

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
SIMONYI KÁROLY MŰSZAKI, FAANYAGTUDOMÁNYI ÉS
MŰVÉSZETI KAR**

Faanyagtudományi Intézet



**IPARILAG FONTOS FAFAJOK KÉRGÉNEK EXTRAKTANYAG
TARTALMÁNAK VIZSGÁLATA**

Eső István

BSc. III. évfolyam

Konzulens:

Dr. Fehér Sándor

Egyetemi docens

Dr. Hofmann Tamás

Egyetemi docens

Sopron

2014

NYILATKOZAT

Alulírott **Eső István** (neptun kód: **IR8PC0**) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a **Iparilag fontos fajok kérgének extraktanyag tartalmának vizsgálata** című

Dolgozat

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

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 Nyugat-Magyarországi 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, 2014. november 5.

hallgató

¹ **1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1)** A mű részletét - az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven - a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára - a cél által indokolt terjedelemben - szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást - a szerző nevével együtt - fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

TARTALOMJEGYZÉK

1.	Bevezetés	1
1.1.	A dolgozat célja	1
1.2.	Vizsgált fafajok	2
1.3.	Kérgezés	3
2.	A fakéreg	4
2.1.	Kéreg morfológiai jellemzői.....	4
2.2.	Járulékos anyagok	5
3.	Minták előkészítése	7
3.1.	Minták kezelése	7
3.2.	Nedvességtartalom meghatározása.....	8
3.3.	Minták jelölése	8
3.4.	Mérési eredmények elemzésének módszere.....	9
4.	Extraktanyag tartalom	11
4.1.	Extrakciós módszerek.....	11
4.2.	Mérési eredmények	12
5.	Totálfenol tartalom.....	15
5.1.	Polifenolos vegyületek	15
5.2.	Mérési módszer	17
5.3.	Mérési eredmények	18
6.	Antioxidáns kapacitás.....	22
6.1.	Antioxidánsok.....	22
6.2.	Mérési módszer	23
6.3.	Mérési eredmények	24
6.4.	Fenol-Antioxidáns Együttható (PAC)	27
7.	A fakéreg égése	28
7.1.	A fa és a fakéreg energetikai felhasználása	28

7.2. Mérési módszer	31
7.3. Mérési eredmények	32
8. Összefoglalás	33
8.1. Vizsgálati eredmények összefoglalása	33
8.2. További kutatási lehetőségek	34
9. Szakirodalomjegyzék	36
I. Melléklet	I
II. Melléklet	III
III. melléklet	VI

ÁBRA- ÉS TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A kéreg százalékos aránya a fátesthez képest	2
1. ábra: Négy éves erdei fenyő törzs metszeti képe	4
2. ábra: Mikrohullámú kezelés (felül) és kontrol (alul) héjkéreg és háncs minták színének különbsége	7
2. táblázat: Kéreg nedvesség- és szárazanyag tartalma	8
3. táblázat: Minták jelölése	9
3. ábra: Extrakció lépései	12
4. ábra: Héjkéreg extraktanyag tartalma	13
5. ábra: Háncs extraktanyag tartalma	14
6. ábra: Fontosabb polifenolos vegyületek alapszerkezete	15
7. ábra: Flavonoidok antioxidáns hatásért felelős molekuláriszletei	16
4. táblázat: Totálfenol minták varianciánálízisének eredménye	19
8. ábra: Héjkéreg totálfenol tartalma	20
9. ábra: Háncs totálfenol tartalma	20
10. ábra: Antioxidáns és az ABTS gyök reakciója	23
11. ábra: Héjkéreg antioxidáns kapacitása	24
12. ábra: Háncs antioxidáns kapacitása	25
5. táblázat: Anti-oxidáns kapacitás mérés varianciánálízisének eredménye	26
6. táblázat: Fenol- Antioxidáns Együttható (PAC).....	27
13. ábra: A fa égetésének folyamata.....	29
7. táblázat: Abszolút száraz fa (tűzifa) égésmelege és fűtőértéke [MJ/kg]	30
8. táblázat: Fafajok kérgének fajhője.....	30
14. ábra: Kéreglégetésre alkalmas, háromszakaszos, előtoló rostélyos berendezés	30
15. ábra: Abszolút száraz kéregminták fűtőértéke (MJ/kg).....	32

1. BEVEZETÉS

1.1. A DOLGOZAT CÉLJA

A fa szinte az egyetlen olyan alapanyag, melyet az ipar maradéktalanul felhasznál, nincs belőle újrahasznosíthatatlan hulladék. A fatest külső része a kéreg, melynek felhasználása erősen kiaknázatlan területe a fáfeldolgozásnak.

Az elmúlt évtizedekben egyre jobban előtérbe került a fakéreg hasznosíthatóságának kérdése. Régen a kérgezés a fakitermelés része volt, így az erdőben kivágott fák nemkívánatos részeit, a kérget és az ágakat rögtön vissza is juttatták a természetbe, ahol elbomlottak. Napjainkban azonban a hatékony előkészítési eljárások miatt a kérget a fűrészüzemekben távolítják el a rönkről, így a felesleges, általában hulladéknak tekintett kéreg felgyülemlik az üzem területén.

A nagymennyiségű kérget általában elégetik a jó égési tulajdonságokkal rendelkező fahulladékkal. Ez több okból sem optimális, de főként azért, mert a kéregnek lényegesen magasabb a hamutartalma, mint a fatest többi részének és rosszabbak az égési tulajdonságai. Napjainkban egyre gyakrabban hasznosítják a kérget parkok talajtakarójaként fák és virágok védelmére. A fakéreg ipari hasznosítása is megjelent, például kéreg-beton kompozitokból készítenek erős, de könnyű préselt lapokat építkezésekhez.

A fakéreg kémiai hasznosítása azonban még nem jelentős egy piaci szegmensben sem, annak ellenére, hogy a fakérget az őskortól kezdve használták gyógyításra, étrend kiegészítésre. Azóta több kémiai hasznosítási terület is fel lett fedezve, ki lett kísérletezve, azonban egyelőre csak kis volumenben, speciális alkalmazásokban látható.

Jelen dolgozat célja a fakéreg járulékos anyagainak – elsősorban az antioxidáns hatással rendelkező polifenoloknak – összehasonlító mennyiségi vizsgálata válogatott ipari fafajok háncs- és héjkéreg szöveteiben. Több extrakciós eljárás alkalmazásával kerülnek vizsgálásra a választott fafajok, így láthatóvá válik az extrakt anyagok összetételében lévő eltérés és a különböző kinyerési módok egymáshoz viszonyított hatékonysága. Ezen túl a minták tüzeléstechnikai paramétereit is vizsgáltam azt kutatva, hogy energetikai hasznosítás szempontjából milyen alapanyagot biztosítanak a vizsgált fafajok kérgei.

A kapott eredményeket értékelve meg lehet határozni a vizsgálatok további irányát, az ipari hasznosíthatóságot és ki lehet dolgozni egy ipari mennyiségű kinyerési módszer alapjait.

