

SOPRONI EGYETEM

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Tudományos Diákköri Konferencia 2024.

Vécs Martin László

TUDOMÁNYOS ÉRTEKEZÉS

BEÜTŐTÜSKÉS SŰRŰSÉGMÉRŐ ESZKÖZ KALIBRÁCIÓJA HAZAI
SZÜRKE NYÁR (POPULUS × CANESCENS) FAFAJRA

Konzulens:

Dr. Hantos Zoltán
egyetemi docens

SOPRON
2024.

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék	2
Kivonat.....	3
Bevezetés	4
A szürke nyárak	5
Általános jellemzés	5
Szakirodalmi faanyagjellemzők	5
Sűrűségmérő eszközök.....	6
A Pylodin.....	6
A Nylodin	7
Mintavizsgálatok és adatok	9
Eredmények kiértékelése.....	21
Összegzés	24
Köszönetnyilvánítás	25
Irodalomjegyzék.....	26
Ábrajegyzék.....	26

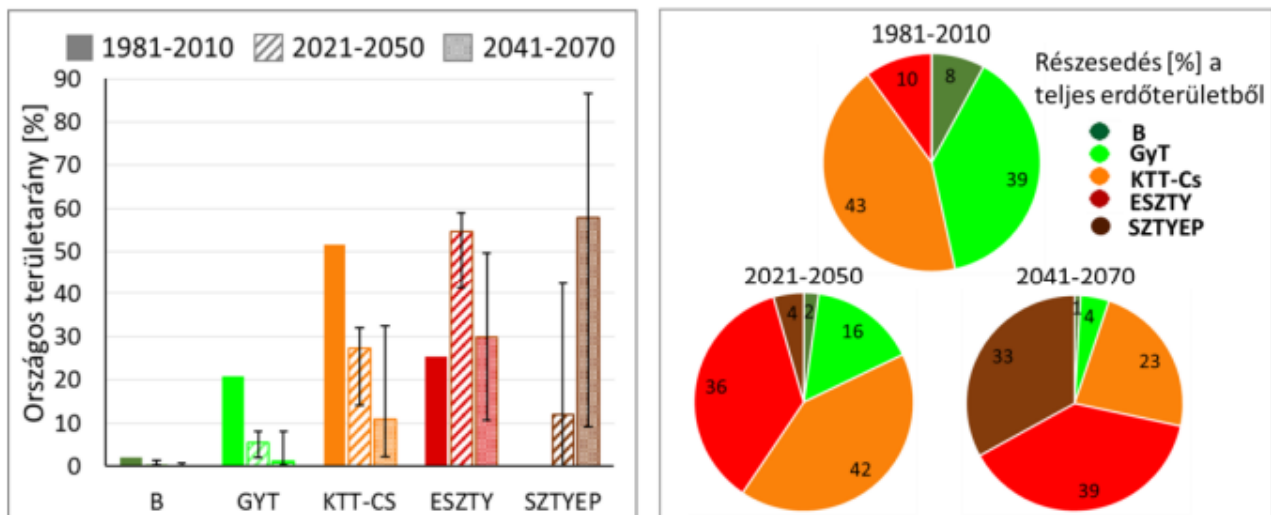
KIVONAT

A klímaváltozás hatására a hazai erdőállományok összetétele változásnak indult. Ezt felismerve olyan, a faipart érintő nemzetgazdasági irányelvek születtek, amelyek elsősorban az olyan őshonos hazai fafajok felhasználását részesítik előnyben, mint a szürke nyár (*Populus × canescens*). Ahhoz, hogy e fafaj szélesebb spektrumú faipari alkalmazására lehetőség nyíljon, olyan módszerekre van szükségünk, amelyek lehetővé teszik az adott fafaj alapvető tulajdonságainak gyors meghatározását.

A sűrűségnek, mint az egyik legalapvetőbb faanyagtulajdonságnak a meghatározása mára igencsak egyszerűvé vált, köszönhetően az olyan beütőtűskés sűrűségmérési elven működő találmányoknak, mint a Pylodin és a Nylodin. Ezen eszközök lehetővé teszik a faanyagok sűrűségének gyors becslését. Mindazonáltal ahhoz, hogy a fent említett, számunkra releváns szürke nyárak vizsgálatára is alkalmazhassuk őket, a műszereket fafajspecifikusan kalibrálnunk kell. A kalibrációs folyamat eredményeképp elmondhatjuk, hogy a becslési folyamatnak több olyan, főként fafaji és körülményi tényezője is van, amely nagyban befolyásolja a mérési eredményeket. Jelen kutatás mérési eredményeivel arra a kérdésre adunk választ, hogy adott fafajon belül nedves és száraz faanyag esetében is változik-e a sűrűségdiagram, valamint hogy a mért eredmények a nedves vagy a száraz fanedvességhez állnak-e közelebb, melyik esetben mutatnak szorosabb korrelációt.

BEVEZETÉS

Mint az élet szinte minden területére, így a magyarországi erdőállományok összetételére is nagy hatással van a klímaváltozás. Erdészeti kutatások szerint az 1981 és 2010 közötti időszakhoz képest a 2021 és 2050 közötti periódusra az aszályos időszakok száma megduplázódhat, amely az érzékeny fafajok – mint a faépítészetben leginkább alkalmazott fenyők, tölgy és bükk – mortalitásának kockázatát fokozhatja. (Gálos és Führer, 2018.)



1. ábra Az erdészeti klímakategóriák országos területaránya (bal oldali ábrarész) és részesedése a jelenlegi teljes erdőterületből (jobb oldali ábrarész) 1981-2010-ben, valamint annak feltételezése a 2021-2050-es és a 2041-2070-es időszakban. (Gálos és Führer, 2018.)

Ezen körülményekből kiindulva a hazai faipar belátta a problémákat és megindultak olyan, főként nemzetgazdasági kezdeményezések, amelyek a Magyarországon őshonos fafajok, mint például a nyárok – különösen a hazai szürke nyár (*Populus × canescens*) – faipari és faépítészeti felhasználását segítik elő. Mindazonáltal a legnagyobb problémát inkább az veti fel, hogy ezen fafajokat eddig a hazai gazdaság nem kimondottan építőipari, sokkal inkább bútór-, épületasztalos- és egyéb faipari célokra alkalmazta, ennél fogva e fafajok építőipari és építészeti szempontból fontos és szükséges paramétereit nem kimondottan ismerjük és ezen értékek gyors meghatározására sincsenek megfelelő módszereink.

Jelen értekezés a faanyagok egyik szignifikáns tulajdonságával, a sűrűség meghatározásával kapcsolatos kalibrációs körülményeket és paramétereket taglal, amely az egyébként fenyő fajokra kifejlesztett és alkalmazott sűrűségmérési módszer eredményeit vezeti át a fent megnevezett hazai szürke nyár sűrűségi értékeire.

A SZÜRKE NYÁRAK

ÁLTALÁNOS JELLEMZÉS

A fűzfafélék családjába tartozó nyárok nemzetségének 35 faja ismert, amelyből az egyik hazánkban őshonos faj a szürke nyár (*Populus × canescens*), amely a fehér nyár (*Populus alba*) és a rezgő nyár (*Populus tremula*) természetes hibridje. A szürke nyárat nehéz megkülönböztetni a fehér nyáraktól, hiszen szerkezetükben és tulajdonságaikban azonosak.

Építőipari felhasználás szempontjából mikroszkópos jellemzői közül megemlíthető, hogy szórt likacsú fafaj, edényei 50-100 µm átmérőjűek, edénytagjai 0,5 mm hosszúak. Alaki pontosságát illetően negatívum, hogy hajlamos a külponos növekedésre, amely általában reakciófa (húzott fa) jelenlétével társul s ez faépítészeti és statikai szempontból kimondottan hátrányos. A szürke nyár természetes tartóssága önmagában sem magas, ráadásul mivel hazánk őshonos faja, így a szintén őshonos fungális és inszektális fakárosítókkal szembeni ellenállása igencsak csekély.

Alapvető tulajdonságai és fahibái miatt a szürke nyárat főképp ládák, raklapok, alátétek gyártására, valamint farostlemez- és forgácsolap-alapanyagként használják, furnér- és bútoripari célokra nem alkalmas. (Molnár S., Farkas P. 2016.)

SZAKIRODALMI FAANYAGJELLEMZŐK

Átlagsűrűség	
Légszáraz faanyagállapotra (U=12%) számított sűrűség (ρ_{12})	450 kg/m ³
Zsugorodási tulajdonságok	
Rostirányú zsugorodás	0,2 – 0,4%
Húrirányú zsugorodás	5,9 – 8,6%
Sugárirányú zsugorodás	3,1 – 5,3%
Térfogati zsugorodás	9,5 – 14,7%
Szilárdsági tulajdonságok	
Hajlítószilárdság	67,5 MPa
Nyírószilárdság (húrirányú)	7,8 MPa
Nyomószilárdság	38,3 MPa
Húzószilárdság (rostokkal párhuzamos)	82,3 MPa
Hajlító rugalmassági modulus	8900 Mpa
Ütő-hajlító szilárdság	1,0 – 11,0 J/cm ²

1. táblázat A szürke nyárok fizikai, mechanikai tulajdonságai (Molnár S., Farkas P. 2016.)

