

Električna svojstva i mjerenje sadržaja vode u drvu

ELECTRIC PROPERTIES AND WATER CONTENT MEASUREMENT IN THE WOOD

Prof. dr **Stanislav Bađun**

Slavko Govorčin, dipl. ing.

Jasenska Babić, dipl. ing.

Šumarski fakultet Zagreb

Prispjelo: 10. travnja 1987.

Prihvaćeno: 4. svibnja 1987.

UDK 630*812.

Prethodno priopćenje

Sažetak

U ovom su radu prikazani rezultati istraživanja utjecaja sadržaja vode na električni otpor drva, rezultati koji su bili osnova za konstruiranje električnih vlagomjera HGR-100 i HGR-30 Fn u IETA, RIZ Zagreb. Vlagomjeri pod ovom oznakom četvrta su generacija ovakvih instrumenata, namijenjenih potrebama drvne industrije.

Gljučne riječi: električni otpor — vlažnost drva — električni vlagomjeri

Summary

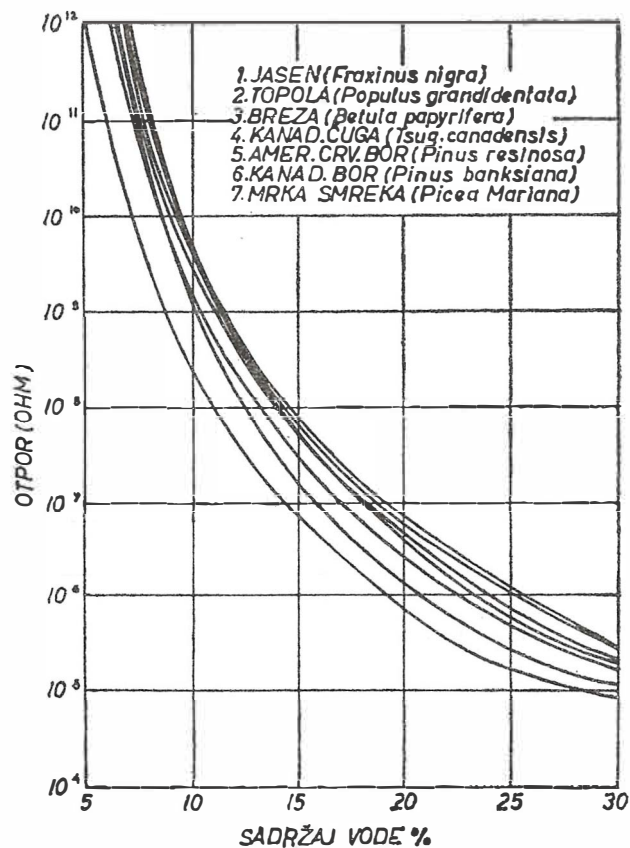
This paper presents the results of investigation of the effects of water content on electric resistance in the wood and on the basis of these results the electric hygrometers HGR-100 and HGR-30 Fn have been designed in IETA, RIZ Zagreb. The mentioned two hygrometers are the fourth generation of such instruments designed for the requirements of timber and wood industry.

Key words: electric resistance — moisture level in wood — electric hygrometers (A. M.)

UVOD

Poznato je da se električni instrumenti za određivanje sadržaja vode u drvu osnivaju na električnim svojstvima drva. Spoznaja da su promjene električnog otpora u higroskopskom području vlažnosti drva velike primijenjena je kod konstrukcije vlagomjera na bazi otpora. Otpor što ga drvo pruža prolasku električne struje mijenja se u ovisnosti o sadržaju vode, temperaturi, smjeru vlaknaca, vrsti drva i sadržaju otopljenih drugih elektrolita. Promjene električnog otpora u drvu najviše ovise o promjenama sadržaja vode drva od točke zasićenosti vlaknaca do stanja standardno suhog drva. U tom rasponu vlažnosti, otpor se mijenja za 10^6 do 10^9 Ohma. U nadhigroskopskom području te su promjene otpora u odnosu na promjene sadržaja vode vrlo malene. Promjene električnog otpora za različite vlažnosti higroskopskog područja i vrste drva prikazane su na slici 1. Za mjerenje tako širokog opsega otpora, u konstrukcijama vlagomjera za drvo, razni proizvođači upotrebljavaju različite sklopove. Izračunavanje utjecaja navedenih faktora na električna svojstva drva i primjena razvijenih i poboljšanih sklopova u konstrukciji električnih higrometara omogućuje, u koordiniranoj aktivnosti istraživača drva i proizvođača vlagomjera, izradu vlagomjera za drvo visokog stupnja točnosti rada u primjeni.

