forestry and forest products) kada ih Schwaiger i Zimmer (2001) navode koristeći nacionalne izvore podataka i studiju UN-ECE/FAO.

3. Zaključak – *Conclusion*

Analiza životnoga ciklusa vrlo je složen alat u postupku procjenjivanja utjecaja na okoliš nekoga proizvoda. Da bi se uspješno izradila, potrebni su kvalitetni izvori podataka koji će sadržavati sve ulaze i izlaze materijala, utrošaka energije i količine onečišćavala nastalih tijekom: 1) pridobivanja sirovina, 2) postupaka nastajanja proizvoda, 3) vremena korištenja proizvoda, 4) moguće uporabe i ponovnoga korištenja, 5) konačnoga odlaganja otpada na deponije.

Za šumarstvo je analiza životnoga ciklusa posebno teška zbog dugoga vremenskoga procesa proizvodnje sirovina, u prvom redu drva (duljina ophodnje), te zbog velikoga prostorno-vremenskoga utjecaja koji šume imaju na okoliš. Kako je analiza životnoga ciklusa statički, a ne dinamički alat procjene utjecaja na okoliš, mnogi stručnjaci smatraju da je iz analize potrebno isključiti prostorni i vremenski aspekt. Ipak, u analizama životnoga ciklusa vezanima uz šumarstvo to je nemoguće napraviti. Šume ne samo da imaju važan socijalni učinak, već one pohranjuju i velike količine ugljika (2060 Gt ugljika vezano je u biljkama – Schwaiger i Zimmer 2001), štite tlo i vodne resurse, osiguravaju biološku raznolikost, stvaraju kisik i dr., te tako utječu na globalnu klimu. Navedene se općekorisne funkcije šuma ne može i ne treba zanemariti pri analizama životnoga ciklusa u šumarstvu. S druge strane postavlja se pitanje kako sve šumskogospodarske radove uključiti u analizu životnoga ciklusa šumskih proizvoda.

Analiza je životnoga ciklusa dobar alat za određivanje utjecaja pojedinoga proizvoda (ali i proizvodnih postupaka u kojima proizvod nastaje) na okoliš, posebice danas kada se sve više govori o okolišno

Tablica 7. Okolišna opterećenja pri izgradnji i održavanju prometnica (Mroueh i dr. 2000)**Table 7** Environmental loadings caused by road construction and maintenance (Mroueh et al. 2000)

Okolišno opterećenje - <i>Environmental loadings</i>	Izgradnja - <i>Construction</i>	Održavanje - <i>Maintenance</i>
CO ₂ , kg/km	263 000 - 562 000	33 900
SO ₂ , kg/km	280 - 610	4,1
NO _x , kg/km	2600 - 3800	140
CO, kg/km	600 - 1100	20
Isparljivi organski spojevi - <i>Volatle organic compounds</i> , kg/km	550 - 980	210
Potrošnja goriva - <i>Fuel consumption</i> , l/km	63 000 - 100 000	18 200
Potrošnja energije - <i>Energy consumption</i> , kWh/km	790 000 - 1.470 000	183 300

prihvatljivim tehnologijama i obnovljivim izvorima energije. Najveća je primjena analize životnoga ciklusa upravo u usporedbi različitih sustava pridobivanja drva radi odabira okolišno prihvatljivije inačice.

Zbog manjka kvalitetnih izvora podataka, ali i pretvorbe statičkoga karaktera analize životnoga ciklusa u dinamički, potrebna su daljnja istraživanja i unaprjeđenja ovoga, inače korisnoga, ali i vrlo složenoga alata procjene okolišne prihvatljivosti.

4. Literatura – References

Anon., 1997: Memorandum of Understanding for the implementation of a European Concerted Research, COST Action E9, Life cycle assessment of forestry and forest products. Technical annex, April 11, 1997, Bruxelles, Belgium.

Anon., 2000: Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles. Official Journal L., 269: 34–43.

Anon., 2000: Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment, UNEP, Division of Technology, Industry and Economics, Production and Consumption branch, Paris, 95 str.

