

Oxf. 812.144:892.4:174.7

Abies alba Mill., *Picea abies* (L.) Karst

Izveček:

REBULA E.:

KURILNOST JELOVEGA IN SMREKOVEGA LUBJA

Značnice: jelovo in smrekovo lubje, kurilnost lubja, kemizem lubja, vlažnost lubja

Z raziskavo smo ugotavljali kurilnost jelovega in smrekovega lubja in dejavnike, ki vplivajo nanjo.

Ugotovitve kažejo, da je jelovo in smrekovo lubje primerno kurivo, zelo podobno lesu. Ob povprečni vlažnosti daje 8 — 10 MJ/kg energije, popolnoma suho pa 18,5 — 19 MJ/kg. V raziskavi so podani podatki o kurilnosti in kemični sestavi lubja, o sušenju lubja na oblovinu po sečnji ter njihove medsebojne zveze in vplivi.

Abstract:

FUEL VALUE OF FIR AND SPRUCE BARK

Key words: Fir and spruce bark, Fuel value of bark, Chemical properties of bark, Moisture content of bark

In this study, the fuel value of fir and spruce bark was established and the factors influencing the fuel value were studied as well.

The findings show that the bark of fir and spruce trees is a fuel much like wood. At its average humidity it yields 8 — 10 MJ/kg of energy, and completely dry, it yields 18.5 — 19 MJ/kg. This paper provides the data on fuel value, chemical structure of bark and drying of bark on timber. Interrelations and influences among them are also shown.

Dr. Edvard REBULA, profesor
Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo
61000 Ljubljana, Večna pot 83, YU

PREDGOVOR

O uporabnosti lubja so mnenja že zdaj zelo različna, naša raziskava pa naj bi pomagala prikazati njegovo uporabno vrednost.

Opravili smo jo tako kot je že v navadi, v tesnem sodelovanju našega vtozda za gozdarstvo, Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo ter gozdarske in lesarske operativne. Zato iskrena hvala vsem sodelavcem. Zahvalo sem dolžan Branku Štamparju, dipl. in., Zvonetu Šolarju, dipl. inž., ki sta pomagala pri zbiranju vzorcev. Veliko sta pomagala Franc Furlan, dipl. inž., ki je zbral večino vzorcev in opravil preskuse na Tozd gozdarstvo Snežnik in Ana Kranjc, dipl. inž. kemije, ki je vzorcem zmerila vlago. Ana Štemberger, dipl. inž. kemije, je pomagala pri študiju literature in z napotki pri sami raziskavi. Zbrane podatke sta računalniško obdelala Leonarda Godler in mag. Vladimir Puhek, dipl. inž. Pri obdelavi podatkov je sodeloval tudi Vladimír Vilman, dipl. inž. Dela ne bi mogli končati brez pomoči Jelke Malnar.

Zato vsem sodelavcem, ki so omogočili to delo prisrčna hvala. Tako je meni preostalo le, da sem delo usklajeval, zbral podatke in napisal to študijo.

Raziskavo smo opravili v okviru raziskovalnega projekta *Intenziviranje gozdne proizvodnje*. Financirala so ga slovenska gozdna gospodarstva in Posebna raziskovalna skupnost za gozdarstvo, lesarstvo, papirništvo in grafiko.

Ljubljana, decembra 1986

Avtor

1. UVOD

V Sloveniji posekamo približno 1,8 milijona m³ drevja iglavcev na leto. Od te količine prepeljemo približno 0,91 milijona m³ na centralna mehanizirana skladišča (Remic 1985). Tam iz oblovine skrojimo in razžagamo razne sortimente in jih na skladiščih tudi olupimo.

Raziskave pri nas (Turk, Lipoglavšek, Rebula idr.) ugotavljajo, da je delež lubja odvisen od debeline lubja, drevesne vrste in še najbolj od premera sortimentov. Giblje se v razmeroma širokih okvirih. Turk in Lipoglavšek (1972) ugotavljata, da je povprečni delež lubja jelke 12%, če ga računamo na količino komercialno izmerjenih in obeljenih sortimentov. Rebula (1982) je za razmere gozdarstva Bukovje ugotovil delež 10,73% — zaokroženo 11%. Za smreko ugotavljata Turk in Lipoglavšek, da je delež lubja 11%, če ga računamo na komercialno izmerjen in obeljen les. delež lubja pri boru je večji od deleža pri jelki in smreki. Giblje se v razponih 10 do 22,8% (1949).

Ugotavljamo, da v Sloveniji lahko računamo s povprečnim deležem lubja v višini 11%. Tak račun nam kaže, da je letna količina lubja iglavcev v Sloveniji, ki napade na posekanih sortimentih iglavcev vsaj 198 000 m³ ali zaokroženo okoli 200 000 m³ in (v svežem stanju) okoli 180 000 ton. Dobra polovica okoli 100 000 ton lubja na leto se nabere na centralnih mehaniziranih skladiščih. To pomeni, da je ta količina (100 000 ton) pripravljena (pripeljana, izložena, očiščena ipd.) za nadaljnjo uporabo na dostopnih krajih, primernih za nadaljnji transport.

V časih energetskega izobilja in poceni nafte je nastajalo vprašanje, kako lubje koristno uporabiti. Možnosti za to so iskali Schneider, Baums 1970, Turk 1976 idr. V posameznih ustreznih okoliščinah, kjer je bilo mogoče prodajati izdelke iz lubja, so priporočali predelavo lubja v kompost, razne izolacijske materiale ipd. Gospodarnost take proizvodnje je poravnal del stroškov, ki bi tako in tako nastali z "uničevanjem" (sežiganjem, odvažanjem ipd.) lubja. Povečini so priporočali, naj bi uničevali lubje s sežiganjem v posebnim pečeh. To je pomenilo dodaten strošek dodelave sortimentov na skladiščih.

Prizadevanja za koristno uporabo lubja s sežiganjem in pridobivanjem toplotne energije na obratih lesne industrije so zadevala na velike ovire. Praviloma so bila kurišča prirejena na kurjenje s tekočimi gorivi in ustrezno avtomatiko, ki je omogočala natančno, čisto in lahko delo. Ko se je pojavila ponudba lubja ob koncu šestdesetih, in pri nas v začetku sedemdesetih let (Limbuš 1971, Otiški vrh 1972, Pivka 1974, Bohinjska Bistrica 1974) na centralnih mehaniziranih skladiščih, so bila kurišča razmeroma nova. Če bi jih hoteli preurediti za kurjenje z lubjem, bi to zahtevalo precej denarja. Računi so največkrat kazali, da se to ne izplača. Poleg poceni nafte je bil vzrok za take izračune tudi nepoznavanje kurilne vrednosti in drugih lastnosti lubja. Podatki in izkušnje, ki so prihajali največkrat iz dežel, kjer prevladuje smreka, niso bili spodbudni, saj so tam v bistvu podcenjevali uporabnost lubja kot kuriva.

