

Mikrohullámú radar alkalmazása faanyagok sűrűség és nedvességtartalmának mérésére

OTDK Dolgozat

Konzulens: Prof. Dr. Divós Ferenc

Készítette: Sárközi Gergely
Zeitler Levente

Sopron, 2012

A dolgozat elkészítése a TALENTUM – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP – 4.2.2. B – 10/1 – 2010 – 0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Bevezetés	3
Az asztalos ipar jelentősége napjainkban.....	4
A faanyagok sűrűsége, nedvességtartalma és mérési módszerek.....	5
A mérés elve	6
A mérés során használt eszközök	6
Mikrohullámú radar.....	7
Próbatestek.....	7
A mérés menete	9
Mérési eredmények.....	10
1.táblázat: A $T=40^{\circ}\text{C}$ és $U \sim 0\%$ -on mért adatok.....	11
Radar jelerősségének mérése	18
A mérés.....	18
Az adatok értékelése.....	19
Radar jelerősségének pontosítása	22
A további mérések	26
Következtetések.....	27

Bevezetés

A dolgozatunk a faanyagok sűrűség és nedvességtartalom meghatározásáról szól mikrohullám segítségével, illetve ezen mérést befolyásoló tényezőkről.

Kezdeti méréseink során azt vizsgáltuk, hogy a mikrohullámok alkalmasak-e a faanyagok sűrűségi és nedvességi értékeinek a meghatározására. A mérésekhez saját próbatesteket készítettünk különböző fafajokból törekedve a sűrűségi skála teljes átfogására. A vizsgálatot az egyetem által biztosított mikrohullámú radarral hajtottuk végre. A mérésorozatot az Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar, Bódig József roncsolás mentes faanyag vizsgálati laboratóriumában végeztük el.

A későbbi mérésekben pedig már a mikrohullámú antenna érzékenységi terét és a befolyásoló tényezőket határoztuk meg. A célunk hogy, faipari üzemben kellő pontossággal és gyorsasággal működő érintésmentes sűrűség és nedvesség mérő berendezést hozzunk létre. Az összeállított rendszer tesztelésére a TÁEG Soproni Fűrész üzemben fog sor kerülni.

Az asztalos ipar jelentősége napjainkban

Napjainkban a legsokoldalúbb anyag a fa. Élő állapotában a természetünk egyik lételeme, feldolgozott formában pedig az építészetben van fontos szerepe.

Régen szerszámokat használati tárgyakat készítettek belőle melyek, napjainkra is megmaradtak. Az elmúlt évszázad előtt még a közlekedésben is nagy szerepe volt mind a vízen, mind a szárazföldön. Az építőiparban ősidők óta használják mivel könnyű és kiváló szilárdsági, hő és hangszigetelő tulajdonsággal rendelkezik. Esztétikai szempontból is fontos szerepe van ugyanis tapintása természetes, mintázata és színe változatos. Hosszú ideig, mint tüzelőanyag volt fontos az emberiség számára, ami napjainkra is fontos maradt. A fa az egyetlen olyan energiaforrás, ami újrateremthető. Az építőiparban és az asztalosiparban fafajtól illetve mérettől függően más és más felhasználásra ajánlott. 100 m^3 élő faanyagból $16-17 \text{ m}^3$ faipari fűrészárut lehet kitermelni akár deszka, gerenda vagy palló, bútoreléc formájában. A megmunkálás során ebből $6-8 \text{ m}^3$ késztermék keletkezik például bútorként, ajtóként vagy ablakként. A hátramaradó rész a feldolgozás során a fahibák és a méretre vágások miatt hulladék lesz. Ezek a lehulló részek sem vesznek kárba ugyanis cellulózgyártásban, farostlemezgyártásban, illetve tűzifaként fel tudják használni. A fát sokáig csak természetes formájában használták fel. Csak kézi vagy gép módszerekkel dolgozták fel, vágták faragták ritkán ragasztották, de a szerkezetét nem tudták megváltoztatni. Az elmúlt 50-70 évben már képesek lettünk a faanyag szerkezetének bizonyos fokú megváltoztatására. Így kezdődött tömegesen és viszonylag olcsón előállítható fatáblák, vékony lemezek előállítása, amelyek a kedvező tulajdonságokat ugyanúgy megtartják. Sok alkalmazásában más anyagokkal próbálták helyettesíteni, azonban kizsírítani nem sikerült. Egyes helyeken azonban tudták más anyagokkal helyettesíteni például a vasúti talpfák ma már nem fából készülnek, hanem betonból, gépjárművek alvázlemeze sem fából készül, illetve nem gyártanak már nagy teherbírásra tervezett fa hajókat sem. A klasszikus asztalos termékekben egyre inkább megtalálhatók az újfajta falemezek. Természetesen hátrányai is vannak. Ezek a farontó rovarok, gombák, amik a fa élettartamát károsan befolyásolják. A tapasztalatok azt mutatják, hogy megfelelő körülmények között a megfelelő fafaj megfelelő felületi kezelés mellett igen hosszú élettartamú is lehet.

Az új technológiák célja az, hogy a nagy pontosságú megmunkálás illetve a környezetbarát vegyi anyagokkal történő kezelések hatására a fatermék szilárdabb tartósabb legyen úgy, hogy a kedvező tulajdonságai nem változnak.

A faanyagok sűrűsége, nedvességtartalma és mérési módszerek

A faanyagok sűrűségéből nagymértékben következtethetünk a fizikai tulajdonságukra. A fa higroszkópos anyag így a sűrűséget befolyásolja a faanyag nedvességtartalma ezért szükséges tudnunk, hogy az adott érték az élőnedves vagy légszáraz avagy abszolút száraz faanyagra vonatkozik.

Sűrűségnek nevezzük az egységnyi térfogatban lévő anyagmennyiség.
Sűrűség=tömeg/térfogat [g/cm³; kg/m³]. A sűrűség jele a görög ró. $\rho = m/V$. A sűrűségnek több típusa is van

- Abszolút száraz: $\rho_0 = m_0/V_0$
- Nedves faanyag: $\rho_n = m_n/V_n$
- bázis sűrűség: $\rho_b = m_0/V_{\max}$
- légszáraz sűrűség: $\rho_{12} = \rho_u - \Delta\rho$ (u-12)

1%-os nedvességtartalomra eső sűrűség változás $\Delta\rho = (\rho_n - \rho_0)/u$

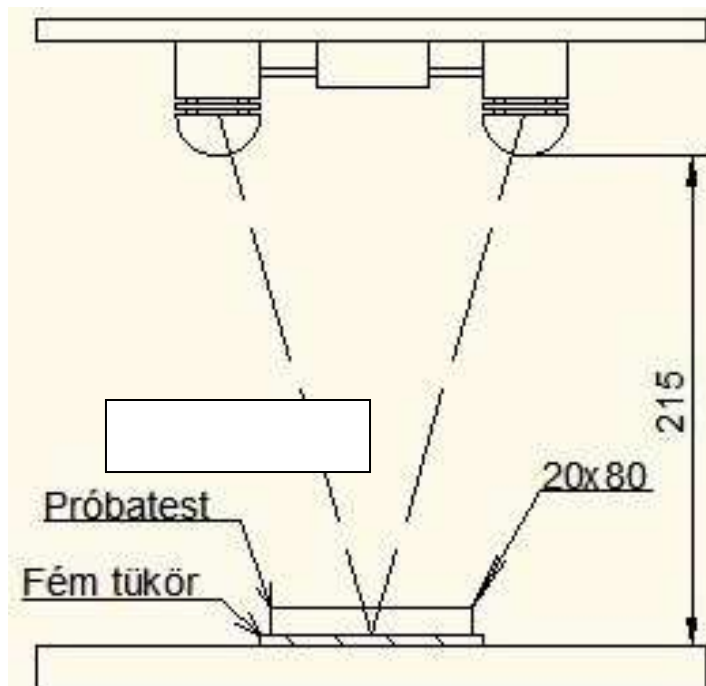
$$U = (m_n - m_0)/m_n * 100$$

A sűrűségmérés történhet közvetett és közvetlen módon is. Közvetlen módon a következő mérési eljárásokat alkalmazzuk. Például folyadékba merítéssel eljárás, sugárzásos sűrűség megállapítás, illetve fűrész ellenállásmérő. A faanyag sűrűsége sokban függ a fafajtától és a faanyag nedvességtartalmától. A nedvességtartalom növekedésével tehát nő a fa sűrűsége is. A faanyag nedvességtartalmának igen nagy jelentősége van. Nehezíti a szállítást mivel a víz tömege növeli a szállítmány össztömegét, nehezíti az eladást mivel szárítani kell, akadályozza a feldolgozást. Nehezebben munkálható nedvesen illetve későbbiekben a bútortárolás a száradás bekövetkezése miatt. Esztétikai hatása is van ugyanis módosítja az anyag színét. Szárítani, vagy gőzölni szokták általában a faanyagokat. A faanyag nedvességtartalmának nettó értéke a következő képen számítható ki: $u = (m_n - m_0)/m_n * 100$. A nedvességtartalom meghatározására több módszert is ismerünk ilyenek, a szárítási módszer, ellenállásos nedvességmérés, di-elektromos elven működő nedvességmérés, légnedvességen alapuló mérés.

Mikrohullámmal történő mérés segítségével a sűrűség és a nedvességtartalom is meghatározható bár ez a módszer még kiforratlan így tovább kutatásokat igényel.

A mérés elve

A kibocsátott mikrohullámok adott amplitúdóval és frekvenciával terjednek a légkörben illetve egyéb anyagokban, ezt kihasználva végeztük a méréseinket az Önálló laboratórium I. során. A műszer adóegységének segítségével mikrohullámú impulzust bocsátottunk ki a meghatározott méretű (30 x 8 x 2 cm), de különböző fajtájú és nedvességtartalmú próbatestekre. Az alkalmazott elrendezést az 1. ábra mutatja



1. ábra: A mikrohullámú mérés elrendezése.

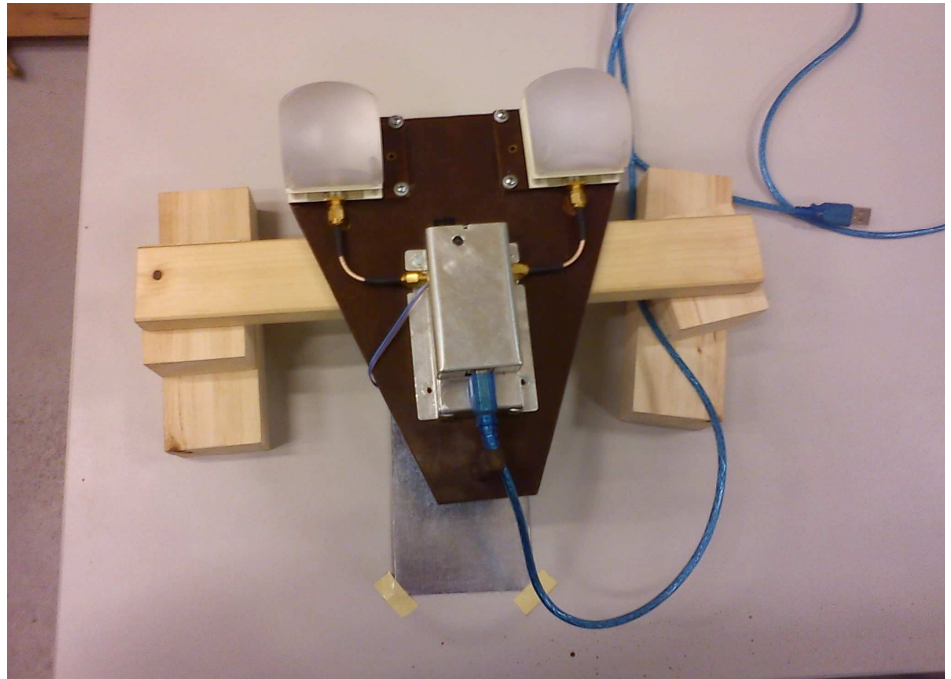
A szakirodalomban számos munka található a faanyag sűrűségének és nedvességtartalmának meghatározására mikrohullám segítségével, mint pl. James 1985 és Fatos 2004 munkái. A publikált munkák keskenysávú radart alkalmaznak, míg a vizsgálataink szélessávú radar alkalmazási lehetőségét vizsgálja. A próbatesteket egy fém lapon helyeztük el, ami tükörként szolgált és az antennák alatt középen helyeztük el 21,5 cm-el. Ez a tükör, mint egy reflektáló, visszaverő felületként működött. A hullámok terjedési tulajdonságai a faanyagba érkezve megváltoztak a levegőben történő terjedéshez képest, a közeg di-elektromos tulajdonságainak megváltozása miatt. Az így megváltozott hullámokat a tükör visszaverte és ezeket a visszavert hullámokat egy sinus antenna segítségével fogtuk fel. A radar USB-port segítségével közvetlenül egy számítógépre digitalizálta az adatokat, amelyeket a Radarscope és Matlab programok segítségével tudtunk értékelni. A mért adatokat egy táblázatban rögzítettük. A számításokat a Statistica matematikai programcsomaggal dolgoztuk fel.

