

INFLUENȚA UMIDITĂȚII ASUPRA LUCRULUI MECANIC ȘI REZISTENȚEI LA RUPERE PRIN ÎNCOVOIEREA DINAMICĂ A LEMNULUI DE MOLIFT

de Dr. Ing. N. GHELMEZIU

CUPRINSUL

- I. Introducere.
- II. Rezultatele diferitelor încercări anterioare.
 1. Incercări cu ciocanul vertical.
 2. Incercări cu ciocanul pendul.
- III. Incercări comparative cu piese de probă din molift de rezonanță.
 1. Pregătirea și executarea încercărilor.
 - a) Luarea pieselor de probă.
 - b) Realizarea diferitelor stări de umiditate a pieselor de probă.
 - c) Seriile de piese de probă.
 - d) Aparatura folosită și calcularea rezultatelor.
 2. Rezultatele încercărilor.
 - a) Influența umidității asupra lucrului mecanic la rupere prin încovoiere dinamică (izbire).
 - b) Influența umidității asupra rezistenței la încovoiere prin izbire.
- IV. Încheiere.

Literatura folosită.

I. INTRODUCERE

Înșuşirile mecanice ale lemnului sunt influențate foarte mult de variațiunile umidității acestuia. În general, odată cu creșterea umidității lemnului până la momentul saturației fibrei, rezistențele lui mecanice scad, pentru a rămâne mai departe aproape constante la umidități mai mari. Relațiunile între umiditatea lemnului și rezistențele lui la solicitări dinamice nu sunt în deajuns cunoscute până acum, însuşirile dinamice ale lemnului fiind relativ târziu puse în primul plan al cercetărilor.

Comportarea lemnului la încovoiere prin izbire (șoc) este criteriul folosit cel mai mult până azi pentru calificarea materialului lemnos. cu deosebire când el este destinat unor întrebuițări în care solicitările dinamice sunt cele mai frecvente și mai puternice (construcții aeronautice, grinzi de poduri, cozi de instrumente, articole de sport, etc.). Încercările se fac cu ciocanul vertical sau cu ciocanul pendul.

Influența umidității asupra mărimilor determinate cu ciocanul vertical este în mare parte precizată. Relațiunile între umiditatea lemnului și însușirile măsurate cu ciocanul pendul nu sunt în deajuns lămurite. rezultatele unor încercări fiind chiar contradictorii.

Scopul lucrării noastre este de a contribui la clarificarea acestor relațiuni, folosind un material lemnos destul de omogen, moliftul de rezonanță.

II. REZULTATELE DIFERITELOR ÎNCERCĂRI ANTERIOARE

1. *Încercări cu ciocanul vertical*

Prin încercările cu ciocanul vertical se măsoară lucrul mecanic absorbit de piesele de probă pentru a se încovoia până la limita elasticității, rezistența la încovoiere tot până la această limită și înălțimea dela care căzând ciocanul se provoacă ruperea piesei. Încercările făcute în laboratorul produselor forestiere din Madison, U. S. A., au arătat [9, 15, 19] că umiditatea influențează aceste mărimi astfel: lucrul mecanic și rezistența la încovoiere scad iar înălțimea de cădere se mărește cu cât crește umiditatea. Din examinarea rezultatelor acestor foarte numeroase încercări se vede că influența umidității diferă ca mărime cu specia și la aceeași specie cu proveniența, uneori chiar sensul influenței fiind schimbat, mai ales la înălțimea de cădere. În tabloul I se dau câteva exemple. Pe baza acestor încercări s'au stabilit următoarele valori medii pentru variațiunile cu umiditatea ale mărimilor ce se măsoară cu ajutorul ciocanului vertical: la o creștere a umidității cu 1%, lucrul mecanic scade cu 4% și rezistența la încovoiere cu 3% iar înălțimea de cădere se mărește cu 0,5%¹⁾.

¹⁾ Pe baza încercărilor, mai puțin numeroase, asupra cărora s'a referit în 1917 [19], aceste variațiuni se stabiliseră respectiv 5%, 4% și 3%.

Monnin [17, pag. 41] spune următoarele despre rezultatele încercărilor americane: « Les Américaines estiment que pour la résistance au choc jusqu'à charge maxima, telle qu'ils la mesurent, il y a augmentation de 1% pour chaque 1% d'humidité en plus pour les bois secs à l'air ».

TABLOUL 1.

Variația cu umiditatea a însușirilor ce se măsoară prin încercarea la încovoiere cu ciocanul vertical la câteva specii (după Markwardt și Newlin [15], Forest Products Laboratory)

Specia	Umiditatea lemnului în stare:		Lucrul mecanic la limita elasticității [inch-pound per cubic inch]	Rezistența la încovoiere la limita elasticității [pound per square inch]	Înălțimea de cădere a ciocanului de 50 pounds la ruperea piesei [inch.]			
	uscată	verde			Lemnul în stare:			
					uscată	verde	uscată	verde
1. Frasin (<i>Fraxinus americana</i>) . . .	6,9	48,1	11,0	5,1	19,050	11,620	37	38
2. Frasin (<i>Fraxinus biltmoreana</i>) . .	5,4	41,5	10,4	4,9	19,850	11,930	46	30
3. Fag (<i>Fagus grandifolia</i>)	13,1	60,9	8,1	5,1	17,200	11,760	40	43
4. Mesteacăn (<i>Betula lutea</i>) . .	10,3	71,8	8,2	3,8	18,300	11,080	53	36
5. Mesteacăn (<i>Betula populifolia</i>)	11,6	63,0	3,5	2,6	10,270	7,380	35	59
6. Stejar (<i>Quercus borealis</i>)	11,2	90,7	12,7	3,3	23,500	10,250	49	40
7. Stejar (<i>Quercus borealis</i>) ¹⁾ . .	10,5	83,3	7,8	4,2	16,800	10,800	36	43
8. Nuc (<i>Juglans nigra</i>)	4,8	81,1	11,3	4,5	19,450	11,860	33	37
9. Brad (<i>Abies balsamea</i>)	4,8	117,0	2,9	2,3	8,460	6,900	23	16
10. Pinus (<i>Pinus palustris</i>)	11,6	30,2	6,2	3,4	15,030	9,950	28	31
11. Molift (<i>Picea sitchensis</i>)	8,9	53,0	5,2	2,5	13,890	7,940	25	29
12. Molift (<i>Picea sitchensis</i>) ¹⁾ . .	10,6	36,1	5,7	3,5	13,850	9,640	28	24

Dacă valorile înălțimii de cădere a ciocanului vertical se transformă în lucru mecanic la rupere prin izbire cu ciocanul pendul, folosind formulele stabilite de Pettifor [20], se deduce aceeași influență a umidității asupra acestuia, adică, în general, el ar crește cu cât umiditatea este mai mare.

¹⁾ De altă proveniență.

2. Încercări cu ciocanul pendul

Prin încercările cu ciocanul pendul se măsoară lucrul mecanic absorbit de piesa de probă până la rupere, iar dacă se folosește dispozitivul special al lui Breuil¹⁾ adaptat la un reazim, se măsoară sarcina maximă la rupere prin încovoiere, putându-se deci calcula rezistența respectivă la încovoiere. Acest fel de încercare dinamică, prin simplitatea și rapiditatea lui, precum și datorită faptului că identifică ușor materialul casant din cauze a căror influență nu se face sensibilă la încercări statice, a fost adoptat ca procedeu general de încercare pentru alegerea materialului lemnos necesar construcțiilor aeronautice.

Influența umidității asupra lucrului mecanic la rupere (reziliența, cum este denumit în normele franceze) este considerată, în general, neglijabilă. Monnin [17, 18], care a bazat metoda de cercetare franceză pentru lemnul de aviație în special pe încercarea la încovoiere prin șoc, consideră reziliența practică neinfluențată de umiditate, deci nu mai sunt necesare corecțiuni de umiditate. Această însușire este subliniată ca încă un avantaj, care califică procedeul ca cel mai ușor aplicabil în ateliere sau pe șantierele de recepție.

Monnin explică independența rezilienței față de umiditate prin faptul că creșterea umidității micșorează sarcina de rupere, dar mărește deformația respectivă, astfel că în produsul acestor doi factori se face o compensație. Această explicație este reluată în diverse alte lucrări [10, 11, 15].

În publicațiunile din 1917 [17], Monnin ajunge la următoarele concluziuni cu privire la relațiunile rezilienței totale cu umiditatea:

- pentru lemnele uscate normal, reziliența este constantă;
- pentru lemnele uscate artificial, reziliența scade sensibil când umiditatea crește;
- pentru lemnele uscate la aer, apoi îmbibate, reziliența crește sau scade ușor, funcție de esență;
- pentru lemnele verzi sau semiuscate (cazul recepțiilor pe șantier), încercările de determinare a rezilienței totale și a celei corespunzătoare încărcării maxime sunt singurele de luat în considerare, deoarece acestea sunt practic independente de umiditate.

În lucrarea [18] prezentată Congresului din 1931 al Asociației internaționale pentru încercarea materialelor, Monnin susține că reziliența crește ușor cu umiditatea, excepție făcând fagul. Reziliența este singura

¹⁾ Dispozitivul este cunoscut sub numele de « crocodil ».

proprietate mecanică a lemnului, care nu scade cu cât se mărește umiditatea, ci chiar crește. În limitele variațiunii umidității lemnului uscat la aer, adică 12...18% umiditate, corecțiunile devin inutile.

Încercările comparative făcute de Savkov în 1930 [22], cu lemn de pin destinat construcțiilor aeronautice, au condus la concluzia că, umiditatea nu influențează rezistența la încovoiere dinamică sau influența ei este prea mică față de alte cauze, care nu sunt încă determinate.

Graf [8] subliniază valoarea observației că, după cât se pare, rezistența la încovoiere prin șoc nu este funcție de umiditatea lemnului.

Kollmann [11] admite, în limite largi, o reducere medie de 0,5...1% a lucrului mecanic de rupere prin șoc, pentru fiecare 1% scădere a umidității lemnului.

Seeger [23] stabilește, pentru pin, că lucrul mecanic crește cu cât se mărește umiditatea, atât la solicitări tangențiale cât și radiale față de inelele anuale. Influența se face mai vizibilă abia la diferențe de umiditate mai mari de 10% și ea este mai redusă la piese cu greutate specifică mică. Pentru lemnul de fag, lucrul mecanic atinge maximum la 16...17% umiditate și scade mai repede la umidități mai mari și mai încet pentru umidități mai mici.

Egner [6], în lucrarea sa sintetică din 1941, spune că, la încercarea de încovoiere prin izbire cu ciocanul pendul, se poate de cele mai multe ori renunța să se măsoare umiditatea, după cunoștințele de până acum, influența acesteia asupra rezistenței respective fiind relativ redusă.

Thunell [24], odată cu studierea influenței temperaturii asupra în-sușirilor mecanice ale lemnului de pin suedez, ajunge la concluzia că rezistența la încovoiere prin izbire, la temperatura de + 20°C, se dublează pentru o creștere a umidității dela 12% la 25% și se triplează, dacă aceasta se mărește dela 12% la 70%.

În cercetările americane, în afară de ciocanul vertical, este folosit și un ciocan pendul de construcție specială [16], cu care se măsoară lucrul mecanic la rupere prin încovoiere sub o singură izbitură. Markwardt și Wilson [15] caracterizează acest procedeu de încercare ca fiind foarte simplu și rapid datorită și faptului că, atunci când se încearcă lemnul uscat (se înțelege uscat la aer), nu este nevoie de cunoașterea umidității, deoarece, după cât au arătat încercările, rezistența măsurată astfel este puțin influențată de diferențele de umiditate care se ivesc de obicei.

După încercările australiene [5, 12, 13, 14] făcute cu un ciocan pendul asemănător celui american, folosind piese de probă în stare verde și absolut uscată, se deduce că influența umidității este diferită

după specie (câteva exemple sunt date în tabloul 2). Langlands [12] subliniază ca foarte satisfăcătoare însușirea lemnului de eucalipt de a avea reziliența mai mare în stare uscată, la multe specii aceasta scăzând prin uscare.

TABLOUL Nr. 2

Influența umidității asupra lucrului mecanic de rupere la încovoiere prin izbire cu ciocanul pendul (după Langlands [12, 13, 14])

S p e c i e	Lucrul mecanic [pound] la rupere pentru piese în stare:	
	uscată [u = 12%]	verde
Callitris glauca	67	119
Eucalyptus astringens	372	323
Eucalyptus maculata	336	270
Pinus radiata D. Don	110	170

În normele engleze pentru lemnul de aviație [1, 2, 3, 4], se prevăd încercări cu ciocanul pendul, folosindu-se piese de probă cu creștătură. Pentru materialul uscat la aer nu se prescriu corecțiuni de umiditate. Din rezultatele medii obținute de Pettifor [21] la un grup mare de specii se vede că, lucrul mecanic măsurat cu piese de probă crestate scade foarte puțin dela umiditatea în stare verde a lemnului la umiditatea corespunzătoare uscării la aer (8,2 foot-pounds față de 8,1). Aceleași încercări arată o scădere și a lucrului mecanic măsurat cu un ciocan pendul asemănător celui american, dacă umiditatea scade (129 inch-pounds în stare verde și 118 inch-pounds în stare uscată la aer, cea 12% umiditate).

Încercările noastre dintr'o lucrare anterioară [7] executate cu lemn de molift, pin, fag și stejar, după un procedeu de lucru asemănător celui folosit în încercările de acum, ne-au dat următoarele indicațiuni:

la molift, pin și fag lucrul mecanic la rupere scade când umiditatea crește până la cca 15%, rămâne aproximativ constant între 15% și 20%, de aci înainte până la punctul de saturație a fibrei rezultatele fiind mai mari sau mai mici, totuși inferioare celor pentru piesele absolut uscate;

la stejar, în cadrul higroscopicității, lucrul mecanic la rupere crește cu cât umiditatea crește;

pentru umidități peste saturația fibrei, cu excepția fagului, lucrul mecanic crește cu mărirea umidității.

Creșterea mare a lucrului mecanic de rupere la piesele cu umiditate ridicată, în special peste punctul de saturație a fibrei, am explicat-o ca fiind, în mare măsură, o urmare pe de o parte a lucrului mecanic absorbit de deformațiile făcute de reazime și de tăișul ciocanului, deformații mai mari la aceste piese, iar pe de alta, a frecării pe reazime a pieselor care la rupere nu se separă în două bucăți, caz în special frecvent la umidități mari, mai ales pentru unele specii.

Numărul restrâns de încercări și variația mică de umidități pe care am folosit-o în acea lucrare, ne-a făcut să nu considerăm aceste rezultate decât ca indicațiuni aproximative. Procedul întrebuițat de a compara rezultatele pieselor perechi, tăiate foarte apropiat una de alta, s'a arătat a fi potrivit pentru examinarea influenței umidității asupra lucrului mecanic la rupere prin încovoiere dinamică, însușire care variază atât de mult pentru același material.