Athanassiadis, D., 2000: Resource consumption and emissions induced by logging emissions induced by logging machinery in life cycle perspective. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences.

Berg, S., 1995: The Environmental Load of Fossil Fuels in Swedish Forestry – an Inventory for a LCA. Proceedings of the International Workshop: Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry, May 3–5, 1995, Hamburg, Germany, str. 57–65.

Berg, S., 2001: Problems with Terms and Definitions in Inventories for Forest Sector LCA. Energy, Carbon and Other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products. Achievements of the working group 1 of the COST action E9, European Forest Institute, Discussion paper 10, Joensuu, Finland, str. 23–32.

Beuk, D., Ž. Tomašić, D. Horvat, 2007: Status and development of forest harvesting mechanisation in Croatian state forestry. Croat. j. for. eng., 28(1): 63–82.

De Feyter, S., 1995: Handling of the Carbon Balance of Forest in LCA. Proceedings of the International Workshop: Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry, May 3–5, 1995, Hamburg, Germany, str. 37–43.

Finér, L., P. Cortijo, S. Berg, T. Karjalainen, B. Košir, J. M. Roda, H. Schwaiger, B. Zimmer, 2001: Inclusion of Nutrients in LCA of Forestry and Forest Products. Energy, Carbon and Other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products. Achievements of the working group 1 of the COST action E9, European Forest Institute, Discussion paper 10, Joensuu, Finland, str. 55–60.

Frühwald, A., 1995: LCA – A Challenge for Forestry and Forest Products Industry. Proceedings of the International Workshop: Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry, May 3–5, 1995, Hamburg, Germany, str. 9–14.

Guineé, J., L. van Oers, A. de Koning, W. Tamis, 2006: Life Cycle Approaches for Conservation Agriculture, Part I: A definition study for data analysis, CML report 171, June 2006, Universiteit Leiden, Netherlands, str. 1–67.

Heinimann, H. R., A. Wollenmann, R. Knechtle, 2006: Environmental Performance Analysis of Forest and Agricultural Production Systems. Report of the Special Symposium on Life Cycle Approaches for Conservation Agriculture. CML report 171, Poster, June 2006, Universiteit Leiden, Netherlands.

Jungmeier, G., 2003: System Analysis of Forestry, Forest products and Recovered Wood. International Conference »Efficient Use of Biomass for Greenhouse Gas Mitigation«, COST Action E9 and E31, PPT, September 30 – October 1, Österund, Sweden.

Košir, B., 1999: Life cycle assessment of products in forestry. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 59: 89–120.

Karjalainen, T., T. Apneth, P. Esser, L. Finér, G. Jungmeier, B. Košir, K. E. Kvist, J. M. Roda, H. Schwaiger, S. Berg, B. Zimmer, J. Welling, 2001: Identification of Problems using Case Studies. Energy, Carbon and Other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products. Achievements of the working group 1 of the COST action E9, European Forest Institute, Discussion paper 10, Joensuu, Finland, str. 9–21.

Mcmanus, M. C., G. Hammond, C. R. Burrows, 2004: Life-cycle Assessment of Mineral and Rapeseed Oil in Mobile Hydraulics Systems. Journal of Industrial Ecology, 7(3–4): 163–177.

Mroueh, U. M., P. Eskola, J. Laine-Ylijoki, K. Wellman, E. M. M. Juvankoski, A. Ruotoistenmäki, 2000: Life Cycle Assessment of Road Construction. Finnra report, 17/2000, Helsinki, 59 str.

Scharai-Rad, M., J. Welling, 2002: Environmental and Energy Balances of Wood Products and Substitutes, Life Cycle Assessment. FAO, Rome, Italy (www.fao.org).

Schwaiger, H., B. Zimmer, 2001: A Comparison of Fuel Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Forest Operations in Europe. Energy, Carbon and Other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products. Achievements of the working group 1 of the COST action E9, European Forest Institute, Discussion paper 10, Joensuu, Finland, str. 33–53.

Timberjack, 2002: Green forest machines for sustainable development – Environmental Declaration. Timberjack – A John Deere Company, Tampere, Finland, 12 str.

