

# DINAMIKA ZALOG OGLJIKA V LESNIH IZDELKIH V SLOVENIJI

## Carbon stock dynamics in wood products in Slovenia

*Povzetek: V raziskavi smo predstavili dinamiko zalog ogljika v izbranih lesnih proizvodih. Uporabili smo model s fiksno življenjsko dobo, prilagoditev po funkciji Weibull in metodo, ki upošteva razkroj prvega reda (First order decay - FOD). Modelni izračuni so bili narejeni za življenjski dobi 30 in 43 let za vse izbrane lesne proizvode. Vhodni podatki predstavljajo porabo izbranih lesnih proizvodov v Sloveniji v obdobju 1900-2008. Rezultati po vseh modelnih izračunih nakazujejo, da je v Sloveniji še vedno prisotno povečevanje zalog ogljika v lesnih proizvodih. Z uporabo pristopa sprememb zalog ogljika (Stock change approach - SCA) za najpomembnejše skupine lesnih proizvodov, se letna akumulacija ogljika, izraženega v CO<sub>2</sub> ekvivalentih, giblje med 1 % in 2 % letnih emisij Slovenije. Na primeru gibanja zalog ogljika v skupini vlaknenih in ivernih plošč izbrani model in življenjska doba izrazito vplivata na oceno povečevanja zalog.*

*Ključne besede: dinamika zalog ogljika, lesni izdelki, Slovenija*

*Abstract: Carbon stock's dynamics in selected wood products was researched. Model with fixed average life time, Weibull model and First order decay method were used respectively. 30 and 43 years average life times were tested, respectively. Data on selected wood products consumption for period 1900-2008 were used as input data for selected models. Growth of carbon stocks in selected wood products was indicated according to results of all models used. Annual accumulation of carbon in terms of CO<sub>2</sub> equivalents is of range 1-2 % of Slovenian yearly emissions of greenhouse gases according to results within Stock change approach (SCA). Selected models and assumptions related to average life times showed significant differences in case of fibreboards and particle boards.*

*Key words: carbon stock dynamics, wood products, Slovenia*

### UVOD

Za ovrednotenje realnega pomena rabe lesa so potrebni podatki o proizvodnji, uvozu in izvozu za vse proizvode v proizvodni verigi iz gozda do končnega izdelka, saj lahko le na tak način določimo obseg porabe lesa in lesnih izdelkov na nacionalni ravni. Zahtevnost in stroški inventur se večajo s stopnjo predelave lesa, ker po eni strani narašča raznovrstnost končnih proizvodov in se povečuje število vmesnih tokov med polizdelki in izdelki, po drugi strani pa narašča število uporabnikov. Podatki o proizvodnji so zaradi večanja števila poslovnih subjektov, ki uporabljajo les kot vhodno surovino, in fizičnih oseb, ki upora-

bljajo les za lastne potrebe, ter rabe različnih merskih enot čedalje bolj nepopolni. Večina evropskih držav intenzivno raziskuje stanje zalog lesnih izdelkov in ocenjuje letno akumulacijo lesa v rabi. S pretvorbenimi faktorji določajo količine akumuliranega ogljika in letno akumulacijo v lesnih izdelkih. Raziskave vrednotenja pomena skladiščenja ogljika v lesnih izdelkih in na deponijah vključujejo različne modele in sisteme preučevanja (Ford Robertson, 2003; Hashimoto in Moriguchi, 2004; Jaakko Pöyry Consulting, 2000; Pingoud in sod., 2003; Gjesdal, 1996). Glede na priporočen model (EXPHWP) v navodilih dobre prakse (IPCC, 2006) se ocenjuje, da je neposreden doprinos povečevanja zalog v lesnih izdelkih pomemben, povečevanje skladiščenja ogljika znaša v nacionalnih bilancah emisij in ponorov toplogrednih plinov okrog 1 % glede na letne emisije (Pingoud in sod., 2003; Kohlmaier in sod., 2007). Zanimivo je, da je stopnja akumulacije podobna letni rasti

Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana,  
e-pošta: mitja.piskur@gozdis.si

<sup>x</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101,  
SI-1000 Ljubljana, e-pošta: miha.humar@bf.uni-lj.si

porabe lesa na prebivalca, ki je v Evropi v obdobju 2000-2005 naraščala z 1,5 % letno rastjo (Anonymus, 2007). Preliminarni rezultati modela EXPHWP za Slovenijo nakazujejo podoben obseg skladiščenja ogljika v lesnih izdelkih (Piškur in Krajnc, 2007). Podrobne modelne izračune zaloga ogljika v lesnih izdelkih in na deponijah ter projekcije prihodnjih sprememb zaloga so raziskovali v ZDA (Skog in sod., 2004; Skog, 2008), na Finskem (Pingoud in sod., 2001; Laturi in sod., 2008), v Avstraliji (Jaakko Pöyry Consulting, 2000), Japonskem (Hashimoto in Moriguchi, 2004), Irskem (Green in sod., 2006), Švici (Taverna in sod., 2007) in Portugalskem (Dias in sod., 2007). Pomen rabe lesa je večji ob upoštevanju substitucijskih učinkov drugih materialov in fosilnih goriv (Taverna in sod., 2007). Za države, ki so nastale z razpadom ali razdružitvijo nekdanj skupnih držav, se pojavljajo v mednarodnih statistikah nepopolni časovni nizi podatkov, ki pa so po drugi strani ključni v izračunih in prikazu pomena rabe lesa za posamezne države na ravni Evropske unije. Dodaten izziv predstavlja ovrednotenje rabe lesa domačega porekla. Prihodnje emisije in/ali odpadki izvirajo iz današnjih zaloga, zato je možno s poznavanjem strukture in količin zaloga napovedovati prihodnje emisije/odpadke. To velja tudi za prihodnje količine odsluženih lesnih izdelkov. Napovedi količin odsluženega lesa so lahko vezane na problem emisij CO<sub>2</sub>, lahko pa tudi na količine, ki zaradi okoljske zakonodaje potrebujejo posebno vrsto predelave ali odstranjevanja.