SŰRŰSÉGMÉRŐ ESZKÖZÖK

A PYLODIN

Az ún. beütötűskés vagy másik nevén szegbehatolásos sűrűségmeghatározási módszert eredetileg villanyoszlopok sűrűségének gyors becslésére fejlesztették ki, majd Japánban *Pylo din* márkanév alatt kezdték el gyártani. Az eszköz behatolásos elven működik, azaz egy felhúzott rugó állandó energiával a faanyagba juttatja a felhúzórudat.



2. ábra A Pylo din szétszerelt állapotban

A rúd behatolási mélysége a faanyag minőségének és sűrűségének függvénye. A felhúzást és a penetrációt követően a faanyag sűrűsége egy milliméterskálán olvasható le 0,5 mm pontossággal, majd a kapott eredmény az alábbi tapasztalati képlettel határozható meg:

$$\rho = - 45,5 b + 1073$$

ahol ρ a sűrűség becsült értéke kg/m^3 -ben és b a leolvasott benyomódás értéke mm -ben.

Ezen módszerrel a sűrűség $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ pontossággal határozható meg. Fontos megjegyezni, hogy ez a módszer a sűrűségnek csupán a becslésére alkalmas, a mérés nem ad pontos és egzakt eredményt. (Dr. Dívós F., Dr. Németh L., Major B., 2015.)

Az eszköz használata bár praktikus lehet egy-egy vizsgálat során, azonban a mi esetünkben a felhúzórud használata igencsak körülményes, és fárasztó. Pontosságán kívül azonban a Pylo din

kapcsolatban felmerül még egy kérdés: az ár. Önmagában az eszköz nagyon drágának számít, ha azt vesszük, hogy csupán becslést végezhetünk vele, pontos mérést nem. Jelenlegi piaci ára 800 000 – 900 000 forint között mozog, és a beszerzése is körülményes. Ezt kiküszöbölendő a Soproni Egyetem korábbi kutatásai lehetőséget biztosítottak arra, hogy a Pylodinnal egyenértékű eszközt lehessen létrehozni sokkal kisebb anyagi vonzattal. Ez az eszköz lett a Nylodin.

A NYLODIN

Hogy tárgyalhassuk a Pylodin alternatíváját, vegyünk egy ugyanezen mozdulatot végző eszközt, amelyet elsősorban a húsiparban alkalmaznak: a nyúltaglót. A taglót megfelelő módon átalakítva a Pylodinhoz hasonló eszközt kapunk: a Nylodint.

A Nylodin működése egyszerű: egy hengerben egy rugóval ellátott rúd található, melynek a végén egy tű helyezkedik el. A rudat kattanásig felhúzzuk, ezáltal megfeszítjük a rugót, melynek rugóállandója konstans. A felhúzott szerkezetet ezután a vizsgálni kívánt faanyagra helyezzük, majd megnyomjuk a kioldószerkezetet. Amint a rugó megfeszített állapotából visszatér a nyugalmi helyzetbe, úgy az erőt átadja a felhúzórudnak, amely a végén lévő tűvel belehatol a faanyagba.



3. ábra A tagló átalakítás előtt

A behatolás mélysége a faanyag keménységének – sűrűségének – függvénye. Jelen mérésekben 2 mm átmérőjű tűt alkalmaztunk. Mivel normál esetben az alapszerkezet tűjének átmérője túl vastag, a tűt át kell alakítani esztergálással az imént említett 2 mm vastagságig. Mivel ez a 2 mm-es vastagság elég csekély, nagy mintaszámú vizsgálat esetén megnő az esély a tű elhajlására, kicsorbulására, így praktikus, ha olyan eszközt alakítunk át, amelynek tűje cserélhető.

Ha a szerkezet kioldása után a tű behatolt a faanyagba, a rúd felső végén található milliméterskáláról leolvashatjuk a faanyagból kintmaradt rúdhosszt, majd a meghatározott kalibrációs diagramokról leolvashatjuk a sűrűséget.



4. ábra A Nylodin millimeterskálája



5. ábra A Nylodin a mintában

Az eszköz kalibrációját előzetesen már más kutatás elvégezte egyéb fafajokra (ld.: *Blahó K., 2018.*), ám specifikusan ezen hazai szürke nyár fafajra még nem készült diagram, ezért a korábbi vizsgálati eredményeket kibővítjük, emellett pedig jelen kutatás mérési eredményeivel arra a kérdésre adunk választ, hogy adott fafajon belül nedves és száraz faanyag esetében is változik-e a sűrűségdiagram, valamint, hogy a mért eredmények a nedves vagy a száraz fanedvességhez állnak-e közelebb, melyik esetben mutatnak szorosabb korrelációt.

MINTAVIZSGÁLATOK ÉS ADATOK

A kérdéses fafaj vizsgálatára kialakítottunk 60 db, egyenként $60 \times 60 \times 60$ mm méretű mintát. A mintákat labor- és normálklimán vizsgáltuk, mivel a laborkörülmények erre adtak lehetőséget. A mérési sort elsőként a tömegek meghatározásával kezdtük. Ehhez egy METTLER TOLEDO PG5002-S DeltaRange típusú tudományos mérleget alkalmaztunk.



6. ábra Tömegmérés

Ezután a három anatómiai iránynak megfelelően egy digitális tolómérővel kettő tizedesjegy pontosság méretet vettünk a mintákról, majd ebből később meghatároztuk a térfogatot is. A térfogat és a tömeg ismeretében kiszámoltuk az adott kockák sűrűségét. (1. táblázat)

Alkalmazott képletek

$$V [cm^3] = a [cm] \cdot b [cm] \cdot c [cm]$$

$$\rho \left[\frac{g}{cm^3} \right] = \frac{m [g]}{V [cm^3]}$$

Nr.	a (mm)	b (mm)	c (mm)	V (cm ³)	m (g)	ρ (g/cm ³)
1.	49,85	50,06	50,01	124,7995	61,35	0,4916
2.	50,00	49,95	49,94	124,7252	60,77	0,4872
3.	49,90	49,86	49,91	124,1768	61,06	0,4917
4.	49,73	50,04	49,62	123,4788	56,43	0,4570
5.	49,42	49,93	49,55	122,2666	60,13	0,4918
6.	50,18	50,00	50,39	126,4285	57,34	0,4535
7.	50,25	49,99	49,97	125,5245	56,78	0,4523
8.	49,73	50,01	49,92	124,1509	65,59	0,5283
9.	49,96	49,83	50,54	125,8197	63,70	0,5063
10.	49,85	50,74	49,74	125,8118	67,26	0,5346
11.	49,65	49,95	50,04	124,1001	61,62	0,4965
12.	49,86	50,06	50,22	125,3487	62,96	0,5023
13.	49,88	50,31	49,78	124,9211	65,53	0,5246
14.	49,94	50,21	50,31	126,1517	58,55	0,4641
15.	49,86	50,10	50,04	124,9992	58,93	0,4714
16.	50,12	49,99	50,05	125,4002	58,44	0,4660
17.	50,13	49,96	49,82	124,7739	61,03	0,4891
18.	49,64	50,02	50,18	124,5966	57,74	0,4634
19.	49,75	50,00	49,87	124,0516	62,15	0,5010
20.	49,73	50,10	49,49	123,3030	56,72	0,4600
21.	49,74	50,18	50,06	124,9474	59,37	0,4752
22.	49,83	50,14	50,81	126,9476	56,66	0,4463
23.	49,69	50,31	50,12	125,2952	63,82	0,5094
24.	50,29	50,38	50,22	127,2379	56,48	0,4439
25.	49,69	49,90	50,78	125,9106	66,20	0,5258
26.	49,75	49,91	50,27	124,8215	59,44	0,4762
27.	49,73	50,10	49,92	124,3743	56,86	0,4572
28.	49,51	50,05	49,78	123,3536	65,10	0,5278
29.	49,48	50,21	50,33	125,0394	56,61	0,4527
30.	50,33	49,87	50,02	125,5481	61,37	0,4888