U ovom su radu prikazani rezultati istraživanja utjecaja sadržaja vode na električni otpor drva, rezultati koji su bili temelj konstruiranja elek-



Slika 1 — Odnos između električnog otpora i sadržaja vode u drvu kod 26,7° C (W. I. James)

Fig. 1 — Relation between the electric resistance and the moisture content in the wood on 26,7° C (W. I. James)

KHAYA (Khaya ivorensis C. Dc.)
HGR — 100

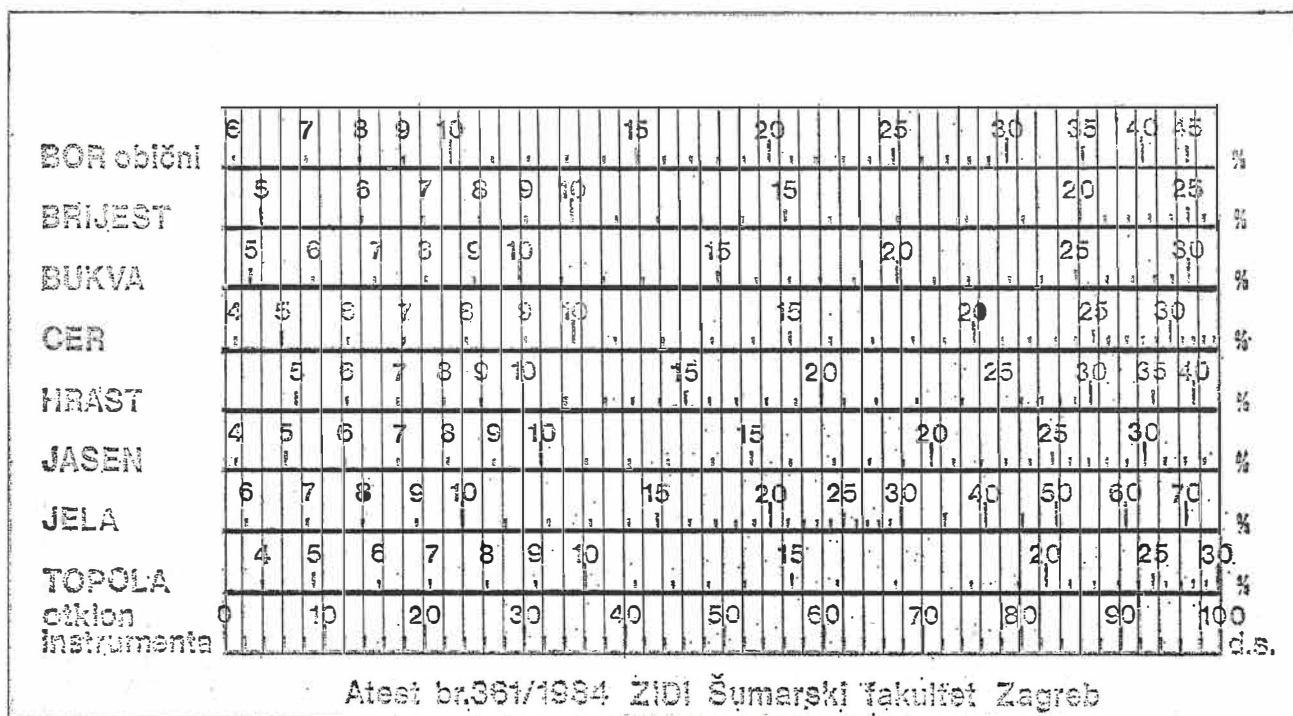
Tablica II

dijelova skale	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	točnost % ±
	sadržaj vode %										
—	—	—	—	—	—	—	6,9	7,0	7,0	7,0	0,1— 0,6
10	7,1	7,2	7,2	7,2	7,4	7,6	7,7	7,8	8,6	9,1	0,1— 1,0
20	9,6	9,9	10,0	10,2	10,3	10,5	11,0	11,2	11,4	11,5	0,5— 1,5
30	11,6	12,3	13,2	13,7	13,8	14,00	14,1	14,2	14,4	14,7	0,7— 2,5
40	14,9	15,0	15,1	15,7	16,2	16,7	17,2	17,5	18,0	18,2	1,0— 3,8
50	19,8	20,7	21,6	22,1	22,6	22,7	22,8	23,2	24,1	25,6	4,0— 7,5
60	26,2	26,4	26,6	27,4	28,0	28,0	28,4	28,8	29,2	29,5	5,0—10,0
70	29,8	30,3	31,2	31,4	32,3	33,5	33,9	35,0	35,5	36,6	5,0—10,0
80	37,3	38,3	41,9	43,4	44,0	44,6	45,4	45,4	46,2	46,6	5,0—15,0
90	46,8	47,8	55,4	59,4	65,0	—	—	—	—	—	7,0—14,0

