

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Faanyagtudományi Intézet

Nemesnyárok hamutartalmának és fűtőértékének
változékonysága

Témavezető:

Dr. Komán Szabolcs

egyetemi docens

A szakdolgozat készítője:

Kárpáti Rafael

IV.évf. faipari mérnök

BSc hallgató



SZAKDOLGOZAT FELADAT


Szakdolgozatot készítő neve:	Kárpáti Rafael
A szakdolgozatot készítő Neptun kódja:	SV3D8X
Szakdolgozat címe:	Nemesnyárok hamutartalmának és fűtőértékének változékonysága
Intézeti témavezető:	Dr. Komán Szabolcs egyetemi docens
A dolgozat kódja	FMK-FÉMI-18-2021-SZ

Elvégzendő feladatok

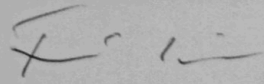
1. Jelölt végezzen szakirodalom-kutatást a nemesnyárok kapcsolatban!
2. Jelölt határozza meg a vizsgálatba bevont nemesnyárok hamutartalmát és fűtőértékét!
3. Jelölt értékelje a kapott eredményeket!

Beadási határidő: 2021.12.03.

Sopron, 2021. 09. 24.


Prof. Dr. Magoss Endre
dékán




Dr. Fehér Sándor
intézetigazgató



NYILATKOZAT

Alulírott Kárpáti Rafael (neptun kód: SV3D8X) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a Nemesnyárák hamutartalmának és fűtőértékének változékonysága című

házi dolgozat;

diplomadolgozat;

szakdolgozat/diplomamunka

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Hivatkozások és idézések szabályai:

Az 1999. évi LXXVI. tv. a szerzői jogról 34. § (1) és 36. § (1) első két mondata.)

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt, illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg.**

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.**

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2021

.....Kárpáti Rafael.....

hallgató

Tartalomjegyzék

<i>Bevezetés</i>	3
<i>1. Irodalmi áttekintés</i>	5
1.1. A dendromassza gazdasági helyzete Magyarországon	5
1.2. A nyárfa, mint fűtőanyag	6
1.3. A nyárfák szerepe Magyarországon és Európában	9
1.4. Konklúzió	11
<i>2. Saját vizsgálatok, saját munka</i>	12
2.1. A végzett kutatások helye, ideje és körülményei, a felhasznált alapanyag	12
2.2. A gazdasági környezet rövid áttekintése	14
2.3. A hamutartalom mérésének elvi háttere, vizsgálat folyamata	15
2.4. A fűtőérték mérésének elvi háttere, vizsgálat folyamata	19
2.5. Hamutartalom vizsgálatok eredményei kéregben	26
2.6. Hamutartalom vizsgálatok eredményei fatestben	28
2.7. Hamutartalom vizsgálatok összevont eredményei a fatestben és kéregben	35
2.8. Fűtőérték vizsgálatok eredményei a fatestben és kéregben	36
2.9. Hamutartalom és fűtőérték együttes vizsgálata	39
<i>3. Következtetések, javaslatok</i>	42
<i>4. Összefoglalás</i>	44
<i>5. Köszönetnyilvánítás</i>	45
<i>6. Irodalomjegyzék</i>	46
6.1. Hivatkozott irodalmak forrása	46
6.2. Csatolt képek forrása	47

Bevezetés

Szakedolgozatom bevezetéseként szeretném felvezetni a választott témát egy-két érdekességgel, fontosnak tartott tudományos tényszerűséggel és végül a céljaim ismertetésével.

Mára már talán minden ember előtt nyilvánvaló az, hogy a jövő technológiáit megújuló energiaforrásokra kell alapozni. Igaz ez az iparra, utazásra, szabadidős tevékenységekre vagy profi sportra, az élet minden területére. Nincs ez másként Magyarországon sem. A fosszilis energiahordozóktól való fokozatos elszakadást kívánja elősegíteni több kormányzati stratégia is melyeknek lényege, hogy 2030-ig Magyarország teljes primer energiafelhasználásának 20%-a megújuló energia legyen. (Molnár S. - Pásztory Z. - Komán Sz., 2013)

Magyarországon 2020-ban 3,5 millió tonna biomasszát használtak fel energiatermeléshez. Ez 9 százalékkal több mint 2019-ben, ami határozott előrelépésnek tekinthető. (Demeter E. - Gaál M., 2021)

Dolgozatom elején szeretném egyértelművé tenni, hogy a témában végzett kutatási munkálataim alap kutatás jellegűek. A terület viszonylagos ismeretlensége miatt ez elkerülhetetlen, hiszen először mindig egy gondolatébresztő, problémafeltáró kutatással kell felrajzolni az ismeretlen területre a további kutatások csapásirányait.

Ennek a kihívásnak igyekeztem eleget tenni a választott nyár klónokat vizsgálva, amelyeket egy kísérleti vizsgálatokra tervezett ültetvényről termeltek ki. A vizsgált faanyagok hamutartalmát és fűtőértékét összehasonlítva kerestem összefüggéseket és problémákat, valamint a hamutartalom esetében évgyűrűk szerinti bontásban végeztem a kísérleteket, amelyek figyelemre méltó

eredményeket hoztak. Céлом volt továbbá, hogy ne csak a fatest, hanem a kéreg hamutartalmát is vizsgáljam, amely hiánypótló kutatás volt a területen.

A fentiekben felsoroltakon túl céлом még az is, hogy a kutatásom eredményei elérhetővé váljanak egy olyan réteg számára, akik ezt hasznosítani tudják, hiszen így kézzelfoghatóbbá válik a munkám eredménye. Ehhez szükséges az, hogy valamilyen csatorna mentén az információ szélesebb körben is elérhetővé váljon és lehetőleg olyan közönséget érintsen, amely érintett a témában. Ezt én bármilyen formában el tudom képzelni, egy fa- vagy energiaipari szaklapban kiadott publikáció keretében, de (ahogy ez már egy ízben meg is történt) egy nemzetközi faipari konferencián való részvétel is kiváló platform erre a célra.

Mielőtt a kutatásom részleteit leírnám, szeretném a témakörrel kapcsolatban eddig nyilvánosságra hozott irodalmi eredményeket összefoglalni és kiértékelni.

1. Irodalmi áttekintés

Először szeretnék két fogalmat a laikus számára is világossá tenni, mert gyakran lesznek alkalmazva a következő fejezetben:

- **biomassza:** biológiai eredetű szárazanyag, vagyis a földön és vízben található élő, valamint a nemrég elhalt szervezetek tartoznak ide. (növények, állatok, gombák, mezőgazdasági termékek, hulladékok, kommunális hulladékok)
- **dendromassza:** a biomasszán belül a fásszárú növények (fák, cserjék) szárazanyag tömege.

1.1. A dendromassza gazdasági helyzete

Magyarországon

A dendromasszában rejlő kiaknázatlan lehetőségeket és a fejlesztések szükségességét mi sem mutatja jobban, minthogy hazánkban az elmúlt nyolc-tíz évben 80 százalékról kevesebb mint 45 százalékra csökkent a felhasznált dendromassza mennyisége a megújuló energiák összes alapanyagát tekintve. (Demeter E. - Gaál M., 2021); (Molnár S. - Pásztory Z. - Komán Sz., 2013) Ennek oka nem a dendromassza mennyiségének csökkenése, mivel az vélhetően kiegyenlített a termelési területek nagyságát vizsgálva. (Komán Sz. - Varga D., 2019) Ha megfigyeljük a bevezetésben már említett 9 százalékos növekedést az elmúlt évben az összes biomassza mennyiségét tekintve Magyarországon, feltételezhetjük, hogy az ipar az európai normákat tartani kívánó állami intézkedések hatására, a legjobban felhasználható biomassza alapanyagokat részesíti előnyben és kívánja növelni vele az éves energiakibocsátás arányát. Figyelemre méltó az a tény is, hogy csupán 2019 és 2020 között 10 százalékot csökkent a

biomasszán belül a dendromassza mennyisége. (Demeter E. - Gaál M., 2021)

Ebből az szűrhető le, hogy az energetikai célú faültetvények ma már kevésbé vonzó alapanyagok az ipar számára, mint az egyéb biomasszák. Ezért tartom rendkívül fontosnak, hogy amíg van kiaknázatlan terület ezen a területen az ne maradjon úgy, hanem igyekezzen minden kompetens tudományág/intézet/vállalat/ember a lehető legtöbbet hozzátenni a Magyarországnak, de az egész világ energiaipari jövőjéhez.

1.2.A nyárfa, mint fűtőanyag

A faanyagok felhasználása sok problémát okoz az energiaipari vállalatoknak. Egyéb fűtőanyagokhoz képest kevésbé jól méretezhető a faanyag, hiszen tulajdonságai fajonként változik, de a fafajok között is vannak különbségek egyes paramétereket tekintve. Ezeket a tulajdonságokat többek között meghatározzák a termőhely éghajlati jellemzői, a talaj sajátosságai, a fafaj genetikája és szöveti szerkezete és az állomány kora is.

A faanyag energetikai alkalmazásának szempontjából a legfontosabb tulajdonságok és paraméterek a fűtőérték, a hamutartalom, a hamut alkotó összetevők, a sűrűség és a nedvességtartalom. Fontos, hogy a faanyagok kérgében akár többszöröse is lehet a hamu mennyisége a fatest anyagához képest. Ezért is tartottam fontos célkitűzésnek a fatest és a kéreg megvizsgálását külön-külön.

Biomasszaként való felhasználás szempontjából a nyárfákat számos országban széles körben termesztik és különböző technológiával használják fel. Az SRP (short-rotation plantation = rövid vágásfordulójú) nyárból származó faanyag a szén és más fosszilis tüzelőanyagokkal szemben

gazdasági és környezeti előnyökkel is rendelkezik. (Komán Sz. - Varga D., 2019)

A nyárfa faanyaga az egyik legfontosabb biomassa forrás Európában. (Berndes et al. 2003) Európában körülbelül 50 000 ha-nyi területet foglalnak el, (Lindegaard et al. 2015) de az elmúlt évtizedben Magyarországon is megjelentek a rövid vágásfordulójú (10-15 év) és intenzív művelésű nemesnyár iparifa-ültetvények, amelyek területe jelenleg már közelít az 5 000 ha-t. Az országunkban növekvő faállomány nagyrésze maximum 30 éves, ami a nyáarakra jellemző rövid vágásforduló következménye. (Komán Sz. - Varga D., 2019) Ezt a viszonylag alacsony vágásérettséget az 1900-as évek második felében futó kutatások eredményezték, amelyek a nyáarak faanyagának gazdaságos és jövedelmező termesztését helyezték előtérbe. Így határozták meg többek között a már fent említett rövid vágásfordulós tenyésztés idejét, a termőhelyi feltételeket és a nemesnyár fajtaválasztékot.

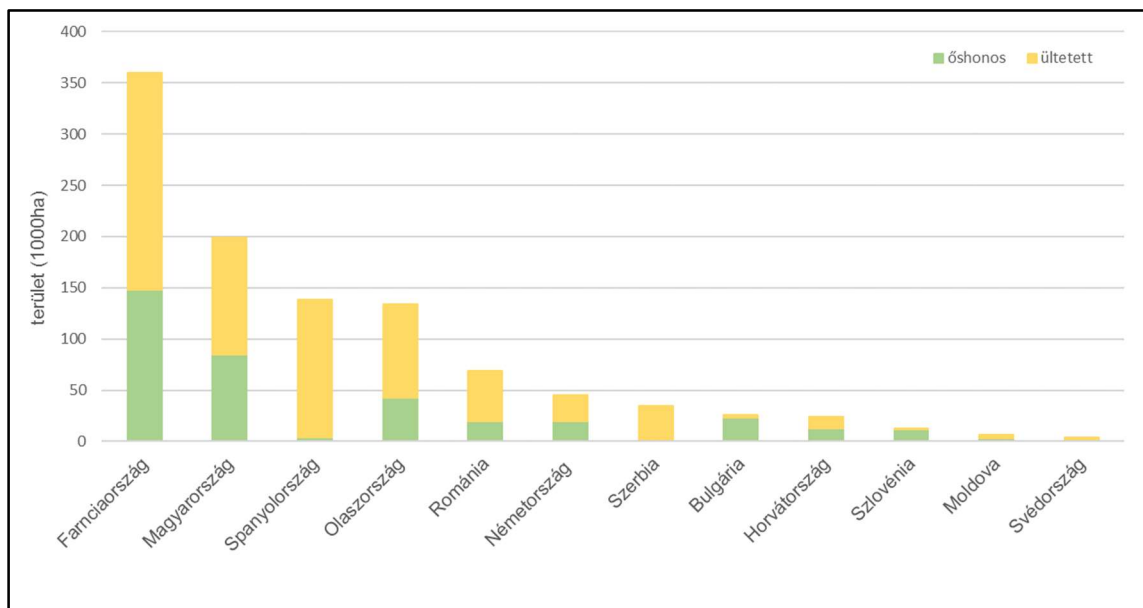
Az ipar egyéb területein is felhasználható faanyag elégetése „nemzetgazdasági véték”. (Molnár S. - Pásztory Z. - Komán Sz., 2013) A faanyagnak, mint megújuló energiaforrásnak ki kell bővíteni a térnyerését a különböző termékek anyaghasználatában és az építészetben is. Energetikai célú felhasználásra csak a fafeldolgozási hulladékot, erdei akadékat vagy a direkt erre a célra termesztett ültetvényekről kikerülő faanyagot szabadna felhasználni. Minden esetben arra kell törekedni, hogy a faanyag (mielőtt égetéssel energiát nyerünk ki belőle) egyéb termékként a lehető legtovább nyújtsa az életciklusát. Fontos, hogy bármilyen termékről is legyen szó, az égetésig szabaduljon meg minden olyan anyagtól (festék, rögzítőelemek stb.) ami az égetést biztosító berendezést károsíthatná.