V Sloveniji so raziskave o pomenu skladiščenja ogljika v lesnih izdelkih pomanjkljive in fragmentarne. Relativna razmerja med posekom in količinami lesa, ki vstopa v predelavo, so bila narejena za leto 2004 (Piškur in Krajnc, 2007). Dosedanje preliminarna ocena pomena skladiščenja ogljika v lesnih izdelkih po metodi sprememb zaloga ogljika (SCA) so se gibale okrog 1 % letnih emisij za leto 2003 v Sloveniji (Krajnc in sod., 2006; Logar in sod., 2009). Za leto 2006 je bil pomen skladiščenja ogljika v lesnih izdelkih za Slovenijo višji, in sicer okrog 2 % po proizvodnem pristopu, ki je za Slovenijo kot neto izvoznico ugodnejši od preostalih pristopov, in z upoštevanjem lesnih izdelkov in papirja ter njenih življenjskih dob 30 let in 2 leti (Anonymus, 2009; Rüter, 2009). Golob (2007) navaja, da je zaloga ogljika v lesnih izdelkih (vključno z lesom za ogrevanje) in papirju 3,2 Mt C.

Glavni namen raziskave je oceniti zalogo in dinamiko spreminjanja zaloga ogljika v izbranih skupinah lesnih proizvodov v Sloveniji. V raziskavi niso zajeti papirni izdelki, ki bodo mogoče predmet raziskav v prihodnosti. V raziskavi smo želeli preveriti hipotezo, da zaloge ogljika v izbranih skupinah proizvodov niso (še) konstantne, temveč še vedno naraščajo.

## METODE

Dinamični modeli snovnih tokov (SFA) vključujejo zaloge v družbi in združujejo fizične, socio-ekonomske in inženirske elemente (Elshkaki, 2007). SFA lahko zajema več ravni: raven proizvodov, raven materialov in raven snovi. Osnovna zamisel napovedovanja izhodov je vezana na značilnosti zaloga: "leaching" model, kjer je izhod odvisen le od količin zaloga, in "delay" model, kjer je izhod v povezavi z značilnostmi vhodov in življenjskimi dobami. Zaloge v družbi so lahko velike, kar pomeni, da bodo prej ali slej predstavljale vir emisij in/ali odpadkov. Na podlagi modela je možno ovrednotenje zaloga opredeljenih snovi in napovedovanje izhoda le-teh iz sistema v obliki emisij in odpadkov. Številni avtorji so z uporabo SFA preučevali akumulacijo svinca (Elshkaki in sod., 2004; Elshkaki in sod., 2005), PVC-ja (Kleijn in sod., 2004), kadmija (Guinee in sod., 1997; Van der Voet, 1996) ... V prispevku smo želeli preizkusiti različne metode za ponazoritev dinamike sprememb zaloga ogljika v lesnih proizvodih.

V naših izračunih smo uporabili tri metode, ki smo jih spreminjali tudi glede na življenjsko dobo. Uporabili smo naslednje metode:

- FOD ("first order decay" - razkroj prvega reda) v skladu z IPCC (2006).
- Določena življenjska doba proizvodov.
- Dvo-parametrična Weibull funkcija.

Izračuni so bili narejeni za 30- in 43-letno povprečno življenjsko dobo proizvodov (pri FOD le za 43-letno). Izbrani življenjski dobi sta bili uporabljeni zaradi privzetih vrednosti za lesne izdelke v izračunih po navodilih dobre prakse (IPCC, 2006), kjer je privzeta vrednost za razpolovno dobo lesnih izdelkov 30 let - povprečna življenjska doba v tem primeru znaša 43 let. Z uporabo modelov smo želeli ugotoviti vpliv izbora življenjskih dob na oceno povečevanja ali zmanjševanja zaloga ogljika v lesnih izdelkih.

V raziskavi smo na podlagi izbora metod in življenjskih dob uporabili naslednje modele (v oklepajih so navedene oznake, ki se pojavljajo v slikah 2 in 3):

- Razkroj prvega reda z življenjsko dobo 43 let (FOD 30/43),
- Določena življenjska doba proizvodov - 30 let (DELTA 30),
- Določena življenjska doba proizvodov - 43 let (DELTA 43),
- Dvo-parametrična Weibull funkcija z življenjsko dobo 30 let (Weibul 30),
- Dvo-parametrična Weibull funkcija z življenjsko dobo 43 let (Weibul 43).