KOSIPO (Entandrophragma candolei Horms)
HGR — 100

Tablica III

dijelova skale	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	točnost % ±
	sadržaj vode %										
—	—	—	—	—	—	—	7,4	7,5	7,5	7,5	0,0— 0,4
10	7,5	7,5	7,5	7,7	8,1	8,3	8,3	8,4	9,0	10,3	0,1— 0,9
20	10,6	10,7	10,8	11,0	11,3	11,7	12,2	12,4	12,6	12,7	0,2— 1,5
30	13,1	14,5	15,2	15,4	15,6	15,7	15,8	15,9	16,2	16,6	0,5— 3,0
40	16,7	16,8	16,9	17,3	18,2	18,9	19,1	19,2	19,5	19,8	1,0— 3,0
50	21,0	23,1	23,5	23,7	24,7	25,0	25,3	25,5	26,2	27,4	1,5— 3,5
60	28,3	28,7	29,5	30,5	30,9	31,8	32,0	33,0	33,3	33,5	2,0— 5,0
70	33,6	33,7	33,7	33,7	33,8	34,1	34,2	34,4	34,5	34,5	2,5— 7,0
80	36,0	37,1	39,5	42,9	43,6	48,6	51,0	54,2	54,6	58,0	5,0—10,0
90	61,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Slika 5 — Dijagram vlažnosti drva za vlagomjer HGR-30 F
Fig. 5 — Diagram of wood moisture for the hygrometer HGR-30 F n

SAPELLI (*Entandrophragma cylindricum* Sp.)
HGR — 100

Tablica IV

dijelova skale	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	točnost % ±
	sadržaj vode %										
—	—	—	5,2	5,9	6,4	6,7	7,1	7,5	7,9	8,4	0,2— 0,8
10	8,9	9,3	9,8	10,2	10,6	11,0	11,5	11,9	12,3	12,7	0,3— 1,2
20	13,2	13,6	14,0	14,5	14,9	15,3	15,7	16,1	16,5	16,9	0,3— 1,2
30	17,3	17,7	18,1	18,4	18,8	19,2	19,6	20,1	20,5	20,8	1,4— 2,5
40	21,0	21,4	21,8	22,2	22,6	23,0	23,3	23,5	23,8	24,1	2,0— 3,0
50	24,3	24,5	24,9	25,4	25,9	26,3	26,6	27,0	27,4	27,9	2,0— 3,0
60	28,0	28,2	28,8	29,3	29,8	30,1	30,3	30,5	30,8	31,3	3,0— 4,5
70	31,8	32,5	33,2	33,4	33,8	34,2	34,6	35,1	35,8	36,8	6,0— 9,0
80	37,8	39,1	40,7	43,2	46,3	49,9	53,6	57,2	60,9	64,4	5,0—10,0
90	68,3	72,0	76,7	80,7	88,5	—	—	—	—	—	8,0—10,0

UTILE (*Entandrophragma angolense* C. Dc.)
HGR — 100

Tablica V

dijelova skale	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	točnost % ±
	sadržaj vode %										
—	—	—	5,5	6,0	6,4	6,7	7,1	7,7	8,2	8,7	0,1— 0,7
10	9,3	9,8	10,3	10,8	11,3	11,8	12,3	12,8	13,3	13,9	0,5— 1,0
20	14,4	15,0	15,6	16,1	16,7	17,3	17,8	18,4	19,0	19,6	0,5— 1,5
30	20,2	20,8	21,4	22,0	22,7	23,3	24,0	24,7	25,4	26,2	0,6— 2,0
40	26,8	27,3	28,1	28,7	29,3	30,1	30,6	30,8	31,4	31,9	1,5— 4,0
50	32,3	32,8	33,4	34,0	34,6	35,2	35,9	36,9	37,4	37,9	4,0— 6,0
60	38,3	39,1	39,8	40,5	41,7	42,2	42,7	43,4	44,3	45,4	4,0— 8,0
70	46,5	47,2	48,0	48,5	48,9	50,5	52,1	54,0	56,4	58,3	5,0—10,0
80	60,3	62,4	64,2	66,2	68,6	72,2	74,7	76,4	77,2	79,7	6,0—14,0
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

