

2021

Raport științific

elaborat în cadrul Contractului
12221/22.09.2021

Beneficiar: INGKA INVESTMENTS FOREST ASSETS S.R.L.

Colectivul de autori: Prof. dr. ing. Florin DINULICĂ (director),
Prof. dr. ing. Vasile Răzvan CÂMPU (membru),
Conf. dr. ing Aureliu Florin HĂLĂLIȘAN (membru)
Universitatea Transilvania din Brașov
20/10/2021



Secțiune	Capitol	Pag.
1	Măsurarea lemnului de foc	2
2	Lemnul: material combustibil	6
3	Influența umidității lemnului asupra calității lui combustibile	12
4	Produsele poluante ale combustiei	27
5	Îmbunătățirea performanțelor energetice ale lemnului de foc	32
6	Recomandări pentru alegerea lemnului de foc	37
7	Referințe bibliografice	39

Măsurarea lemnului de foc

| 2

În standardul național specific³⁴, prin lemn de foc se înțelege sortimentul de lemn brut, fasonat din lemn de rășinoase și de foioase, sub formă de:

- lemn de steri;
- buturi greu despicabile;
- crăci în snopi;
- crăci în grămezi.

În prezent, pe lângă sortimentul de lemn de steri, lemnul de foc se comercializează fasonat și la alte dimensiuni: lemn de foc cu lungimea de 2 și 3 metri și lemn de foc despicat, cu lungimi mai mici de 1 m. Prin urmare, în raportul de față, referitor la măsurarea lemnului sunt analizate sortimentele de lemn de foc, menționate anterior, destinate consumului casnic, pentru încălzirea locuințelor.

Măsurarea lemnului de foc fasonat în steri

În prezent, unitatea de măsură folosită în gestiunea lemnului de foc fasonat sub forma lemnului de steri este metrul cub. În practica silvică, în comercializarea lemnului de foc, apare nevoia trecerii de la volumul real de lemn, exprimat în metri cubi, la **volumul spațiat**, așezat în stive și exprimat în **metri steri**. Această trecere din metri cubi în metri steri și invers, se face prin intermediul a doi factori de transformare care se determină experimental, numiți **factor de cubaj** și **factor de așezare**. Cercetările efectuate la noi^{13, 14, 15, 16, 61} au condus la determinarea factorilor de cubaj medii pentru sortimente de lemn fasonate la lungimi de un metru (Figura 1), valorile determinate fiind folosite și astăzi în practica silvică. Astfel pentru sortimentul de lemn de foc, foioase tari, fasonat și așezat în steri factorul de cubaj mediu este 0.62 (factorul de așezare corespunzător fiind de 1.61).



Figura 1. Lemn de foc fasonat în steri

Lemnul de steri este alcătuit din piese nedespicate (rondine) și piese despicate (lobde) având dimensiuni standardizate³⁴:

- rondina – lungime $1\text{ m} \pm 5\text{ cm}$, diametru cuprins între 5 și 25 cm;
- lobdă – lungimea $1\text{ m} \pm 5\text{ cm}$, lățimea maximă a feței cuprinsă între 5 și 30 cm.

Măsurarea lemnului de foc fasonat la 2 și 3 m lungime

În ultimul timp, au apărut sortimente de lemn de foc cu lungimi de 2 și 3 m, fapt ce a generat unele probleme în ceea ce privește măsurarea cantităților de lemn. Aceste sortimente de lemn de foc sunt formate din piese rotunde, fasonate din trunchiurile arborilor subțiri (cu diametre, în general, sub 20 cm) și din lemnul de crăci provenit din coroanele arborilor. Cercetările întreprinse^{7, 8, 10} au condus la determinarea factorilor de cubaj pentru sortimente de lemn de foc cu lungimea de 2 și 3 metri (Tabelele 1 și 2).

Tabel 1. Lemn de foc cu lungimea de 2 m

<i>Sortiment dimensional</i>	<i>Factorul de cubaj mediu</i>	<i>Factorul de așezare</i>	<i>Metoda folosită</i>
Carpen, 11 cm	0,52	1,92	Xilometrică
Fag, 7 cm	0,35	2,86	Xilometrică
Fag, 13 cm	0,62	1,61	Xilometrică
Fag, 18 cm	0,67	1,49	Xilometrică
Stejar+gorun, 10 cm	0,54	1,85	Xilometrică
Stegar și gorun, 13 cm	0,61	1,64	Xilometrică
Stejar și gorun, 15 cm	0,65	1,54	Xilometrică
Molid, 19 cm	0,71	1,41	Xilometrică

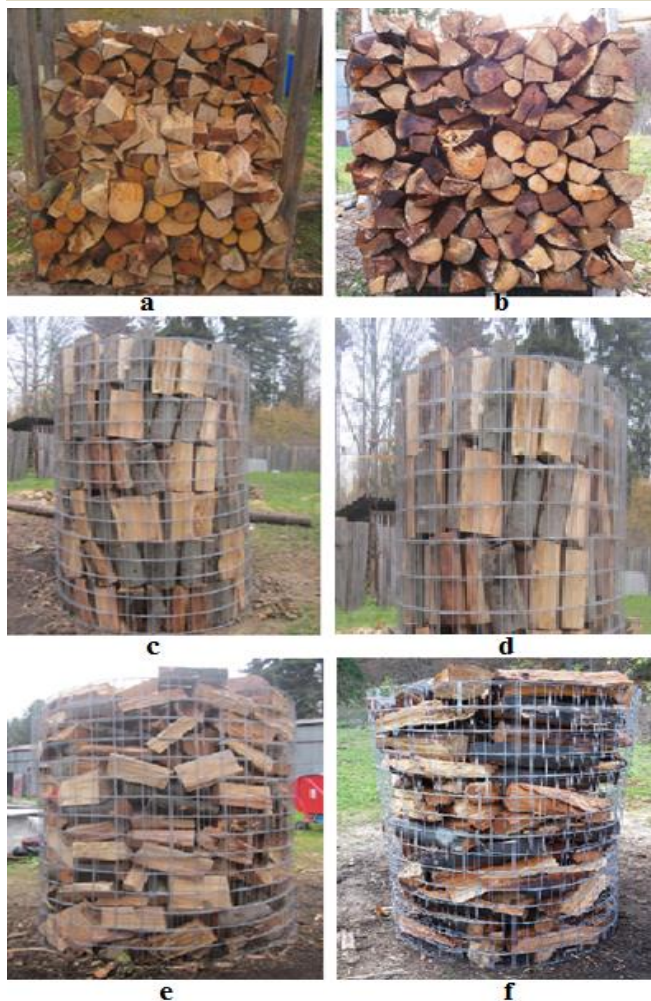
Tabel 2. Lemn de foc cu lungimea de 3 m

<i>Sortiment dimensional</i>	<i>Factorul de cubaj mediu</i>	<i>Factorul de așezare</i>	<i>Metoda folosită</i>
Carpen, 11 cm	0,53	1,89	Xilometrică
Fag, 10 cm	0,54	1,85	Xilometrică
Fag, 14 cm	0,54	1,85	Xilometrică
Fag, 17 cm	0,63	1,59	Xilometrică
Stejar+gorun, 10 cm	0,45	2,22	Xilometrică
Stegar și gorun, 13 cm	0,57	1,75	Xilometrică
Stejar și gorun, 15 cm	0,61	1,64	Xilometrică
Molid, 16 cm	0,69	1,45	Xilometrică
Molid, 23 cm	0,65	1,54	Xilometrică

Măsurarea lemnului de foc pachetizat

Apariția unor tehnologii noi de pachetizare (palet, figuri cilindrice) - Figura 2, în cadrul cărora volumul net de lemn din pachetele rezultate este dificil de estimat, a impus determinarea factorilor de cubaj pentru sortimente de lemn de foc cu lungimi mai mici de 1 m⁹ (Tabelul 3).

Figura 2. Lemn de foc pachetizat cu lungimi mai mici de 1 metru⁹



paleți de 1,05 x 1,2 x 1,1 m, cu 4 rânduri de piese cu lungimea de 25 cm (fig. 2a); paleți de 1,05 x 1,2 x 1,1 m, cu 2 rânduri de piese cu lungimea de 50 cm (fig. 2b); figuri cilindrice ($\emptyset = 1,20$ m, înălțimea 1,50 m) cu piese de 25 de cm lungime așezate vertical în 6 rânduri suprapuse (fig 2c); figuri cilindrice ($\emptyset = 1,20$ m, înălțimea 1,50 m) cu piese de 50 de cm lungime așezate vertical în 3 rânduri suprapuse (fig. 2d); 3 figuri cilindrice ($\emptyset = 1,20$ m, înălțimea 1,50 m) cu piese de 25 de cm lungime, în care lemnul este aruncat (fig. 2e); 3 figuri cilindrice ($\emptyset = 1,20$ m, înălțimea 1,50 m) cu piese de 50 de cm lungime, în care lemnul este aruncat (fig. 2f).

Tabel 3. Factorul de cubaj și de așezare pentru lemnul de foc pachetizat cu lungimi de 25 și 50 cm⁹

Forma de pachetizare/Specificații	Numărul de piese	Factorul de cubaj (f_c)	Factorul de așezare (f_a)	Metoda folosită
Lemn de fag despicat cu lungimea de 25 cm				
Palet/ piese despicate	477	0,60	1,67	Xilometrică
Figuri cilindrice/piese despicate aruncate	415	0,55	1,82	Xilometrică
Figuri cilindrice/piese despicate așezate verical	477	0,64	1,56	Xilometrică
Lemn de fag despicat cu lungimea de 50 de centimetri				
Palet/lemn de fag despicat	214	0,65	1,54	Xilometrică
Figuri cilindrice/piese despicate aruncate	175	0,47	2,13	Xilometrică
Figuri cilindrice/piese despicate așezate verical	214	0,58	1,72	Xilometrică



Măsurarea lemnului de foc prin intermediul masei volumice aparente

Cantitățile de lemn expediate din pădure și măsurate în metri cubi sau metri steri, sunt recepționate, uneori, în depozite, la beneficiari, prin cântărire, cu indicarea masei volumice aparente (densitate sau greutate cum sunt întâlnite în lucrările de specialitate de la noi din țară) exprimată în t/m^3 sau kg/m^3 . STAS 2340-80³⁴ prevede ca livrarea cantităților de lemn de foc să se facă pe bază de masă. De asemenea, pentru evaluarea costurilor și consumurilor de combustibili, la colectare și transport importantă devine unitatea de masă³⁸. Din cauza unităților de măsură diferite și a transformărilor efectuate apar diferențe între cantitatea de masă lemnoasă expedită și cantitatea de masă lemnoasă recepționată. Apare astfel necesară determinarea umidității lemnului.

Lemnul: material combustibil

Lemn pentru energie



Arderea lemnului este una din cele mai vechi surse de energie utilizate de om⁵⁶. Pentru o mare parte din populație, lemnul rămâne combustibilul cel mai uzual (Figura 3), greu de concurat prin preț și disponibilitate⁵⁰. În România, 3.48 mil. locuințe erau încălzite cu lemn de foc în 2009, care consumau în medie 5.5 tone lemn/an³². Cererea de lemn de foc a crescut cu 188000 m³ în fiecare an³³.

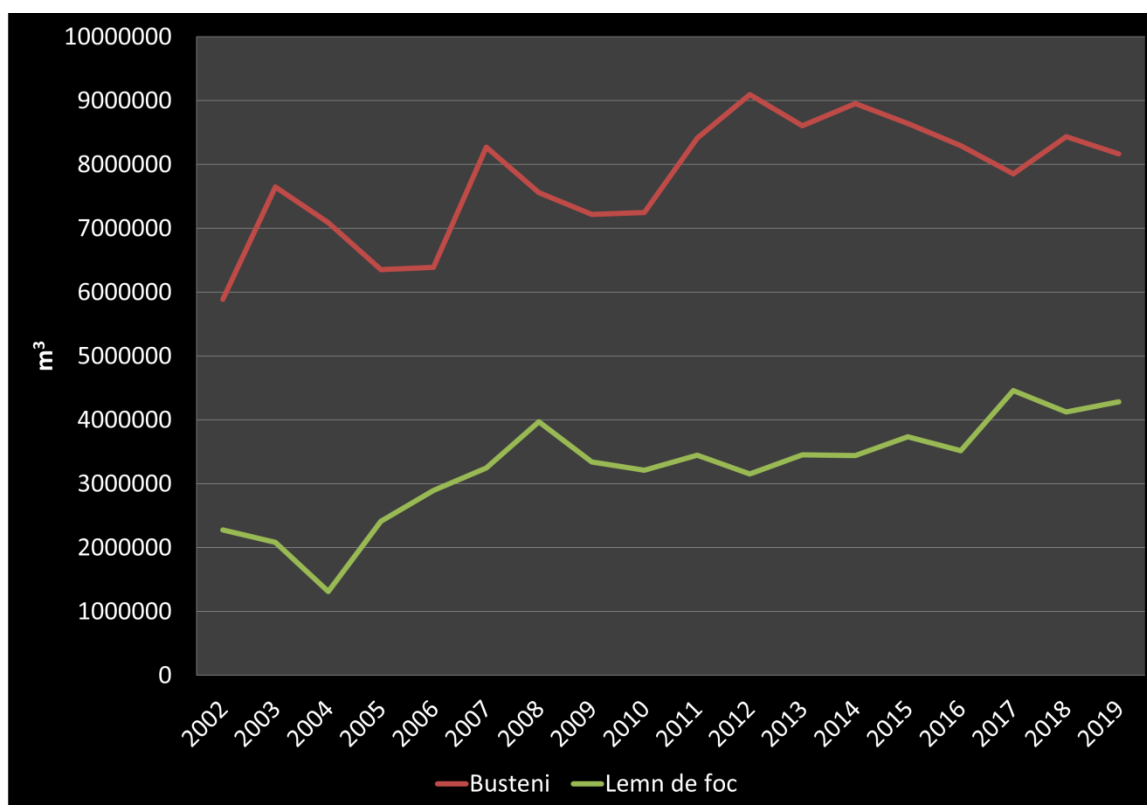


Figura 3. Evoluția consumului de lemn de foc în România în comparație cu producția de lemn rotund industrial în ultimii ani

Popularitatea lui a crescut odată cu preocupările pentru protejarea mediului prin reducerea emisiilor cu efect de seră, care au orientat cererea de energie către resursele regenerabile. Cantitatea de dioxid de carbon și alte gaze cu efect de seră eliberate în atmosferă prin arderea lemnului este de 10 ori mai mică decât la arderea combustibililor fosili (Tabelul 4) și poate fi reținută în totalitate prin fotosinteză de vegetația existentă⁶⁶.

| 7

Tabel 4. Consumul energetic și emisiile de gaze cu efect de seră la arderea unor combustibili pentru obținerea de căldură²³

<i>Sistem de încălzire cu ...</i>	<i>Consumul de energie neregenerabilă (% din energia totală necesară pentru producerea de căldură)</i>	<i>Emisii de gaze cu efect de seră (kg/MWh)</i>
lemn de foc (10 kW)	3.7	19.3
așchii de lemn (50 kW)	7.8	26.0
așchii de lemn (1 MW)	8.6	23.9
biomasă de plop energetic (50 kW)	10.4	40.2
peleți (10 kW)	10.2	29.4
peleți (50 kW)	11.1	31.9
ulei ars (10 kW)	17.3	318.9
ulei ars (1 MW)	19.0	325.4
gaz petrolier lichefiat (10 kW)	15.0	276.5
gaze naturale (10 kW)	14.6	251.2
gaze naturale (1 MW)	17.7	257.7

Întrebuințat în condiții de eficiență energetică ridicată, lemnul este cu adevărat prietenos față de mediu.