A mérés során használt eszközök

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Mikrohullámú radar | 4. Digitális mérleg |
| 2. Tükör (fém lap) | 5. Klímakamra |
| 3. Próbatest | 6. Informatika |

Mikrohullámú radar

A mérés során alkalmazott radar egy Novelda típusú R620-as radar (ANDRERSEN 2010), melyet a roncsolás mentes faanyagvizsgáló laboratórium biztosított. A radar norvég gyártmányú. Ez a radar összeállítás jó egy későbbi nagyobb volumenű kísérletek megalapozásához. A



1. kép Novelda R620 radar alatta a fém tükörrel

radar sávszélessége 6.47 GHz-től 9.72 GHz-ig tart. A radar antennái adják, illetve fogják a hullámokat. A radart fa állványra állítottuk illetve ezen, stabilizáltuk, hogy a fém állvány esetleges mérésbe való beavatkozását elkerüljük. Az adó antenna kibocsátja, míg a reflektáló felületről, azaz a fém lapról visszaverődő hullámokat a vevő antenna fogja be. A tükör mindössze egy 305x85mm-es acél lap volt, ami tükörként visszaverte a hullámokat. Ezt a fém lapot pontosan a két antenna között kellett elhelyezni középen és stabilan rögzítettük a mérés pontossága érdekében. A próbatesteket ennek a fém lapnak a közepén helyeztük el.

Próbatestek

A mérések elején még ismeretlen volt a radar optimális tartománya a mérésekhez ezért előre meghatározott próbatesteket készítettünk. A próbatesteket otthon saját kézzel állítottuk elő. Próbáltunk törekedni, hogy minél több fafajon tudjunk méréseket végezni így végül 20 különböző fafajt sikerült összegyűjtenünk.

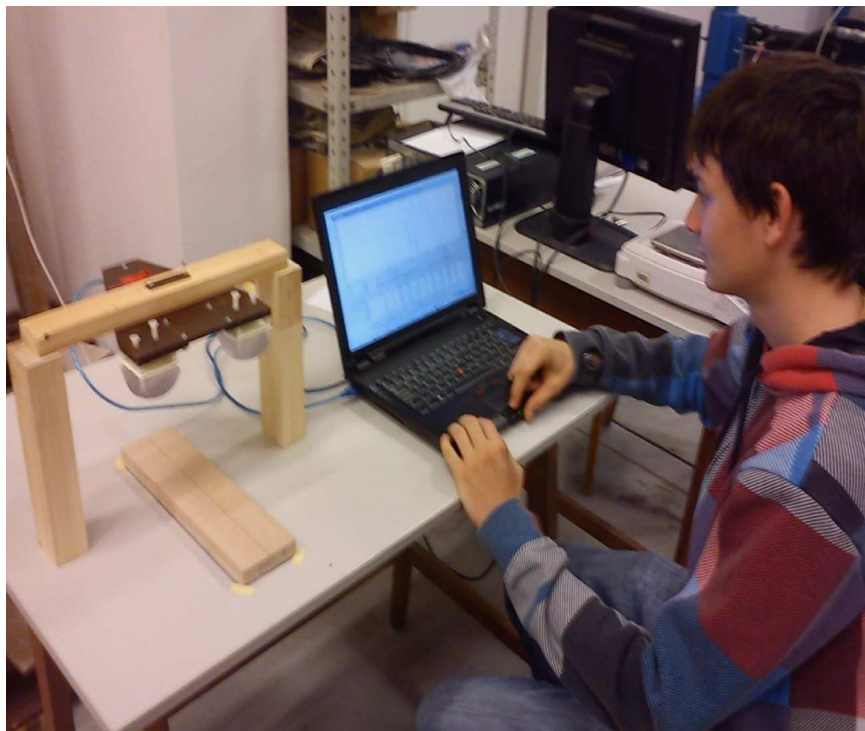


2. kép Próbatestek a klímakamrában

A célunk ezzel az volt, hogy egy minél részletesebb, átfogó értékhalmozatot kapjunk a teljes sűrűségi skálán. Voltak fafajok melynek sűrűsége nagyobb volt a víz sűrűségénél és voltak nagyon könnyű nagyon puha fafajok is. Fajtánként 2 db próbatestet készítettünk melynek pontos méretei 80x20x300mm ezzel is törekedve a mérés pontosságára. A próbatestek között voltak őshonos, (pl.: tölgy, bükk, erdei fenyő, nyár, stb.) betelepült, (pl.: akác, kőris, stb.) illetve egzóta Próbatestek a klímakamrába fajok (pl.: abachi, mahagony). Ezeket a mechanikai és tartószerkezeti intézet laboratóriumának klímakamrájában klímáztuk. Sajnos a próbatest sorozatban szerepelt két faj, ami számunkra ismeretlen volt és a mért értékeik nagyon szélsőségesek voltak ezért ezeket a grafikonokból és a táblázatokból kivettük az értékelés során.

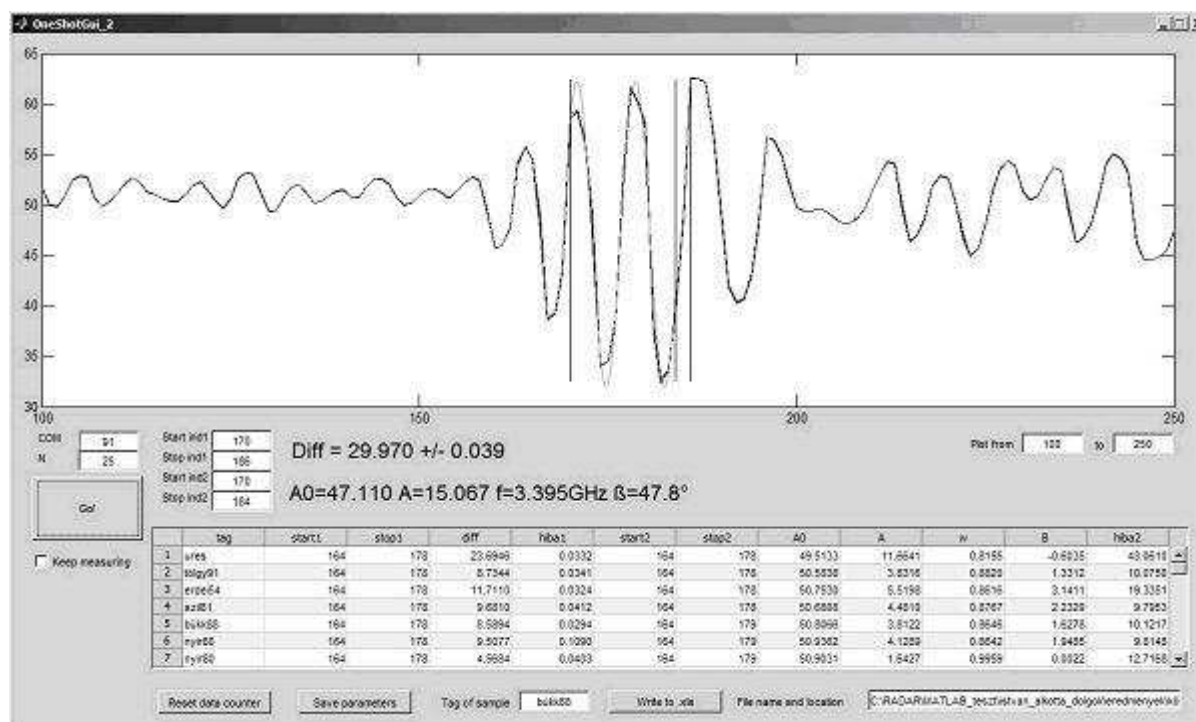
A mérés menete

A próbatesteket minden méréssorozatban különböző klímaállapotra állítottuk be, mely során 5 és 40 °C között változott a hőmérséklet és körülbelül ~0 – 25,5% között egyformán változott a faanyagok nedvességtartalma.



3. kép Mérés: Sárközi Gergely

A klímakamra segítségével, így minden méréskor más és más sűrűségi értékeket kaptunk.



4. kép Matlab program

A méréseknél ügyelni kellett a gyorsaságra, hogy lehetőleg mind próbatest azonos hőmérséklet és nedvességtartalom mellett legyen lemérve. A különböző állapotú próbatesteket először digitális mérleg segítségével lemértük, egy tized gramm pontosságra. Ezt követően ugyan ezt a próbatestet a radar alá helyeztük és elvégeztük rajta a mikrohullámú mérést. A Matlab programnál (4. kép) ügyelni kell arra, hogy a maximum és minimum értékekhez állítsuk be a megfigyelési tartományt és figyelni kell arra is, hogy a hullámra illesztett egyenlet görbéje jó illeszkedjen a visszavert hullám valós görbéjére. Az így kapott adatokat egy számítógépbe vittük be.

Mérési eredmények

A mérést először szoba hőmérsékleten nagyjából 18°C-on és 10%-os fanedvesség tartalom mellett végeztük el. A hőmérsékletet az intézetben lévő higanyos hőmérőről olvastuk le, míg a nedvességtartalmat szárítási módszerrel határoztunk meg, melyet később végeztünk el. A mérés során a faanyagokon áthaladó mikrohullámok fázisát illetve amplitúdóját jegyeztük fel illetve ezekből az adatokból készítettük el a diagramokat. Minden mérés során Excel táblázatokba konvertáltuk az adatainkat. A 40°C-os 0%-os állapotú mérésünk eredményeit az 1. táblázat mutatja, ρ a sűrűséget, m a tömeget, „sample” a minta számát, a start1 és stop1 az amplitúdó differencia-méréshez felhasznált ablak kezdő és vég értéke, a diff. a mért amplitúdó differenciát, hiba1 a differencia mérés hibáját, start2 és stop2 a szinusz fgv. illesztéséhez felhasznált ablakot, az A_0 konstans eltolást. A az illesztett amplitúdót, w a frekvenciával arányos paramétert, a β a fázis szöget, hiba2 a fázisszög mérés hibáját, a $-\beta$ a korrigált fázisszöget jelöli.