FRAMIRE (*T. ivorenzis* A. Chev.)
HGR — 30 F_n

Tablica VI

dijelova skale	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	točnost % ±
	sadržaj vode %										
—	—	—	—	—	—	—	—	4,6	4,7	4,9	0,1— 0,3
10	5,1	5,2	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6	0,2— 0,4
20	6,8	7,0	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	8,9	9,2	0,3— 0,8
30	9,5	9,8	10,0	10,3	10,6	10,9	11,2	11,5	11,8	12,2	0,3— 1,0
40	12,5	12,8	13,1	13,5	13,8	14,1	14,4	14,7	15,0	15,4	0,3— 1,5
50	15,8	16,1	16,5	16,9	17,2	17,7	18,1	18,5	19,1	19,6	0,4— 1,8
60	20,0	20,4	20,9	21,3	21,8	22,5	23,0	23,6	24,2	24,7	1,2— 2,5
70	25,3	25,9	26,7	27,6	28,4	29,2	30,0	30,9	31,6	32,5	1,5— 5,0
80	33,2	34,1	34,8	35,4	36,3	37,3	38,2	38,9	40,0	41,0	2,0—10,0
90	42,1	42,9	43,4	43,9	44,7	—	—	48,1	—	—	5,0—13,0

SAPELLI (*E. cylindricum* Sprague)
HGR - 30 Fn

Tablica VII

dijelova skale	sadržaj vode %										točnost % ±
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	-	-	-	-	-	5,1	5,4	5,7	5,8	0,1-0,2
10	6,0	6,1	6,3	6,4	6,6	6,7	6,9	7,1	7,3	7,6	0,2-0,8
20	7,8	8,0	8,3	8,6	8,9	9,1	9,3	9,6	9,9	10,2	0,3-0,9
30	10,5	10,8	11,1	11,3	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	0,3-1,0
40	13,5	13,8	14,1	14,4	14,7	15,0	15,2	15,5	15,8	16,1	0,4-1,0
50	16,4	16,6	16,9	17,2	17,5	17,8	18,1	18,4	18,7	19,0	0,9-1,2
60	19,4	19,7	20,0	20,4	20,7	21,0	21,4	21,7	22,0	22,4	1,2-2,0
70	22,8	23,2	23,6	24,2	24,7	25,2	25,6	26,0	26,5	27,0	1,6-3,5
80	27,5	27,9	28,3	28,9	29,5	30,0	30,5	31,1	31,7	32,3	3,0-5,0
90	33,0	33,4	33,8	34,3	34,9	35,1	35,9	36,2	36,7	37,4	2,5-8,0

UTILE (*E. angolense* C. Dc.)
HGR - 30 Fn

Tablica VIII

dijelova skale	sadržaj vode %										točnost % ±
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	-	-	-	-	-	-	5,2	5,5	5,7	5,9	0,1- 0,2
10	6,1	6,2	6,3	6,5	6,6	6,8	6,9	7,2	7,5	7,7	0,2- 0,5
20	8,1	8,3	8,6	8,9	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,8	0,5- 1,0
30	11,1	11,4	11,8	12,1	12,5	12,9	13,3	13,7	14,1	14,4	0,5- 1,5
40	14,8	15,2	15,5	15,9	16,3	16,7	17,0	17,5	17,9	18,3	0,7- 2,0
50	18,7	19,2	19,7	20,2	20,6	21,1	21,6	22,1	22,7	23,2	1,0- 3,0
60	23,7	24,2	24,8	25,4	26,0	26,6	27,4	28,1	28,7	29,3	2,0- 4,0
70	29,9	30,4	31,3	32,2	33,0	33,8	34,5	35,3	36,3	37,2	2,5- 5,0
80	38,1	38,9	39,8	40,6	41,5	42,6	43,4	44,3	45,3	45,8	3,0-10,0
90	46,3	47,1	48,2	49,1	49,9	50,6	50,9	51,0	-	-	4,0-12,0

jelo mjerno područje vlažnosti, izrađeni su grafički prikazi tih odnosa kao poligoni aritmetičkih sredina. Zatim se pristupilo utvrđivanju najpovoljnije krivulje izjednačavanja dobivenih poligona računski i grafički:

- metodom klizajućih sredina,
- metodom ponderiranih aritmetičkih sredina (kompjutorski program, RIZ Zagreb),
- metodom polinomne regresije (kompjutorski program HP, Šum. fak. Zagreb) jednadžbama III i VI stupnja.