În comparație cu alte materii prime regenerabile (cum sunt cele provenite din agricultură), lemnul prezintă rezerve durabile și disponibile practic oricând,

recoltele sunt stabile, iar achiziția de carbon, prin produsele în care este încorporat, este mai consistentă și mai îndelungată³⁰.

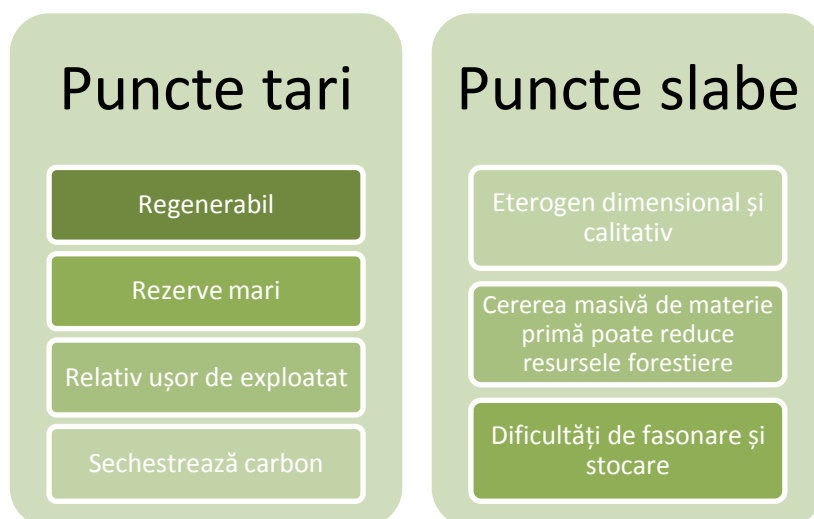


Figura 4. Avantajele și dezavantajele lemnului ca materie primă pentru energie

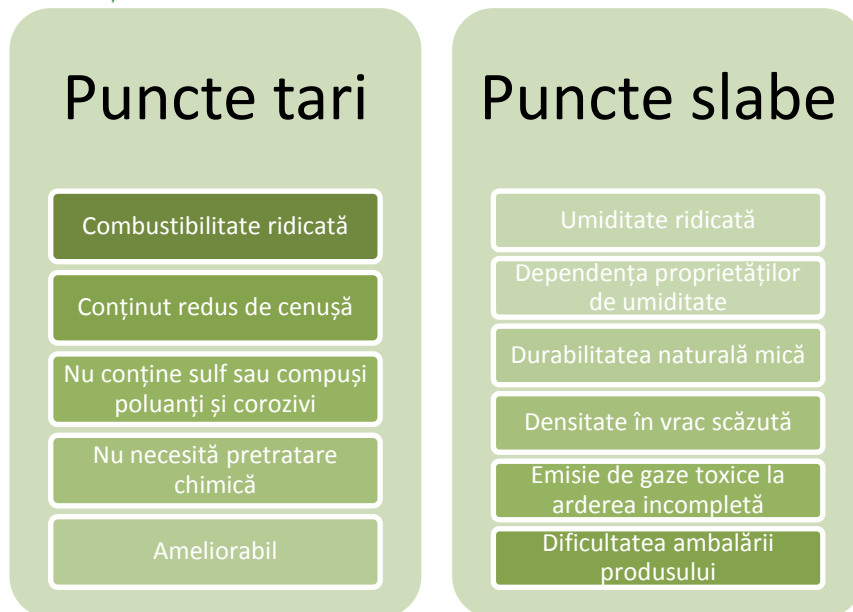


Figura 5. Avantajele și dezavantajele lemnului ca material pentru combustie

Pentru că lemnul nu conține sulf, nu întreține acidifierea ploilor cauzată de sulfuri.

Lemnul este un polimer organic puternic oxigenat (50 % carbon, 44 % oxigen), motiv pentru care performanțele lui calorice rămân inferioare combustibililor fosili.

Concret, valoarea calorică a lemnului uscat este 2/3 din cea a cărbunelui (Tabelul 5). Conținutul mare de apă este neproductiv la arderea lemnului, o cantitate deloc de neglijat din căldura potențială fiind consumată la evaporarea apei.

Tabel 5. Valoarea calorică a unor combustibili ^{29, 47, 67, 70}

Combustibil	Puterea calorică superioară (kcal/kg)
Petrol	10500-11700
Cărbune	6350-23000
Turbă	4700-5200
Cetină	4900-5100
Lemn	4000-5400
Peleți din lemn	4500-4700
Brichete din lemn	4500-4700

Pretratarea termică a materialului, torefierea, brichetarea și paletizarea sunt soluții pentru îmbunătățirea calității combustibilului lemnos, care în plus aduc beneficii considerabile mediului, prin valorificarea resturilor poluante de la prelucrarea lemnului.

Cea mai mare a lemnului de foc este supusă combustiei directe în camere de ardere, care produc energie prin flacără și prin gazele fierbinți de ardere⁴¹. Energia este destinată în primul rând (80 %) preparării/încălzirii hranei și încălzirii spațiilor de locuit, iar în al doilea rând (20 %) producerii de electricitate. Instalațiile care utilizează energia biomasei eliberată prin ardere sunt: arzătoarele, cuptoarele, boilerele, generatoarele, motoarele cu combustie internă, turbinele și celulele cu combustibil⁴¹.

Cum se apreciază calitatea combustibilului lemnos ?

Performanţele energetice ale unui combustibil sunt demonstrate de puterea lui calorică, sunt determinate de conţinutul în materii volatile şi cenuşă, şi sunt condiţionate de umiditate. Judecând după aceste criterii, lemnul este un combustibil de putere calorică mijlocie şi densitate energetică mică⁷¹.

Puterea calorică este cel mai important indicator al calităţii combustibilului. Evident, este o deosebire de mărime între căldura care ar putea fi degajată în condiţii controlate şi fără pierderi (puterea calorică superioară, căldura *potenţială*) şi *căldura utilă* (recuperabilă, efectivă). O parte din căldură se consumă la încălzirea aerului de combustie pentru evaporarea apei (de fapt, apa din combustibil, la care se adaugă vaporii de apă rezultaţi din arderea hidrogenului), altă parte se pierde prin gazele arse. La bilanţul căldurii, în procesul de ardere, la căldura proprie combustibilului se adaugă căldura volatilelor.

Puterea calorică a lemnului se poate măsura (direct) cu ajutorul unei instalaţii numite calorimetru (bombă calorimetrică) sau estima, folosind relaţii de calcul în care intervine compoziţia chimică sau umiditatea acestuia²².

Ce lemn alegem pentru foc ?

Puterea calorică a lemnului lipsit cu desăvârşire de apă (numit lemn anhidru, lemn cu umiditate zero) nu diferă esenţial de la o specie la alta; la utilizarea energetică industrială a lemnului, diferenţele calorice între esenţele forestiere sunt practic neglijabile. O oarecare superioritate calorică o dovedeşte lemnul uscat de răşinoase (Figura 6), explicată de prezenţa răşinii (răşina are o putere calorică de 1.6-2 ori mai mare decât lemnul) şi conţinutul mai mare în lignină. În calculele inginereşti se operează cu următoarele valori medii ale puterii calorice inferioare: 21000 kJ/kg, pentru răşinoase, respectiv 20000 kJ/kg, pentru foioase⁶.

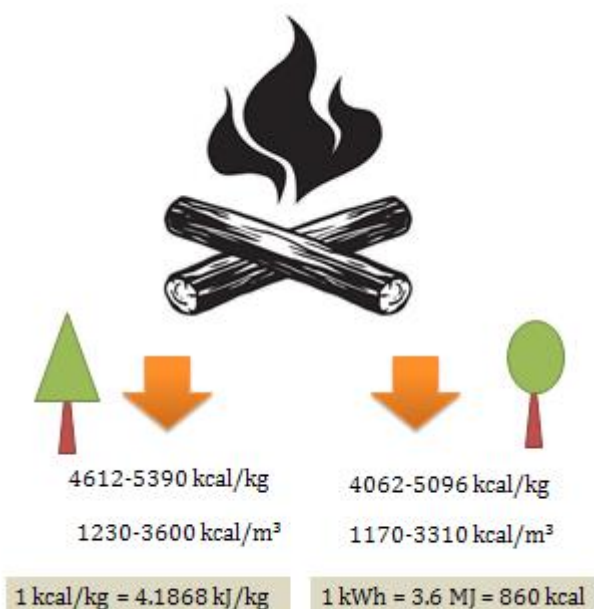


Figura 6. Valori de referinţă ale puterii calorice a lemnului de foc masiv pentru grupele de specii

Deci, 1 kg de lemn de răşinoase oferă ceva mai multă căldură decât aceeaşi cantitate de lemn de foioase, dar într-un volum de circa două ori mai mare. La producerea de căldură pentru încălzirea locuinţelor, este mai practică exprimarea căldurii degajate în raport cu volumul lemnului – proprietatea se numeşte **putere calorică relativă**²² sau **densitate calorică**²⁹, exprimate în kcal/m³ sau MJ/m³. Această mărime reflectă contribuţia densităţii substanţei lemnoase la cantitatea de căldură degajată de lemn¹⁷. Densitatea lemnului accentuează diferenţele calorice între specii (Figura 7).

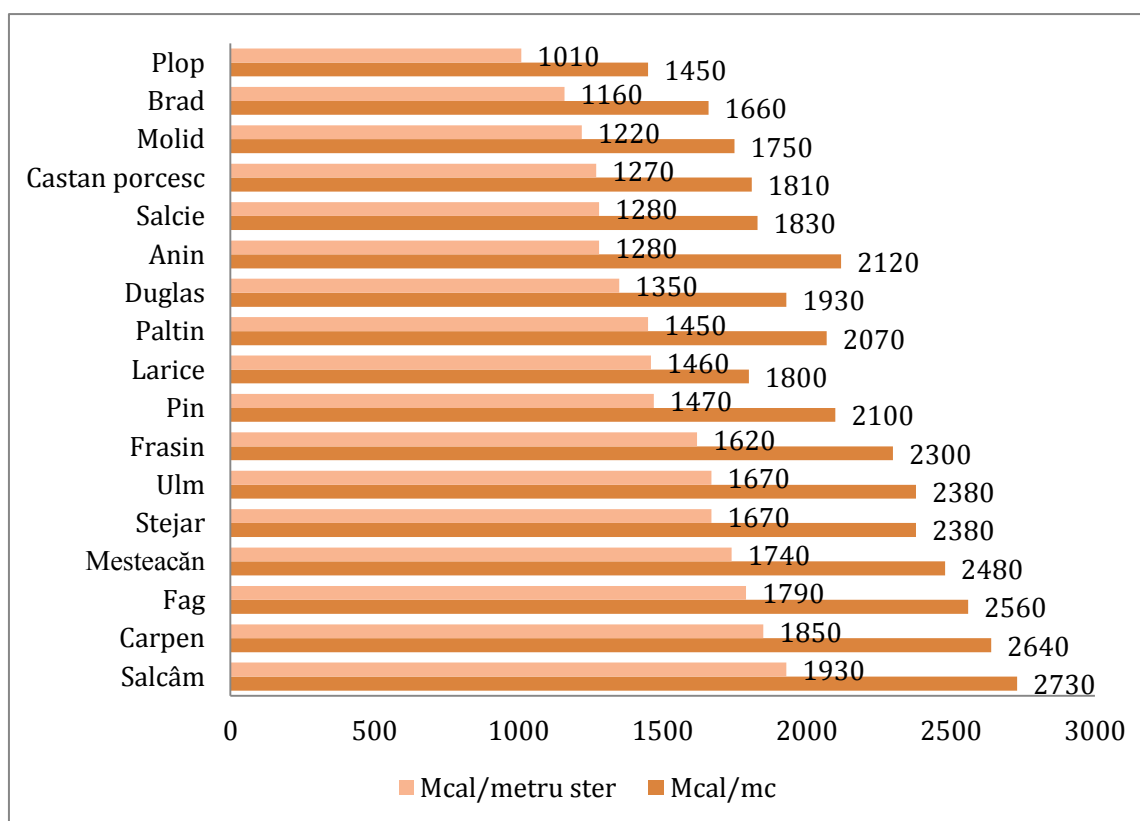


Figura 7. Variaţii cu specia a puterii calorice relative a lemnului de foc verde ²²

Este lemnul din coroană un combustibil mai slab decât lemnul din trunchi ? Reţinerea pe care mulţi consumatori o au faţă de **lemnul de foc din coroană** (Figura 8) nu este justificată – umiditatea ridicată a lemnului ramurilor fiind singurul impediment. În schimb, densitatea mult mai mare a lemnului din ramuri, precum şi conţinutul mai mare în lignină şi substanţe extractibile⁴⁵, fac din lemnul coroanei un combustibil mai bun, prin puterea calorică mai mare (Tabelul 6).

Tabel 6. Distribuţia mărimii puterii calorice nete (kJ/kg) la nivelul componentelor arborilor ³¹

Specia	Arborele întreg	Fusul cu coajă	Fusul fără coajă	Coaja	Coroana
Molid	19290	19020	19050	18800	19770
Pin silvestru	19520	19330	19310	19530	20230
Mesteacăn	19300	19170	18650	22610	19700
Anin alb	19180	19000	18670	21570	20030
Plop tremurător	18650	18650	18670	18570	18610



Figura 8. Lemn de foc de fag din coroană

Ce efect are coaja asupra calităţii combustibilului lemnos ?

Puterea calorică a cojii este ceva mai mare decât cea a lemnului (Tabelul 6). În schimb, coaja oferă la ardere mai multă cenuşă decât lemnul⁶: 2-10 % pentru coaja răşinoaselor şi foioaselor moi, comparativ cu 0.2-0.8 % din lemn²⁹. Coaja verde încetineşte arderea şi creşte masa balastului organic. Dacă se optează pentru esenţele de lemn de foc cu volum mare de coajă, cum sunt: salcia, pinul negru, stejarul, cerul, gârniţa, ulmul²⁶, se va ţine cont de contribuţia cojii la arderea lemnului.

Influenţa umidităţii lemnului asupra calităţii lui combustibile

Dependenţa proprietăţilor energetice ale lemnului de foc de umiditate

De ce apa din lemn este un impediment la combustie? Apa cauzează o mulţime de neajunsuri la combustia materialului lemnos⁷¹:

1. O parte importantă din căldura potenţială a combustibilului se pierde la îndepărtarea conţinutului de apă (620 kcal consumaţi pentru fiecare kg de apă).
2. Evaporarea apei din combustibilul lemnos micşorează temperatura cuptorului, frânând combustia completă şi, reducând astfel eficienţa energetică a arderii.
3. Lemnul verde se aprinde şi arde greu.
4. Umiditatea condensează.
5. Umiditatea favorizează depunerea de gudron pe coş şi burlane.