III. INCERCĂRI COMPARATIVE CU PIESE DE PROBĂ DIN MOLIFT DE REZONANȚĂ

1. Pregătirea și executarea încercărilor

Încercările de încovoiere prin izbire făcute cu ciocanul pendul prezintă o foarte mare împrăștiere a rezultatelor. Chiar la materialele din aceeași specie și de aceeași proveniență, alese cât mai asemenea după criteriile macroscopice, variațiunea rămâne destul de mare. Aceasta arată că sunt o seamă de cauze, în bună parte încă necunoscute, de care depinde mărimea însușirilor măsurate astfel. Deaceia, pentru studierea influenței umidității lemnului asupra acestor însușiri, este necesar ca prin procedeul de lucru să se elimine cât mai multe din variabilele care intervin în determinarea lucrului mecanic de rupere și a rezistenței respective la încovoiere.

a) Luarea pieselor de probă

Luarea pieselor de probă trebuie să se facă astfel ca materialul din piesele ce se compară, să fie cât mai asemenea.

Luând piese de probă dela aceeași înălțime în arbore, în secțiunea transversală am obținut rezultate foarte variabile, fără să se distingă vreo influență a orientării pieselor față de punctele cardinale. Astfel,

piesele de probă tăiate din câte trei runde de fiecare din speciile de mai jos au dat următoarele rezultate pentru lucrul mecanic la rupere ¹⁾:

la molift: 1,05...2,9; 1,1...2,9; 1,5 ...4,2 [Kgm]
la pin: 0,5 ...3,1; 0,5...4,1; 0,8 ...2,8 »
la fag: 1,6 ...6,1; 3,3...7,5; 3,15...7,0 »
la stejar: 1,7 ...3,9; 2,7...4,1; 3,6 ...7,7 »

Diferențe destul de mari am obținut și la piese tăiate cap la cap din aceeași bucată de lemn.

Pentru a avea un material cât mai omogen, am folosit lemn de molift de rezonanță ²⁾, cu inele anuale foarte regulate, fără defecte de creștere, etc., material care se întrebuințează în construcții aeronautice. Piesele de probă s'au prelucrat din capete de scânduri de 40 cm lungime și cca 7 cm grosime.

Înainte de a debita tot materialul, am făcut câte 30 grupe de încercări cu piese de probă tăiate succesiv în sens radial și tangențial față de inelele anuale, spre a vedea, la aceeași umiditate, variația lucrului mecanic de rupere la piesele apropiate.

Piesele tăiate succesiv în sens radial, ca urmare a omogenității materialului, au prezentat diferențe mici. Diferențe mai mari s'au înregistrat când s'au tăiat mai mult de 4 piese una lângă alta și când lățimea inelelor anuale a fost variabilă.

Piesele tăiate alăturat în sens tangențial (fig. 1), deci care cuprind aceleași inele anuale, au prezentat cele mai mici diferențe. Astfel din 30 grupe de 2 piese, 9 nu au avut nicio diferență, la 11 variația față de medie a fost de $\pm 2 \dots \pm 5\%$ iar la celelalte 10 grupe rezultatele au variat cu $\pm 7 \dots \pm 12\%$ în raport cu mediile respective. Diferențele cele mai mari au fost înregistrate la piesele de probă care au avut lucrul mecanic la rupere mic, în jurul a 1 kgm.

Procedul de mai sus de luare a pieselor de probă (fig. 1) a fost adoptat pentru debitarea pieselor pe care le-am folosit în aceste încercări. Prelucrarea pieselor s'a făcut cu deosebită grijă numai din materialul cu inelele regulate. Au fost eliminate perechile de piese care nu au cuprins în amândouă piesele exact aceleași inele anuale sau au avut un cât de neînsemnat defect ca: o ușoară înclinare a inelelor anuale, în loc să fie tangențiale la una din laturile secțiunii, o slabă înclinare

¹⁾ Piesele de probă au fost de $2 \times 2 \times 30$ [cm³]; distanța între reazime de 24 cm.

²⁾ Material provenit din Ocolul Silvic Lăpușna (văile: Pârâul Bătrâna, Creanga Albă și Drăguș), exploatat în iarna 1938—1939.

a fibrelor, mici ondulațiuni ale acestora, noduri foarte mici (situate oriunde în piesă, nu numai spre mijlocul ei) sau cât de slabe colorațiuni.

Piesele de probă au fost debitate în dimensiunile $2 \times 2 \times 30$ [cm³].

b) *Realizarea diferitelor stări de umiditate a pieselor de probă.*

Pentru a obține o variație mai mare a umidității lemnului, piesele de probă au fost ținute în vase închise în care s'au creat diferite umidități ale aerului cu ajutorul următoarelor substanțe și soluții: oxid de fosfor, clorură de magneziu deshidratată, clorură de calciu

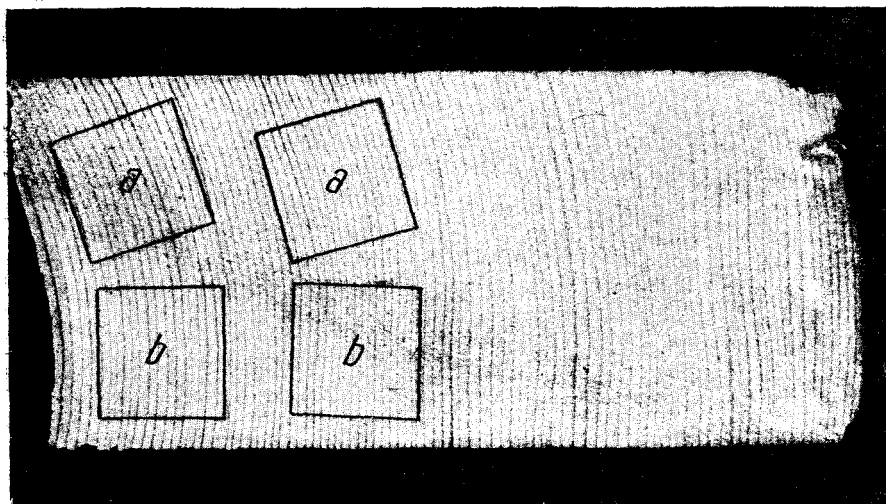


Fig. 1. — Schema luării pieselor de probă: *a*) piese de probă de comparație (cu umiditate 0%, cca. 12% sau cca. 15%). *b*) piese de probă pentru diferite umidități. Fig. 1. — Schéma de prise d'éprouvettes: *a*) éprouvettes de comparaison (anhydres, avec l'humidité env. 12% ou 15%); *b*) éprouvettes pour différents états d'humidité.

deshidratată, hidrat de potasiu topit, soluții saturate de clorură de calciu, carbonat de potasiu, azotat de calciu, azotat de amoniu, clorură de sodiu, sulfat de amoniu, clorură de potasiu, carbonat de sodiu, sulfat de potasiu, soluții de acid sulfuric cu concentrație 72,5%, 66,5%, 62,0%, 58,5%, 55,5%, 52,8%, 47,2%, 42,2%, 37,5%, și 32,8%.

Umiditatea corespunzătoare saturației fibrei s'a realizat în vase cu apă. Starea absolut uscată a pieselor s'a obținut prin uscarea într'o etuvă electrică la temperatura de 105° C. Temperatura s'a ridicat treptat în 5 zile, spre a se evita formarea de crăpături prin uscare.

Pentru umidități peste aceea corespunzătoare saturației fibrei-piesele au fost ținute în apă. În vase piesele au fost stivuite cu șipei intermediare de 8/8 mm.

Vasele s'au păstrat în camera cu temperatură constantă de 20°C.

Umiditatea inițială a pieselor de probă a fost de 11... 13%. Piesele au fost puse în vase în Iunie 1942 și s'au încercat în Aprilie 1944. Au stat, deci, 22 luni în mediile respective. După acest timp umiditatea pieselor din același vas a variat foarte puțin, așa cum se vede din următoarele exemple de umidități extreme măsurate în câteva vase: 2,1... 2,4%; 4,0... 4,3%; 4,9... 5,5%; 4,8... 5,2%; 9,9... 11,3%; 11,5... 12,6%. Se vede că umiditatea a variat mai mult în vasele cu umidități relative ale aerului ridicate. Piesele din vasele cu soluții de acid sulfuric cu concentrație 62,0%, 58,5%, și 55,5% au avut umidități între aceleași limite. Deaceia am format cu ele o singură treaptă de umiditate. Umiditatea pieselor dintr'un vas am exprimat-o prin media umidităților lor.

S'au realizat astfel următoarele 24 trepte de umiditate a lemnului: 0%, 1,0%, 1,5%, 1,8%, 2,2%, 2,8%, 4,1%, 5,1%, 7,0%, 8,8%, 9,3%, 9,8%, 10,5%, 11,2%, 12,2%, 13,2%, 13,7%, 14,3%, 16,1%, 17,3%, 23,2%, 26,5%, 28,9% și peste 70%.

Pentru măsurarea umidității fiecărei piese de probă s'au cântărit ambele bucăți rupte cu ciocanul, imediat după încercare și după ce s'au uscat în etuvă la 105°C. Scoaterea pieselor din vase, încercarea și cântărirea lor s'a făcut foarte repede, pentru ca umiditatea relativă a aerului din camera laboratorului să nu influențeze umiditatea lemnului.

c) Serii de piese de probă.

Pentru urmărirea influenței umidității am menținut umiditatea constantă la piesele de comparație din fiecare pereche de probe și am făcut să varieze umiditatea celorlalte așa cum am văzut mai înainte. Piesele de probă au fost repartizate la 3 serii de încercări.

La seria I-a, piesele de comparație au fost absolut uscate. La seria II-a, umiditatea acestora a fost în medie de 12,5% (11,8... 13,1%) iar la seria III-a, 14,5% (14,1... 14,8%). Pentru aceste două serii am urmărit să obținem umiditățile medii de 12% și 15%, cele două umidități adoptate până acum ca normale. Diferențele față de umiditățile medii realizate la piesele de comparație ale seriilor a II-a și a III-a sunt foarte mici, astfel că raportarea rezultatelor la umiditățile normale rămâne totuși posibilă.

Pentru fiecare stare de umiditate s'au repartizat câte 6 piese, perechile lor fiind folosite ca piese de comparație, astfel că pentru cele 3 serii de încercări s'au întrebuițat 900 piese de probă. Din acestea s'au eliminat la încercare 44 bucăți fiindcă fuseseră stropite accidental cu soluțiile din vase în timpul manipulării.

d) Aparatura folosită și calcularea rezultatelor.

La fiecare piesă de probă s'a măsurat lucrul mecanic la rupere și rezistența respectivă la încovoiere. Încercările s'au făcut cu un ciocan pendul de 15 kgm, construcție Mohr & Federhaff, reazimele și tăișul ciocanului având razele de 15 mm. Distanța între reazime a fost de 24 cm. Piesele s'au așezat astfel ca direcția de izbire să fie tangențială la inelele anuale.

Sarcina la rupere am măsurat-o indirect prin reacțiunea pe unul din reazime. Pentru aceasta am construit la acest ciocan un dispozitiv ¹⁾ cu bilă de 10 mm diametru, care, sub forțele ce i se transmit, imprimă urme de diferite mărimi pe o baghetă de aluminiu cu duritate cunoscută.

Rezistența la încovoiere am calculat-o cu formula $\frac{3 Pl}{2 bh^2}$.

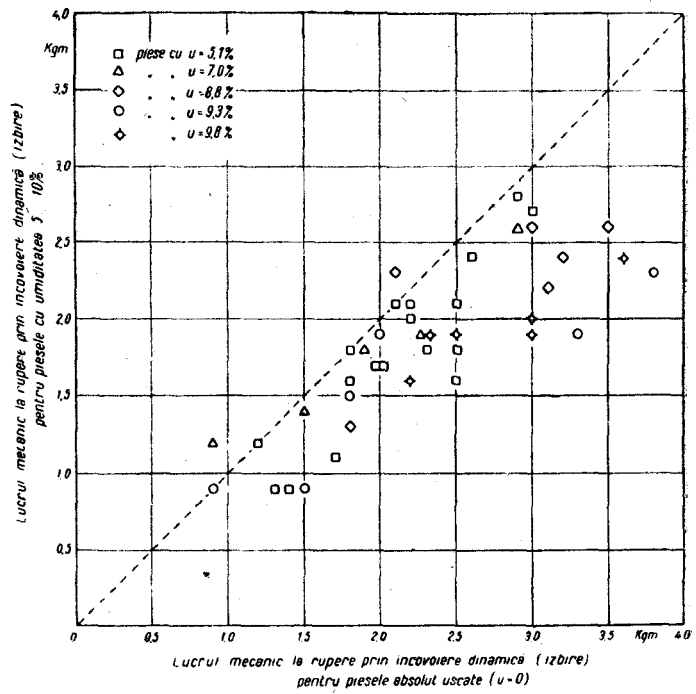
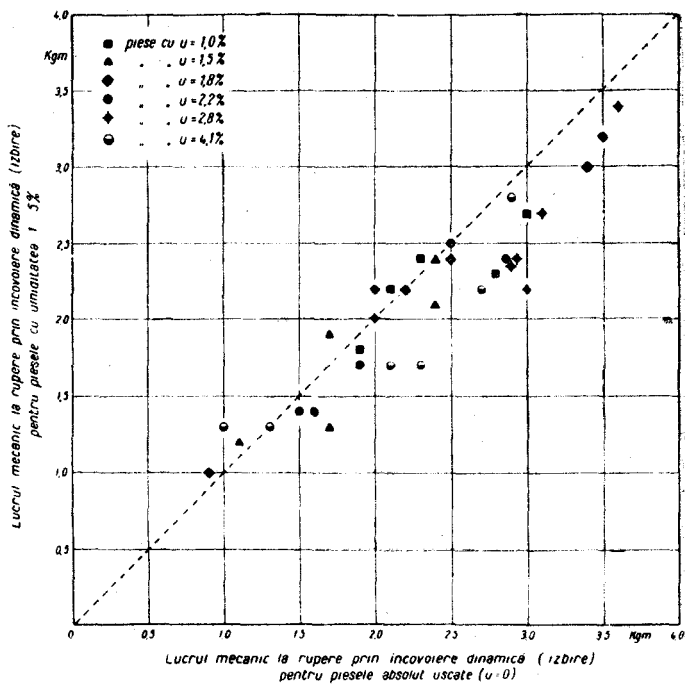
Intrucât încercările s'au făcut în condițiuni identice privitoare la forma și dimensiunile pieselor, distanța între reazime, etc, lucrul mecanic la rupere nu s'a raportat la suprafața secțiunii sau la volumul pieselor, ci s'a exprimat în kgm, așa cum a fost citit pe aparat.

2) Rezultatele încercărilor

a) *Influența umidității asupra lucrului mecanic la rupere prin încovoiere dinamică (izbire)*

Pentru a pune în evidență mai bine influența umidității, diagramele 2... 16 sunt făcute astfel ca să se poată compara rezultatele fiecărei perechi de piese de probă. Pe abscisă am luat valorile lucrului mecanic al pieselor de comparație iar pe ordonată acela al pieselor corespunzătoare cu diferite umidități. În felul acesta se vede foarte ușor dacă lucrul mecanic al pieselor cu diferite umidități a crescut sau a scăzut față de acela al pieselor respective de comparație. Pentru ca diagramele să fie mai clare, am grupat pe aceeași figură rezultatele

¹⁾ O adaptare a dispozitivului de măsurare Breuil, denumit « crocodil » în literatura franceză.