1.2. VIZSGÁLT FAFAJOK

Jelen kutatáshoz a magyar faiparban jelentős mennyiségben alkalmazott fafajok vannak elemezve, hiszen ezen fajokból biztosan nagy mennyiségben lehet alapanyagot, vagyis kérget beszerezni a későbbi ipari méretű alkalmazáshoz. A választásnál az is szem előtt volt tartva, hogy a korábbi ismeretek alapján eltérő tulajdonságokkal rendelkező fafajok kerüljenek elemzésre.

A vizsgált fafajok a következők:

- Fehér nyár (*Populus alba*)
- Fehér akác (*Robinia pseudoacacia*)
- Erdei fenyő (*Pinus sylvestris*)
- Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*)

Mindegyik mintául szolgáló rönköt a TAEG Zrt. biztosította a Soproni-dombság területéről. Az akác Fertőrákos külterületéről származik, míg a másik három rönköt Brennbérgbánya körzetében termelték ki. Koruk 10 és 20 év között van, azonban az erdei fenyő minta a fátest felső, fiatalabb részéből való, így annak járulékos anyag tartalma várhatóan eltér majd az érett fatestről vett kéreg paramétereitől. A kéreg fátesthez vett aránya megállapítható a rönk kérgezés előtti és utáni keresztmetszetek többszöri megmérése és a kapott eredmények átlagolása után.

1. táblázat: A kéreg százalékos aránya a fátesthez képest

Fafaj	Kéreg/Rönk (%)
Fehér Akác	31,5%
Kocsánytalan Tölgy	14,4%
Erdei fenyő	7,3%
Nyár	21,1%

A kéreg százalékos aránya a fátesthez képest nagy változatosságot mutat. A kéreg vastagsága és az ezzel összefüggő kéregarány az egyes fafajoknál eltérő (1. táblázat). Ugyan azon fafaj esetén meghatározó az életkor, az átmérő, a törzs magassága és a termőhelyi viszonyok. Hazai fafajaink közül a legvastagabb kéreggel a cser- és kocsányos tölgy rendelkezik, a bükk és a gyertyán kérge a legvékonyabbak közé tartozik. (Szalay 1981.) A kéreg mennyisége alapján lehet következtetni arra, hogy az üzembe érkező rönkmennyiség alapján mennyi fakérget lehet hasznosítani.

1.3. KÉRGEZÉS

Míg a rönk kérgezése a korábbi években a kitermelési munka tartozéka volt, addig az erdei munka teljes mechanizációja révén ez mindinkább egy központi helyre helyeződött át, mint a gyűjtőhely, rakodó, a fűrészüzem, ahol azt nagyon jól bele lehet építeni a rönktér munkafolyamatába (Gerencsér 2008). A rönk szállítása kéreggel drága, viszont a kéregköpeny védi a rönköt az elszennyeződéstől és a korai kiszáradástól. A kérgezést befolyásolja a fafaj, a fa kora, a törzsrész alakja, az évszak, az időjárás és a kérgezési ellenállás.

A kérgezés megfelelőségét azok a háncs és kéregmaradványok jellemzik, amelyek a törzs felületén a kérgezés után még fellelhetők. A következő kérgezési fokokat ismerjük:

- Tisztára (fehérre) kérgezett
- Vörösre kérgezett (háncs a fatesten marad)
- Helyenként kérgezett

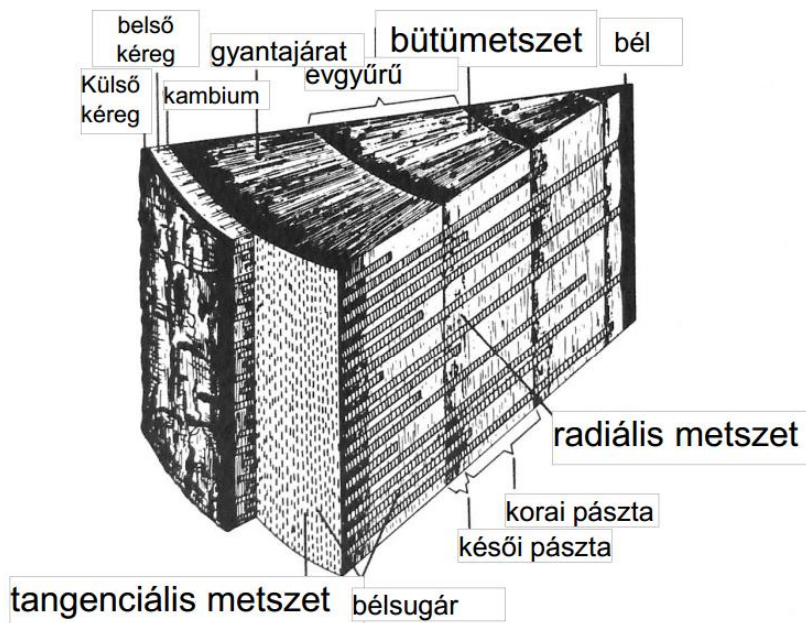
A kéreganyag halom sűrűsége függ a kiszáradás fokától, átlagban 250 kg/m^3 . A kérgező gép okozta fellazulási tényezőt 3,0-4,5 közé lehet tenni, középértéknek a 3,5-öt szokás tekinteni. A kéreg központi helyen való felhalmozódása miatt vált értékesíthetővé, azonban csak a következő feltételek mellett célszerű a hasznosításába fogni (Gerencsér 2008):

- Azonos fafajok
- Folyamatos képződés nagyobb mennyiségben
- Azonos minőségi állapot
- Felhasználhatóság biztosítása
- Értékesítési eljárás gazdaságossága (legalább a költségeket fedezze)

2. A FAKÉREG

2.1. KÉREG MORFOLÓGIAI JELLEMZŐI

A kéreg a fatest külső részén helyezkedik el, elsődleges feladata a fatest fizikai és biológiai védelme a külső hatások ellen (1. ábra). Kémiai összetételét tekintve nagyon eltér a fa belső részeitől: a szíjácstól, a gesztől és a bétől.



1. ábra: Négy éves erdei fenyő törzs metszeti képe

Forrás: Hofmann 2014

A kéreg (cortex) két részből áll, ezek a hancs (floem) és a héjkéreg (ritidóma), de belső és külső kéregnek is szokás nevezni őket. Felépítésükben és működésükben rendkívül eltérnek egymástól. A héjkéreg feladata a mechanikai sérülések, vadrágás, tűz és egyéb külső hatások elleni védelem. Ezzel szemben a hancs tápanyagokat szállít és raktároz, egységes jellemzője, hogy nem lignifikálódik. Fontos megjegyezni, a makro- és mikro-geológiai eltérésekből származó különbségeken kívül, melyek a teljes fatestre hatással vannak, főként a lég-, de a talajszennyezés is nagy hatással van a kéreg kémiai összetételére, főként a hamutartalom mennyiségi és minőségi jellemzőire.

Héjkéreg fajtái (Molnár 2004.):

- Sima kéreg (bükk, gyertyán, mogyoró)
- Sávokban, csíkokban leváló kéregtípusok
 - Vízszintes csíkokban leváló gyűrűs kéreg (cseresznye, nyír)
 - Függőleges sávokban leváló kéreg (tuja, boróka)

- Cserepes (repedezett) kéregtípusok
 - Pikkelyesen leváló (luc, erdeifenyő törzs felső harmada)
 - Táblásan leváló (tiszafa, platán, hegyi juhar)
 - Vastagabb cserepekben leváló (kőris, szil, tölgy, körte)
 - Barázdásan repedezett (akác, cser, korai juhar)

A héjkéreg típusa lényeges a fátestről való eltávolításkor, illetve meghatározza a hancs és a külső kéreg egymástól való elkülöníthetőségét.