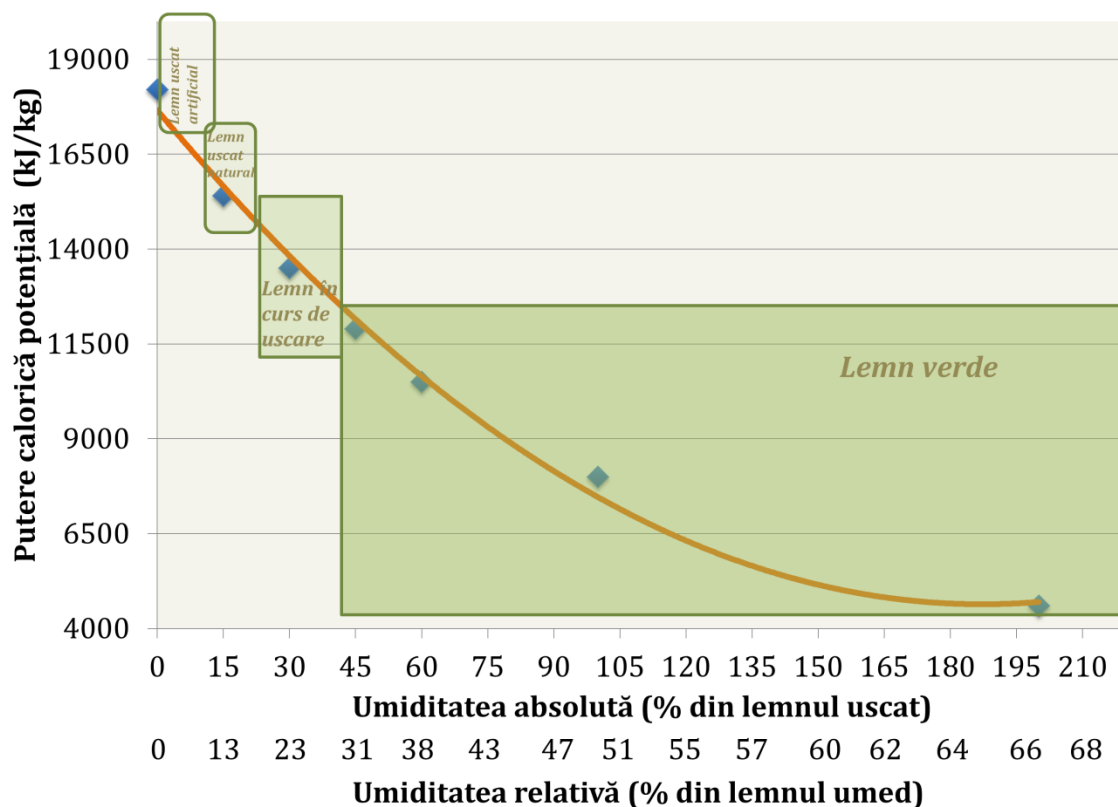


Figura 9. Dependenţa puterii calorice potenţiale a lemnului de foioase de umiditatea combustibilului

Legătura între conţinutul de apă al lemnului şi însuşirile energetice ale acestuia. Puterea calorică scade proporţional cu creşterea conţinutului de apă al lemnului (Figura 9). Pentru ansamblul esenţelor lemnoase se recunoaşte o descreştere cu 40-60 % a puterii calorice la lemnul verde faţă de lemnul anhidru¹⁷.

Cu creşterea umidităţii, creşte şi diferenţa între cantitatea de căldură potenţială (care ar putea fi degajată) şi căldura utilă (care este efectiv degajată), adică scade eficienţa combustiei (Figura 10). Reducerea umidităţii lemnului de foioase de la 60 % (lemn verde) la 15 % (lemn uscat natural), de pildă, aduce un câştig energetic de 4400 kJ/kg, adică un plus de 1050 kcal pentru fiecare kilogram de lemn ars.

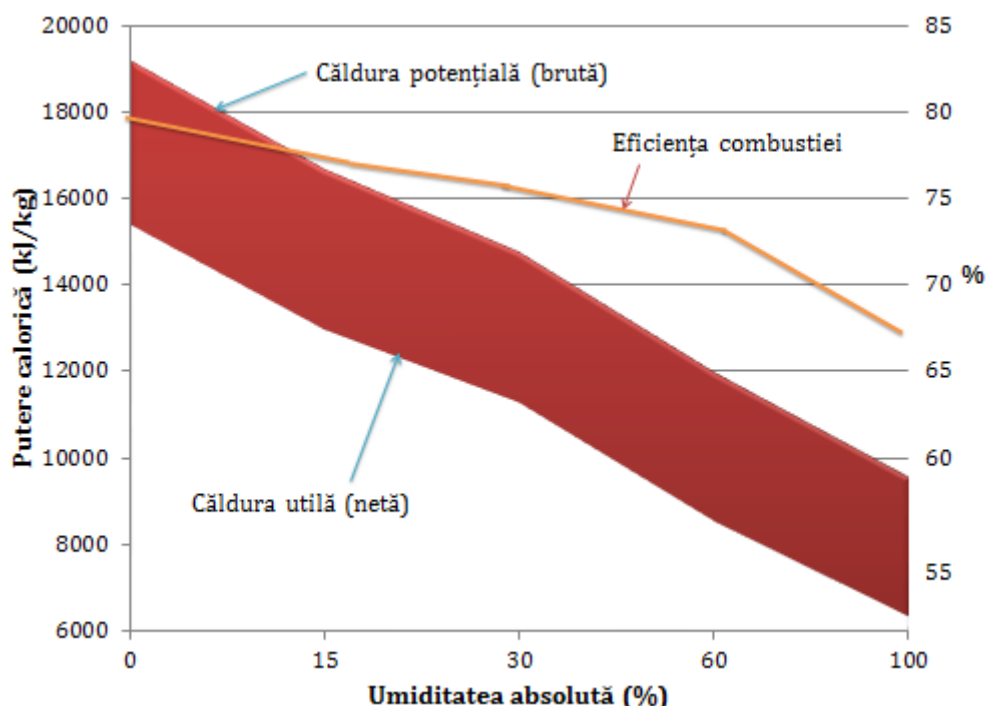


Figura 10. Eficienţa combustiei în raport cu umiditatea lemnului

Figurile 9 și 10 prezintă valori medii rezultate din studii efectuate în afara țării. În Tabelul 7 se poate urmări dependența de umiditate a însuşirilor calorice pentru esenţele lemnoase de interes economic la noi, așa cum au rezultat din determinări experimentale efectuate în România²⁹.

Tabel 4. Proprietăţile energetice ale lemnului de foc din România în funcţie de umiditatea acestuia²⁹

Specia lemnului	Umiditatea absolută (%)	Umiditatea relativă (%)	Puterea calorică inferioară (kJ/kg)	Viteza de ardere (kJ/min)	Randament energetic (%)
Brad	0	0	18622	589	100
	10	9	16883	398	98
	20	17	14897	322	95
	50	33	8939	215	71
Molid	0	0	19476	715	100
	10	9	17833	457	99



	20	17	15904	417	97
	50	33	10115	304	77
Larice	0	0	18906	372	100
	10	9	17015	346	98
	20	17	15124	277	95
	50	33	9100	164	71
Pin silvestru	0	0	21676	760	100
	10	9	19660	562	98
	20	17	17340	423	95
	50	33	10378	368	71
Stejar	0	0	18336	394	100
	10	9	16618	386	98
	20	17	14668	363	95
	50	33	8816	193	71
Cer	0	0	19078	487	100
	10	9	17288	474	98
	20	17	15261	340	95
	50	33	9178	206	71
Fag	0	0	19051	478	100
	10	9	16639	475	96
	20	17	13930	310	81
	50	33	5801	153	45
Carpen	0	0	18268	463	100
	10	9	16558	402	98
	20	17	14613	380	95
	50	33	8776	228	71
Salcâm	0	0	18785	412	100
	10	9	16219	454	94
	20	17	13417	395	86
	50	33	5011	185	40
Frasin	0	0	18370	536	100
	10	9	15987	524	94
	20	17	13285	518	77
	50	33	5179	153	41
Cireş	0	0	19499	433	100
	10	9	17665	407	98
	20	17	15598	395	95
	50	33	9395	229	71
Paltin	0	0	18336	487	100
	10	9	16618	443	98
	20	17	14668	423	95
	50	33	9166	199	74
Mesteacăn	0	0	18034	405	100
	10	9	16377	390	98
	20	17	14426	381	94

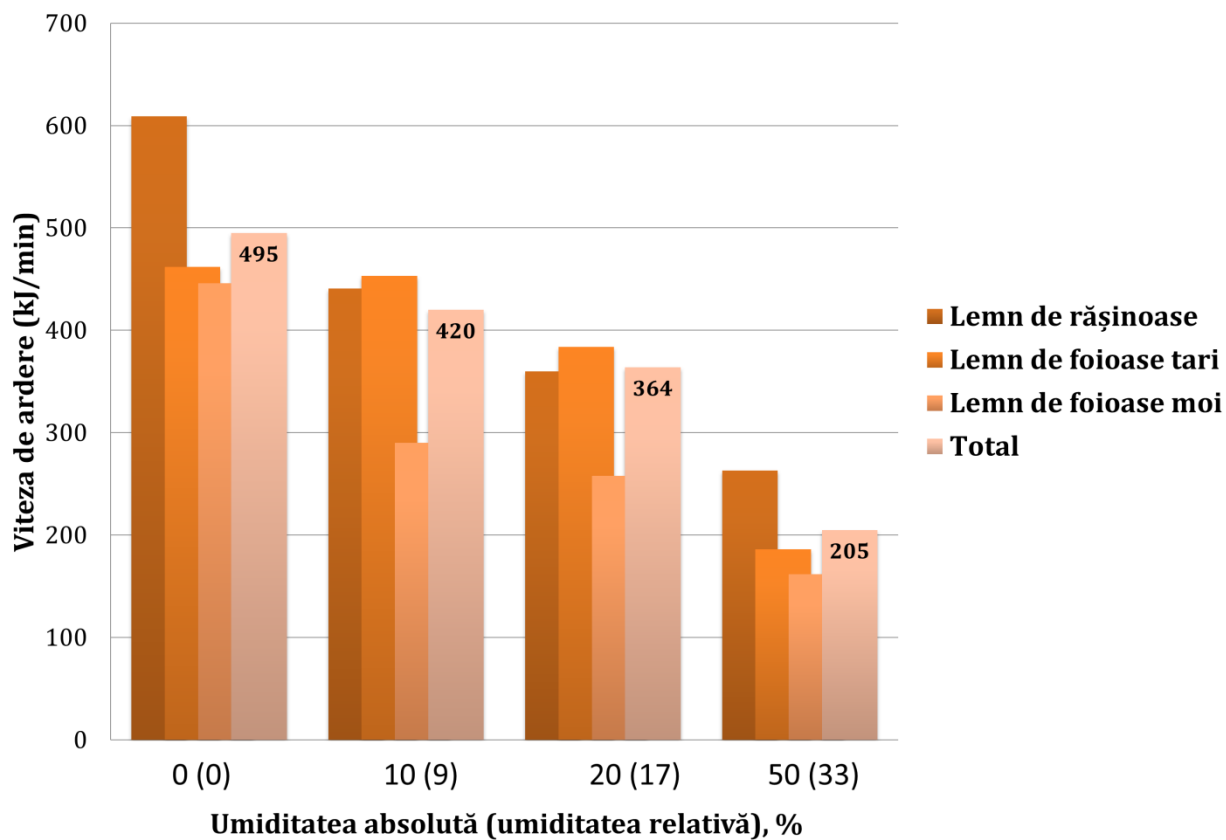
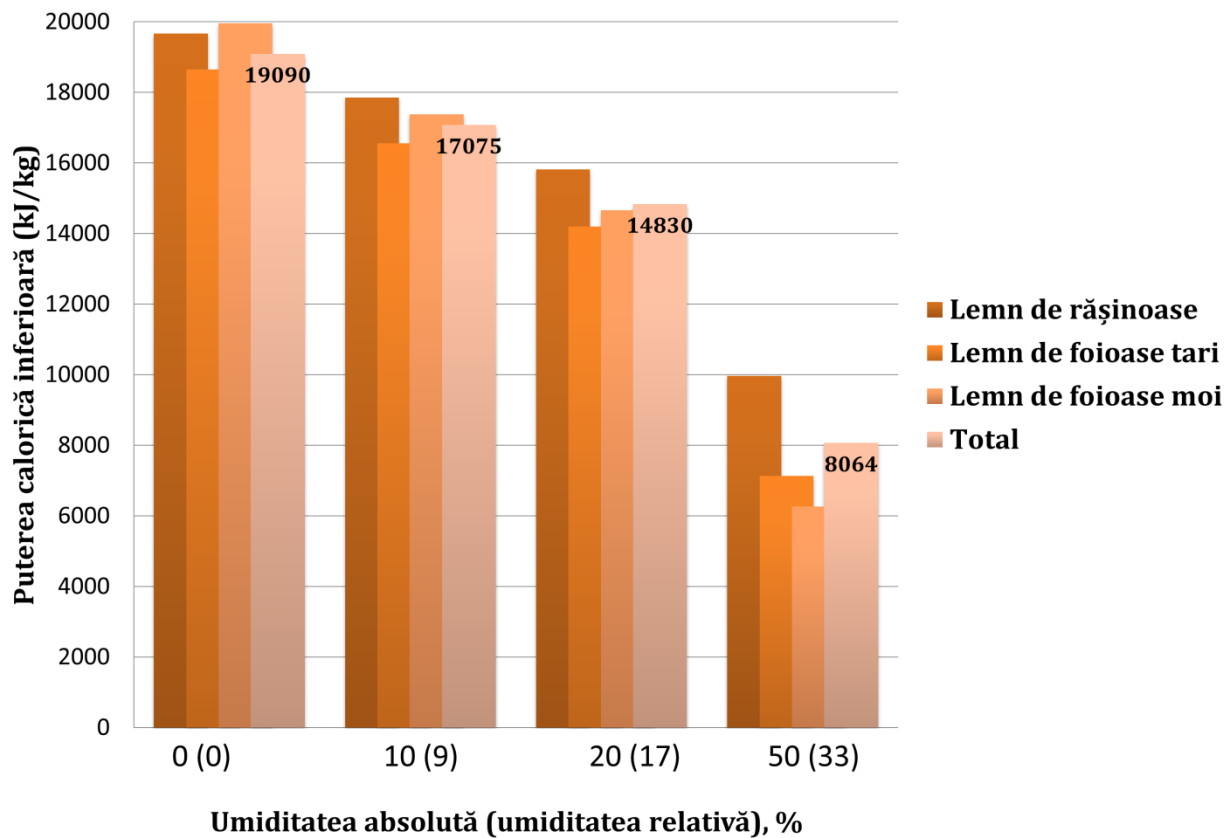


	50	33	8571	152	70
Plop	0	0	19685	528	100
	10	9	17505	352	96
	20	17	15026	313	90
	50	33	7587	234	57
Salcie	0	0	20224	364	100
	10	9	17259	228	94
	20	17	14294	202	87
	50	33	4944	90	43

15

Din datele prezentate în tabelul de mai sus și centralizate în Figura 11 se pot extrage următoarele concluzii:

- Toți parametrii calității combustibilului se înrăutățesc cu creșterea conținutului de apă;
- Diferențele între grupele de specii sunt mai mari la lemnul verde decât la lemnul uscat;
- La foioase, îndeosebi frasin și la speciile cu lemnul moale, se înregistrează cea mai drastică reducere a însușirilor calorice cu umiditatea;
- Puterea calorică absolută a lemnului crește în medie cu 84 % de la umiditatea de 50 % (lemn verde) la umiditatea de 20 % (lemn uscat la aer);
- Densitatea energetică crește în medie cu 45 % de la umiditatea de 50 % la umiditatea de 20 %;
- Lemnul arde de 1.8 ori mai repede la umiditatea de 20 % decât la umiditatea de 50 %;
- La uscarea lemnului de la umiditatea de 50 % la umiditatea de 20 %, randamentul energetic crește cu 29 %;
- În ciuda masei volumice reduse, lemnul de foioase moi are o densitate energetică superioară;
- Lemnul de molid este un combustibil mai bun decât cel de brad, de asemenea lemnul de cer față de lemnul de stejar;
- La lemnul de frasin, salcâm și fag, randamentul energetic se reduce drastic cu creșterea umidității;
- Lemnul de plop arde repede, deci consumurile vor fi mari;
- Lemnul de salcie, puțin căutat, este o opțiune pentru foc.