Emisije, ki nastajajo z izhodom lesnih izdelkov iz rabe, so v raziskavah skladiščenja ogljika v lesnih izdelkih večinoma izračunane po metodi FOD (First Order Decay - razkroj prvega reda). Metoda omogoča izračun izhodov iz posameznih skladišč lesnih izdelkov glede na življenjsko dobo. Vhodi v posamezno skladišče so opredeljeni s zgodovinskimi podatki o rabi izbranih skupin lesnih izdelkov. Metoda FOD pomeni, da je hitrost razgradnje ( $k$ ) izražena kot delež zaloge v izbranem skladišču ogljika. Slabost metode je v neupoštevanju starosti posameznih izdelkov, ker imajo vsi izdelki v rabi enako verjetnost, da izstopijo iz zaloge (gre za princip "leaching"). Z drugimi besedami: določena količina lesnih izdelkov bo iz rabe izstopala padajoče eksponentno. Prednost metode FOD je v njeni enostavnosti za opis dinamičnih procesov (Pingoud in Wagner, 2006). Avtorja med pglavitnimi slabostmi FOD metode poudarjata, da ni razlike med različnimi elementi v posameznem skladišču ogljika - razkroj oziroma izstopanje iz sistema je odvisno le od količine zaloge v danem trenutku. IPCC (2006) priporoča uporabo enotne razpolovne dobe ("half-life" - v nadaljevanju HL) za vse lesne proizvode, in sicer 30 let; povprečna življenjska doba znaša v tem primeru 43 let. Razpolovna doba predstavlja v našem primeru čas, ko bo od začetne količine ogljika v lesnih proizvodih ostalo v uporabi še polovica začetnih količin (ogljika).

Vsi izračuni metodološko sledijo pristopu sprememb zalog ogljika (SCA), ki upošteva, kdaj in kje nastajajo emisije in spremembe zalog ogljika v lesnih izdelkih. Mejo sistema preučevanja predstavlja ozemlje izbrane države.

V izračunih smo uporabili revidirano metodo FOD (Pingoud in Wagner, 2006), ki jo opredeljujejo in ponazarjajo enačbe 1, 2 in 3.

$$C(i + 1) = e^{-k} \cdot C(i) + I(i) \quad (1)$$

$$C(i) = \frac{I(i)}{k} \cdot (1 - e^{-k \cdot i}) + C(0) \cdot e^{-k \cdot i} \quad (2)$$

$$C(i) = \frac{I(i)}{k} \cdot (1 - e^{-k \cdot i}) + C(0) \cdot e^{-k \cdot i} \quad (3)$$

$i$  - leto (z začetkom 1900) / Year (starting with 1900)

$C(i)$  - zaloge ogljika v lesnih izdelkih na začetku leta  $i$  (Gg C) / Carbon stock in wood products at the beginning of year  $i$  (Gg C)

$k$  - konstanta pri FOD / FOD constant

$I(i)$  - vhod v zaloge lesnih izdelkov v letu  $i$  (Gg C leto<sup>-1</sup>) / Inflow to wood products pool in year  $i$  (Gg C year<sup>-1</sup>)

HL - razpolovna doba v letih ("half-life") / Half-life in years

Uporabo dvo-parametrne funkcije Weibull opredeljujejo enačbe 4, 5 in 6 (Lee in Wang, 2003).

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \quad (4)$$

$$S(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \quad (5)$$

$a$  -

$S(t)$  - preživetvena funkcija / Survival function

$F(t)$  - porazdelitvena funkcija / Cumulative distribution function

$y$  - povprečna življenjska doba / Average lifetime

$a, b$  - parametra funkcije Weibull / Weibull function parameters

Parametra funkcije smo določili modelno. Vrednost  $\beta$  smo povzeli iz študij, ki so obravnavale dinamiko zalog za lesene elektro drogove (Stillman, 1994; Datla in Pandey, 2006). V vseh Weibull funkcijah smo uporabili vrednost  $\beta = 4$ . Vrednost  $a$  smo določili glede na izbrani življenjski dobi 30 in 43 let.

V raziskavi smo se omejili na izbrane proizvode, ki so količinsko najbolj pomembni, v skladu z delitvijo FAO. Izbrani proizvodi in pretvorbeni faktorji so prikazani v preglednici 1. Vsi prikazi in izračuni so podani v tonah ogljika.

Faktor, ki predstavlja količino ogljika v m<sup>3</sup> izbranih skupin lesnih proizvodov, je bil izračunan iz gostot: za iglavce

**Preglednica 1. izbrani pretvorbeni faktorji izbranih skupin lesnih proizvodov ter primerjava z IPCC faktorji**

Lesni proizvodi	Gostota (t/m <sup>3</sup> )	Količina ogljika v m <sup>3</sup> (t C/m <sup>3</sup> )	Količina ogljika v m <sup>3</sup> (t C/m <sup>3</sup> ) po IPCC (2006)
2agan les iglavcev	0,47	0,20	0,225
2agan les listavcev	0,72	0,32	0,295
Iverne plošče	0,65	0,293	0,294
Vlakenne plošče	0,84-1,00	0,378-0,450	0,294

smo uporabili gostoto za smrekovino in jelovino, pri listavcih smo upoštevali kot referenčno vrednost gostoto za bukovino. Pri ivernih in vlaknenih ploščah smo upoštevali podatke proizvajalcev ter časovno spreminjanje vrste proizvodov. Uporabljeni pretvorbni faktorji so primerljivi s predlaganimi faktorji po IPCC (2006). Višja vrednost količin ogljika v m<sup>3</sup> pri vlaknenih ploščah je posledica proizvodnje vlaknenih plošč z visoko gostoto.