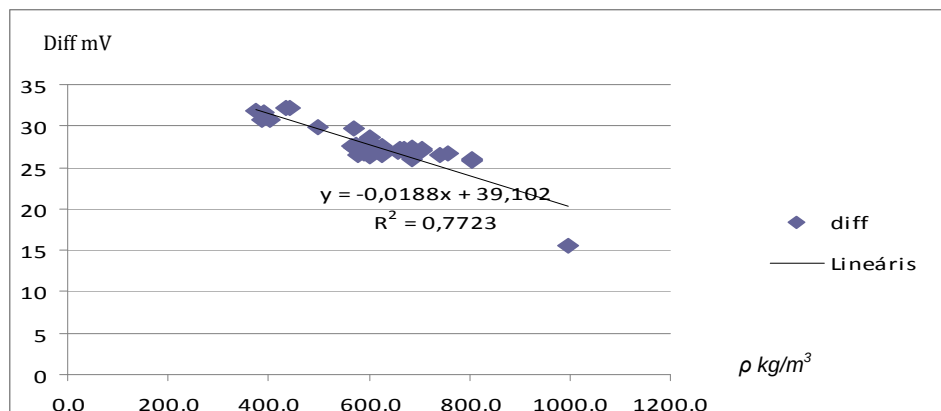
1. táblázat: A T=40°C és U~ 0%-on mért adatok

p	m	sample00	start1	stop1	diff	hiba1	start2	stop2	A0	A	W	B	Hiba2	(-B)
0	0	0	180	191	33,401	0,041	180	191	49,13	14,85	0,83	-1,46	244,27	-1,46
409,0	1963	11	180	191	31,024	0,037	180	191	49,77	15,09	0,91	3,10	219,17	-3,18
642,9	3086	2	180	191	31,628	0,033	180	191	48,29	15,31	0,90	2,72	176,73	-3,57
541,9	2601	5	180	191	31,024	0,039	180	191	48,75	15,11	0,89	2,87	185,98	-3,41
453,5	2177	14	180	191	30,424	0,036	180	191	49,84	14,71	0,90	3,02	199,35	-3,26
457,1	2194	25	180	191	31,586	0,037	180	191	49,41	15,45	0,89	3,02	202,81	-3,27
627,3	3011	13	180	191	29,040	0,026	180	191	49,02	13,84	0,89	2,65	114,07	-3,63
542,9	2606	24	180	191	30,103	0,033	180	191	48,82	14,50	0,89	2,84	183,11	-3,44
560,2	2689	32	180	191	30,885	0,038	180	191	48,85	15,15	0,89	2,92	183,60	-3,36
600,2	2881	37	180	191	31,078	0,039	180	191	48,69	15,27	0,89	2,90	181,63	-3,38
347,5	1668	29	180	191	33,777	0,037	180	191	49,71	14,52	0,92	-2,94	254,24	-2,94
550,4	2642	35	180	191	31,319	0,030	180	191	49,35	15,41	0,89	3,04	194,29	-3,24
625,8	3004	16	180	191	31,231	0,039	180	191	48,48	15,47	0,89	2,90	174,14	-3,38
596,7	2864	38	180	191	31,236	0,039	180	191	48,91	15,45	0,89	2,98	186,94	-3,31
611,9	2937	15	180	191	31,075	0,036	180	191	48,52	15,32	0,89	2,89	175,29	-3,39
794,4	3813	7	180	191	30,398	0,039	180	191	48,71	15,03	0,88	2,59	121,29	-3,69
676,9	3249	3	180	191	30,995	0,029	180	191	48,32	15,35	0,89	2,86	165,88	-3,42
690,2	3313	4	180	191	30,782	0,028	180	191	48,17	15,15	0,89	2,80	160,20	-3,49
646,5	3103	1	180	191	30,869	0,038	180	191	48,78	15,32	0,89	2,95	176,17	-3,33
527,3	2531	9	180	191	30,859	0,034	180	191	49,43	15,27	0,90	3,09	185,40	-3,19
537,1	2578	26	180	191	30,572	0,032	180	191	49,47	15,10	0,90	3,10	183,43	-3,18
405,0	1944	12	180	191	34,105	0,034	180	191	49,32	15,15	0,91	-2,90	227,71	-2,90
576,3	2766	22	180	191	30,682	0,034	180	191	49,14	15,13	0,89	3,01	180,03	-3,27
564,2	2708	21	180	191	30,844	0,027	180	191	49,29	15,23	0,89	3,05	179,36	-3,24
521,7	2504	10	180	191	31,100	0,032	180	191	49,28	15,47	0,90	3,11	187,45	-3,17
356,0	1709	36	180	191	34,517	0,031	180	191	49,08	14,69	0,89	-2,57	292,22	-2,57
535,8	2572	33	180	191	31,016	0,033	180	191	49,30	15,43	0,90	3,10	185,09	-3,18
612,3	2939	18	180	191	30,696	0,033	180	191	48,55	15,31	0,89	2,94	166,62	-3,35
361,0	1733	30	180	191	34,406	0,031	180	191	49,03	14,62	0,90	-2,61	291,91	-2,61
532,3	2555	34	180	191	30,662	0,034	180	191	49,36	15,34	0,91	-3,13	195,56	-3,13
889,6	4270	39	180	191	28,503	0,036	180	191	48,96	13,66	0,87	2,57	139,66	-3,71
653,5	3137	19	180	191	30,672	0,035	180	191	47,95	15,23	0,89	2,78	145,14	-3,50
652,7	3133	20	180	191	30,871	0,032	180	191	47,90	15,34	0,89	2,76	140,01	-3,52
570,6	2739	31	180	191	30,504	0,030	180	191	49,28	15,23	0,91	3,08	171,43	-3,20
570,8	2740	17	180	191	30,393	0,028	180	191	49,01	15,12	0,89	3,03	169,11	-3,26
352,9	1694	27	180	191	34,326	0,030	180	191	49,15	14,50	0,88	-2,47	290,04	-2,47
344,2	1652	28	180	191	34,193	0,038	180	191	49,33	14,41	0,87	-2,34	278,34	-2,34
523,5	2513	23	180	191	30,111	0,031	180	191	49,33	15,07	0,92	-3,12	180,91	-3,12
781,5	3751	8	180	191	30,369	0,034	180	191	48,04	15,06	0,89	2,75	124,70	-3,53
531,5	2551	6	180	191	31,767	0,034	180	191	49,25	15,29	0,92	-3,07	182,86	-3,07

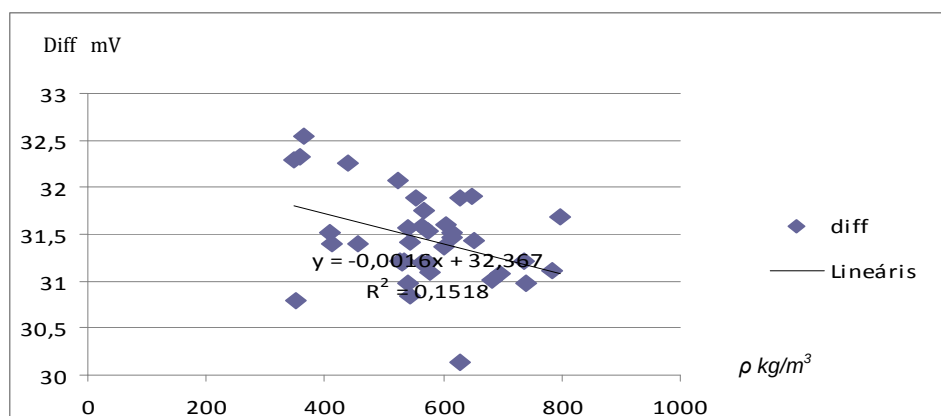
A táblázatban kiemelt paramétereiből készítettük el a kiértékelő diagramokat.

A 3-7 grafikonok esetén a vízszintes tengely a sűrűséget, míg a függőleges a differenciát. A differencia az illesztett görbe eltérését mutatja a mikrohullám valós görbéjéhez képest.

3. ábra Szoba hőmérsékleten és légszáras állapot esetén

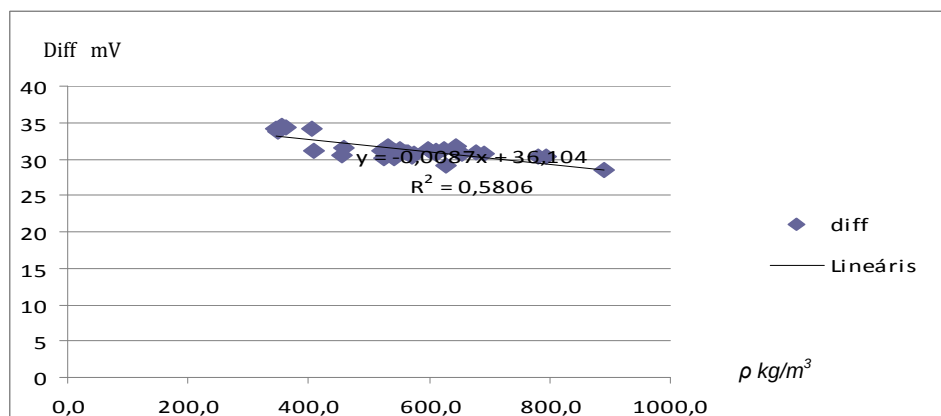


4. ábra 5 °C és 0%-os páratartalom esetén

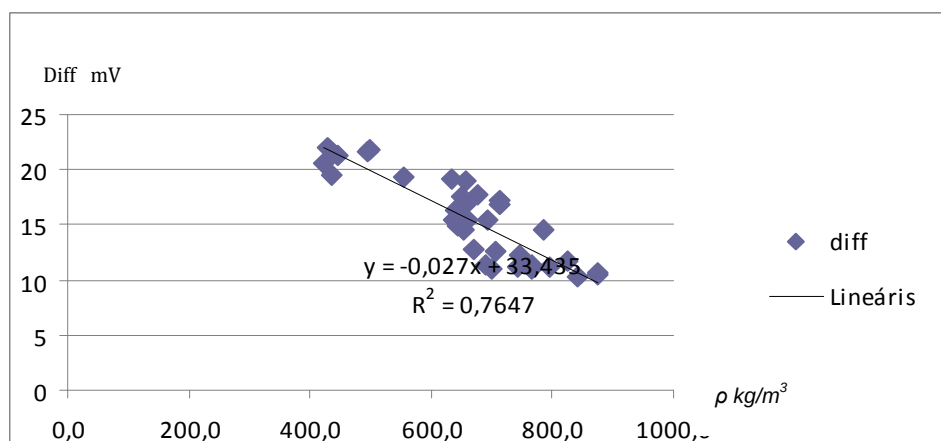


5. ábra 40 °C és 0%-os páratartalom esetén. A leg ideálisabb eredményeket ebben az esetben kaptuk,

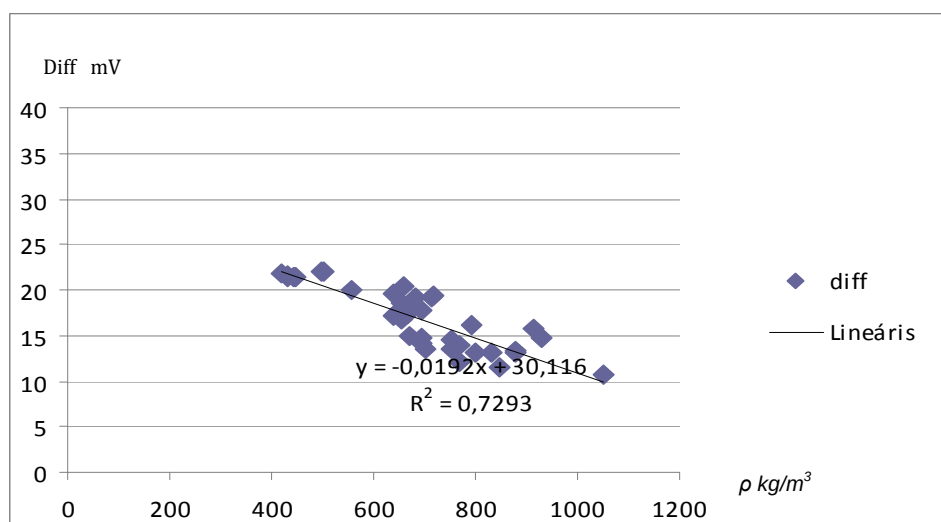
mivel, a differencia itt volt a legkisebb minden mérés esetén.