A fent említett elővigyázatosság kifejezetten fontos akkor, ha a fafeldolgozási hulladékokat (másnéven másodlagos

nyersanyagokat) szeretnénk elégetni. A faipari vállalatok telephelyein általában jól elkülönítve és steril körülmények között gyúlik a faforgács, csiszolatpor, gyaluforgács, mivel általában elszívó berendezésekkel gyűjtik össze ezeket. Egy fűrésztelepen vagy fakitermelésen sokkal nehezebb megoldani a másodlagos nyersanyagok (kéreg, darabos hulladék, nyesedék, faforgács) tisztán tartását. A szabadtéren nagy halmokban tárolt aprítékok jelentős mértékben szennyezettek szilícium tartalmú szennyeződésekkel (pl.: homok, föld) amely anyagok igen károsak a tüzelőberendezésekre nézve. (Molnár S. - Pásztory Z. - Komán Sz., 2013)

Úgy vélem, ezeken a területeken is van még lehetőség a fejlődésre. Elsősorban nem az egyes eszközök és rendszerek kifejlesztése lenne a feladat, mert ilyenekre már Magyarországon is láthatunk példát. A fő probléma véleményem szerint az, hogy ezek a megoldások ritkán állják meg a helyüket a piacon mert a kifejlesztésük és működtetésük nem rentábilis. Ezért fontos feladatunk lehet a közeljövőben ezeknek a rendszereknek minél hatékonyabbá tétele és marketingelése.

1.3.A nyárfák szerepe Magyarországon és Európában



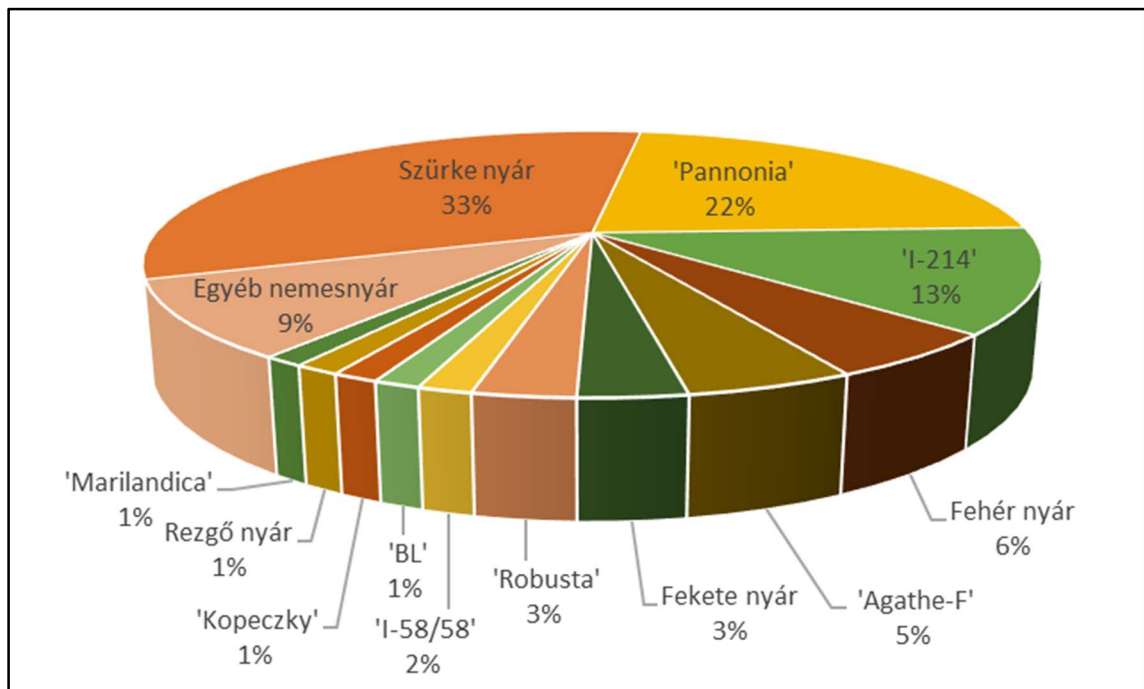
1. ábra
Őshonos és ültetett nyárfák területe Európában

A nyárfák értékes fájuknak köszönhetően ma már világviszonylatban is fontos szerepet kapnak. Jól termeszthető, gyorsan növé fafajról beszélünk, sok szempontból előnyös a termesztése. Az ültetvények erdőterületeit figyelembe véve Magyarország az előkelő 2. helyet foglalja el Franciaország után. (1. ábra) Amint már ezt említettem is, az elmúlt tíz évben nem változott ez a területi arány.

Az ültetvények kétharmada a következő 3 fafajból áll (2. ábra).

Nyárfák magyarországi területarányai):

- szürke nyár (*Populus x canescens*): 33%
- Pannónia (*Populus x euramericana* cv. Pannonia): 22%
- I-214 (*Populus X euramericana* cv I-214): 13%



2. ábra
Nyárak magyarországi területarányai

Az őshonos fák anyagát az energetikai szektor mellett felhasználja a csomagolóipar, lemezipar, rostipar és a bútorigar is. A magyar gyufagyártás, illetve a rakodólap elemek elsődleges faanyaga is a nyár. A nemesnyárak felhasználási lehetőségei azonosak a hazai nyárakéval, de előnyük, hogy genetikai módosítással tulajdonságaik javíthatóak. A gyenge mechanikai szilárdságuknak és egyéb tulajdonságaiknak köszönhetően építőiparban kevésbé használatosak. (Kárpáti R. – Báder M. – Komán Sz., 2019)

A II. világháború után indult meg egy gyorsan növekvő tendencia a nyárfaültetvények elterjedésében. Az egyre nagyobb érdeklődést több, a háborúk után induló nyárfa-telepítési programnak köszönhetjük. Így történt, hogy hazánkban ez a fafajnemzetség egyedülálló pozícióhoz jutott. (Tóth B., 2006)

1.4. Konklúzió

A témában magamat némileg jártasnak gondolva muszáj a következő, józan ész diktálta gondolatot megfogalmaznom: a faalapú energetikai alapanyagok terén ugyan még sok fejlesztési lehetőség van, de nem ez a terület az, amiben az emberiségnek a hosszútávú energiaellátást keresnie kell. Kiváló kiegészítő szerepet láthat el a faanyag, de véleményem szerint elsősorban a nap, szél és egyéb hatékonyabban felhasználható megújulóknak kell az energiatermelés fő forrását biztosítania.

Mindazonáltal szükséges a faenergetikai fejlesztések és kutatások folytatása, mivel amint már többször is megjegyeztem, több terület is rászorul a technikai fellendülésre. Ilyen például a szárítási és tárolási rendszerek korszerűsítése is. (Molnár S. - Pásztory Z. - Komán Sz., 2013)

A tudomány minden területén harcot vív a világ a jobb, tisztább energiatermelés eléréseért. Amennyivel ehhez a faenergetika hozzájárulni képes, kötelességünk minden lehetséges eszközt bevetve kifejleszteni a leghatékonyabb rendszereket a produktív termelés érdekében. Dolgozatomat és kutatási eredményeimet ennek a szép, de rendkívül összetett feladat egyik alapkövének tekintem.

2. Saját vizsgálatok, saját munka

2.1. A végzett kutatások helye, ideje és körülményei, a felhasznált alapanyag

Kutatásaimat minden esetben a Soproni Egyetem laboratóriumaiban végeztem. Az elmúlt két év során több kutatási ösztöndíjprogramban is részt vettem, ezek és a jól befektetett munka nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy összetett és jól kiértékelhető eredményekhez jussak.

A megvizsgált fafajok az ERTI Sárvár kísérleti állomás Bajti csemetekertjéből származnak. Mivel az ültetvényt (3. ábra) 1991-ben telepítették (Dolgos 2008), könnyedén kiszámítható, hogy a kapott minták 28 évesek voltak kivágásukkor.



3. ábra
Nemesnyár ültetvény

Megjegyzendő, hogy mivel egy időben és egy területre ültették a csemetéket, semmilyen nem kívánatos befolyásoló

hatás nem jelenik meg az eredményekben. A termőhely befolyásoló hatását kizárva vizsgálható a klónok tulajdonsága. Ez nagy előny akkor, amikor a fűtőérték és a hamutartalom meghatározása a cél.

A Bajti csemetekertből kapott nyolc féle nemesnyár-klón magyar és latin megnevezése:

- 'Durvakérgű'
 - (*Populus x euramericana* 'Durvakérgű')
- 'I-214'
 - (*Populus x euramericana* 'I-214')
- 'Koltay'
 - (*Populus x euramericana* 'Koltay')
- 'Kornik 21'
 - (*Populus maximowiczii x p. berolinensis* 'Kornik')
- 'Villafranca'
 - (*Populus alba* 'Villafranca')
- 'Pannónia'
 - (*Populus x euramericana* 'Pannonia')
- 'Raspalje'
 - (*Populus x interamericana* 'Raspalje')
- 'Unal'
 - (*Populus x interamericana* 'Unal')

A szakirodalmakban fellelhető többféle elnevezés és kódolás miatt szükségesnek tartom, hogy az egyes fajoknak feltüntessem az esetlegesen előforduló egyéb jelöléseit is:

- 'Villafranca' = I57/58

- 'Raspalje' = S910-10
- 'Durvakérgű' = S611.c
- 'Koltay' = H-528-8

2.2.A gazdasági környezet rövid áttekintése

Mivel a szakdolgozatom egyik alap témája a fűtőérték vizsgálata, fontosnak tartom, hogy a magyar energetikai iparról, az energiaforrásokról és azok eloszlásáról is közöljek tájékoztató jelleggel információkat, adatokat. A megújulókból származó villamosenergia részarányát és eloszlását jól szemlélteti a következő kép. (4. ábra)

Megnevezés	Megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia felhasználásának részaránya a bruttó végső energiafogyasztáson belül	Ezen belül:						
		biomassza	biogáz ^a	szél ^b	víz ^b	nap	kommunális hulladék megújuló része	geotermikus
2000	0,6	4,1	0,0	0,0	73,3	0,0	22,6	-
2001	0,6	2,7	2,7	0,4	72,4	0,0	21,8	-
2002	0,6	2,5	2,5	0,4	81,9	0,0	12,7	-
2003	0,8	32,4	5,4	1,2	50,9	0,0	10,1	-
2004	2,2	72,4	2,2	0,6	21,9	0,0	2,8	-
2005	4,4	84,2	1,3	0,5	10,8	0,0	3,2	-
2006	3,5	75,9	2,5	2,9	12,5	0,0	6,3	-
2007	4,2	73,0	2,5	5,8	11,2	0,0	7,5	-
2008	5,3	74,7	2,9	8,7	9,0	0,0	4,6	-
2009	7,0	73,4	3,3	11,4	7,9	0,0	3,9	-
2010	7,1	67,4	3,9	17,7	6,2	0,0	4,8	-
2011	6,4	56,4	7,9	23,1	8,2	0,0	4,4	-
2012	6,1	50,4	8,0	29,1	8,0	0,3	4,2	-
2013	6,6	51,3	9,6	25,8	7,6	0,9	4,9	-
2014	7,3	54,0	9,1	20,9	9,6	2,1	4,3	-
2015	7,3	51,4	9,1	21,5	7,2	4,4	6,4	-
2016	7,3	45,8	10,2	21,0	7,9	7,5	7,5	-
2017	7,5	47,3	10,0	21,8	6,3	10,0	4,6	0,0
2018	8,3	47,8	8,9	16,1	5,9	16,7	4,3	0,3
2019	10,0	37,7	6,8	15,6	4,7	31,9	2,9	0,4

4. ábra
Megújuló energiaforrásokból termelt villamosenergia aránya

Hazánkban az elmúlt 20 évben egy-két év kivételével évről évre növekedett a megújuló energiaforrásból származó villamos energia a bruttó energiafogyasztáson belül. 2000-ben még 0,6 % volt, de 2019-ben már elérte a 10 százalékot. a 2008-as évtől észrevehető a tendencia miszerint, ahogy növekszik az összes megújulók által megtermelt energiának a

részaránya, úgy csökken a biomassa aránya is. Az előzőekben említettem már, hogy ez nem a biomassa (és vele együtt a dendromassza) termelés hanyatlását jelenti, hanem az egyéb megújuló energiaforrások erősödését. Ha megfigyeljük, láthatjuk a napenergia részarányának csaknem megduplázódását 2018-ról 2019-re. Ez az óriási növekedés okozhatta, hogy a biomassa részaránya 10,1 százalékot esett ugyanebben az időszakban.

Molnár S. - Pásztory Z. - Komán Sz. (2013) a magyarországi faenergetika fejlesztéséről szóló publikációban megjegyezte, hogy biomassa 80-90 százalékát az úgynevezett szilárd biomassa, vagyis faanyag adja. Amint ezt a (4.ábra) adataiból is látjuk, az elmúlt két évtizedben nagy változásokon ment keresztül a magyar energiaipar. Ezt támasztja alá az Agrárközgazdasági Intézet 2020-as évi jelentése is, amely szerint a 2020-as évben Magyarországon a biomassa 44,9 százalékát tette csak ki faapríték, vagyis dendromassza. (Demeter E. - Gaál M., 2021) Ez 10 százalékkal kevesebb mint a 2019-es évben. Amint már megjegyeztem korábban is, ezt a csökkenést az egyéb energiaforrások növekedése okozhatja, nem pedig egy esetleges visszaesés a faanyag kitermelésben.