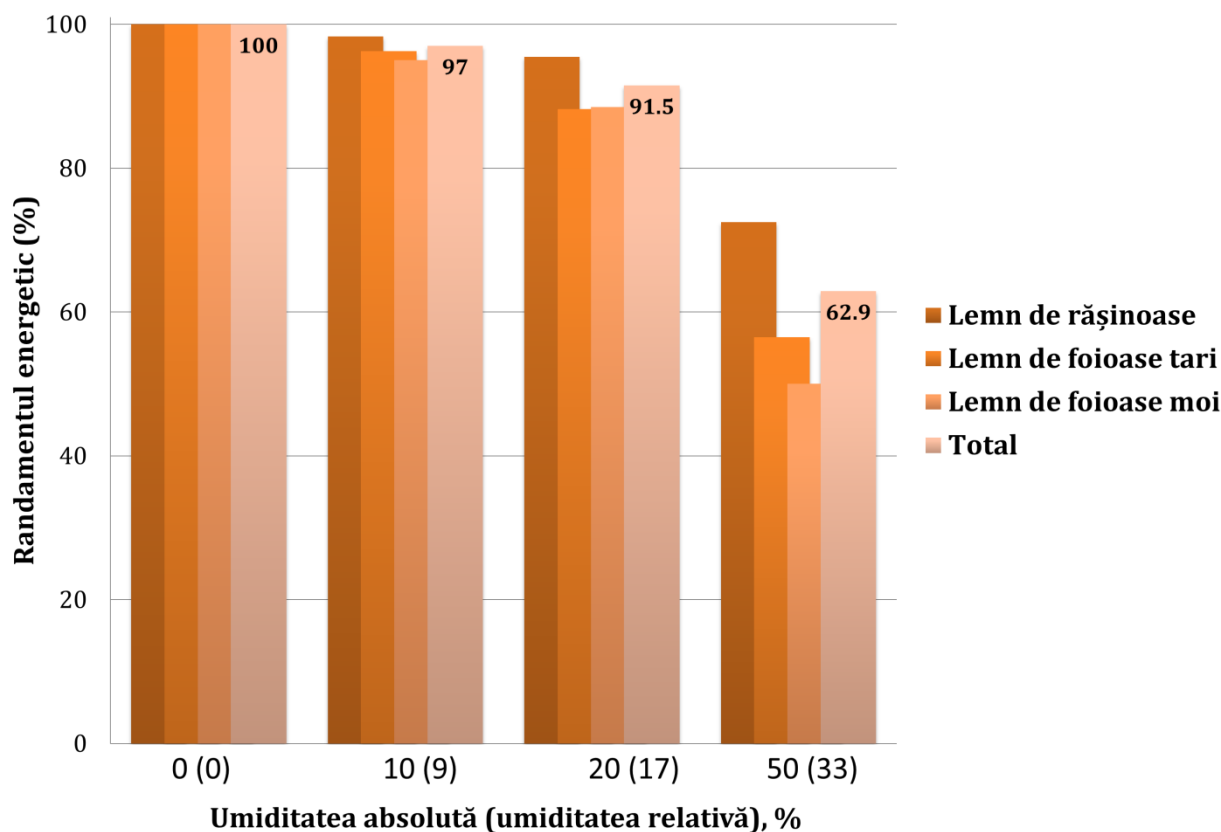


Figura 11. Variația cu umiditatea a însușirilor calorice ale grupelor de specii din România

Datele prezentate redau însușirile calorice ale unității de masă a lemnului de foc în funcție de umiditate. Pentru silvicultori sunt mai utile însă raportările la unitățile de volum. Astfel de date sunt disponibile de pildă în țările nordice (Tabelul 8).

Tabel 8. Puterea calorică relativă efectivă (kJ/m³) a lemnului de foc la diferite umidități ³¹

Esența lemnoasă	Umidiități relative (%)			
	0	20	40	60
	Umidiități absolute (%)			
	0	25	67	150
Molid	7266	7034	6646	5871
Pin	7511	7274	6876	6080
Mesteacăn	9555	9256	8756	7757
Anin	6840	6626	6268	5553

Umiditatea din coajă are același efect asupra performanțelor energetice ale lemnului ca umiditatea din lemn²⁹.

Consumul de căldură la evaporarea apei limitează umiditatea lemnului la 50 % pentru a asigura combustiei un randament de cel puțin 50 % în raport cu lemnul absolut uscat, la foioase, respectiv de 70 %, la rășinoase²⁹. Randamentul energetic cel mai bun la ardere se înregistrează pentru lemnul de foc cu umiditatea cuprinsă între 10 și 20 %²⁹. Randamentul condiționează eficiența instalației (centralei termice), care devine și ea o variabilă dependentă de umiditatea lemnului (Figura 12).

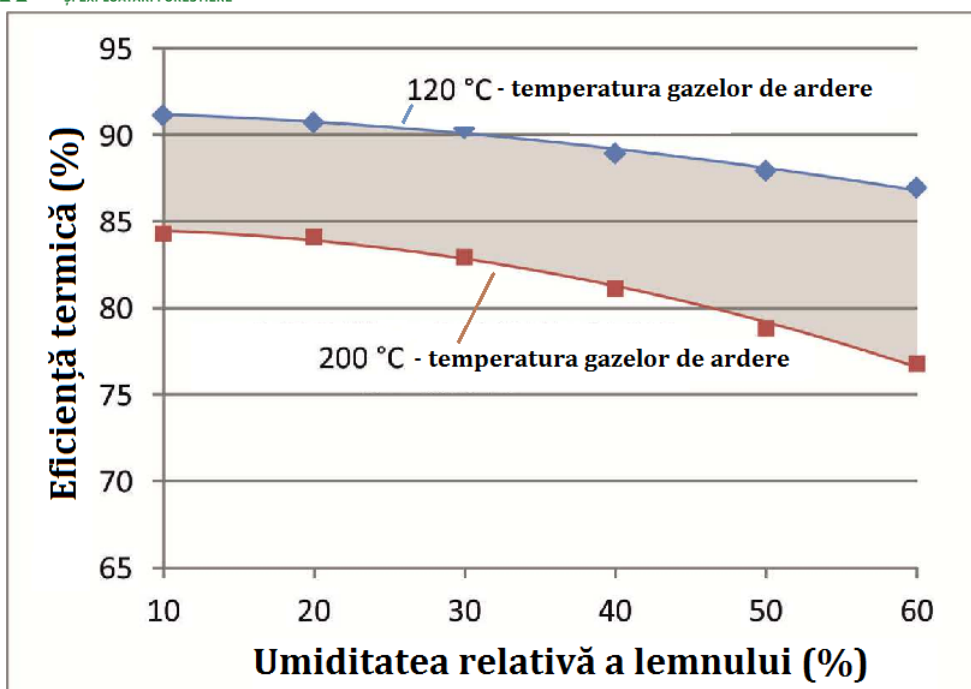


Figura 12. Eficiența termică a cazelor de încălzire în funcție de umiditatea lemnului ¹⁹

Datele prezentate oferă corespondența între umiditatea lemnului și însușirile sale calorice. În consecință, **pentru a diagnostica nivelul de calitate a combustibilului lemnos, nu rămâne decât să îi cunoaștem umiditatea.**

Modalități practice pentru determinarea umidității lemnului de foc

Lemnul este un material higroscopic, umiditatea lui fiind condiționată în orice moment de umiditatea și temperatura mediului înconjurător, orice schimbare a acestor două elemente atrage după sine și o schimbare a umidității lemnului⁵⁸.

În practica valorificării lemnului se folosesc cele două moduri de exprimare a conținutului de apă: umiditatea absolută respectiv umiditatea relativă.

Umiditatea absolută reprezintă conținutul de apă al combustibilului raportat procentual la masa uscată (anhidră) a acestuia, în timp ce **umiditatea relativă** reprezintă conținutul de apă raportat procentual la masa lemnului umed. Acest mod de exprimare face ca, la același conținut de apă, mărimile să fie diferite, iar diferențele între mărimea umidității absolute și a umidității relative să fie tot mai mari cu cât lemnul conține mai multă apă.

Între cele două mărimi sunt următoarele corespondențe³:

$$Umiditatea\ relativă = \frac{100 \cdot umiditatea\ absolută}{100 + umiditatea\ absolută}, [\%]$$

$$Umiditatea\ absolută = \frac{100 \cdot umiditatea\ relativă}{100 - umiditatea\ relativă}, [\%].$$

De regulă, pentru lemnul de foc și lemnul de celuloză se întrebuițează umiditatea relativă, iar pentru celelalte utilizări industriale ale lemnului, umiditatea absolută ^{6, 25}.

La **lemnul verde** (proaspăt recoltat sau în primele luni de la doborâre), umiditatea se poate afla prin deshidratarea probelor, metodă de precizie care necesită utilizarea unui instalații/aparat de uscare la care probele sunt tratate până la masă constantă (Tabelul 9). Pentru **lemnul în curs de uscare**, se pot folosi diverse umidometre, care funcționează pe principiu electric și cu care se determină umiditatea relativă.

Tabel 9. Metode de determinare a umidității lemnului de foc

Metoda electrică



Umidometru rezistiv



Umidometru dielectric

Umidometru rezistiv măsoară rezistivitatea electrică a lemnului și afișează mărimea umidității, proprietăți strâns legate între ele. Umidometru dielectric măsoară constanta dielectrică a lemnului, căruia îi afișează mărimea umidității, de asemenea legate între ele.

Metoda termogravimetrică



Uscarea probelor la etuvă

La lemnul verde, umidometru nu oferă rezultate credibile sau, dacă umiditatea depășește 90 %, nu este capabil să o măsoare. În acest caz se întrebuițează un analizor de umiditate (termobalanță) sau o instalație de uscare (etuvă, suflantă cu aer).

Tehica de lucru. Se extrag, cu ferăstrăul mecanic, un număr convenabil de probe (rondele de lemn rotund sau de lobde) reprezentative pentru lotul examinat, care se cântăresc (masa umedă).

Probele se usucă până la masă constantă, la temperatura de 100-105 °C, în etuvă sau la suflanta cu aer. Uscarea la etuvă durează 8-12 ore în funcție de conținutul de apă și dimensiunea probelor. Uscarea la suflantă durează minim 15 minute. Dacă se folosește termobalanța, din rondele se vor extrage probe mai mici corespunzătoare capacității acestuia de cântărire (de obicei nu mai mare de 100 g). După uscare, probele se cântăresc din nou, rezultând masa uscată.

Diferența de masă reprezintă cantitatea de apă conținută, care se raportează procentual la masa produsului.

Este credibilă măsurătoarea obţinută cu umidometrul electronic? Metoda de determinare a umidităţii lemnului prin utilizarea umidometrelor electrice, deşi este uşor de aplicat, prezintă unele dezavantaje majore. Precizia de măsurarea umidităţii lemnului stivuit depinde de mai mulţi factori, dintre care cei mai importanţi sunt uniformitatea distribuţiei apei în lemn şi temperatura lemnului. Majoritatea umidometrelor electrice măsoară rezistenţa lemnului la trecerea curentului electric. Această rezistenţă este mare în cazul lemnului uscat şi scade odată cu creşterea umidităţii lemnului, pe măsură ce apa pătrunde în golurile intracelulare, măsurătorile fiind mai precise la umidităţi situate sub punctul de saturaţie a fibrei. La aceeaşi umiditate rezistenţa lemnului la trecerea unui curent electric scade cu creşterea temperaturii lemnului şi invers. Dependenţa de temperatura lemnului fiind mai mare cu cât umiditatea este mai mare. De asemenea, odată cu creşterea temperaturii, punctul de saturaţie a fibrei se micşorează⁸. La fag acesta are valorile de 39% la 20 °C şi de 29% la 60 °C². Pe de altă parte, umidometrele electrice măsoară umiditatea relativă a lemnului în timp ce, tabelele dendrometrice ce fac referire la masa volumică aparentă a lemnului, la greutatea lemnului sau la factori de conversie pentru transformarea tonelor în metri cubi au ca principal factor determinant umiditatea absolută a lemnului, fiind astfel necesară transformarea umidităţii relative în umiditate absolută⁸.

În concluzie, putem folosi umidometrul electric pentru determinarea umidităţii absolute de referinţă a lemnului de foc (20%) cu luarea în considerare a următoarelor:

- ✓ unei umidităţi relative de 17% îi corespunde o umiditate absolută de 20%;
- ✓ atunci când pe ecranul umidometrului electric se citeşte o valoare mai mică de 17% înseamnă că umiditatea absolută a lemnului este mai mică de 20% şi că lemnul poate fi utilizat în instalaţiile de încălzire.

Metoda de determinare a umidităţii lemnului prin uscarea în etuvă a unor probe de lemn, deşi mai laborioasă, este precisă. Umiditatea probei de lemn (rondelă în cazul lemnului rotund), este mult mai reprezentativă pentru secţiunea din care provine decât umiditatea determinată punctiform cu umidometrul electric⁸. Această metodă este indicată mai ales în cazul speciilor care au alburn şi duramen, cu sunt stejarii, unde umiditatea în alburn este de 60-90% iar în duramen de 45-65%². O atenţie deosebită trebuie acordată temperaturii de uscare. Aceasta nu trebuie să depăşească $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ^{18, 25, 69} deoarece la temperaturi mai mari de 110 °C se înregistrează o pierdere de masă datorită degradărilor ce se produc în compoziţia chimică a lemnului. Astfel, Kollmann şi Côté³⁸ estimează pierderea de masă la lemnul de fag ca fiind de 5% la temperatura de 150 °C şi de 28% la temperatura de 180 °C pentru o perioadă de uscare de 30 de ore.



