

# Matematički model za određivanje toplinske količine šumske biomase Mathematical

---

Sever, Stanislav; Horvat, Dubravko; Risović, Stjepan; Jakupović, Esad

Source / Izvornik: Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje: Annales pro experimentis  
foresticis editio peculiaris, 1993, 4, 305 - 313

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:081137>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-19**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood  
Technology](#)



STANISLAV SEVER, DUBRAVKO HORVAT, STJEPAN RISOVIĆ & ESAD JAKUPOVIĆ

## MATEMATIČKI MODEL ZA ODREĐIVANJE TOPLINSKE KOLIČINE ŠUMSKE BIOMASE

### MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINATION OF HEAT QUANTITY OF FOREST BIOMASS

Prispjelo: 29. XII 1992.

Prihvaćeno: 22. II 1993.

Na primjeru stanja u Švedskoj 1989. godine opisan je doseg u osiguranju toplinske i električne energije iz šumske biomase. Radi procjene energije s neke šumske površine izrađen je prijedlog matematičkog modela s više ulaza. Temelj programa čini glavni modul sa, u početku, još četiri potprograma. Prema potrebi se može povećati broj potprograma, kao i broj elemenata koji svaki od njih sadrži. Orijentacijski su potprogrami nazvani: srednje stablo, uvjeti sastojine, tehnologija i radna metoda. Da bi se provjerila primjenjivost modela, na malom su uzorku smreke (*Picea abies*) određene ovisnosti masa iglica/kore/drva/vode/krošnje, te mase stabla i panja. Uz ostale pretpostavljene podatke obračunat je sadržaj topline smrekove kulture.

**Ključne riječi:** matematički model, toplinski sadržaj, smrekova kultura

## UVOD – INTRODUCTION

Svijest o važnosti šumske biomase kao goriva u mnogim je zemljama usko povezana s općim razumijevanjem vlastite energetske situacije. Kao dvije krajnosti mogu se smatrati nerazvijene i visoko razvijene zemlje: u prvima je drvo jedan od temeljnih energenata s udjelom i preko 80% u ukupno utrošenoj energiji zemlje, a u drugima, koje imaju dovoljno drugih izvora energije, spoznaja o njihovoj vremenskoj ograničenosti poslije prve energetske krize 1973. godine potakla je sustavno povećanje udjela drva kao energenta i do 20% (Finska, Švedska).

I u Hrvatskoj se pokušavalo unaprijediti korištenje šumskoga ostatka ili, u određenim uvjetima, primijeniti tehnologiju iveranja u iskorištavanju šuma. Dio dobivenoga usitnjenog iverja služio je, osim u pretvorbi iz primarnoga u sekundarni nositelj energije, i u pretvorbi drvene tvari u druge pripreme (praoblike), izratke (radne oblike) ili u gotov proizvod (konačni oblik). U slučaju ciljane rušidbe, preradbe i dorade, ili nekoga drugog načina, iz primarnog oblika energije dobivaju se sekundarni oblici, npr. drveni ugljen, upojni plin, sječka, ugušćeno drvo i dr.

## PROBLEMATIKA I STRATEGIJA ISTRAŽIVANJA ISSUES AND STRATEGIES OF RESEARCH

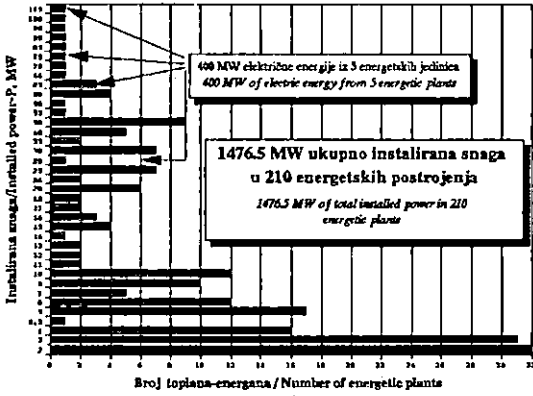
U zemljama koje su sedamdesetih godina krenule u sustavnu prilagodbu tehnologije i tehnike radi veće iskoristivosti poljoprivredne i šumske biomase za energetske potrebe prvobitno su određena sljedeća glavna područja primjene: (1) uvriježeno grijanje domaćinstava drvom; (2) gorivo drvo za okružne toplane; (3) sirovina za proizvodnju drvenih ploča i za industriju papira i celuloze, kao što je to za Dansku definirao B a d s g a a r d - J a n s e n (1988). Izuzev industrijsko drvo za treće područje korištenja te jednometarsko ogrjevno drvo, u Hrvatskoj se prvo krenulo u rješavanje tehnoloških i šumarskih inženjerskih pretpostavki dobivanja usitnjene biomase, ne radeći istovremeno na razvoju uvjeta za njezino korištenje. Izostala je i ostala šira činidba: tehnička i druga propisnost, poticajne financijske mjere, opće mjere racionalnoga ponašanja pri proizvodnji i korištenju energenata itd. U takve mjere spadaju i one koje zaštićuju okoliš potičući tzv. čistu energiju, kakve je npr. donijela Švedska 1: siječnja 1991 (H e k t o r & P a r r i k a 1990).