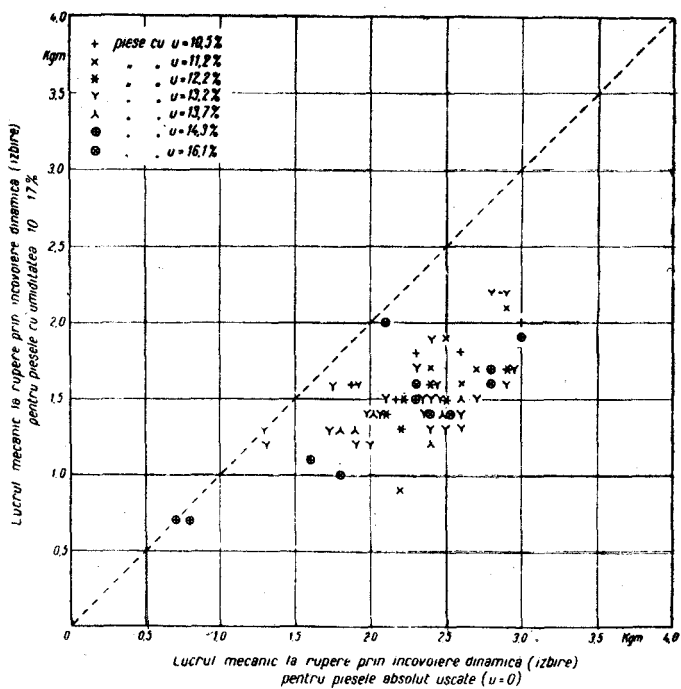


Fig. 4.

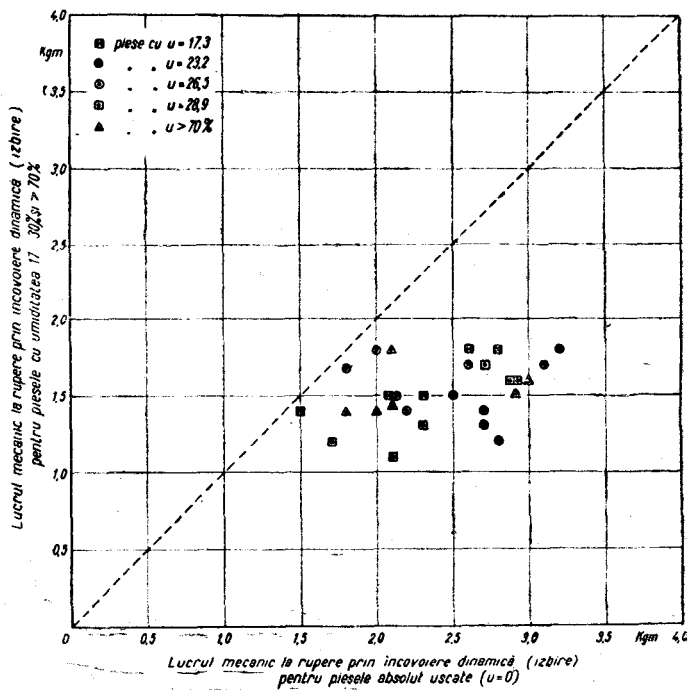


Fig. 5.

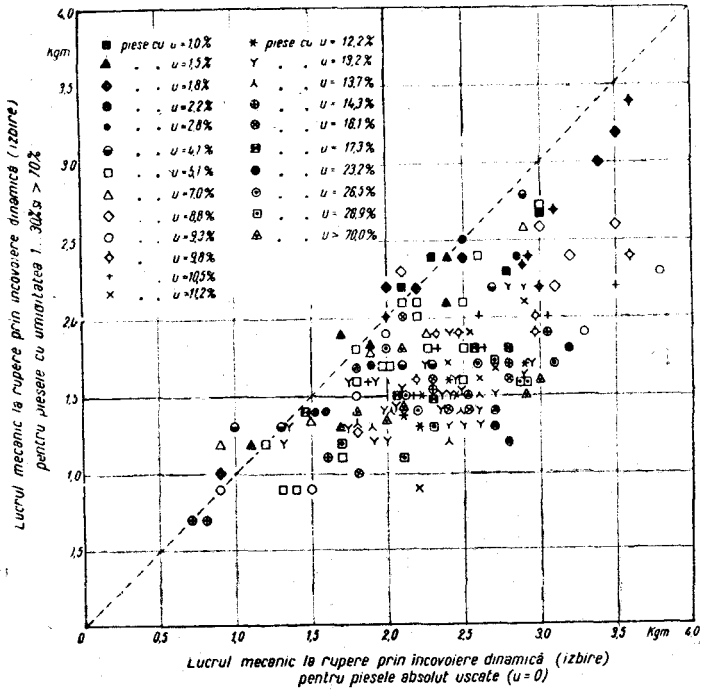


Fig. 6.

Fig. 2—6. influența umidității asupra lucrului mecanic la rupere prin încovoiere dinamică (izbire)

Piesele de comparație au fost absolut uscate

Fig. 2—6. — L'influence de l'humidité sur la résilience.

Les éprouvettes de comparaison ont été complètement anhydres.

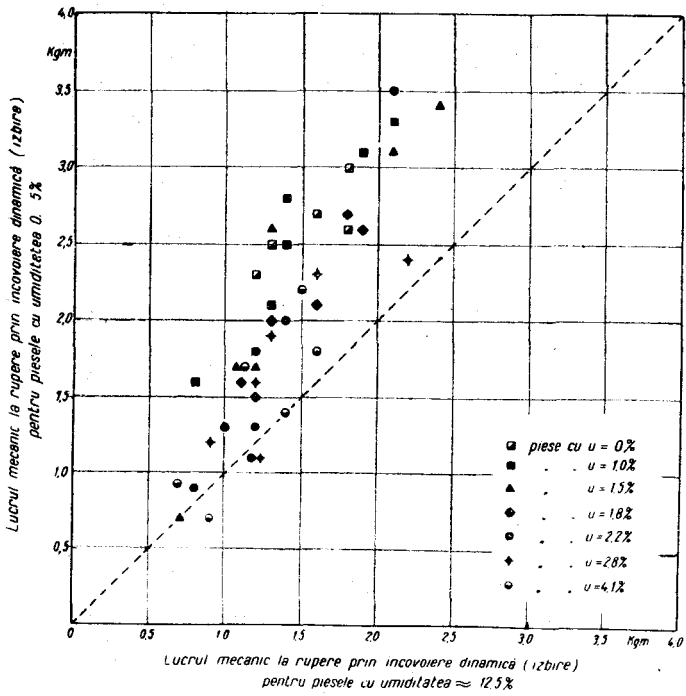


Fig. 7.

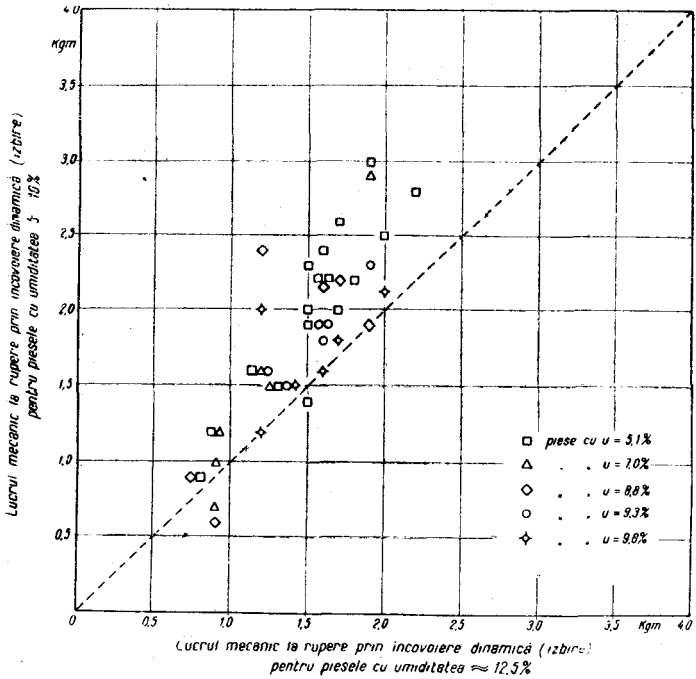
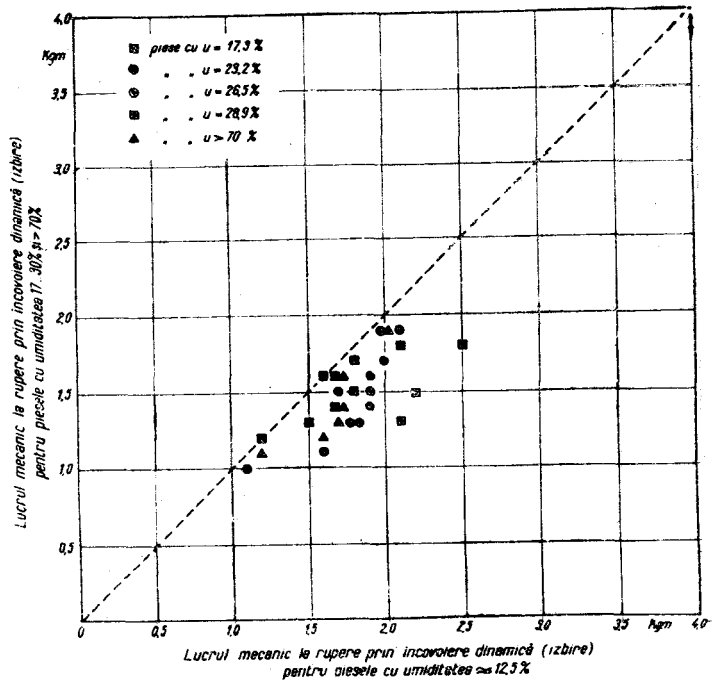
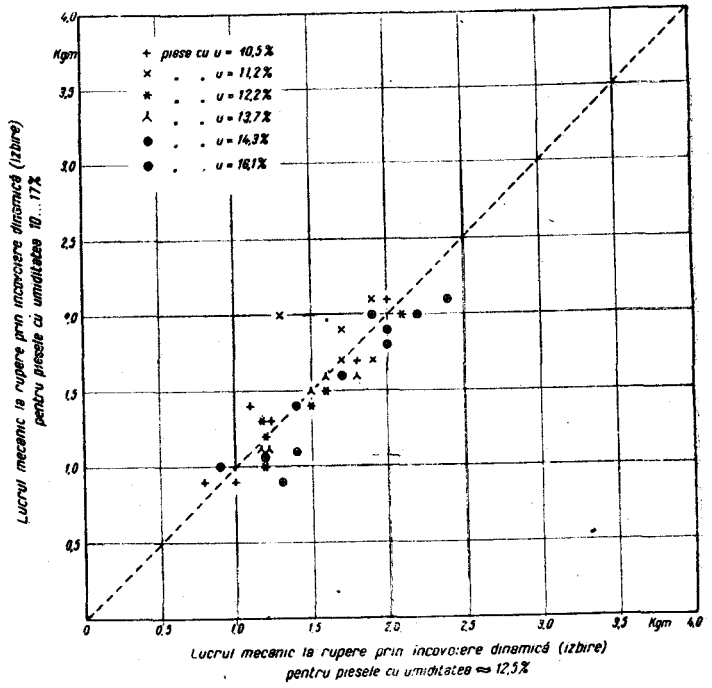


Fig. 8.



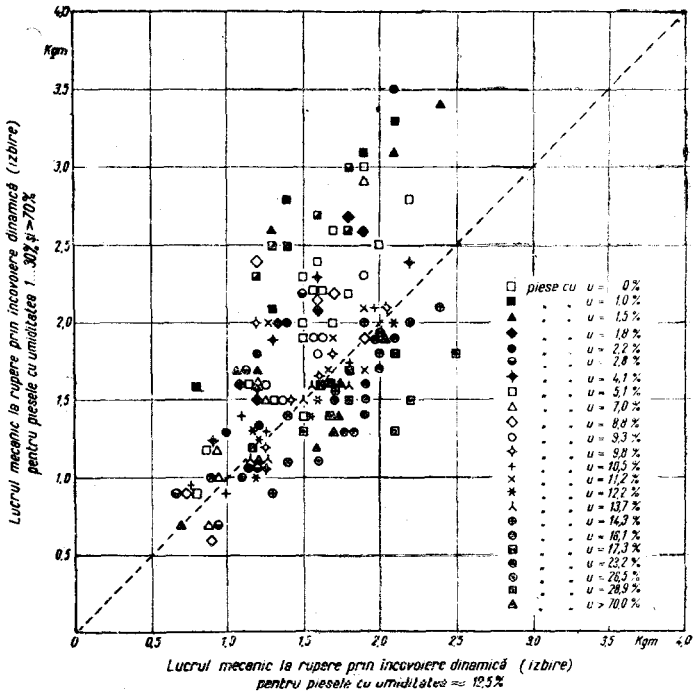


Fig. 11.

Fig. 7—11. Influența umidității asupra lucrului mecanic la ruperea prin încovoiere dinamică (îzbiere)

Piesele de comparație au avut umiditatea $\approx 12,5\%$

Fig. 7—11. — L'influence de l'humidité sur la résilience.

Les éprouvettes de comparaison ont eu l'humidité env. $12,5\%$.

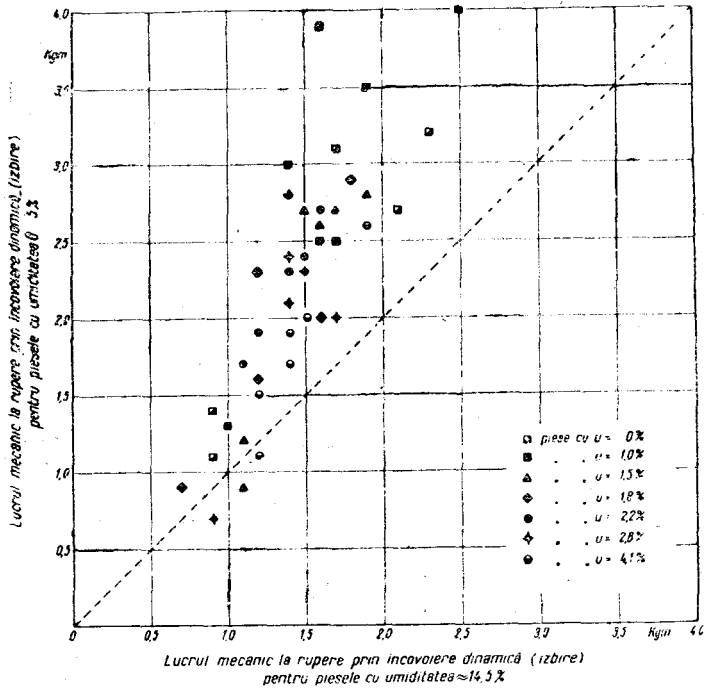


Fig. 12.

