

Klaus Richter, Tina Künniger, Frank Werner

# Drvni proizvodi u usporednim ekološkim vrednovanjima

## Holzprodukte in vergleichenden Ökobilanzen

*Pregledni rad - Review paper*

*Prispjelo - received: 30. 05. 1999. • Prihvaćeno - accepted: 10. 06. 1999.*

*UDK 504.064.2.003.3*

**SAŽETAK** • Cilj ekološkog vrednovanja (engl. *Life Cycle Assessment, LCA*; njem. *Produkt-ökobilanzierung*) proizvoda jest priopćavanje važnih količinskih podataka o utjecaju nekog proizvoda na okoliš tijekom njegova životnog vijeka. Ta se metoda primjenjuje da bi se prepoznale i utvrdile mogućnosti poboljšanja ekološkog djelovanja u pojedinim procesima, te da bi se usporedili proizvodi koji imaju jednaku funkciju i svojstva, čime je omogućen izbor ekološki najprihvatljivijeg proizvoda. Drvo i drvni proizvodi imaju odličan položaj u LCA-analizama jer su načinjeni od sirovine koja je sama po sebi dio šumskog ekološkog sustava. Do sada još nije bilo moguće kvantificirati ekološke prednosti održivog šumarstva do te razine da bi se čvrsto poduprle ekološke dobrobiti primjene drva. Jedina iznimka od tog pravila je pohranjivanje CO<sub>2</sub>. Uglavnom, primjeri izabrani s područja unutarnje gradnje i elektrovodnih mreža pokazuju da mnogi proizvodi na bazi drva imaju ekološki povoljno mjesto ako se usporede s alternativnim proizvodima. Doduše, to nije slučaj i za željezničke pragove impregnirane kreozotom, jer posljedice emisije kreozota i relativno kompliciran način učvršćenja šina na pragove premašuju povoljne značajke drva. Pri tom se LCA-metoda koristila i za vrednovanje odgovarajućih mjera poboljšanja i kao potpora njihovoj provedbi.

**Ključne riječi:** ekološko vrednovanje, drvni građevni elementi, stupovi, pragovi, ekologija

**ZUSAMMENFASSUNG** • Produktökobilanzen zielen darauf ab, wichtige Kenndaten zu den mit der Funktion eines Produktes über dessen gesamten Lebenszyklus zusammenhängenden

---

Dr Klaus Richter, dipl. ing. Tina Künniger i dipl. ing. Frank Werner su znanstvenici iz Drvnog odsjeka Švicarskog saveznog instituta za ispitivanja materijala i istraživanja (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt; EMPA, Dübendorf) s kojim Šumarski fakultet već niz godina održava suradnju. Članak koji ovdje donosimo opći je i sažeti prikaz višegodišnjeg rada ove svjetski priznate grupe istraživača na području ekološkog vrednovanja, a tiskan je u *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen* br. 3/99. U *Drvnaj industriji* ga pretiskujemo (s dozvolom nositelja izdavačkih prava i autora) radi međusobne suradnje dviju institucija i radi obavještanja domaćeg čitateljstva o ovom području koje u istraživačkim krugovima u svijetu posljednjih godina dobiva veliku važnost, a kod nas o tome još nije opsežnije pisano.

*Umweltbeeinflussungen zu ermitteln. Sie werden eingesetzt, um umweltwirksame Verbesserungen in Einzelprozessen zu erkennen respektive umzusetzen, und um unter funktionsgleichen Produkten das ökologisch verträglichste auszuwählen. Holzprodukte und Holzbauteile nehmen beim Einbezug in Ökobilanzen eine gewisse Sonderstellung ein, weil sie aus einem biologisch produzierten Rohstoff hergestellt werden. Mit Ausnahme der CO<sub>2</sub>-Speicherung ist es bisher nicht gelungen, die vielfältigen Umweltleistungen des Waldes soweit numerisch aufzubereiten, dass sie in Ökobilanzen mitberücksichtigt werden können. Anwendungsbeispiele aus den Bereichen Innenausbau und Stromleitungsbau zeigen, dass Holzprodukte in vergleichenden Gegenüberstellungen zu alternativen Materialien ökologisch gut abschneiden. Dies ist bei den teerölimprägnierten Eisenbahnschwellen nicht mehr der Fall, weil die Einflüsse des Teeröls und der Befestigungstechnik die positiven Grundeigenschaften des Holzes überdecken. Die Ökobilanzmethode konnte hier eingesetzt werden, um die Wirkung umweltentlastender Verbesserungsschritte aufzuzeigen und zur Umsetzung vorzuschlagen.*

**Schlusswörter:** ökobilanzierung, Holzbauelemente, Holzmasten, Schwelle, Ökologie

## **1. UVOD**

### **1. EINFÜHRUNG**

Ekološke oznake, eko certifikati i deklaracije o ekološkim obilježjima materijala i proizvoda dobivaju sve veću ulogu kao temelj odlučivanja pri javnim natjecajima i planiranjima, ali utječu i na ponašanje nekih skupina individualnih potrošača. Razvoj tijekom posljednjih godina pokazuje da pojedini proizvodi drvne industrije i obrta, u konkurenciji s alternativnim materijalima, nemaju prednosti ako se tijekom ekoloških rasprava i usporedbi s drugim industrijskim granama pojedini argumenti izdvoje i predstavljaju kao nebitni za cjelokupni kontekst. Tako su drveni prozori izgubili dio tržišta u odnosu prema PVC prozorima jer se posebno naglašava potreba održavanja drvenih prozora i njihovo djelovanje na okoliš. Drveni se pragovi zamjenjuju betonskima zbog djelovanja zaštitnih sredstava za drvo na okoliš. Kad je riječ o podovima, PVC ili polipropilenske podne obloge u prednosti su pred drvenim parketom, uz obrazloženje da se osnovni materijali mogu reciklirati.