### Opći napuci i povijesni pregled proizvodnje iverja General remarks and history review of chips production

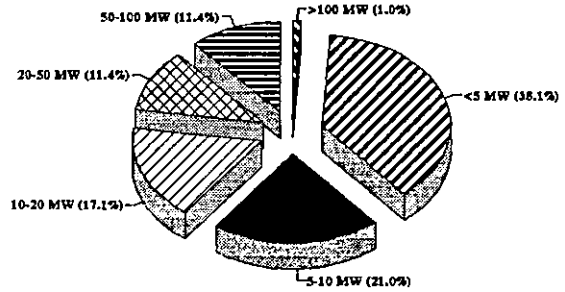
Normalno se šumska biomasa može smatrati obnovljivom, barem do trenutka dok uporaba ne prelazi znanu graničnu količinu koju određuju uzgojni, uređajni, gospodarski i dr. čimbenici. Prethodni radovi definirali su svojstvo usitnjene biomase s obzirom na vrstu drva, mokrinu, veličinu takva sipkog materijala i dr. O tome detaljno izvješćuje H a k k i l a (1988). Pritom je važno i poznavanje tehnika sortiranja biomase s obzirom na dalju uporabu, načine određivanja količine (obujamna, masena ...), proširenje spoznaja uređivanja šuma koje nije inventarizacijom obuhvaćalo svu šumsku biomasu i dr. Navedeni, a i mnogi drugi problemi doveli su do novih spoznaja i tehnologija, npr. zamisli o iskorištavanju cijeloga stabla i sl. Tako H a k k i l a (1988) iskazuje glavne sastavnice inventarizacije biomase: uključenje svih stabalâ i grmlja bez razmatranja vrsta, dimenzija i komercijalne vrijednosti; pridodano deblovinu također se određuju druge sastavnice biomase. Uvriježeno se mjerenjem određuje masa drvene tvari, svježa ili atro suha.

U Hrvatskoj su prvi pokusi iveranja drva započeli manjim iveračima koje su pogonili i nosili poljoprivredni traktori (npr. BRUKS 850M), zatim se pokušalo vučenim iveračem kakav je bio TPS 1220/3, a konačno se prešlo na visoko proizvodne nošene iverače na forvarderima poput stroja BRUKS 800 CT (S l a b a k 1983.) i dr. Može se ustvrditi da je radni postupak usitnjavanja, prometanja i premetanja iverja u potpunosti riješen što se tiče tehnoloških, energetski i drugih inženjerskih osnova unutar šumarstva.

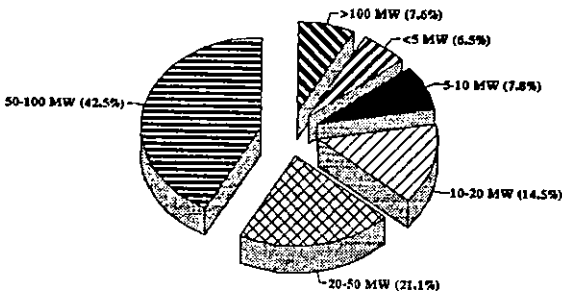
Primjer razvoja kroz gotovo 20 godina prikazan je na primjeru Švedske (N i l s s o n 1990). Iz podataka navedenoga izvora prikazano je na slici 1. tamošnje stanje toplana-energana na drvo 1989. godine. Od ukupno 210 energetskih postrojenja ukupne instalirane snage blizu 1500 MW 400 MW su i proizvođači električne energije. Različit je udio toplinskih postrojenja prema njihovoj snazi (slika 2); najveći je postotak (38,1%) postrojenja manjih od 5 MW, što je i logično s obzirom



Sl. - Fig. 1. Toplane na drvo u Švedskoj (stanje 1989. godine)  
 Wood energy plants in Sweden (state in 1989.)