Ob načrtovanju gradnje centralnega mehaniziranega skladišča v Pivki v letih 1971—73, torej še pred prvo energetske krizo, so se odločili, da bodo kurišče v kotlu za pridobivanje pare pri lesni industriji JAVOR — Pivka predelali tako, da bo omogočeno tudi kurjenje z lubjem (Makarovič 1978). Nabavili so parni kotel tovarne Streicher, transport lubja v silos pa je zelo dobro rešila tovarna Energoinvest v Tuzli (Makarovič 1978). O smotrnosti in uspešnosti te naložbe obsežno poroča Makarovič (1978) v svojem poročilu Zgorevanje lubja na razgrebajoči poševni rešetki. Mislim, da je to prvi primer gospodarne uporabe lubja v te namene v Sloveniji in verjetno tudi v Jugoslaviji in bližnji okolici.

Iz Makarovičevega poročila (stran 5, meritve 15. 4. 1978 in 5. 5. 78) lahko izračunamo, da 1 tona mazuta (po kurilni vrednosti) zamenja 5,9 tone lubja, pri vsebnosti vode $W = 56\%$, in 6,37 ton lubja pri vsebnosti vode $W = 58\%$. Nadalje navaja, da so ugotovili najnižjo vsebnost vlage $W = 39\%$ in najvišjo $W = 58\%$. Povprečna vlažnost je $W = 45\%$.

V preteklih letih je draga energija sprožila številne razprave o kurilni vrednosti (kurilnosti) lubja. Razprave so obrodila sadove in danes vse več lesnoindustrijskih obratov uporablja lubje za kurivo. Lubje pa uporabljajo tudi za briketiranje, za ogrevanje stanovanj ipd. Na drugi strani pa je z gradnjo CMS za dodelavo sortimentov iglavcev in prenosom lupljenja iglavcev iz gozda na skladišča ponudba lubja čedalje večja.

Lubje je v zadnjih letih postalo tržni proizvod. Po njem je čedalje več povpraševanja, in s tem se povečuje tudi njegova cena. O tem je dovolj poročil v strokovni literaturi — tuji pa tudi naši. Manjka pa temeljnih podatkov o lastnostih lubja, ki so odločilne za njegovo uporabnost, predvsem o njegovi sestavi, deležu vlage, hitrosti sušenja ipd. Ti podatki so podlaga za določanje vrednosti in uporabnosti lubja. Zato smo zasnovali raziskavo tako, da bi ugotovili:

- kurilnost lubja smreke in jelke
- kemijsko sestavo lubja teh dveh vrst
- delež pepela v lubju
- dejavnike, ki vplivajo na kurilnost lubja.

Raziskava je nastala predvsem iz dveh razlogov:

1. V Sloveniji gradijo v zadnjih letih CMS za dodelavo sortimentov iglavcev za sorazmerno majhne količine oblovine. Ta količina je verjetno pod pragom gospodarnosti, zato je najbrž vprašanje, ali je graditev takšnih skladišč gospodarsko utemeljena. Za njihovo graditev morajo biti drugi vzroki in drugačne postavke v izračunih gospodarnosti, kot so bili do zdaj (Turk 1974). Vprašanje je, koliko lahko izraba lubja pripomore k poravnavi in utemeljitvi naložbe in izdatkov za obratovanje.
2. Raziskava naj bi dala temeljne kazalce o uporabnosti lubja kot kuriva. Dala naj bi podlage za odločanje o ravnanju z lubjem in za oceno vrednosti lubja. Glede na to je raziskava tudi nekakšna pilotska študija, ki naj nakaže smeri nadaljnjih raziskav za uporabo lubja kot kuriva.

2. LUBJE V ENERGETSKI BILANCI

Lubje s povprečno vsebnostjo vode $W = 44\%$ — vlažnost 80% (Makarovič 1978) ima spodnjo kurilnost $10,26 \text{ MJ}$ (2450 Kcal/kg). Po izračunu na temelju Makarovičevih podatkov so $4,4$ tone takega lubja enakovredne 1 toni mazuta. Se pravi, da bi s kurjenjem vsega lubja v Sloveniji lahko nadomestili približno $41\,000$ ton mazuta na leto; s kurjenjem lubja, ki je na voljo na CMS, pa bi lahko nadomestili okoli $23\,000$ ton mazuta. Številke so razmeroma velike, vendar pomenijo v energetski bilanci Slovenije le majhen delež. Z lubjem bi lahko nadomestili dobro polovico kurilnega olja v gospodinjstvih. Tako gledano lubje ni rešitelj, čeprav nadomesti kar precejšnjo ladjo uvožene nafte. Vrednost lubja kot kuriva pa je v resnici večja in se kaže v naslednjem:

1. Lubje je čisto gorivo. Vsebuje zelo majhne količine žvepla in njegovo kurjenje ne onesnažuje okolice. To je zlasti pomembno pri majhnih (individualnih) kuriščih, kjer je vdelava čistilnih naprav nesmotrna ali celo nemogoča.
2. Lubje je na voljo v krajih, kjer ni drugih energetskih virov.
3. Centralna mehanizirana skladišča so praviloma ob lesnoindustrijskih obratih, ti pa porabijo razmeroma veliko toplotne energije. Tako lubje lahko pokurimo kar tam, kjer nastaja.
4. Lubje nastaja kot "stranski proizvod" lupljenja in druge dodelave sortimentov na CMS in bi ga tudi sicer morali odstranjevati.
5. Z razmeroma poceni in s preprosto tehnologijo lahko lubje predelamo v brikete. Tako zelo olajšamo njegovo shranjevanje in transport, obenem pa omogočimo kurjenje lubja v vseh navadnih kuriščih za trdo gorivo in tudi v odprtih kuriščih — kaminih.

3. METODIKA DELA

Vzorke za analizo lubja smo jemali s posameznih dreves v gozdu, na oblovinii iglavcev ob cesti in na skladiščih. Analizirali smo tudi lubje, ki napada na CMS po lupljenju z lupilnimi stroji. Analizirali smo lubje takoj po lupljenju v lupilniku in lubje iz deponije, kjer je ležalo že leto dni.

Vzeti vzorec lubja (200 — 500 g) smo dali takoj v nepredušno vrečko in ga čimprej — ponavadi še isti dan, dali v sušilnik. Vzorce, ki jih iz kakršnega koli vzroka nismo mogli dati v sušilnik, smo hranili v hladilnicah.