2.3.A hamutartalom mérésének elvi háttere, vizsgálat folyamata

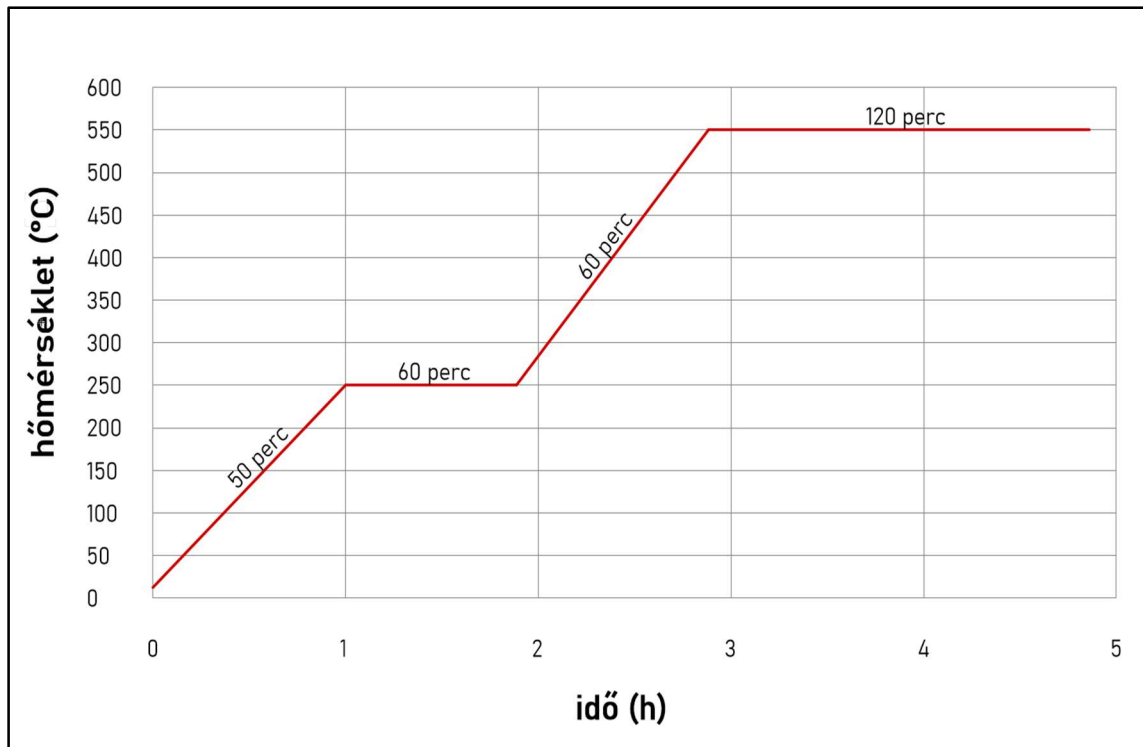
Ahhoz, hogy a világban bárhol bármilyen anyag fűtőérték-vizsgálatának eredményei összehasonlíthatóak legyenek, szükséges egy egyezményes menetrend a vizsgálat menetére és lépéseire. Ezért én a hamutartalom mérése során mindenben az MSZ EN 15403:2011 szabványban leírtak szerint jártam el. A szabvány neve: „Szilárd újrahasznosítható tüzelőanyagok. A hamutartalom meghatározása.” A dokumentum

a mérési folyamatot egyértelműen és részletesen ismerteti, körülményeit szigorúan meghatározza.

A nyolc féle nyár klónnak nem csak a fatestben lévő hamutartalmát vizsgáltam, hanem a kéregben lévő is. A kéreg ledarálása után egy mintából 4-4 adagot égettem el, hogy az ebből számolt átlag minél hitelesebb eredményt adjon. A fatest vizsgálásánál már csak 3-3 adagot égettem el, mivel itt évgyűrűnként szétbontottam a fatestet és egy-egy résznek külön mértem meg a hamutartalmát. Az évgyűrűk szerinti felosztást a fatest belsejétől, a béltől kezdtem el. Ha lehetséges volt egy-egy évgyűrűt külön vizsgáltam, de a méréshez elegendő minimális tömeg kinyeréséhez általában szükség volt több évgyűrű összevonására. Ezt a műveletet kézzel, véső és kalapács segítségével végeztem, ami rendkívül munkaigényes folyamatnak bizonyult.

A szabvány előírja, hogy a vizsgálandó anyagot 1 mm-nél kisebb darabokra ledarálva abszolút száraz állapotra kell szárítani 103 °C-on. Ahhoz, hogy a darálást el bírja végezni a kis laboratóriumi daráló, körülbelül gyufaszál vastagságúra kellett hasogatni az évgyűrűnként különválasztott faanyagot. A porceláncsészéket, amelyekben az égetést végeztem, először fertőtleníteni kellett, hogy az előző mérés során esetlegesen visszamaradt anyagokat és szennyeződésekeltávolítsam. Ezért a programozható kemencében 550 °C-on 60 percen keresztül égettem a csészéket. Ezután az exszikkátorba helyeztem, majd 0,1 mg pontosságig lemértem a tömegét. A tömeget tekintve a szabvány csak minimum tömeget határoz meg, ami 1g. Én nagyjából 2-2,5 g faport mértem ki minden mintavételkor, mivel, ha nagyobb a bevizsgált tömeg, egzaktabb az eredmény is, amit kapunk. A minta bemérése után újra a fent említett pontossággal megmértem és feljegyeztem a csésze, valamint a minta együttes tömegét.

Ezután egy speciális kemencében, többlépcsős égetési menetrendet követve kezeltem a faanyagot. (5. ábra) Ezalatt a faanyag éghető komponensei elégték, a visszamaradt alkotórészek tömegével számolva megkaptam az adott minta hamutartalmát. Tömegmérést csak a kihűlt és exszikkátorba helyezett csészékkel lehetett elvégezni, szintén 0,1 mg-os pontossággal.



5. ábra
Égetési menetrend a hamutartalom szabványos vizsgálata során

A mérések közben használt eszközök:

- petri csésze
- porceláncsésze
- exszikkátor
- analitikai mérleg, 0,1 mg pontosságú (6. ábra)
 - o Kern - ABS-120-4
- daráló, 1 mm-es lyukszűrővel (7. ábra)
 - o IKA MF10 basic folyamatos üzemű őrlőgép

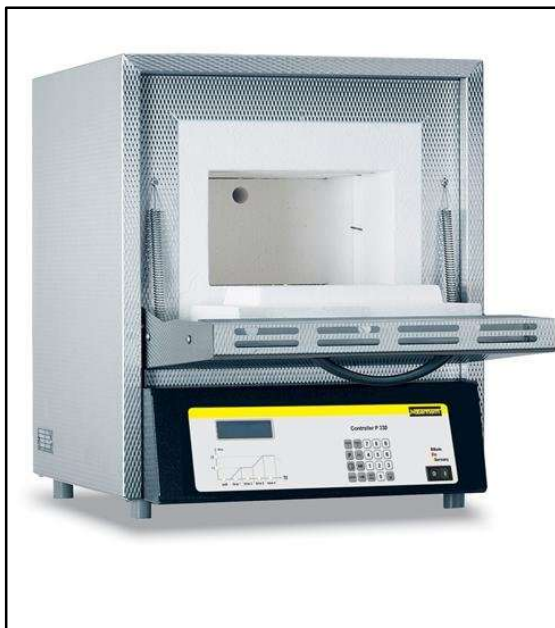
- kemence, idő és hőmérséklet függvényében programozható, min. 550 °C-ig (8. ábra)
 - o Nabertherm L5/11 izzító kemence
- szárítószekrény, minimum 103 °C-os fűtőhővel (9. ábra)
 - o Memmert - Universal Oven UN55



6. ábra
Kern ABS-120-4 analitikai mérleg



7. ábra
IKA MF10 basic őrlőgép



8. ábra
Nabertherm L5/11 izzító kemence



9. ábra
Mettler - Universal szárítószekrény (UN55)

A mért adatokból (üres csésze tömege; csésze + minta tömege; csésze + hamu tömege) az alábbi képlettel lehet kiszámolni a hamutartalmat:

$$A_d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100$$

Jelmagyarázat:

- A_d - hamutartalom (%)
- m_1 - üres csésze tömege (g)
- m_2 - csésze + minta tömege (g)
- m_3 - csésze + hamu tömege (g)

2.4.A fűtőérték mérésének elvi háttere, vizsgálat folyamata

A mérési folyamat bemutatásához szükségesnek tartom, hogy néhány alapvető fogalom definícióját ismertessem:

Égés: a tüzelőanyagok éghető részeinek gyors reakciója a levegő oxigén részecskéivel. Ez a jelenség tehát oxidáció, amely hőfejlődéssel jár. Az éghető anyag kémiaiilag kötött energiájának egy része hő formájában szabadul fel.

Fűtőérték: az elégetendő anyagból a tökéletes elégetés során felszabaduló hőmennyiség. Mértékegysége: kJ/kg vagy MJ/kg

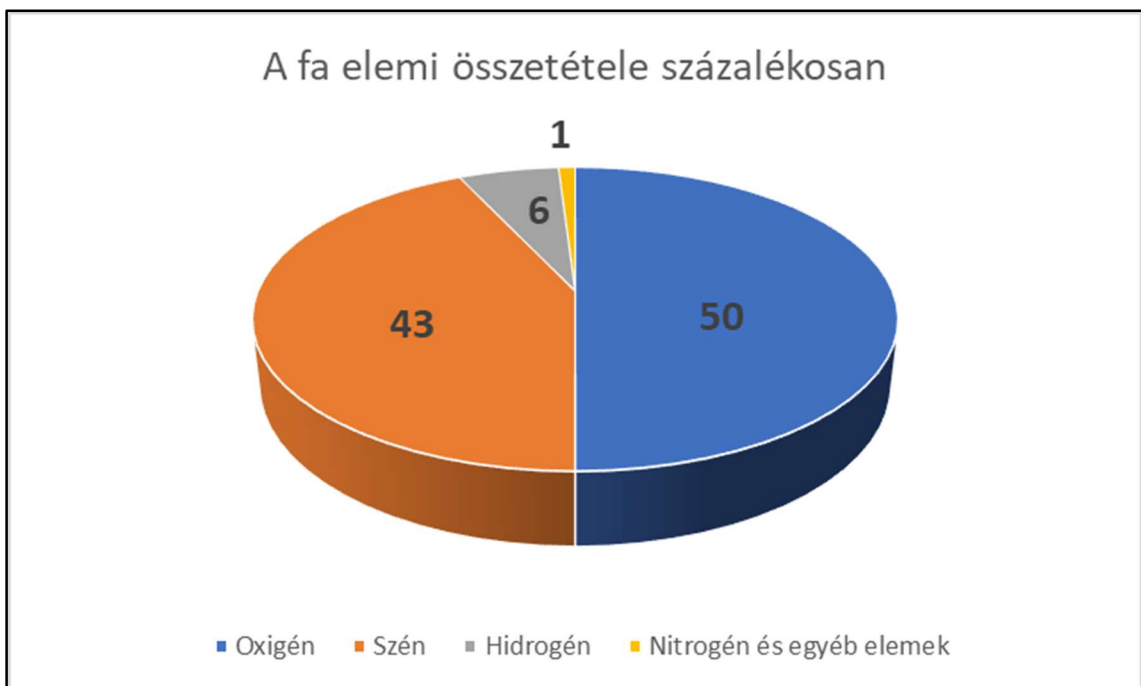
Égéshő: 1 kg tömegű anyag elégetése során keletkező energia. Mértékegysége: MJ/kg

A mai világban az a tendencia figyelhető meg, hogy a hőenergiát az esetek nagy részében valamilyen tüzelőanyag elégetésével állítják elő. A legtöbb esetben az égetés

légköri nyomáson történik, miközben gáz halmazállapotú égéstermék (füstgáz) keletkezik. A tüzelőanyag kémiai összetételével azonos fontosságúak a fizikai tényezők is. Ilyenek az égéstér kialakítása, a levegő bevezetés, a füstgáz elvezetés stb.

A faanyag fűtőértékéhez először az égéshőt kell meghatároznunk. Ehhez a számoláshoz csak az anyag elemi összetételét kell ismernünk, amely az alábbi diagramon látható. (10. ábra) A faanyagban ez általában így épül fel százalékosan kifejezve:

- C = 50%
- O = 43%
- H = 6%
- N + egyéb = 1%



10. ábra
A faanyag elemi összetétele

Az anyagösszetétel segítségével a következő képletbe behelyettesítve kapjuk meg az égéshőt.

$$E = 34000 * C + 142000 \left(H - \frac{O}{8} \right)$$

A diagramban szereplő adatok segítségével az így kapott eredmény 17887,5 kJ/kg. Amint azt a dolgozatom elején is írtam, a fa egy inhomogén anyag. Ennek következtében az égéshő sem határozható meg pontosan egy általános értékkel. Egy egyezményes értékre azonban szükség van az egyszerű számolásokhoz, ezt tanulmányaim szerint 17,77 MJ/kg az összes fafajt tekintve.