Sl. - Fig. 2. Udio šest grupa toplinskih postrojenja u njihovu ukupnom broju  
 Portion of six thermal plants group in its total number



Sl. - Fig. 3. Udio snaga šest grupa toplinskih postrojenja u ukupnoj instaliranoj snazi  
 Power part of six thermal plants in total installed power

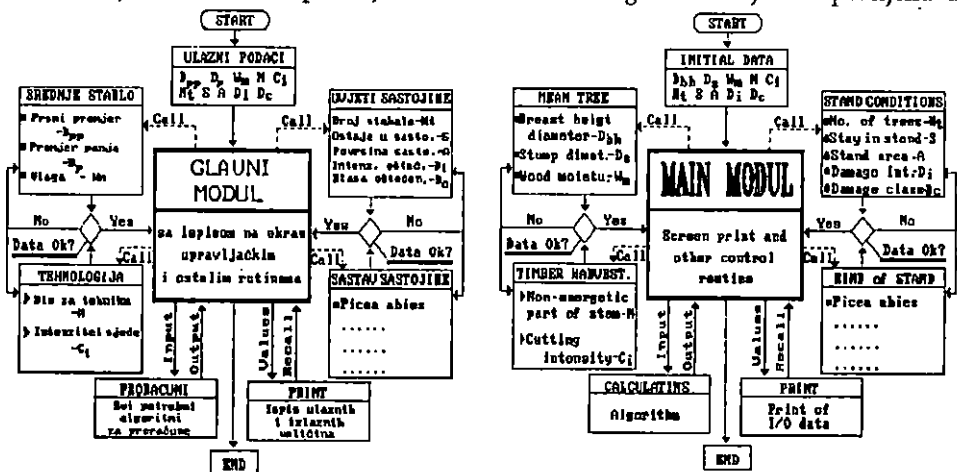
na smještaj manjih energetske jedinice blizu izvora biomase. Neznatan je udio postrojenja snage preko 100 MW (1,0%). U ukupnoj je instaliranoj snazi drukčiji odnos. 42,5% je energana snage od 50 do 100 MW, dok je onih ispod 5 MW tek 6,5% (slika 3).

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA – RESEARCH RESULTS

Poznati su mnogi rezultati istraživanja problema korištenja šumske biomase, od kojih, posljednjih godina, mnogi nastoje prigodnim matematičkim modelima obraditi dio problema, npr. Ernston (1988), Kipping & Schneider (1988), Baker & Ragland (1988), Jakupović (1991), Hudson i dr. (1991), Anon. (1991), Horvat i dr. (1991), Hektor & Parrika (1991) i dr. Ovisno o ciljevima istraživanja i svrha modeliranja je različita: jednom se propituje gospodarska podobnost nekog postupka, jednom sastavnice proizvodnoga slijeda ili pak moguća toplinska energija dobivena iz šumske biomase. U razmatranom se slučaju krenulo od određenoga broja činitelja mogućeg dobivanja biomase te ustanovljena *kolikoće topline* kao rezultata proračuna.

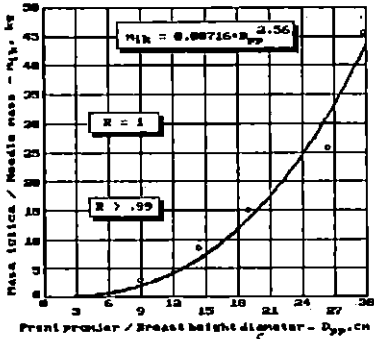
### Sastavak modela – Concept of the model

Izloženi model u svom početku uz ulazne podatke u glavnom modulu i uz sve potrebne kontrolne postupke u programu sadrži nekoliko potprograma s kojima se povezuje glavni modul. U njima je obuhvaćeno znanje ekologa, uzgajivača, poznavatelja svojstava drva, tehnologa iskorištavanja šuma, termodinamičara i dr. Samim ustrojstvom modela moguća je njegova širidba na nova područja (nove potprogramme) ili na unesene zahtjeve u njima. Algoritam matematičkog modela KOŠUBI (Korištenje šumske biomase) s prikazom mogućeg povezivanja glavnog modula s potprogramima za jednu inačicu ispisan je u tablici 1. Uz moguću inženjersku primjenu u