Vzorke smo analizirali različno. Pri vseh smo ugotovili stopnjo vlažnosti po običajnih postopkih. 16 vzorcev — 9 vzorcev lubja jelke in 7 vzorcev lubja smreke smo analizirali nadrobneje.

Zanje smo ugotovili:

- kurilnost v dostavljenem stanju
- kurilnost v absolutno suhem stanju
- kurilnost, preračunana na gorljive snovi
- delež pepela
- kemijsko sestavo lubja, in sicer delež ogljika (C_4), vodika (H), kisika (O_2), žvepla (S_2) in dušika (N_2).

Analizirali smo 76 vzorcev lubja.

S statistično obdelavo smo ovrednotili podatke merjenj. Zanimale so nas zlasti razlike med posameznimi vzorci, razlike med lubjem smreke in jelke, vpliv vlažnosti lubja na njegovo kurilnost ter spreminjanje vlage v lubju med letom in s pretokom časa po sečnji.

Analizirali smo vzorce lubja z Jelovice (6 vzorcev) in s Pohorja (4 vzorci). Drugi vzorci so s Snežnika.

Večino vzorcev, pri katerih smo merili le vlažnost, so obdelali v laboratoriju BRESTA — lesna industrija Cerknica. Kurilnost in kemijsko sestavo lubja so ugotovljali v laboratoriju Rudnikov rjavega premoga Slovenije v Trbovljah.

4. KEMIČNA SESTAVA LUBJA

Podatki se nanašajo na absolutno suho lubje.

4.1 Kemična sestava smrekovega lubja

Z analizo 7 vzorcev smo ugotovili tole povprečno kemično sestavo smrekovega lubja (1. skupina):

ogljik	47,01%	KV = 1%
vodik	6,26%	KV = 2%
žveplo	0,05%	KV = 46%
kisik	41,95%	KV = 1%
dušik	1,01%	KV = 5%
pepel	3,72%	

Delež posamezne prvine je zelo konstanten. Kaže ga koeficient variacije (KV). Izjema je le žveplo, kjer je KV = 46%. Delež žvepla je tako majhen, da tudi majhna sprememba deleža povzroča velike relativne razlike. V bistvu ni pomembna.

4.2 Kemična sestava jelovega lubja

Analizirali smo 9 vzorcev jelovega lubja. 5 vzorcev je bilo sveže lubje, ki smo ga dobili s posekanih dreves neposredno po sečnji (2. skupina). V 4 vzorcih pa je bilo lubje iz deponije, staro do dve leti (povprečno približno 1 leto) — skupina 3. Kemična sestava je taka:

Tudi pri svežem jelovem lubju je kemična sestava zelo konstantna. Manj konstantna je pri lubju iz deponije.

Kemična sestava lubja iz deponije se značilno razlikuje od sestave svežega lubja. Razlike so značilne pri vsebnosti vodika, kisika, dušika in pepela. Kaj je vzrok teh razlik, bi pokazala nadrobnejša analiza, vendar te nismo opravili. Mogoča sta dva vzroka:

- hidroliza lubja na odlagališču; razpadanje lubja pod vplivom atmosferilij in temperature na prostem;
- onesnaževanje lubja pri transportu lesa, ko se lubje tare ob tla v sestoji, na vlakih in skladišču.

1. Preglednica: KEMIČNA SESTAVA JELOVEGA LUBJA
Table 1: THE CHEMICAL COMPOSITION OF FIR BARK

PRVINA	Sveže lubje		Lubje z deponije		Povprečje
	Delež %	KV %	Delež %	KV %	Delež %
ogljik	47,54	1	45,68	5	46,72
vodik	6,39	2	6,17	2	6,29
žveplo	0,06	43	0,05	24	0,05
kisik	42,13	1	40,62	3	41,46
dušik	1,01	12	1,02	4	1,02
pepel	2,87		6,46		4,46

4.3 Primerjava kemične sestave smrekovega in jelovega lubja

Primerjali smo kemično sestavo svežega lubja.

Primerjava kaže, da je v lubju jelke nekoliko več ogljika, vodika in žvepla ter nekoliko manj pepela. Omenjene razlike niso velike. Nadrobna raziskava pa je pokazala, da so te razlike statistično značilne. Razlike v količini kisika in dušika niso značilne.

5. VLAŽNOST LUBJA

Z vlažnostjo razumemo delež vlage v lubju. Vlažnost lubja se med letom spreminja odvisno od letnega časa in vremena. Na vlažnost lubja vpliva tudi rastišče.

Naše meritve kažejo tole:

5.1 Sveže lubje

(vzorec, vzet iz drevesa takoj po sečnji)

2. Preglednica: VLAŽNOST SVEŽEGA LUBJA

Table 2: THE MOISTURE CONTENT OF FRESH BARK

Zap. šte.	Datum	Drevesna vrsta	Povprečna vlažnost %	Razpon vlažnosti v vzorcih %
1	25. 3.	jelka	48	45 do 50*
2	8. 7.	jelka	41	36 do 45
3	13. 8.	jelka	42	39 do 44
4	8. 11.	jelka	41	36 do 46
5	24. 10. — 8. 11.	jelka	40	37 do 43
6	13. 8.	smreka	41	36 do 44
7	8. 11.	smreka	51	50 do 52
8	24. 10. — 8. 11.	smreka	46	39 do 53

OPOMBA: Vzorec 1 — na drevju je bil sneg.

V preglednici vidimo:

1. Povprečna vlažnost jelke se le malo spreminja. V lubju je približno 40 do 42% vlage. Največ vlage smo namerili sredi poletja.
2. Opazna je razlika v vlažnosti pri vzorcu, kjer je bil na drevju sneg. Tam je vlažnost 48% (1. vzorec).
3. Vlažnost jelovega lubja se zelo spreminja in je pri vsakem drevesu drugačna. Tokrat nismo raziskovali, ali je vzrok za to stvarna razlika v vlažnosti lubja ali pa so ugotovljene razlike le posledica različne vlažnosti (mokrote) površine lubja. Ugotovili smo razmeroma velike razlike (38 do 45%) v vlažnosti lubja na istem drevesu. Zato so ugotovljene razlike v posameznih vzorcih verjetno posledica vzorčnih napak in izhajajo iz različne vlažnosti lubja na različnih krajih debla. Pri tem mislim na različno notranjo vlažnost lubja zaradi njegove sestave, pa tudi na različno vlažnost zaradi mokrote ali osušenosti površine lubja. Vse navedeno velja tudi za smreko.
4. Pri smreki opazimo, da se vlažnost lubja od poletja proti jeseni povečuje.
5. Vlažnost smrekovega lubja z enakih rastišč in v isti dobi leta je večja od vlažnosti jelovega lubja.