Throe, C., J. Schweinle, 1995: Life Cycle Analysis in Forestry. Proceedings of the International Workshop: Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry, May 3–5, 1995, Hamburg, Germany, str. 15–24.

Upton, C., 1995: Life Cycle Analysis in the Context of the Forestry Eco-labelling. Proceedings of the International Workshop: Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry, May 3–5, 1995, Hamburg, Germany, str. 25–36.

Vasudevan, N., 2006: Essentials of Environmental Science. Life Cycle Assessment, Alpha Science International Ltd., Oxford, str. 243–247.

Wessman, H., F. Alvarado, B. Backlund, S. Berg, C. Hohen-thal, S. K. Metsäteho, E. L. Lindholm, 2003: Land use in eco

balance and LCA of Forest products. Report summarize of subprojects 2*5 in the Nordic Industrial Fund project: »LCA: Mark och Geografi«.

Wightman, P. S., R. M. Eavis, K. C. Walker, S. E. Batchelor, S. P. Carruthers, E. J. Booth, 1999: Life-Cycle Assessment of Chainsaw Lubricants made from Rapeseed Oil or Mineral Oil. Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress, September 27–30, 1999, Canberra, Australia.

Wollenmann, R., 2006: Balancing Carbon Emission and Sequestration Fluxes of Forest Land Based on LCI – approach. Report of the Special Symposium on Life Cycle Approaches for Conservation Agriculture, CML report 171, Poster, June 2006, Universiteit Leiden, Netherlands.

www.iso.org

www.admin.cam.ac.uk

Abstract

Life Cycle Assessment – a Challenge for Forestry

Life Cycle Assessment (LCA) is a tool used for evaluating all environmental effects of a product through its entire life cycle: production, use, recycling, and final disposal. LCA is also useful for comparing environmental aspects of specific products because it enables ecological comparison of products made of different raw materials, but used for the same purpose. The main reasons for performing LCA are: 1) obtaining quantified and reliable information on the environmental impact and benefits of wood products, 2) improving production and recycling techniques by reducing environmental impact and highlighting compatibility between processing technologies, 3) emphasizing areas where information on the environmental impact is still unknown, 4) enabling comparison between different materials.

LCA in forestry is especially difficult because of several reasons. Classical LCA corresponds to a static approach where temporal and spatial dimensions are not taken into consideration. On the other hand forestry is a dynamic model where temporal dimension is fundamental because all predictions are based on time dimension of growing stock (rotation period) and spatial component is crucial, as forests cover 30 % of the earth (40 mil. km²) and therefore have a huge effect on the environment. In forestry it is difficult to differentiate products and waste, because product value can be added by transforming the product output (waste) to energy by which the output instantly becomes a product. Availability of forest data is usually dependent on management and landowner structure. Data on forest land use, growing stock, increment, harvesting volume are usually available, but specific data such as fuel and energy consumption, productivity, exhaust gasses (CO₂, NO_x, SO₂, VOC, CO, particles), etc. of different forest operations are rather insufficient. Some manufacturers also provide data regarding environmental impact and pollutions throughout (Fig. 7) different life cycle phases of forestry machines, along with its recyclability rates. Also, data on non-wood products are not usually available (LCA studies of non-wood products were not mentioned till 2001: COST Action E9). And last but not least, forest roads are also an important part of timber harvesting and therefore should be included into LCA study of wood products. Environmental loadings caused by road construction and maintenance are significant: effluents to soil and water (leaching of metals) emissions to air (CO₂, NO_x, SO₂, VOC, CO, particles), wastes, other loadings (noise).

LCA is a developing science, but nevertheless it is an important tool for evaluating environmental impacts of forestry and forest products.

Keywords: life cycle assessment study, environmental acceptability

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Andreja Bosner, dipl. ing. šum.
e-pošta: bosner@sumfak.hr
Doc. dr. sc. Tomislav Poršinsky
e-pošta: porsinsky@sumfak.hr
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25
HR-10 000 Zagreb

Primljeno (Received): 4. 7. 2008.
Prihvaćeno (Accepted): 11. 11. 2008.