U tim usporedbama, zasnovanim na pojedinačnim argumentima, ne uzimaju se u obzir važna i prije svega ekološki mjerodavna obilježja predmeta iz lanca šumskih i drvnih proizvoda (neutralna emisija CO<sub>2</sub>, obnovljivost drvene sirovine, potpuno iskorištenje uz izradu sporednih proizvoda, dvostruka funkcija materijala kao sirovine i nositelja energije itd.). Ta se obilježja mogu predstaviti samo pomoću ekološkog vrednovanja određenih proizvoda. Vrednovanjem se mogu istražiti mogućnosti ekološkog optimiranja, te predočiti i procijeniti djelovanje na okoliš tijekom cijelog životnog ciklusa

proizvoda. Usporednim ekološkim vrednovanjima mogu se procijeniti proizvodi koji imaju jednaku funkciju, a načinjeni su od različitog materijala, te izvedeni u različitim varijantama. Time se njihova ekološka prihvatljivost procjenjuje na znanstveno utemeljen, transparentan i dosljedan način.

## **2. POLAZNI PODACI, METODE ANALIZE I ISTRAŽIVAČKE AKTIVNOSTI**

### **2. BASISDATEN, ERFASSUNGSMETHODIK, FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN**

Tijekom posljednjih godina diljem Europe ulaže se sve više napora u definiranje široke baze podataka o životnom vijeku šumskih i drvnih proizvoda (Frühwald, Soberg, 1995).

Schweinle (1996) sastavio je za Saveznu Republiku Njemačku aktualne popise podataka o obradi oblovine. Köchli (1996) pripremio je odgovarajuće module za bukove sortimente za Švicarsku. Nickel i Liedtke (1996) u Wuppertalskom su institutu izračunali kretanja materijala pri prirodnom i konvencionalnom gospodarenju šumama i njihov utjecaj na ekološka obilježja piljene građe.

Suradnici Sveučilišta u Münchenu i Hamburgu (Frühwald, Wegener, 1996) već nekoliko godina - na temelju odvojenih modula - istražuju različite sektore njemačkoga drvnoga gospodarstva. Na Drvnom odsjeku EMPA instituta u Dübendorfu također se od početka devedesetih utvrđuju popisi podataka i ekoloških vrijednosti drva i drvnih proizvoda prema SETAC smjernicama (SETAC, 1993) odnosno prema ISO 14040 smjernicama, te se pohranjuju u bazu podataka EDIB (Environmental Data Inventory of Building Materials). Sve

se više pozornosti pridaje nastojanjima da se podaci aktualiziraju i razmjenjuju. Poznati su brojni projekti kojima se istražuju pojedina područja šumarskoga i drvnoga gospodarstva, a koji su rezultirali poboljšanim bazama podataka.

Od 1996. traje istraživački projekt na razini Europske zajednice (Robson, Esser, 1997) kojim se nastoji postići dogovor glede podataka o životnom vijeku drvnih poluproizvoda i proizvoda. Taj bi dogovor trebao obuhvatiti veći broj zemalja. Pritom bi bilo važno ujednačiti metodičke postupke analize i obrade podataka o kretanjima drvnih proizvoda. Obrada kretanja drvnih proizvoda u njihovu životnom vijeku zahtijeva specifična polazišta, a utemeljena je na promjenjivim jediničnim vrijednostima i na međusobnoj ovisnosti iznosa sadržaja vode, obujma materijala i njegove ogrjevne vrijednosti (Erlandsson, 1996). Posebna se pozornost pridaje pravilima pridruživanja u brojnim usporedno povezanim procesima u drvnjoj industriji. Također treba različito vrednovati ponovnu upotrebu drvnih proizvoda sa stajališta prirodne obnovljivosti izvorne drvene sirovine, čime se ti proizvodi razlikuju od onih za koje su izvori sirovina ograničeni.

Dva daljnja aspekta važna za izvore u primarnom izvodnom lancu jesu analiza ekstenzivne, ali površinom znatne opterećenosti tla i njezino objektivno značenje u sklopu procjene ekološkog djelovanja. Da bi se razradila rješenja za šumarstvo i drveno gospodarstvo usklađena na razini Europe, u jesen 1997. započela je COST akcija u kojoj je sudjelovala i Švicarska (Richter, 1997).

### 3. POSEBNI ASPEKTI BIOLOŠKE PROIZVODNJE

#### 3. BESONDERE ASPEKTE DER BIOLOGISCHEN PRODUKTION

Drvo kao materijal u ekološkom vrednovanju zauzima posebno mjesto. Za razliku od svih ostalih materijala, drvo je u proizvodnji integralni sastavni dio ekološkog sustava i kao biomasa podliježe zakonima prirodne razgradnje.

Svi elementi od kojih se drvo sastoji pri nastajanju drvene supstancije potječu iz ekološke sfere, i u nju se pri prirodnom truljenju ili gorenju ponovno vraćaju. Najvažniji elementi po masenim udjelima su ugljik (50 %), kisik (43 %) i voda (6 %). Udio dušika iznosi od 0,25 do 0,5 %; ostatak čine brojni anorganski elementi u tragovima, koji se do danas nisu uzimali u obzir pri procjenama ekološke vrijednosti.

Cjelokupni ugljik sadržan u drvu preuzet je iz atmosfere u obliku ugljikova dioksida i pohranjen je u drvu sve dok se pri-

rodnim procesima razgradnje ili isparavanjem ponovno ne oslobodi. Po toni suhoga crnogoričnog drva količina ugljikova dioksida iznosi 1850 kg. Stoga drvo u studijama o životnom vijeku proizvoda treba promatrati kao CO<sub>2</sub> - neutralnu sirovinu. Uobičajeno je da se pri vrednovanju drva kao sirovine računa s negativnim CO<sub>2</sub> ulazom, koji se na kraju životnog vijeka drugog proizvoda ponovno oslobađa kao emisija CO<sub>2</sub>. Cjelokupna je bilanca CO<sub>2</sub>, međutim, uravnotežena u vremenskim razdobljima koja se uzimaju u obzir pri uobičajenim ekološkim vrednovanjima.