5.2 Spreminjanje vlage po sečnji

Poleg svežega lubja smo analizirali še lubje z oblovine ob cesti, na CMS, lubje na oblovinu v gozdu nekaj časa po sečnji, lubje po lupljenju na lupilnem stroju ipd.

Največjo vlažnost lubja — 56% smo ugotovili pri smreki 14 dni po sečnji in na hlo-dih izpod snega. Pri jelki je tak podatek 53% vlage. Namočeno jelovo lubje z odlagališča (nepokrito — izpod snega) je vsebovalo celo 55% vode. Sicer pa podatki kažejo, da v zimskem času lahko računamo z vlažnostjo lubja okoli 45%, če oblovi-na ni pod snegom, in nad 50%, če je pod snegom. S poskusom smo sledili tudi sušenju lubja na oblovinu po sečnji.

Spreminjanje vlažnosti kaže tale prikaz:

3. Preglednica: SUŠENJE LUBJA PO SEČNJI
Table 3: DRYING OF BARK AFTER CUTTING

Štev. vzorca	Drevesna vrsta	Analizirano primerkov	Datum in kraj vzetja vzorca	Povprečna vlažnost %	Razpon vlažnosti od — do %
1	JE	7	8,7 — ob sečnji	40,9	36 — 45
			22,7 — pri panju	36,8	32 — 43
			5,8 — ob cesti	25,4	19 — 34
			15,8 — na CMS	30,0	20 — 40
2	JE	4	13,8 — ob sečnji	41,6	39 — 44
			23,8 — pri panju	37,9	33 — 41
3	SM	3	13,8 — ob sečnji	40,3	36 — 44
			23,8 — pri panju	35,4	32 — 37

Iz analize spreminjanja vlažnosti lubja po sečnji lahko sklenemo tole:

1. Vlažnost lubja se po sečnji spreminja — kako pa je odvisno od okoliščin (temperatura, vlaga), v katerih je oblovina.
2. Ob suhem poletnem vremenu se lubje na oblovinu suši razmeroma hitro. V začetku se vlažnost zmanjšuje povprečno 2% na teden. Nadrobnejša analiza posameznih primerkov (debel) kaže, da je hitrost sušenja zelo različna. Pri tem nismo mogli ugotoviti kakšne zakonitosti, povezane z začetno vlažnostjo lubja. Kaže, da je hitrost sušenja zelo odvisna od lege posameznega kosa oblovine in od mikroklimi, ki ga obdaja. Ob spremenjenih okoliščinah se vlažnost lubja lahko celo poveča.
3. Ugotovljene spremembe so precej enake pri jelki in smreki.
4. Vlažnost lubja iz debel, ki so ležale pod snegom, je precej višja od tistih, ki so kopna. Ta vlažnost je večja kot pri svežem lubju.
5. Najvišje vlažnosti lubja — okoli 55% — smo ugotovili pri lubju na odlagališčih, če ga je namočil dež ali sneg.

6. KURILNOST LUBJA

Ugotavljali smo kurilnost svežega in povsem suhega lubja. Rezultati teh analiz so podani v 4. preglednici.

Preglednica 4: KURILNOST LUBJA

Table 4: THE FUEL VALUE OF BARK

Skupina vzorcev	Drevesna vrsta	Izvor lubja	Stanje lubja	Povprečna vsebnost vode%	Povprečna kurilnost MJ	Koeficient variabilnost KV %
1	SM	gozd — ob sečnji	sveže	46,2	8,859	12,1
			suho	0	18,631	1,7
2	JE	gozd — ob sečnji	sveže	39,5	10,446	3,9
			suho	0	18,922	1,7
3	JE	deponija	nesušeno	50,0	7,929	22,5
			suho	0	18,349	1,8

V preglednici vidimo:

1. Kurilnost (spodnja kurilna vrednost) svežega oziroma mokrega lubja se giblje v dovolj širokih okvirih 8 — 10,5 MJ (ali 1,900 — 2,500 Kcal.) za kilogram lubja. Kurilnost svežega lubja se precej spreminja, vzrok za to pa je vlažnost lubja.
2. Kurilnost povsem suhega lubja je pri smreki 18,63 MJ/kg (4,450 Kcal/kg), pri jelki iz gozda 18,92 MJ/kg (4,194 Kcal/kg), pri jelki z odlagališča pa 18,35 MJ/kg (4,382 Kcal/kg).
3. Spremenljivost kurilnosti suhega lubja je zelo majhna. Zato so navedene povprečne vrednosti zelo zanesljive.

V nadaljnji raziskavi smo ugotavljali značilnosti razlik v kurilnosti lubja in njihove vzroke. Iz dozdajšnjih raziskav je znano, da na kurilnost raznih goriv vplivata predvsem njihova kemična sestava in njihova vlažnost. Kemično sestavo različnega lubja in razlike v sestavi smo navedli v četrtem poglavju, vlažnost pa smo obdelali v petem. Vpliv kemične sestave in vlažnost lubja na ugotovljeno povprečno kurilnost lubja lahko povzamemo takole:

1. Povprečna vlažnost lubja v posameznih skupinah vzorcev, kjer smo ugotavljali kurilnost lubja, se ne razlikuje značilno. Vzrok je v veliki spremenljivosti vlažnosti in razmeroma majhnih vzorcih. Zato ne more značilno vplivati na njegovo kurilnost. Kljub temu smo ugotovili, da je razlika v kurilnosti svežega smrekovega in jelovega lubja značilna. Prav tako je značilna razlika med svežim jelovim lubjem in lubjem z odlagališča. Razlika v kurilnosti med smrekovim lubjem in jelovim z odlagališča, pa se je izkazala kot neznačilna.

Razlike v kurilnosti suhega lubja so vse značilne na zelo nizki stopnji tveganja. Vzrok za to je lahko njihova kemična sestava in vanjo štejemo tudi pepel. Iz analize vidimo, da že razmeroma majhna razlika v deležu ogljika (C), vodika (H) in žvepla (S) med svežim smrekovim in jelovim lubjem povzroča značilno večjo kurilnost jelovega lubja.

Kurilnost suhega jelovega lubja z odlagališča se razlikuje in je manjša od kurilnosti smrekovega in jelovega lubja iz gozda. Vzrok za to so različni deleži pepela ali gorljive snovi. Razlika nastaja zaradi umazanije na lubju in verjetno tudi že zaradi razgradnje (hidrolize) lubja; to kažejo razlike v kemični sestavi lubja.