Nr.	a (mm)	b (mm)	c (mm)	V (cm ³)	m (g)	ρ (g/cm ³)
31.	49,93	50,11	50,48	126,3006	58,00	0,4592
32.	50,23	49,93	50,08	125,5998	59,28	0,4720
33.	49,42	50,16	50,99	126,3995	60,68	0,4801
34.	49,68	49,58	50,27	123,8218	65,67	0,5304
35.	49,75	49,25	49,93	122,3379	61,07	0,4992
36.	50,05	50,17	50,04	125,6509	61,15	0,4867
37.	49,56	49,79	49,21	121,4302	60,30	0,4966
38.	49,75	50,46	50,28	126,2222	58,61	0,4643
39.	50,33	49,97	50,01	125,7747	58,22	0,4629
40.	49,69	50,53	50,07	125,7175	57,10	0,4542
41.	49,81	50,31	49,32	123,5930	56,92	0,4605
42.	49,97	49,25	50,15	123,4203	56,42	0,4571
43.	49,77	49,94	50,10	124,5242	64,82	0,5205
44.	49,86	50,07	50,05	124,9493	63,39	0,5073
45.	50,12	49,12	50,23	123,6610	61,40	0,4965
46.	49,70	50,79	49,84	125,8093	62,42	0,4961
47.	49,54	50,18	49,86	123,9478	63,53	0,5126
48.	49,98	50,63	50,17	126,9546	56,81	0,4475
49.	49,40	49,89	50,22	123,7705	61,53	0,4971
50.	49,71	50,31	50,60	126,5461	57,96	0,4580
51.	49,67	50,17	49,19	122,5787	56,39	0,4600
52.	49,92	50,29	50,07	125,6996	59,46	0,4730
53.	50,73	49,94	50,57	128,1169	60,01	0,4684
54.	49,93	50,00	49,86	124,4755	60,40	0,4852
55.	49,72	49,90	50,06	124,2003	68,68	0,5530
56.	49,78	50,02	50,27	125,1721	60,30	0,4817
57.	50,23	50,16	50,53	127,3122	59,34	0,4661
58.	49,72	49,57	49,72	122,5409	60,55	0,4941
59.	50,98	49,90	50,04	127,2969	63,50	0,4988
60.	49,02	49,55	50,03	121,5199	62,45	0,5139

1. táblázat Tömeg-, térfogat- és sűrűségadatok a klimatizálás előtt

A sűrűség kiszámítása után egy DELMHORST J-2000 típusú, beütötűs nedvességmérővel tangenciális és radiális irányban meghatároztuk a minták nedvességtartalmát.



7. ábra A beütötűskés nedvességmérés

Nr.	U ₁ (%)	U ₂ (%)	U _{átlag} (%)
1.	11,80	10,50	11,15
2.	8,70	8,70	8,70
3.	10,30	8,90	9,60
4.	9,70	11,40	10,55
5.	11,70	11,60	11,65
6.	11,20	9,70	10,45
7.	11,40	10,00	10,70
8.	8,90	8,70	8,80
9.	9,40	7,60	8,50
10.	10,20	10,30	10,25
11.	8,70	10,70	9,70
12.	7,60	8,60	8,10
13.	10,20	11,70	10,95
14.	10,10	9,80	9,95
15.	9,10	10,00	9,55
16.	10,20	10,00	10,10
17.	12,50	10,20	11,35
18.	12,50	9,60	11,05
19.	10,00	11,80	10,90
20.	10,00	10,60	10,30

Nr.	U ₁ (%)	U ₂ (%)	U _{átlag} (%)
21.	9,90	9,00	9,45
22.	9,10	9,10	9,10
23.	7,70	8,70	8,20
24.	9,20	12,50	10,85
25.	9,10	10,00	9,55
26.	9,70	8,40	9,05
27.	9,90	11,90	10,90
28.	11,00	12,00	11,50
29.	9,40	9,40	9,40
30.	8,70	10,10	9,40
31.	9,80	9,70	9,75
32.	11,60	10,40	11,00
33.	8,60	10,00	9,30
34.	12,10	10,50	11,30
35.	9,60	10,50	10,05
36.	9,30	9,80	9,55
37.	8,90	10,10	9,50
38.	10,10	10,50	10,30
39.	12,50	9,90	11,20
40.	10,10	9,50	9,80

Nr.	U ₁ (%)	U ₂ (%)	U _{átlag} (%)
41.	9,80	10,20	10,00
42.	11,40	9,70	10,55
43.	8,90	7,60	8,25
44.	8,90	8,00	8,45
45.	9,50	8,60	9,05
46.	10,80	11,70	11,25
47.	8,10	9,10	8,60
48.	9,60	9,60	9,60
49.	11,40	10,10	10,75
50.	9,40	10,00	9,70
51.	9,90	11,80	10,85
52.	8,30	8,60	8,45
53.	9,70	9,70	9,70
54.	10,10	9,00	9,55
55.	8,70	8,10	8,40
56.	8,60	9,70	9,15
57.	9,00	9,40	9,20
58.	9,70	10,00	9,85
59.	9,90	9,10	9,50
60.	11,40	9,90	10,65

2. táblázat Mért nedvességtartalmi értékek a klimatizálás előtt

A nedvességtartalmi értékek ismeretében az ide vonatkozó MSZ EN 384:2016 szabvány 5.4.2. pont (3) képlet segítségével a mért adatokat átszámítottuk 12%-os nedvességtartalomra:

MSZ EN 384:2016 5.4.2 pont (3) képlet

$$\rho = \rho(u)(1-0,005(u-u_{ref}))$$

Nr.	ρ_U (g/cm ³)	$U_{\text{átlag}}$ (%)	ρ_{12} (g/cm ³)	Nr.	ρ_U (g/cm ³)	$U_{\text{átlag}}$ (%)	ρ_{12} (g/cm ³)
1.	0,491588	11,15	0,493678	31.	0,459222	9,75	0,464388
2.	0,487231	8,7	0,495271	32.	0,471975	11	0,474335
3.	0,491718	9,6	0,497619	33.	0,480065	9,3	0,486546
4.	0,457001	10,55	0,460315	34.	0,530359	11,3	0,532215
5.	0,491794	11,65	0,492655	35.	0,499191	10,05	0,504058
6.	0,453537	10,45	0,457052	36.	0,486666	9,55	0,492628
7.	0,452342	10,7	0,455282	37.	0,496581	9,5	0,502789
8.	0,528309	8,8	0,536762	38.	0,464340	10,3	0,468287
9.	0,506280	8,5	0,515140	39.	0,462891	11,2	0,464743
10.	0,534608	10,25	0,539286	40.	0,454193	9,8	0,459189
11.	0,496535	9,7	0,502245	41.	0,460544	10	0,465149
12.	0,502279	8,1	0,512073	42.	0,457137	10,55	0,460451
13.	0,524571	10,95	0,527325	43.	0,520541	8,25	0,530301
14.	0,464124	9,95	0,468881	44.	0,507326	8,45	0,516331
15.	0,471443	9,55	0,477218	45.	0,496519	9,05	0,503843
16.	0,466028	10,1	0,470455	46.	0,496148	11,25	0,498008
17.	0,489125	11,35	0,490714	47.	0,512554	8,6	0,521268
18.	0,463416	11,05	0,465617	48.	0,447483	9,6	0,452853
19.	0,501001	10,9	0,503757	49.	0,497130	10,75	0,500237
20.	0,460005	10,3	0,463915	50.	0,458015	9,7	0,463282
21.	0,475160	9,45	0,481218	51.	0,460031	10,85	0,462676
22.	0,446326	9,1	0,452798	52.	0,473033	8,45	0,481429
23.	0,509357	8,2	0,519035	53.	0,468400	9,7	0,473787
24.	0,443893	10,85	0,446445	54.	0,485236	9,55	0,491180
25.	0,525770	9,55	0,532211	55.	0,552978	8,4	0,562932
26.	0,476200	9,05	0,483224	56.	0,481737	9,15	0,488602
27.	0,457168	10,9	0,459683	57.	0,466098	9,2	0,472624
28.	0,527751	11,5	0,529070	58.	0,494121	9,85	0,499432
29.	0,452737	9,4	0,458623	59.	0,498834	9,5	0,505069
30.	0,488817	9,4	0,495171	60.	0,513908	10,65	0,517376

3. táblázat Sűrűségi értékek laborklímán és átszámaztatva $U=12\%$ -os nedvességtartalomra

A nedvességtartalmi értékek felvétele után kiderült, hogy az egyes fakockák nedvességtartalmi állapotai meglehetősen nagy szórást mutatnak ($\delta = 0,937409$). Ebben a magas szórásban végeztük el a Nylodinnal mindhárom anatómiai irányban a sűrűségbecslési vizsgálatot. Az adatok felvételekor külön kezeltük a radiális-tangenciális és az axiális irányban végzett mérések eredményeit azért, hogy megvizsgálhassuk, mely anatómiai irányban érdemes vizsgálni.