6. ábra 5 °C és 98%-os páratartalom esetén

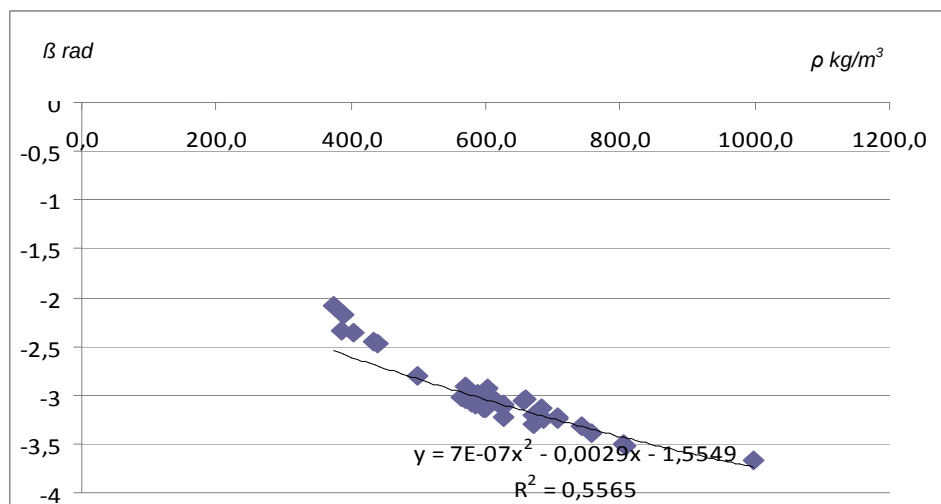


7. ábra 40 °C és 98%-os páratartalom esetén

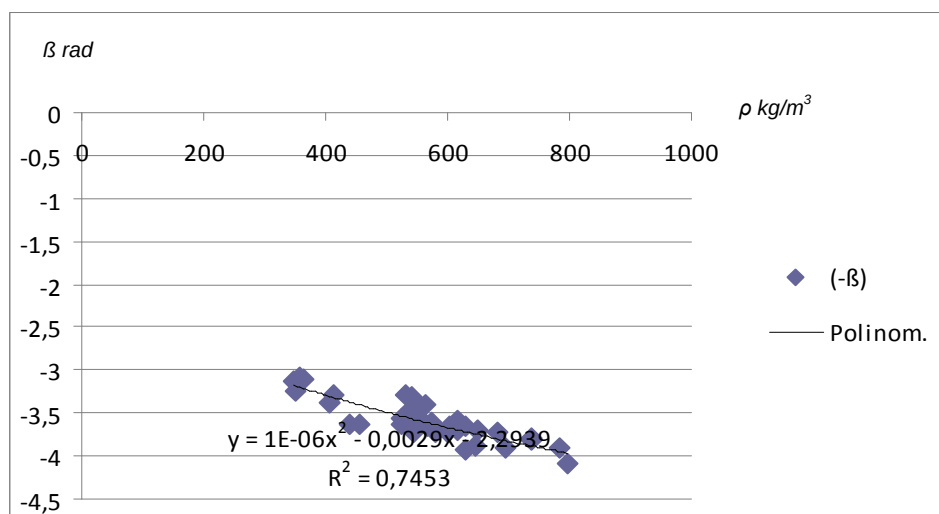


A 8-12 diagramokon a sűrűség és a fáziszögek függvényét ábrázoltuk.

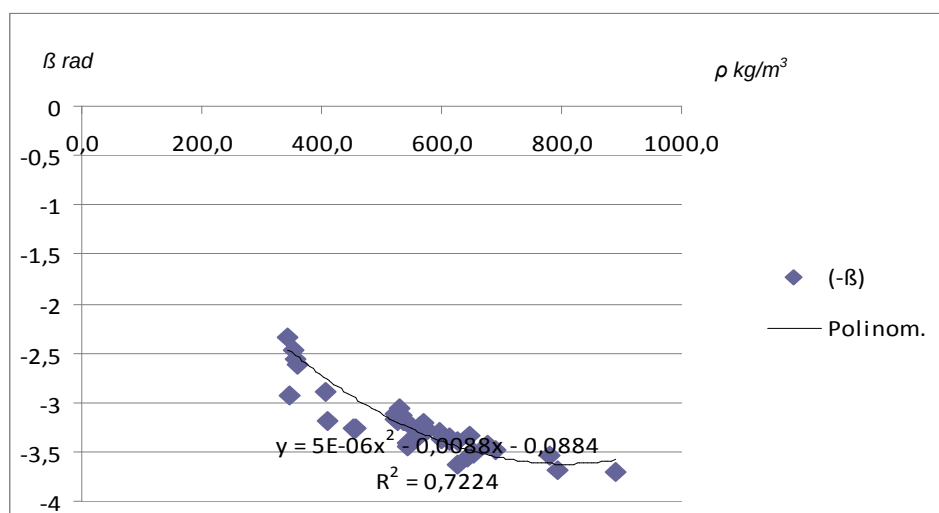
8. ábra Szoba hőmérsékleten és légszáraz állapot esetén



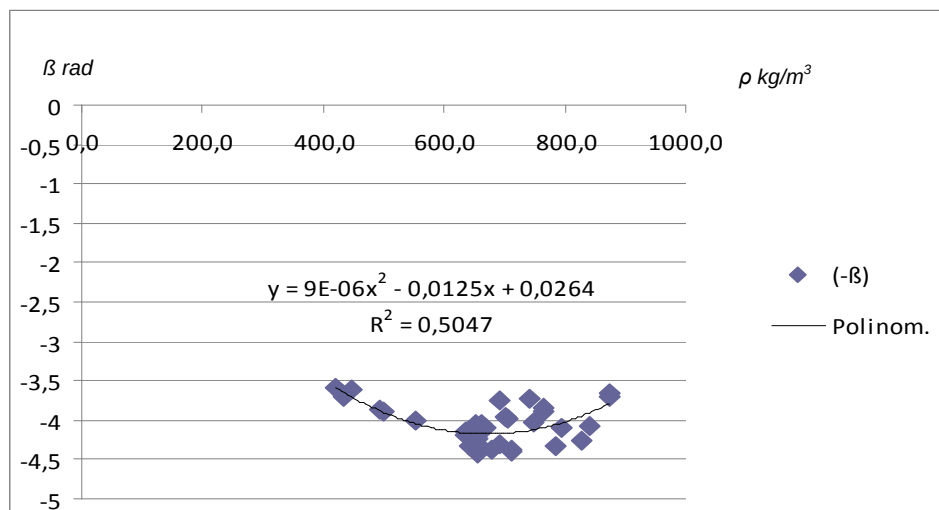
9. ábra 5 °C és 0%-os páratartalom esetén



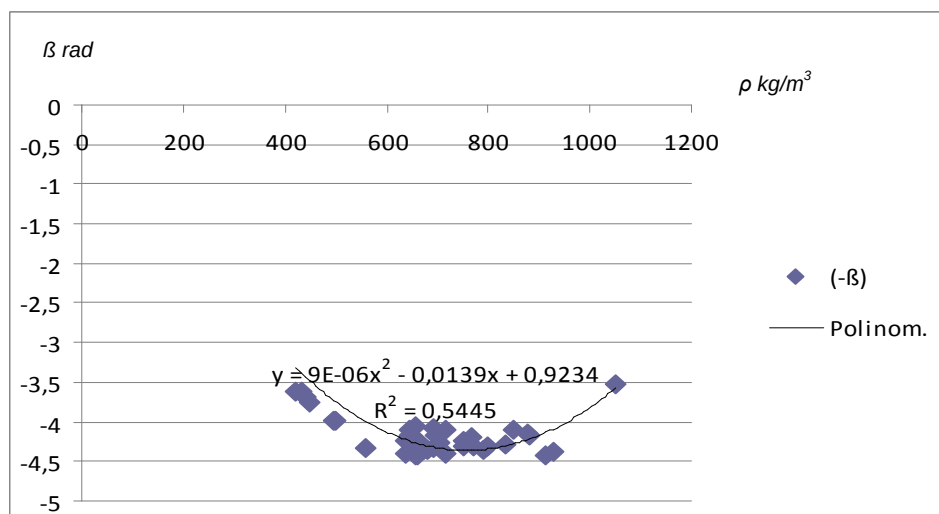
10. ábra 40 °C és 0%-os páratartalom esetén.



11. ábra 5 °C és 98%-os páratartalom esetén

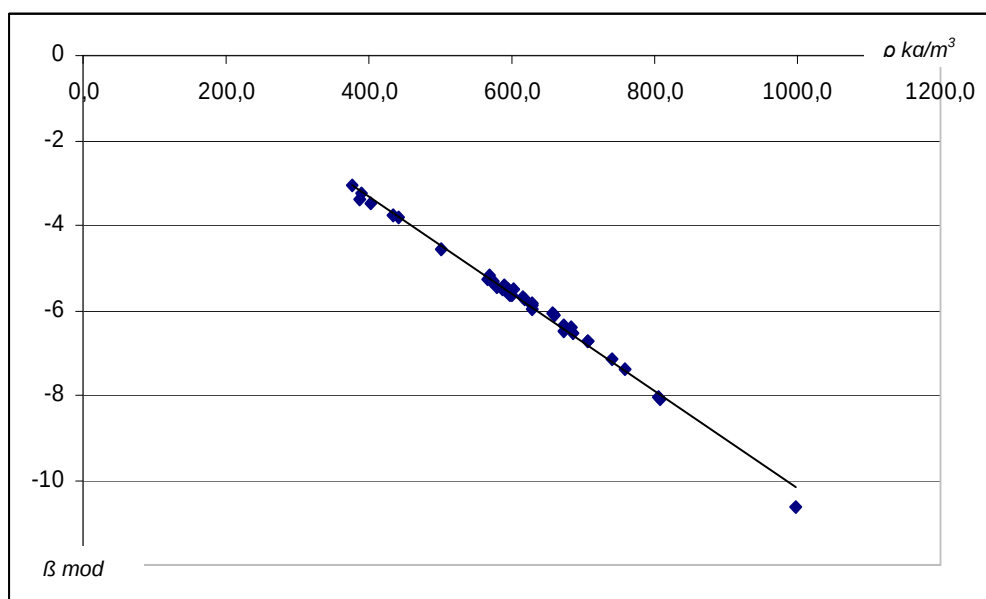


12. ábra 40 °C és 98%-os páratartalom esetén

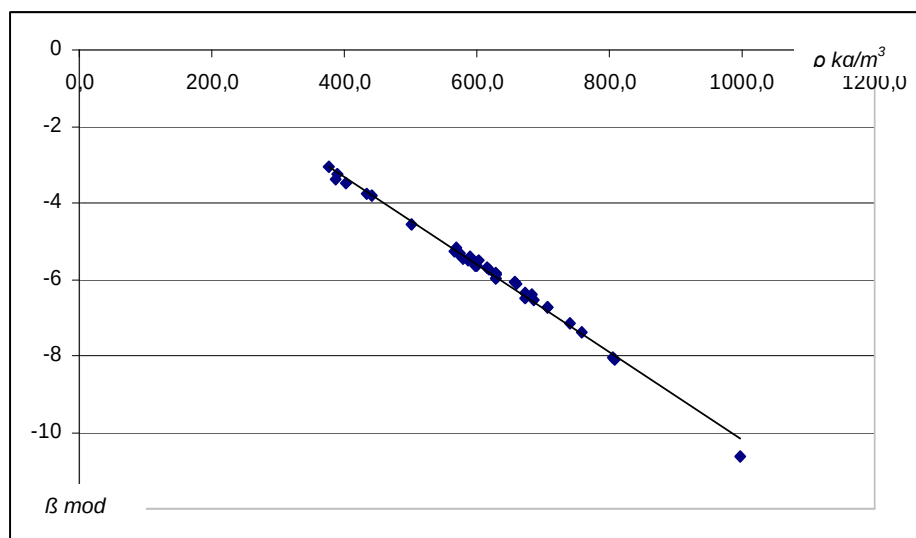


Mivel a fázis szög négyzetesen függ a sűrűségtől, ezért az illesztett függvények is másodfokú függvények lettek. A könnyebb értékelhetőség érdekében a β értékből képeztük a $\beta \text{ mod}$ értéket. Ezt az értéket pedig a sűrűség- fázisszög görbéjének egyenletéből linearizálással képeztük. Ezek az eredmények láthatók a 13 – 17 ábrákon.