Amikor a faanyagot elégetjük, a fentebb leírt elemi összetétel megváltozik, mivel a fatestben lévő hidrogénből és oxigénből víz keletkezik, ami a fában lévő nedvességtartalommal együtt vízgőz formájában távozik. Ezért a gyakorlatban felhasználható hőmennyiség (ami a fűtőérték) kisebb, mint a teljes égéshő, hiszen a felszabaduló vízgőz energiát nyel el. (Molnár S., 2004) Ezt a különbséget az alább feltüntetett módon kiszámolt korrekciós tényezővel lehet kiszámolni:

$$F = \frac{E - 2500 * (u + 9H)}{1 + u} \text{ kJ/kg}$$

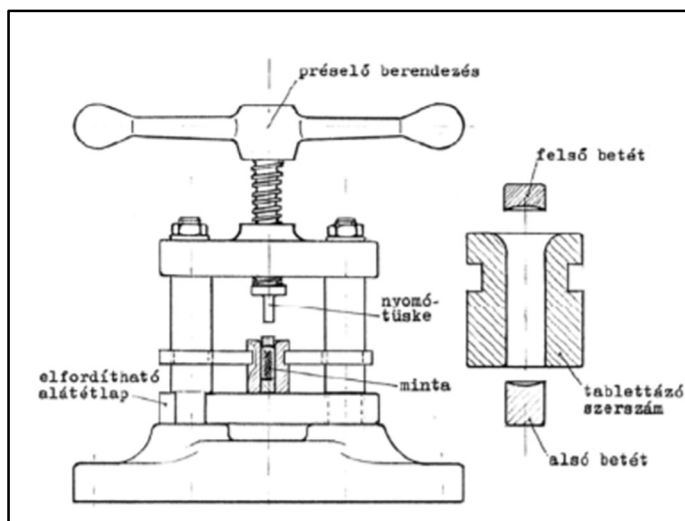
Mivel a méréseket minden esetben a faőrlemény teljes kiszárítása előzte meg, így a fenti képletet tovább lehet egyszerűsíteni. Hiszen, ha abszolút száraz állapotban végezzük a mérést, a képletből kiesik az „u” értéke, ami a nedvességtartalmat jelzi:

$$F = \frac{E - 2500 * (0 + 9 * 0,06)}{1 + 0}$$

$$F = E - 2500 * 0,54 \text{ kJ/kg}$$

$$F = E - 1350 \text{ kJ/kg}$$

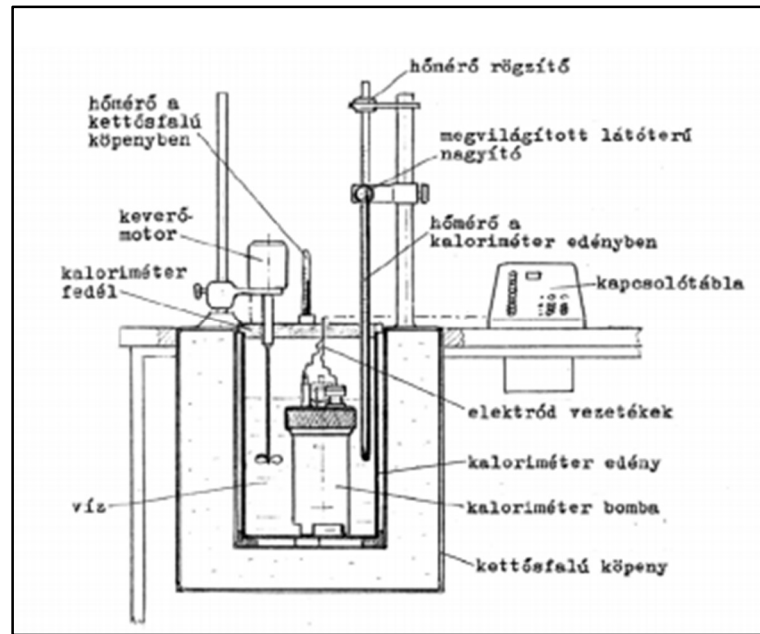
Az égéshő meghatározásához egy precíziós műszert, a kalorimétert használtam. Mielőtt az eszköz felépítésére rátérnék, a vizsgálandó minták előkészítését szeretném taglalni. Az előkészítés első fele gyakorlatilag megegyezik a hamutartalom vizsgálatnál ismertetett módszerrel. Az 1 mm-es szemcseméretűre darált és abszolút száraz állapotra szárított őrleményt közvetlenül a mérés megkezdése előtt egy speciális présel pasztillákká tömörítettem. (11. ábra) A lepréselt pasztilláknak megközelítőleg 1 g tömegűnek kellett lenniük, amit 0,1 mg pontossággal lemértem és dokumentáltam.



11. ábra
Pasztillakészítő prés felépítése

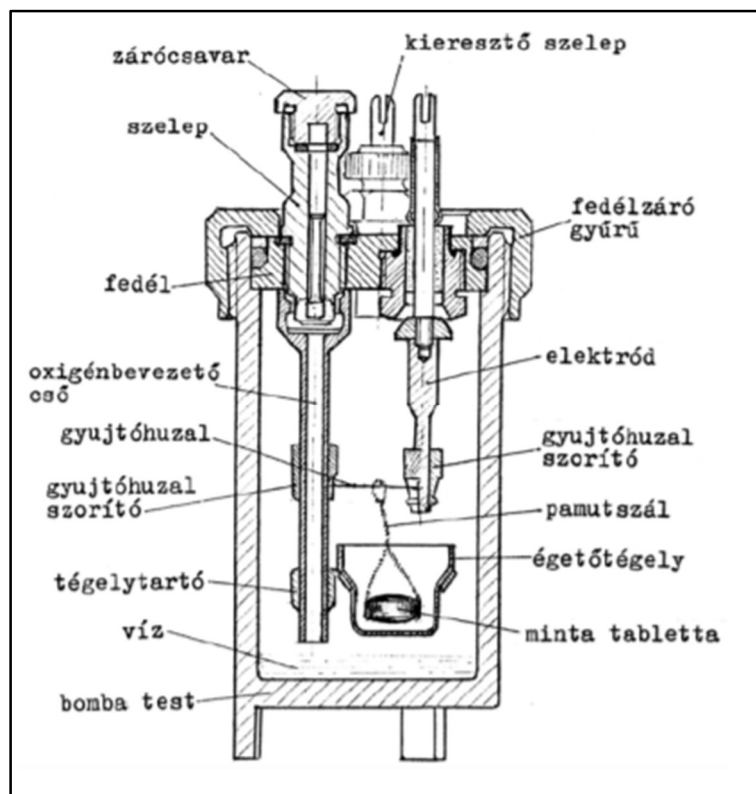
A kalorimétert arra fejlesztették ki, hogy szilárd anyagok égéshőjét vizsgáljuk vele. A vizsgálandó anyag tökéletes elégését ennél a berendezésnél úgy segítették elő a tervezők, hogy az égés egy zárt, oxigénnal dúsított környezetben megy végbe. A szerkezet 2+1 külön egységből áll. A fő gépegység magát az égetést végző kaloriméter. Ennek fő részei a kaloriméterbomba, a kettősfalú köpennyel ellátott edény, a keverőmotor és egy-egy hőmérő az edényben, illetve a kettősfalú edény köpenyében. (12. ábra) Ehhez csatlakozik egy külső vízkeringető tartály továbbá

biztosítani kell oxigént is a géphez, ez az én esetemben egy különálló tartályból áramlott a készülékbe. A géphez használat előtt rá kell csatlakoztatni az oxigéntartályt, és a vízkeringető berendezést. Miután biztosított az előírt 30 bar, a gép beindítása után pár perccel használható is a gép.



12. ábra
A kaloriméter sematikus ábrája

Mindenekelőtt a műszert kalibrálni kell egy ismert égéshőjű mintával. (etalon pasztilla) Így van a gépnek viszonyítási alapja, amihez a többi eredményt hasonlítani tudja, ezáltal pontos értéket ad végeredményként. Ezután lehet a kísérlet tárgyát jelentő anyagokat vizsgálni. A kiválasztott mintát egy úgynevezett bombában kell elhelyezni, ami egy speciális, nyomástűrő acélhenger. A bombán belül kialakításra került egy szelep, amely az oxigén be- és kieresztésére szolgál, valamint egy gyulladást beindító szerkezet is ami egyben a behelyezett pasztillát tartó fém égetőtégelynek is helyet ad. (13. ábra)



13. ábra
A kaloriméterbomba sematikus ábrája

Az általam használt típuson egy gyújtóhuzalra manuálisan felhelyezett pamutfonál biztosította a vele érintkező pasztilla begyulladását, ezért az égetőtégelyben úgy kellett elhelyezni a pasztillát, hogy az mindenképpen hozzáérjen a fonálhoz. A gyújtás elektródok végzik el, amelyek 12-14 V-os feszültséggel izzásba hozzák a gyújtóhuzalt. A bombát egy-egy vizsgálat elindítása előtt a kaloriméter fedelére kell rögzíteni alulról, hogy a fedél lezáródása után megfelelő pozíciót vegyen fel a bomba az edényen belül. (14. ábra) Egyik utolsó lépésként ellenőrizni kell a pontos illeszkedést a fedéllel, erre a gép is minden esetben figyelmeztet a kijelzőjén megjelenő felirattal. A mérés elindítása előtt a gépbe be kell táplálni az adott minta tömegét és sorszámát.



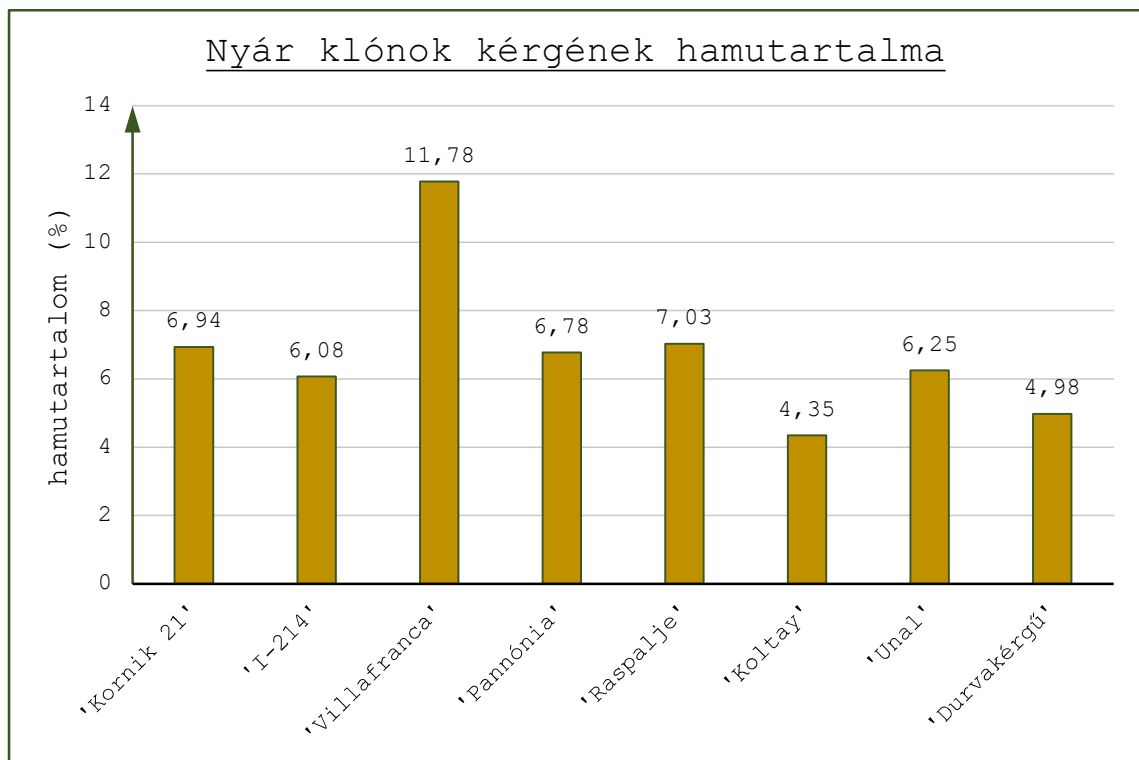
14. ábra
IKA 2000 C kaloriméter

A mérés megkezdésével az égetés során felszabaduló hőenergiát az edényben lévő víz veszi fel. Szükséges megakadályozni, hogy a felmelegített víz kifelé leadja a felvett hőenergiát. Ezért van az edénynek kettős, vízzel töltött fala. Fontos szerepe van még az edényben elhelyezett keverőberendezésnek is. Megakadályozza, hogy a vízben hőmérsékletkülönbségek jöjjenek létre és a mérés eredménye pontatlan legyen. A hő mérése elektronikus módon és tízezred °C-os pontossággal történik.

A gépnek, miután elindítottuk az adott mérést, 10-15 percre van szükség az égéshő értékének megállapításához. Az eredményt MJ/kg-ban adja meg amiből a feljebb kiszámolt 1350 kJ/kg-os korrekciós tényezőt levonva megkapjuk a tényleges fűtőértéket.

2.5. Hamutartalom vizsgálatok eredményei kéregben

A mért hamutartalmak kiértékelését szeretném egy összevont diagrammal kezdeni. A 15. ábrán jól megfigyelhető, hogy a vizsgált nyárok átlagos hamutartalma a kéregben 6-7% körül mozog (egész pontosan 6,77% az összes klón átlaga). Ezek közül 3 klón van, amelyeknek jelentősen eltér az eredménye az átlagtól. A legmagasabb értéket mutató klón a 'Villafranca' 11,78 százalékkal. A legalacsonyabb hamutartalmat a 'Koltay' elnevezésű nyár produkálta 4,35%-kal, ami csaknem egyharmada a 'Villafrancának'. Az átlagos értéktől jelentősen a 'Durvakégű' nyár eredménye tér még el, 4,98%-os hamutartalommal.