Uzimajući u obzir energetske aspekte drvene proizvodnje, na pojednostavnjen se način polazi od toga da mogući energijski dobitak, izražen donjom ogrjevnom vrijednošću, odgovara pohranjenoj sunčevoj energiji pri nastajanju drva. Po toni suhoga crnogoričnog drva (atro) može se računati s oko 15 000 MJ (4 200 kWh) energije.

To kruženje materije i energije u biološkoj proizvodnji u ekološkom se vrednovanju može prenijeti i na drvenu sirovinu. Infrastrukturne i socijalne vrijednosti šuma i šumskoga gospodarstva, međutim, uglavnom su izuzete iz vrednovanja i procjena. Da bismo to razriješili, nužno je razlikovati prirodno djelovanje šume od dobiti od šumarstva. Blum i suradnici (1996) raspravljaju o tome kakve funkcije šuma može imati dugoročno ako se odmah prestane s daljnjim uzgojnim mjerama. Oni šumskom gospodarstvu pripisuju ova ekološka djelovanja: stvaranje kisika, pohranjivanje CO<sub>2</sub> i fiksiranje dušika. Nasuprot tome, druga djelovanja šume na okoliš postižu se i bez redovitog održavanja (regulacija voda, poboljšanje kvalitete tla, pročišćivanje prašine i smanjenje buke, utjecaj na lokalnu, regionalnu i globalnu klimu) pa se sve to ne bi smjelo pripisivati samo šumarstvu odnosno drvnjoj industriji. U tome modelu nisu, doduše, dovoljno uzeti u obzir aspekti dinamike stvaranja i rasta. Također nije još metodički riješena ni analiza i procjena opterećenja prirodnog prostora, kao ni djelovanje šumarstva na biološku raznolikost.

Na prijelazu između šumarstva i drvnoga gospodarstva, uz opisano kruženje energije i tvari, drvo je kao prirodni materijal opterećen šumarskim zahvatima (utvrđivanjem staništa, prorjeđivanjem šuma, gradnjom putova, sječom šuma i transportom drva). Daljnja analiza kruženja energije i tvari kod drvnih proizvoda načelno se zbiva kao i kod drugih sirovina, ako se usto uzmu u obzir navedene posebnosti.



**4. PRIMJERI EKOLOŠKOG  
VREDNOVANJA DRVNIH PROIZVODA**  
4. FALLBEISPIELE VON PRODUKT-ÖKOBILANZEN  
MIT HOLZ

Ekološka vrednovanja koja ćemo sada iznijeti nastala su u posljednje tri godine u EMPA institutu u Dübendorfu. Studije su nastajale u okviru rada projektnih skupina u koje su bili uključeni i predstavnici svih ostalih skupina proizvoda. Uzet je u obzir velik dio pretpostavki prENISO 14 040. O tim studijama postoje izvješća s detaljnim informacijama. U svim je studijama procjena stvarnih bilanci provedena prema proširenoj klasifikaciji ukupnih djelovanja koju su sastavili Heijungs i suradnici (1992). Toksičnost za ljude u istraživanju o pragovima procijenjena je na temelju postavki što ih je izradio Carbotech AB Basel (BUWAL 271, 1996), pri čemu su uzeta u obzir vremena emisije tijekom fiksacije sredstva u pragovima i tijekom njihove razgradnje.

**4.1. Dovratnici**  
**4.1. Türzargen**

U studiji koju je proveo EMPA institut (Werner i suradnici 1997) analizirani su životni ciklusi i djelovanje dovratnika od masivnog drva, drvnih ploča (iverica) i čelika na okoliš. U obzir su uzeti svi ekološki utjecaji primjene energije i materijala, i to od dobivanja sirovine i opskrbe energijom, preko proizvodnje dovratnika, njihove montaže i održavanja, pa sve do njihova rastavljanja i razgradnje.

**4.1.1. Opseg istraživanja**  
**4.1.1 Untersuchungsumfang**

Predmet ispitivanja bili su dovratnici za unutrašnju ugradnju u vratni otvor dimenzija 80x200 cm i za debljinu zida 16 cm, bez posebnih zahtjeva glede zvučne i protupožarne zaštite. životni vijek triju tipova

**Tablica 1**

*Usporedba ispitivanih tipova dovratnika (pregled) •  
Gegenüberstellung der betrachteten Zargentypen (Übersicht)*

		Dovratnik od masivnog drva (trodjelni)	Dovratnik od drvnih ploča (devetodjelni)	Čelični dovratnik (jednodjelni)
Predstupnjevi	Glavne sirovine	3-slojna ploča od masivnog drva od zupčasto spojenih smrekovih lamela, švicarska proizvodnja	Iverica, njemačka proizvodnja	Pocinčani čelični lim (20 % recikliranog čelika) hladno valjani čelik iz Njemačke preraden u Švicarskoj
	Okovi	Čelični okovi, EPDM- brtva	Čelični okovi, EPDM- brtva	Čelični okovi, EPDM- brtva
Završna obrada	Mjesto i vrsta proizvodnog pogona	Srednje velika stolarska radiona, istočna Švicarska djelomično automatizirana proizvodnja, ručna pov. obrada Korištenje 65 % toplinske energije od spaljivanja drvnog otpada	Velikoserijska proizvodnja dovratnika, južna Njemačka uglavnom automatizirana proizvodnja korištenje 75 % toplinske energije od spaljivanja drvnog otpada	Velika tvornica dovratnika, sjeverna Švicarska Uglavnom strojna obrada, ručna površinska obrada Otpad se koristi za recikliranje
	Površinska obrada	Alkidni temelj i bijeli pokrivi lak špricano u tvornici	Melamin-formaldehidna folija, nanešena u tvornici, 2 sloja bijele alkidne boje nanešena na zgradi	Krpanje prebrušeni oštećenja u tvornici, 2 sloja bijele alkidne boje nanešena na zgradi
pakiranje		nema	karton	nema
montaža		s 8 vijaka	točkasto s PUR montažnom pjenu	zalijevanje mortom
održavanje		1 x (nakon 25 godina) zbog pukotina 2 sloja bijelog alkidnog naliča s međubrušenjem	nema radova na održavanju	2 x (nakon 20/40 godina) zbog ogrebotina 2 sloja bijelog alkidnog naliča s međubrušenjem
razgradnja		toplinsko korištenje	toplinsko korištenje	recikliranje
vijek trajanja		50 godina	30 godina	60 godina

dovratnika modeliran je s obzirom na primijenjeni materijal i način proizvodnje (tab. 1). Kako upotrijebljeni materijal utječe na funkcijsku prikladnost različitih dovratnika, izračunato je djelovanje na okolišu u životnom vijeku od 60 godina (što je funkcionalni životni vijek čeličnog dovratnika).