2.2. JÁRULÉKOS ANYAGOK

A faanyag kismolekulájú vegyületei az egyes oldószerekben viszonylag jól oldódnak, vagy kismértékű kémiai beavatkozással oldhatóvá tehetők. Már az oldhatóság alapján is ez a rész szerves és szervetlen anyagokra különíthető el. A szerves részt az oldhatóságuk miatt extraktanyagoknak is nevezik (Németh 1997.). A kismolekulájú szerves vegyületek részt járulékos anyagoknak is nevezik, az egyes oldószerekben való jó oldhatóságuk és a fő összetevők melletti relatív kis mennyiségük alapján. Mennyiségük és összetételük a fafajtától és a fán belüli elhelyezkedésüktől is jelentősen függ. Kis mennyiségük ellenére a faanyag egyes tulajdonságaira jelentős mértékben hatással vannak.

Az extraktanyagok különböző kémiai szerkezetű molekulák. Elválasztásuk megoszláson alapuló módszerekkel, különböző kromatográfiás eljárásokkal történhet. Az extraktanyagok egyértelmű osztályozását kémiai felépítésük alapján lehet megvalósítani. Még ebben a jól definiált felosztásban is egy-egy csoportba a vegyületek igen nagy száma tartozik.

A járulékos anyagok minősége és bizonyos mértékig mennyisége is jelentős mértékben függ a fa családjától, nemzetségétől, fajától, de még a fajtajától is. Ez az alapja a fák kémiai alapon való rendszerezésének, a kemotaxonómiának. Azonban a járulékos anyagok a törzs keresztmetszetén és magasságában is jelentős eltéréseket mutatnak. Megjelenésük a fa szöveti részeiben is igen különböző. Hatásuk is más a fa tulajdonságaira, mint a fő fa-komponenseknek, elsősorban nem a mechanikai tulajdonságokat befolyásolják, hanem a fa sajátságainak kialakításában vesznek részt, mint a szín, szag, tartósság, és így hatással vannak az olyan tulajdonságokra, mint a fa ragaszthatósága, felületkezelhetősége, szárítása, kémiai feldolgozhatósága.

Kémiai felépítésük alapján a járulékos alkotórészek:

- Egyszerű fenolok és polifenolok
 - Egyszerű fenolok

- Lignánok
- Flavonoidok és kondenzált tanninok
- Hidrolizálható tanninok
- Stilbének
- Kinonok
- Tropolonok
- Terpének és gyanták
- További járulékos anyagok
 - Cukrok
 - Ciklitek
 - Zsírok és viaszok
 - Alkaloidok

A járulékos anyagoknak a faanyag tulajdonságaira és felhasználására kifejtett hatását a következőképpen célszerű csoportosítani (Németh 1997):

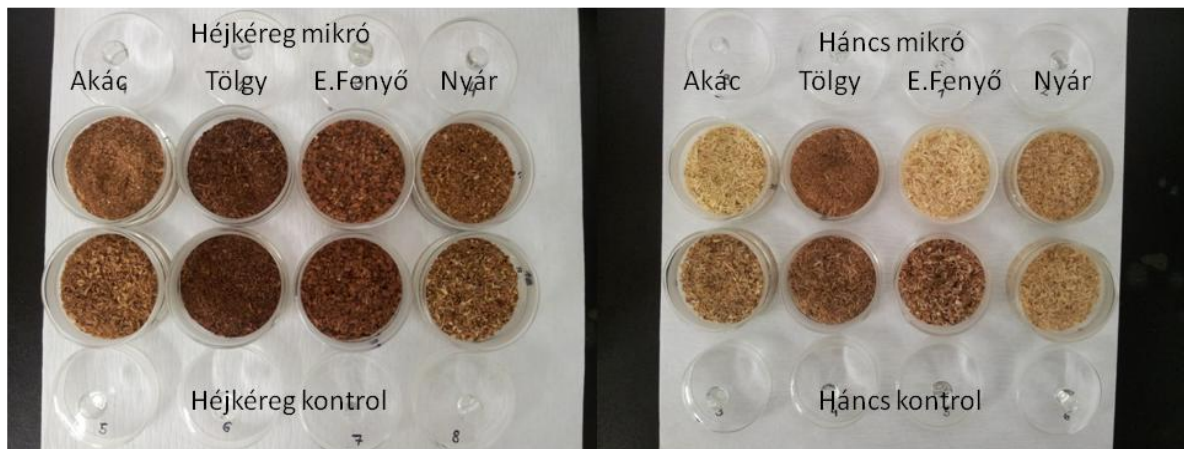
- A faanyag tulajdonságaira kifejtett hatások és ezekben szerepet játszó járulékos anyagok
 - A fa színe és színváltozása
 - Védőhatás a fotodegradációval szemben
 - Védőhatás biológiai károsítókkal szemben
 - A fa fizikai és mechanikai tulajdonságainak módosítása
 - A fa illata
- Az extraktanyagok fiziológiai hatása, fiziológiailag hatásos anyagok
 - Gyógyító hatású anyagok
 - Mérgező anyagok
 - Allergén anyagok
 - Karcinogén anyagok
- A technológiai folyamatokat befolyásoló hatások, az alkalmazásra ható vegyületek
 - Polimerizációs folyamatok inhíbeálása
 - Polikondenzációs reakciók befolyásolása
 - Cementkötés gátlása
 - Fafeltárási folyamatok befolyásolása

3. MINTÁK ELŐKÉSZÍTÉSE

3.1. MINTÁK KEZELÉSE

A kéregminták feldolgozása és a vizsgálatokhoz előkészítése rögtön az erdei kitermelés üket követően megkezdődött. Meg lett mérve a rönkök hossza és átmérője kéreggel és kéreg nélkül, hogy ki lehessen számítani a kéreg becsült arányát a teljes rönk térfogatához képest.

Miután a kérgező vassal (sepszer) kézi eljárással teljesen fehérre lettek kérgezve a rönkök, a kéreg háncsra és héjkéregre választása következett. Így a négy fafaj kérgéből nyolc minta (négy háncs és négy héjkéreg) lett. Ezek a minták is ketté lettek osztva, az egyik fele konyhai mikrohullámú sütőben 700 W mikrohullámú kezelésnek lett kitéve minden 100 g minta egy-egy percen keresztül. Ezáltal a minták mikrohullámmal kezelt felében az enzimatisz folyamatok le lettek állítva, így megszűnt a bio-degradáció enzimek okozta hatása. Ezután a minták aprítva, majd darálva és szítálva lettek 0,2-0,65 mm frakcióban. A fáliszttól megválva a 0,65 mm-nél nagyobb darálmány papírzacskóba került, ami elszívja az esetleges fűledés okozta nedvességet a faanyagból és sötétben is tartja. A 0,2 és 0,65 mm méretű darálmány alu-főliába került, szintén fénytől elzárva.