Umiditatea lemnului de foc

Câtă apă conţine lemnul de foc verde ? Lemnul verde conţine cantităţi mari de apă, care se traduc prin umidităţi care depăşesc 30 % din masa uscată (Tabelul 10). Lemnul mai dens, care şi oferă mai multă căldură la unitatea de volum, reţine mai puţină apă: avantaj dublu. | 21
Astfel, lemnul foioaselor tari are o umiditate la doborârea arborilor de 60-100 % (din masa uscată), lemnul de răşinoase, 100-150 %, iar lemnul foioaselor moi, până al 250 % ².

Tabel 7. Umiditatea lemnului de foc recepţionat în depozite ²⁷

Biomasa	Umiditatea absolută (%)
Lemn rotund din arbori proaspăt doborâţi	80-180
Lemn rotund depozitat 6 luni	30-60
Lemn despicat din arbori proaspăt doborâţi	60-120
Lemn despicat uscat la aer	15-30
Coaja arborilor doborâţi	60-120
Rumeguş de la debitare	30-60
Aşchii	60-100

Câtă apă conţine lemnul de foc comercializat? În mod curent, lemnul masiv de foc se livrează la umidităţi cuprinse între 20 şi 65 % din masa uscată ²⁹, iar brichetele şi peleţii la umidităţi mai mici de 10 % ²⁹.

În ce perioadă a anului ar trebui recoltat lemnul pentru foc în vederea unei umidităţi cât mai mici? Umiditatea lemnului arborilor în picioare variază pe durata anului calendaristic. Umidităţile cel mai mici în trunchi se înregistrează primăvara, înaintea intensificării circulaţiei sevei, sau vara, iar cele mai mari, în lunile de iarnă (Figura 13 ⁶⁷).

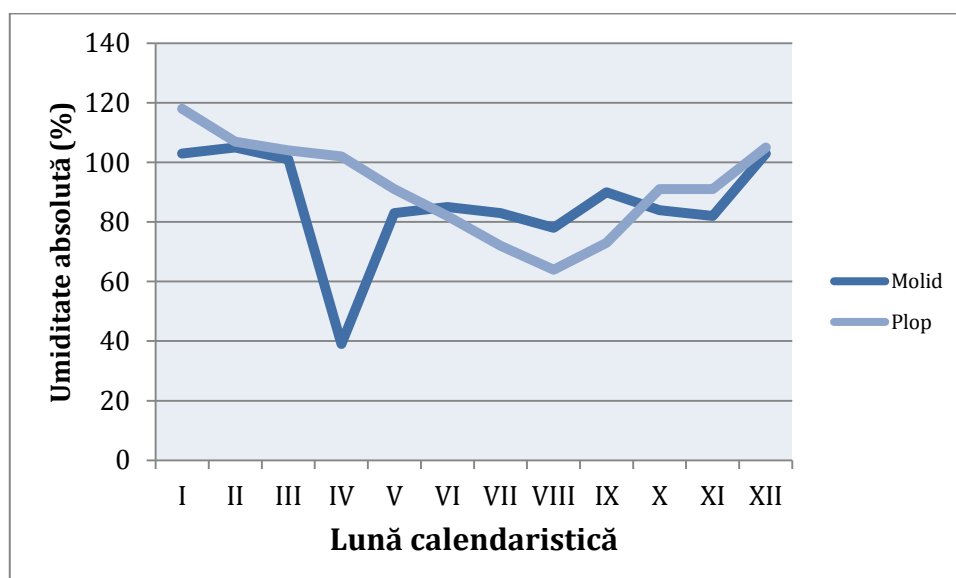


Figura 13. Variaţia lunară a umidităţii lemnului arborilor în picioare la două specii forestiere

Variațiile umidității lemnului de foc pe durata depozitării

Lemnul pierde o mare cantitate de apă după doborârea arborilor; în acest fel, umiditatea coboară și se stabilizează în timp la valori corespunzătoare echilibrului higroscopic pe care lemnul îl realizează cu mediul în care este depozitat/utilizat.

În general, după 6 luni de depozitare lemnul rotund de foc ajunge la umidități de 30-60 %, deci rămâne în zona lemnului verde. Umiditatea corespunzătoare lemnului uscat natural se înregistrează după cel puțin 12 luni de depozitare (Tabelul 11).

| 22

Tabel 11. Reducerea umidității lemnului prin uscare naturală ⁵⁹

Esența lemnoasă	Perioada în care a fost recoltat lemnul	Umiditatea absolută (relativă) la fasonare, %	Umiditatea absolută (relativă) după ... luni de uscare		
			6	12	18
Brad	ianuarie	72 (42)	40(29)	20(17)	17(15)
Pin	ianuarie	119 (54)	41(29)	23(19)	19(16)
Fag	ianuarie	144(59)	39(28)	28(22)	23(19)
Stejar	ianuarie	64(39)	43(30)	34(25)	29(23)
Mesteacăn	ianuarie	80(44)	34(25)	22(18)	19(16)
Plop	ianuarie	100(50)	45(31)	28(22)	19(16)

Dependența masei volumice aparente a lemnului de foc de umiditate

Cantitățile de lemn expediate din pădure și măsurate în metri cubi sau metri steri, sunt recepționate, uneori, în depozite, la beneficiari, prin cântărire, cu indicarea masei volumice aparente (densitate sau greutate cum sunt întâlnite în lucrările de specialitate de la noi din țară) exprimată în t/m³ sau kg/m³. STAS 2340-80 prevede ca livrarea cantităților de lemn de foc să se facă pe bază de masă. De asemenea, pentru evaluarea costurilor și consumurilor de combustibili, la colectare și transport importantă devine unitatea de masă⁴⁰. Din cauza unităților de măsură diferite și a transformărilor efectuate apar diferențe între cantitatea de masă lemnoasă expedită și cantitatea de masă lemnoasă recepționată. Apare astfel necesară determinarea umidității lemnului.

În contextul prezentei cercetări, umiditatea lemnului prezintă importanță întrucât este unul din factorii determinanți ai masei volumice specifice aparente a lemnului, folosită la măsurarea și în gestiunea volumelor de masă lemnoasă. Toate tabelele dendrometrice ce

fac referire la masa volumică aparentă a lemnului, la greutatea lemnului sau la factori de conversie pentru transformarea tonelor în metri cubi au ca principal factor determinant umiditatea lemnului. La orice schimbare a umidității lemnului situată sub punctul de saturație a fibrei, urmează și o schimbare a dimensiunilor lui, se produce contragerea sau umflarea lemnului, respectiv schimbarea masei volumice aparente a lemnului. Peste punctul de saturație al fibrei, dimensiunile și volumul lemnului rămân constante, influența asupra masei volumice aparente datorându-se gradului de umplere cu apă liberă a spațiilor intercelulare și a golurilor celulare².

În Tabelele 12-15 este prezentată masa volumică aparentă a lemnului de foc la diferite valori ale umidității pentru speciile molid, carpen, fag și cvercinee (stejar și gorun), precum și factorii de conversie, necesari la transformările din masă în volum și invers ⁸. În lucrarea de față prin masa volumică aparentă se va înțelege masa volumică aparentă a lemnului cu coajă.

Tabel 12. Masa volumică aparentă a lemnului de foc de la molid în funcție de umiditate

Umiditatea absolută (%)															
Umiditatea relativă (%)															
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
0	9	17	23	29	33	38	41	44	47	50	52	55	57	58	60
Masa volumică aparentă (kg/m ³) (valori medii)															
383	421	459	497	535	573	612	650	688	726	764	803	841	879	917	955
Factori de conversie pentru transformarea tonelor în metri cubi de lemn															
2,6110	2,3753	2,1786	2,0121	1,8692	1,7452	1,6340	1,5385	1,4535	1,3774	1,3089	1,2453	1,1891	1,1377	1,0905	1,0471

Tabel 13. Masa volumică aparentă a lemnului de foc de la carpen în funcție de umiditate

Umiditatea absolută (%)											
Umiditatea relativă (%)											
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	50,00
0	9	17	23	29	33	38	41	44	47	50,00	50,00
Masa volumică aparentă (kg/m ³) (valori medii)											
586	643	701	759	817	875	932	992	1051	1109	1167	1167
Factori de conversie pentru transformarea tonelor în metri cubi de lemn											
1,7065	1,5552	1,4265	1,3175	1,2240	1,1429	1,0730	1,0081	0,9515	0,9017	0,8569	0,8569

Tabel 14. Masa volumică aparentă a lemnului de foc de la fag în funcție de umiditate

Umiditatea absolută (%)										
Umiditatea relativă (%)										
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	9	17	23	29	33	38	41	44	47	50
Masa volumică aparentă (kg/m ³) (valori medii)										
585	643	702	759	818	876	935	993	1052	1110	1168
Factori de conversie pentru transformarea tonelor în metri cubi de lemn										
1,7094	1,5552	1,4245	1,3175	1,2225	1,1416	1,0695	1,0070	0,9506	0,9009	0,8562

Tabel 15. Masa volumică aparentă a lemnului de foc de la gorun și stejar în funcție de umiditate

Umiditatea absolută (%)										
Umiditatea relativă (%)										
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	9	17	23	29	33	38	41	44	47	50
Masa volumică aparentă (kg/m ³) (valori medii)										
551	605	660	715	770	825	880	935	990	1045	1100
Factori de conversie pentru transformarea tonelor în metri cubi de lemn										
1,8149	1,6529	1,5152	1,3986	1,2987	1,2121	1,1364	1,0695	1,0101	0,9569	0,9091

24

Este cunoscută din literatura de specialitate corelația existentă între masa volumică aparentă și umiditate ca fiind una de tip liniar ce poate fi exprimată sub forma unei ecuații de tipul ^{15, 16}:

$$y = a + bx \quad (1)$$

în care:

y – reprezintă masa volumică aparentă;

x – reprezintă umiditatea absolută a lemnului;

a, b – coeficienții ecuației de regresie; a poate fi asimilat cu masa volumică uscată a lemnului.

În Tabelul 16 sunt prezentați coeficienții de regresie pentru speciile molid, carpen, fag și cvercinee (stejar și gorun) determinați în funcție de masa volumică uscată a lemnului din Tabelele 12-15.

Utilizarea unor astfel de ecuații de regresie face ca determinarea masei

volumice aparente să fie mult mai ușor de aplicat în practica silvică, fiind necesare determinări numai pentru aflarea umidității lemnului.

Tabel 16. Coeficienții a și b a ecuației (1)

Specia	Coeficienții ecuației (1)	
	a (masa volumică uscată) (kg/m ³)	b
Molid	382,67 (383)	3,82
Carpen	584,73 (586)	5,82
Fag	584,73 (585)	5,83
Stejar și Gorun	550,32 (551)	5,50

Scăderea masei lemnului de foc pe durata depozitării

Indicarea umidității de 15-20% ca umiditate de referință este justificată prin posibilitatea ca lemnul de foc să scadă în masă pe perioada de depozitare, prin uscare naturală, până la această valoare a umidității absolute, într-un anumit interval de timp. Astfel, devine importantă cunoașterea scăderii în masă a lemnului pe perioada de depozitare. Scăderea în

masă a materialului lemnos depozitat se datorează scăderii umidităţii lemnului prin uscare şi depinde în mare măsură de mersul vremii şi de condiţiile de depozitare. Astfel, Vintilă⁶⁶ arată că umiditatea lemnului depozitat în aer liber este determinată în primul rând de variaţia umidităţii atmosferice şi apoi de temperatură. De asemenea, a constatat că efectul unei ploii, asupra umidităţii lemnului, nu este decât la suprafaţă, iar după încetarea ploii suprafaţa lemnului cedează imediat atmosferei surplusul de apă pe care îl conţine.

| 25

În literatura de specialitate există date cu privire la scăderea în masă pe o perioadă de depozitare cuprinsă între 3 şi 24 de luni, pentru lemnul de foc fasonat în steri (Tabelele 17-19).

În acest sens, STAS 2340-80 menţionează că la livrare masa unui metru ster nu trebuie să depăşească la un factor de cubaj 0.62:

- 500 kg (805 kg/m³) pentru speciile tari;
- 485 kg (781 kg/m³) pentru speciile tari, cu maximum 10% specii moi sau răşinoase;
- 350 kg (564 kg/m³) pentru speciile moi sau răşinoase.

Valorile masei lemnului de foc prevăzute în STAS 2340-80 se ating după aproximativ 2-3 luni de depozitare în platforma parchetului, în perioada verii, umiditatea lemnului ajungând la valori cuprinse între 30 şi 40 % (Tabelele 17 şi 19). În sezonul rece, timpul necesar pentru ca masa lemnului de foc să ajungă la valorile din STAS 2340-80 este mai îndelungat, depăşind 6 luni (Tabelul 19).

Tabel 17. Scăderea în masă a lemnului de foc fasonat în steri⁸

Specia	Perioada de depozitare	Masa volumică aparentă (kg/m ³)	Umiditatea absolută iniţială (%)	Scăderea în masă (%) după ... luni de depozitare		
				1	2	3 (u %) ¹
Molid -rotund	August - octombrie	634	60-70	-14,51	-20,27	-20,88 (31%)
Carpen - rotund	August - octombrie	1012	70-85	-11,53	-15,48	-17,47 (43%)
Fag - rotund	Iulie - septembrie	964	60-70	-12,53	-19,63	-22,83 (27%)
Stejar şi Gorun - rotund	Iulie - septembrie	903	60-75	-8,12	-12,38	-15,19 (39%)

¹ u % - umiditatea absolută după trei luni de depozitare s-a calculat utilizând ecuaţia 1



Tabel 18. Scăderea în masă a lemnului de foc fasonat în steri ⁶²

Specia		Data fasonării	Masa volumică aparentă (kg/m ³)	Scăderea în masă (%) după ... luni de depozitare						
				3	6	9	12	15	18	23
Fag	rotund	Martie - aprilie	1180	-16	-26	-26	-31	-32	-38	-34
	despicat		1018	-22	-26	-23	-28	-28	-29	-29
Stejar	rotund	Martie - aprilie	1010	-18	-19	-18	-19	-19	-21	-24
	despicat		930	-22	-20	-19	-19	-24	-26	-30
Cer	rotund	Martie - aprilie	1110	-8	-15	-18	-19	-23	-25	-32
	despicat		1069	-11	-18	-19	-21	-24	-25	-30
Tei	rotund	Noiembrie - decembrie	940	-3	-16	-30	-35	-	-	-
	despicat		936	-4	-29	-38	-39	-	-	-
Anin	rotund	Noiembrie	1088	-2	-13	-29	-36	-	-	-
	despicat		927	-4	-28	-40	-40	-	-	-
Brad	rotund	Octombrie	779	-2	-12	-21	-27	-25	-	-
	despicat		734	-14	-24	-33	-34	-34	-	-

26

Tabel 19. Scăderea în masă a lemnului de foc fasonat în steri ⁵⁴

Specia		Sezonul	Masa volumică aparentă (kg/m ³)	Scăderea în masă (%) după ... luni de depozitare				
				1	2	3 (u%) ¹	4	6 (u%)
Fag	rotund	vara	1042	-16	-21	-25 (34%)	-28	-31 (23%)
		iarna	1080	-10	-13	-14 (60%)	-14	-14 (60%)
	despicat	vara	998	-18	-22	-26 (26%)	-27	-28 (23%)
		iarna	1058	-11	-13	-14 (56%)	-14	-18 (49%)
	rotund + despicat	vara	1020	-17	-22	-26 (29%)	-27	-29 (23%)
		iarna	1069	-11	-13	-14 (57%)	-14	-17 (52%)
Stejar	rotund	vara	943	-13	-16	-19 (39%)	-21	-24 (30%)
		iarna	877	-2	-3	-4 (53%)	-4	-6 (49%)
	despicat	vara	976	-13	-14	-18 (45%)	-19	-24 (35%)
		iarna	892	-3	-4	-4 (55%)	-5	-7 (51%)
Răşinoase	rotund	vara	669	-17	-21	-24 (33%)	-27	-28 (26%)
		iarna	745	-10	-13	-13 (69%)	-13	-17 (62%)
	despicat	vara	720	-20	-24	-28 (35%)	-31	-33 (26%)
		iarna	782	-10	-16	-16 (72%)	-16	-20 (64%)
	rotund + despicat	vara	695	-18	-23	-26 (34%)	-29	-31 (26%)
		iarna	764	-10	-14	-15 (70%)	-15	-19 (62%)

¹ u % - umiditatea absolută după trei luni de depozitare s-a calculat utilizând ecuația 1

Produsele poluante ale combustiei

Arderea lemnului

Ardere sau combustie ? Din punct de vedere fizico-chimic, arderea și combustia desemnează același proces de transformare oxidativă a combustibilului însoțită de temperaturi înalte și degajare puternică de căldură ⁶¹. Deși par a fi sinonimi, totuși termenul de combustie se folosește în relație cu producerea de energie termică, în timp ce arderea vizează întreaga gamă de produse rezultate din descompunerea termică a combustibilului ³.