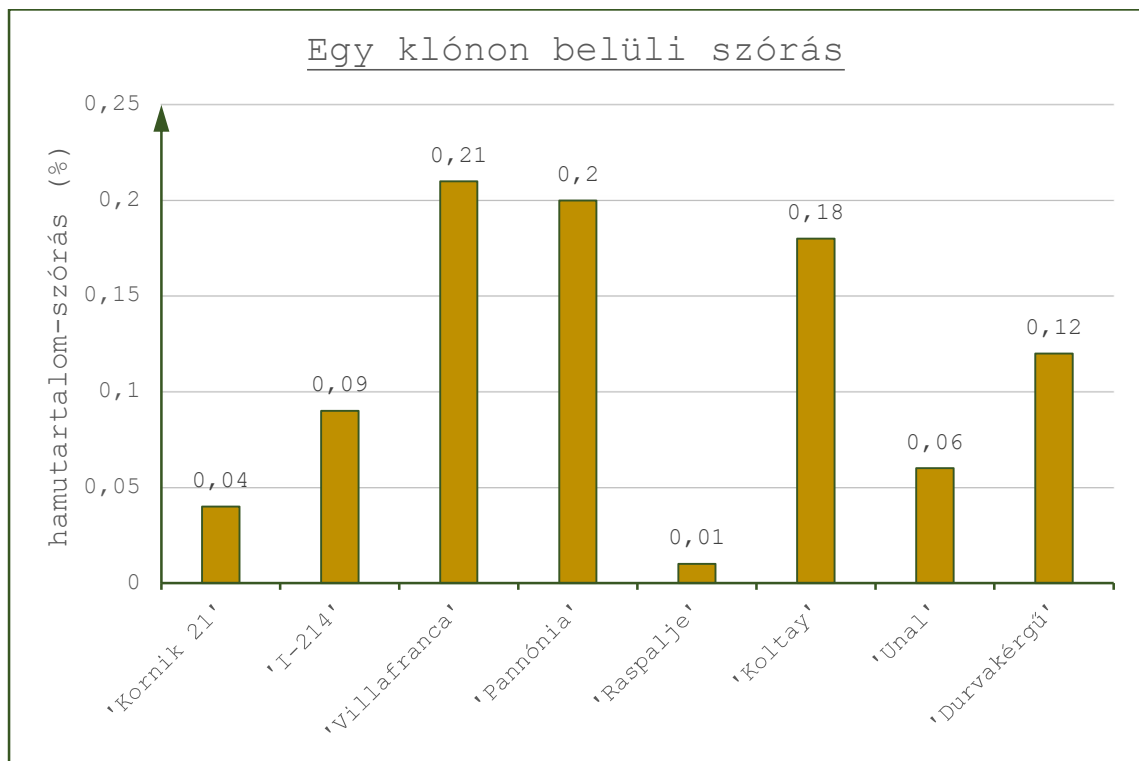


15. ábra
Nyár klónok kérgének hamutartalma

Kevesebb mint 1 százaléknyi ingadozás van azonban 5 klón esetében. Ezek a 'Kornik21' az 'I-214' a 'Pannónia' a 'Raspalje', valamint az 'Unal'. Értékeik 6,08% ('I-214') és 7,03% ('Raspalje') között mozognak, ami mindössze 0,95% eltérést jelent.

Érdekes még, hogy a legmagasabb érték ('Villafranca') 57,5 %-kal magasabb, mint az átlag, a legalacsonyabb érték ('Koltay') pedig 36,9%-kal kisebb, mint a 6,77%-os átlag. A kettő közötti 7,43%-os differencia magasabb érték, mint az összes klón átlaga.

A következő diagramban (16. ábra) egy-egy klón kérgében mért adatok közötti szórás látható. Ha figyelembe vesszük a faanyag inhomogén tulajdonságait, teljességgel kijelenthető, hogy elenyésző az adatok szórása. Ez igazolja azt, hogy elegendő volt a 4 mérés fafajonként.



16. ábra
Egyes klónok kérgéin belüli szórás

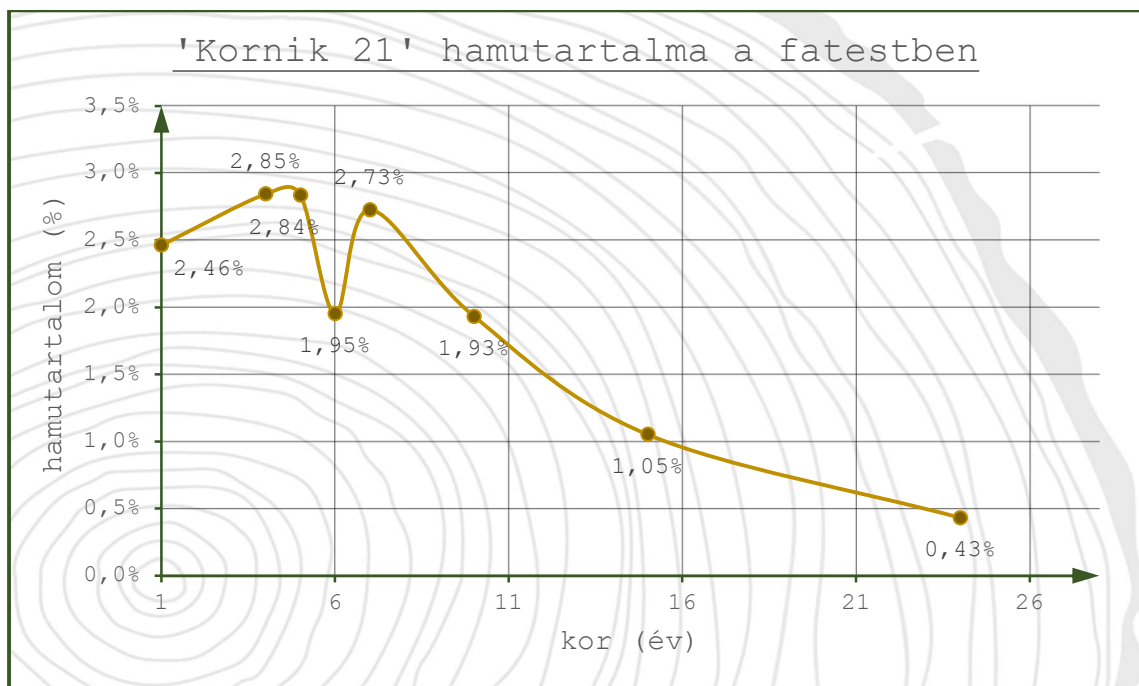
Három kiugróan magas érték látható az ábrán, ezek a 'Villafranca' (0,21%), a 'Pannónia' (0,2%) és a 'Koltay' (0,18%). Meglepő, hogy a 'Raspalje' klónnál mindössze 0,01 százalékos szórás tapasztalható.

2.6. Hamutartalom vizsgálatok eredményei fatestben

A következő bekezdésekben a vizsgált fafajok hamutartalmát diagramok segítségével fogom bemutatni, majd értékelni. Az ábrákon a függőleges tengelyen a mért hamutartalom látható 0,5 százalékos bontásban, míg a vízszintes tengelyen a faanyag kora évgyűrűk szerint felosztva. Minden klón esetében az volt a cél, hogy részletes és pontos kimutatást kapjunk a hamutartalomról az évgyűrűkre tekintve.

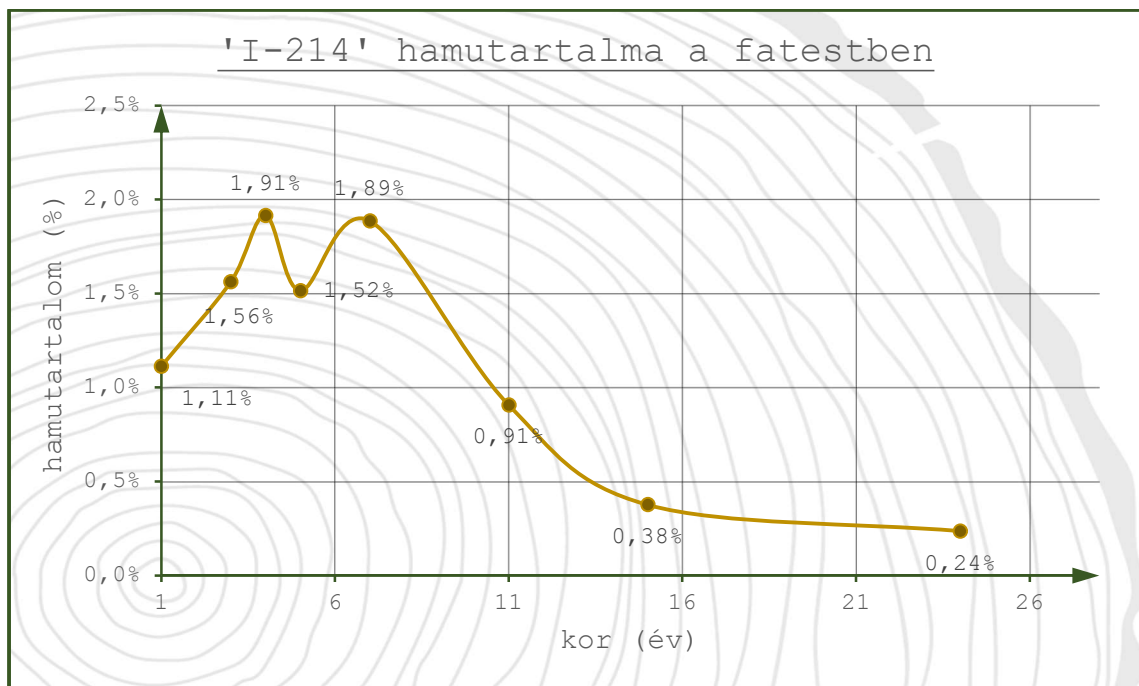
Általánosságban elmondható, hogy a bétől indulva az első 5-6 gyűrű megfelelő méretű és szemmel jól elkülöníthető volt ahhoz, hogy elegendő mintát tudjak kivenni belőlük. Azonban a kéreg felé haladva egyre vékonyodtak és összemosódtak a határok, így nem lehetett tartani az egy-két évgyűrűs bontást. A diagramokon is látszódik, hogy a mérési pontok ritkulnak a fa korának előrehaladtával. Eleinte egy-két évgyűrűt külön-külön tudtam vizsgálni, viszont az utolsó mérési pontoknál akár 6-8 évgyűrű adatait is össze kellett vonnom az elégséges faanyag kinyeréséhez.

A 17. ábra a 'Kornik 21' klón fatest hamutartalmának elosztását mutatja. Látható, hogy a kezdeti években magasabb hamutartalom mérhető, majd az évek során fokozatosan csökken. Az átlag 2,03%, míg a legmagasabb érték a negyedik évgyűrűnél látható 2,85%. Az utolsó mérési ponton (körülbelül a 20-28. évben) az átlagnak csaknem ötödére, 0,43%-ra esett vissza a hamutartalom. Izgalmas jelenséget figyelhetünk meg a hatodik gyűrűnél: a hamutartalom itt hirtelen csaknem egy százalékkal lecsökken, azonban rögtön a következő mérési pontnál visszaugrik ugyanennyit. A 'Kornik 21' egyes klóntársainál is fellelhető ez a tendencia, amelynek esetleges okait egy későbbi bekezdésben fejtem ki.



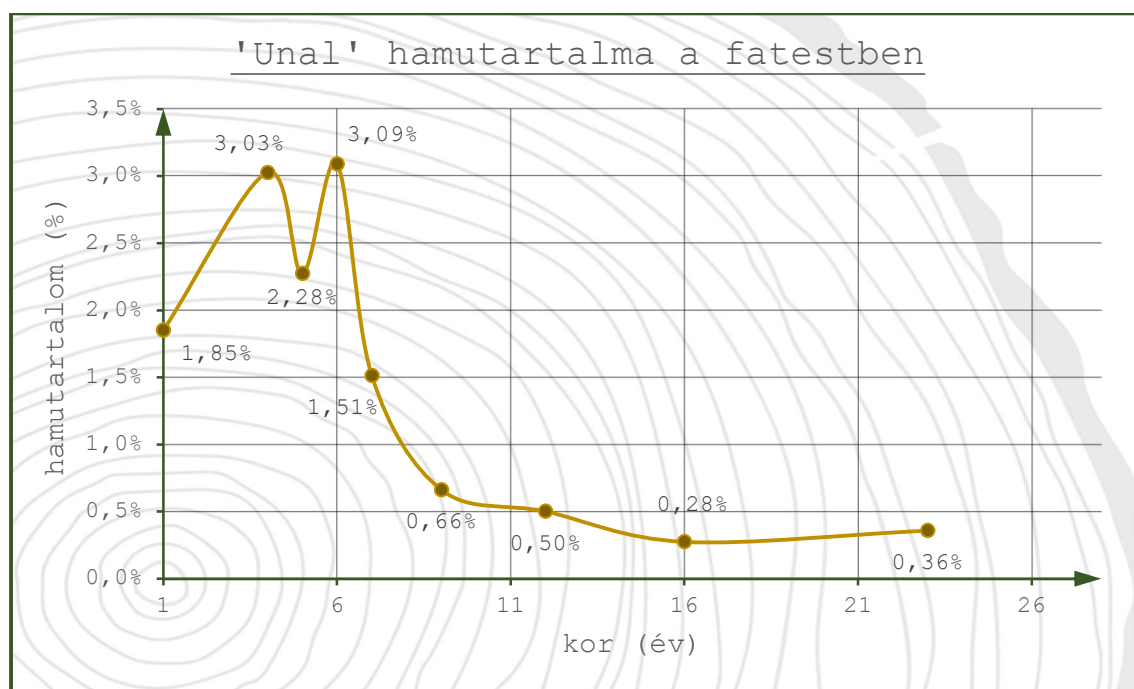
17. ábra
A 'Kornik 21' klón hamutartalmának eloszlása fatestben

Az 'I-214' nevű nyár értékei a 18. ábrán láthatóak. Ennél a fafajnál is a negyedik évben mutatkozik a legmagasabb érték 1,91%-kal. Az 5-6. évgyűrűben itt is jól kivehető az előzőekben tárgyalt visszaesés, ám most mindössze fél százalék körüli a csökkenés mértéke. Az átlagérték itt csaknem fele az előző bekezdésben taglalt 'Kornik 21' átlagához viszonyítva, míg ott 2,03%, addig most 1,19%. A minimum értéket most is az utolsó évgyűrűben találjuk, 0,24%-kal. Összességében elmondható, hogy az 'I-214' nevű klón hamutartalom értékei nagyságrendileg feleakkorák, mint a 'Kornik 21' társának.