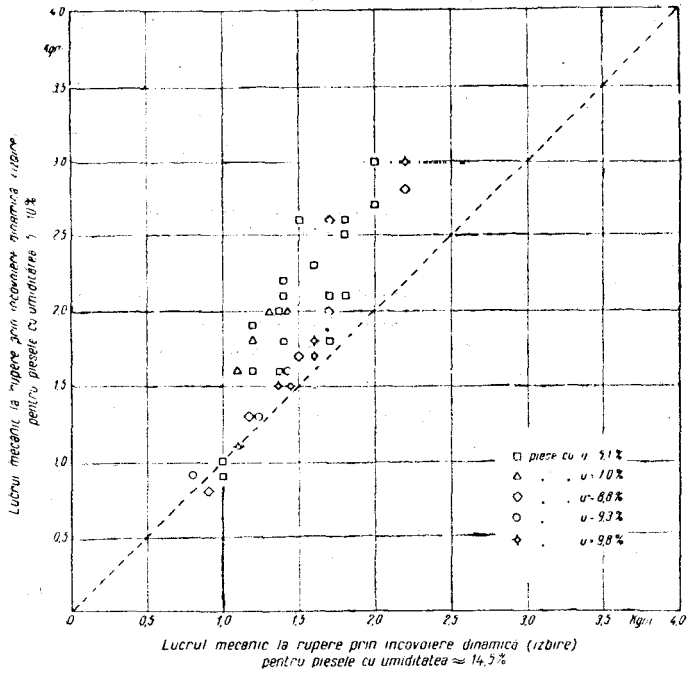


Fig. 13.

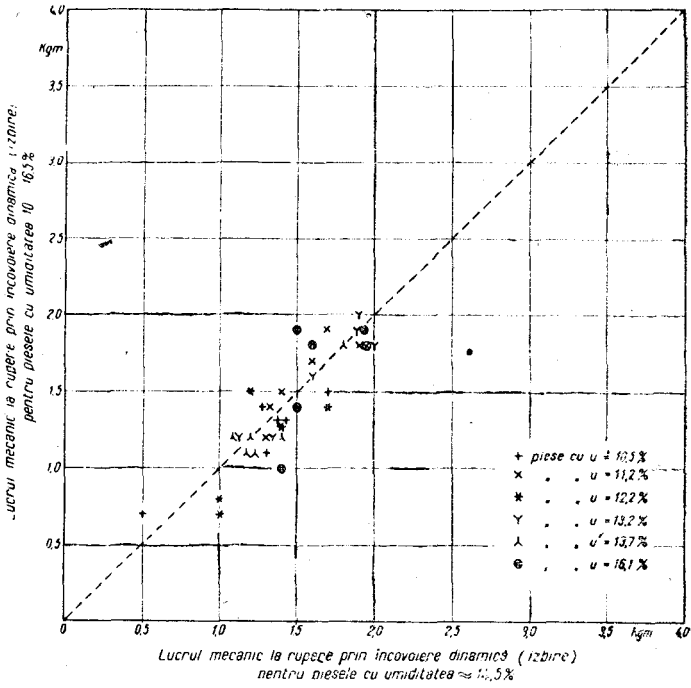


Fig. 14.

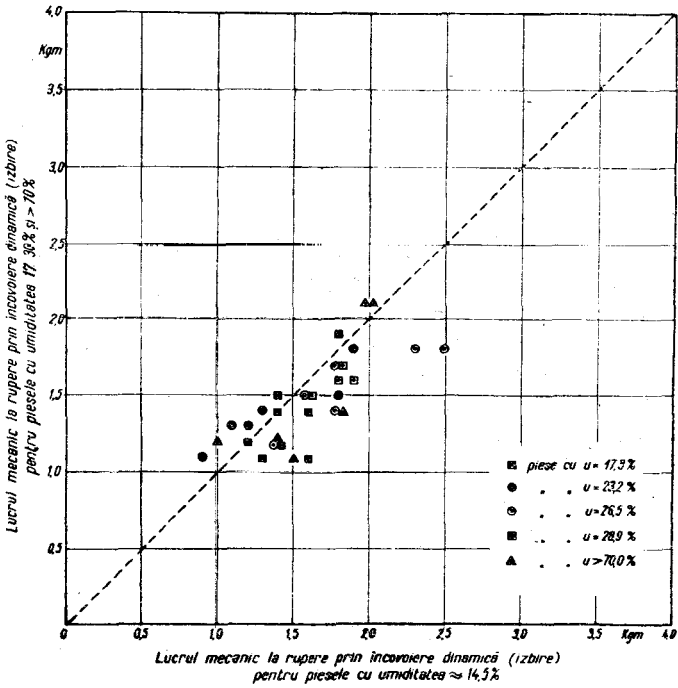


Fig. 15.

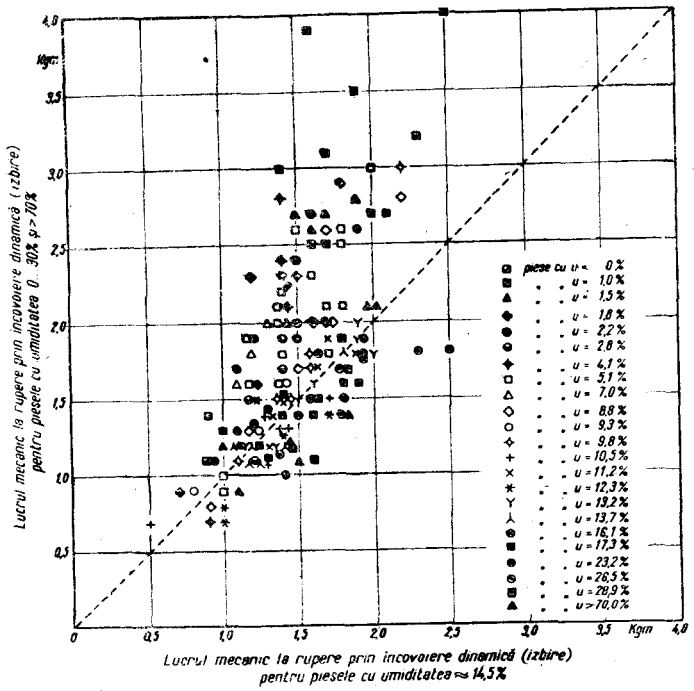


Fig. 16.

Fig. 12 — 16 Influența umidității asupra lucrului mecanic la rupere prin încovoare dinamică (izbire)

Piesele de comparație au avut umiditatea $\approx 14,5\%$

Fig. 12—16. — L'influence de l'humidité sur la résilience.

Les éprouvettes de comparaison ont eu l'humidité env. 14,5%.

pieselor cu umiditatea 0 la 5%, 5 la 10%, 10 la 16% și 17 la peste 70%. Diagramele 6, 11 și 16, care cuprind rezultatele tuturor pieselor de probă din cele 3 serii de încercări, sunt date pentru a avea și imaginile de ansamblu ale influenței umidității asupra lucrului mecanic la rupere.

Din examinarea acestor diagrame se deduc următoarele concluziuni:

1. Umiditatea influențează lucrul mecanic de rupere la încovoiere prin izbire și anume acesta scade cu cât umiditatea crește până la saturația fibrei.

La piesele cu umidități peste această limită se observă diferențe mai mici față de piesele de comparație cu umiditatea de 12,5% și 14,5%, ceea ce arată că maximum de scădere se atinge la umiditatea corespunzătoare saturației fibrei.

2. Influența umidității este mai vizibilă la materialul cu rezistențe mari. La majoritatea pieselor cu lucru mecanic mic, ea este acoperită și depășită de influența altor factori. Din această cauză materialul cu lucrul mecanic în jurul a 1 kgm prezintă rezultate neregulate.

La umidități apropiate, parte din rezultate se suprapun.

Să vedem acum la ce concluziuni s'ar ajunge prin alte procedee de valorificare a acelorași rezultate ale încercărilor.

Dacă facem diferențele între rezultatele fiecărui grup de piese cu umidități diferite și mediile rezultatelor grupurilor de piese de comparație corespunzătoare și le raportăm respectiv la acestea din urmă, obținem variația lucrului mecanic funcție de umiditate. După cum umiditatea pieselor de comparație este 0, cca 12,5% sau cca 14,5%, se obține variația lucrului mecanic față de acela corespunzător acestor umidități ale pieselor de comparație.

În diagrama 17 sunt redată rezultatele încercărilor noastre recalculat ca mai sus. Neregularitățile, ce se observă cu deosebire la punctele seriei cu umiditatea pieselor de comparație cca 14,5%, se datoresc rezultatelor pieselor cu lucru mecanic mic din grupurile respective de piese. Cu cât sunt mai multe asemenea piese într'un grup, cu atât diferența între cele două medii va fi mai mică, din motivele arătate mai sus.

Cu toate acestea, diagrama rezultatelor noastre arată că lucrul mecanic scade cu cât umiditatea crește. Se mai poate deduce că această scădere atinge maximum la umiditatea corespunzătoare saturației fibrei iar nu la umidități mai mari decât aceasta.

Dacă facem mediile rezultatelor pieselor de probă cu aceeași umiditate, fără a ține seamă de seria căreia aparțin în încercările noastre și însemnăm aceste valori pe o diagramă în funcție de umiditate, se ob-

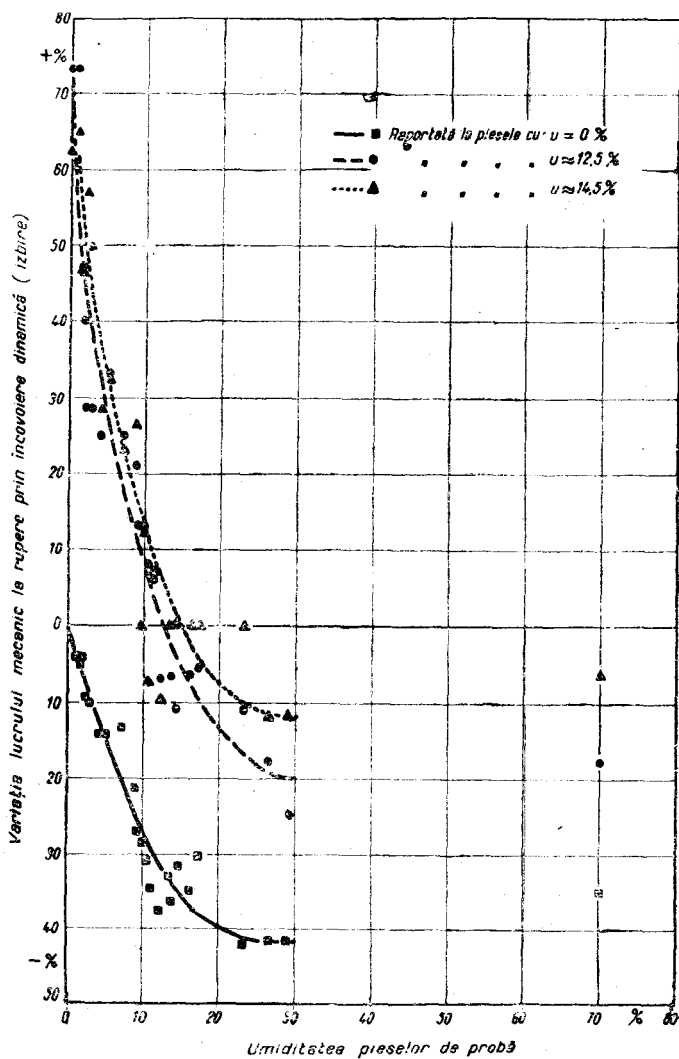


Fig. 17. — Variația lucrului mecanic la rupere prin încovoiere dinamică (izbire) în funcție de umiditatea lemnului. Variația s'a calculat față de lucrul mecanic al pieselor de probă absolut uscate, cu umiditatea cca. 12,5% și cca. 14,5%.

Fig. 17. — Variation de la résilience en fonction de l'humidité du bois. La variation a été calculée en rapport avec la résilience des éprouvettes anhydres, avec l'humidité d'env. 12,5% et 14,5%.

ține o curbă (fig. 18), din care se poate deduce că lucrul mecanic la rupere scade cu creșterea umidității până la cca 15%, ca apoi să rămână aproape constant.

După această curbă influența umidității în intervalul 12...18%, care corespunde uscării la aer a lemnului, ar fi practic neglijabilă, așa

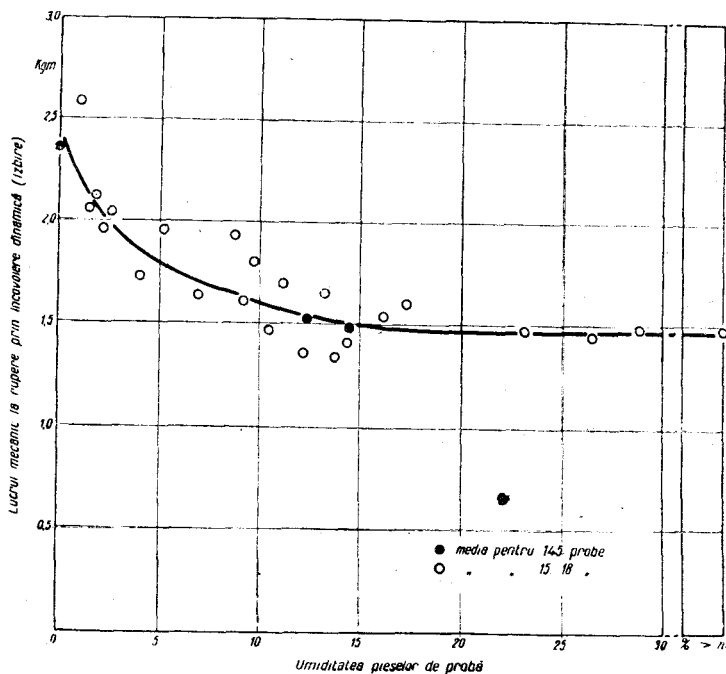


Fig. 18. — Influența umidității asupra lucrului mecanic la încovoiere dinamică (izbire).

Punctele din diagramă reprezintă mediile lucrului mecanic pentru grupe de piese cu umidități diferite.

Fig. 18. — L'influence de l'humidité sur la résilience. Les points représentent les moyennes de la résilience des groupes d'éprouvettes ayant différentes humidités.

cum am văzut că s'a afirmat de unii cercetători. Acest fapt nu se poate deduce din diagramele 2...16.

Imprăștierea punctelor este datorită în mare măsură participării pieselor cu lucru mecanic mic în grupele de piese pe care acestea le reprezintă. Dacă toate piesele ar avea lucrul mecanic mic, influența umidității asupra acestuia fiind puțin evidentă, mediile ar fi prea puțin diferite, încât s'ar ajunge la concluzii false despre influența umidității.

Diagramele întocmite în felul acesta ar da o imagine nefalsificată despre influența umidității asupra lucrului mecanic numai pentru materialul cu rezistențe mari.

În diagrama noastră se vede că scăderea lucrului mecanic corespunzător umidității de cca 14,5% reprezintă aprox. 36% față de lucrul mecanic al pieselor absolut uscate, ceea ce înseamnă o scădere de cca. 2,5% pentru fiecare 1% creștere a umidității lemnului în intervalul 0...15%.

b) *Influența umidității asupra rezistenței la încovoiere prin izbire.*

Pentru rezistența la încovoiere dinamică am folosit aceleași procedee de comparare și reprezentare a rezultatelor încercărilor ca pentru lucrul mecanic.