Aprinderea lemnului. Arderea poate lua naștere spontan (autoaprindere) sau la o intervenție exterioară (aprinderea forțată). Aprinderea are loc când combustibilul, ajuns la temperatura punctului de inflamabilitate, emite flacără (care se datorează substanțelor volatile inflamabile rezultate din descompunerea termică a lemnului) ⁶¹. La temperaturi mai mari de 300 °C lemnul se poate aprinde și în absența oxigenului sau a flăcării (autoaprindere).

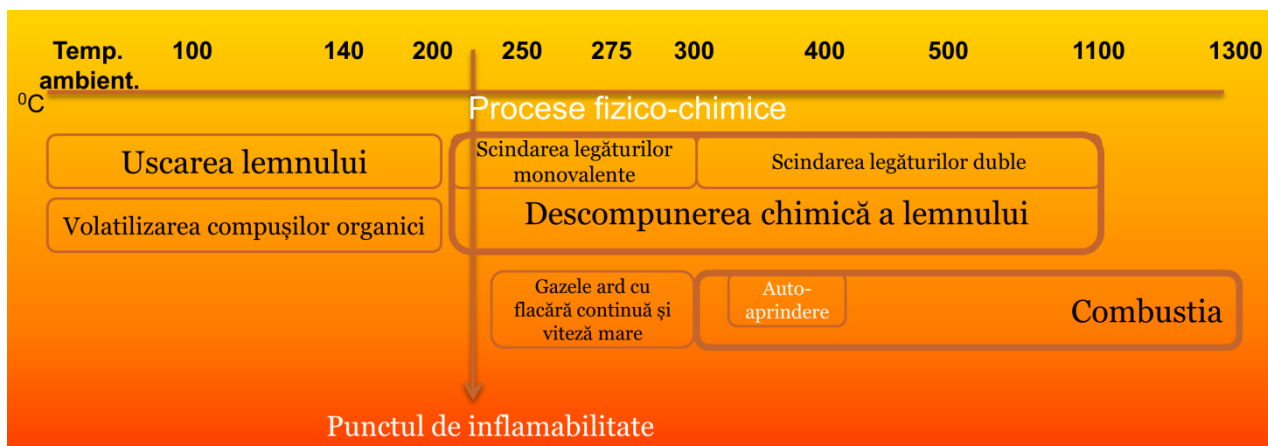


Figura 14. Comportarea lemnului sub influența temperaturii

Descompunerea termică a lemnului pe scurt. În faza de încălzire a lemnului, premergătoare aprinderii, este eliminată pe rând apa liberă (aflată în stare lichidă sau gazoasă) și apa legată (reținută cu forțe mari în structura fină a pereților celulari). În camera de ardere, temperatura ajunge, cu toate pierderile de căldură, în medie la 1000 °C ⁶⁷. În timpul arderii compușii lemnului sunt descompuși treptat până la hidrocarburi cu masă moleculară tot mai mică, unele volatile (metan, etan), altele care conduc materialul solid spre carbonizare⁵⁵ – Figura 14.

Cenuşa de la arderea lemnului

Cenuşa este balastul solid care se separă în timpul arderii, alcătuit din substanţe minerale (carbonaţi, silicaţi, fosfaţi, oxizi de calciu, potasiu, magneziu, fier, sodiu) şi resturi organice nedescompuse la combustie ⁴⁹. Biomasa lemnoasă oferă 0.08-2.3 % cenuşă ³¹.

| 28

Conţinutul ridicat de cenuşă are următoarele efecte tehnice⁴⁶:

- reduce puterea calorică şi, astfel, măreşte consumul de combustibil;
- creşte riscul erodării suprafeţelor:
- ridică temperatura de ardere.

La temperaturi înalte cenuşa se înmoaie, se topeşte şi devine zgură, aderentă, pentru evitarea căreia, temperatura gazelor de ardere la ieşirea din focar se va menţine sub punctul de înmuiere a cenuşii. De asemenea, suspensiile de cenuşă antrenate cu gazele de ardere au capacitatea de a eroda suprafeţele ⁷⁰.

Emisiile de la arderea lemnului

Care sunt emisiile de la ardere lemnului ? Arderea lemnului eliberează în atmosferă o cantitate importantă de volatili (Figura 15), unele nocive pentru sănătatea populaţiei, iar majoritatea cu impact cert asupra calităţii aerului (Tabelul 20).

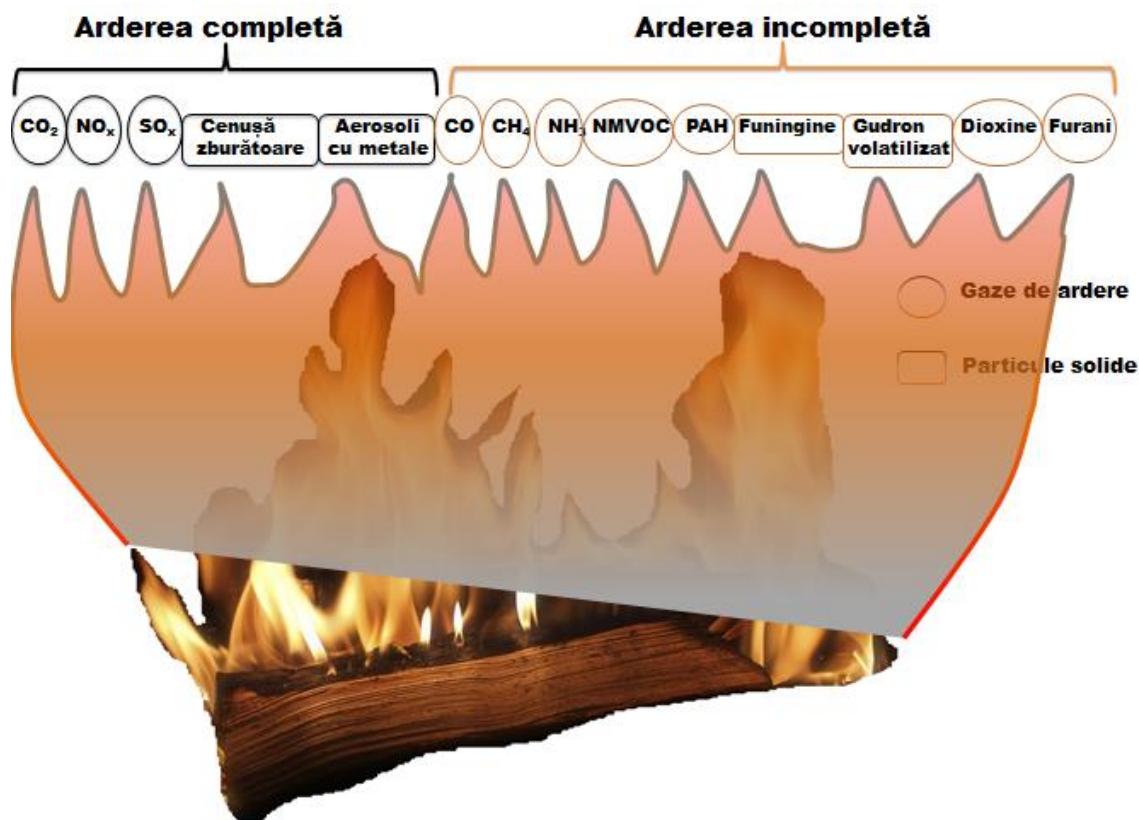


Figura 15. Producţii volatili ai arderii lemnului

Din categoria poluanților fac parte gazele exhaustate (oxizi ai carbonului, sulfului, azotului și hidrocarburile), împreună cu care sunt antrenate suspensii impurificatoare solide (numite în engleză particulate emissions) ale căror particule au dimensiuni micronice (de regulă $< 2.5 \mu\text{m}$) sau submicronice ($< 300 \text{ nm}$).

Ce consecințe au emisiile de la arderea lemnului ? Particulele solide în suspensie și gazele de la arderea incompletă a lemnului afectează calitatea mediului la scară locală, oxizii azotului și ai sulfului, la scară regională, iar gazele cu efect direct de seră, la scară globală ⁶⁶.

Gazele de ardere exhaustate afectează mai curând mediul, în timp ce particulele solide pot deteriora semnificativ starea de sănătate (Tabelul 20). Efectele merg până acolo încât rata locală a mortalității și incidența astmului și a afecțiunilor pulmonare sunt direct proporționale cu cantitatea de particule emise ^{5, 51}.

Tabel 20. Emisiile la arderea lemnului masiv și impactul lor asupra biosferei ^{24, 66}

<i>Component</i>	<i>Efecte asupra mediului</i>	<i>Efecte asupra sănătății omului</i>
Dioxidul de carbon (CO ₂)	Gaz cu efect de seră (contribuie la încălzirea Globului). Aceste emisii sunt în cea mai mare parte recepționate de vegetație prin fotosinteză (adică sunt neutre).	Dacă emisiile sunt în limite, riscurile sunt minime.
Monoxidul de carbon (CO)	Gaz cu efect indirect de seră prin înlocuirea ozonului	Reduce absorbția oxigenului în organism. Categorii de risc sporit: feteși, bolnavi de astm
Oxizii azotului (NO, NO ₂)	Ploi acide Formarea ceții Efect coroziv asupra solidelor	Afecțiuni ale aparatului respirator produse sau amplificate mai ales de NO ₂
Oxizii sulfului (SO ₂ , SO ₃)	Efect invers de seră (prin aerosoli) Ploi acide Formarea ceții Efect coroziv asupra solidelor	Afecțiuni ale aparatului respirator Categorii de risc sporit: bolnavi de astm
Metan (CH ₄)	Datorită conținutului mic de sulf în lemn, aceste efecte sunt neglijabile dacă se arde lemn netratat sau pădurea de origine nu a fost poluată cu sulf. Gaz cu efect de seră	Dacă emisiile sunt în limite, riscurile sunt minime.
Compuși volatili organici alții decât metanul (NMVOC)	Gaz cu efect indirect de seră prin înlocuirea ozonului	Afecțiuni ale aparatului respirator
Hidrocarburi policiclice aromatice (PAH)	Formarea ceții	Cancerigen
Dioxină și furani	Poluanți organici persistenti	Nivel ridicat de toxicitate (chiar letal) Afectează sistemul nervos central. Reduc imunitatea.

Prezența lor în gazele de ardere este condiționată de existența clorului în structura combustibilului și a fenolilor. Dintre materiile prime lemnoase, în primul rând resturile de la exploatare și prelucrare cu conținut mare de coajă produc dioxină și furani prin ardere. ⁴⁴



Amoniac (NH ₃)	Ploi acide Formarea ceţii Efect coroziv asupra solidelor	Afecţiuni ale aparatului respirator
Metale grele (cadmiu, cupru, plumb, argint)	Contaminarea ecosistemelor Efectele sunt opţionale: depind de prezenţa metalelor grele în combustibil, care se datorează fie poluării pădurilor, fie tratamentelor de protecţie la care a fost supus lemnul.	Toxice şi cancerigene
Particule solide	Efect invers de seră (prin aerosoli) Se pot asocia cu metalele grele	Afecţiuni ale aparatului respirator. Potenţial carcinogen

Cea mai mare diversitate de emisii şi **cele mai nocive rezultă la arderea incompletă** a lemnului, care este dovedită de persistenţa resturilor de carbon în cenuşă. Dacă arderea carbonului nu este completă, aceasta reduce randamentul caloric al combustiei (sunt pierderi de căldură) şi produce funingine !

De ce arderea poate fi incompletă ? Sunt cauze mecanice şi cauze chimice^{61, 66}:

- pierderea de combustibil prin grătarul focarului sau prin tiraj,
- formarea zgurei,
- alimentarea insuficientă cu aer,
- temperatura coborâtă,
- amestecul defectuos între aer şi combustibil,
- volumul necorespunzător al focarului.

*Este vreo **legătură între umiditatea combustibilului şi emisiile de la ardere** ?* Sunt multe studii care arată că emisiile de **particule solide, monoxid de carbon** şi de **hidrocarburi policiclice aromatice** sunt direct proporţionale cu umiditatea combustibilului^{4, 28, 57}. Aceste diferenţe sunt de două până la cinci ori între umidităţile de 50 % respectiv 17 %, la arderea aşchiilor de castan, stejar şi larice⁴. La creşterea umidităţii absolute a lemnului arborelui de cauciuc de la 37 % la 74 %, cantitatea de hidrocarburi policiclice aromatice, care sunt cancerigene, practic se dublează¹¹. Utilă pentru practică este şi constatarea experimentală că aducerea lemnului de foc la umidităţi mai mici decât cele care se obţin prin uscare naturală nu contribuie la reducerea emisiilor solide; dimpotrivă, în faza de aprindere emisiile sunt mult mai mari la fag (Figura 16). Autorii experimentului citat⁵³ pun acest rezultat pe seama aportului insuficient de oxigen, de unde trag concluzia că lemnul de fag suprauscat necesită o cantitate mai mare de aer la aprindere care să permită combustia completă. De asemenea, emisiile sunt mai mari în faza de aprindere decât în cea de descompunere a cărbunelui (Figura 16). Şi la arderea biomasei nelemnoase s-a găsit că umidităţii în jurul valorii de 15 % îi corespund cele mai mici nivele ale emisiei de hidrocarburi policiclice, iar cele mai mari, combustibilului foarte uscat³⁹. Alt studiu arată

că umiditatea lemnului influențează mai mult emisiile de nanoparticulele decât de particule mari ⁵⁷. Emisiile de oxizi ai azotului nu par a fi influențate de umiditatea lemnului ⁵³.