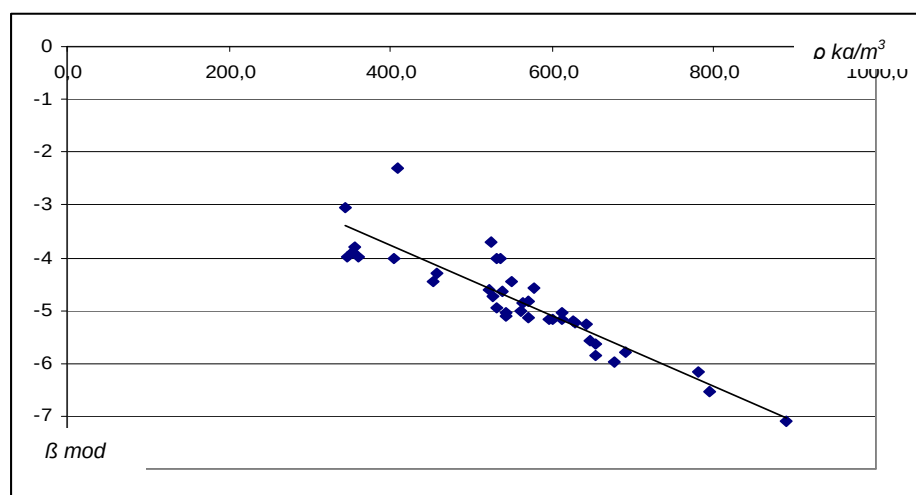
13. ábra Szoba hőmérsékleten és légszáraz állapot esetén



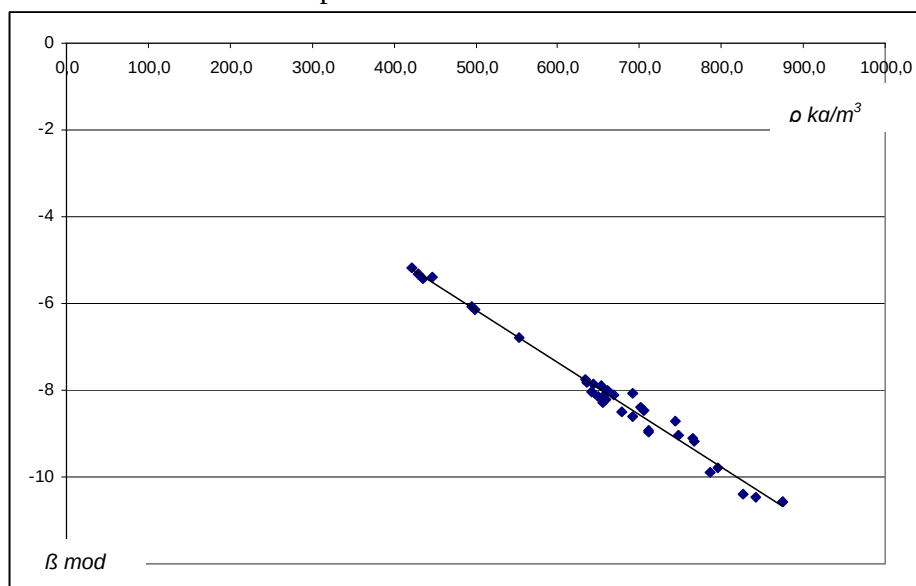
14. ábra 5 °C és 0%-os páratartalom esetén



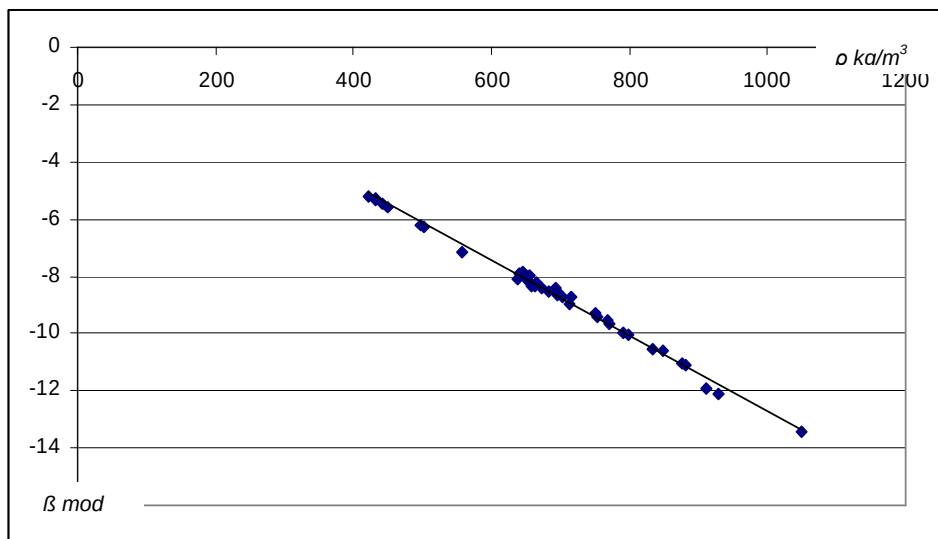
15. ábra 40 °C és 0%-os páratartalom esetén



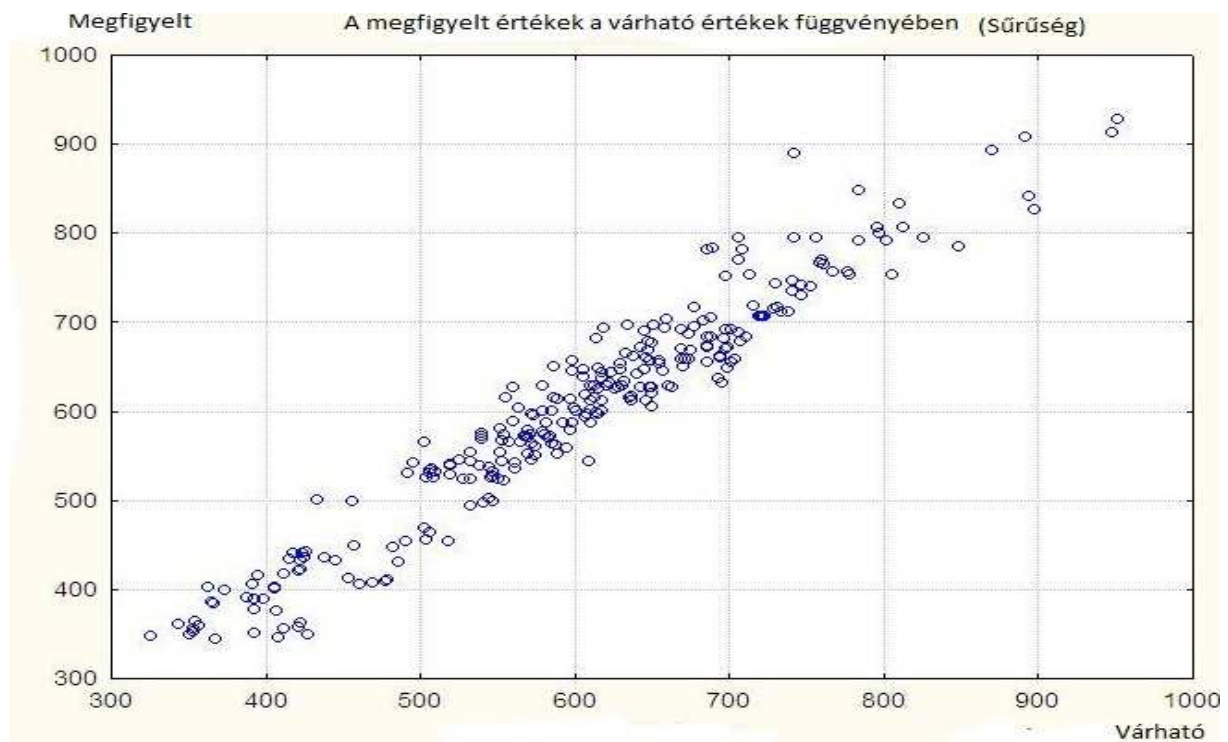
16. ábra 5 °C és 98%-os páratartalom esetén



17. ábra 40 °C és 98%-os páratartalom esetén



A mért adatokból a Statistica program segítségével megkaptuk az eltérő hőmérsékletű, nedvességtartalmú anyagokra meghatározott becsült sűrűség értékeket. Ezeket hasonlítottuk össze a faanyag tényleges sűrűségével. A 18. ábrán a grafikonon a függőleges tengelyen lévő értékek a szárítással számított értékeket mutatják, míg a vízszintes tengelyen lévő értékek a mikrohullámmal meghatározott értékeket mutatják. A grafikonon jól látszik, hogy a két tengely értékei között kicsik az eltérések így a rendszer alkalmas sűrűség és nedvesség tartalom mérésére. A pontosabb működés érdekében a rendszer finomítására van szükség.



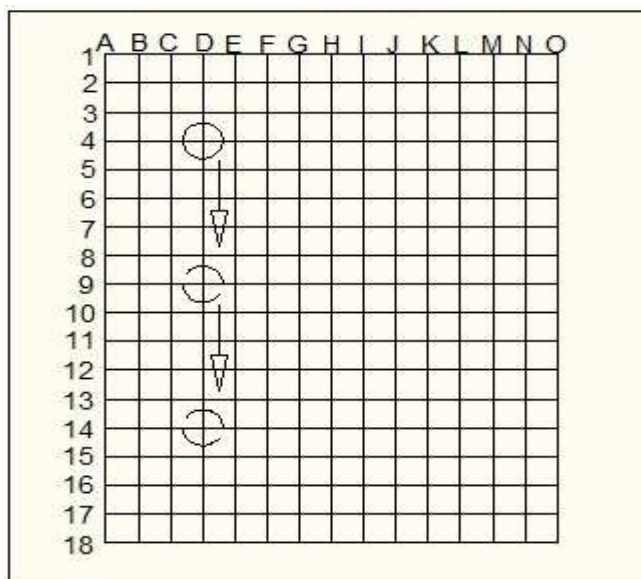
18. ábra: A mikrohullámmal becsült (Várható) és a mérlegeléssel meghatározott (Megfigyelt) sűrűség értékek összehasonlítása.

Radar jelerősségének mérése

A méréssorozat első felében bebizonyítottuk, hogy a mikrohullámú radar alkalmas a faanyagok sűrűségének pontos mérésére. A sorozat második felében arra törekedtünk, hogy megállapítsuk az antenna érzékenységi terét. Ezt egy rácsozott felületű kartonlappal és egy 50 forintossal állapítottuk meg. Mivel csak a pénz érméről verődtek vissza hullámok ezért, viszonylag nagy pontossággal tudtuk meghatározni, hogy az érme alatti területen milyen erősségű a hullám. A kapott adatokból kiszámítható, hogy mekkora az a maximális keresztmetszetű faanyag, amelyet a berendezéssel még vizsgálni lehet.