2. ábra: Mikrohullámú kezelés (felül) és kontrol (alul) héjkéreg és háncs minták színének különbsége

Így a mikrohullámmal kezelt (továbbiakban: mikrohullámmal kezelt) minták a bio- és a foto-degradációtól is védve lettek. A kezeletlen (továbbiakban: kontrol) minták a foto-degradációtól elzárva elsősorban az enzimatisz hatásoknak maradtak csak kitéve. A degradáció hatása jól látható a minták színén a 2. ábrán. A héjkéreg elváltozása várható módon nem feltűnő, a háncsban viszont jelentős változások mentek végbe, így a kontrol minták két hét alatt sötét színűek lettek.

3.2. NEDVESSÉGTARTALOM MEGHATÁROZÁSA

A faanyag nedvességtartalmának meghatározása a 0,65 mm méretű mintákkal történt. Meghatározása az előkészítés része, mivel a további mérések számításaihoz elengedhetetlen a fában lévő nedvességtartalom ismerete.

2. táblázat: Kéreg nedvesség- és szárazanyag tartalma

Sorszám	Fafaj	Kéreg rész	Nedvesség tartalom (%)	Szárazanyag tartalom (%)
1.	Akác mikrohullámmal kezelt	héjkéreg	6,1	93,8
2.	Tölgy mikrohullámmal kezelt	héjkéreg	8,7	91,2
3.	Erdei fenyő mikrohullámmal kezelt	héjkéreg	9,0	90,9
4.	Nyár mikrohullámmal kezelt	héjkéreg	6,8	93,1
5.	Akác kontrol	héjkéreg	7,5	92,4
6.	Tölgy kontrol	héjkéreg	8,8	91,1
7.	Erdei fenyő kontrol	héjkéreg	9,4	90,5
8.	Nyár kontrol	héjkéreg	7,3	92,6
9.	Akác mikrohullámmal kezelt	háncs	6,4	93,5
10.	Tölgy mikrohullámmal kezelt	háncs	5,4	94,5
11.	Erdei fenyő mikrohullámmal kezelt	háncs	8,0	91,9
12.	Nyár mikrohullámmal kezelt	háncs	7,1	92,8
13.	Akác kontrol	háncs	7,0	92,9
14.	Tölgy kontrol	háncs	7,5	92,4
15.	Erdei fenyő kontrol	háncs	8,8	91,1
16.	Nyár kontrol	háncs	8,0	91,9

Az abszolút száraz fa nedvességtartalmának meghatározása 105 °C-on súlyállandósáig szárítással történt (2. táblázat). Mivel egyes szakirodalmakban nedvességtartalom helyett szárazanyag tartalmat használnak, így a kapott eredményekből kivonás segítségével az is meg lett határozva.

3.3. MINTÁKJELÖLÉSE

A 3. táblázat tartalmazza a mérések során használt jelöléseket. Minden jelölés több információt hordoz magában:

- Fafaj megjelölése: akác, tölgy, erdei fenyő vagy nyár
- Előkezelés: Mikrohullámú vagy kontrol
- Kéregrész: héjkéreg vagy háncs
- Extrakció oldószere: desztillált víz vagy 4:1 metanol:desztillált víz keverék

3. táblázat: Minták jelölése

Fafaj	Kéreg rész	Sorszám	D.vizes sorszám	4:1 Metanol-D.víz sorszám
Akác mikrohullámmal kezelt	héjkéreg	1	1V	1M
Tölgy mikrohullámmal kezelt	héjkéreg	2	2V	2M
Erdei fenyő mikrohullámmal kezelt	héjkéreg	3	3V	3M
Nyár mikrohullámmal kezelt	héjkéreg	4	4V	4M
Akác kontrol	héjkéreg	5	5V	5M
Tölgy kontrol	héjkéreg	6	6V	6M
Erdei fenyő kontrol	héjkéreg	7	7V	7M
Nyár kontrol	héjkéreg	8	8V	8M
Akác mikrohullámmal kezelt	háncs	9	9V	9M
Tölgy mikrohullámmal kezelt	háncs	10	10V	10M
Erdei fenyő mikrohullámmal kezelt	háncs	11	11V	11M
Nyár mikrohullámmal kezelt	háncs	12	12V	12M
Akác kontrol	háncs	13	13V	13M
Tölgy kontrol	háncs	14	14V	14M
Erdei fenyő kontrol	háncs	15	15V	15M
Nyár kontrol	háncs	16	16V	16M

3.4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ELEMZÉS ÉNEK MÓDSZERE

A mérési eredmények Microsoft Office Excel táblázatkezelő programba kerültek a szükséges számítások elvégzésére. A kiszámított eredmények statisztikai elemzése a Nyugat-magyarországi Egyetem által biztosított Statistica nevű programmal készültek.

A statisztikai kimutatások során varianciaanalízissel (ANOVA) került megállapításra a vizsgált minták egymástól való különbözősége. Egytényezős (one-way) varianciaanalízissel csoportosítottuk a normális eloszlású eredmények átlagait. Mivel post-hoc elemzést végeztünk, a Tukey módszert alkalmaztuk, mely Tukey-HSD (honest significant difference) tesztként és Tukey-Kramer módszerként is megtalálható. Korrekt, viszont nem nagyon érzékeny teszt, vagyis nagy különbség kell ahhoz, hogy szignifikánsnak tekintse az átlagértékek eltéréseit. A módszer nyers adatokon vagy ANOVA post-hoc elemzéssel

alkalmazható, célja átlagos csoportok kimutatása, melyek jelentősen eltérnek egymástól. A Tukey-HSD teszt esetén feltételezzük:

1. A csoportosító tényezőtől független hatások a csoportokon belül is megjelennek
2. Az átlagokkal össze függő csoportok normál eloszlásúak
3. Egy átlaghoz tartozó csoporton belül egyenlő variancia van (homoszkedaszticitás)

Az eltérő betűjelek eltérő homogén alcsoportot jelölnek 95%-os valószínűség mellett. Az eltérő betűvel, illetve betűkombinációval jelölt minták átlagértékei tehát szignifikánsan eltérnek egymástól $p < 0.05$ (95%-os) megbízhatósági szint mellett.

4. EXTRAKTANYAG TARTALOM

4.1. EXTRAKCIÓS MÓDSZEREK

A faanyag elemzése során az egyes alkotórészeket közvetlen kinyeréssel, vagy komponensek, reakciótermékek meghatározásával adják meg. Az extraktanyagokat azonban egyes vegyületcsoportok alakjában határozzuk meg, hiszen egy csoporton belül is sokalakú vegyület található, melyeket nehéz elkülöníteni egymástól.