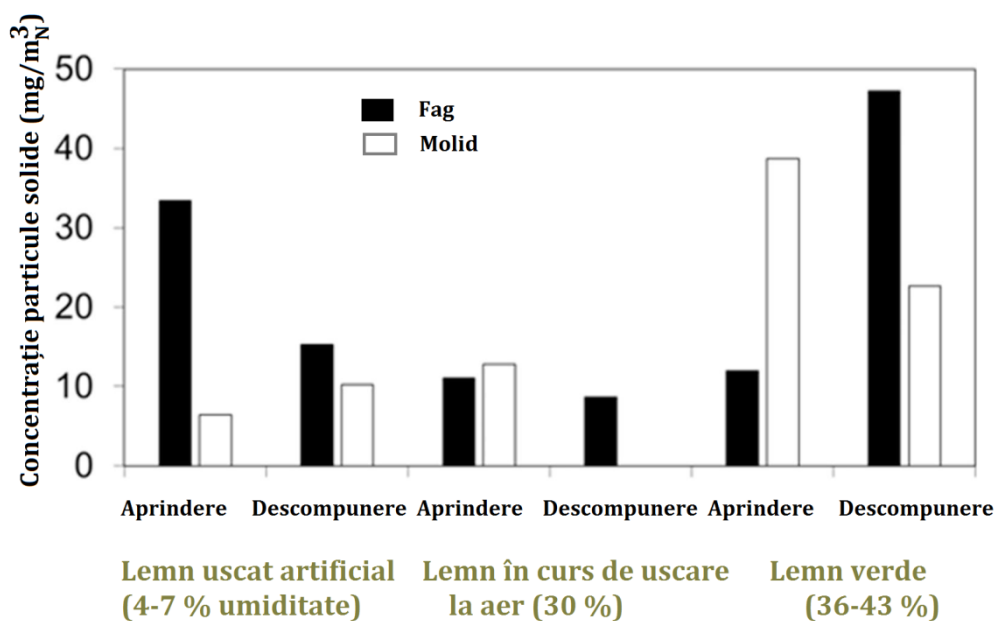


Figura 16. Concentrația emisiilor de particule solide la arderea lemnului de fag și molid în trei stadii de uscare a combustibilului și în două faze ale arderii (aprinderea respectiv descompunerea termică a lemnului) ⁵³

Ce se poate face pentru a reduce emisiile? Cât timp energia termică se obține din combustibili convenționali, aceste emisii sunt inevitabile. Totuși, sunt soluții de a reduce cantitativ și calitativ emisiile de arderea lemnului ^{24, 64}:

- ✓ Utilizarea exclusivă a lemnului uscat și de calitate (resturile de la lemnului produc emisii de particule mai mari decât lemnul masiv și rumegușul);
- ✓ Alegerea instalației de ardere cu randamentul cel mai bun, care să permită combustia completă;
- ✓ Dotarea instalațiilor cu filtre colectoare, epuratoare electrostatice, epuratoare umede (care rețin eficient particulele > 2.5 μm, din păcate nu și nanoparticulele).
- ✓ Înlocuirea lemnului masiv cu peleții de densitate mare (peleții ușori produc mai mult monoxid de carbon);

Îmbunătăţirea performanţelor energetice ale lemnului de foc

De ce trebuie să uscăm lemnul de foc ?

Determinările experimentale (Tabelul 4) dovedesc cât de importantă este întrebuinţarea lemnului uscat pentru ardere. **În consecinţă lemnul de foc trebuie uscat!**

Până la ce umiditate uscăm lemnul de foc pentru a obţine eficienţa energetică şi economică maximă? Eficienţa combustibilă a lemnului exprimă măsura în care este folosită energia lui calorică. În condiţiile actuale de valorificare energetică a lemnului, valorile optime ale umidităţii sunt în intervalul **10-20 %** şi asigură un randament de 85-95 % faţă de materialul anhidru ²⁹ şi o eficienţă a combustiei apropiată de a lemnului absolut uscat (Figura 10).

La lemnul cu umiditatea relativă mai mare de 70 % arderea, practic, nu poate avea loc ³¹. Combustia tradiţională a lemnului are o eficienţă scăzută (chiar sub 10 %) şi, în plus, generează emisii considerabile.

Deci, umiditatea care se obţine prin uscare la aer, adică 15-20 %, este optimă din punctul de vedere al câştigului caloric şi al consumurilor energetice cerute de uscarea lemnului.

Pentru uscarea biomasei lemnoase umede de la 50 % umiditate la 15 % umiditate este necesară o energie de 22.2 MWh. Acest consum este însă depăşit de câştigul energetic obţinut prin arderea lemnului uscat, care se traduce prin 152.8 MWh la un randament de 96 % faţă de lemnul anhidru ²⁹.

Ce se întâmplă dacă folosim lemn verde la ardere ?



Lemnul verde:

scoate mai mult fum (ceea ce impune curăţarea mai deasă a coşului)
produce mai multă funingine şi creozot
arde incomplet.



Durata uscării naturale a lemnului de foc

Variază cu umiditatea de la care porneşte uscarea (umiditatea iniţială), cu densitatea lemnului, cu condiţiile climatice particulare, cu grosimea pieselor, dar depinde în cea mai mare măsură de perioada din an în care se usucă lemnul ⁴³.

| 33

În linii mari, în condiţii propice, uscarea durează 6-9 luni ⁷³. După livrare, pentru scăderea umidităţii lemnului de foc până la umiditatea de referinţă de 20%, lemnul de steri trebuie fasonat (secţionat la lungime şi despicat) la dimensiunile recomandate de producătorul instalaţiei de încălzire şi depozitat în spaţii bine aerisite, acoperite, cel puţin din primăvară până în toamnă⁶⁵, respectiv 6 până la 9 luni ³⁶. Regula de aur referitoare la pregătirea lemnului de foc spune că acesta trebuie fasonat în iarna anterioară celei în care va fi folosit; mai bine ar fi ca lemnul de foc să fie lăsat până în iarna celui de al doilea an ³⁶.

Cum influenţează specia, durata uscării naturale ? Lemnul de răşinoase se usucă mai repede decât lemnul de foioase, iar dintre acestea, lemnul speciilor moi se usucă mai repede decât al celor tari ⁶⁷.

Datorită fluctuaţiilor vremii de la un an la altul şi importanţei particularităţilor topoclimatului şi microclimatului concret în care se stivueşte lemnul de foc, datele prezentate pot suferi ajustări importante.

Cum influenţează coaja, durata uscării naturale ? Lemnul rotund cojit se usucă mult mai repede decât lemnul în coajă. Lemnul de răşinoase necojit rămâne verde şi după 4 luni de uscare, în timp ce la lemnul cojit umiditatea ajunge la 25 % în 45 de zile, la molid, şi 65 de zile la pin ⁶⁷.

Cum influenţează perioada din an, durata uscării ? Din cele 356 de zile ale anului calendaristic, în sectorul de climă montană de la noi sunt disponibile pentru uscare cel mult 150 de zile ⁴². Anotimpul cel mai potrivit pentru iniţierea uscării lemnului este primăvara²³, iar lunile active pentru uscare sunt aprilie-octombrie⁶⁰. În general, în luna aprilie se înregistrează cel mai intens ritm de uscare (1 metru ster de lemn de foc pierde în medie 90 l apă/lună). Din septembrie, lemnul se rehidratează prin umiditatea din aer şi precipitaţii, cantitatea de apă adsorbită fiind în medie 5 l/mst/lună ⁷¹. Lemnul de foc sivuit în lunile de iarnă se usucă considerabil mai greu ².

Cum influenţează grosimea pieselor, durata uscării ? Cu cât este mai subţire, lemnul de foc se usucă mai repede. Dacă e tocat mărunţ, atunci 5 luni din sezonul cald sunt suficiente ca lemnul de foc de fag să se usuce ²⁰.

Stivuirea lemnului de foc

Durata și calitatea uscării naturale a lemnului de foc depind în mare măsură de modul de stivuire a pieselor ⁴². Pentru o uscare eficientă, se au în vedere măsuri practice privind suprafața pe care se stivuieste lemnul de foc, modul de așezare a pieselor, de dispunere a stivelor (Tabelul 21). Se urmărește îndeosebi intensificarea uscării lemnului. La uscarea naturală, singurul factor care poate fi influențat este viteza de circulație a aerului în și printre stive ⁴³.

| 34

Tabel 21. Recomandări privind stivuirea lemnului de foc ^{21, 42, 43, 60, 72, 73}

Suprafața de stivuire	Să fie stabilă, uscată, plană sau ușor înclinată (pentru scurgerea apei din precipitații). Stivele se clădesc pe sol, de pe care a fost îndepărtată vegetația, pe platforme de beton sau asfalt. Terenul cu structură aerisită și drenaj bun (cum este pietrișul) este cel mai favorabil uscării.
Poziția stivelor	Pentru a beneficia din plin de circulația locală a aerului, se evită apropierea stivelor de arbori înalți, clădiri și alte obstacole.
Orientarea stivelor	Stivele se clădesc în direcția curenților locali de aer, care accelerează deshidratarea lemnului.
Distanța între stive	Distanța recomandată între stivele alăturate este de 50-60 cm pe lățime și 1-1.5 m pe lungime.
Structura stivelor	Stivele vor fi clădite din 1-2 rânduri. Stivele scurte și înguste se usucă mai repede.
Așezarea pieselor în stivă	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lemnul nu trebuie să fie în contact direct cu suprafața terenului. Pentru aceasta, platforma stivei se înalță cu 10 cm deasupra terenului. Rosturile înălțării sunt de a asigura evacuarea aerului rece și umed format dedesubtul stivei, respectiv de a proteja lemnul de umezeala solului. ▪ Platforma poate fi confecționată din lemn (preferabil tratat) sau, pentru amenajări permanente, din beton. Piesele platformei vor fi orientate paralel cu lungimea stivei. ▪ Lemnul de foc se așează cu capetele expuse circulației aerului. Piesele mai groase se așează cu capetele expuse acțiunii razelor solare. ▪ Spațiile între piese vor fi mai mari, cu precădere spre centrul stivei, dacă lemnul se stivuieste toamna.

Măsuri pentru o uscare rapidă și de calitate

1. **Despicarea** lemnului de foc. La lemnul de foc nedespicat, uscarea întârzie cu cel puțin două luni ⁷². Se despică lemnul mai gros de 10 cm ⁷² sau, după autorii de la noi, mai gros de 15 cm ¹² sau de 25 cm ⁴⁶. Oricum, lățimea fețelor pieselor de lemn despicat nu ar trebui să depășească 10 cm ⁷³. Lemnul verde se despică mai ușor decât lemnul uscat.



2. **Curățarea** pieselor de rumeguș, particule de sol, resturi vegetale – care favorizează degradarea fungică și microbiană a lemnului.

3. Pentru început, lemnul umed despicat se stivuiește cât mai larg, în aer liber, **neprotejat**, adică în contact direct cu radiația solară și precipitațiile, ambele favorizând uscarea în etapa următoare ⁷³, în care lemnul de foc se acoperă. Lobdele de rășinoase se zvântă în 1-2 luni.

4. Lemnul de foc zvântat se poate așeza ceva mai strâns în stive, care vor fi **acoperite** direct, cu prelată ⁷³, sau protejate sub șoproane (Figura 17) sau acoperișuri mobile ⁴². Aceste structuri de protecție sunt realizate din rame de lemn acoperite de material impermeabil (carton asfaltat, folie de polietilenă, tablă

zincată). Ramele se pot aplica și pe o parte din pereții laterali ai șopronului. Streașina acoperișului va depăși stiva periferică cu 50 cm pe lungime și 30-40 cm, pe lățime ⁴². Panta acoperișului (10-12 %) va fi orientată lateral sau față, nicidecum între stive ⁴².

5. Stadiul uscării va fi **verificat**, folosind umidometrul. În acest scop, se vor secționa la mijlocul lungimii cel puțin două piese din centrul stivelor, iar măsurarea umidității se va efectua în suprafețele proaspăt secționate. Sunt utile și indiciile următoare^{72, 73}:

Sunetul lemnului	Lemnul de foc uscat emite, la lovire, un sunet ascuțit, „în gol”, în timp ce lemnul verde emite un sunet înfundat.
Crăpăturile la capete	Lemnul uscat prezintă crăpături și numeroase fisuri la capete. Lemnul verde nu crapă deasupra umidității de saturație.
Culoarea lemnului	Gri-cenușie, la lemnul de foc uscat.

Uscarea insuficientă în aer liber prelungeste cu cel puțin 12 luni uscarea în spațiile închise în care va fi depozitat ulterior lemnul de foc⁷³.

6. Pentru a grăbi uscarea, se pot adopta metode **alternative uscării naturale**, constând în circularea forțată a aerului cu ventilatoare staționale sau mobile, stivuirea în sere, legănarea stivelor și uscarea cu gaze arse ^{21, 42}. Uscarea în sere nu a dat însă rezultate notabile în România. Circularea forțată a aerului nu este eficientă la temperaturi mai joase de 4 °C ⁴².

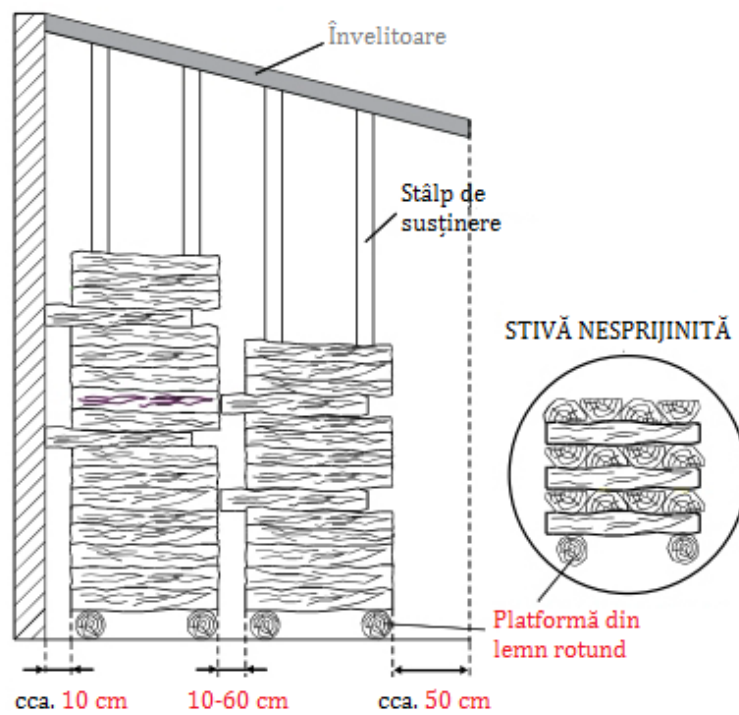


Figura 21. Exemplu de stivuire în aer liber a lemnului de foc ²³







Lemnul uscat artificial oferă un randament mai bun la ardere, dar este mai scump⁷³. Costurile tehnologice suplimentare sunt compensate de cantitatea mai mare de lemn care se uscă în unitatea de timp.