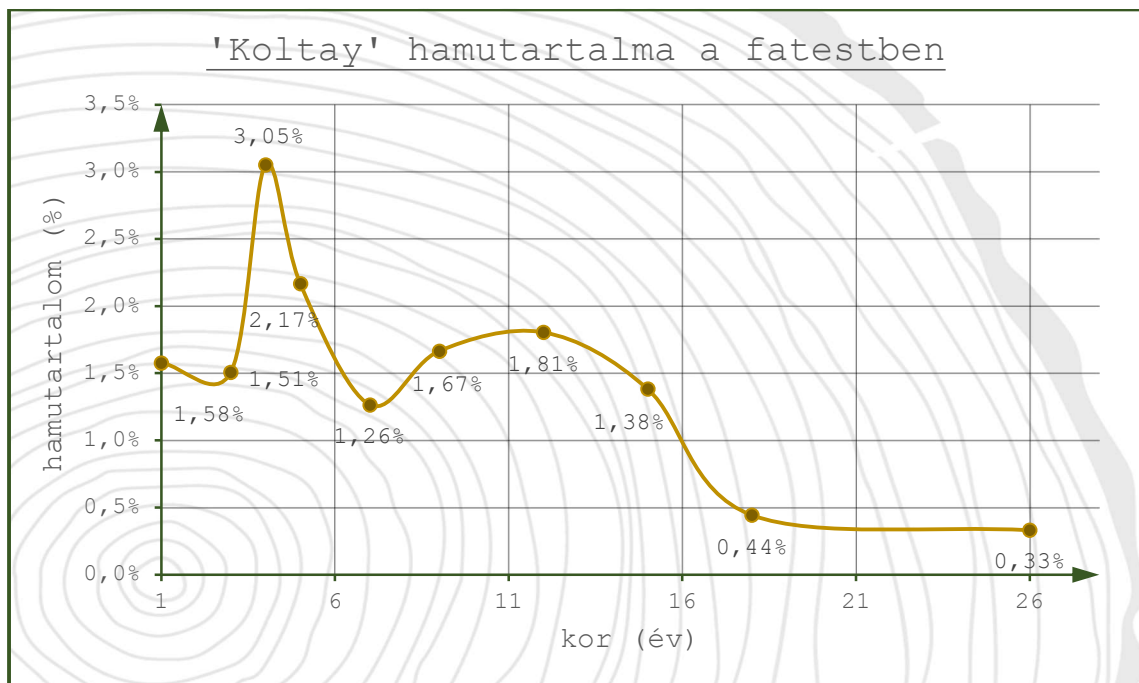
18. ábra
Az 'I-214' klón hamutartalmának eloszlása fatestben

A sormintába szépen beillő 'Unal' elnevezésű klón értékei a 19. ábráról olvashatóak le. Az előző két fafajhoz hasonlóan a kezdeti magas hamutartalom után drasztikus visszaesés figyelhető meg, viszont ebben az esetben nem folytonos az apadás az utolsó mérési pontig, mert ott ismét minimális növekedés figyelhető meg. Különbség még az is, hogy a maximum értéket itt a 6. évben éri el a hamutartalom, amely kivételes módon az előző nyár klónok esetében már megfigyelt visszaesés után található. Az 'Unal' az egyik legnagyobb kilengést produkáló klón, hiszen az minimum (0,28%) és a maximum érték (3,09%) között 2,81% különbség adódik.



19. ábra
Az 'Unal' klón hamutartalmának eloszlása fatestben

A fenti három fafajhoz társul diagramképe alapján a 'Koltay' nyár is. (20. ábra) Jellegzetes értékeit figyelve szembeötlő a hasonlóság az 'Unal' nyárral. Átlagértéke csupán 0,01%-kal, minimuma 0,05%-kal magasabb, maximuma pedig csak 0,04%-kal kevesebb mint klóntársának. Ami feltűnő eltérés az eddigi diagramokhoz képest az az, hogy a második hullám feleakkora, mint a visszaesés előtti első, ugyanakkor hat-hét éven át elnyúlik az eddig megszokott egy-két éves kicsúcsosodás helyett.



20. ábra
A 'Koltay' klón hamutartalmának eloszlása fatestben

Mielőtt a hátralévő klónok eredményei kiértékelésre kerülnek, szeretném summázni az eddig ismertetett fafajok közötti hasonlóságokat. Mindegyik diagramképről elmondható, hogy hasonló tendenciát mutatnak a fatestben lévő hamutartalom változásáról. A kezdőértékek 1,11% és 2,46% közé estek, majd a csúcspontot elérése után (1,91% - 3,09%)

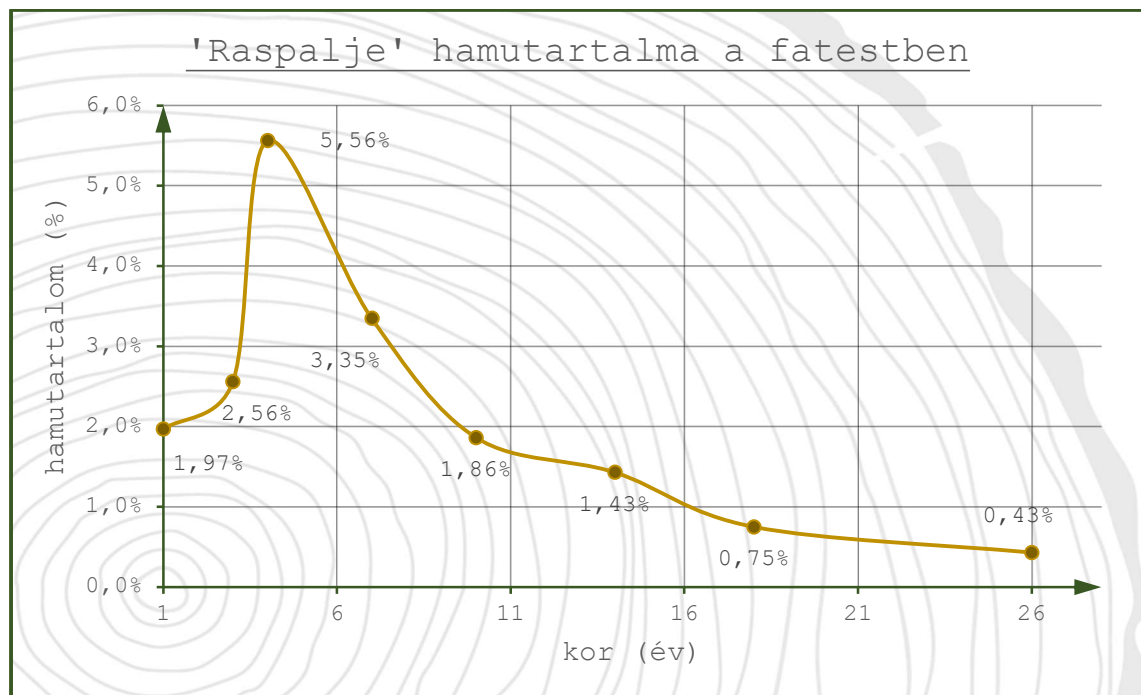
egy kivételével folyamatosan csökkenve elérték minimum értéküket 0,24% és 0,43% között.

A markánsan megjelenő hirtelen visszaesés mind a négy nyár esetében szignifikáns jelenség, amit az elvégzett munka egyik legfigyelemreméltóbb eredményének tartok. Kutatásaim hiánypótló jellegét mi sem bizonyítja jobban, hogy semmilyen hasonló problémát feltáró szakirodalommal nem találkoztam. Az évgyűrűk szerinti hamutartalomvizsgálat újszerű, eddig feltáratlan kutatási területekre nyit lehetőséget. A probléma megoldásához a fahamu összetételének vizsgálata és elemzése az első lépés, ezért szakirodalmak tanulmányozásával és rövid kitekintést tesztek mielőtt folytatom dolgozatomat a többi nyár klón eredményeinek analizálásával.

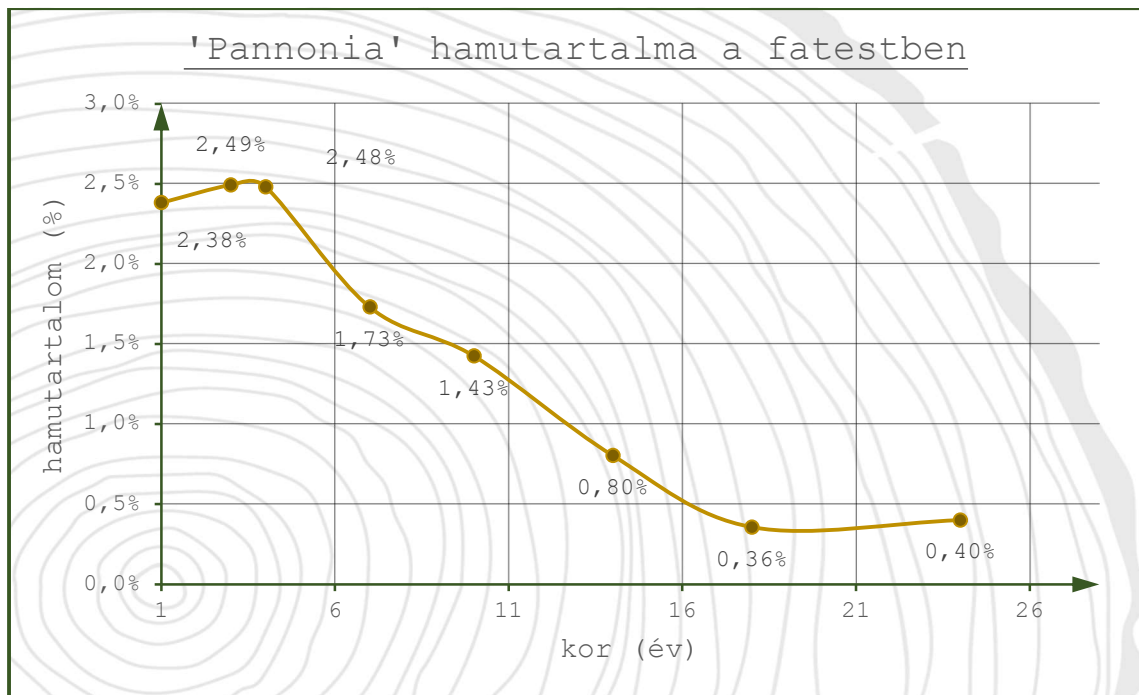
A fahamu összetételéről ismert, hogy legnagyobb részben alkálifémek és alkáliföldfémek teszik ki. Ezek közül is kiemelkedik a kalcium és a kálium, valamint még a magnézium. Természetesen ezeken kívül rengeteg (közel 70) nyomelem lelhető fel a fahamuban, amelyek rendkívül kicsi koncentrációjuk ellenére nagyon fontos szerepet töltenek be a fa biokémiai folyamataiban. (Németh G., 2009) A fahamu arányának változására és elemi összetételére hatással van a fafaj, a termőtalaj tulajdonságai, a növekedés során végbemenő éghajlati változások és az elégetett faanyag minősége is. (Füzesi I., 2014) E rövid betekintés után megállapítható, hogy a probléma megoldásához elengedhetetlen további kutatások elvégzése. Ezek témáit és esetlegesen felmerülő más problémáit a 3-as alcím „Következtetések, javaslatok” megnevezésű bekezdésében fogom kifejezni.

A fennmaradó négy nyár közül először a 'Raspalje', valamint a 'Pannónia' eredményeit értékelem. (21. ábra; 22. ábra) Mindkét fafajnál fellelhető a kezdeti gyors hamutartalomnövekedés, majd a negyedik év környékén elért

csúcspont utáni lassabb apadás. Különös jelenség, hogy egyedülként a 'Raspalje' klónnál a második és az ötödik évgyűrű között több mint a duplájára ugrik a hamutartalom 2,56%-ról 5,56%-ra. Hasonló eset egyedül a 'Koltay' nyárnál figyelhető még meg, ahol 1,47%-kal nőtt meg a fahamu ebben az időszakban. A 'Pannonia' nyár diagramképe az eddig vizsgáltak közül a legegyszerűbben leírható, mivel a maximum eléréséig lineárisan emelkedik, majd onnan a minimumáig szintúgy csaknem egyenesen csökken. Az növekedési szakasz 2,38%-tól 2,49%-ig tart, majd a 0,36%-os minimumérték elérése után egy elenyésző emelkedést bemutatva 0,4%-nál ér véget.



21. ábra
A 'Raspalje' klón hamutartalmának eloszlása fatestben



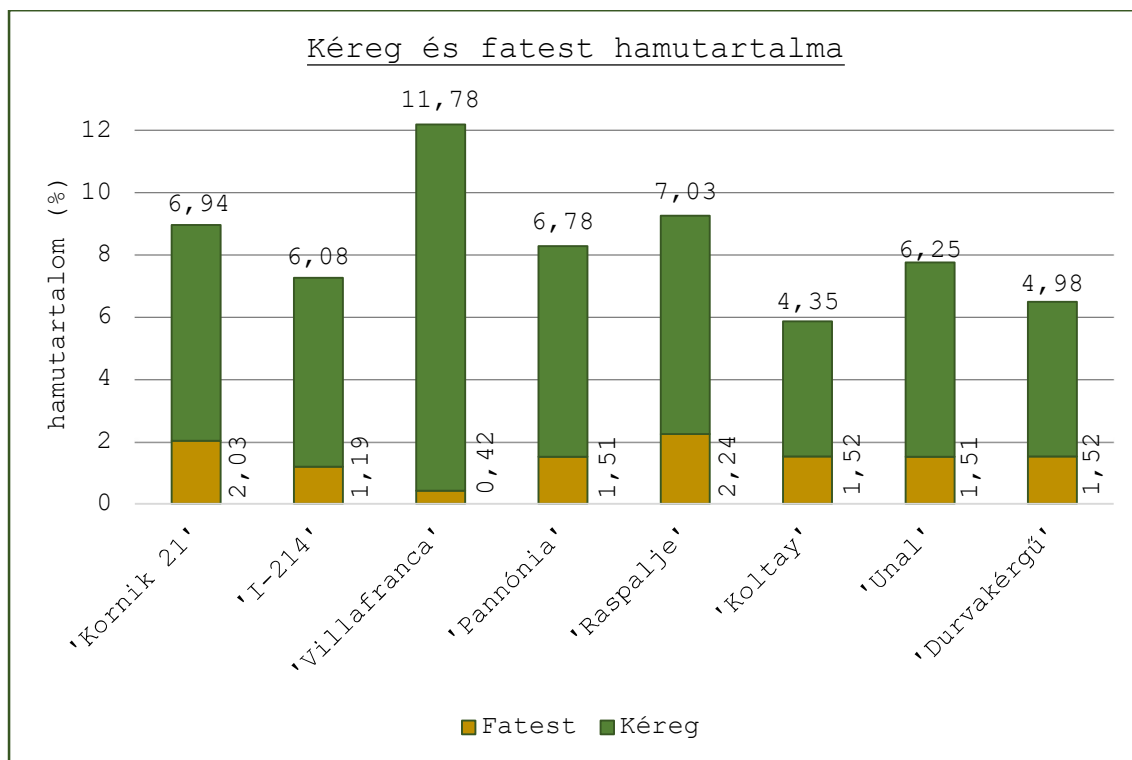
22. ábra

A 'Pannonia' klón hamutartalmának eloszlása fatestben

A 'Villafranca' és a 'Durvakérgű' elnevezésű nyárak eredményei nem bírnak jelentőséggel az évgűrűk szerinti kimutatásban. Ez elsősorban abból adódik, hogy a két klón esetében nem tudtam elég sűrűn mintákat kinyerni az évgűrűkből. A másik hat fafajnál a bétől indulva az első 5-6 évgűrű megfelelően vastag és szemmel jól elkülöníthető volt ahhoz, hogy elegendő mintát tudjak kivenni belőlük. Az átlagos hamutartalom megállapítására elegendő mérést sikerült elvégezni, így a későbbi, összefoglaló táblázatokban látható majd ezeknek a nyár klónoknak is az átlagos hamutartalma.