Így oldhatóság alapján a következő extrakciós módszereket különböztetjük meg (Hofmann 2014.):

- Hideg vízben oldható rész
- Forró vízben oldható rész
- Szerves oldószerekkel extrahálható rész
 - Éterben extrahálható
 - Alkohol-benzolban extrahálható

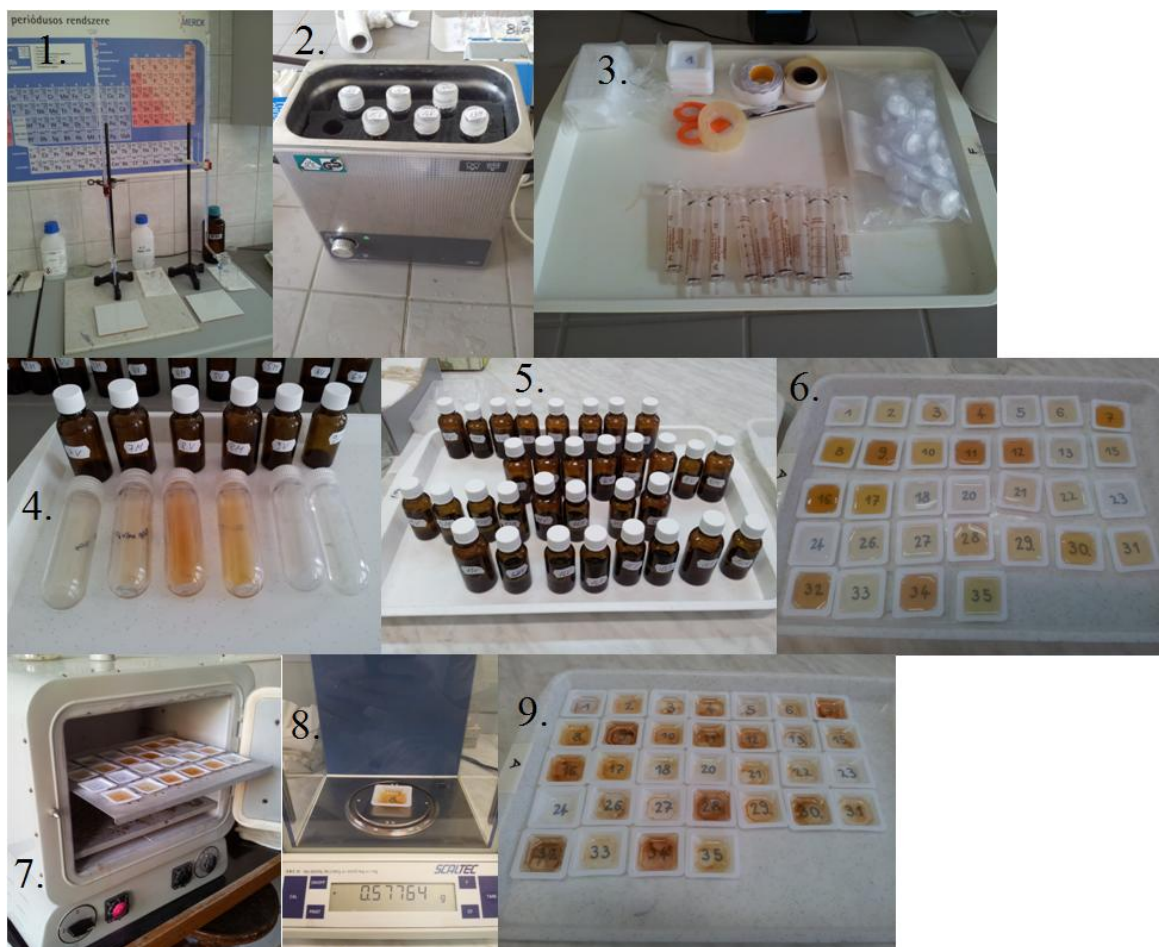
Az összesített extrakciós eljárások képet adnak arról, hogy az adott fafajra az extraktanyagok mely típusai jellemzőek.

Az extraktanyag mennyiségének meghatározása (I. Melléklet) desztillált víz és a 4:1 metanol: desztillált víz szárítószekrényben való elpárologtatásával történt. Az előkészített 5 ml űrtartalmú műanyag edények meg lettek számozva, majd mikromérlegen le lett mérve a tömegük (Mt). Az extraktumokból pipetta segítségével 2-4-5 ml az edényekbe lett mérve. Ezután 105 °C-ra előmelegített szárítószekrénybe kerültek, ahol a desztillált víz és a 4:1 metanol- desztillált víz teljesen elpárologott. Az edények teljes kiszáritása után a minták ki lettek véve a szárítószekrényből, le lettek hűtve, majd a mikromérlegen lemérve (Mt+ext).

Az extrakció főbb lépései a 3. ábrán ábrázolva:

1. Bürettákba töltés
2. Ultrahangos fürdő
3. Szűrés injekciós tűvel
4. Elválasztás centrifuga csőben
5. Barna üvegcsékbe töltés
6. 5 ml térfogatú műanyag edényekbe töltés
7. Szárítás szárítószekrényben
8. Tömegmérés mikromérlegen

9. Kiszárított extraktumok műanyag edényekben



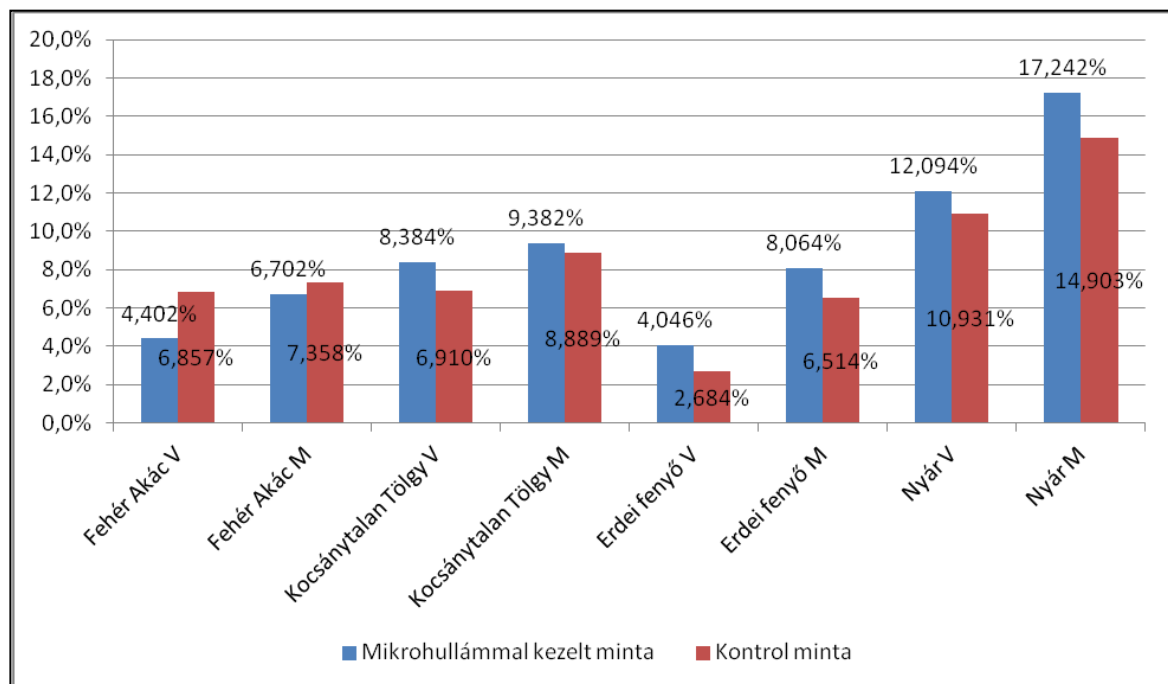
3. ábra: Extrakció lépései

4.2. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A 4. és 5. ábrákon láthatóak az extraktanyag tartalom meghatározásának eredményéből készített diagramok. A különböző extrakciós eljárások V (vizes extrakció) és M (4:1 Metanol: Desztillált víz) jelölésekkel vannak jelezve.