Osnovni vhodni podatki izvirajo iz baz in rezultatov raziskovanj Statističnega urada RS ter lastnih raziskav. S pomočjo zgodovinskih podatkov in metode linearne interpolacije smo pridobili popolne časovne serije o proizvodnji, uvozu in izvozu za obdobje od leta 1900 do leta 2008.

## REZULTATI IN RAZPRAVA

Največja akumulacija ogljika v lesnih proizvodih sovпада z največjim obsegom proizvodnje lesnih proizvodov med leti 1975-1985, v obdobju, ko je bila tudi gradnja stanovanj največja. Na sliki 1 se opazi eksponentna rast proizvodnje ivernih in vlaknenih plošč po letu 1946.

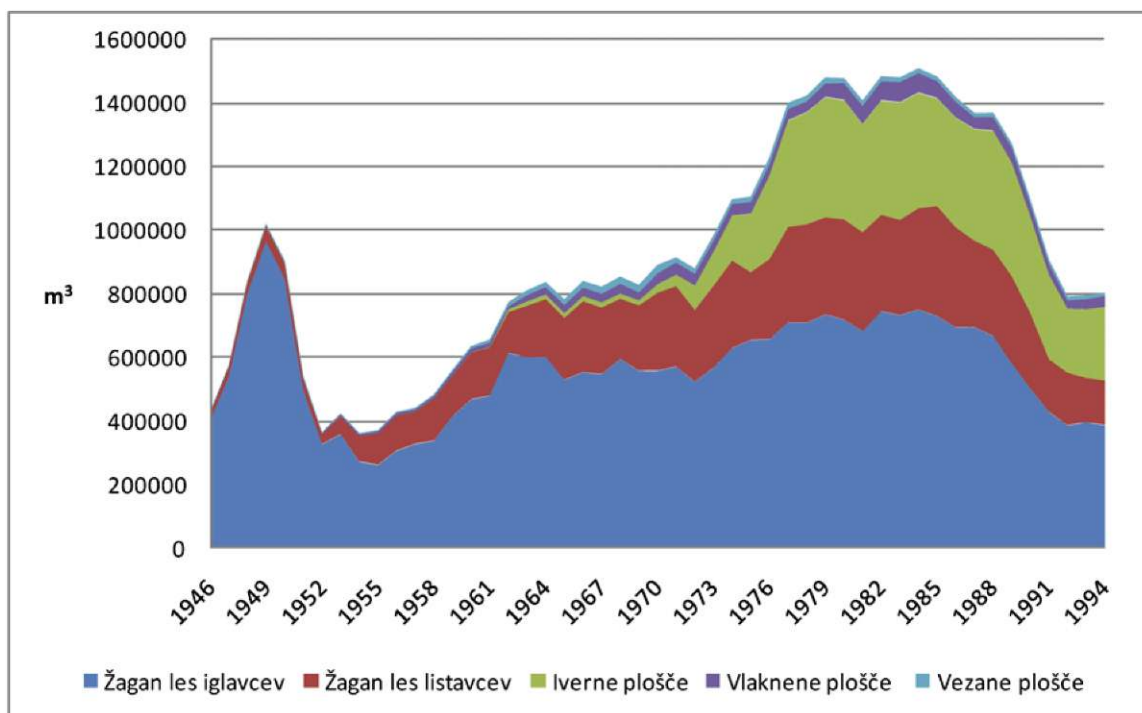
Za različne metode in različnimi upoštevanimi parametri je gibanje letne akumulacije ogljika v izbranih lesnih proizvodih prikazano na sliki 2. Razliko med vhodi in izhodi predstavlja letna akumulacija ogljika. Trend gibanja akumulacije ogljika je do začetka 90-ih let podoben, nato pa nastopijo med obravnavanimi metodami opazne raz-

like, ki so posledica predpostavk ter dejstva, da so izhodi lesnih proizvodov iz obdobja največje akumulacije obravnavani različno. Tako so opazne tri skupine krivulj. Prvo predstavljata modela Weibull in model s fiksno življenjsko dobo 30 let. Druga skupino predstavljata modela Weibull in model s fiksno življenjsko dobo 43 let, ki prikazuje večji obseg akumulacije ogljika. Tretjo skupino predstavlja model FOD, ki v zadnjih letih nakazuje srednjo vrednost akumulacije ogljika glede na prvi dve skupini (slika 2).