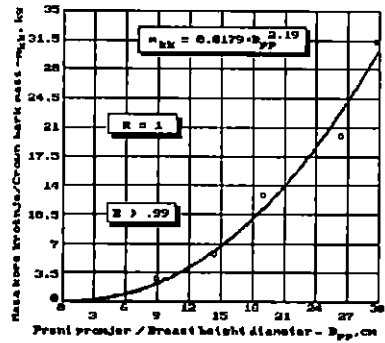


Tablica 1. Algoritam matematičkog modela KOŠUBI (Korištenje šumske biomase). Spoj glavnog modula s potprogramima

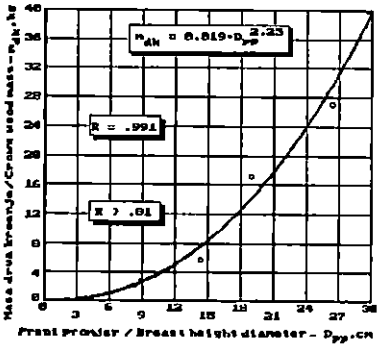
Table 1. Algorithm of mathematical model UOFOB (Utilization of Forest Biomass). Connection of main module with subprograms



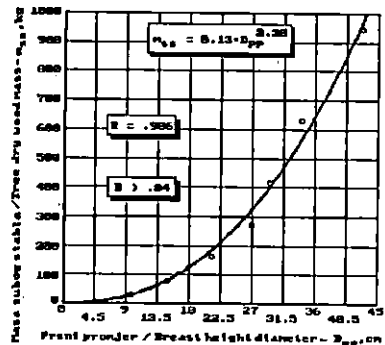
Sl. - Fig. 4. Masa iglica krošnje u ovisnosti o prsnom promjeru (*Picea abies*)  
Needle mass of *Picea abies* versus breast height diameter



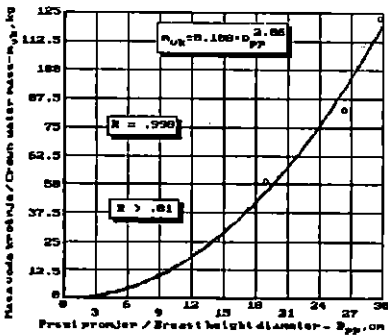
Sl. - Fig. 5. Masa kore krošnje u ovisnosti o prsnom promjeru (*Picea abies*)  
Crown bark mass (*Picea abies*) versus breast height diameter



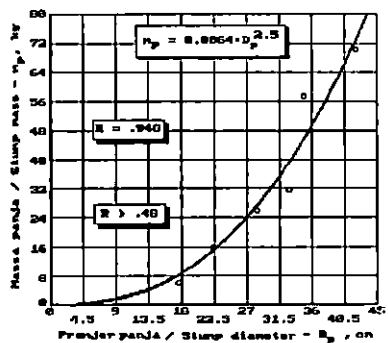
Sl. - Fig. 6. Masa drva krošnje u ovisnosti o prsnom promjeru (*Picea abies*)  
Crown dry wood mass of *Picea abies* versus breast height diameter



Sl. - Fig. 8. Masa drva suhog stabla u ovisnosti o prsnom promjeru (*Picea abies*)  
Wood mass of dry whole tree versus breast height diameter (*Picea abies*)



Sl. - Fig. 7. Voda u krošnji drva u ovisnosti o prsnom promjeru (*Picea abies*)  
Crown water versus breast height diameter (*Picea abies*)



Sl. - Fig. 9. Masa drva panja u ovisnosti o promjeru panja (*Picea abies*)  
Wood mass of stump versus stump diameter (*Picea abies*)

produktivni složeni model svakako ima i svoju uljudbenu zadaću. To je dijelom bilo razlogom da se promatraju sastavnice stabla (deblo, vrh, folijarni dio, granjevina, panj i dr.), a i to da se upravo masa (težina) predlaže za iskaz iznosa tvari koje sudjeluju u obračunu kolikoće topline.

Da bi se provjerila zamisao modela, na temelju maloga uzorka smreke (*Picea abies*) utvrđene su korelacije masa sastavnica stabala i prsnog promjera te promjera panja. Takve sveze unijete u model za neku drugu vrstu, uz ostale druge ulazne podatke, omogućuju svekoliku primjenu modela. Sve je to nužno za određenje energijskog potencijala nekog odjela ili površine obrasle šumskim drvećem. Od mnogih poznatih mogućnosti odabrana je tzv. metoda srednjega ulaznog stabla zbog njezine česte uporabe u šumarskim djelatnostima. Za oštećenja dijelova drveća zbog mnogih uzroka uzeta je Brelohova & Kirchova (1989) klasifikacija u grupe 0-4 (v. Hakkila 1989).