Din diagramele 19...33 se deduc următoarele concluziuni:

1. Umiditatea influențează rezistența la încovoiere prin izbire și anume aceasta scade când umiditatea crește până la saturația fibrei.

Piesele cu umidități mai mari decât aceea a saturației fibrei au avut rezistențele foarte apropiate de acelea ale pieselor de comparație.

2. Influența umidității este distinctă abia la diferențe mari de umiditate.

3. Neregularitatea rezultatelor este mult mai mare decât la lucrul mecanic. Probabil la aceasta contribuie și imperfecțiunile procedurii de măsurare.

Diagramele întocmite după celelalte procedee arătate mai înainte prezintă puncte mult mai împrăștiate decât la lucrul mecanic. Totuși, ambele diagrame (fig. 34 și 35) arată că rezistența la încovoiere prin izbire scade cu cât umiditatea lemnului crește până la saturația fibrei, pentru ca la umidități mai mari să crească.

După diagrama din fig. 35 rezistența la încovoiere pentru umidități mai mari decât 70% ar corespunde aceleia dela cca 9%.

Seriile de încercări, care au avut piesele de comparație cu cca 12,5% și 14,5% umiditate, arată că rezistența la încovoiere pentru piesele cu umiditate mai mare de 70% diferă foarte puțin de rezistențele pieselor de comparație și anume respectiv cu - 0,7% și + 1,0%, așa cum se vede în fig. 34.

Scăderea rezistenței la încovoiere dela 0 la 15% umiditate, după diagrama 35, este de cca 15%, deci o scădere a rezistenței de aproximativ 1% pentru fiecare 1% creștere a umidității lemnului.

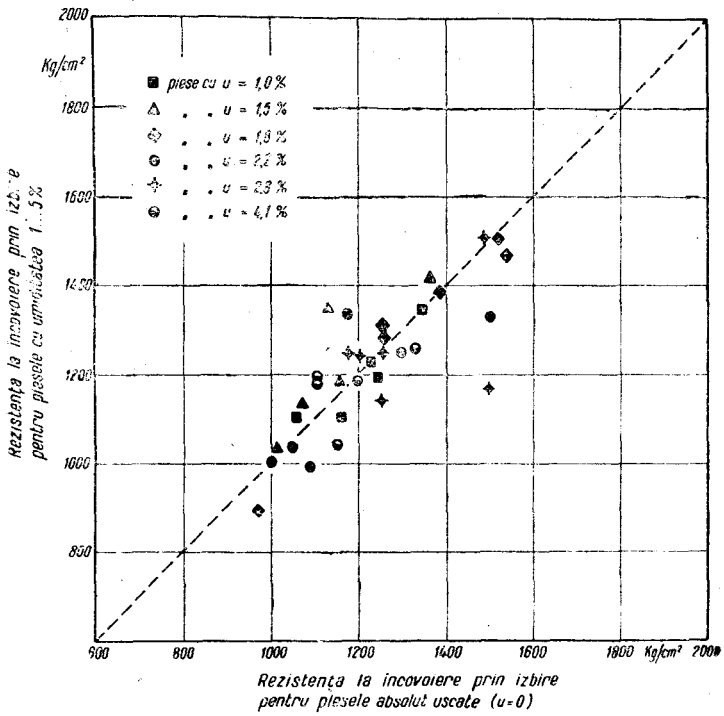


Fig. 19.

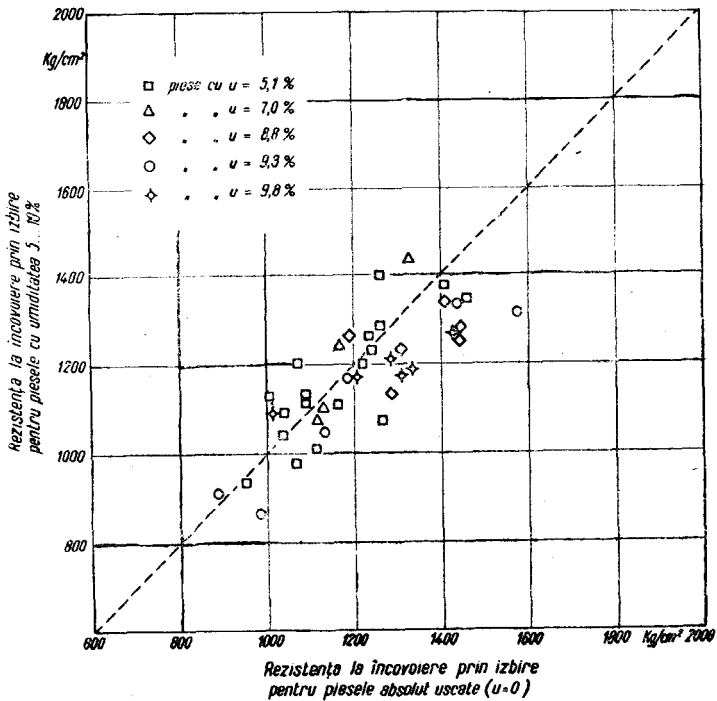


Fig. 20.

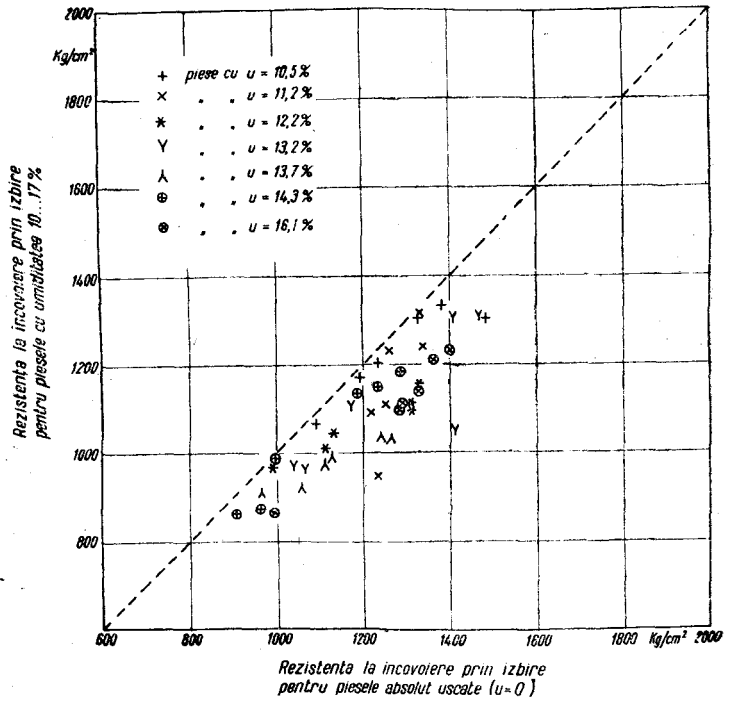


Fig. 21.

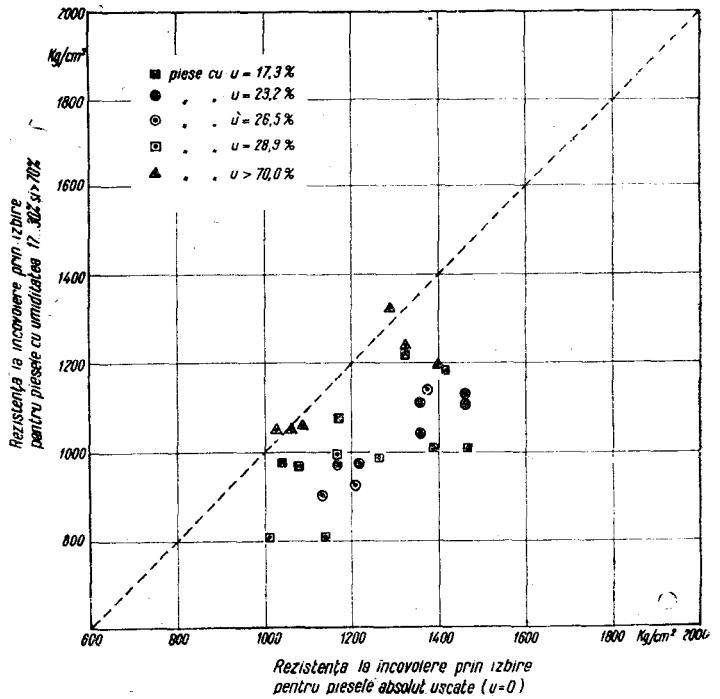


Fig. 22.

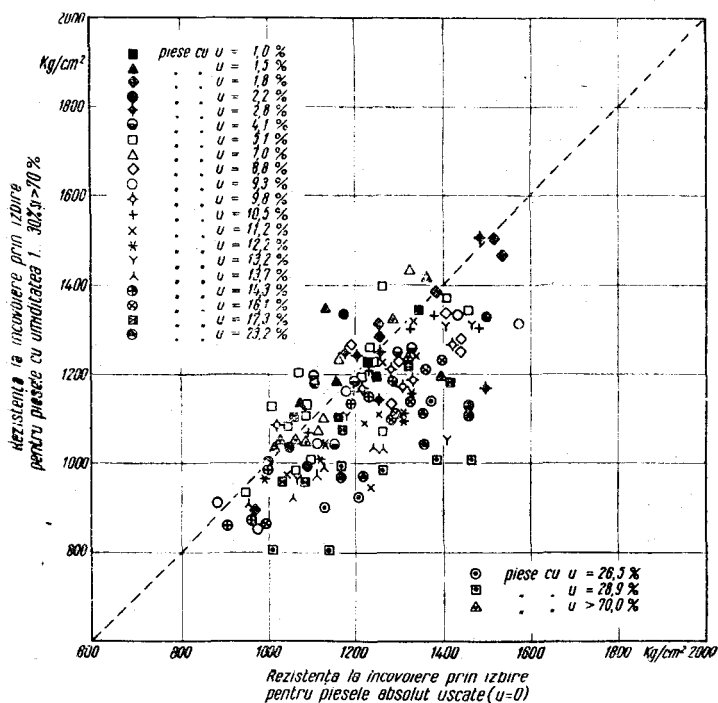


Fig. 23.

Fig. 19 — 23. Influența umidității asupra rezistenței la încovoiere prin izbire

Piesele de comparație au fost absolut uscate

Fig. 19 — 23. — L'influence de l'humidité sur la résistance à la flexion par choc. Les éprouvettes de comparaison ont été complètement anhydres.

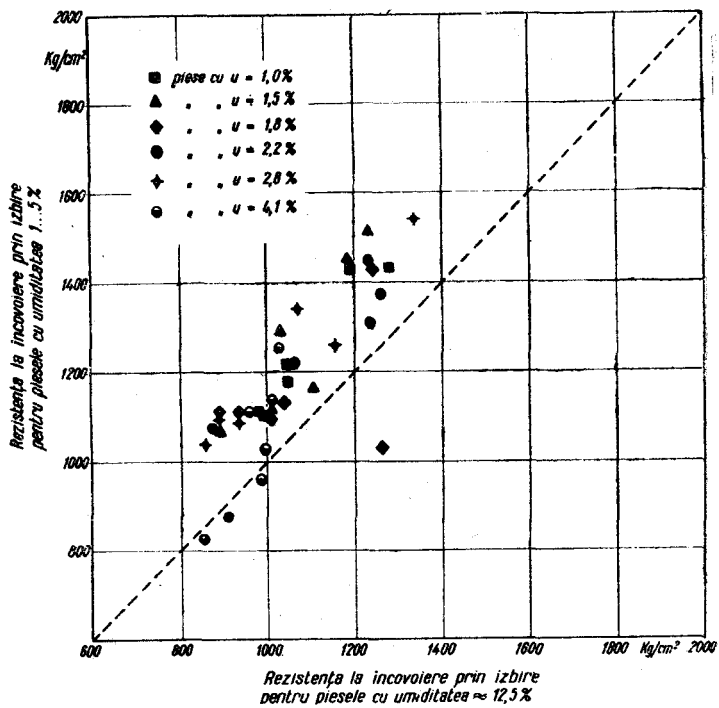


Fig. 24.

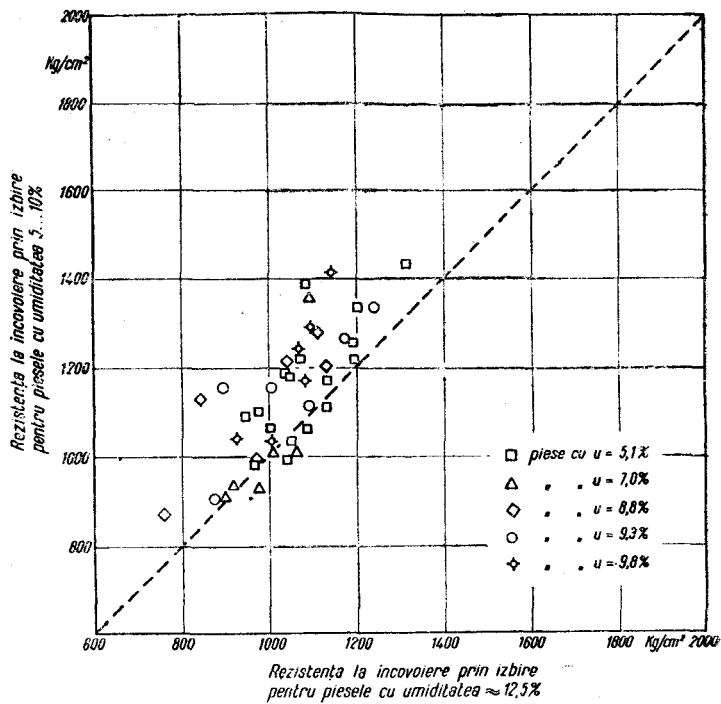


Fig. 25.

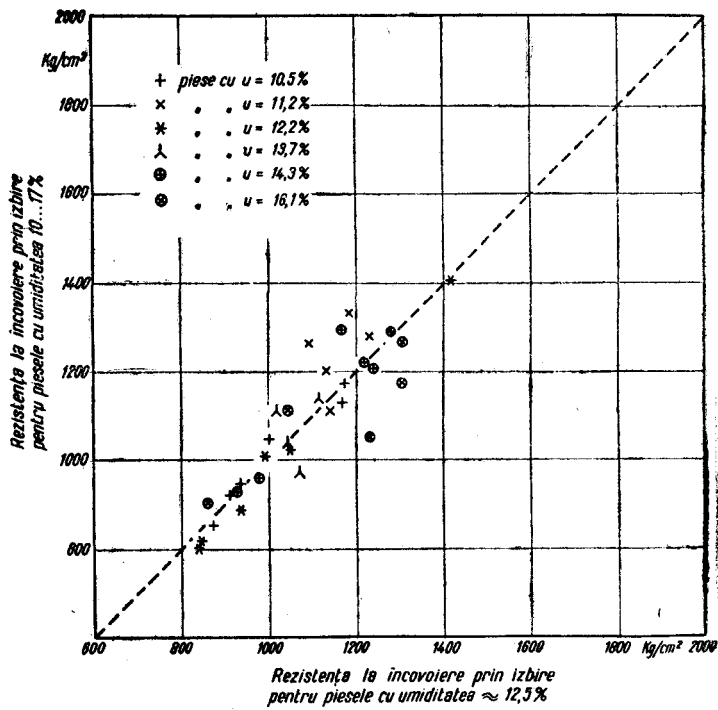


Fig. 26.