Posebej nas je zanimala kurilnost lubja v odvisnosti od stopnje vlažnosti. V ta namen smo podatke analizirali s korelacijsko in regresijsko analizo. Poleg tega smo ugotavljali še vpliv količine pepela in deleža posameznih prvin.

6.1 Vpliv vlažnosti na gorljivost lubja

Vpliv vlažnosti lubja (W = je vsebnost vode v vlažnem lubju — v %) na kurilnost lubja (H) ponazarjata enačbi:

za smrekovo lubje:

$$H = 18,14 - 0,2009 W ; \quad I = 0.9868$$

za jelovo pa:

$$H = 19,1413 - 0,2222 W ; \quad I = 0.9922$$

Obe regresijski enačbi imata zelo visok korelacijski koeficient (I = indeks korelacije), tako da je zveza skoraj funkcijska. Enačbi kažeta, da se z vsakim večjim odstotkom vsebnosti vode kurilnost lubja zmanjša — pri smreki za 0,20, pri jelki pa 0,22 MJ (ali za okoli 50 Kcal). Regresiji se ne razlikujeta značilno. Zato smo izračunali tudi skupno regresijsko enačbo za vse vzorce. Uporabna je za prakso, kjer ponavadi ne razločujemo lubja posamezne vrste. Velja torej za lubje smreke in jelke. Poleg vlažnosti smo upoštevali tudi delež pepela (p v %), računana na težo svežega vzorca (surovega lubja). Enačba je:

$$H = 19,3247 - 0,2178 W - 0,1821 p ; R = 0,9944$$

Regresija se odlikuje s praktično funkcijsko (zelo tesno) zvezo med obravnavanimi količinami. Vidimo tudi, da za vsak odstotek večji delež pepela znižuje kurilnost lubja za 0,18 MJ ali za nekoliko manj kot enaka količina vode v lubju.

Na 1. diagramu smo prikazali spreminjanje kurilnosti lubja v odvisnosti od vsebnosti vode v lubju, v mejah, kot smo jih ugotovili z merjenjem vlažnosti lubja (W = 25 do 55%). Vidimo, da je kurilnost lubja pri vsebnosti vode 25% okoli 13,2 MJ, pri

vsebnosti vode 55% pa še vedno okoli 7 MJ. Pri vsebnosti vode 47% imata smrekovo in jelovo lubje enako kurilnost, in sicer 8,7 MJ. Pri manjši vsebnosti vode ima jelovo lubje večjo kurilnost, pri večji pa je nekoliko boljše smrekovo lubje.

Ugotovitve o neznajčilnih razlikah med regresijami kurilnosti smrekovega in jelovega lubja, v odvisnosti od vsebnosti vode, so nekoliko v nasprotju z ugotovitvami o visoko značilnih razlikah enakih količin pri povprečnih vrednostih. To nasprotje je mogoče pojasniti z različno intenzivnostjo (trendom) kurilnosti v zvezi s spremembo vlage pri smrekovem in jelovem lubju. Pri povprečjih smo ugotavljali ekstreme, in so razlike značilne. Z regresijsko analizo pa smo zajeli predel, kjer se vrednosti le malo razlikujeta (regresiji se sekata). Zato z našim razmeroma majhnim vzorcem nismo mogli dokazati značilnosti razlik med regresijami. Tudi zato je smotrno v praksi računati kurilnost s povprečnih vrednosti za jelovo in smrekovo lubje.

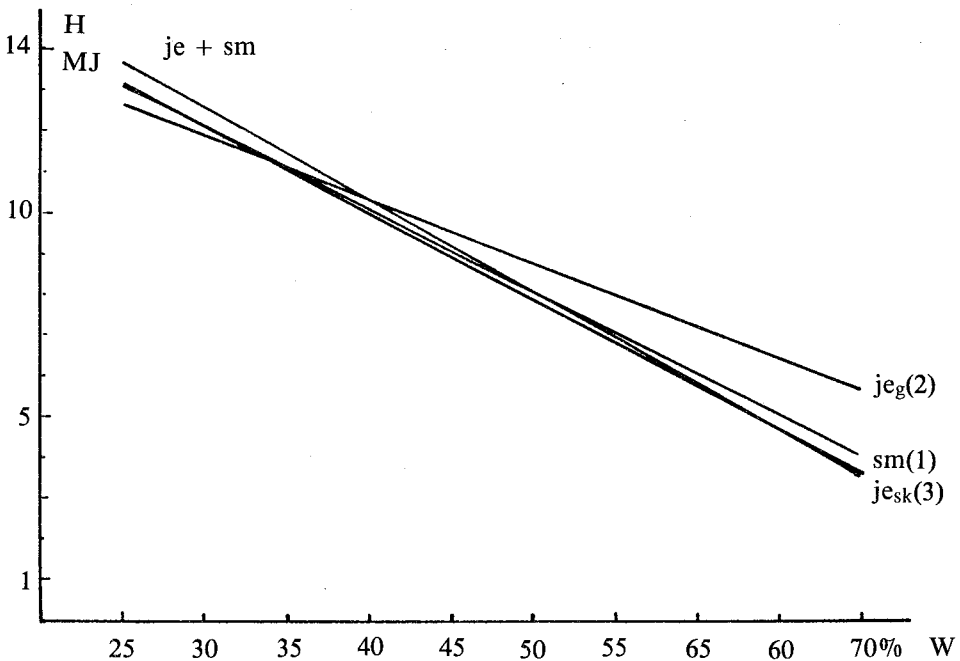


Diagram 1: KURILNOST SMREKOVEGA IN JELOVEGA LUBJA
Figure 1: THE FUEL VALUE OF SPRUCE AND FIR BARK

Poleg linearnih regresij in korelacij smo analizirali tudi krivuljne. Izkazujejo znatno višjo korelacijo, torej tesnejšo zvezo kot linearne. Zaradi razmeroma majhnega vzorca, ko manjkajo zlasti podatki o ekstremnih vrednostih zelo suhega (W okoli 15 — 20%) in mokrega (W preko 55%) lubja, pa je ekstrapolacija krivuljčnih regresij dvomljiva. V našem primeru kažejo krivuljne regresije prenizko kurilnost na

obeh koncih, pri nizki in visoki vlažnosti. V sredini, blizu povprečne vlažnosti, pa krivuljčne regresije izkazujejo višjo kurilnost od linearnih.