Osnova istraživanja utjecaja materijala i energije bile su europske *UCPTE-Strommix* smjernice. Pošlo se od toga da je drvo kao sirovina CO<sub>2</sub> neutralno. Pri tome nisu uzimana u obzir ekološka djelovanja sporednih proizvoda ni emisije od pripreme energije za ostale korisnike u lancu, npr. pri spaljivanju drvnog otpada.

#### 4.1.2. Rezultati 4.1.2. Ergebnisse

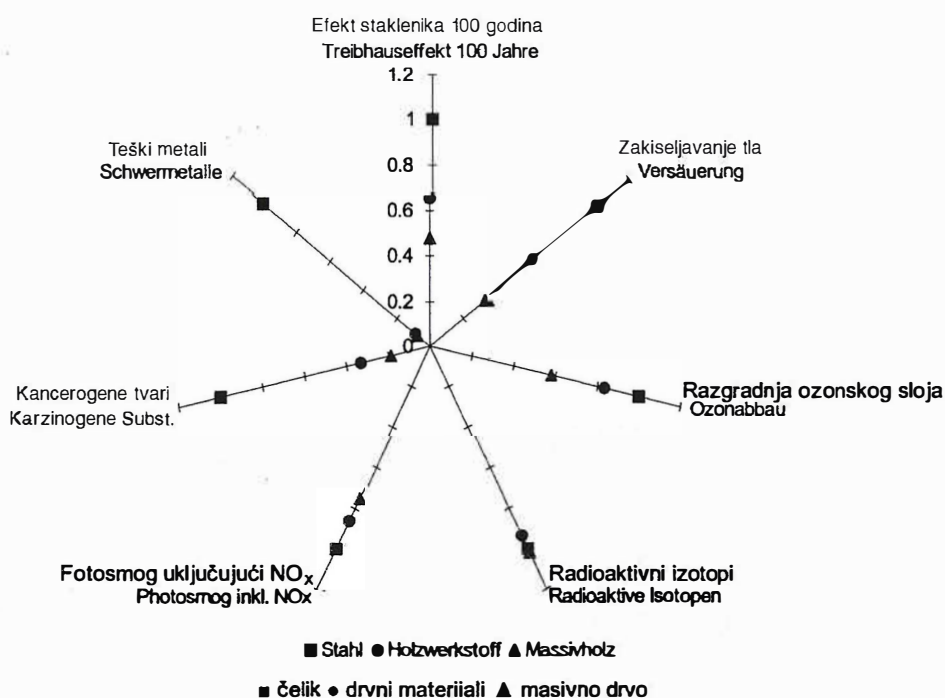
Slika 1 pokazuje djelovanje triju ispitivanih dovratnika u sedam od jedanaest proučavanih ekoloških parametara. Da bi slika bila preglednija, nije prikazan utjecaj zimskog smoga, prezasićenosti tla gnojivom, onečišćenja voda ni toksičnosti za ljude. Rezultati se odnose na jedinstveni životni vijek upotrebe od 60 godina, a za čelične dovratnike ekološko je djelovanje normirano na slijedeći način.

Potencijali ekološkog djelovanja čeličnog dovratnika viši su ili čak mnogo viši od potencijala drvenih dovratnika, ako se ne uzme u obzir djelovanje radioaktivnih izotopa. Iako je udio recikliranog čelika u materijalu za dovratnike iznosio 20%, pokazuje se da je dobivanje čelika i njegova preradba u pocinčani lim najvažniji ekološki utjecajni

parametar. I djelovanje dovratnika od iverice, proračunato na životni vijek od 60 godina, također je malo veće od djelovanja dovratnika od masivnog drva, pri čemu nije uzeto u obzir djelovanje radioaktivnih izotopa. Pri tome su najvažnije utjecajne veličine emisija zbog spaljivanja otpada u proizvodnji iverice, potrebe električne energije, nepovoljna djelovanja u proizvodnji ljepila, kao i emisija lako hlapivih otapala koja služe za obradbu površine. U dovratnika od masivnog drva negativni su ekološki činitelji bili utjecaji u proizvodnji ploča od masivnog drva, površinska obrada i naknadno obnavljanje premaza. Posljedica potrošnje struje pri proizvodnji dovratnika jest izražen potencijal radioaktivnih izotopa. Osim ekoloških djelovanja specifičnih za pojedini tip proizvodnje, transport sirovina u životnom vijeku sudjeluje s 10 do 20% njihova ukupnog ekološkog potencijala. Ako se promatra iskorištenje energetskih resursa, potvrđuje se ekološki poredak dovratnika do kojega smo došli ovim istraživanjem (sl. 2). Unutar razdoblja vrednovanja od 60 godina čelični dovratnici zahtijevaju najviše energetskih resursa, potom slijede dovratnici od iverice, a najpovoljniji su dovratnici od masivnog drva. Za oba drvena dovratnika, trećina se energetskih potreba pokriva obnovljivim nositeljima energije.

#### 4.1.3. Zaključci 4.1.3. Folgerungen

Detaljno vrednovanje ekološkog djelovanja i popis podataka o ispitivanim



Slika 1.  
Standardizirana  
djelovanja na okoliš triju  
vrsta dovratnika •  
Standardisierte  
Umweltwirkungspotentiale  
der drei Zargen

dovratnicima pokazuje ekološke nedostatke iz kojih valja izvući zaključke o tome kako se može poboljšati ekološki dizajn proizvoda. Uzimajući u obzir predviđeni životni vijek, mogu se izvesti sljedeći zaključci.