Általánosan megállapítható, hogy az alkoholos extrakció hatásosabb a vizesnél, viszont a kontrol és mikrohullámmal kezelt minták esetén is közel állandó a két kinyerési mód közötti különbség fafajon belül. Egy esetben, a mikrohullámmal kezelt háncs esetén a fehér akác vizes extrakciója 1,2 %-kal hatásosabb a metanolosnál. A héjkéreg és a háncs járulékos anyagai közötti különbségek nagyon fafaj függőek, azonban a fehér nyár minden esetben feltűnően nagyobb extraktanyag tartalommal rendelkezik, mint a többi fafaj. Átlagosan legkisebb anyagtartalma az erdei fenyő mintának van, viszont ennél a fajnál a metanolos kivonás eredménye megközelíti, mikrohullámmal kezelt héjkéreg esetén pedig felülmúlja az akác eredményeit. Az erdei fenyőnek a két kinyerési mód közötti különbség viszonylag állandónak mondható, viszont a morfológiai részek és a kezelések közötti kü-

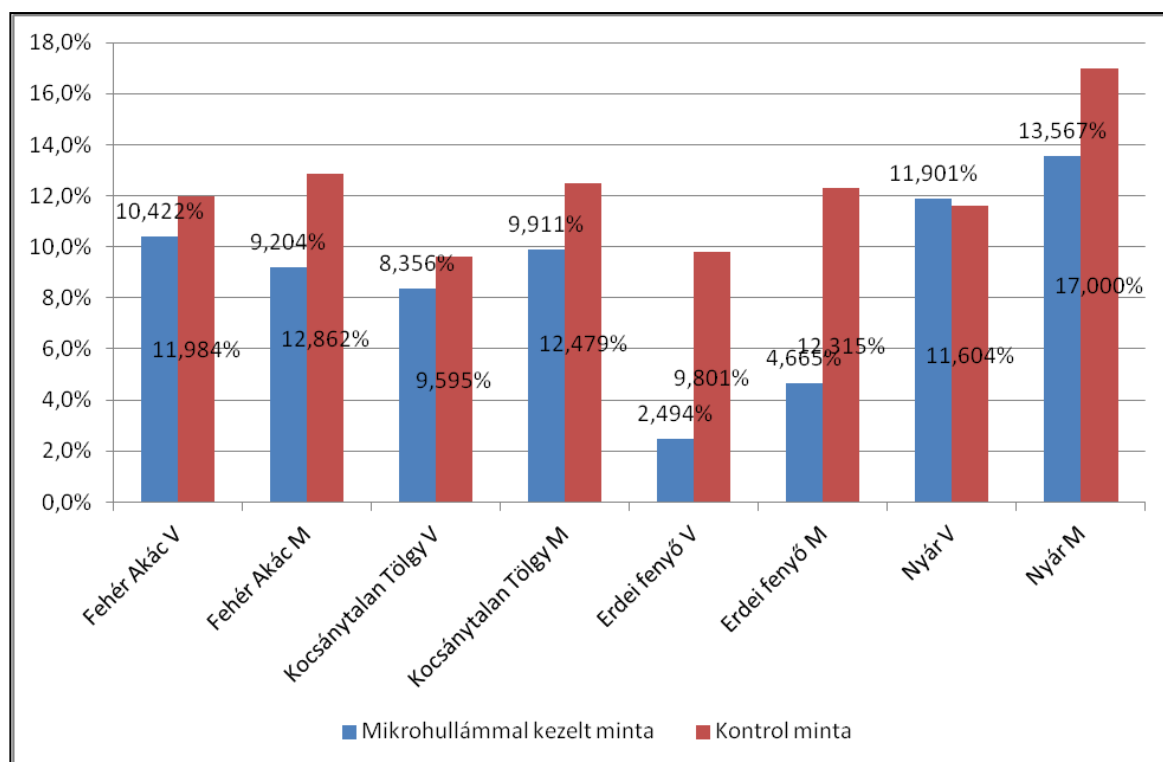
lönbség jelentős eltérést mutat. Minden fáfajt együttvéve a legtöbb extraktanyagot a kontrol hancsoknál sikerült mérni, illetve kiemelendő, hogy ekkor a legkisebb a szórás a fajok között, azaz ekkor az egymáshoz viszonyított legközelebbi a járulékos anyag kihozatal.



4. ábra: Héjkéreg extraktanyag tartalma

A fehér akác külső kérgének járulékos anyag tartalma 3-5 %-kal elmarad a hancs mért értékeitől, megállapítható, hogy ezen faj esetén a kontrol minták minden esetben jobb kihozataalt biztosítanak a mikrohullámmal kezeltnél. A héjkéregben ugyan kevesebb az extraktanyag, mint a tölgyében, viszont a hancsban, főként a vizes oldatokat összehasonlítva, nagyobb a kihozatal a tölgynél.

A kocsánytalan tölgy eredményei esetén elfogadható az a megállapítás, hogy „a vizsgált minták esetén a leghatékonyabb tartósítási módszer a mikrohullámmal való kezelés, mivel megtartja a minta kezdeti magas koncentrációját” (Makk et al. 2013). A héjkérget vizsgálva a vizes és szerves kioldás hatékonysága között 1 %-os különbség mutatkozik. A hancsot vizsgálva látható, hogy a mikrohullámmal kezelés utáni két hétben (az extrakció elvégzéséig) a héjkéreggel ellentétben a hancsban nem csökkent, hanem nőtt a járulékos anyagok mennyisége vizes kioldásnál 1,2 %-kal, metanolos kioldásnál 2,6 %-kal.



5. ábra: Háncs extraktanyag tartalma

Az erdei fenyő extraktanyag tartalma nagyon alacsony a többi vizsgált fafajhoz képest, és a vizes és metanolos kioldás között is jelentős különbség van, egyértelmű a szerves kioldás jobb teljesítménye. Míg a héjkéreg kontrol eredményei egyenletes, másfél százalékos csökkenést mutatnak mikrohullámmal kezeltről a kontrolra haladva, addig a háncsban mikrohullámmal kezelést követő két hétben a kontrol minták 7,3-7,6 %-kal nagyobb mennyiségben tartalmazznak extraktanyagokat, ami hatalmas és nagyon gyors változás.