Nr.	b _{radiál} (mm)	b _{tangenciál} (mm)	b _{átlag} (mm)
1.	14,50	14,50	14,50
2.	13,50	14,50	14,17
3.	15,50	14,50	15,00
4.	13,50	14,50	14,17
5.	14,00	16,00	14,83
6.	14,50	15,50	15,00
7.	15,00	15,00	14,67
8.	13,50	15,00	14,33
9.	14,50	14,00	14,33
10.	14,50	14,50	14,50
11.	14,50	14,00	14,50
12.	14,50	14,00	14,33
13.	14,50	14,50	14,50
14.	14,50	15,00	14,67
15.	14,50	14,50	14,50
16.	14,00	14,50	14,33
17.	14,50	15,50	15,00
18.	14,50	15,00	14,67
19.	14,50	14,50	14,33
20.	15,00	14,50	14,67
21.	15,00	15,50	15,17
22.	15,00	14,50	14,67
23.	14,50	15,00	14,83
24.	15,50	14,50	14,67
25.	14,50	14,50	14,67
26.	14,50	15,00	14,67
27.	14,50	14,50	14,50
28.	14,50	15,00	14,67
29.	14,50	15,00	14,83
30.	14,00	14,50	14,33

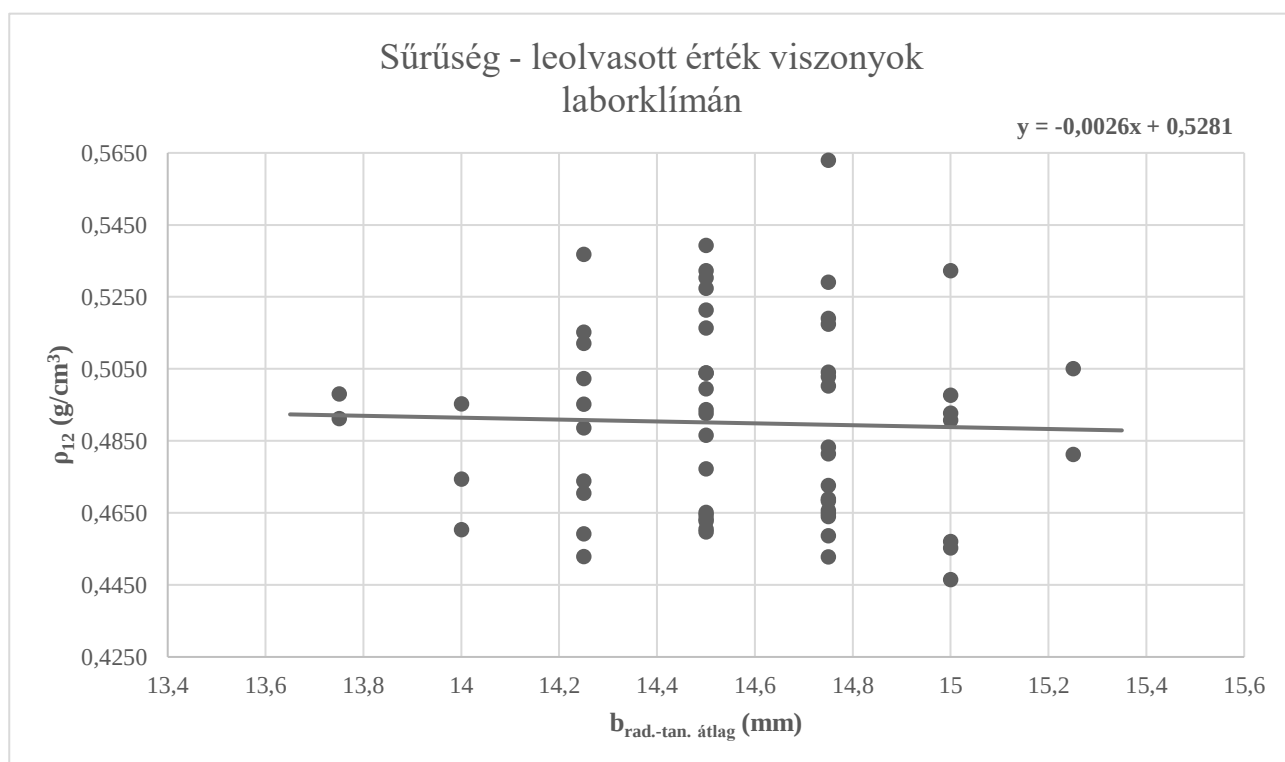
Nr.	b _{radiál} (mm)	b _{tangenciál} (mm)	b _{átlag} (mm)
31.	14,50	14,50	14,00
32.	14,50	13,50	14,33
33.	14,50	14,50	14,67
34.	15,00	15,00	14,83
35.	14,50	15,00	14,67
36.	14,50	14,50	14,50
37.	15,00	14,50	14,83
38.	15,00	14,50	14,67
39.	14,50	15,00	14,67
40.	14,50	14,00	14,33
41.	14,50	14,50	14,50
42.	14,50	14,50	14,67
43.	14,50	14,50	14,50
44.	14,50	14,50	14,50
45.	15,00	14,00	14,50
46.	14,00	13,50	14,00
47.	14,50	14,50	14,33
48.	14,50	14,00	14,50
49.	14,50	15,00	14,67
50.	14,50	14,50	14,67
51.	14,50	14,50	14,50
52.	15,00	14,50	14,67
53.	14,50	14,00	14,17
54.	14,00	13,50	13,67
55.	14,50	15,00	14,67
56.	14,50	14,00	14,33
57.	15,00	14,50	14,67
58.	14,50	14,50	14,50
59.	15,00	15,50	15,17
60.	14,50	15,00	14,67

4. táblázat A Nylodinról leolvasott értékek radiális és tangenciális irányban laborklímán

A méréseket elvégezve elkészítettük a mintákat jellemző sűrűség-leolvasott érték grafikont az adott sugár- és húrirányra. A pontok eloszlásából láthatjuk, hogy a nedvességtartalmi értékek nagy szórása a sűrűség-leolvasott érték kapcsolatában is milyen nagy eloszlást eredményez.

A grafikonon feltüntettük a minták pontjaira húzható egyenest, valamint annak egyenletét is. Ezen egyenlettel írható fel egy adott nyárfa kocka laborklímán becsülhető nedvességtartalma a vizsgált pallón belül a két anatómiai irányban:

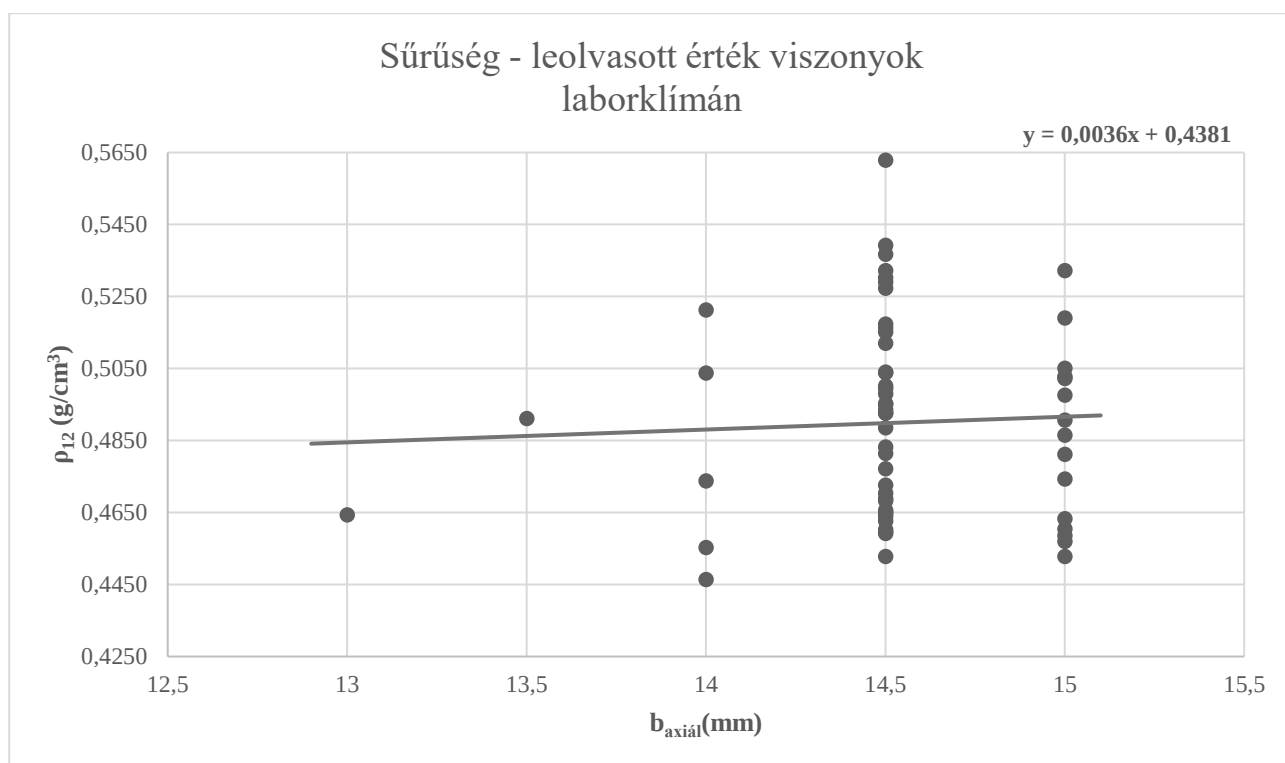
$$y = -0,0026x + 0,5281$$



1. diagram Sűrűség-leolvasott érték grafikon klimatizálás előtt (radiális és tangenciális irány)

Megállapíthatjuk, hogy a minták sűrűségi értékei között elég csekély a különbség, így ahhoz, hogy a fent megkapott képletet pontosíthassuk, szükséges lenne további, más termőhelyről származó mintákat is bevizsgálni.