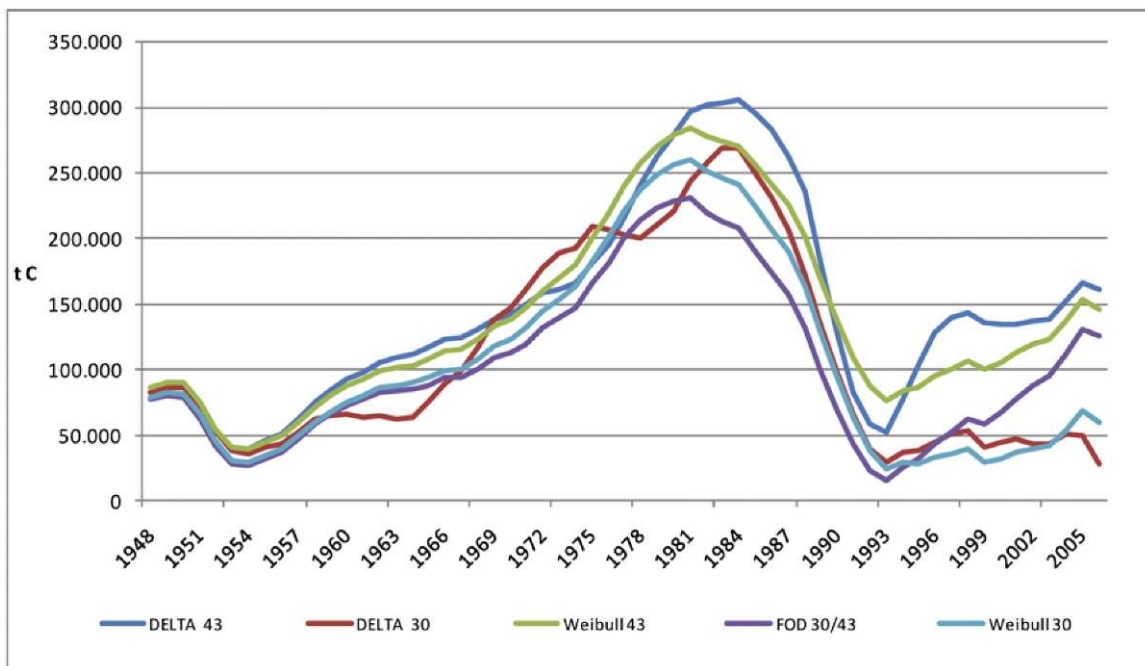
Z uporabo pristopa sprememb zalog ogljika (SCA) za najpomembnejše skupine lesnih proizvodov, v skladu s priporočili IPCC (2006), se letna akumulacija giblje med 1 % in 2 % letnih emisij toplogrednih plinov Slovenije. Rezultat je v okvirih rezultatov podobnih raziskav v Evropi, kjer se akumulacija ogljika v lesnih proizvodih (zajeti so tudi furnir in vezane plošče ter celuloza in papir) giblje med 1 % in 2 % (Kohlmeier in sod., 2007; Anonymus, 2009; Rüter, 2009).

Primerjavo ocen skladiščenja ogljika po dveh metodah (FOD in Weibull) in vpliv na rezultate prikazuje preglednica 2.

Kljub podobni računski zalogi ogljika v izbranih lesnih proizvodih je letna dinamika med obema metodama različna. Vzrokov za tako razhajanje je več, v prvi vrsti imata metodi izračuna različne predpostavke, ki lahko izrazito vplivajo na rezultat. Poleg tega je bila proizvodnja iz-



**Slika 1. Proizvodnja izbranih lesnih proizvodov v obdobju 1946-1994; na podlagi arhivskih podatkov SURS obdelal M. Piškur**



**Slika 2. Spremembe zalog ogljika v izbranih lesnih proizvodih: žagan les, iverne in vlaknene plošče; petletne drseče sredine**

branih lesnih proizvodov do 80-ih let prejšnjega stoletja naraščajoča, sledil je padec v 90-ih letih, nato pa zopet rast proizvodnje in rabe v Sloveniji. Razlike med izbranimi modeli so izrazite pri ivernih in vlaknenih ploščah (Slika 3). Vsi trije modeli, ki upoštevajo življenjsko dobo 30 let (v primeru FOD razpolovno dobo 30 let) kažejo na izrazit trend zmanjševanja akumulacije ogljika. Razlog je tudi v tem, da so bile največje stopnje akumulacije pred dobrimi 30-imi leti in naj bi po modelu sedaj izhajale iz sistema kot odslužen les.

**Preglednica 2. Primerjava ocen skladiščenja ogljika po metodah FOD (HL = 30 let) in Weibull (m = 30 let) za leto 2008**