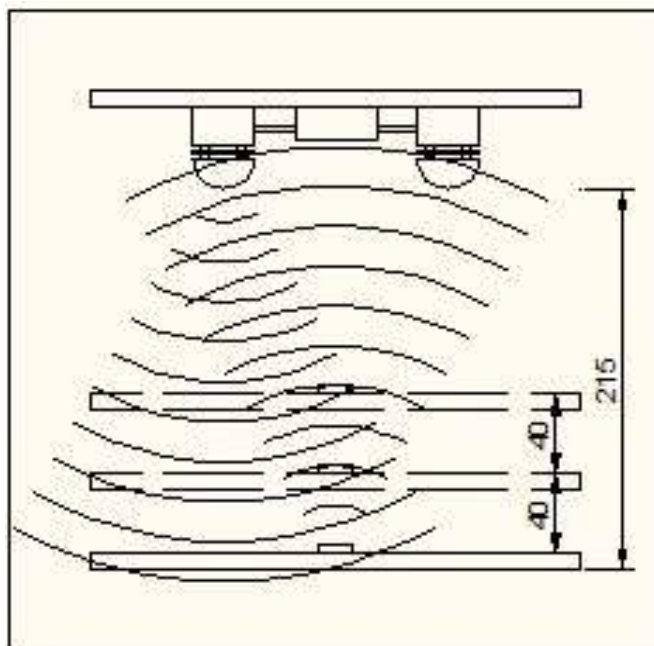
A mérés

A mérés során egy négyzetrácsos mátrixot készítettünk. A mátrix 18x15 négyzetrácsból állt. A négyzetek 25x25 milliméter nagyságúak voltak, így a háló teljes mérete 450x375 milliméter volt. A rácsozat az Excel táblázathoz hasonlatosan betűkkel és számokkal jelöltük meg. A táblázatot 1:1-es méretarányban kinyomtattuk és egy kartonlapra ragasztottuk. Az így elkészült tábla közepe fölé helyeztük el a radart. A radar és a kartonlap között 210 milliméter szabad teret hagytunk. A radar ugyanolyan konstrukcióban volt felállítva, mint a megelőző méréseknél (adó és vevő egymás mellett). Beüzemelés után elvégeztünk egy kalibráló mérést. Mivel nem volt a radar alatt semmilyen tárgy, ami a



19. ábra az érméről és a mátrixról

mikrohullámokat visszaverte volna a berendezés minimális visszavert jelet mutatott még nagy jelerősítés mellett is. Ez a jel lett az alap, amihez képest a műszert beállítottuk. Hogy megtudjuk, a rácson belül mekkora felületet lehet letapogatni a radarral egy 50 forintos érmét helyeztünk el rajta. Rácspontról rácspontra toltuk az érmét és mértünk az onnan visszaverődő jelet. Az adatokat Excel táblázatba vittük be. Miután végigmértük az összes rácspontot, a kartonlapot 4 centiméterrel magasabbra emeltük fel és újra végigmértük az egész táblát.



20. ábra a radarról és az érmés mérésről

Ezekkel a 4 centiméteres lépésekkel haladva egészen 20 centiméteres magasságig feljegyeztük a rácspontokon kapott értékeket.

Az adatok értékelése

Az adatainkat Excel táblázatban rögzítettük. A táblázatban minden adat egy a mátrixon lévő 25x25-ös négyzetrácsához tartozó hullámnak az amplitúdó értékét mutatja. Ahol a jel értékelhetően erős volt ott alkalmas arra, hogy a faanyagot vizsgáljuk vele. A radar által lefedett terület egyszerűen meghatározhatjuk, ha összeadjuk azon négyzetrácsok oldalainak a hosszúságát ahol a jel megfelelően erős volt a vizsgálatához. Az alábbi táblázat (2. táblázat) az alapsíkot mutatja.

2. Táblázat Alapsík adatai

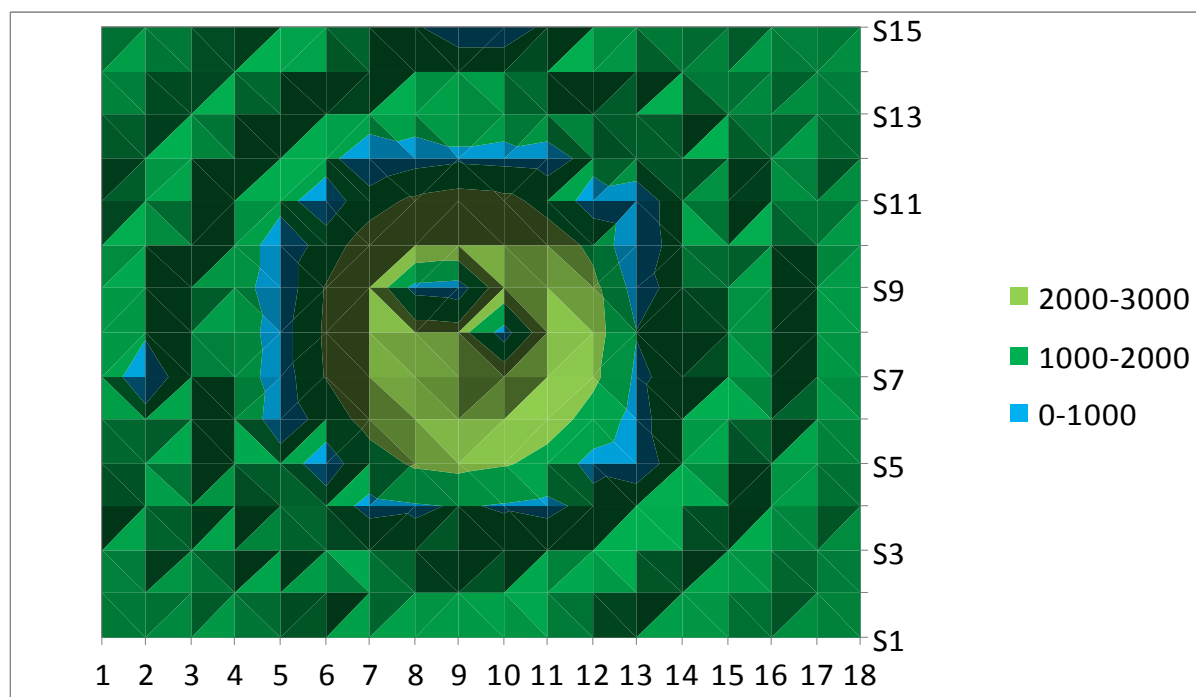
Alapsík (21 cm)														
1299	1294	1248	1240	1341	1352	1339	1323	1327	1308	1250	1194	1207	1223	1191
1288	1242	1309	1361	1251	1073	982	975	991	1051	1234	1300	1237	1196	1230
1265	1339	1285	1101	1168	1424	1566	1588	1560	1400	1106	1035	1274	1254	1183
1341	1235	1149	1171	1658	1513	1295	1296	1385	1612	1638	1300	1037	1298	1236
1295	1159	1489	1607	1106	536	547	673	492	369	1264	1624	1331	1053	1311
1200	1360	1545	960	697	1434	1869	1959	1842	1185	474	1306	1308	1103	1236
1196	1490	1241	668	1521	2187	2437	2525	2522	2184	1238	395	1542	1305	1087
1257	1498	1005	1189	2012	2407	2484	2529	2653	2530	1877	504	1284	1446	1025
1301	1472	899	1277	2117	2415	2394	2437	2593	2606	2019	786	1131	1485	1050
1248	1494	952	1127	2005	2376	2420	2459	2589	2539	1941	674	1244	1478	1041
1206	1485	1206	755	1626	2172	2377	2494	2510	2269	1433	549	1474	1379	1068
1219	1356	1515	901	870	1598	1917	2108	1932	1449	608	1118	1569	1143	1193
1304	1176	1452	1531	952	602	821	1063	813	516	1047	1549	1365	1072	1294
1316	1283	1159	1408	1558	1373	1090	957	1159	1438	1589	1374	1061	1240	1240
1260	1335	1300	1129	1197	1366	1535	1578	1543	1413	1199	1057	1221	1273	1191
1288	1255	1296	1360	1169	1074	1057	1067	1048	1058	1083	1277	1109	1183	1227
1267	1318	1288	1253	1274	1304	1284	1283	1277	1290	1261	1194	1199	1229	1205
1285	1260	1268	1299	1206	1187	1187	1197	1183	1185	1185	1221	1218	1205	1217

Innen az alapsíkról emeltük a táblát a már fentiekben említett 4 centiméteres lépésekkel a radar felé. Ez a sík körülbelül 210 milliméterre volt a radar csúcsától. A kapott adatokból a méréseink szemléltethetőbbé tévése érdekében grafikonokat készítettünk síkban és térben egyaránt így kirajzolódott az a terület ahol a legerősebb a mért hullám. Az első grafikonon (21. ábra) síkban mutatjuk be a mérési eredményeket ahol látszik, hogy a hullámok körkörös irányban terjednek és látszik hogy hol erősebb és hol gyengébb a hullám. A második grafikonon (22. ábra) térben mutatja ugyan ezeket az értékeket, amin nagyon jól látszik, hogy hol van a leg értékelhetőbb tartomány, amivel a gyakorlatban lehet dolgozni. A leg szemléletesebb grafikonokat 4 cm-es magasságban kaptuk.

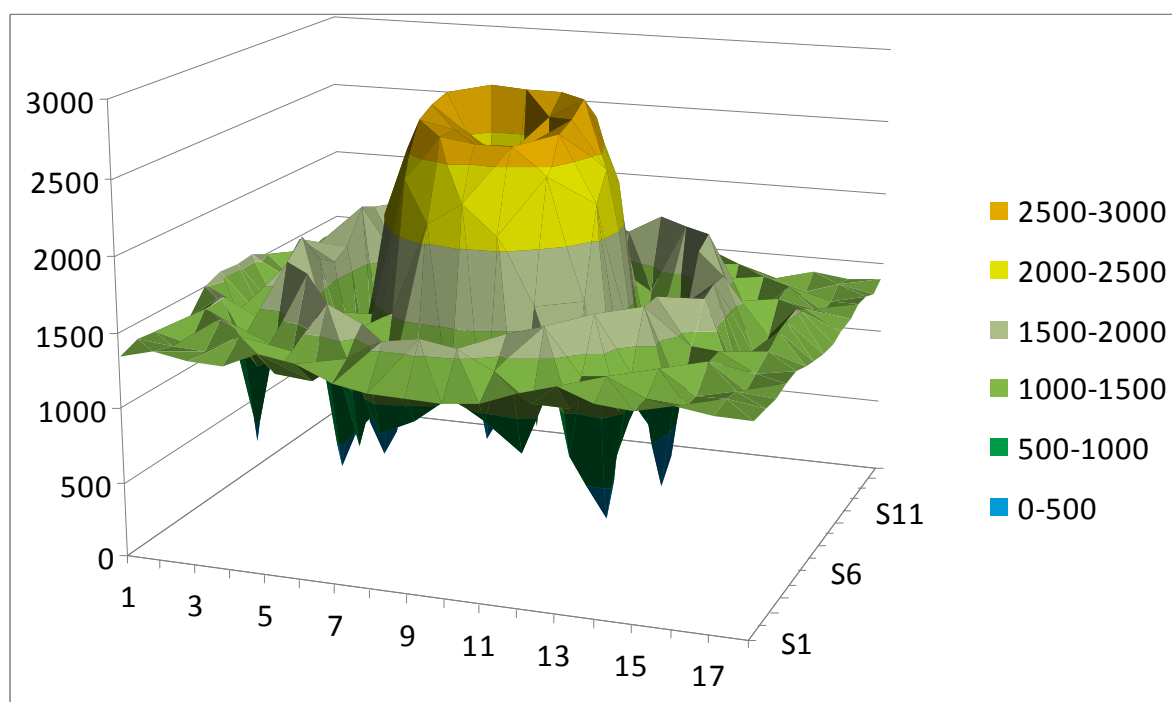
4. táblázat (21cm-es magasságtól 4cm-re emelt mérés adatai)