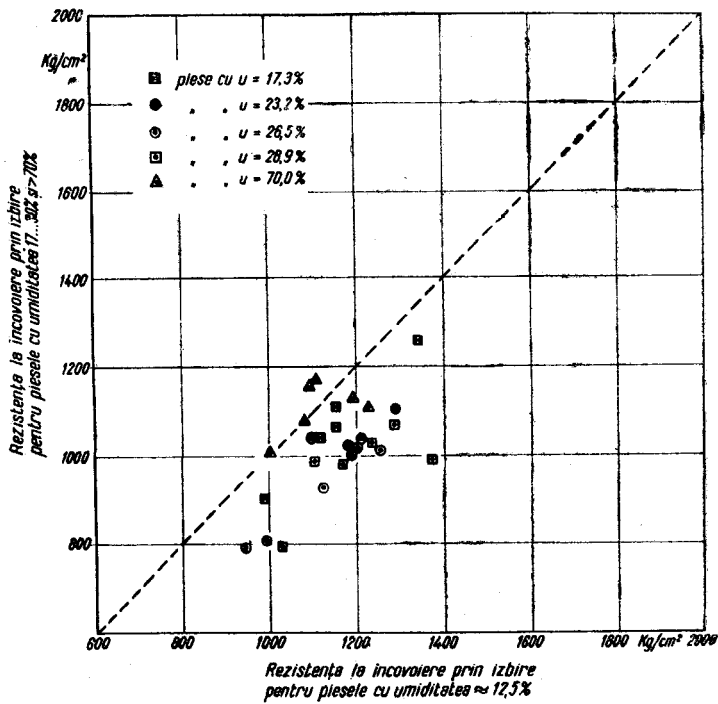


Fig. 27.

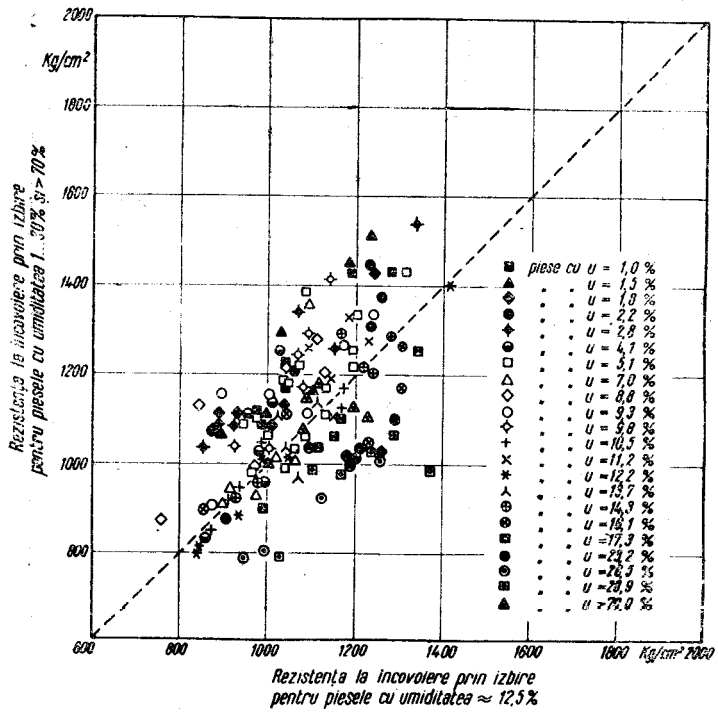
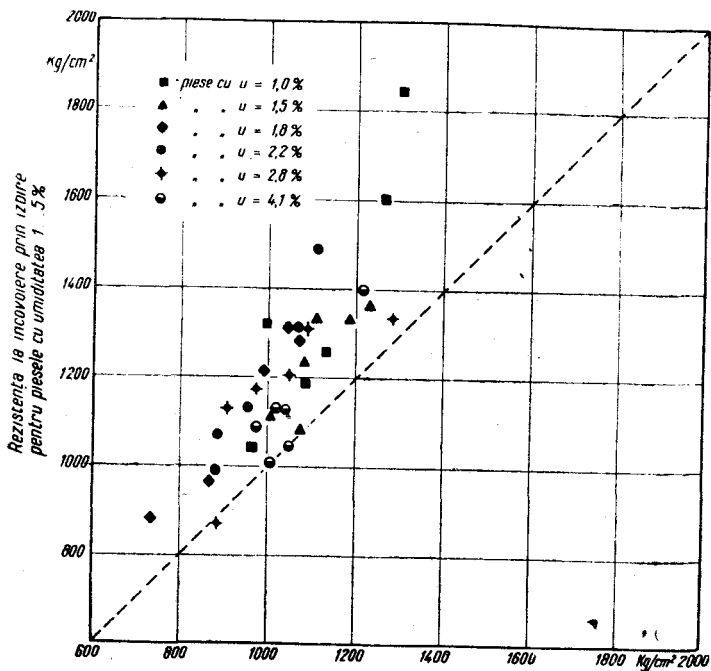


Fig. 28.

Fig. 24-- 28. Influența umidității asupra rezistenței la încovoiere prin izbire

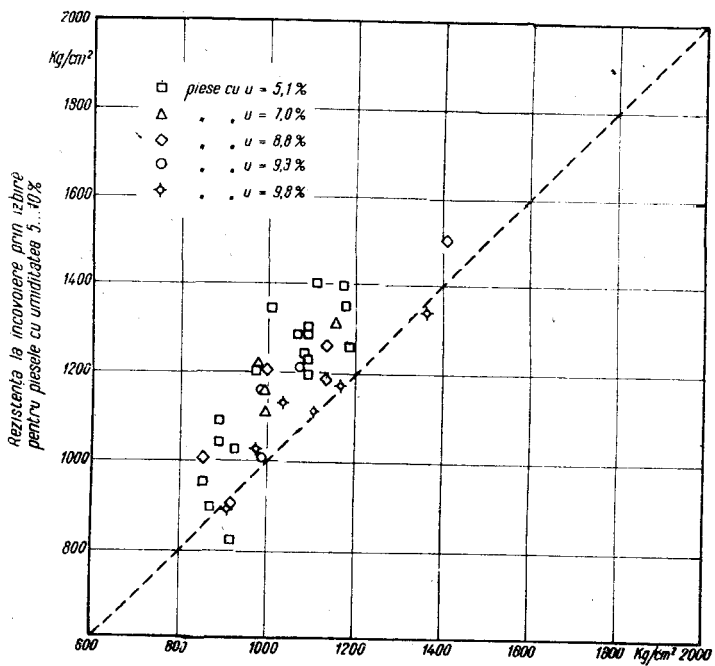
Piesele de comparație au avut umiditatea $\approx 12,5\%$

Fig. 24—28. — L'influence de l'humidité sur la résistance à la flexion par choc. Les éprouvettes de comparaison ont eu l'humidité env. 12,5%.



Rezistența la încovoiere prin izbire
pentru piesele cu umiditatea $\approx 14,5\%$

Fig. 29.



Rezistența la încovoiere prin izbire
pentru piesele cu umiditatea $\approx 14,5\%$

F.g. 30.

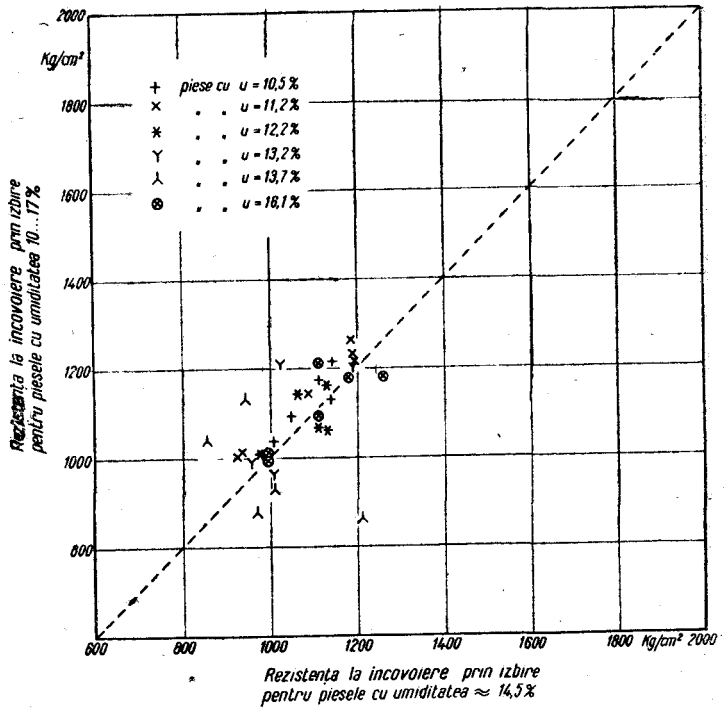


Fig. 31.

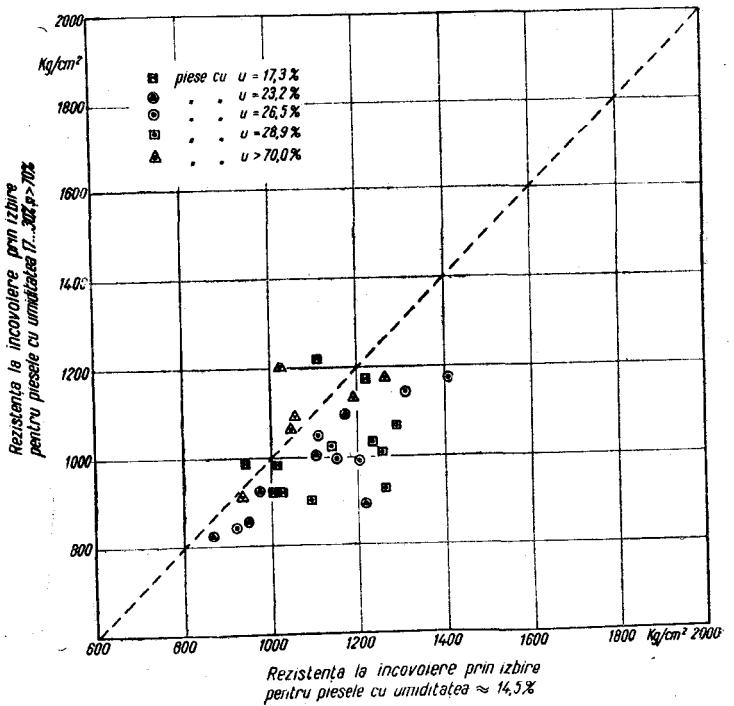


Fig. 32.

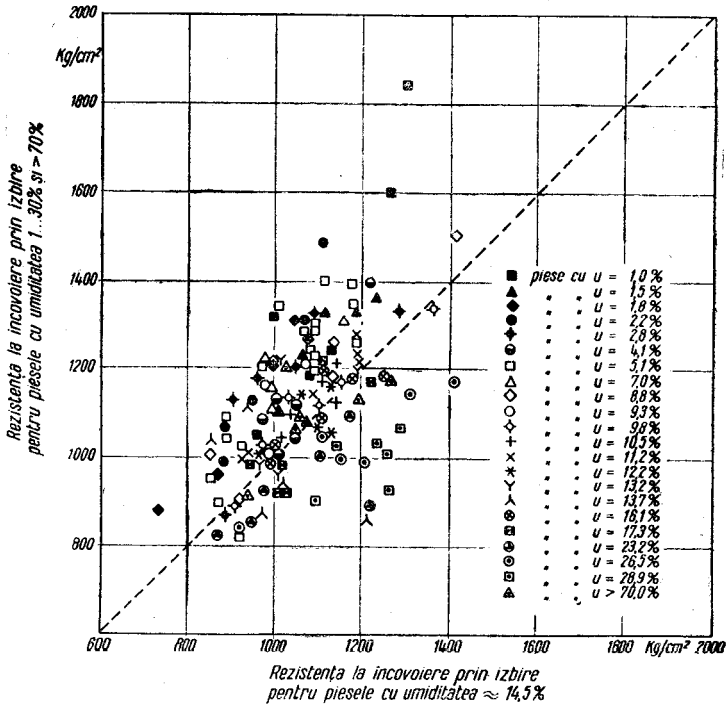


Fig. 33.

Fig. 29—33. Influența umidității asupra rezistenței la încovoiere prin izbire. Piesele de comparație au avut umiditatea ≈ 14,5%.
 Fig. 29—39. — L'influence de l'humidité sur la résistance à la flexion par choc. Les éprouvettes de comparaison ont eu l'humidité env. 14,5%.

IV. INCHEIERE

Inercările noastre cu lemn de molift dovedesc că umiditatea influențează atât lucrul mecanic la rupere, cât și rezistența respectivă la încovoiere prin izbire cu ciocanul pendul. Aceste însușiri scad cu cât crește umiditatea. Maximum de scădere se atinge la umiditatea corespunzătoare saturației fibrei, pentru ca peste această limită să crească ușor.

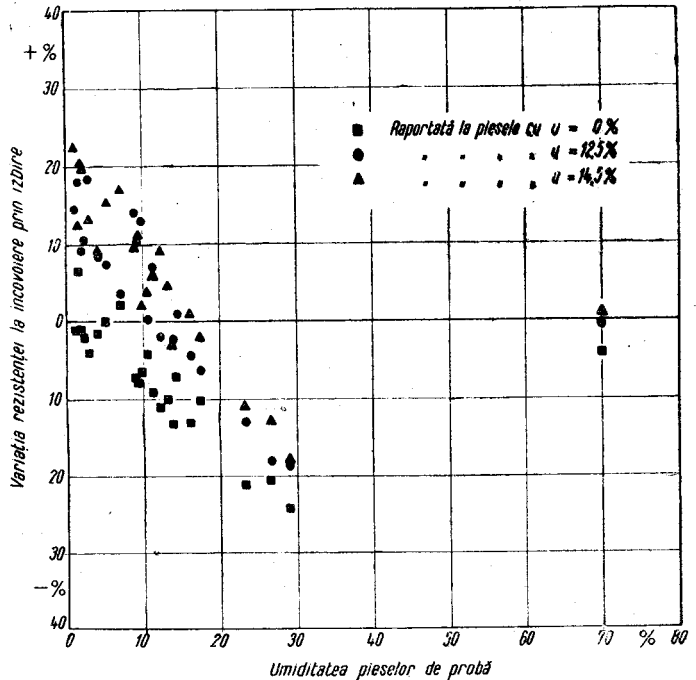


Fig. 34. — Variația rezistenței la încovoiere prin izbire în funcție de umiditatea lemnului. Variația s'a calculat față de rezistența la încovoiere a pieselor de probă absolut uscate, cu umiditatea cca. 12,5% și cca. 14,5%.

Fig. 34. — Variation de la résistance à la flexion par choc en fonction de l'humidité du bois.

La variation a été calculée en rapport avec la résistance des éprouvettes anhydres, avec l'humidité d'env. 12,5% et 14,5%.

Scăderea lucrului mecanic pentru o creștere a umidității de 1%, în intervalul 0 la 15%, se poate lua aproximativ 2,5%. Pentru rezistența la încovoiere scăderea este de aproximativ 1%.