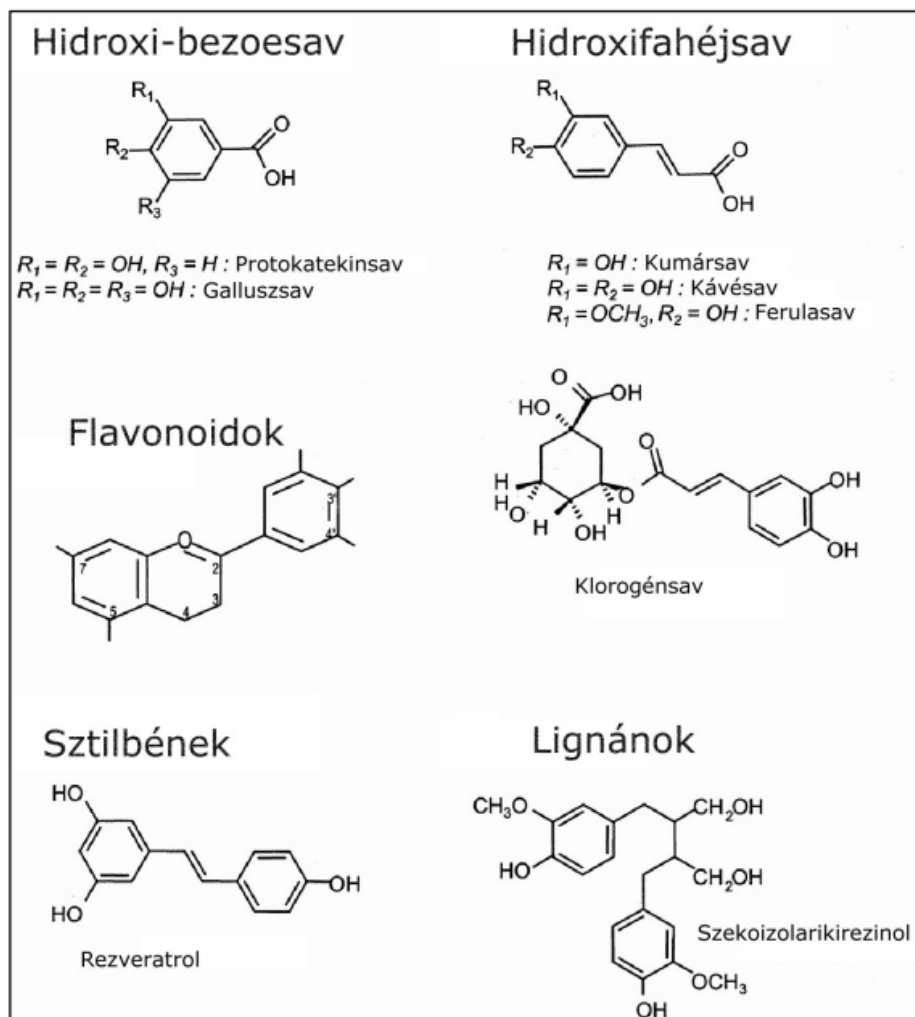
A fehér nyár magasan kiemelkedik a többi fafaj közül az extraktanyagok mennyiségében. Itt is megállapítható, hogy a metanolos kioldás lényegesen hatékonyabb a vizesnél. A héjkéreg esetén a mikrohullámmal kezelt mintákhoz képest szerves kioldásnál 2,9 %-os, vizesnél pedig 1,2%-os csökkenés tapasztalható. Ezzel szemben a háncsban nem ilyen egyértelmű a tendencia: a metanolos kioldás a többi fafajhoz hasonlóan kontrol mintában magasabb, mégpedig 3,4 %-kal, a vizes oldat azonban a többi mintától eltérően a mikrohullámmal kezelt mintában nagyobb, és alacsony, csupán 0,3 % az eltérés a kontrolhoz képest.

Az enzim inaktiválás, mely egy korábbi kutatásra alapozva lett alkalmazva (Makk et al. 2013.), nem hozta a várt eredményt: csak a tölgyfa minták esetén volt jelentős a hatása.

5. TOTÁLFENOL TARTALOM

5.1. POLIFENOLOS VEGYÜLETEK

Ez idáig több mint 8000 természetes polifenolos vegyületet azonosítottak növények gyökeréből, leveléből, virágszirmából, terméséből (Havsteen 2002.). Ez a nagy szám a szerkezetükből adódó sokféleségnek köszönhető. Legfontosabbak ezek közül a fenolos savak, a flavonoidok, a stilbének és a lignánok (6. ábra).



6. ábra: Fontosabb polifenolos vegyületek alapszerkezete

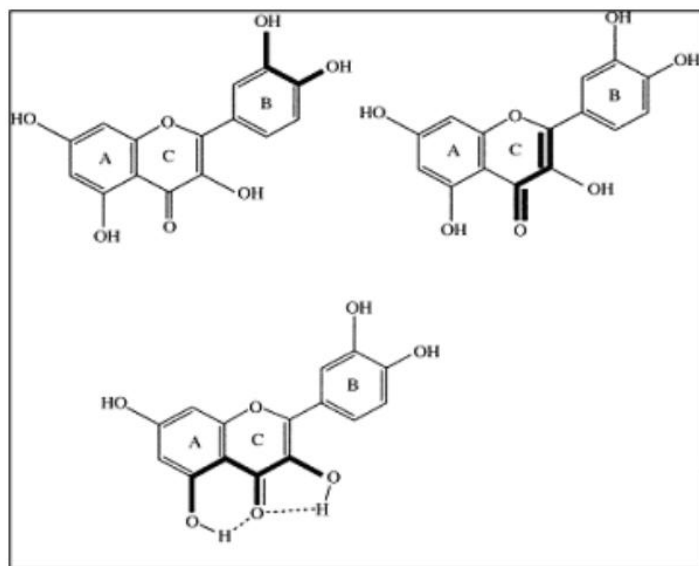
Forrás: Manach et al. 2004

A polifenolok a bioszintézis során a sikiminsav úton, az acetát-maleinát úton és ezek kombinációjaként jönnek létre. Az egyszerű fenolok és lignánok a ligninszintézis intermedierei, illetve a lignin degenerációjának termékei is lehetnek. Megtalálhatóak a fákban a ligninmonomerek, lignolok, elsősorban glikozid formájában. A fenyőfélékben elsősorban a koniferin található, a lombos fák glikozidja pedig a sziringin. A lignánok erősen fafaj függők. Mennyiségük a gesztben jelentős, ott is a tracheidák falában és az udvaros

gödörkében vannak jelen. A lignánok elhelyezkedésének jellege a biokémiai úton való származás jellegére utal (Németh 1997).

A flavonoidok másodlagos növényi anyagcsere termékek, nevüket sárga színükről kapták. Szerkezetük a szénatomok száma alapján C6-C3-C6 képlettel határozható meg. A fákban ezek a vegyületek a katechin kivételével általában glikozidos formában vannak jelen. A flavonoidok a fában sav hatására, illetve enzimatis úton, a polifenol-oxidáz enzim hatására oligomerekké kondenzálnak, létrehozva a kondenzált tanninokat (Németh 1997). A flavonoidok antioxidáns hatása kiemelkedő, mivel hatásosabbak, mint a C- és az E-vitamin (Rice-Evans et al. 1996). Az antioxidáns aktivitásukat elsődlegesen a szerkezetük befolyásolja (7. ábra):

- Az OH csoportok pozíciója, száma
- Az orto-3',4'-dihidroxi csoportok elhelyezkedése a B gyűrűn
- Az A gyűrű meta-5,7 dihidroxi szerkezete (a fémkomplex képzésnél játszik fontos szerepet)
- Az O-difénolos csoport a 3',4'-dihidroxi pozícióban
- A C-gyűrű 4 keto, 3-hidroxi, vagy 4-keto-5-hidroxi szerkezete
-



7. ábra: Flavonoidok antioxidáns hatásért felelős molekulárszetei

Forrás: Soobrattee et al. 2005

A tanninok kémiai szerkezetük alapján polifenolok, a fákban betöltött védelmi funkciójuk miatt cukrokhoz kapcsolódnak glikozidos kötással. Tanninoknak (csersavaknak) azokat a vegyületeket nevezik, melyek nagy összehúzó képességgel rendelkeznek a fehér-

jéssel történő vízzeloldhatatlan csapadékképzés következtében. Csoportosításuk (Németh 1997):

- Hidrolizálható tanninok
 - Gallo-tanninok (galluszsav és glükóz észterei)
 - Ellag-tanninok (ellagsav cukorészterei)
 - Fenol-karbonsavak nem cukorészterei
 - Növényi glikozidok, ahol az aglükonok polihidroxifenolok
- Kondenzált tanninok

A flavonoidok nagy része és azok származékai meghatározzák egy-egy adott fafaj színét. Számos flavonoid szintelen (leuko) formában van jelen a faanyagban, így a szín kezeléssel lehet kialakítani. A fény és az oxigén az egyébként szintelen származékokat is színessé oxidálja.