Ezt követően axiális irányban is elkészítettük a grafikont és megalkottuk a pontokra illeszthető regressziós egyenes egyenletét:



2. diagram Sűrűség-leolvasott érték grafikonon klimatizálás előtt (axiális irány)

A kapott adatokból megállapíthatjuk, hogy a bütőről való mérés nagyon pontatlan, így nem érdemes ezen irányban vizsgálódni.

A fenti tények figyelembevétele után a mintákat klímakamrába tettük, majd normálklímán (20°C, 60% páratartalom) egy hónapig klimatizáltuk.



8. ábra Minták a klímakamrában

A klímakamrából kivéve véletlenszerűen kiválasztottunk 10 db mintát, amelyeken elvégeztük a nedvességmérést. Mivel a nedvességtartalmi értékek nem mutattak jelentős eltérést (10,3 – 10,8%), ezért az egész mintahalmazt azonos nedvességtartalmi állapotú mintaként kezeltük tovább. Ebből azt a tényt is megállapíthatjuk, hogy az általunk vizsgált fafaj esetében a 20 °C-os, 60% páratartalmú légállapothoz a fent említett 10,5 ($\pm 0,3$) %-os egyensúlyi fanedvesség tartozik.

Ezt követően ismét elvégeztük a méretvételeket és a tömegméréseket, meghatároztuk a térfogatokat majd a sűrűségeket, valamint a Nylodin segítségével szintén elvégeztük a sűrűségbecsléseket a fent alkalmazott irányok elkülönítésével, illetve ezen a szárazabb, klimatizált nedvességtartalmi értéken is megalkottuk a leolvasott érték-sűrűség diagramokat.

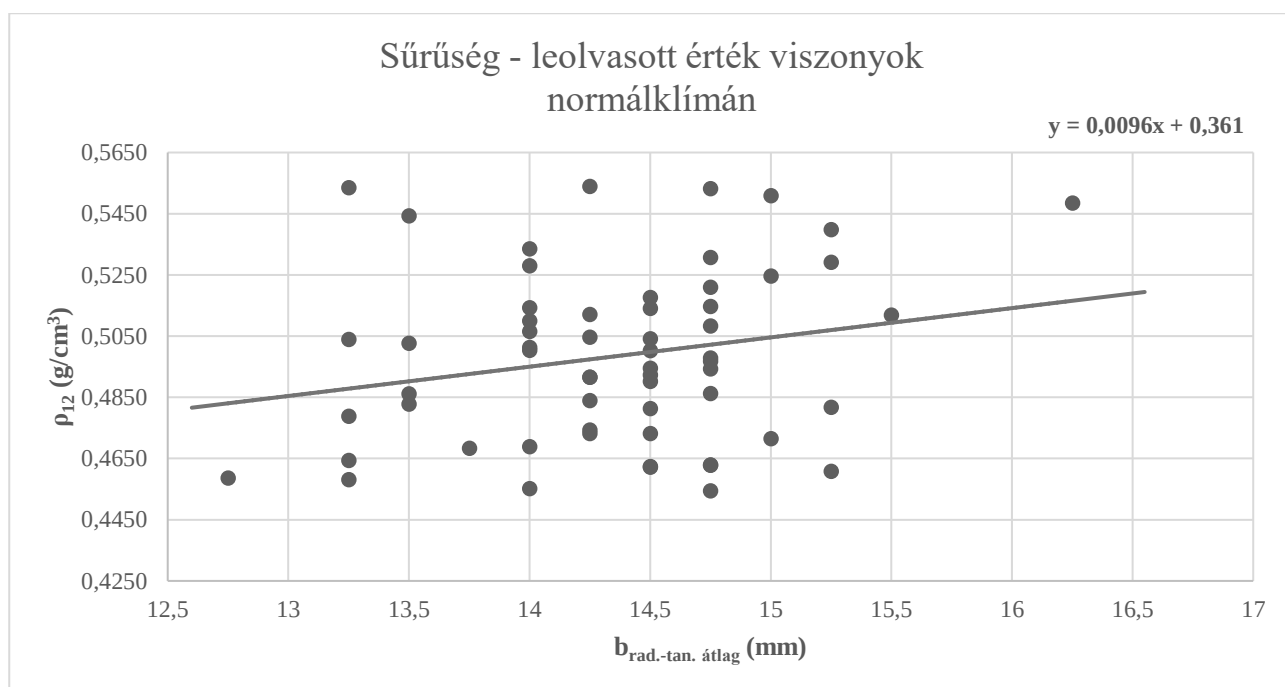
Nr.	a (mm)	b (mm)	c (mm)	V (cm ³)	m (g)	ρ (g/cm ³)
1.	49,73	50,03	49,88	124,1010	62,40	0,5028
2.	50,42	49,98	50,20	126,5036	61,82	0,4887
3.	51,28	50,02	50,65	129,9185	62,13	0,4782
4.	50,33	49,97	50,15	126,1268	57,35	0,4547
5.	50,02	50,57	50,30	127,2218	61,11	0,4803
6.	50,23	50,12	50,18	126,3169	58,23	0,4610
7.	51,06	49,36	50,21	126,5453	57,61	0,4553
8.	50,79	49,98	50,39	127,9015	66,61	0,5208
9.	50,62	50,00	50,31	127,3346	64,70	0,5081
10.	50,19	19,87	35,03	34,9346	68,47	1,9600
11.	50,35	49,96	50,16	126,1642	62,65	0,4966
12.	50,57	49,53	50,05	125,3618	63,99	0,5104
13.	49,54	49,78	49,66	122,4666	66,67	0,5444
14.	50,11	49,44	49,78	123,3145	59,50	0,4825
15.	51,37	50,63	51,00	132,6440	59,83	0,4511
16.	50,12	49,53	49,83	123,6878	59,28	0,4793
17.	50,19	49,76	49,98	124,8103	61,99	0,4967
18.	50,12	50,17	50,15	126,0906	58,62	0,4649
19.	50,53	49,49	50,01	125,0615	63,10	0,5046
20.	50,40	49,82	50,11	125,8226	57,56	0,4575
21.	49,72	50,00	49,86	123,9520	60,31	0,4866
22.	49,73	49,63	49,68	122,6152	57,59	0,4697
23.	49,65	49,66	49,66	122,4303	64,84	0,5296
24.	49,98	50,57	50,28	127,0695	57,41	0,4518
25.	50,30	48,99	49,65	122,3351	67,27	0,5499
26.	49,46	49,44	49,45	120,9202	60,33	0,4989
27.	49,82	50,40	50,11	125,8226	57,73	0,4588
28.	49,44	50,18	49,81	123,5736	66,21	0,5358
29.	50,14	49,44	49,79	123,4255	57,45	0,4655
30.	49,96	49,49	49,73	122,9461	62,49	0,5083

Nr.	a (mm)	b (mm)	c (mm)	V (cm ³)	m (g)	ρ (g/cm ³)
31.	49,72	50,02	49,87	124,0264	58,95	0,4753
32.	49,98	50,00	49,99	124,9250	60,30	0,4827
33.	50,06	49,96	50,01	125,0749	61,68	0,4931
34.	50,63	50,01	50,32	127,4106	66,77	0,5241
35.	49,75	50,17	49,96	124,6980	62,05	0,4976
36.	50,02	49,72	49,87	124,0264	62,13	0,5009
37.	49,96	49,77	49,87	123,9898	61,27	0,4942
38.	49,87	49,98	49,93	124,4382	59,46	0,4778
39.	49,63	49,33	49,48	121,1393	59,11	0,4880
40.	50,02	49,76	49,89	124,1760	58,12	0,4680
41.	50,24	49,98	50,11	125,8260	57,82	0,4595
42.	49,98	49,98	49,98	124,8501	57,30	0,4590
43.	50,01	49,99	50,00	125,0000	65,85	0,5268
44.	49,36	49,97	49,67	122,4997	64,34	0,5252
45.	49,54	49,72	49,63	122,2451	62,46	0,5109
46.	49,68	49,67	49,68	122,5783	63,39	0,5171
47.	49,23	49,23	49,23	119,3135	64,46	0,5403
48.	49,31	50,02	49,67	122,4980	57,68	0,4709
49.	50,03	49,31	49,67	122,5349	62,53	0,5103
50.	49,49	50,63	50,06	125,4343	58,91	0,4696
51.	50,41	49,54	49,98	124,8031	57,33	0,4594
52.	49,98	49,49	49,74	123,0200	60,38	0,4908
53.	49,87	49,87	49,87	124,0275	60,85	0,4906
54.	49,76	49,62	49,69	122,6891	67,37	0,5491
55.	49,23	49,78	49,51	121,3204	66,66	0,5495
56.	49,73	49,56	49,65	122,3560	61,23	0,5004
57.	49,82	49,76	49,79	123,4316	60,23	0,4880
58.	49,99	49,49	49,74	123,0570	61,56	0,5003
59.	50,17	49,98	50,08	125,5629	64,51	0,5138
60.	50,00	50,12	50,06	125,4504	63,50	0,5062