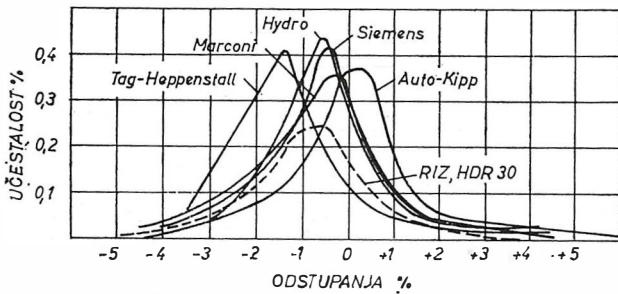
Na slici 2, 3. i 4. grafički su prikazani ti odnosi kao i načini za najpovoljnije izjednačavanje krivulje za vlagomjere HGR-100 i HGR-30 Fn. Oni su izabrani kao tipični radi ilustracije. Istraživanja su izvršena za domaće vrste drva (bor obični, brijest, bukva, cer, hrast, jasen, jela i topola) kao i za egzote (framire, khaya, kosipo, sapelli, utile).

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Iz grafičkih prikaza izjednačavanja krivulja kao na slikama 2, 3. i 4. i računskih podataka na-

činjene su tablice za očitavanje sadržaja vode ispitanih vrsta drva. Ti su podaci predstavljeni u tablicama vlažnosti drva. Iz tih tablica su izrađeni dijagrami vlažnosti drva za pojedini tip vlagomjera. Ovdje će se prikazati dijagram vlažnosti drva za vlagomjer HGR-30 Fn, namijenjen domaćim vrstama drva, slika 5. Tablični prikazi vlažnosti drva za vlagomjer HGR-100 i HGR-30 Fn izneseni su u tablicama I do VIII za ispitane egzote. Dijagram i tablice prikazani su ovdje kao ilustracija mogućnosti predstavljanja rezultata istraživanja, te njihovu upotrebu u svakodnevnoj praksi.

Da bi se utvrdila točnost rada vlagomjera RIZ-Zagreb, u odnosu na iste instrumente drugih proizvođača, upotrijebljeni su podaci R. Andersona [1]. U tom su radu, iz pojedinačnih mjerenja na instrumentima raznih proizvođača, izračunate frekvencije pozitivnih i negativnih odstupanja. Ovi su podaci prikazani grafički kao krivulje frekvencija u koje je uklopljena i krivulja odstupanja za vlagomjer RIZ-HD-R30 (slika 6). Kao što se vidi na slici 6, krivulja za vlagomjer HD-R 30 uklapa se među iste krivulje ostalih proizvođača. Srednja vrijednost ordinate za HD-R 30 je 24,1%, na



Slika 6 — Krivulje frekvencija pozitivnih i negativnih odstupanja

Fig. 6 — Curve of frequencies of positive and negative deviations.

slici 6, a srednja vrijednost apscise je $-0,75\%$. Srednja kvadratna greška iznosi $\pm 1,66\%$ i u okviru je istih varijacija za vlagomjere drugih proizvođača.

U tablicama I do VIII dana je i točnost rada s vlagomjerom HGR-100 i HGR-30 Fn preko dvostruke vrijednosti kvadratne greške (2σ). Srednja kvadratna greška za ove vlagomjere nije izračunata, ali se iz usporedbe s točnošću rada vlagomje-

ra HD-R30 može zaključiti da je ta točnost u okviru istih granica, što će reći i na razini sličnih instrumenata inozemnih proizvođača. Točnost mjerenja sadržaja vode u drvu vlagomjerom HGR-100 i HGR-30 Fn može se smatrati zadovoljavajućom za praktične potrebe.

LITERATURA

- [1] Anderson, R.: Noggrannheten hos elektriska fukt-kvotsmätare. Svenska Träforskningsinstitutet. Stockholm, 1951.
- [2] Babić, J.: Kalibriranje električnih vlagomjera HGR-100 i HGR-30 Fn za mjerenje vlažnosti drva. Diplomski rad. Šumarski fakultet Zagreb, Zagreb 1985.
- [3] Bađun, S.: Točnost mjerenja sadržaja vode u drvu električnim instrumentom »Hygrometar Typ HD-R30«. Drvna industrija 15 (1964), 5/6, str. 69—84.
- [4] Bađun, S.: Električni vlagomjeri za drvo proizvodnje Radio-industrije Zagreb. Drvna industrija 32 (1981), 5/6, str. 166.
- [5] Barkas, W., V., Hearmon, R. F. S. i Pratt, G. H.: Electrical resistance od wood. Nature, vol 151 (1943), januar 16, s. 83
- [6] Gotovac, A.: Određivanje točnosti rada vlagomjera HGR-100 i HGR-30 Fn za egzote. Diplomski rad. Šumarski fakultet Zgreb. Zagreb 1985.
- [7] James, W. L.: Electrical moisture meters for wood. US For. prod. Lab, Rep. No 1660, jan. 1958.