6.2 Vpliv kemične sestave lubja na njegovo kurilnost

Znano je, da je kurilnost trdih goriv odvisna od deleža gorljivih sestavin, zlasti vodika, ogljika in žvepla. Zato smo tudi mi poskušali poiskati medsebojne zveze. Analiza omogoča tele sklepe:

1. Na kurilnost lubja najbolj vpliva delež gorljivih snovi oziroma pepela.
2. Analize so pokazale, da delež ogljika ne vpliva na kurilnost lubja povsod tam, kjer smo v računu upoštevali delež pepela ali delež gorljivih snovi. Če pa smo iskali zveze le med gorljivimi prvinami in kurilnostjo, smo ugotovili le velik vpliv ogljika, nismo pa mogli ugotoviti značilnega vpliva deleža drugih prvin. Račun kaže, da vsak odstotni delež ogljika v kilogramu lubja prispeva 0,23 MJ toplotne energije.
Ugotovitve o vplivu deleža ogljika na kurilnost lubja so take zaradi majhne spremenljivosti deleža ogljika in pa močnih interakcijskih zvez.
3. Najmočnejši vpliv na kurilnost izkazuje delež vodika ali razlika med vodikom in kisikom ($H - O/8$). Analiza kaže, da vsak večji odstotek deleža vodika prispeva 1,17 MJ na kilogram lubja. Nekoliko več (1,36 MJ) prispeva h kurilnosti 1 kg lubja delež razlike med vodikom in kisikom ($H - O/8$).
4. Delež žvepla zmanjšuje kurilnost lubja. Vsak odstotek žvepla v lubju zmanjšuje njegovo kurilnost za 4,5 MJ pri kg lubja. Tudi ta pojav je mogoče razložiti le z interakcijo žvepla in drugih gorljivih prvin v lubju.
5. Vpliv pepela smo pojasnili že v prejšnjem poglavju. Večji delež pepela zniža kurilnost lubja, in sicer pri vsakem odstotku pepela za 0,18 MJ pri kilogramu lubja.
6. Vse našete ugotovitve se nanašajo na povprečje vseh vzorcev smrekovega in jelovega lubja.

7. RAZPRAVLJANJE

V literaturi je obilo podatkov o kurilnosti lesa, tudi lesa z lubjem, manj pa o lubju. Večina avtorjev v svojih razpravah za približno vrednotenje kurilnosti lubja uporablja kar podatke o povprečni kurilnosti lesa. Podatke o kurilnosti lubja navaja Makarovič (1978). So zelo blizu naših. Neusser (1981) navaja po Virtanenu kemično sestavo in kurilnost lubja za povprečje petih drevesnih vrst s Finskega. Po njihovih navedbah je v lubju približno 5% več ogljika, 0,1% manj vodika in dušika (skupaj), kot smo ugotovili mi. Navaja pa kurilnost za les v višini 19MJ (4 538 Kcal), za lubje pa celo 21 MJ (5 016 Kcal). Oboje je precej visoko. Pri nas ugotovljena kurilnost je kar za dobrih 11% nižja.

Kollmann (1951) je ugotovil enačbo za računanje kurilnosti lesa v odvisnosti od njegove vsebnosti vode ($H_u = 4500 - 51x$). Vrednost navaja v Kcal. Če jo preračunamo v novejšo enoto oziroma MJ, dobi obliko

$$H_u = 18,8406 - 0,2135 x, \text{ kjer je}$$

H_u = spodnja kurilna vrednost

x — vsebnost vode v lesu v %.

Primerjave z našimi ugotovitvami kažejo, da so koeficienti enačbe za smrekovo lubje nekoliko nižji od Kollmannovih, pri jelki pa neznatno višji. Regresija za smrekovo in jelovo lubje ob povprečnem deležu pepela ($p = 2,15\%$ v vlažnem lubju), ki izhaja iz naših raziskav, je

$$H_u = 18,1981 - 0,2178 W.$$

Vidimo, da Kollman računa le z $0,4\%$ nižjo povprečno kurilnostjo povsem suhega lesa (konstantni člen v enačbi) in z 2% nižjo konstanto za spremembo kurilnosti, za vsak odstotek spremembe vlažnosti (koeficient pri neodvisni spremenljivki).

Računanje kurilnosti lubja iz njegove kemične sestave po Dulangovi enačbi za trdo gorivo daje za približno 10% nižje rezultate, kot smo jih ugotovili v kolorimetrih.

Podobne so ugotovitve tudi s primerjavo drugih avtorjev (Bednar 1981, Markovič — po Makaroviču 1978, Tersch 1984 in drugih).

Iz povedanega lahko sklepamo:

1. Kljub razmeroma majhnemu vzorcu, ki je ustrezal namenu raziskave (pilotske študije), so ugotovljeni rezultati dovolj zanesljivi in jih lahko uporabljamo za vsa praktična preračunavanja.
2. Lubje je kot kurivo enakovredno lesu ali pa je celo boljše.
3. O lesu kot kurivu je veliko raziskav, povečini iz časov pred energetske blaginjo, ki jo je povzročila poceni nafta. Večina teh ugotovitev velja tudi za lubje. Najpomembnejše so ugotovitve o povezavi med kurilnostjo in vlažnostjo lesa ali lubja.

Naša raziskava je dala podatke o kemični sestavi in kurilnosti lubja. Ugotavljali smo tudi spreminjanje vlage v lubju s potekom časa po sečnji. Ti podatki so lahko samo orientacijski, vendar povedo veliko. Lubje na deblih in sortimentih se razmeroma hitro suši pa tudi dodatno navlaži, odvisno od okoliščin, v katerih je. Pojav nastaja zaradi higroskopičnosti lubja (in lesa), ki svojo stopnjo vlažnosti prilagodi vlagi v okolju, ki ga obdaja. Ugotovitve kažejo, da je vlažnost lubja na CMS in v deponijah velikokrat (lahko bi rekli celo praviloma) večja kot svežega lubja neposredno po sečnji. Kaj je vzrok za to?

Lubje, ki prihaja iz lupilnikom na CMS, je po svoji obliki in verjetno tudi po svojih drugih značilnostih še najbolj podobno sekancem (iverem). Njegovo "uskладиščenje" v deponije povzroča procese, ki sploh niso raziskani. Podobni so verjetno tistim v deponijah sekancev pri tovarnah celuloze, vlaknenih in ivernih plošč ipd. Ti so dobro raziskani in tudi pri nas (npr. Lenič idr. 1972). Tako poroča Neusser (1981), da se je vlažnost sekancev šest mesecev po uskladiščenju (od septembra) v notranjosti kupa zelo znižala, na površju kupa pa bistveno povečala v primerjavi z začetno vrednostjo.

Za praktično uporabo, kurjenje lubja so to zelo pomembni podatki. Zlasti pomembni so zaradi naslednjih dejstev.