Sík magassága 4 cm														
1353	1404	1385	1280	1353	1508	1541	1549	1549	1498	1394	1312	1358	1396	1369
1406	1367	1321	1492	1523	1354	362	1110	1111	1308	1490	1471	1369	1312	1391
1364	1369	1519	1274	1052	1277	1622	1751	1655	1362	1097	1216	1496	1391	1320
1352	1490	1224	1281	1793	1913	1696	1621	1673	1897	1852	1318	1128	1487	1377
1463	1270	1350	1792	1482	334	486	523	197	284	1377	1870	1430	1193	1498
1415	1241	1682	1404	591	1420	2047	2153	2088	1427	486	1392	1853	1132	1446
1320	1408	1574	774	1518	2356	2705	2749	2796	2585	1518	131	1763	1467	1251
1285	1555	1341	881	2130	2643	2651	2592	664	2819	2258	534	1441	1678	1148
1270	1582	1260	1065	2272	2624	2511	2420	570	2797	2432	848	1391	1719	409
1268	1544	1362	930	2094	2623	2571	601	2672	2798	2324	718	1465	1702	415
1297	1431	1595	755	1659	2442	2669	2720	2811	2648	1620	531	1705	1549	1249
1388	1253	1676	1320	688	1645	2229	2408	2277	1749	546	1346	1828	1175	1425
1454	1245	1381	1718	295	635	803	1041	495	105	254	1826	1510	1193	1488
1375	1473	1185	1355	1725	1730	1465	1415	1512	1783	1853	1474	1124	1470	1373
1346	1360	1480	1220	1161	1412	1666	1709	1700	1463	1203	1209	1463	1378	1329
1403	1333	1327	1475	1476	1302	1186	1131	1132	1252	1446	1472	1356	1320	1403
1368	1405	1384	1316	1350	1438	1498	1500	1519	1462	1395	1312	1333	1384	1373
1378	1380	1358	1392	1396	1366	1325	1309	1315	1331	1359	1391	1379	1347	1379

4 cm –es magasságban mért értékek és az ahhoz tartozó sík és térbeli grafikonok. A sík grafikonon jól látható, hogy a középső 7x7-es tartományban voltak a legnagyobbak az értékek, ami nagyjából egy 175x175 mm-es nagyságú területet jelent.



21. ábra Sík diagram

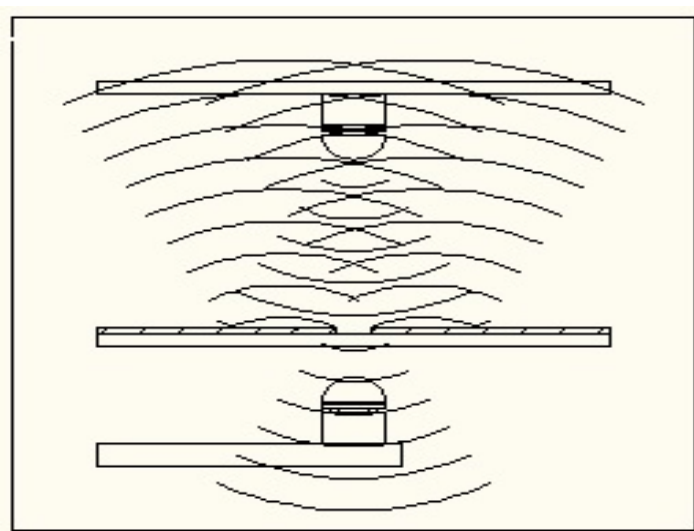


22. ábra Térbeli diagram

Az utolsó grafikon leginkább szemléltethetőbbé teszi a mért adatainkat, jól láthatóak a hullám völgyek és hullám hegyek, amik kifelé terjedve egyre jobban elgyengülnek.

Radar jelerősségének pontosítása

Ezen mérések után a radart szétszedtük és külön az adót és külön a vevőt felülre illetve alulra helyeztük el középre pozícionálva. Az adó és a vevő között lévő távolság 215 mm volt, és a kartonlapot közöttük helyeztük el pont középen. A méréshez legalkalmasabb tartomány pontosabb meghatározására további mérést végeztünk az így felállított rendszerrel.

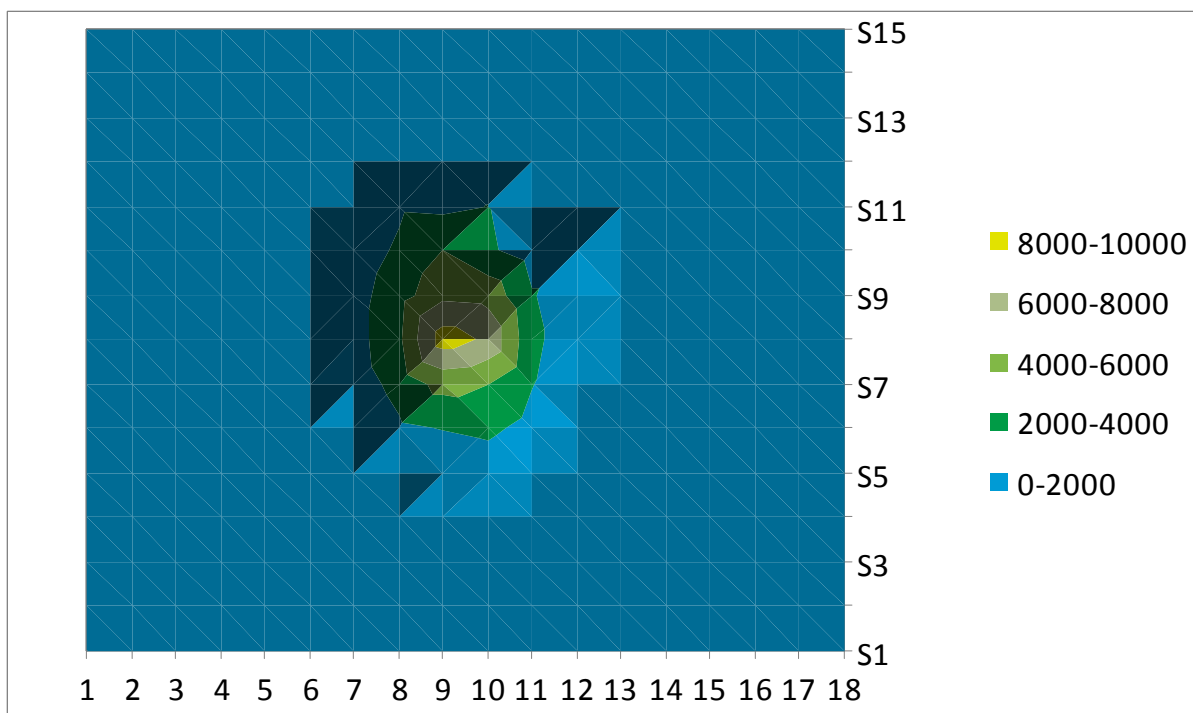


23. ábra átszerelt radar sematikus ábrája

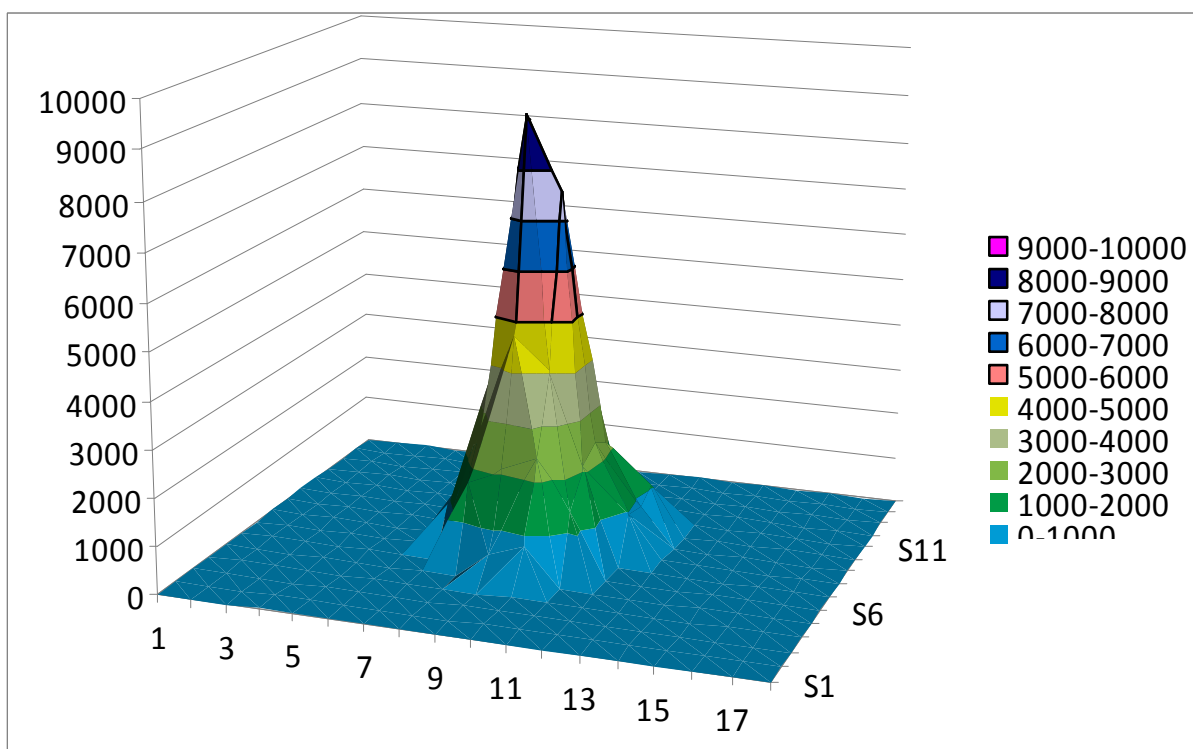
Ebben az esetben az előző mérési módszernek pont az ellenkezőjét végeztük el. A már meglévő rácsozott kartonlapunkra egy fém lapot helyeztünk el középre, amire egy 50 forintosnak megfelelő nagyságú lyuk volt vágva, a szabadon maradó felületet alumínium fóliával letakartuk így a hullámok csak a lyukon juthattak át az adótól a vevőig a többi hullám visszaverődött. A fémlapot pontról pontra mozgattuk középről indulva körkörösén kifelé haladva és eközben végeztük a méréseket. Fontos volt ügyelni, hogy a hullámok maximuma és minimuma bele essen, az általunk meghatározott tartományba illetve a görbék jól illeszkedjenek, és hogy a kapott amplitúdó értékek még értékelhetőek legyenek. Ezeket az adatokat is bevittük egy Excel táblázatba (5. táblázat) így már könnyen meghatározható volt az a terület ahol a méréseket a legkedvezőbb feltételek között lehet végezni. A pontos felület meghatározásához mért értékek és az ebből származtatott grafikonokból jól látszik, hogy mindössze egy nagyjából 200cm² nagyságú ovális területen a legerősebbek a hullámok.

5. táblázat A méréshez optimális felület meghatározásáról

Adó a vevővel szemben (távolság a kettő között 215mm) terület kitakarva 50-es nagyságú ablakkal.															
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	937	1142	1198	799	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1731	2733	3753	3249	2336	1689	0	0	0	0	0
0	0	0	0	567	2095	4734	9115	5405	4018	1525	0	0	0	0	0
0	0	0	0	808	2456	4036	7591	5318	2289	2068	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1367	2103	2383	2149	1142	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	925	821	1063	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



24. ábra Síkbeli grafikon



25. ábra Térbeli grafikon

A grafikonok (24-25 ábra) is jól mutatják, hogy mekkora felületen kapjuk a legerősebb és legértékelhetőbb hullámokat.