Da bi se uskladila postojeća suprotnost između šumskoga ostatka kao primarnog izvora energije, s jedne strane, te izvora dušika, zaštitnika tla od erozije i gaženja, s druge strane, ali i mnogih drugih posljedaka, u model je uključeno ograničenje postotka iznošenja ostatka. Na taj se način biomasa promatra kao dio šumskoga ekosustava, utjelovljeni dio šume i šumarstva, u čiji tek dio spada i moguće dobivanje energije. Za zrele sastojine četinjača preostala biomasa iznosi oko 30%, a za listače 35%. U mnogim slučajevima degradiranih šuma, ranih proreda i čišćenja ti su postoci mnogo veći.

Na slikama 4, 5, 6, 7, 8. i 9. prikazane su utvrđene regresijske ovisnosti između sastavnica biomase i vode o prsnom promjeru i promjeru panja. Nakon unosa u model svih jednadžbi i izabranih ostalih veličina proračun kolikoće topline ispisan je poput onoga u tablici 2. Rezultat je iskazan u kombiniranoj jedinici MJ/ha za neku jediničnu ploštinu ili kao ukupna kolikoća za promatrani slučaj (GJ). Budući da je model rađen uz određene pretpostavke, u njega su unijete i definicije, ograničenja i dr. sastavnice koje olakšavaju rad i koje ga čine pouzdanim.

KOŠUBI - Korištenje šumske biomase  
Utilization of Forest Biomass

PRORAČUN ENERGIJE RASPOLOŽIVE BIOMASE ŠUMSKE SASTOJINE  
ESTIMATION OF FOREST STAND AVAILABLE BIOMASS ENERGY

● ZNAČAJKE SREDNJEGA SASTOJINSKOG STABLA  
MEAN TREE STAND CHARACTERISTICS

Prsni promjer Breast height diameter	30 cm
Promjer panja Stump diameter	40 cm
Mokrina drva (u odnosu na suhu tvar) Wood moisture (vs. dry matter)	45 %

● ZNAČAJKE SASTOJINE  
STAND CHARACTERISTICS

Jedinični broj svih stabala Unit number of all trees	100 ha <sup>-1</sup> (pcs/ha)
Jedinični broj stabala smreke Unit number of Picea abies trees	100 ha <sup>-1</sup> (pcs/ha)
Dio biomase koja ostaje u sastojini Part of biomass staying in stand	15 %
Procjena oštećenja Damage estimation	0 %
Klasa oštećenja Damage class	0

● PRIDOBIVANJE DRVA  
TIMBER HARVESTING

Dijelovi debla za tehniku Non-energy producing part of stem	100 %
Intenzitet sječe Cutting intensity	40 %

● ENERGIJA  
ENERGY

CIJELO STABLO  
COMPLETE TREE

	Svježa drvna tvar Fresh mass kg	Energija Energy MJ
A) Krošnja Crown		
Granjevina Branches	83	635
Folijarni dio Foliage	91	697
Kora Bark	63	482
Ukupno Total	237	1815
B) Deblo Stem		
Ukupno Total	453	5375
C) Panjevina Stump		
Ukupno Total	107	1269
D) Cijelo stablo Complete tree		
Ukupno Total	797	8459

● JEDINIČNA ENERGIJA BIOMASE SASTOJINE UNIT STAND BIOMASS-ENERGY	287606 MJ/ha
● JEDINIČNA RASPOLOŽIVA ENERGIJA UNIT AVAILABLE BIOMASS ENERGY	72606 MJ/ha
● UKUPNA RASPOLOŽIVA ENERGIJA ZA 1 ha ŠUMSKE POVRŠINE TOTAL AVAILABLE ENERGY FROM 1 ha OF STAND AREA	72606 GJ

Tablica 2. Ispis rezultata proračuna raspoložive energije biomase modelom KOŠUBI

Table 2. Printed result of estimation of forest stand available biomass energy from UOFOB



## ZAKLJUČCI- CONCLUSIONS

Šuma kao uvjetno obnovljiv izvor biomase može biti trajnim izvorom gorivoga drva – primarne energije. Samo svekoliko proučavanje takva izvora može promicati njegovo korištenje. Matematički su modeli tek jedan od načina koji omogućuju valjane zaključke o integralnom upravljanju šumskom biomasom.