1. Največ lubja se nabere poleti. To je tudi razmeroma suho. Uporabljamo pa ga predvsem pozimi, ko se potrebe po toplotni energiji povečajo. Lubje kot kurivo za ogrevanje prostorov že tako uporabljamo samo pozimi.
2. Cena lubja na trgu je razmeroma nizka. Zato dodatni izdatki za sušenje, transport ali morebitno predelavo (npr. v brikete) hitro dosežejo večidel prodajne cene. Zelo smotrno je, da pri uporabi lubja vlagamo čim manj dodatnih vložkov (inputov: energija, delo, denar). Najboljše je, če izrabimo le naravne sile (sonce), ter preprečimo njihovo škodljivo delovanje (dež, sneg), lubje pa uporabimo čim bližje kraja, kjer nastane, in v takšni obliki, v kakršni napada.
O vsem tem vemo razmeroma malo. Zato bi bilo nujno to raziskati. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo v Ljubljani to tudi že raziskuje.

Iz navedenih ugotovitev izhajajo tudi napotila za prakso. Pri tem so sicer velike omejitve. Določila o ravnanju z lesom v lubju razmeroma zelo omejujejo možnosti za ustrezno sušenje lubja. To v bistvu ni pomembno, saj ne moremo in najbrž tudi ne bi bilo smotrno izkoristku lubja podrediti vse tehnologije pridobivanja sortimentov. Kljub temu je še zmeraj veliko možnosti za ravnanje z lesom v lubju, zlasti še z lubjem po lupljenju, tako da bi ga lahko čim boljše ovrednotili kot kurivo. Raziskava bi morala najti najbolj smotrne poti k cilju.

Že zdaj pa lahko trdimo, da bi s pravilnim ravnanjem veliko prihranili. Zato bi morali uskladiščeno lubje vsaj pokriti in tako preprečiti, da bi ga namakala dež in sneg ter zmanjševala njegovo že tako nizko kurilnost.

Kako pomembno je lubje kot kurivo, ponazarja tudi tale primerjava: Slavič (1986) poroča o naslednji kemični sestavi in kurilnosti premoga iz Rudnikov lignita Velenje (izvoz Preloge in Pesje) in zasavskega kotlovca.

Sestavina	Preloge	Pesje	Zasavski kotlovec
vlaga %	36.34	40.12	18 — 21
pepel %	21.24	21.43	49 — 29
gorljiva snov %	42,41	38,45	35 — 50
kurilnost MJ/kg	9,44	8,21	7,8 — 12
skupno žvepla %	1,49	1,34	2,3 — 2,9

Primerjava gornjih števil z ustreznimi podatki za lubje nam daje dovolj dobro informacijo o uporabnosti lubja kot kuriva. Za komentar le tole: koliko dela in energije je potrebno, da spravimo premog iz podzemlja do kurišča in kakšne so posledice takega početja? Lubje pa je že ob lupilnikih na CMS.

7. POVZETEK IN SKLEPI

V Sloveniji je na voljo približno 180 000 ton lubja iglavcev na leto. Približno 100 000 ton se ga nabere ob lupljenju in dodelavi oblovine na centralnih mehaniziranih skladiščih. Ta količina je v bistvu že pripravljena za nadaljnjo uporabo. Z njo bi lahko nadomestili vsako leto približno 23 000 ton tekočih goriv, to je dobra polovica porabe kurilnega olja v slovenskih gospodinjstvih.

Lubje je uporabno za različne namene. V zadnjem času pa ga vse bolj uporabljajo kot kurivo. Pri tem ima v primerjavi z drugimi gorivi, zlasti premogom, prednost, ker je čisto. Njegova uporaba ne onesnažuje okolja, na voljo pa je ponavadi v krajih, kjer ni drugih energetskih virov. Zato smo raziskali kurilnost smrekovega in jelovega lubja v Sloveniji. Na vzorcih lubja iz dreves v gozdu, nadalje iz oblovine pri panju in ob kamionskih cestah ter skladiščih in končno z vzorci lubja iz lupilnika in z odlagališč lubja smo ugotavljali vlažnost v lubju, njegovo kurilnost in kemično sestavo. S statistično obdelavo smo ugotavljali vpliv vlažnosti in kemične sestave lubja na njegovo kurilnost ter preverjali značilnost razlik med značilnostmi smrekovega in jelovega lubja.

Raziskava je omogočila tele sklepe:

1. Kurilnost (spodnja kurilna vrednost) lubja je odvisna od vlažnosti lubja in se giblje v zelo širokih okvirih. Sveže lubje ima kurilnost 8 — 10 MJ/kg, popolnoma suho pa 18 — 19 MJ/kg (razpredelnica 4). Ugotovljene razlike med kurilnostjo smrekovega in jelovega lubja so značilne.

2. Odvisnost kurilnosti smrekovega in jelovega lubja (H — MJ/kg) od vsebnosti vode (W v %) in od količine pepela (p — v %) nam daje enačba

$$H = 19,3247 - 0,2178 W - 0,1821 p$$

Enačba se odlikuje z zelo tesno zvezo, praktično funkcijsko. Korelacijski koeficient je $R = 0,9944$.

Raziskava je pokazala, da razlike med regresijskima enačbama zveze med vlažnostjo in kurilnostjo smrekovega in jelovega lubja niso značilne (poglavje 6.1).

3. Kemična sestava jelovega lubja se razlikuje od smrekovega (poglavje 4). V jelovem lubju je nekoliko več ogljika (C) in vodika (H), manj pa pepela.

Kemična sestava lubja vpliva na njegovo kurilnost. Kurilnost se povečuje, čim več je ogljika in vodika, in zmanjšuje čim več je žvepla in pepela. V absolutno suhem lubju je žvepla (S) le okoli 0,05%.

4. Vlažnost lubja se spreminja in se prilagaja vlažnosti okolja. Vlažnost svežega lubja je v poletnih mesecih okoli $W = 40 - 42\%$, pozimi je lubje vlažnejše (preglednica 2). Po sečnji se lubje na oblovinci razmeroma hitro suši. Ob spremembi okolja pa se lubje lahko ponovno navlaži in vlažnost lahko preseže vrednosti v

svežem lubju. Največjo vlažnost lubja smo ugotovili v deponijah lubja. Tu je lubje praviloma vlažnejše kot pa sveže lubje ob sečnji.

5. Raziskava je pokazala, da je lubje primerno kurivo. Po svojih značilnostih je zelo podobno lesu. Kurilnost lubja in s tem tudi njegova uporabna vrednost pa je odvisna od tega, kako ravnamo z lubjem po lupljenju. Ugotovitve kažejo, da bi s primernimi postopki lahko pospešili naravno sušenje lubja ali pa vsaj preprečili njegovo namakanje.