Recomandări pentru alegerea lemnului de foc










Cu toate că aportul caloric din arderea unui unități de masă de lemn nu diferă esențial între specii, comportarea diferită în timpul arderii și producții rezultați sunt criteriile pentru alegerea esenței lemnului pentru foc.

În principiu, lemnul de rășinoase și foioase moi arde mai repede decât cel al foioaselor tari, deci necesită un consum de două ori mai mari de lemn de foc pentru același efect termic.

Cu toate acestea, orientarea exclusivă către lemnul tare (greu) nu este cea mai bună alegere. Literatura și sfaturile practicienilor recomandă mixtura de lemn moale și lemn tare, în care lemnul moale să inițieze arderea^{41, 73}. Lemnul foioaselor moi este recomandat arderii în lunile de primăvară și toamnă⁷².

Esența lemnoasă	Caracteristici de ardere
Rășinoase	Puncte tari/slabe  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se usucă mai repede, se despică ușor ▪ Se aprinde repede ▪ Pinul îndeosebi este foarte bun pentru focuri de tabără
	 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Arde repede ▪ Degajă mai puțină căldură la același volum, care nu durează ▪ Scânteiază în timpul arderii ▪ Produce mult fum și funingine, mai ales pinul
	Durata uscării la aer 6 luni
Stejar	Puncte tari/slabe  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Produce multă căldură, care persistă, mai ales la cer și mai puțin la gorun ▪ Produce puțin fum, cu miros plăcut
	 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se usucă greu ▪ Se aprinde destul de greu ▪ Are coajă groasă ▪ Produce mult creozot aderent pe coș
	Durata uscării la aer 24 luni
Fag	Puncte tari/slabe  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Degajă multă căldură ▪ Cărbunele rămâne incandescent până la consumare ▪ Scânteiază puțin ▪ Emite destul puțin fum, cu miros plăcut, recomandat la afumarea unor preparate din carne
	 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lemnul verde conține multă apă ▪ Se aprinde greu ▪ Putrezește repede dacă este depozitat în condiții improprie
	Durata uscării la aer 10-12 luni



Carpen	Puncte tari/slabe		<ul style="list-style-type: none">▪ Excelent combustibil▪ Arde cu flacără vie▪ Produce cărbune care rămâne incandescent până la încheierea combustiei
			<ul style="list-style-type: none">▪ Putrezeşte repede dacă este depozitat în condiții improprii▪ Puterea calorică diferă destul de mult de la o zonă la alta
Durata uscării la aer		10-12 luni	
Mesteacăn	Puncte tari/slabe		<ul style="list-style-type: none">▪ Se aprinde repede datorită cojii▪ Arde bine, cu flacără luminoasă▪ Produce multă căldură ascendentă, durabilă, favorabilă pentru copt
			<ul style="list-style-type: none">▪ Se usucă destul de greu
Durata uscării la aer		8 luni	
Frasin	Puncte tari/slabe		<ul style="list-style-type: none">▪ Se usucă mai repede decât alte foioase tari▪ Arde bine chiar și verde▪ Produce cărbune de foarte bună calitate
		Durata uscării la aer 10-12 luni	
Salcâm	Puncte tari/slabe		<ul style="list-style-type: none">▪ Excelent combustibil▪ Degajă cea mai multă căldură la ardere, care este persistentă▪ Este recomandat pentru arderea în șeminee
			<ul style="list-style-type: none">▪ Are coajă groasă▪ Produce mult fum▪ Greu de despicat
Durata uscării la aer		14 luni	
Salcie	Puncte tari/slabe		<ul style="list-style-type: none">▪ Se despică ușor▪ Se aprinde repede▪ Degajă multă căldură, favorabilă pentru copt
			<ul style="list-style-type: none">▪ Arde foarte repede▪ Are coajă groasă▪ Produce destul de multă funingine
Durata uscării la aer		6-9 luni	



Referințe bibliografice

1. Antonescu N et al. (1988). Valorificarea energetică a deșeurilor. Procese și instalații de ardere. Ed. Tehnică, București, 352 p.
2. Beldeanu EC (1999). Produse forestiere și studiul lemnului. Ed. Universității Transilvania, pp. 243-245.
3. Beldeanu EC (2008). Produse forestiere. Ed. Universității Transilvania, pp.183-186.
4. Bignal CL, et al (2008). Release of polycyclic aromatic hydrocarbons, carbon monoxide and particulate matter from biomass combustion in a wood-fired boiler under varying boiler conditions. *Atmospheric Environment* 42(39), 8863-8871.
5. Boman Bc et al (2003). Adverse health effects from ambient air pollution in relation to residential wood combustion in modern society. *Scandinavian journal of work, environment & health* 29, 251-260.
6. Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JG (2003). *Forest products and wood science*. Iowa State Press, pp. 467-479.
7. Câmpu VR(2012). Determination of the conversion factor of stacked wood in solid content at Spruce pulpwood and firewood with the length of two and three meters. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering* 5 (54), 31-36.
8. Câmpu VR (2014). Măsurarea lemnului stivuit. Ed. Universității Transilvania, Braşov, 223 p.
9. Câmpu VR (2015: Factori de cubaj pentru lemnul de foc pachetizat cu lungimi mai mici de 1m. *Revista de Silvicultură și Cinegetică* 35,133-137.
10. Câmpu VR et al. (2015). The impact of log length on the conversion factor of stacked wood to solid content. *Wood Research* 60(3), 503-518.
11. Chomanee J et al. (2009). Effects of moisture content and burning period on concentration of smoke particles and particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from rubber wood combustion. *Aerosol and Air Quality Research* 9, 404–411.
12. Ciubotaru A (1998). *Exploatarea pădurilor*. Ed. LuxLibris, Braşov, pp. 230-231.
13. Decei I, Armăşescu S (1959): Cercetări asupra factorilor de cubaj și de așezare la lemnul de foc fasonat în steri. *Revista Pădurilor* 2, 87-90.

14. Decei I (1962). Cercetări și date în problema factorilor de cubaj la lemnul de foc. Revista Pădurilor 8, 498-502.
15. Decei I, Anca T (1964). Cercetări privind factorii de cubaj și greutatea lemnului de fag pentru distilare și celuloză. Revista Pădurilor 6, 291-295.
16. Decei I, Anca T (1968). Cercetări privind determinarea factorilor de cubaj și a greutății specifice la lemnul fasonat și așezat în figure. Analele I.C.A.S. 26(1), 364-382.
17. Desch HE, Dinwoodie JM (1996). Timber: structure, properties, conversion and use. Palgrave Macmillan, Houndmills, Basingstoke, Hampshire, pp. 97-98.
18. Dumitrașcu RE, Bădescu LAM (2009). Determination moisture and density from trunks of spruce (*Picea Abies* K.) obtained from cultural operations made in forest. Challenges in Higher Education & Research 7, 249-252.
19. Dzurenda L, Banski A (2017). Influence of moisture content of combusted wood on the thermal efficiency of a boiler. Archives of thermodynamics 38(1), 63-74.
20. Eichler H (1978). Praxis der holztrocknung. VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 184 p.
21. Ene N, Tătar CG (2008). Ingineria cherestelei. Ed. LuxLibris, Braşov, pp. 601-619.
22. Filipovici J (1965). Studiul lemnului. vol. 2. EDP, București, 620 p.
23. Francescato V (2008). Wood fuels handbook: production, quality requirements, trading. Disponibil la: <https://forestry.msuextension.org/wood-burning/pellets>, accesat la 10.10.2021.
24. Ghafghazi S et al (2011). Particulate matter emissions from combustion of wood in district heating applications. Renewable and Suitable Energy Reviews 15, 3019-3028.
25. Ghelmeziu N (1944). Contribuțiuni la întocmirea unei norme pentru măsurarea umidității lemnului de foc. Analele I.C.A.S. 10(1), 45-74.
26. Giurgiu V et al. (2004). Metode și tabele dendrometrice. Ed. Ceres, București, 575 p.
27. Görgens JF et al. (2014). Biomass conversion to bioenergy products. În: Seifert T. (ed.). Bioenergy from wood: sustainable production in the Tropics, pp. 137-187.
28. Grandesso E et al. (2011). Effect of moisture, charge size, and chlorine concentration on PCDD/F emissions from simulated open burning of forest biomass. Environmental Science & Technology 45(9), 3887-3894.
29. Grîu T (2014). Evaluarea și mărirea puterii calorice a biomasei lemnoase. Teză de doctorat. Universitatea Transilvania, Braşov, 175 p.
30. Hill CAS (2006). Wood modification: chemical, thermal and other processes. John Wiley & Sons Inc., Chichester, 239 p.
31. IEE (2006). Wood biomass as fuel. Material for 5EURES. Training sessions. Disponibil la: www.hnee.de, accesat la 09.10.2021.

32. INS (2010). Consumurile energetice din gospodării. Institutul Național de Statistică, București. Disponibil la: http://www.insse.ro/cms/files/publicatii/CENG_publicatie_tabele.pdf, acesta în 8.10.2021.
33. INS (2021). Date disponibile la www.statistici.insse.ro, accesate în 8.10.2021.
34. IRS (1980). STAS 2340-80: Lemn de steri și crăci pentru mangalizare și combustibil. Institutul Român de Standardizare, București.
35. Kaminholz (2021). Solartrocknung: umweltschonend, nachhaltig. Disponibil la: <https://www.kaminholz-lamers.de/solartrocknung.html>, accesat în 14.10.2021.
36. Kofman PD (2006). Firewood. Characteristics of firewood. Coford, Harvesting / Transportation No. 5
37. Kollmann F (1951). Technologie des holzes und der holzwerkstoffe. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 242-275.
38. Kollmann FP, Côté Jr (1968). Principles of Wood Science and Tehnology. Vol I, Solid Wood, Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York.
39. Korenaga T et al. (2001). The influence of moisture content on polycyclic aromatic hydrocarbons emission during rice straw burning. Chemosphere 3(1), 117-122.
40. Kruch J (1994). Considerații privind utilizarea densității aparente în gestionarea masei lemnoase. Revista Pădurilor 2, 17-21.
41. Lunguleasa A et al. (2007). Combustia ecologică a biomasei lemnoase. Ed. Universității Transilvania, 124 p.
42. Maiorescu VD, Maiorescu AT (1998). Practica uscării cherestelei. Ed. LuxLibris, Braşov, pp. 54-82.
43. Marinescu I (1979). Uscarea lemnului. vol. 1. Ed. Tehnică, București, pp.180-213.
44. Obernberger I et al (2006). Chemical properties of solid biofuels: significance and impact. Biomass and Bioenergy 30(11), 973-982.
45. Olărescu AM (2009). Valorificarea sustenabilă a lemnului din crengi. Ed. Universității Transilvania, 282 p.
46. Oprea I, Sbera I (2004). Tehnologia exploatării lemnului. Ed. Tridona, Oltenița, pp. 14-16.
47. Orémusová E et al. (2014). Evaluation of the Gross and Net Calorific Value of the Selected Wood Species. AMR 1001, 292–299.
48. Pănoiu N et al. (1993). Modernizarea instalațiilor de ardere pentru cazane industriale. Ed. Tehnică, București, 271 p.

49. Petrovici VG, Popa VI (1998). Chimia și prelucrarea chimică a lemnului. vol. 2. Ed. Universității Transilvania, pp.272-273.
50. Popa B et al. (2020). Sunt datele publice privind recoltarea și utilizarea lemnului în România corelate ? Studiu de caz: biomasa solidă cu destinație energetică, provenită din silvicultură. Revista pădurilor 135(1), 15-26.
51. Pope CA et al. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. The Journal of the American Medical Association 287(9), 1132-1141.
52. Popescu M (1988). Caracteristici termice ale unor reziduuri și deșeuri corelate cu caracteristicile de ardere. În: Antonescu N et al. (1988): Valorificarea energetică a deșeurilor. Procese și instalații de ardere. Ed. Tehnică, București, pp.13-35.
53. Price-Allison A et al. (2019). Emissions performance of high moisture wood fuels burned in a residential stove. Fuel 239(1), 1038-1045.
54. Rotaru C (1974). Tehnologia exploatării lemnului. Ed. CDPT – MIM, București, 398 p.
55. Rowell RM, Dietsberger MA (2013). Thermal properties, combustion, and fire retardancy of wood. În: Rowell RM (ed.): Handbook of wood chemistry and wood composites, pp. 511-536.
56. Seifert T et al. (2014). Biomass from wood in the Tropics. În: Seifert T. (ed.). Bioenergy from wood: sustainable production in the Tropics, pp. 1-10.
57. Shen G et al. (2013). Influence of fuel moisture, charge size, feeding rate and air ventilation conditions on the emissions of PM, OC, EC, parent PAHs, and their derivatives from residential wood combustion. Journal of environmental sciences. 25(9), 1808-16.
58. Siau JF (1995). Wood: Influence of moisture on physical properties. Virginia State University Press, 227 p.
59. Sobaru P (1958). Distilarea uscată a lemnului. În: Beral E. Manualul inginerului chimist, vol. 6. Ed. Tehnică, București, pp. 780-828.
60. Stinghe VN, Sburlan DA (1968). Agenda forestieră. Breviar tehnic. Ed. AgroSilvică, București, pp.753, 797-800.
61. Șova N et al. (1966). Termotehnică și instalații termoenergetice în industria lemnului. EDP, București, 562 p.
62. Toma GT (1944). Variația greutatei lemnului de foc. A doua și a treia serie de cercetări. Analele I.C.A.S. 10(1), 75-102.
63. Toma GT (1948). Cercetări asupra factorilor de cubaj și factorilor de așezare la steri și la grămezi de crăci. Revista pădurilor 6, 217-222.

64. Trojanowski R, Fthenakis V (2019). Nanoparticle emissions from residential wood combustion: A critical literature review, characterization, and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 103, 515-528.
65. Tyler A (2010). Moisture content of 'seasoned' firewood. *Forestry, Trees, and Timber*, W179 Wood Products Information.
66. Van Loo S, Koppejan J (2008). The handbook of biomass combustion and co-firing. Earthscan, Londra, pp. 291-303.
67. Vanin SI (1953). Studiul lemnului. Ed. Tehnică, Bucureşti, pp. 98-107, 135-138.
68. Vintilă E (1942). Cercetări cu privire la umiditatea relativă a lemnului în întrebuinţările lui curente. *Analele I.C.A.S.* 8(1), 3-29.
69. Vintilă E (1943). Cercetări asupra umidităţii lemnului de stejar în stare verde. *Analele I.C.A.S.*, 9(1), 19-38.
70. Vâţca E (1984). Combustibilii şi arderea. ICEMENERG, Bucureşti, 47 p.
71. Williamson C (2006). The energy sector: a hidden Goliath. În: Walker JCF (ed.). *Primary wood processing. Principles and practice*. Ed. 2, pp. 535-540.
72. <https://www.firewood-for-life.com/willow-firewood.html>, accesat la 16.10.2021
73. <https://piwakawakavalley.co.nz/drying-firewood-super-fast/> accesat la 12.10.2021