- Za unutrašnju ugradnju bez posebne protupožarne i zvučne zaštite u usporedbi s čeličnim dovratnikom ekološku prednost valja dati dvama tipovima drvenih dovratnika.

- Nepovoljno ekološko djelovanje pri dobivanju i preradi čelika samo se dijelom kompenzira duljim funkcionalnim vijekom trajanja čeličnih dovratnika u usporedbi s drvenim tipovima dovratnika. Da bi čelični dovratnici dosegli sličan ekološki profil kakvog imaju drveni tipovi dovratnika, funkcionalni životni vijek čeličnih dovratnika morao bi iznositi 110 godina.

- Dovratnici od iverice imaju nepovoljnije ekološko djelovanje u usporedbi s dovratnicima od masivnog drva, i to zbog obilnije uporabe pomoćnih sredstava (ljepila, smole i sl.) kao i zbog kraćega funkcionalnog vijeka trajanja.

- Uporaba iverice omogućuje veću iskoristivost resursa drva (uporaba ostataka drva pri proizvodnji iverice).

- Pri ekološkom dizajnu proizvoda valja obratiti pozornost na vodene lakove.

- Potrošnja struje pri izradi drvenih dovratnika relevantna je ekološka veličina zbog ekološkog djelovanja koje nastaje prilikom proizvodnje struje.

#### 4. 2. Elektrovodni stupovi

##### 4. 2. Freileitungsmasten

U nekim se zemljama vode rasprave o ekološkom djelovanju impregniranog drva zbog primijenjenih zaštitnih sredstava za drvo. Da bi i impregnirani drveni dijelovi

postali predmetom ekološkog vrednovanja, provedena je studija ispitivanja elektrovodnih stupova (Künniger, Richter 1995). Trebalo je, naime, provjeriti kako se ta vrsta stupa ponaša u analizi životnog vijeka s obzirom na alternativne stupove od čelika i betona.

##### 4.2.1. Rubni uvjeti

##### 4.2.1. Randbedingungen

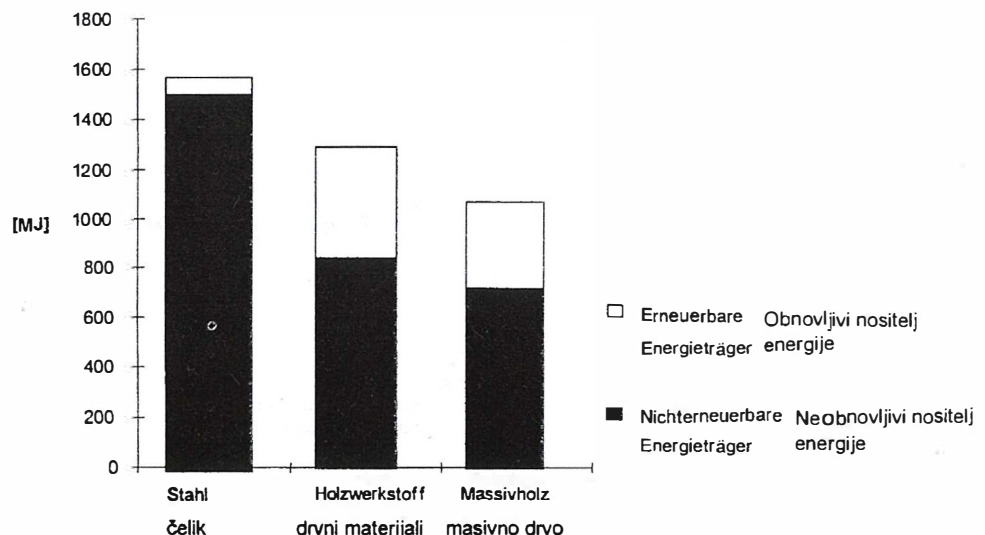
Istraživanje stupova i mreže temelji se na realnim podacima. Budući da se pojedini elektrovodni tipovi ne mogu funkcionalno izjednačiti (različita je nosivost i mogućnost raspona, a time i broj stupova po jedinici duljine mreže), kao osnova za usporedbe poslužila je cjelokupna mreža s dva napona (niskonaponska i sredjonaponska mreža od 0,4 kV i 20 kV) od oblovine impregnirane solima, od armiranog betona i od okruglog čelika zaštićenog od korozije (100 %-tni lijevani Besemerov čelik). Djelovanje pri proizvodnji električne struje izračunato je na temelju europskog modela za struju UCPT. Izračun je, doduše, načinjen na temelju švicarskih *Strommix* smjernica koje su u ekološkom smislu mnogo povoljnije zbog visokog udjela energije dobivene iz hidroelektrana u Švicarskoj. Unatoč tomu, iz odabranog modela za struju nisu proistekle značajne razlike između varijanti glede materijala, tako da ćemo prikazati samo UCPT podatke. Svi se proračuni odnose na 60-godišnje korištenje stupova. Budući da drveni stupovi statistički imaju životni vijek od 30 godina, uzeto je u obzir da se svi drveni stupovi u navedenom razdoblju jedanput zamijene.

Proučavanje uporabe temeljilo se na sljedećim postavkama.

Drveni stupovi: 90 %-tno spaljivanje u spalionici za smeće s učinkovitim pročišćavanjem dimnih plinova (osiguran

#### Slika 2.

Potrošnja energetske resurse (tijekom 60 godina) • Verbrauch energetischer Ressourcen (über 60 Jahre)



povrat energije, pepeo i filtrirana prašina bilanciraju se kao specijalni otpad). Deset posto stupova može se upotrijebiti kao materijal za ograde, koji se kasnije biološki razgrađuje (udio sredstava za zaštitu drva određuje se kao onečišćenje tla).