Aceste cifre pot servi la facerea corecțiilor în funcție de umiditate. Pentru aplicarea lor la orice fel de material din molift este necesar ca ele să fie încă verificate printr'un număr mai mare de încercări.

Procedul de comparare a rezultatelor pieselor perechi s'a arătat a fi foarte bun pentru a pune în evidență influența umidității asupra acestor însușiri. El poate fi folosit și în încercările de serie pentru

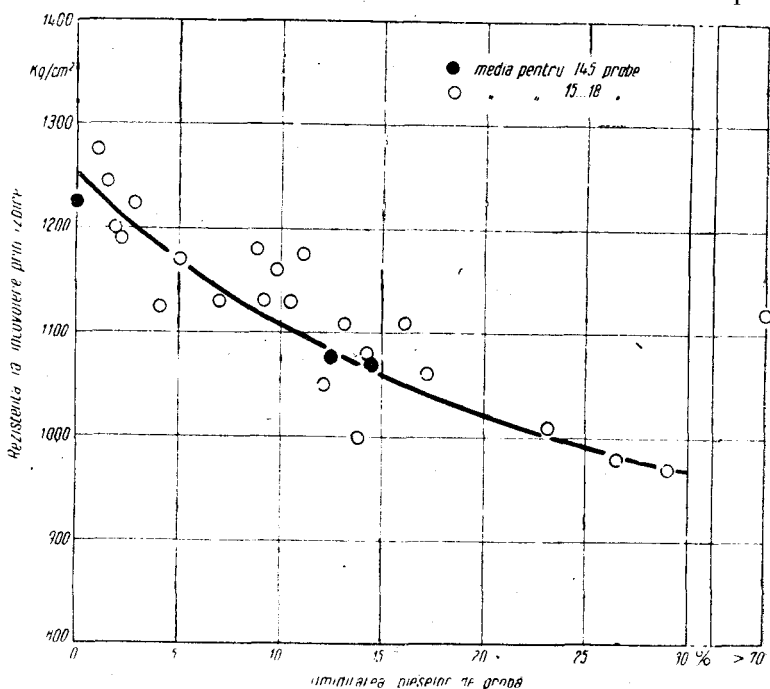


Fig. 35. — Influența umidității asupra rezistenței la încovoiere prin izbire. Punctele din diagramă reprezintă mediile rezistențelor la încovoiere pentru grupe de piese cu umidități diferite.

Fig. 35. — L'influence de l'humidité sur la résistance à la flexion par choc.

Les points représentent les moyennes de la résistance de groupes d'éprouvettes ayant différentes humidités.

stabilirea corecțiilor ce trebuiesc făcute acestor însușiri dinamice în funcție de umiditatea lemnului.

Este încă necesar să se facă încercări spre a se vedea dacă sensul influenței umidității asupra acestor însușiri este același ca la molift și la lemnul de alte rășinoase și la cel de foioase. Pentru aceasta, procedul de lucru se poate simplifica folosindu-se un număr mai redus de stări diferite de umiditate a lemnului.

LITERATURA FOLOSITĂ

1. *British Engineering Standards Association*: Rock elm. British Standard Specification for Aircraft Material. V.8. Nov. 1921, London.
2. *British Engineering Standards Association*: Ash. British Standard Specification for Aircraft Material. 3.V.4 London, 1930.
3. *British Standard Institution*: Mahogany (for use in airscrews). British Standard Specification for Aircraft Material. 4.V.7, March, 1932, London.
4. *British Standard Institution*: Silver spruce or approved substitutes. Provisional Air Ministry Aircraft Specification. Number D.T.D. 36 A, London, 1932.
5. *Division of Forest Products*: The properties of Australian timbers. Part 3. *Pinus radiata* D. Don. Commonwealth of Australia, Council for Scientific and Industrial Research, Division of Forest Products. Technical Paper nr. 28, Melbourne, 1938.
6. *Egner, K.*: Ermittlung der Festigkeitseigenschaften der Hölzer. In: O. Graf: Die Prüfung nichtmetallischer Baustoffe, vol. III din E. Siebel: Handbuch der Werkstoffprüfung. Berlin, 1941.
7. *Ghelmeziu, N.*: Untersuchungen über die Schlagfestigkeit von Bauhölzern. Holz als Roh- und Werkstoff, 1 (1938), pag. 585—601.
8. *Graf, O.*: Über wichtige technische Eigenschaften der Hölzer. Maschinenbau, Der Betrieb 9 (1930), caietul 11, pag. 375—379.
9. *Heck, G. E.*: Strength and related properties of five foreign woods. Reprinted from March 1937 Manufacturer's Section of Furniture Index.
10. *Kollmann, F.*: Technologie des Holzes. Berlin, 1936.
11. *Kollmann, F.*: Über die Schlag- und Dauerfestigkeit der Hölzer. Mitt. d. Fachaussch. f. Holzfragen. Caietul 17, pag. 17, Berlin: VDI-Verlag, 1937.
12. *Langlands, I.*: Properties of Australian timbers. Part. 2 Brown mallet (*Eucalyptus astringens*). Commonwealth of Australia, Council for Scientific and Industrial Research, Division of Forest Products. Technical Paper nr. 23, Melbourne, 1937.
13. *Langlands, I.*: The mechanical properties of South-Australian plantation-grown *Pinus radiata* D. Don. Commonwealth of Australia, Council for Scientific and Industrial Research, Division of Forest Products. Technical Paper nr. 30. Melbourne 1938.
14. *Langlands, I.*: Mechanical tests on small clear specimens of white cypress pine (*Callitris glauca*). Division of Forest Products—Reprint nr. 55. Reprint from the Journal of the Council for Scientific and Industrial Research, vol. 12, nr. 1, February, 1939.

15. *Markwardt, L. J.* and *Wilson, T. R. C.* : Strength and related properties of woods grown in the United States. U. S. Dep. Agric., Technical Bulletin no. 479, Washington, Sept. 1935.

16. *Markwardt, L. J.* : New toughness machine is aid in wood selection. Wood working industries, Ian. 1926.

17. *Monnin, M.* : Essais physiques, statiques et dynamiques des bois. Buletin de la section technique de l'Aéronautique militaire, fasc. 29 et 30. Paris 1919.

18. *Monnin, M.* : L'essai des bois. Tirages à part du Livre du Congrès de Zürich [6 au 12 Sept. 1931] de l'Association Internationale pour l'Essai des Matériaux. Zürich, 1932.

19. *Newlin, J. A.* and *Wilson, T. R. C.* : Mechanical properties of woods grown in the United States. U. S. Dep. Agric., Bulletin no. 556, Washington, Sept. 1917.

20. *Pettifor, C. B.* : Toughness of ash. Relation between maximum drop in impact bending and toughness value. Dep. Scient. Ind. Research, Forest Products Research Laboratory. Princes Risborough, 1936.

21. *Pettifor, C. B.* : Relation between toughness and Izod impact values. Dep. Scient. Ind. Research. Forest Products Research Laboratory. Princes Risborough, 1937.

22. *Savkov, E. I.* : Investigation of physical — mechanical properties of pine. Transactions of the Central Aero-Hydrodynamical Institute Nr. 62. Moscow 1930.

23. *Seeger, R.* : Untersuchungen über den Gütevergleich von Holz nach Druckfestigkeit in Faserrichtung und nach der Schlagfestigkeit. Forschungsberichte Holz, caietul 4, Berlin. VDI — Verlag, 1937.

24. *Thunell, B.* : Die Festigkeitseigenschaften schwedischen Kiefernholzes. Statens Prov.-Anst. Stockholm Nr. 81, pag. 1—45, 1941; după referat in Holz als Roh-und Werkstoff, 5 (1942), caietul 1, pag. 35—36.

Lucrare prezentată la Institut la 12 Iulie 1945.

Referat Jl. I. C. E. F. Nr. 2166 din 1945.

L'INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ SUR LE TRAVAIL MÉCANIQUE ET LA RÉSISTANCE DE RUPTURE PAR FLEXION DYNAMIQUE DU BOIS D'ÉPICÉA

I. Introduction

La résistance à la flexion par choc se mesure à l'aide du mouton vertical ou du mouton-pendule.

L'influence de l'humidité sur les grandeurs déterminées à l'aide du mouton vertical est, pour la plupart, précisée. Ces influences ne sont pas assez bien éclaircies, quant aux mesures prises à l'aide du mouton-pendule, les résultats étant quelquefois même contradictoires.

Le but de ce travail est de donner une contribution à la clarification de ces relations, en utilisant pour les essais un matériel assez homogène, l'épicéa de résonance.

II. Résultats des différents essais antérieurs

1. Essais avec le mouton vertical

Avec le mouton vertical on mesure le travail mécanique absorbé par les pièces d'essai pour fléchir jusqu'à la limite de l'élasticité, la résistance à la flexion toujours jusqu'à cette limite et la hauteur de chute du mouton nécessaire à provoquer la rupture de la pièce.

Les essais faits avec cet appareil (9, 15, 19) ont montré que le travail mécanique et la résistance à la flexion diminuent, pendant que la hauteur de chute s'accroît à mesure que l'humidité augmente. Ainsi, pour une augmentation de l'humidité de 1%, le travail mécanique diminue de 4%, la résistance à la flexion diminue de 3% et la hauteur augmente de 0,5% ¹⁾.

¹⁾ En s'appuyant sur des essais moins nombreux en 1917 (19) ces variations avaient été établies respectivement à 5%, 4% et 3%.

Sur les résultats des essais américains, Monnin dit (17, p. 41): « Les Américains estiment que pour la résistance au choc jusqu'à charge maxima, telle qu'ils la mesurent, il y a augmentation de 1% pour chaque 1% d'humidité en plus pour les bois secs à l'air.

En transformant la hauteur de chute du mouton vertical en travail mécanique à la rupture, mesuré avec le mouton-pendule, et en utilisant les formules établies par Pettifor (20), on déduit que ce travail mécanique augmente avec l'humidité.

2. Essais avec le mouton-pendule.

Avec le mouton-pendule on mesure le travail mécanique absorbé par l'éprouvette jusqu'à la rupture ainsi que l'effort sur un appui; la résistance à la flexion dynamique correspondante pouvant donc être calculée de cette dernière valeur. L'influence de l'humidité sur le travail mécanique à la rupture (résilience) est considérée, en général, comme négligeable. Monnin (17) admet que la résilience est pratiquement non influençable par l'humidité, de sorte que les corrections d'humidité ne sont plus nécessaires; de ce fait cette méthode d'essai est très commode à être utilisée dans les ateliers ou sur les chantiers de réception.

Monnin explique cette indépendance de la résilience vis-à-vis de l'humidité par le fait que, l'augmentation de l'humidité diminue la charge de rupture mais elle augmente la déformation correspondante, de sorte qu'il y a compensation dans le produit de ces deux facteurs. Cette explication a été reprise dans d'autres travaux (10, 11, 15).

Dans les travaux parus en 1917 (17), Monnin arrive aux conclusions suivantes au sujet des relations qui existent entre la résilience totale et l'humidité:

- « — pour les bois normalement séchés, il y a constance dans la résilience;
- pour les bois desséchés artificiellement, il y a diminution assez notable quand l'humidité augmente;
- pour les bois secs à l'air, puis imbibés, il y a, selon les essences, ou augmentation ou diminution légères »,
- pour les bois verts ou mi-secs (le cas des réceptions sur les chantiers), les essais pour la détermination de la résilience totale et de la résilience à la charge maximum sont pratiquement indépendantes de l'humidité.

Dans le travail (18) qu'il a présenté au Congrès de l'Association internationale pour l'essai des matériaux en 1931, Monnin prétend que la résilience augmente lentement avec l'humidité, à l'exception du hêtre. Non seulement la résilience est la seule caractéristique mécanique du bois qui ne diminue pas avec l'humidité, mais elle peut même augmenter. Dans les limites de variation de l'humidité du bois séché à l'air, soit 12 à 18% d'humidité, les corrections deviennent inutiles.

Les essais de Savkov (22) avec du bois de pin pour constructions aéronautiques ont conduit à la conclusion que l'humidité n'influence pas la résistance à la flexion dynamique ou que son influence est trop petite vis-à-vis d'autres causes qui n'ont pas encore été établies.

Graf (8) souligne l'importance de l'observation que la résilience n'est pas dépendante de l'humidité du bois.

Kollmann (11) admet, dans de larges limites, une réduction moyenne de la résilience avec 0,5 à 1% pour chaque 1% de réduction de l'humidité.

Seeger (23) montre que la résilience du pin augmente avec l'humidité et que, pour le hêtre, elle a un maximum pour 16 à 17% d'humidité.

Egner (6) fait remarquer qu'on peut renoncer à la mesure de l'humidité dans l'épreuve avec le mouton-pendule du fait que, dans l'état actuel des connaissances, son influence sur la résilience est relativement réduite.

Les conclusions de Thunell (24) montrent que la résistance à la flexion par choc, mesurée à la température de 20° C, se double pour une augmentation de l'humidité de 12% à 25% et se triple à 70%.

Dans leurs études, les américains emploient aussi un mouton-pendule d'une construction spéciale (16). Markwardt et Wilson (15) caractérisent ce procédé comme étant très simple et rapide du fait que, lorsqu'on essaie le bois sec, il n'est pas nécessaire de connaître l'humidité, la résistance ainsi déterminée étant peu influencée par les différences d'humidité normales.

D'après les essais australiens (5, 12, 13, 14), fait avec un mouton-pendule semblable à celui américain, on déduit que l'influence de l'humidité varie avec l'essence (voir exemples dans le tableau 2). Langlands (12) souligne comme très satisfaisante la qualité du bois d'eucalyptus qui a une plus grande résilience à l'état sec, cette résilience diminuant chez plusieurs essences par séchage.

Dans les prescriptions britanniques pour le bois d'aviation (1, 2, 3, 4), on prévoit des essais au mouton-pendule, en utilisant des éprouvettes à entaille et il n'y a pas de prescriptions de correction d'humidité pour le bois séché à l'air. Les résultats moyens obtenus par Pettifor (21) avec de pareilles éprouvettes ont montré une petite réduction de la résilience lorsque l'humidité diminue de l'état vert du bois à celui du bois sec à l'air. De ces mêmes essais on peut voir que la résilience mesurée avec un mouton-pendule analogue est moindre pour le bois sec à l'air vis-à-vis de celle du bois à l'état vert.

Nos essais antérieurs (7) faits sur du bois d'épicéa, pin, hêtre et chêne, d'après un procédé analogue à celui employé dans ce travail, ont montré que, la résilience diminue en général quand l'humidité croît, sauf pour les pièces en chêne. En raison du nombre restreint d'essais qu'on a faits et de la faible variation d'humidité utilisée dans ce travail, nous n'avons considéré ces résultats que comme des indications approximatives.

Le procédé utilisé de la comparaison des résultats obtenues sur des pièces paires, c. à. d. taillées très proches l'une de l'autre, semble être le plus adéquat pour l'examen de l'influence de l'humidité sur la résilience, propriété qui varie tellement pour un même matériel.