2.7. Hamutartalom vizsgálatok összevont eredményei a fatestben és kéregben

A fatestben és kéregben mért hamutartalmat hasonlítom össze egymással egy rövid fejezetben, amihez egy oszlopdiagram lesz segítségül. (23. ábra)



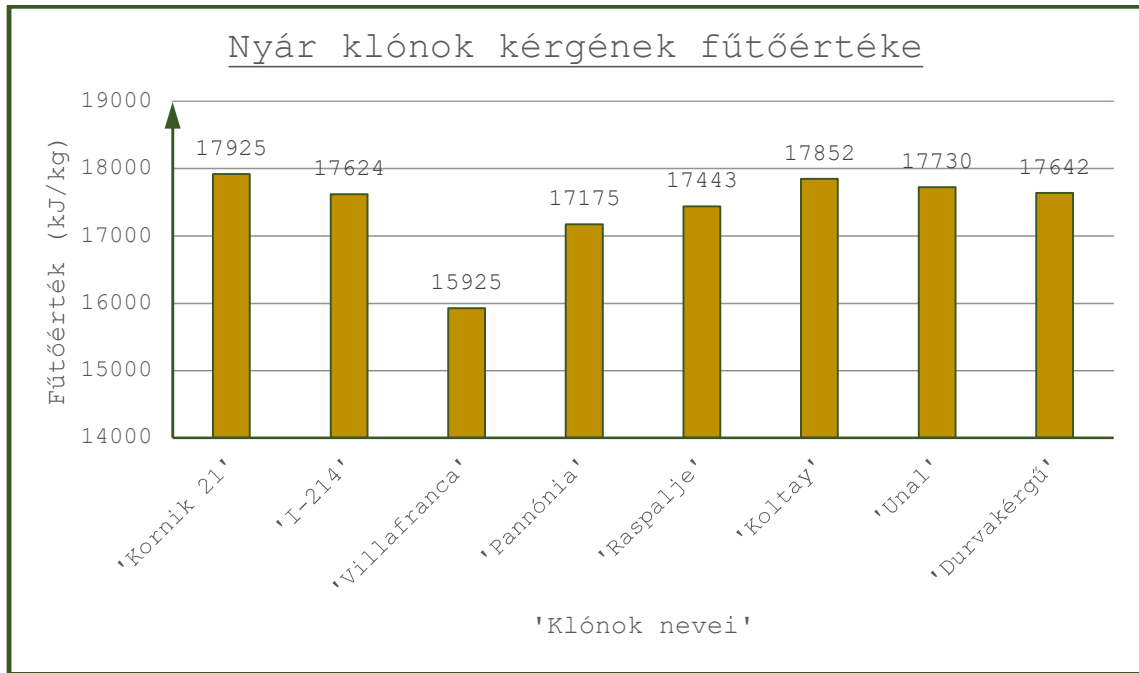
23. ábra
A fatest és kéreg hamutartalma összevonva

Érdekes megfigyelni, hogy az összes vizsgált fajta közül a 'Villafranca' fatestében a legmagasabb a hamutartalom, a kéregében pedig az összes közül a legalacsonyabb. Minden nemesnyár esetében megfigyelhető, hogy a kéreg hamutartalma sokszorosa a fatestben mértnek. Általánosságban a vizsgált fajtáknál 3-5-szöröse a kéreg hamutartalma. A 'Koltay' esetében látható a legkisebb eltérés, és ez is csaknem háromszoros értékeket jelent. A legnagyobb pedig a 'Villafranca' esetben van, ahol százalékosan 28-szor több a hamutartalma a fatestnek, mint a kéregnek.

2.8. Fűtőérték vizsgálatok eredményei a fatestben és kéregben

Ebben a fejezetben a 8 nyár klón fűtőértékét fogom ismertetni, majd az adatok elemzésével és kiértékelésével folytatom dolgozatomat. A 24. ábrán a kéreg fűtőértéke

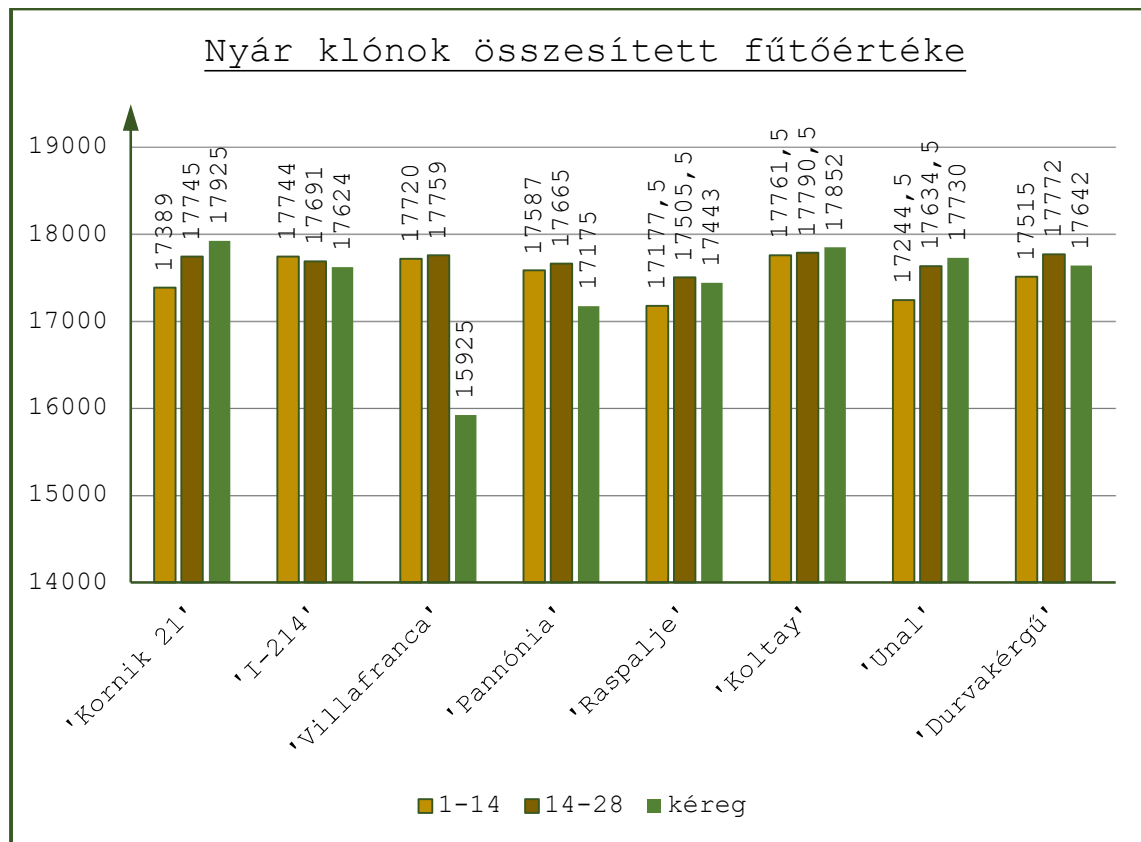
látható. Egy-egy mintából három-három vizsgálatot végeztem, majd ezek átlagából állt össze az alább látható diagram. A vízszintes tengelyen a nyolc klón látható, míg a diagram függőleges tengelye a fűtőértéket mutatja kJ/kg-ban kifejezve.



24. ábra
Nyár klónok fűtőértéke kéregben

A legmagasabb fűtőértéket a 'Kornik 21' klónnal végzett kísérletek mutatták 17925 kJ/kg-al, a legalacsonyabbat pedig a 'Villafranca' 15925 kJ/kg-os értékkel. A 'Villafranca' klónon kívül a többi hat fafaj 17175 kJ/kg és 17925 kJ/kg közötti fűtőértéket produkált, ez 750 kJ/kg-on belüli eltéréseket jelent. A 'Villafranca' kiugró értéke gondolkodásra ad okot, mert bár első ránézésre hibás adatnak tűnhet, több érv is az eredmény helyessége mellett szól. Először is, az általam végzett három vizsgálat eredménye igen csekély szórással bír: 16064 kJ/kg; 15902 kJ/kg; 15808 kJ/kg. Ezen felül, a hamutartalom mérések eredményeit nézzük, ott is megfigyelhető törvényszerűség, hogy a 'Villafranca' klón igen eltérő eredményeket mutat a klóntársaihoz képest. Mindezeket túl egy irodalmi forrás is

említést tesz 16 MJ/kg-os fűtőértékről nyárfa esetében, (Zoltán S. te al., 2011) így kijelenthető, hogy helytálló a mérési eredmény.



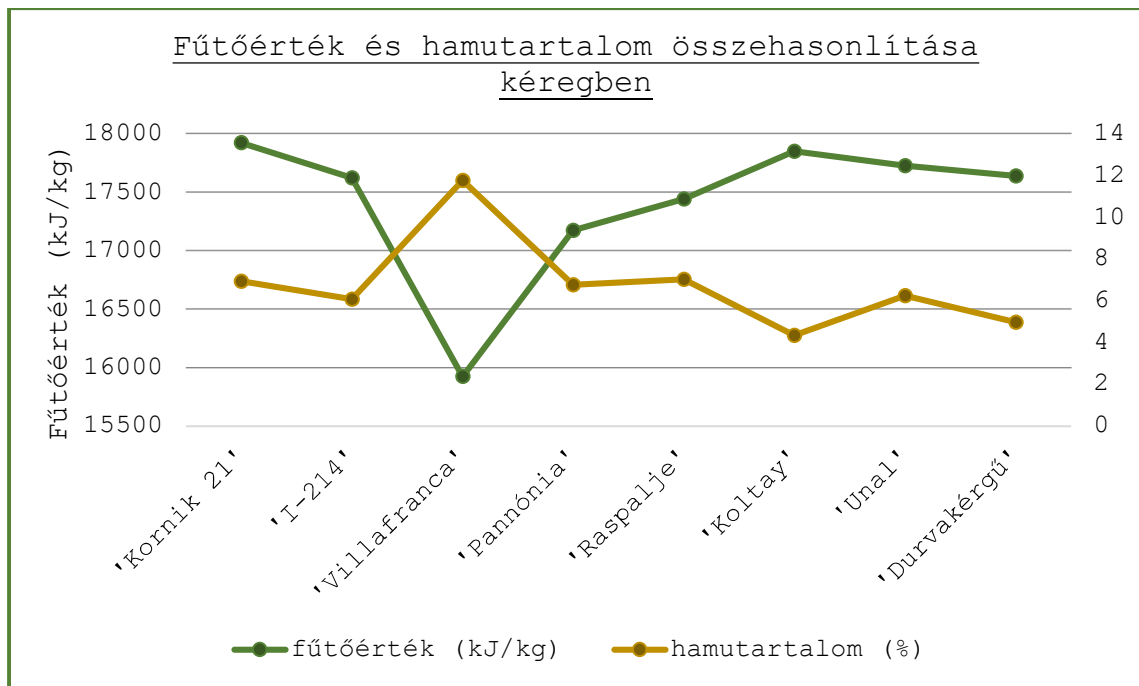
25. ábra
Nyár klónok összesített fűtőértéke

A 25. ábra egy diagramban összefoglalja az összes fafaj fűtőértékét. Mivel a vizsgálathoz szükséges alapanyag a hamutartalom vizsgálatához is használt ledarált minták maradéka volt, könnyedén két részre tudtam választani a fatestet. Először az első 14 évgűrűben mértem a fűtőértéket, majd a másik felében. Ezen felül feltüntettem a már taglalt kéreg fűtőértékét is az ábrán. A fatest két részének fűtőértékének kapcsolatáról elmondható, hogy az 'I-214'-en kívül a klónok mindegyikénél a külső, „szíjácsos” részében mérhető nagyobb fűtőérték. Az eredményekből jól látható, hogy nincs szignifikáns különbség a külön vizsgált fatesteket tekintve. Ugyanez elmondható akkor is, ha ezeket az adatokat a kéreg fűtőértékeivel összevetjük. Nincs

semmiféle tendencia vagy szabályszerűség. Egyedül a 'Villafranca' klón produkált jóval kisebb értékeket a kéregben, mint fatestben. Így megállapítható, hogy bár hamutartalmat tekintve jelentős különbségek jelentkeznek fatest-kéreg viszonylatban, ez általában nincs kihatással a fűtőértékre.