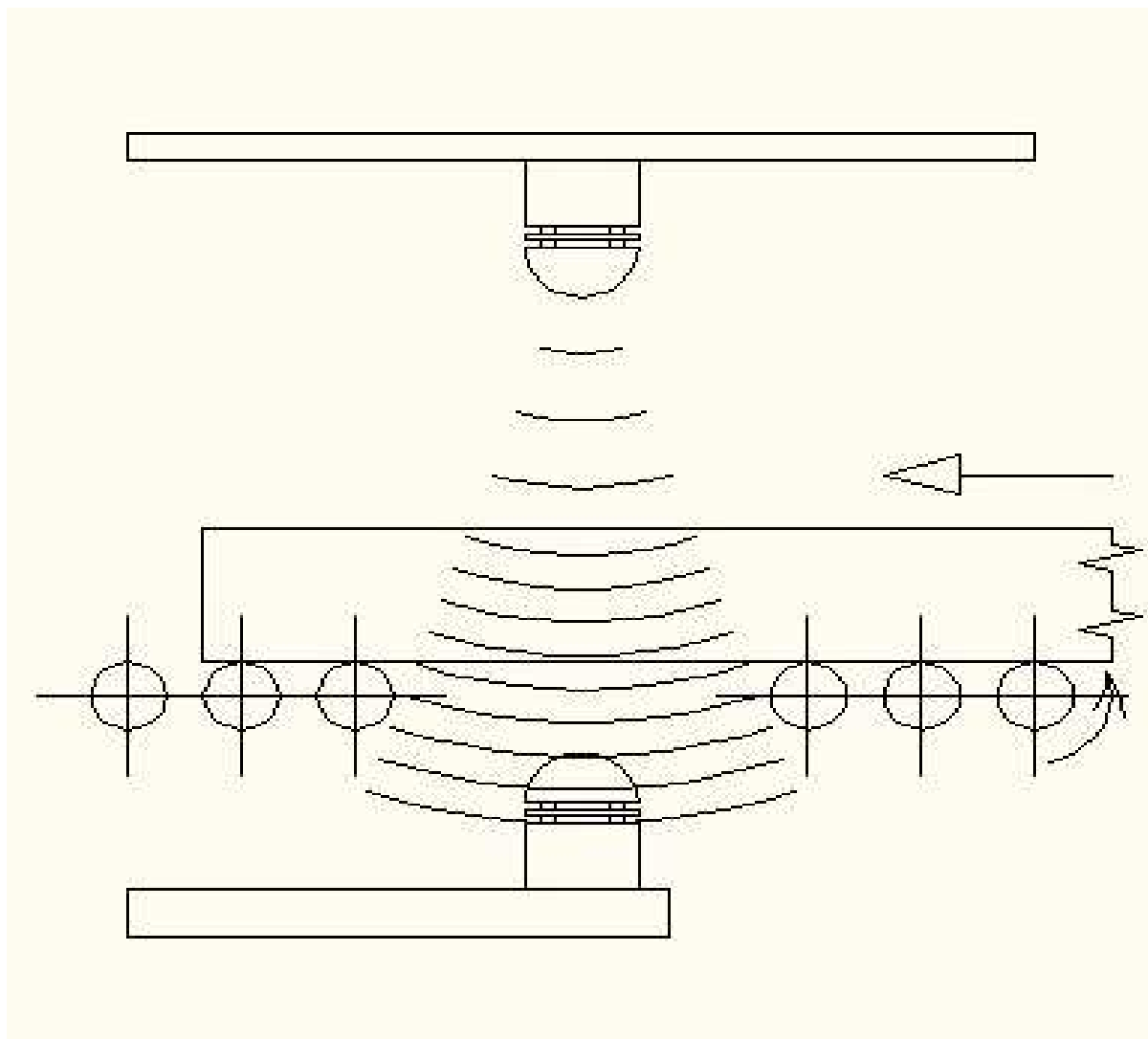
Az elkövetkezendő méréseknél ezt kihasználva a műszernek ezen felállításában a kartonlapra helyeztük az elején használt próbatesteket még hozzá úgy, hogy a próbatest közepe bele essen ebbe a kedvező mérési tartományba. Ebben a mérésben már nem használtunk reflektáló felületet, hanem a kibocsájtott hullámok behatoltak a faanyagba megváltoztak a tulajdonságaik és ezeket a megváltozott tulajdonságú hullámokat befogtuk a vevővel. Az adatokat itt is Excel táblázatba (6. táblázat) értékeltük az eddig használt programok segítségével. Egy mérés sorozatot tudtunk eddig elvégezni légszáraz állapotban, de ígéretesnek bizonyult a méréssorozat.

6. táblázat Új radar összeállítással az első mérési sorozat eredményei

V	m	start1	stop1	diff	hiba1	start2	stop2	A0	A	w	β	hiba2
672,5	3228	215	235	47,69608	0,048808	215	235	46,58592	22,97168	0,732237	-1,55029	525,5892
668,5417	3209	215	235	47,53781	0,043335	215	235	46,43131	23,01474	0,733283	-1,46085	505,2767
704,375	3381	215	235	47,77503	0,048688	215	235	46,56608	23,02078	0,732216	-1,54361	527,4921
718,3333	3448	215	235	47,6397	0,065823	215	235	46,56088	22,97026	0,731568	-1,58131	530,8969
564,375	2709	215	235	46,93416	0,042206	215	235	46,50018	22,75809	0,732514	-1,44482	491,2613
553,9583	2659	215	235	46,85646	0,045704	215	235	46,45887	22,70855	0,732751	-1,41967	484,019
807,0833	3874	215	235	48,05123	0,030031	215	235	46,50279	23,23464	0,731662	-1,58192	539,0227
797,2917	3827	215	235	48,35588	0,044069	215	235	46,4072	23,27994	0,731339	-1,63323	550,3113
546,0417	2621	215	235	47,32602	0,038849	215	235	46,27194	22,83959	0,732387	-1,37126	499,0343
540,625	2595	215	235	47,36516	0,34152	215	235	46,26468	22,90418	0,73269	-1,36037	497,2527
423,5417	2033	215	235	46,94653	0,042023	215	235	45,99732	22,71262	0,730475	-1,19429	567,1093
419,7917	2015	215	235	46,76642	0,056343	215	235	45,91948	22,74371	0,729898	-1,13395	588,0304
639,375	3069	215	235	47,04039	0,041853	215	235	46,44046	22,76496	0,732413	-1,44783	484,6478
469,5833	2254	215	235	46,80683	0,039929	215	235	46,07364	22,57996	0,730902	-1,24632	528,4376
634,1667	3044	215	235	47,37971	0,034372	215	235	46,42496	22,98008	0,732938	-1,46212	495,0298
649,1667	3116	215	235	47,51643	0,045798	215	235	46,28669	22,99415	0,732974	-1,39939	503,3357
591,6667	2840	215	235	47,02738	0,031619	215	235	46,48935	22,85568	0,733043	-1,45527	483,8544
631,6667	3032	215	235	47,28975	0,255879	215	235	46,43526	22,97881	0,733094	-1,45535	500,7547
755,4167	3626	215	235	48,05801	0,062361	215	235	46,47824	23,21885	0,73258	-1,5583	534,8551
754,375	3621	215	235	48,04235	0,03931	215	235	46,47518	23,18018	0,732496	-1,58278	536,3228
585,2083	2809	215	235	47,38167	0,048396	215	235	46,08272	22,92399	0,732304	-1,30579	527,5987
598,125	2871	215	235	47,30804	0,040986	215	235	46,18484	22,88485	0,732352	-1,34681	502,3904
544,7917	2615	215	235	43,94022	0,047285	215	235	46,40809	21,44999	0,725678	-1,14593	476,0441
562,7083	2701	215	235	43,70514	0,034852	215	235	46,43085	21,33423	0,725455	-1,15044	474,2792
538,75	2586	215	235	44,30002	0,038116	215	235	46,27934	21,73733	0,725776	-1,09672	505,3091
556,875	2673	215	235	44,85624	0,036653	215	235	46,27701	21,89678	0,726981	-1,16579	503,2341
367,9167	1766	215	235	44,67552	0,034679	215	235	46,3728	21,77152	0,724064	-0,95178	518,2203
358,5417	1721	215	235	44,93828	0,047913	215	235	46,33269	21,91187	0,724577	-0,95019	526,878
362,7083	1741	215	235	46,04356	0,034403	215	235	46,06187	22,48006	0,7279	-1,04244	568,9867
377,5	1812	215	235	46,41481	0,031152	215	235	46,00894	22,54818	0,729113	-1,12468	570,2354
596,6667	2864	215	235	47,22812	0,037255	215	235	46,26388	22,85195	0,732667	-1,35843	500,2251
585,4167	2810	215	235	47,13066	0,043228	215	235	46,37431	22,77044	0,732731	-1,40391	493,9541
560,8333	2692	215	235	47,34801	0,055604	215	235	46,23005	22,87591	0,732194	-1,35048	502,064
556,875	2673	215	235	47,36498	0,051599	215	235	46,18795	22,81464	0,732234	-1,34478	514,5556
571,0417	2741	215	235	47,21156	0,060785	215	235	46,27541	22,841	0,732007	-1,35695	499,8279
370,2083	1777	215	235	46,40327	0,039403	215	235	45,98364	22,64378	0,728723	-1,08495	570,4135
622,5	2988	215	235	47,17443	0,070279	215	235	46,33222	22,87244	0,732284	-1,38052	489,003
619,5833	2974	215	235	47,05073	0,068704	215	235	46,38785	22,80442	0,732092	-1,38898	498,7514
911,25	4374	215	235	47,7857	0,042551	215	235	46,04549	23,17086	0,726495	-1,7826	592,1525

A további mérések

A továbbiakban törekszünk a rendszer pontosítására. Több méréssorozatot akarunk végezni a próbatesteken más nedvességtartalommal majd egy újabb összehasonlító elemzést követően, ha a rendszer az új beállítással is jól működik, akkor szeretnénk ténylegesen gyakorlatban is kipróbálni,



26. ábra a gyártósori beálltásról

tesztelni, amihez a TÁEG Soproni Fűrész üzemben fog, sor kerülni. A műszert görgő sorra fogjuk felszerelni. Felülre kerül a radar, adó antennája, alulra pedig a vevő antenna kerül, így nem lesz szükség, reflektáló felületre. A gerenda csak elhalad az antennák között, pár másodpercre megáll, megtörténik a mérés és továbbhalad. A rendszer körülbelül 21-22 cm-es gerendát lesz képes befogadni.

Következtetések

A mérésünk lényege és célja tehát az volt, hogy érintésmentesen tudjuk meghatározni faanyagok sűrűségét és nedvességtartalmát mikrohullámú radarral.

A technika még kiforratlan és nagy pontosságot követel, de további tesztelésekkel minden apró hiba kiszűrhető és pontosítható olyan szintig hogy alkalmas legyen a gyakorlatban történő használatra is. Az eddigi mérésekben megfigyeltük, hogy sok tényező zavarhatja a mérést, például ha mobiltelefon van a radar közelében vagy fém tárgy kerül a hullámok útjába, de ezek kiküszöbölésével jó mérési eredményeket érhetünk el. Ezt bizonyítja az összegző táblázat is, amiben látszik, hogy a hagyományos sűrűség mérési módszerrel meghatározott és a mikrohullámmal meghatározott sűrűség között nincs nagy eltérés. Ezek az eltérések származhatnak a műszer nem teljesen pontos beállításából, a radart zavaró tényezőkből, ám ezek mellett is értékelhető adatokhoz jutottunk és megállapítottuk, hogy a műszer alkalmas faanyagok sűrűségének és nedvességének mérésre.

A továbbiakban a rendszert finomítani fogjuk és elkezdjük a tesztelést üzemben. Ehhez azonban még több mérésre és tesztelésre lesz szükség, de az eddigi adatok azt mutatják, hogy a műszer gyakorlatban is helyt fog állni és gyártó soron is működni fog.

Felhasznált irodalom:

James, W. L.; Yen, Y.-H.; King, R. J. 1985. A microwave method for measuring moisture content, density, and grain angle of wood . (Research note FPL ; 0250):9 p. ; 28 cm..

Fatos Bahar Orhan, 2004. Estimating Wood Physical Properties by using Microwave Measurement, MSc thesis, UBC, Canada

<http://erdo.hu/sokoldalu-fa.htm>

ANDRERSEN Nikolaj, Tor Sverre (Bassen) Lande (2010): Nanoscale Impulse Radar, Novelda White Paper