Betonski stupovi: 80 % stupova može se dalje upotrijebiti za učvršćenje pri niskogradnji, gradnji cesta, poljoprivrednoj gradnji i vodogradnji (nisu uzeta u obzir daljnja djelovanja na okoliš). Na deponij inertnih materijala odlazi 20 % stupova.

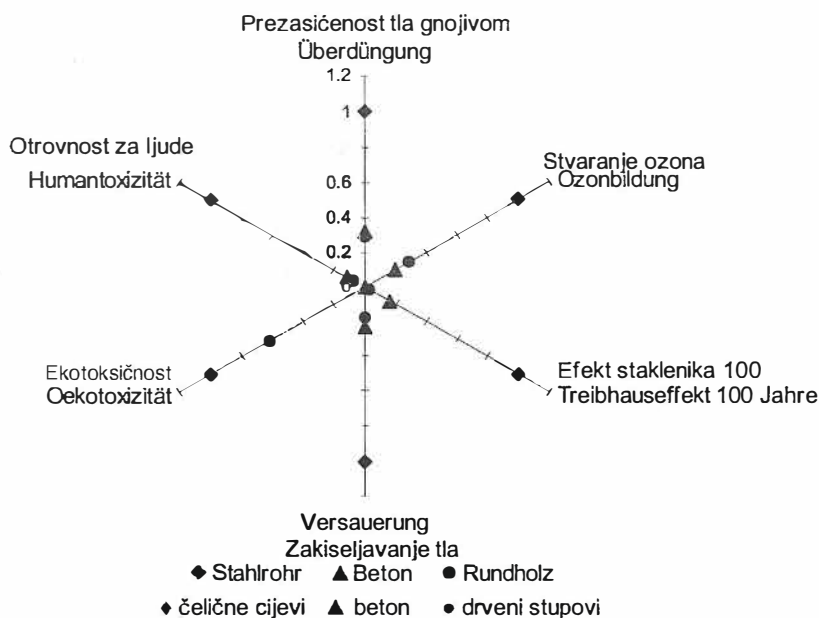
Stupovi od čeličnih šipki: 100 %-tno recikliranje (uzeti su obzir samo transporti do preuzimača sekundarnih sirovina).

#### 4.2.2. Rezultati

#### 4.2.2. Ergebnisse

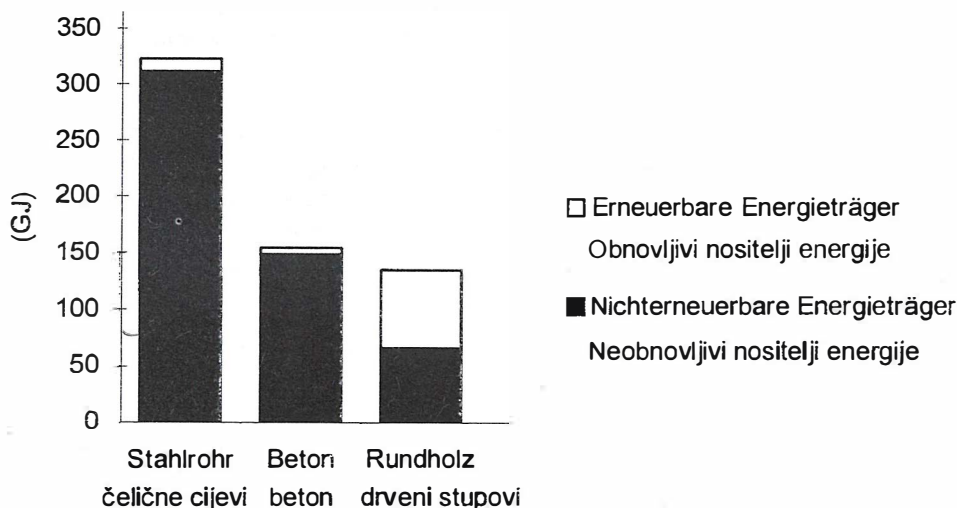
Rezultati su predočeni primjerom 0,4 kilovoltnog voda (sl. 3. i 4.). Promatramo li sva istraživana ekološka djelovanja u cjelini,

moгу se utvrditi jasne razlike, iako ni jedan tip stupa ni u jednoj kategoriji ne pokazuje jednoznačne prednosti odnosno nedostatke. Čelični vodovi uzrokuju najveće ekološko opterećenje u istraživanom okruţju, što je najvećim dijelom posljedica djelovanja na okoliš pri primarnoj proizvodnji čelika i pripremi nositelja energije. Stupovi od čeličnih šipki zahtijevaju neznatno manje cjelokupne energije nego betonski. Ipak, samo oko polovice te energije potječe od fosilnih goriva. Stoga drveni stupovi, u usporedbi s betonskim i čeličnim, mnogo manje pridonose efektu staklenika, a uzrokuju neusporedivo manje promjene sadržaja i kiselosti tla. Ekološki toksični potencijal drvenih stupova mnogo je veći nego betonskih, što je posljedica izlučivanja zaštitnih sredstava za drvo tijekom životnog vijeka od dva puta po 30 godina, kao i posljedica korozije cinka na čeličnoj opremi



Slika 3.

Značaj ekoloških djelovanja visokonaponske mreže na duljini voda od 1 km (0,4 kV) • Wirkungspotentiale der 0,4-kV Niederspannungsleitung (Leitungsstrecke 1 km)



Slika 4.

Potrošnja energetskih resursa za 0,4 kilovoltnu niskonaponsku mrežu na duljini voda od 1 km • Verbrauch energetischer Ressourcen der 0,4-kV Niederspannungsleitung (Leitungsstrecke 1 km)



drvenih stupova. Postavljeni betonski stupovi ne djeluju na okoliš, ali pri zamjeni ostavljaju veliku količinu krutog otpada. Ti su rezultati potvrđeni i u analizi pojedinih stupova na 20 kilovoltnoj srednjonaponskoj elektrovodnoj mreži.