Računalom podržani model KOŠUBI za određivanje energijskoga potencijala šumske biomase, osim za obrazovne svrhe, može biti brzo pomagalo pri donošenju proizvodnih odluka, posebno kada se u njega ugrade realni čimbenici šumske proizvodnje.

## LITERATURA – REFERENCES

- A n o n n., 1991: Harvesting decision support system. Proceedings of a Conference on Bioenergy Supply Systems, Bergen, p.p. 12.
- B a a d s g a a r d - J a n s e n, J., 1988: New Danish machine concept. Proceedings of IEA/BE Conference Production, storage and utilization of wood fuels, Uppsala, p. 44-48
- B a k e r, A. J., & K. W. R a g l a n d, 1988: A model of chunkwood combustion. Proceedings of IEA/BE Conference Production, storage and utilization of wood fuels, Uppsala, p. 216-225.
- E r n s t s o n, M. L., 1988: Mathematical modelling of transport processes and degradation reactions in piles of forest fuel material. Proceedings of IEA/BE Conference Production, storage and utilization of wood fuels, Uppsala, p.p. 1-17.
- H a k k i l a, P., 1989: Utilization of residual forest biomass. Springer Verlag, Berlin, p. 568.
- H e k t o r, B., & M. P a r r i k a, 1990: Model for raw material balance for forest fuels in Sweden. Poster on 18<sup>th</sup> IUFRO World Congress, Montreal.
- H o r v a t, D., E. J a k u p o v i ć, I. K n e ž e v i ć, & S. S e v e r, 1991: Mathematical model for estimating energy content in forest biomass. (UFB – Utilization of forest biomass). Proceedings of a Conference on Bioenergy Supply Systems, Bergen, p. 152-167.
- H u d s o n, J. B., C. P. M i t c h e l l, & P. G. S t o r r y, 1991: Costing integrated harvesting systems. Proceedings of a Conference on Bioenergy Supply Systems, Bergen. p.p. 13.
- J a k u p o v i ć, E., 1991: Metodologija energijske bilance za biomasu. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, doktorska radnja, str. 202 + 250.
- K i p p i n g, J. E., & M. H. S c h n e i d e r, 1988: Moisture changes in particulate wood fuels during storing and drying. Proceedings of IEA/BE Conference Production, storage and utilization of wood fuels, Uppsala, p. 13-38.
- N i l s s o n, P. O., 1990: Wood energy plants in Sweden. Poster on 18<sup>th</sup> IUFRO World Congress, Montreal.
- S l a b a k, M. 1983: Tehnologija iveranja u svijetu i kod nas. Mehanizacija šumarstva 8 (7-8); 193-204.

STANISLAV SEVER, DUBRAVKO HORVAT, STJEPAN RISOVIĆ & ESAD JAKUPOVIĆ

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINATION OF HEAT QUANTITY OF FOREST BIOMASS

*Summary*

The paper discusses the principles of a mathematical model for evaluation of the energy potential of the forest biomass. Out of a number of theoretically different aspects to mathematical modelling of the biomass in terms of its energy use, a method has been chosen whereby the different factors can be analyzed and calculated. For the UOFOB (Utilization of Forest Biomass; Croatian: KOŠUBI) program a structure has been chosen with one main module and number of subprograms; after the initial input data, we arrive into the main module with writing on screen with all necessary routines. Starting from this module, the designed subprograms are chosen; in our case: mean tree, stand conditions, technology and work method. While the first subprogram 'average tree' contains the values known in forestry, the model requires additions of moisture and stump diameter, the subprogram 'stand conditions' acquires among other things ecological restrictions essential in the use of forest biomass for the purpose of producing energy. The percentage of the felled wood mass remaining in the forest, the degree of damage, etc are thus calculated. The reasons for choosing the modelled calculation method result from the routine methods of forest inventory, making management plans, etc.

Together with the restrictions initially defined while establishing the UOFOB model, statistical procedures are used to determine the dependencies of many values by means of regression equations, physical laws and otherwise.

The described concept of mathematical model enables, besides the known input data, fast determination of energy balance for a felling area of a natural stand, culture or plantation at routine management methods suitable for Central Europe.

The checking of the model has been done on a small sample of common spruce (*Picea abies*), thus the given example also refers to these results. For any other case the known practical data determined through management or research should be applied to the suggested model. The results may help at fast decisions on how appropriate the forest biomass is to be used in generating energy. The suggested model system enables its widening by new subprograms or their component parts, which increases its applicability.