2.9. Hamutartalom és fűtőérték együttes vizsgálata

A kutatási eredményeim zárásaként, ebben a fejezetben összefüggéseket keresek a hamutartalom és fűtőérték között. Először a kéregben mért eredményeket vetem össze egymással. Ez a 26. ábrán figyelhető meg. Az adatok ismerősek lehetnek már, de most egy diagramban hasonlítom össze őket, egyensúlyba hozva a fűtőérték és a hamutartalom mennyiségét a vizsgálhatóság érdekében. Az információk segítségével megállapítható, hogy a 'Villafranca' esetében az alacsony fűtőérték egyértelműen a magas hamutartalom következménye. Bár vannak ellenpéldák, de két érték közti logikus összefüggést jeleníti meg a 'Koltay' diagramképe is, ahol a legalacsonyabb hamutartalom mellé az egyik legmagasabb fűtőérték párosul.

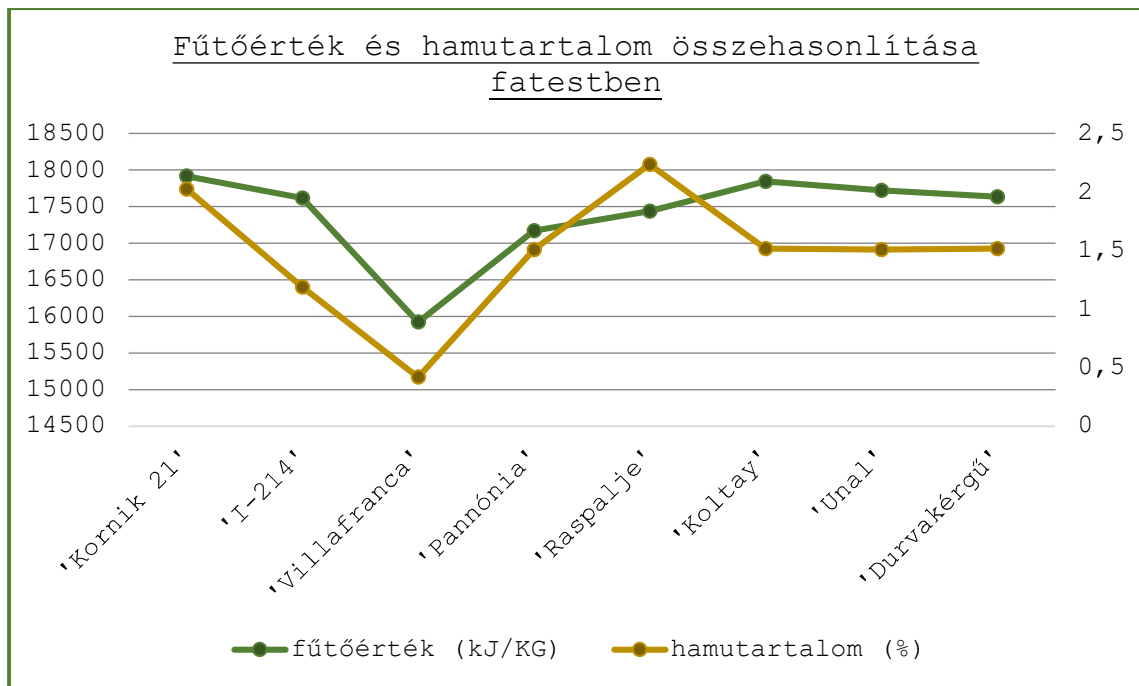


26. ábra

Nyár klónok fűtőértékének és hamutartalmának összehasonlítása kéregben

A többi adatot figyelve összességében megállapítható, hogy nem mindig magától értetődő ez a fordított arányosság a fűtőérték és a hamutartalom esetében.

A 27. ábrán található adatok tökéletesen mutatják, hogy az egyes kérgeknél fellelhető törvényszerűség a fatestek esetében egyáltalán nem figyelhető meg. Sőt: a két diagramvonal mondhatni leköveti egymás mozgását a fafajokat tekintve. A 'Villafranca' klónt figyelve megállapítható, hogy ez a fafaj profódukálja a legalacsonyabb fűtőértéket, (15925 kJ/kg) valamint a legkisebb hamutartalmat is. (0,42%) A 'Raspalje' nyárat nézve pedig kiderül, hogy a legmagasabb hamutartalom (2,24%) mellé, átlag feletti fűtőérték tartozik. (17443 kJ/kg)



27. ábra
Nyár klónok fűtőértékének és hamutartalmának összehasonlítása fatestben

3. Következtetések, javaslatok

Amint már korábban utaltam rá, a következő fejezetben a kutatási eredményeim kiértékelése során megállapított összefüggéseket és problémák kerülnek bővebben kifejtésre. Elsősorban négy klón ('Kornik 21' 'I-214' 'Unal' és 'Koltay') hamutartalmának vizsgálati eredményeiben észrevehető szembeötlő hasonlóságról lesz szó. Hogy a kezdeti növekedést majd az ezután bekövetkező gyors visszaesést és emelkedést követő lassú hamutartalom fogyást mi okozhatja, nem lehet egyszerűen megállapítani. Mint már említettem, a hamu arányát változtathatja az elemi összetétel, az éghajlat, a termőtalaj, valamint az elégetett faanyag minősége is. Így több kutatást is szükséges levezetni, amennyiben pontos választ szeretnénk kapni.

Elsősorban én dendrokronológiai kutatások eredményeit vizsgálnám meg amelyek a termőföld közelében történtek. Így az időjárásban és az esetleges termőföld összetételében bekövetkező elváltozásokat is ki lehetne szűrni. Az 1994 és 1998 közötti időszakot lenne célszerű részletesebb vizsgálat alá vetni, ugyanis drasztikus változások az 1991-ben telepített nyárok 3-7 évében figyelhetők meg.

Amennyiben a fent említett kutatások nem vezetnek eredményre, a dolgozatban említett módszerhez hasonlóan más fafajok hamutartalmának megvizsgálásával folytatnám a munkát. Így kiderülhetne, hogy más fafajra is jellemző-e a hamutartalomban fellelhető változékonyság. A vizsgálat szempontjából jelentős évgyűrűk hamujának elektronmikroszkópos vizsgálatával megállapítható lenne, hogy melyik azok az elemek, amelyeknek részvétele jelentősen megváltozik. Az eredményt megkapva már a megoldás is közelebb lenne, mert megvizsgálhatóvá válna, hogy az adott elem vagy elemek változását milyen anyagcserefolyamat vagy akár a gesztésedés és/vagy a fiatalkori fa növekedése okozza.

Könnyen belátható, hogy a hamutartalomban felismert igen látványos trend okainak feltárása korántsem egyszerű feladat.

Többször hivatkoztam már munkám alap kutatás jellegére, amely tényt a következőkben ismertetésre kerülő kutatási csapásirányok leírása is ékesen bizonyít. Mindenekelőtt a nyolc vizsgált fafaj közül számomra a legérdekesebb 'Villafranca' elnevezésű nyár faanyagát ajánlom részletesebb vizsgálatra. Bár a kéregben mért hamutartalom majdnem duplája a társainál mért értéknek, a fatest hamutartalma töredéke a másik hét fafajhoz viszonyítva. Ha egyéb kutatások is bebizonyítják a 'Villafranca' fatestjében a hamuszegénységét, nagy jelentőséggel bírhat ez a faanyag az energetikai iparban. Igaz, a méréseim alapján a 'Villafranca' klón rendelkezik a nyolc vizsgált fafaj közül a legkisebb fűtőértékkel. De további vizsgálatok alá vetném a fűtőérték és hamutartalom közti összefüggéseket is egyéb fafajok bevonásával. Mert hiába gondoljuk logikusan azt, hogy a hamutartalom növekedésével csökken a fűtőérték, egyes diagramok értékei ennek ellentmondanak.

4. Összefoglalás

Összességében elmondható, hogy a kitűzött céljaimat elértem a munkám során, hiszen érdekes összefüggéseket, új potenciális kutatási területeket nyitottam meg kutatásaim eredményeit elemezve. Személy szerint is elégedett vagyok az elvégzett munkámmal, nem szem elől tévesztve a kutatások során tapasztalt nehézségeket, amelyek minduntalan kisebb-nagyobb kudarcként kísérték végig az elmúlt másfél-két éven. Vizsgálataimat ugyanis körülbelül akkor kezdtem el, de a pandémia, illetve egy létfontosságú műszer (kaloriméter) hónapokig tartószervizelési munkálatai igencsak hosszúra nyújtották a kutatási folyamatot.

A visszajelzések azonban bátorítottak, hiszen a kutatási eredményeimből született tudományos publikációk, valamint a 2020-as OTDK-n elért helyezésem segítettek túllendülni a holtponatokon.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom dr. Komán Szabolcs egyetemi docens konzulensemnek, aki megnyitotta az utat előttem a kutatások felé. Az ő rugalmassága és támogatása nélkül nem sikerült volna eredményes munkát végezni. Sokat köszönhetek még a Faanyagtudományi Intézet munkatársainak, akik mindig mindenben támogattak és segítettek, de az egész Soproni Egyetemnek, ahol sok segítőkész tanárt ismertem meg egyetemi éveim alatt.

Minden jótanácsért, buzdításért és segítségért hálás vagyok, mert ezek nélkül nem sikerülhetett volna eljutnom addig, hogy tanulmányaim és kutatási munkáim kicsúcsosodásaként ezt a szakdolgozatot megírjam.

6. Irodalomjegyzék

6.1. Hivatkozott irodalmak forrása

Berndes, G. - Hoogwijk, M. - Van Der Broek, E. (2003): The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* 25(1):1-28

Demeter, E. - Gaál, M. (2021): Biomassza-felhasználás energetikai célra. <https://www.aki.gov.hu/product/biomassza-felhasznalas-energetikai-celra-2020-ev/> (2021.11.18.)

Dolgos, K. - Fehér, S. (2008): Kevésbé ismert nyár klónok fontosabb anyagjellemzőinek meghatározása és az idősebb törzsek fizikai tulajdonságainak modellezése az eredmények alapján (szakdolgozat)

Füzes, I. (2014) A fahamu alkalmazási lehetőségei a mezőgazdaságban, doktori értekezés, <http://doktori.uni-sopron.hu/view/creators/F=FCzesi=3AIstv=Eln=3A=3A.html> (11. o.)

Kárpáti R. - Báder M. - Komán Sz. (2019): A hamutartalom változékonysága a nemesnyáraknál <http://publicatio.uni-sopron.hu/2225/> (77. oldal)

Komán, Sz. - Varga, D. (2019): Nyártermesztés Magyarországon [http://publicatio.uni-sopron.hu/1846/1/22-Koman-Varga D-EMK-KariTudomanyosKonferencia2019.pdf](http://publicatio.uni-sopron.hu/1846/1/22-Koman-Varga-D-EMK-KariTudomanyosKonferencia2019.pdf)

KSH, https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0012.html (2021.11.25.)

Lindegaard, K.N. - Adams, P.W. - Holley, M. - Lamley, A. - Henriksson, A. - Larsson, S. - von Engelbrechten, H.G. - Esteban, L.G. - Pisarek, M. (2015): Short rotation

plantations policy history in Europe: lessons from the past and recommendations for the future. Food Energy Secur. 5(3):125-152. DOI: 10.1002/fes3.86

Molnár S. (2004): Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.

Molnár, S. - Pásztory, Z. - Komán, Sz. (2013): A faenergetika minőségi fejlesztésének szakmai megalapozása. FATÁJ online 2013, (1. oldal)

Németh, G. (2009) Fafeldolgozási hulladékokkezelése, felhasználhatósága, doktori értekezés, <http://doktori.nyme.hu/251/1/disszertacio.pdf> (183. o.)

Tóth, B. (2006): Nemesnyár-fajták ismertetője, Erdészeti Tudományos Intézet, Agroinform Kiadó és Nyomda Kft.

Zoltán, S. - Ferenc, L. - Emma, J. - Gábor, V., (2011): Correlation between heating values and thermogravimetric data of sewage sludge, herbaceous crops and wood samples - Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary

6.2. Csatolt képek forrása

1. ábra

Komán, Sz. - Varga, D. (2019): Nyártermesztés Magyarországon <http://publicatio.uni-sopron.hu/1846/1/22-Koman-Varga-D-EMK-KariTudomanyosKonferencia2019.pdf> (2021.11.25., 7. oldal)

2. ábra

Komán, Sz. - Varga, D. (2019): Nyártermesztés Magyarországon <http://publicatio.uni-sopron.hu/1846/1/22-Koman-Varga-D-EMK-KariTudomanyosKonferencia2019.pdf> (2021.11.25., 7. oldal)

3. ábra

Kárpáti R. – Báder M. – Komán Sz. (2019): A hamutartalom változékonysága a nemesnyáraknál <http://publicatio.uni-sopron.hu/2225/> (2021.11.45., 1. oldal)

4. ábra

Központi Statisztikai Hivatal (KSH)
https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0012.html (2021.11.25.)

5. ábra

Saját szerkesztés.

6. ábra

<https://profilab24.com/en/laboratory/balances-scales/kern-abs-n-analytical-balance> (2021.11.25.)

7. ábra

<https://www.fishersci.se/shop/products/microfine-grinder-drive/10400571> (2021.11.25.)

8. ábra

<https://www.amazon.com/Nabertherm-L-241K2TN-Professional-Muffle-Furnace/dp/B01NH0911K> (2021.11.25.)

9. ábra

<https://www.memmert.com/products/heating-drying-ovens/universal-oven/UN55/pdf/> (2021.11.25.)

10. ábra

Saját szerkesztés.

11. Ábra:

<https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/tuzeloanyagvizsg.pdf>
(2021.11.25.)

12. Ábra:

<https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/tuzeloanyagvizsg.pdf>
(2021.11.25.)

13. Ábra:

<https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/tuzeloanyagvizsg.pdf>

(2021.11.25.)

14. Ábra:

<http://senselektro.hu/laboreszkozok/ika-laboreszkozok/analitikai-vonal-kalorimeter/> (2021.11.26)