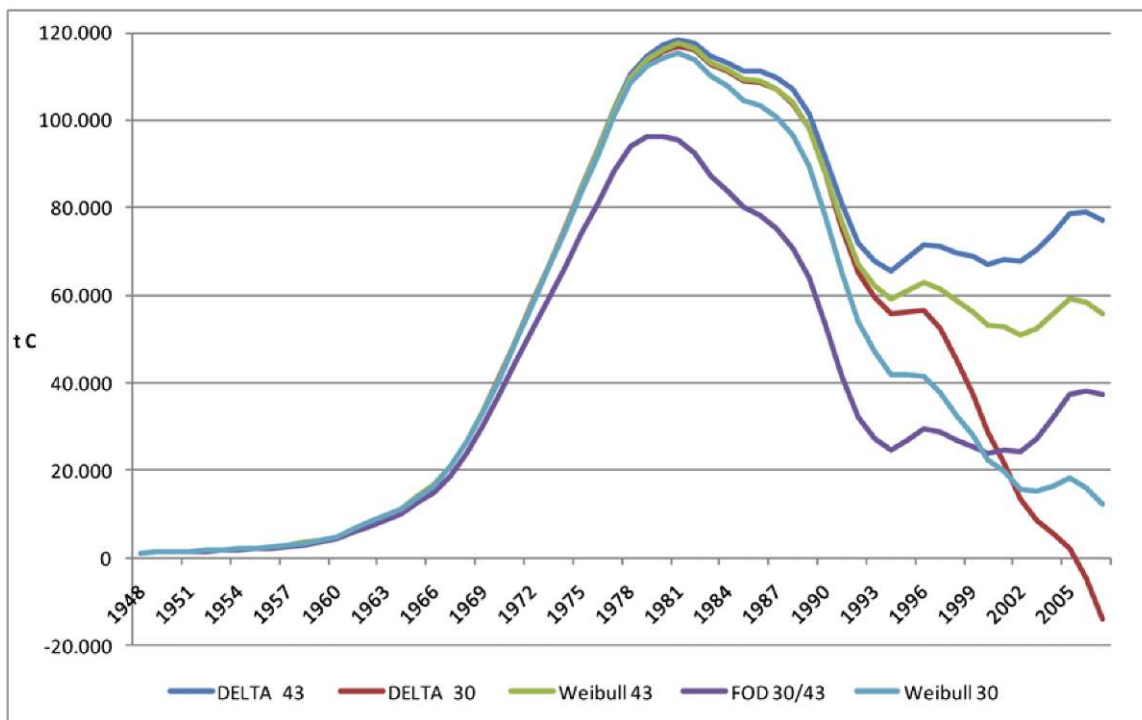
Lesni proizvod in metoda	Sprememba zalog (t C)	Zaloga C (v tonah)
Žagan les FOD	51.000	4.958.000
Iverne in vlaknene plošče FOD	43.000	2.243.000
Skupaj FOD (HL = 30 let)	94.000	7.201.000
Žagan les Weibull	7.000	4.780.000
Iverne in vlaknene plošče Weibull	16.000	2.647.000
Skupaj Weibull (m = 30 let)	23.000	7.427.000

Z raziskavo smo potrdili hipotezo, da imamo v Sloveniji še vedno akumulacijo ogljika v lesnih proizvodih, to potrjujejo rezultati po vseh uporabljenih modelih (Slika 2). Kažejo se slabosti metode FOD, na katero opozarjajo Marland in Marland (2003), Matthews in sod. (2007), Van der Voet in sod. (2002), med katerimi izstopata:

- vsi proizvodi imajo ne glede na starost proizvoda enako verjetnost za izhod iz sistema zalog,
- zaradi neupoštevanja pogojev za uporabo metode FOD, ki predvideva eksponentno rast rabe s časom in dovolj dolgo razpolovno dobo, lahko pride do nerealnih in celo povsem napačnih ocen izhodov.

Glede na ugotovitve Kleijna in sod. (2000) na primeru PVC na Švedskem, da so pomemben element pri napovedovanju količin odsluženega lesa podatki o gibanju rabe lesnih proizvodov v preteklosti ter življenjske dobe, menimo, da tudi naši rezultati potrjujejo te ugotovitve. Uporaba matematičnih funkcij v primerjavi s fiksnimi življenjskimi dobami zgladi ekstreme, trendi ostanejo podobni. Ocenjujemo, da je v našem primeru, zaradi predstavljenih velikih nihanj v rabi in/ali predelavi lesa, v prihodnjih raziskavah bolj smiselna uporaba modela (funkcije) Weibull, ki prikazuje skladiščenje ogljika ločeno po letu proizvodnje posameznih lesnih izdelkov. Metoda FOD ima manjše ekstremne vrednosti, kar pa je lahko pri okoljskih raziskavah, na primer težkih kovin (Van der Voet, 2002), neustrezno.

V naši raziskavi vplivajo na rezultate tako izbor modela



**Slika 3. Spremembe zalog ogljika v izbranih lesnih proizvodih: iverne in vlaknene plošče; petletne drseče sredine**

kot tudi življenjske dobe lesnih proizvodov. Za izboljšanje ocen bi potrebovali vključitev še dodatnih skupin lesnih izdelkov (furnir in vezane plošče) ter dodatno preverjanje dejanske rabe in/ali predelave izbranih proizvodov, predvsem v obdobju po letu 1990. Da so podatki o proizvodnji in zunanji trgovini z izbranimi lesnimi proizvodi pomembni za izboljšanje ocen ugotavljajo tudi drugi avtorji (Skog in sod., 2004). Predstavljeni modeli nakazujejo splošne trende rabe, in v primeru Slovenije tudi v večji meri predelave, lesnih proizvodov. Kakšne so dejanske zaloge ogljika v lesnih izdelkih, rezultati modelov le nakazujejo, na Finskem so zaradi prevladujoče rabe lesnih proizvodov v gradbeništvu rezultati modelov bližje realnemu stanju, ki so ga na Finskem preverili tudi z direktno metodo izračuna zalog ogljika v različnih inventurnih letih - s tem so prilagodili vhodne parametre modela FOD (Pingoud in sod., 2001; Pingoud in sod., 2003). Menimo, da je direktna uporaba rezultatov za Slovenijo nekoliko bolj kompleksna zaradi predelave izbranih lesnih izdelkov v končne lesne izdelke (pohištvo), od katerih je bil velik delež izvožen, kar pa v izračunih ni upoštevano. Ocenjene zaloge tako predstavljajo kombinacijo zalog v Sloveniji in v primeru izvoženih končnih izdelkov tudi v tujini. Zaradi tega rezultati verjetno niso neposredno uporabni za napovedovanje količin odsluženega lesa - ocene so verjetno precenjene.