III. Essais comparatifs sur des pièces d'épicéa de résonance

1. Préparation et exécution des essais

Les essais à la flexion faits par choc avec le mouton-pendule donnent une très grande dispersion des résultats, ce qui montre qu'il y a beaucoup de causes, inconnues pour la plupart, dont dépendent la grandeur des propriétés ainsi mesurées. Voilà pourquoi, il est nécessaire, pour l'étude de l'influence de l'humidité du bois sur ces propriétés, d'éliminer, dans le procédé de travail, le plus possible de paramètres qui interviennent dans ces déterminations.

a) *Prise des éprouvettes.* Entre les éprouvettes coupées d'une même rondelle on trouve des différences assez notables sans pouvoir distinguer une certaine influence de leur orientation vis-à-vis des points cardinaux. On a obtenu d'assez grandes différences même pour les éprouvettes taillées bout à bout dans une même pièce de bois.

Pour avoir un matériel de plus homogène, on a employé du bois d'épicéa de résonance, ayant les couches annuelles très régulières, sans défauts de croissance etc., matériel qu'on emploie dans les constructions aéronautiques.

Les éprouvettes taillées dans le sens radial, mais très éloignées les unes des autres ont donné des résultats différents en raison de la variation des couches annuelles.

Les éprouvettes taillées jointes dans le sens tangentiel (fig. 1), comprenant donc le même nombre de couches annuelles, ont donné les plus petites différences. C'est pourquoi, toutes les éprouvettes pour ces essais ont été taillées de cette manière.

On a essayé seulement du matériel à accroissements annuels réguliers. On a éliminé toutes les paires d'éprouvettes n'ayant pas exactement les mêmes couches annuelles ou présentant le moindre défaut: légère inclinaison des couches au lieu d'être tangentielles à l'un des côtés de la section, faible inclinaison des fibres, petites ondulations de celles-ci, de très petits noeuds (situés n'importe où dans la pièce et non seulement dans son milieu), voire même de faibles colorations.

Les éprouvettes ont été confectionnées dans les dimensions de $2 \times 2 \times 30$ [cm³].

b) *Réalisation des divers états d'humidité des éprouvettes.* Pour obtenir une plus grande variation de l'humidité du bois, les éprouvettes ont été tenues dans des vases clos, dans lesquels on a produit l'humidité du bois à l'aide des suivantes substances et solutions: anhydride phosphorique (P_2O_5), chlorure de magnésium anhydre, chlorure de calcium anhydre, hydrate de potassium fondu, solution saturée de chlorure de calcium, carbonate de potassium, nitrate de calcium, nitrate d'ammonium, chlorure de sodium, sulfate d'ammonium, chlorure de potassium, carbonate de sodium, sulfate de potassium, solution 72,5%, 66,5%, 62,0%, 58,5%, 55,5%, 52,8%, 47,2%, 42,2%, 37,5% et 32,8% d'acide sulfurique. L'humidité correspondante à la saturation de la fibre a été réalisée dans des vases d'eau. L'état absolument sec a été obtenu par séchage des éprouvettes dans une étuve électrique à une température de 105° C. La température a été augmentée progressivement durant 5 jours, afin d'éviter la production des gerces par séchage. Pour des humidités dépassant celle de la saturation de la fibre, les éprouvettes ont été tenues dans l'eau.

Dans les vases, les éprouvettes ont été rangées en piles et espacées par des tasseaux de 8/8 mm. Les vases ont été déposés dans une chambre à une température constante de 20° C. L'humidité initiale des éprouvettes a été de 11 à 13%. Les éprouvettes ont été mises dans les vases en juin 1942 et ont été essayées en avril 1944, c'est-à-dire après un séjour de 22 mois dans les différents milieux. Après ce laps de temps l'humidité des éprouvettes d'un même vase a très peu varié, ainsi qu'on peut le voir des exemples suivants d'humidités extrêmes mesurées dans quelques vases: 2,1 à 2,4%; 4,0 à 4,3%; 4,9 à 5,5%; 4,8 à 5,2%; 9,9 à 11,3%; 11,5 à 12,6%. On voit que l'humidité a le plus varié dans les vases ayant une humidité relative de l'air plus élevée. L'humidité des éprouvettes dans les vases à solutions d'acide sulfurique à 62,0%, 58,5% et 55,5% a été dans les mêmes limites. C'est pour cela qu'on a fait pour celles-ci une seule classe d'humidité. L'humidité des éprouvettes d'un même vase a été exprimée par la moyenne arithmétique de leurs humidités. On a réalisé ainsi les suivants 24 degrés d'humidité du bois: 0%, 1,0%, 1,5%, 1,8%, 2,2%, 2,8%, 4,1%, 5,1%, 7,0%, 8,8%, 9,3%, 9,8%, 10,5%, 11,2%, 12,2%, 13,2%, 13,7%, 14,3%, 16,1%, 17,3%, 23,2%, 26,5%, 28,9% et au dessus de 70%.

Pour mesurer l'humidité de chaque éprouvette, on a pesé les deux pièces après la rupture par le mouton-pendule, par d'abord immédiatement après l'essai et ensuite après les avoir séchées dans l'étuve à 105° C. Toutes les opérations (enlèvement des éprouvettes, essais, pesage) ont été faites le plus vite possible afin que l'humidité relative de l'air du laboratoire n'influence pas l'humidité du bois.

c) *Les séries d'éprouvettes.* Afin de poursuivre l'influence de l'humidité on a maintenu constante l'humidité des éprouvettes de comparaison de chaque paire d'éprouvettes et l'on a fait varier l'humidité des autres ainsi qu'il a été montré plus haut. Les éprouvettes ont été réparties en 3 séries d'essais.

Pour la I-ère série, les éprouvettes de comparaison ont été complètement sèches. Pour la II-ème série, l'humidité de celles-ci a été en moyenne de 12,5% (11,8 à 13,1%) et pour la III-ème série, 14,5% (14,1% à 14,8%). Pour ces deux séries on a cherché d'obtenir les humidités moyennes de 12% et de 15%, les deux valeurs de l'humidité adoptées, jusqu'ici, comme normales. Les différences par rapport aux humidités moyennes réalisées aux éprouvettes de comparaison de la II-ème et III-ème séries sont bien petites, de sorte qu'il est bien possible de rapporter les résultats aux humidités normales.

Pour chaque état d'humidité il a été réparti 6 éprouvettes, leurs paires étant utilisées comme éprouvettes de comparaison, cela fait que, pour les 3 séries d'essais, on a utilisé 900 éprouvettes. De celles-ci il a été éliminé aux essais 44 pièces qui avaient été tachées accidentellement par les solutions des vases pendant la manipulation.

d) *Appareillage utilisé et calcul des résultats.* Pour chaque éprouvette on a mesuré le travail mécanique à la rupture de même que la résistance correspondante de flexion. Les essais ont été effectués avec un mouton-pendule de 15 kgm, de construction Mohr & Federhaff, les appuis et le tranchant ayant un rayon de 15 mm. La distance entre les appuis a été de 24 cm. Les éprouvettes ont été placées de façon que la direction du choc fût tangentielle aux couches annuelles. L'effort de rupture a été déterminé indirectement par la mesure de la réaction sur l'un des appuis. La résistance de flexion a été calculée avec la relation $3Pl/2bh^2$. Du fait que les essais ont été faits dans des conditions identiques pour ce qui est de la forme et dimensions des éprouvettes, la distance entre les appuis etc., le travail mécanique à la rupture n'a pas été rapporté à la section ou au volume des éprouvettes, mais il a été exprimé en kgm ainsi que l'on a lu sur l'appareil.

2. Résultats des essais

a) *Influence de l'humidité sur le travail mécanique à la rupture par flexion dynamique.* Pour mieux mettre en évidence l'influence de l'humidité, les diagrammes 2, 6, 11 et 16 ont été faits de sorte qu'on puisse comparer les résultats des essais de chaque paire d'éprouvettes. On a mis sur les abscisses les valeurs du travail mécanique des éprouvettes de comparaison et sur les ordonnées celles des éprouvettes correspondantes aux différentes humidités. De cette façon il est aisé à voir si le travail mécanique des éprouvettes ayant différentes humidités a augmenté ou a diminué par rapport à celui des éprouvettes correspondantes de comparaison. Pour que les diagrammes soient plus clairs, on a groupé sur une même figure les résultats des essais sur des pièces ayant l'humidité de 0 à 5%, de 5 à 10%, de 10 à 16%, et de 17 à 70% et au-dessus. Les diagrammes 6, 11 et 16, qui comprennent les résultats des 3 séries d'essais, ont été donnés seulement pour se faire une idée d'ensemble de l'influence de l'humidité sur le travail mécanique de rupture.

De l'examen de ces diagrammes on déduit les conclusions suivantes:

1. L'humidité a une influence sur la résilience dans le sens qu'elle diminue quand l'humidité augmente jusqu'à la saturation de la fibre. Pour les éprouvettes

dont l'humidité dépasse cette limite, on remarque des différences plus petites par rapport aux éprouvettes de comparaison ayant une humidité de 12,5% et de 14,5%, ce qui prouve que le minimum de résilience est atteint pour l'humidité correspondant à la saturation de la fibre.

2. L'influence de l'humidité est plus visible pour les matériaux à grandes résistances. Dans la plupart des éprouvettes ayant une résilience réduite, cette influence est dépassée et couverte par l'influence d'autres facteurs. De cette cause le matériel ayant une résilience d'environ 1 kgm présente des résultats irréguliers.

Pour des humidités approchées, les résultats se couvrent. Cherchons maintenant à quelles conclusions on peut arriver si l'on utilise autrement les résultats d'essais.

En faisant la différence entre les moyennes des résultats de chaque groupe d'éprouvettes à différentes humidités et les moyennes des résultats des groupes correspondants des pièces de comparaison et en les rapportant à ces derniers, on obtient la variation de la résilience en fonction de l'humidité.

Dans le diagramme 17 on a représenté les résultats de nos essais calculés ainsi qu'il a été montré plus haut. Les irrégularités, que l'on observe surtout aux points de la série des éprouvettes de comparaison ayant une humidité de 14,5%, sont dues aux résultats des éprouvettes à faible travail mécanique des groupes correspondants d'éprouvettes. Plus il y a de pareilles éprouvettes dans un groupe, plus la différence entre ces deux moyennes sera plus petite. Tout de même, le diagramme de nos résultats montre que le travail mécanique diminue quand l'humidité augmente. On peut encore déduire que cette diminution atteint son maximum pour l'humidité correspondante à la saturation de la fibre et pas pour des humidités supérieures à celle-ci.

En faisant les moyennes des résultats des éprouvettes ayant la même humidité, sans tenir compte de la série à laquelle elle appartient dans nos essais et en marquant ces valeurs sur un diagramme en fonction de l'humidité, on obtient une courbe (fig. 18), dont on peut déduire que le travail mécanique à la rupture diminue quand l'humidité augmente jusqu'à env. 15%, pour qu'elle reste ensuite constante. D'après cette courbe, l'influence de l'humidité dans l'intervalle de 12 à 18%, qui correspond au séchage du bois à l'air, serait pratiquement négligeable, ainsi qu'il a été montré aussi par d'autres expérimentateurs. Ce fait ne peut pas être déduit des diagrammes 2 à 16.

La dispersion des points est due, en grande partie, aux éprouvettes ayant un travail mécanique réduit. Si toutes les éprouvettes avaient le travail mécanique réduit, les moyennes seraient trop peu différentes et l'on arriverait ainsi à de fausses conclusions sur l'influence de l'humidité. Les diagrammes accomplis de cette façon donneraient une image réelle de l'influence de l'humidité sur le travail mécanique seulement pour des matériaux à grande résistance.

De notre diagramme on voit que la diminution du travail mécanique correspondant à une humidité d'environ 14,5% représenté 36% du travail mécanique des pièces complètement sèches, ce qui veut dire une diminution d'environ 2,5% pour chaque 1% d'augmentation de l'humidité du bois dans l'intervalle 0 à 15%.

b) *Influence de l'humidité sur la résistance à la flexion par choc.* Pour la résistance à la flexion dynamique on a utilisé les mêmes procédés de comparaison et de représentation des résultats des essais que pour le travail mécanique.

Des diagrammes 19... 33 on peut déduire les conclusions suivantes:

1. L'humidité influence la résistance à la flexion par choc dans le sens qu'elle diminue quand l'humidité augmente jusqu'à la saturation de la fibre.

Les éprouvettes ayant une humidité supérieure à celle de saturation de la fibre ont eu une résistance très approchée de celle des éprouvettes de comparaison.

2. L'influence de l'humidité n'est distincte que pour des différences importantes d'humidité.

3. L'irrégularité des résultats est plus grande que dans le cas de la résilience. Il est probable qu'à celle-ci contribue aussi les imperfections du procédé de mesure. Les diagrammes établis d'après les autres procédés, indiqués plus haut, donnent une plus grande dispersion des points que ceux du travail mécanique. Toutefois, les deux diagrammes (fig. 34 et 35) montrent que la résistance à la flexion par choc diminue quand l'humidité du bois augmente jusqu'à la saturation de la fibre, en augmentant ensuite pour de plus grandes humidités.

D'après le diagramme représenté dans la fig. 35, la résistance à la flexion par choc pour des humidités supérieures à 70% serait pareille à celle correspondant à une humidité d'environ 9%.

De même, les résultats de séries d'essais qui ont eu les éprouvettes de comparaison avec une humidité d'env. 12,5% et 14,5%, montrent que la résistance à la flexion pour les éprouvettes ayant une humidité plus grande que 70% diffère très peu de la résistance des éprouvettes de comparaison, soit de $-0,7\%$ et $+1\%$, ainsi que l'on peut voir dans la fig. 34.

La diminution de la résistance à la flexion pour une augmentation de l'humidité de 0 à 15% est, d'après le diagramme 35, d'environ 15%, soit une diminution de la résistance d'environ 1% par chaque 1% d'augmentation de l'humidité du bois.

IV. Conclusions

Nos essais sur le bois d'épicéa ont montré que l'humidité influence autant le travail mécanique à la rupture (la résilience) que la résistance correspondante à la flexion par choc avec le mouton-pendule. Ces propriétés diminuent quand l'humidité augmente. Le maximum de diminution est atteint pour l'humidité correspondante à la saturation de la fibre; après cette limite elle croît assez lentement.

La diminution du travail mécanique pour une augmentation de l'humidité de 1%, dans l'intervalle d'humidité de 0 à 15%, peut être considérée d'env. 2,5%. Pour la résistance à la flexion, la diminution est d'environ 1%.

Ces chiffres peuvent servir aux corrections en fonction de l'humidité. Pour leur utilisation à n'importe quel matériel d'épicéa, il est nécessaire qu'elles soient encore vérifiées par un plus grand nombre d'essais.

Le procédé de comparaison des résultats des éprouvettes paires s'est montré efficace pour la mise en évidence de l'influence de l'humidité sur ces propriétés. Il peut être utilisé aussi dans les essais de série pour établir les corrections qu'on doit faire à ces propriétés dynamiques en fonction de l'humidité du bois.

Il est nécessaire de faire encore des essais pour voir si le sens de l'influence de l'humidité sur ces propriétés est le même pour le bois d'autres résineux de même que pour le bois feuillu que pour l'épicéa. Le procédé de travail peut être simplifié en utilisant un nombre plus restreint d'états d'humidité du bois.