Procjena ekoloških djelovanja ne daje izričitu prednost drvenim stupovima, ali analiza učinkovitosti koja se temelji na realnim tehničkim podacima daje prednost drvenim stupovima pred alternativnim materijalima (Künniger i surdnici, 1995).

4.2.3. *Zaključci*  
4.2.3. *Folgerungen*

Kao i u drugim usporednim ekološkim vrednovanjima, u važnim se ekološkim kategorijama može utvrditi znatna prednost drvenih stupova pred betonskim i čeličnim, osobito ako se energija dobiva od fosilnih goriva, kad je riječ o utjecaju na efekt staklenika i u usporedbi s količinom nastalog otpada. Ekološko značenje zaštitnih sredstava za drvo očituje se u parametru procjene ekološke toksičnosti, jer su drveni stupovi glede toga mnogo lošiji od betonskih. Ekološkim vrednovanjem ne može se donijeti odluka o tome kako tu činjenicu procijeniti u cjelokupnom kontekstu. Za to su nužni prošireni modeli analize, kao i preispitivanje ciljeva zaštite drva, pri čemu se moraju uzeti u obzir moguća negativna štetna djelovanja i ugrožavanje okoliša zaštitnim sredstvima u drvu.

I prije tih spoznaja moguće je učiniti sljedeće korake s ciljem optimiranja primjene.

Drveni stupovi: poboljšati svojstva fiksacije zaštitnih sredstava, što može malo pridonijeti umanjenju problema ekološke toksičnosti; isto se odnosi i na primjenu nehrđajućih čeličnih dijelova na stupovima.

Betonski stupovi: primijeniti obnovljive nositelje energije u cementnim pećima, što bi smanjilo efekt staklenika, problem kiselosti i prezasićenosti tla gno-

živom, a postupak recikliranja mogao bi smanjiti količinu otpada.

Čelični stupovi: povećati udio recikliranog čelika koliko god je tehnički moguće, kao i provesti načelnu uštedu materijala (primijeniti rešetkaste stupove), što bi znatno smanjilo primarnu proizvodnju čelika.

4.3. *Željeznički pragovi*  
4.3. *Eisenbahnschwellen*

Ekološko vrednovanje elektrovodnih stupova (u 4.2) obuhvaća samo onu skupinu zaštitnih sredstava za drvo koja sadrži anorganske zaštitne soli. Znatno dio drvenih proizvoda koji su izloženi vremenskim utjecajima i u dodiru su s tlom ipak se impregnira kataranskim uljem kamenog ugljena. U okviru ekoloških vrednovanja željezničkih pragova morala se uzeti u obzir i ta skupina zaštitnih sredstava, te njihovo djelovanje na procjenu vrijednosti proizvoda (Künniger, Richter, 1998).

U švicarskoj državnoj i privatnoj željezničkoj mreži rabe se drveni pragovi impregnirani katranskim uljem, od čelika i od prednapregnutog betona. Početkom osamdesetih godina udio drvenih pragova iznosio je oko 40 %, čeličnih je pragova je bilo 45 %, a 15 % pragova bilo je od betona.

Tijekom posljednjih godina smanjio se udio čeličnih pragova u korist betonskih, što se obrazlaže gospodarsko-političkim i tehničkim razlozima. U novije vrijeme betonski pragovi potiskuju drvene, a za to se, osim tehničkih i ekonomskih, navode i ekološki razlozi.

To je izravno povezano s raspravom o višeprstenastim aromatskim ugljikovodicima (PAK) od kojih su neki na temelju postojećih istraživanja proglašeni kancerogenima i smatra se da mogu prouzročiti mutacije. Budući da drveni željeznički pragovi impregnirani katranskim uljem također izlučuju višeprstenaste aromatske ugljikovodike, i njih se sve više kritizira.

**Tabela 2.**  
*Profil materijala za funkcijsku jedinicu • Materialprofil der funktionellen Einheit*

Tip praga Schwellentyp	Čelik Stahl [kg]	Bukovina Buche [kg]	Katransko ulje Teeröl [kg]	Beton Beton [kg]	Ukupna masa pruga Gesamtgewicht Schwelle [kg]	Masa 0.6 m kolosječnog nasipa Gewicht 0.6 m Gleisbett [kg]
Beton: prednapregnuti monoblok Monoblock vorgespannt	14	-	-	258	265	1920
Drvo: bukovina impregnirana katranskim uljem Holz: Buche teerölimprägniert	25.5	62	15.2	-	103	1620
Čelik: nelegirani čelik Stahl: Baustahl unlegiert	91 (40% rec.)	-	-	-	91	1740



4.3.1. Opseg istraživanja

4.3.1. Untersuchungsumfang

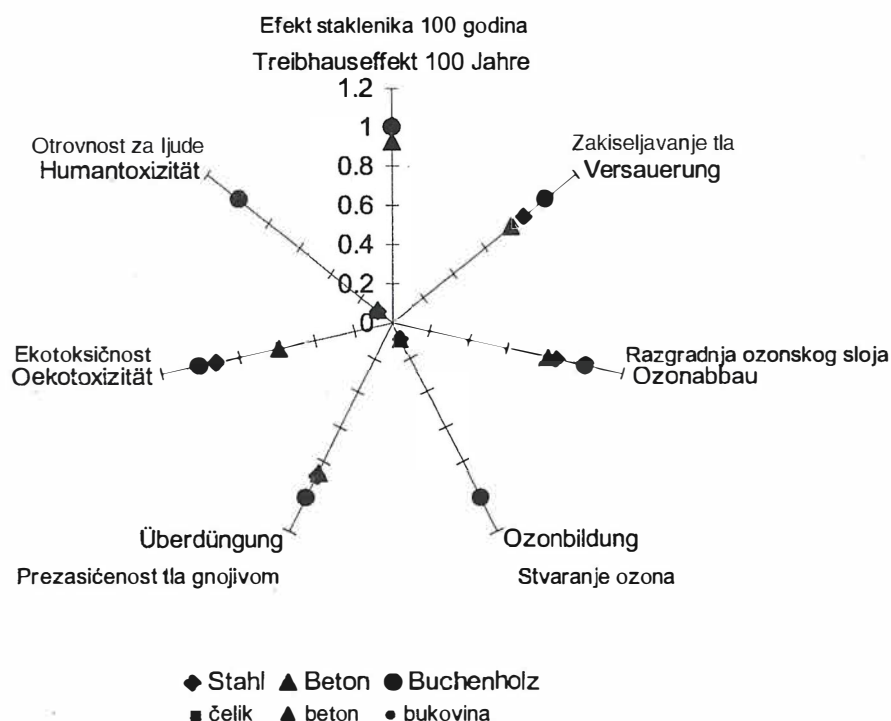
U ovoj su studiji istražene različite varijante željezničkih pragova koje se upotrebljavaju u mreži švicarskih državnih i privatnih željeznica. Kao funkcionalna jedinica definiran je željeznički prag koji obuhvaća dodatni materijal i materijal za učvršćivanje 60 cm kolosiječnog nasipa (tab. 2). Pri tome su uzete u obzir različite duljine trajanja pragova u tlu; prema statistici SBB-a (Švicarske federalne željeznice) na glavnim kolosijecima (tj. na prugama koje su opterećene s više od 30.000 tona u danu) vijekovi trajanja betonskih pragove iznose 35 godina, drvenih 24, a čeličnih 30 godina. Potom su pragovi "izvađeni" iz kolosiječnog