5. táblázat Tömeg-, térfogat- és sűrűségadatok a klimatizálás után

Nr.	b _{radiál} (mm)	b _{tangenciál} (mm)	b _{átlag} (mm)	Nr.	b _{radiál} (mm)	b _{tangenciál} (mm)	b _{átlag} (mm)
1.	13,00	15,00	14,17	31.	13,00	13,50	13,67
2.	14,50	14,50	14,50	32.	14,50	15,00	14,67
3.	15,50	15,00	15,00	33.	15,50	14,00	14,83
4.	12,50	14,00	13,67	34.	13,50	14,50	14,17
5.	14,50	14,00	14,33	35.	14,00	14,00	14,17
6.	14,50	12,00	13,67	36.	14,50	14,00	14,50
7.	12,00	13,50	13,33	37.	14,50	15,00	14,67
8.	15,00	15,00	14,83	38.	14,50	14,50	14,50
9.	15,00	16,00	15,50	39.	14,00	14,50	14,33
10.	14,00	16,00	14,83	40.	14,50	15,50	15,00
11.	14,00	15,00	14,67	41.	14,50	15,00	14,67
12.	15,00	13,00	14,17	42.	14,50	14,50	14,33
13.	16,00	16,50	15,67	43.	15,00	14,50	14,67
14.	13,00	14,00	13,67	44.	15,00	15,50	15,17
15.	14,50	15,00	14,33	45.	15,00	14,50	14,67
16.	13,00	14,00	13,83	46.	15,00	14,50	14,83
17.	14,00	14,00	14,00	47.	14,00	13,00	13,83
18.	14,00	13,50	14,17	48.	14,50	14,00	14,33
19.	15,00	14,50	14,67	49.	15,00	14,00	14,67
20.	15,00	15,50	15,00	50.	14,00	15,00	14,50
21.	14,00	15,00	14,50	51.	14,50	15,00	14,83
22.	14,00	14,50	14,17	52.	14,00	15,00	14,50
23.	14,00	14,00	13,83	53.	14,00	15,50	14,67
24.	14,00	14,00	14,33	54.	14,00	15,50	14,50
25.	14,50	14,00	14,17	55.	14,00	12,50	13,33
26.	13,00	14,00	13,83	56.	14,50	14,50	14,50
27.	14,50	14,50	14,50	57.	14,00	14,50	14,33
28.	15,00	15,50	15,33	58.	14,50	12,00	13,67
29.	14,00	14,00	14,33	59.	14,00	15,00	14,50
30.	14,50	14,00	14,33	60.	14,00	14,00	14,33

5. táblázat Nyulodinnal mért besüllyedési értékek klimatizálás után radiális és tangenciális irányban

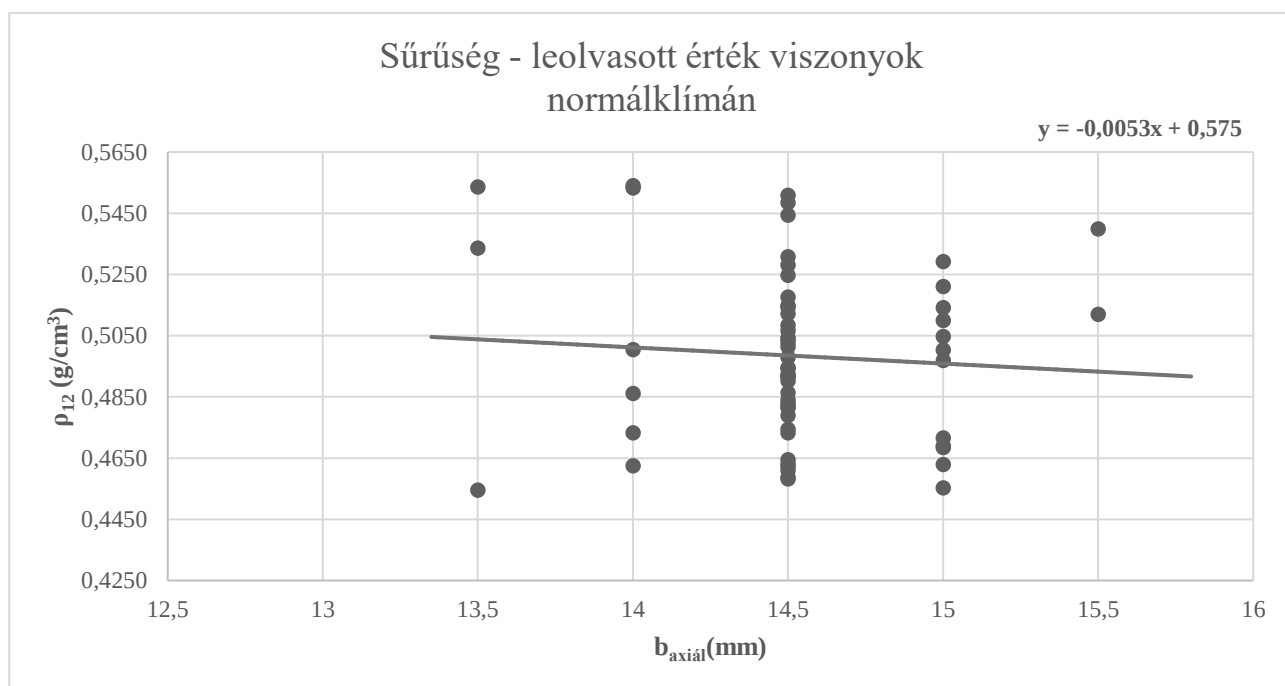


3. diagram Sűrűség-leolvasott érték diagram klimatizálás után (radiális és tangenciális irány)

A grafikon elkészítése után szintén felírhatjuk a klimatizált mintahalmaz regressziós egyenesének egyenletét:

$$y = 0,0096x + 0,361$$

Majd axiális irányban is elvégeztem a grafikon elkészítését:



4. diagram Sűrűség-leolvasott érték diagram klimatizálás után (axiális irány)

Ebből a következő egyenletet kaptuk:

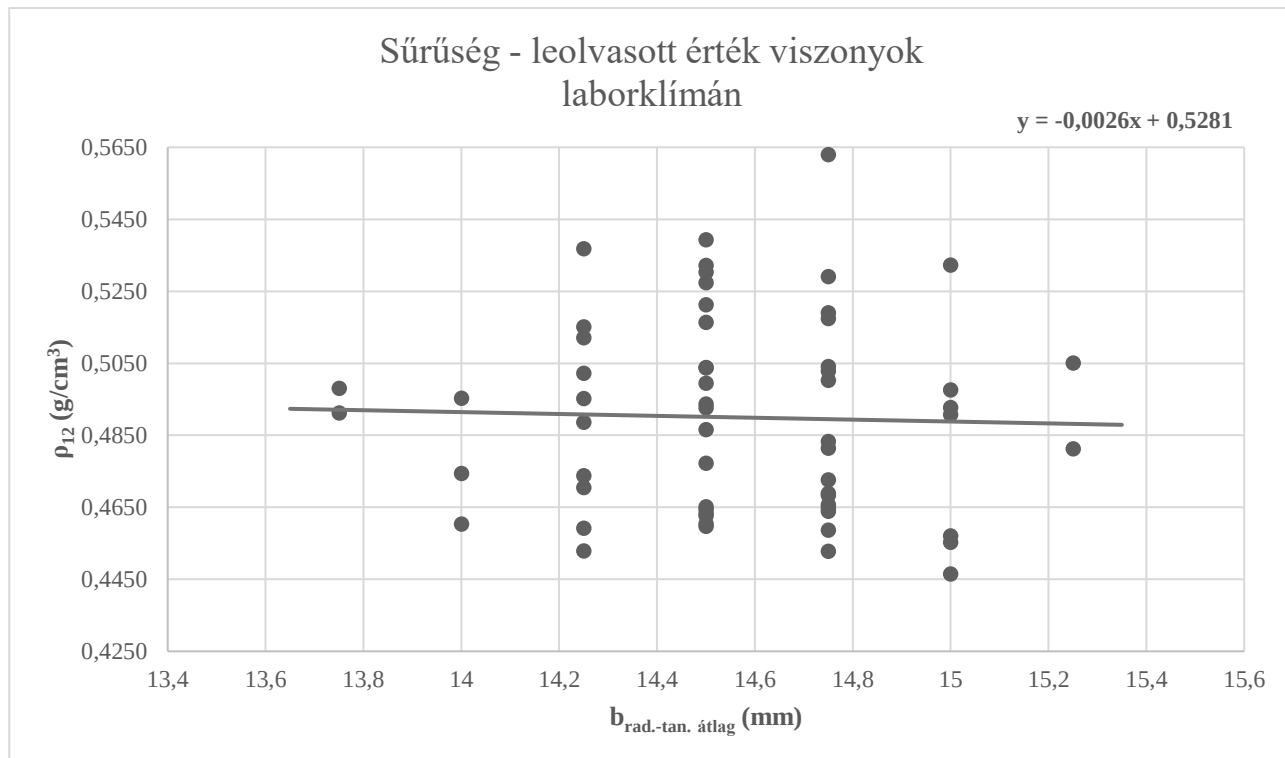
$$y = - 0,0053x + 0,575$$

Mint láthatjuk, a normálklímán végzett mérések és számítások is azt igazolják, hogy a bütüirányban végzett mintavizsgálatok nagy mértékben rontják a mérés eredményeinket.

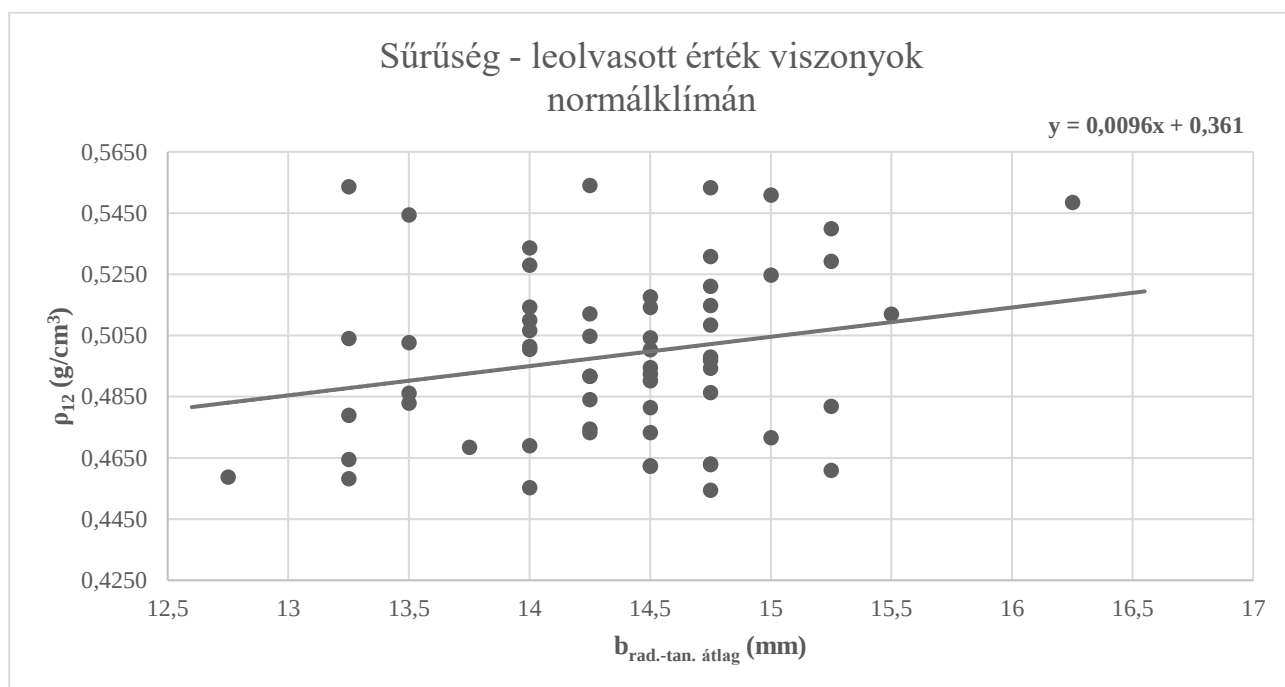
Így tehát elmondhatjuk, hogy a 60 db minta bár (közel) azonos nedvességtartalommal bír, eloszlásuk mégis nagyobb, mint nedvesebb állapotban mérve. Itt szintén meg kell említenünk, hogy a képlet pontosítása érdekében további, más termőhelyről származó és nagyobb szórású mintákat lenne szükséges megvizsgálnunk.

EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

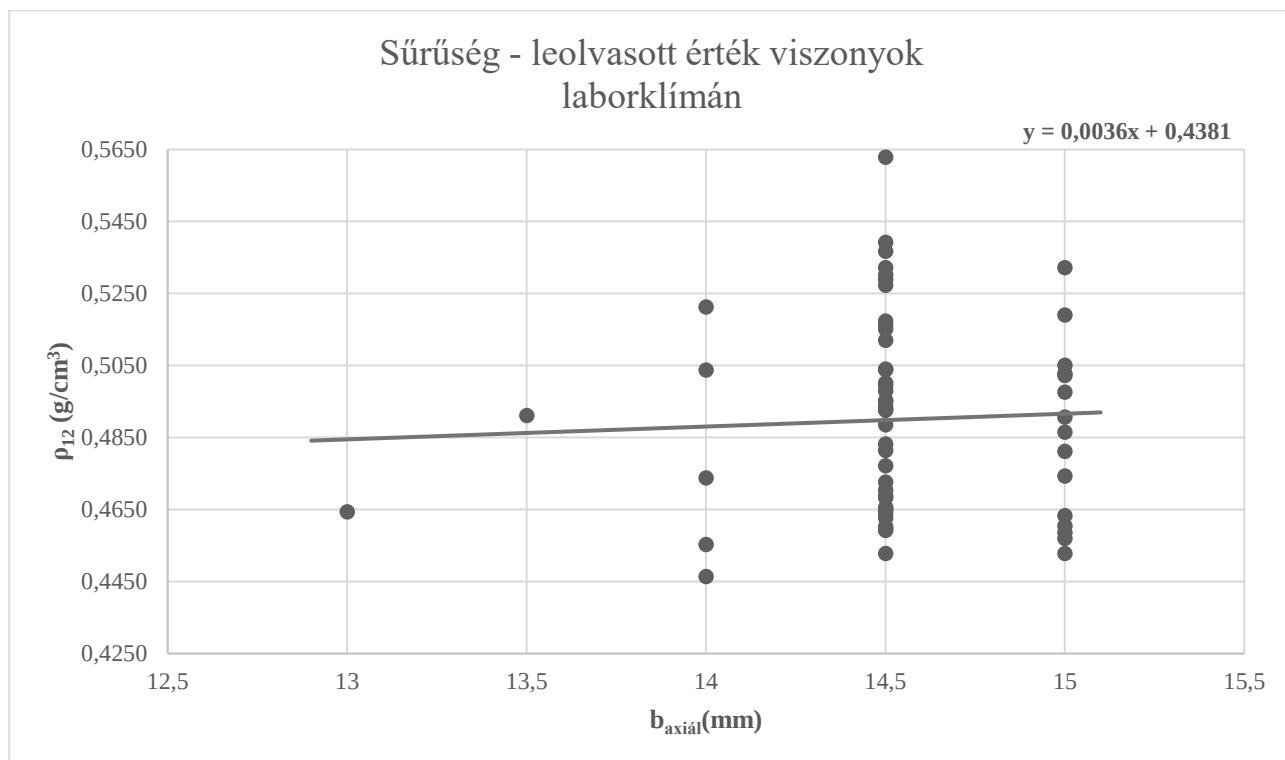
Miután megalkottuk a labor- és a normálklimához tartozó radiális-tangenciális, valamint axiális irányú sűrűség-leolvasott érték diagramokat, össze kell vetnünk őket egymással, hogy megállapíthassuk, melyik nedvességtartalmi értékhez áll közelebb a becslésünk.