Na gibanje zalog ogljika v lesnih izdelkih ter predvsem na količine odsluženega lesa vplivajo v veliki meri tudi socialno ekonomski vplivi (BDP, tehnološki razvoj, rast prebivalstva ...). Tovrstne probleme preučujejo z dinamičnim modeliranjem zalog proizvodov, materialov in snovi, s katerimi na podlagi dinamične obravnave zalog v družbi (na primer svinca) raziskujejo prihodnje izhode (Elshkaki in sod., 2005).

### SKLEPI

Pristopi, ki jih opredeljujejo navodila dobre prakse IPCC (2006) so pomembni z vidika primerljivosti med državami in prikazom relativnega pomena skladiščenja ogljika v lesnih izdelkih, na primer glede na letne emisije toplogrednih plinov. Pri interpretaciji je potrebna pazljivost in upoštevanje metodoloških posebnosti, v prvi vrsti nezajem zunanje trgovine končnih lesnih izdelkov (na primer pohištva).

Na podlagi rezultatov raziskave smo identificirali uporabnost posameznih metod za prikaz dinamike zalog ogljika v lesnih proizvodih. Zaradi velikih nihanj v proizvodnji v Sloveniji, nepopolnih podatkov o življenjskih dobah izdelkov, so tudi rezultati, še posebej v zadnjih letih, podvrženi veliki variabilnosti. Če želimo izboljšati tovrstne izračune, predvsem z vidika potencialnega upoštevanja akumulacije

ogljika v lesnih izdelkih v prihodnjih klimatskih sporazumih, potrebujemo dodatne raziskave predvsem na področjih:

- življenjskih dob izbranih končnih izdelkov (ostrešja, pohištvo);
- izdelave časovnih nizov o proizvodnji, uvozu in izvozu za vezan les in furnir ter na področju celuloze in papirja;
- podrobnejših analizah proizvodnje, uvoza in izvoza končnih izdelkov (pohištvo).

Predlagamo, da so rezultati o gibanju zalog ogljika v lesnih izdelkih pomemben indikator stanja rabe in predelave lesa v Sloveniji. Ker je bila, in je še, slovenska lesna industrija izrazit izvoznik končnih proizvodov, ocenjujemo, da so zato v raziskavi ocenjene zaloge precejšene.

Pregled nad tokovi lesa omogoča lesni industriji realno analizo stanja, ki lahko služi kot podpora pri izdelavi strategij in smernic prihodnjega razvoja panog, povezanih s pridobivanjem, predelavo in rabo lesa, v povezavi z realno oceno potencialov iz slovenskih gozdov, pa optimalno rabo enega najpomembnejših naravnih obnovljivih virov v Sloveniji.

Ocenjujemo, da bi morali na nacionalni ravni podpirati neodvisne raziskave tokov in rabe lesa, ne samo z vidika skladiščenja ogljika, temveč predvsem za spremljanje trendov in dinamike predelave in rabe lesa, usmeritev za načrtovanje v gozdarstvu ter napovedovanja tokov tako lesnih ostankov pri predelavi lesa kot tudi vrste odsluženega lesa.

## ZAHVALA

Raziskava je bila izvedena v okviru ciljnega raziskovalnega programa (CRP) »Konkurenčnost Slovenije 2006-2013«: Pomen gozdno-lesne proizvodne verige za blažnje podnebnih sprememb (V4-0491) in programa P4-0015: Les in lignocelulozni kompoziti.

## LITERATURA

1. **Anonymus (2007)** State of Europe's Forests 2007. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe. MCPFE, UNECE in FAO. Varšava, 247
2. **Anonymus (2009)**. Informal submission by Sweden on behalf of the European community and its member states on forest data. Swedish Presidency of the European Union, Bangkok. 38 [http://unfccc.int/files/kyoto\\_protocol/application/pdf/eululucf300909.pdf](http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/eululucf300909.pdf)
3. **Datla S.v., Pandey M.D. (2006)** Estimation of life expectancy of wood poles in electrical distribution networks. *Structural Safety*, 28, 3: 304-319
4. **Dias A. C., Louro M., Arroja L., Capela i. (2007)** Carbon estimation in harvested wood products using a country-specific method: Portugal as a case study. *Environmental Science & Policy*, 10, 3: 250-259
5. **Elshkaki A., Van der Voet E., Holderbeke M., Timmermans V. (2004)** The environmental and economic consequences of the developments of lead stocks in the Dutch economic system. *Resources, Conservation and Recycling*, 42: 133-154
6. **Elshkaki A., Van der Voet E., Holderbeke M., Timmermans V. (2005)** Dynamic Stock modelling: A method for the identification and estimation of future waste streams and emissions based on past production and product stock characteristics. *Energy*, 30, 8: 1353-1363
7. **Elshkaki A. (2007)** Systems Analysis of Stock Buffering: Development of a Dynamic Substance Flow/Stock Model for the Identification and Estimation of Future Resources, Waste Streams and Emissions. Leiden, CML, 187
8. **Ford Robertson J. (2003)** Implications of Harvested Wood Products Accounting: Analysis of Issues Raised by Parties to the UN-FCCC and development of Simple Decay Approach. MAF, Wellington, 30
9. **Gjesdal S.F.T., Flugsrud K., Mykkelbost T.C., Rypdal K. (1996)** A balance of use of wood products in Norway. Norwegian Pollution Control Authority SFT, Report 96:04, 54
10. **Golob A. (2007)** Nekaj scenarijev vplivov gozdne politike na kroženje ogljika na primeru Slovenije. *Gozdarski vestnik*, 65, 5/6: 254-260, 277-282
11. **Green C., Avitabile V., Farrell E. P., Byre K. A. (2006)** Reporting harvested wood products in national greenhouse gas inventories: Implications for Ireland. *Biomass and Bioenergy*, 30:105-114
12. **Guinée J., Van Oers L., Van der Voet E. (1997)** Cadmium in the Netherlands - a special case? Centre of Environmental Science (CML) Leiden University Leiden, CML report 136
13. **Hashimoto S., Moriguchi Y. (2004)** Data Book: Material and carbon flow of harvested wood in Japan. CGER-D034-2004. National Institute for Environmental Studies, Japan, Tsukuba, 40
14. **IPCC (2006)** 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
15. **Jaakko Pöyry Consulting (2000)** Analysis of Wood Product Accounting Options for the National Carbon Accounting System. Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System Technical Report No. 24, 26
16. **Kleijn R., Huele R., Van der Voet E. (2004)** Dynamic substance flow analysis: the delaying mechanism of stocks, with the case of PVC in Sweden. *Ecological Economics*, 32, 2: 241-254
17. **Kohlmaier G. H., Kohlmaier L., Fries E., Jaeschke W. (2007)** Application of the stock change and production approach to Harvested Wood Products in the EU-15 countries: a comparative analysis. *Eur J For Res*, 126:209-223
18. **Krajnc N., Piškur M., Simončič P. (2006)** Ocena ponora CO<sub>2</sub> za spremembo rabe tal gozdarstvo v Sloveniji. V: HLADNIK, David (ur.).

Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino, (Studia forestalia Slovenica, št. 127). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 53-64

19. **Laturi j., Mikkola j., Uusivuori j. (2008)** Carbon Reservoirs in Wood Products-in-Use in Finland: Current Sinks and Scenarios until 2050. *Silva Fennica*, 42, 2: 307-324
20. **lee E. T., Wang j. (2003)** Statistical Methods for Survival Data Analysis. Wiley Series in Probability and Statistics, 3. Edition, John Wiley & Sons, New Jersey, 534
21. **Iogar M., verbič j., Krajnc N., Piškur M., Simončič P., Kušar G., Kobler A., Kurbus T., Kovač N. (2009)** Slovenia's national inventory report 2009 : submission under the United Nations framework convention on climate change and voluntary submission under the Kyoto Protocol. Ljubljana. [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/4771.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4771.php).
22. **Marland E., Marland G. (2003)** The treatment of long-lived, carbon-containing products in inventories of carbon dioxide emissions to the atmosphere. *Environmental Science and Policy*, 6 (2): 139-152
23. **Matthews R. W., Robertson K. Marland G., Marland E., (2007)** Carbon in wood products and product substitution. In: *Forestry and climate change*, edited by P.H. Freer-Smith, M.S.J. Broadmeadow, J.M. Lynch. CAB International; Organization for Economic Cooperation and Development (OECD); Forestry Commission, Forest Research. Wallingford, Oxon: CAB International: 91-104
24. **Pingoud K., Perälä A. L., Pussinen A. (2001)** Carbon Dynamics in Wood Products. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 6: 91-111
25. **Pingoud K., Perälä A. L., Soimakallio S., Pussinen A. (2003)** Greenhouse gas impacts of harvested wood products: Evaluation and developments of methods. Tampere, VVT, 120
26. **Pingoud K., Wagner F. (2006)** Methane emissions from landfills and carbon dynamics of harvested wood products: The first-order decay revisited. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 961-978
27. **Piškur M., Krajnc N. (2007)** Pomen gozdov in rabe lesa za bilanco CO<sub>2</sub> v Sloveniji. V: *Podnebne spremembe: vpliv na gozd in gozdarstvo*. Jurc, M. (ur.). (Studia forestalia Slovenica, št. 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 237-250
28. **Rüter S. (2009)** Estimation of net-emissions of Harvested Wood Products (HWP) for Slovenia. Working paper. Hamburg. VTI, 13
29. **Skog E. K. (2008)** Sequestration of carbon in harvested wood products for the United States. *Forest Products Journal*, 58, 6: 56-72
30. **Skog E. K., Pingoud K., Smith j. E. (2004)** A Method Countries Can Use to Estimate Changes in Carbon Stored in Harvested Wood Products and the Uncertainty of Such Estimates. *Environmental Management*, 33, 1: 65-73
31. **Stillman R. H. (1994)** Probabilistic Derivation of Overstress for Overhead Distribution In-Line Structures. *IEEE Transactions on Reliability*, 43, 3: 366-374
32. **Taverna R., Hofer P., Werner F., Kaufmann E. (2007)** The CO<sub>2</sub>-Effects of the Swiss Forestry and Timber Industry. Scenarios of future potential for climate-change mitigation. Bern, Federal Office for the Environment, Environmental studies no. 0739, 102
33. **van der voet E. (1996)** Substances from cradle to grave: development of a methodology for the analysis of substances flows through the economy and the environment of a region: with case studies on cadmium and nitrogen compounds. Doctoral thesis. Leiden, CML, 226
34. **van der voet E., Kleijn R., Huele R., Ishikawa M., verkuijlen E. (2002)** Predicting future emissions based on characteristics of stocks. *Ecological Economics*, 41: 223-234