O najprimernejših metodah sušenja in zlasti skladiščenja lubja pa vemo zelo malo. Zato jih bo treba odkriti.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The forests of Slovenia yield about 180,000 tons of bark annually. 100,000 tons of it is collected during the debarking process and the processing of round timber at the central mechanized lumber yards. This quantity is in fact already prepared for subsequent use. 23,000 tons of liquid fuels, or over one half of fuel oil consumption in Slovene households, could be replaced by this quantity of bark per year.

The bark is to put to different uses, but recently it is being used increasingly as fuel. The advantage of this source of energy over other types of fuel, namely coal, is that it is clean. Its use does not pollute the environment and it is available in areas where no other sources of energy exist. And this was the reason to undertake research of the fuel value of Slovenia's fir and spruce bark. The moisture content, fuel value, and chemical composition of the bark were established by examining samples taken from the trees in the forest, from the stump end of round timber, from the roadside of forest roads, lumber yards and also from the debarking machine and bark storage areas. Thanks to processed statistical data, the effects of moisture content and chemical composition of the bark on its fuel value were established. In addition, the characteristics of the differences between spruce and fir bark were studied.

The following conclusions were drawn from the study:

1. The fuel value (lower fuel value) of the bark depends on the bark's moisture content and varies considerably. Fresh bark has the fuel value of 8 to 10 MJ/kg, while completely dry bark yields 18 to 19 MJ/kg. The established differences between the fuel values of fir and spruce bark are significant.
2. The dependence of the fuel value of fir and spruce bark (H — MJ/kg) on water content (W in %) and on the amount of ash (p in %) is obtained by the following equation:

$$H = 19.3247 - 0.2178 W - 0.1821 p$$

This equation displays the advantage of a very close practical and functional relationship.

Its correlation coefficient is $R = 0.9944$.

The research paper indicates that the differences between the two regression equations of the relation of moisture content and fuel value of spruce and fir bark are not significant (Chapter 6.1).

3. The chemical composition of fir bark differs from that of spruce bark (Chapter 4). There is somewhat more carbon (C) and hydrogen (H) and somewhat less ashes in fir bark than in spruce bark.

The chemical composition of the bark affects its fuel value. The fuel value is directly proportional to carbon and hydrogen content and inversely proportional to sulphur and ash content. In completely dry bark, the sulphur content is about 0.05%.

4. The moisture content varies and adapts to ambient moisture content. The moisture content of fresh bark is about $W = 40 - 42\%$ in summer months, but in winter, the bark contains even more moisture. (Table 2). After tree cutting, the bark on round timber dries quite rapidly. But when relocated, the bark may absorb additional moisture and the moisture content may exceed that of fresh bark. The highest moisture content was recorded in bark storage areas. As a rule, here the bark is more moist than fresh bark at the moment of tree cutting.
5. The study indicated that bark is suitable to be used as fuel. Its characteristics are very similar to those of wood. And the fuel value of bark, and hence also its utility value, depends on how the bark is treated after debarking. Findings point to the fact that with suitable methods the natural drying process could be accelerated or at least the increase of bark's moisture content could be prevented. At present, however, little is known in the area of the most appropriate methods of drying and especially storing of bark. These still await discovery.

9. LITERATURA

- BEDNAR, H., 1981: Energie aus Holz, Allg. Forstzeitung 92: 234.
- HUMMEL, F., 1980: Energie aus Biomasse, Allg. Forstzeitschrift, s. 1337.
- KOLLMANN, F., 1951: Technologie des Holzes. München.
- LENIČ J. in dr., 1971: Ispitivanje nekih svojstava bukove sječke tokom skladištenja na slobodnom prostoru, Celuloza, papir, grafika, št. 3—4.
- LINK W., LÖFFLER H., 1981: Das projekt Biomasse, Emmelshausen Allg. Forstzeitschrift, s. 1249.
- MAKAROVIČ, S., 1978: Zgorevanje lubja na razgrebajoči poševni rešetki, rokopis. Pivka.
- MUSZYNSKI, Z., 1983: Die Nutzbarmachung von Rinde ein wichtiges Problem in Verlauf der Mechanisierung der Baumentrindung. Zbirka referatov. Zagreb.
- NEUSSER, H., 1981: Wieviel Energie liefert Holz ? Allg. Forstzeitung 92: 235.
- NOSSEK, E., 1981: Energie aus Holz- Wunschdenken oder Alternative ? Allg. Forstzeitung 92: 233.
- REBULA, E., 1982: Poročilo o kontrolnih meritvah na TOZD Bukovje. Rokopis. Postojna.
- REMIC, C., 1985: Stanje mehanizacije v izkoriščanju gozdov v SR Sloveniji ob koncu 1984. leta. Ljubljana.
- SCHMIDT, A., 1984: Energiesysteme auf Holzbasis, Allg. Forstzeitung 195: 268.
- SCHNEIDER, A., BAUMS, M., 1970: Wohin mit der Rinde, Stuttgart.
- SLAVIČ, F., 1986: Termoelektrarna Šoštanj in problematika okolja. Zbirka referatov FOREN. Ljubljana.
- SOYEZ, D., 1980: Waldenergie und energiewälder, Allg. Forstzeitschrift s. 1345.
- STANOVNIK, T., 1985: Raziskava možnosti razvoja energetike SR Slovenije do leta 2020. Poraba enerije v slovenskih gospodinjstvih. Institut za ekonomska raziskovanja. Ljubljana.
- TORSCH, F., 1984: Renaissance des Brennholzes oder neue Formen der Holzenergie ? Allg. Forstzeitung 95: 264.
- TURK, Z., LIPOGLAVŠEK, M., 1972: Volumni in težinski delež lubja glede na premer deblovine jelke, smreke in bukve v nekaterih območjih Slovenije, Ljubljana.
- TURK, Z., 1974: Mehanizirana obdelava oblovine iglavcev in njena ekonomičnost. Ljubljana.
- TURK, Z., 1976: Uporaba in uporabnost smrekovega in jelovega lubja, Gospodarski vestnik 34: 289.
- TURK, Z., 1982: Načini praktičnega obračunavanja lubja pri jelovi, smrekovi in in bukovi oblovinci, Gospodarski vestnik 40: 438.
- WELSER, P., 1984: Der praktische Weg zur energetischen Restholznutzung, Allg. Forstzeitung 95: 266.
- Mali šumarskotehnički priručnik. Zagreb 1949.
- Iskoriščavanje šumske biomase za energetiku. Zbirka referatov. Jugoslovenski poljoprivredni šumarski centar, Beograd 1982.