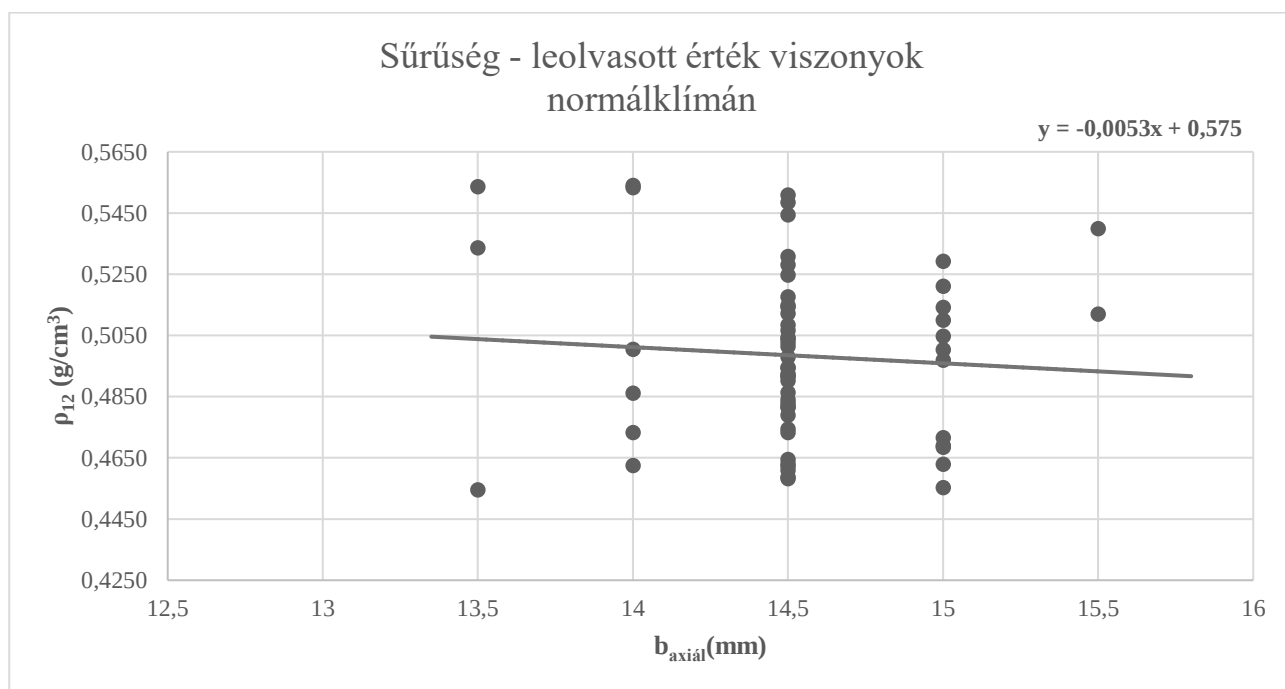
5. diagram Sűrűség-leolvasott érték grafikon klimatizálás előtt (radiális és tangenciális irány)



6. diagram Sűrűség-leolvasott érték diagram klimatizálás után (radiális és tangenciális irány)



7. diagram Sűrűség-leolvasott érték grafikon klimatizálás előtt (axiális irány)



8. diagram Sűrűség-leolvasott érték diagram klimatizálás után (raxiális irány)

Ha összevetjük a két-két sűrűség-benyomódási diagram pontjaira illesztett regressziós egyenesek egyenletét, elmondhatjuk, hogy a korreláció a nedvesebb faanyagok esetében kisebb, tehát a szárazabb faanyagon becsült sűrűség jobban jellemzi a faanyagot, mint a nedves állapotban becsült érték.

laborklíma		normálklíma
$y = -0,0026x + 0,5281$	<	$y = 0,0036 + 0,4381$
<i>rad. – tan.</i>		<i>rad. – tan.</i>

laborklíma		normálklíma
$y = 0,0096 + 0,361$	>	$y = -0,0053x + 0,575$
<i>ax.</i>		<i>ax.</i>

Emellett az axiális irányban végzett vizsgálatok rámutatnak arra, hogy a bütőirányú eredmények elrontják a teljes mérés eredményeit (ld.: *axiális irányban laborklíma > normálklíma*). Megemlítendő, hogy ahhoz, hogy nagyobb pontosságú összefüggést alkothassunk, nagyobb szórású mintahalmazra lenne szükségünk. Hogy a mérési eredményeink tisztábbak legyenek, az értékelés során a továbbiakban csak a radiális és tangenciális irányú eredményeket vesszük számításba.

A tény, miszerint a vizsgálati értékek a száraz faanyagok esetén pontosabbak, bebizonyítsuk, valamint, hogy megtudjuk, hogy adott pallón belül is mekkora az eltérés, vizsgáljuk meg a két nedvességtartalmi állapotban az egyes halmazokon belül is a sűrűségi szórást.¹

laborklíma		normálklíma
$\delta_p = 0,02666$	<	$\delta_p = 0,02782$

Ennek eredményeként azt kapjuk, hogy a szórás mértéke egy halmazon belül ugyancsak a szárazabb faanyagok esetében kisebb, tehát a száraz faanyagok esetében kapunk pontosabb eredményt. Sőt, amennyiben a benyomódási értékek szórását vesszük az adott két nedvességtartalmi állapotban, szintén ugyanerre a megállapításra jutunk.

laborklíma		normálklíma
$\delta_b = 0,32154$	<	$\delta_b = 0,64096$

Tehát a kalibráció során a Nylodint a normálklímán radiális-tangenciális irányban meghatározott $y = 0,0036 + 0,4381$ képlettel tudjuk pontosabban kalibrálni, így pontosabb becslést végezni.

¹ A szórás kiszámításánál az előzőekben már átszarmasztatott U=12%-os nedvességtartalmi értéken mérhető sűrűségek halmazát vettük.

ÖSSZEGZÉS

A kutatás eredményeként tehát feltett kérdéseinkre azt a választ adhatjuk, hogy igen, adott fafajon belül a nedves és száraz nedveségtartalmi állapotban is változik a sűrűség diagram, illetve a mért eredmények az alacsonyabb fanedvességhez állnak közelebb; a mérési eredmények pontossága a szárazabb nedvességtartalmi állapotban pontosabb.

Elmondható, hogy nagy szórású mintahalmaz vizsgálata esetén pontosabb kalibrációs egyenletet kapunk, ám figyelmet kell fordítanunk arra a tényre, hogy a mérések radiális és tangenciális irányokban adnak pontosabb összefüggést, az axiális irányú becslési eredmények pedig rontják az összeredményeket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen kutatás nem jött volna létre kiváló konzulensem, *Dr. Hantos Zoltán* egyetemi docens úr lelkiismeretes, odaadó és szakmai segítségével nélkül. Hálás vagyok neki, hogy témavezetőm volt a kutatás során.

Köszönöm Prof. Dr. Bejő László egyetemi tanár úrnak a sok tanulmányt és jegyzetet a szakirodalmi kutatási részhez. Köszönöm továbbá a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Karának vizsgálómérnökeinek, hogy rendelkezésemre álltak a laborvizsgálatok során.

IRODALOMJEGYZÉK

Gálos B. és Führer E. (2018). A klíma erdészeti célú előrevetítése. Soproni Egyetem, Sopron, 2018. Erdészettudományi Közlések. DOI:10.17164/EK.2018.003

Molnár S., Farkas P. (2016). Nyár (nyár fajok) – *Populus* spp. In: Földünk ipari fái, Eds. Molnár, S., Farkas, P., Börcsök, Z., Zoltán, Gy., Photog. Richter, H.G. & Szeles, P., ERFARET Nonprofit Kft. Sopron, ISBN 978-963-12-5239-2, pp. 58-60.

Dr. Dívós F., Dr. Németh L., Major B. (2015). Új technológiák bemutatásaa faszerkezetek felülvizsgálata esetén. Magyar Mérnöki Kamara, 2015.

Blahó K. (2018). Nyulodin kalibrálása különböző fafajokra és az eszköz gyakorlati alkalmazása. Szakdolgozat. Sopron, Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, 2018.

ÁBRAJEGYZÉK

2. ábra Az erdészeti klímakategóriák országos területaránya (bal oldali ábrarész) és részesedése a jelenlegi teljes erdőterületből (jobb oldali ábrarész) 1981-2010-ben, valamint annak feltételezése a 2021-2050-es és a 2041-2070-es időszakban.
(Gálos B. és Führer E., 2018.)

2. ábra A Pylodin szétszerelt állapotban
(https://www.researchgate.net/figure/Pilodyn-6J-Standard-with-its-main-components_fig11_257896291)

3. ábra A tagló – átalakítás előtt
(<https://www.faie.de/direkt-vermarktung/fleischverarbeitung-raeuchern/hausschlachtung/schlachtartikel/6112741/betaeubungsgeraet-dick-fuer-kleintiere>)

4. ábra A Nylodin milliméterskálája
(Blahó Kristóf saját felvétele, Nyulodin kalibrálása különböző fafajokra és az eszköz gyakorlati alkalmazása, 2018.)

5. ábra Nylodin a mintában
(Saját felvétel)

6. ábra Tömegmérés
(Saját felvétel)

7. ábra A beütőtűskés nedvességmérés
(Saját felvétel)

8. ábra Minták a klímakamrában
(Saját felvétel)