nasipa, pa su nakon revizije i obnove postavljeni na manje opterećene pruge. Utjecaji te daljnje upotrebe i konkretnih zahvata pri recikliranju (što se ponajviše odnosi na čelične pragove) ugrađeni su u model izračunavanja životnog vijeka. Prema orijentacijskim istraživanjima u laboratoriju, može se pretpostaviti da je 45 % katranskog ulja koje se nalazi u bukovim pragovima tijekom vremena upotrebe izlučeno u zrak.

4.3.2. Rezultati

4.3.2. Ergebnisse

Proračuni modela životnog vijeka načelno pokazuju da opterećenje okoliša funkcionalne jedinice ovisi o specifičnostima materijala pragova, ali više od 50 % udjela u tome



Slika 5.

Značaj ekoloških djelovanja za pojedine vrste pragova u godini, pri ugradnji u glavni kolosijek i uzimajući u obzir prosječnu trajnost u tlu (normirano tako da prag od bukovine ima vrijednost = 1) • Wirkungspotentiale pro Schwelle und Jahr im Hauptgleis 1 bei Berücksichtigung der statistischen Liegedauern (normiert, Buchenholzschwelle = 1)

Analizirane pojave Beurteilungsgrösse	Scenarij 1. Szenario 1.	Scenarij 2. Szenario 2.	Scenarij 3. Szenario 3.
efekt staklenika Treibhauseffekt	-22	-2	-
razgradnja ozona Ozonabbau	-19	-2	-2
zakiseljavanje tla Versauerung	-22	-2	-2
prezasićenost tla gnojivom Überdüngung	-20	-1	-1
fotokemijsko stvaranje ozona Photochemi. Ozonbildung	-3	-10	-77
toksičnost za ljude Humantoxizität	-5	-10	-69
ekološko onečišćenje vode Ökotoxizität Wasser	-21	-4	-4

Tablica 3.

Postotno smanjenje onečišćenja okoliša bukovim pragovima primjenom predloženih mjera • Prozentuale Reduktion der Umweltbelastung von Buchenschwellen durch die vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen (Vergleich zur Grundvariante aus Abb. 5)







10. Künniger T., Richter K. (1998): Ökologische Bewertung von Eisenbahnschwellen in der Schweiz. Streckenschwellen aus vorgespanntem Beton, Profilstahl und teerölimprägniertem Buchenholz. Forschungs- und Arbeitsberichte EMPA-Abt. Holz, Gruppe Ökologie, Nr. 115/38, 167 S. u. Anhang.
11. Künniger T., Richter K., Dauwalder R. (1995): Ökobilanz über Tragwerke von Mittel- und Niederspannungsfreileitungen. Bulletin SEV/VSE 24,45-51.
12. Nickel R., Liedtke Ch. (1996): Materialintensitätsanalysen von Grund-, Werk- und Baustoffen (6). Wuppertal Papers Nr. 65.
13. Richter K., Sell J. (1992): Ökobilanzen von Baustoffen und Bauprodukten aus Holz. Zusammenfassung erster Ergebnisse. Forschungs- und Arbeitsbericht der EMPA-Abt. Holz Nr. 115/21, 33 S., Dübendorf.
14. Richter K. (1995): Ökopprofil von Holz und Holzwerkstoffen. Tagungsband des 27. SAH-Fortbildungskurses 'Innenräume in Holz', S. 119-126.
15. Richter K. (1997): Neue COST Aktion: "Lebenszyklusbewertung in der Forstwirtschaft und bei forstwirtschaftlichen Erzeugnissen". Kompetenz-Zentrum Holz, 2, S. 13-14.
16. Richter K. (1998): Life Cycle Assessment of Wood Products. In: Kohlmaier G.H., Weber M., Houghton R.A. (eds.): Carbon Dioxide Mitigation in Forestry and Wood Industry. Springer-Verlag Berlin, 219 - 248.
17. Robson, D., Esser P. (1997): Life-Sys-Wood: Consistent Life Cycle Analysis of Wood Products. Wood – the Ecological Material. 4. Eurowood Symposium. Träetek Rapport P 9709084, p. 25-33.
18. Schweinle J. (1996): Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Analysen. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Nr. 184, 123 S.
19. Society for Environmental Toxicology and Chemistry (1993): Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. 1. ed., Brussels.
20. Werner F., Richter K., Bosshart S., Frischknecht R. (1997): Ökologischer Vergleich von Innenbauteilen am Beispiel von Zargen aus Massivholz, Holzwerkstoff und Stahl. EMPA-Forschungsbericht. Dübendorf.

Prijevod: Vitarnja Janković, prof.  
Dr. sc. Hrvoje Turkulin