A stilbének alapváza az α,β -difenil-etilén, elsősorban a fenyőfélék extraktanyaga. A pinus félék gesztjében a pinoszilvin, a 4-hidroxi-stilbén, és ezek mono- és dimetil-étereik vannak jelen (Németh 1997). A fenyőfélék fény hatására bekövetkező sötétedéséért ezek a vegyületek a felelősek elsősorban.

A kinonok kinoidális szerkezetűek, tehát a C-6-os gyűrűben két C-C kettős kötés és két karbonilcsoport van, ami az aromás csoport megszűnéséhez vezet. A kondenzált aromás szerkezetű vegyületekből levezethető kinonok is meghatálhatók a fákban. A kinonok általában fafajra jellemzőek. A para-kinonhoz hasonló kinonmetid szerkezet alakulhat ki fákban a polifenolok oxidációja eredményeként.

5.2. MÉRÉSI MÓDSZER

A faanyag feldolgozása során a fa eredeti fenol vegyületei jelentősen átalakulhatnak. A faanyag minősége szempontjából nélkülözhetetlen paraméter az összfenol tartalom mérése, mely információt ad az összes fenolos vegyület mennyiségéről, ezáltal a faanyag minőségéről is (Hofmann 2014.).

A TPC (Total Phenol Content) módszer, vagyis az összes polifenol tartalom meghatározása Folin-Ciocalteu reagenssel valójában redukáló képességen alapuló antioxidáns kapacitás meghatározás. A keletkező kék szín spektrometriásan nyomon követhető. Olcsó, egyszerű, reprodukálható módszer, az alkalmazott hullámhosszon egyéb interferáló komponensek fényelnyelése elhanyagolható.

Mo(VI) sárga + e- (antioxidánstól) --→ Mo(V) kék

A mérés során (II. Melléklet) fákéreg extraktumok totálfenol tartalmát határoztuk meg. Pontosan kimért 50-100-300 µl extraktumhoz 450-400-200 µl 10-5-5/3 szoros hígítású Folin-Ciocalteu reagenst adtunk, majd 1 perc elteltével az elegyhez 200 µl 0,7 M-os Na₂CO₃ oldatot mértünk. A reakcióelegyet pontosan 5 percig 50 °C-os vízfürdőben melegítjük, ez alatt kifejlődik és stabilizálódik az oldat kék színe. Ezután az elegyet hideg vízfürdőben visszahűtöttük és a totál fenol tartalmat spektrofotometriásan meghatároztuk 760 nm hullámhosszon, mindegyik reakcióelegyből három párhuzamos mérést végeztünk. Standardként kvercetint alkalmaztunk. A mérési eredményeket súlyállandóságig szárított faanyagra vonatkoztattuk.

5.3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A 8. és 9. ábrákon láthatóak a polifenol tartalom meghatározásának eredményeiből készített diagramok. Az eredmények összehasonlításához és elemzéséhez a Statistica programmal történt varianciaanalízis készítése.

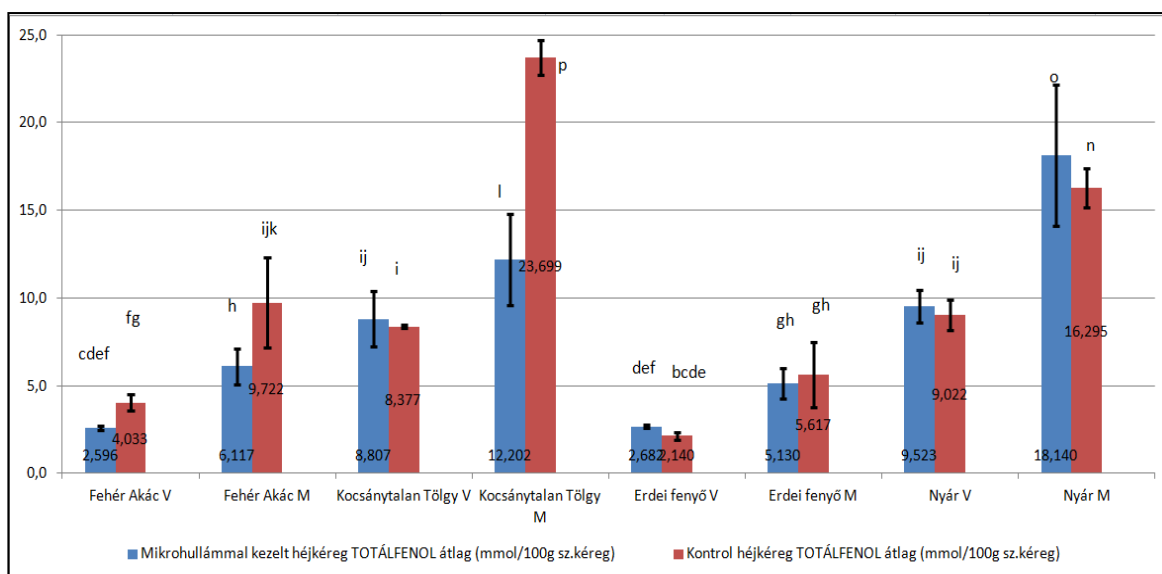
Általánosan elmondható, hogy a szerves oldószer használata több polifenol extrakcióját eredményezi. A fajok közti különbségek az extraktanyag tartalomhoz hasonlóan megvannak, de fajon belül a morfológiai különbségek nagyobbak. A héjkéregben, - a tölgy és az erdei fenyő metanolos kivonatát kivéve - csökkenés figyelhető meg. Ezzel szemben a háncsban inkább növekedett a polifenolok mennyisége a mikrohullámmal kezelés időpontját követően a kontrol mintákban. Jelentős változatosságot mutat, hogy a mikrohullámmal kezelt és a kontrol mintákra mekkora mértékben hatott, hogy milyen oldószerrel lettek kioldva, így lehetséges, hogy míg a tölgy héjkéreg metanolos oldata a legnagyobb összfenol tartalmat mutatja a kontrol esetén, ami majdnem duplája a mikrohullámmal kezeltnek, addig a vizes oldat esetén kis mértékben, de a mikrohullámmal kezelt minta tartalmazza a több polifenolt.

Mikrohullámmal kezelt háncs esetén kimagaslóan nagy a többi fajhoz képest a tölgy polifenol tartalma, illetve, ha összevetjük az adatokat, akkor az a feltűnő, hogy a mikrohullámmal kezelt háncsban a többi fajnak nagyon alacsony az anyagtartalma.

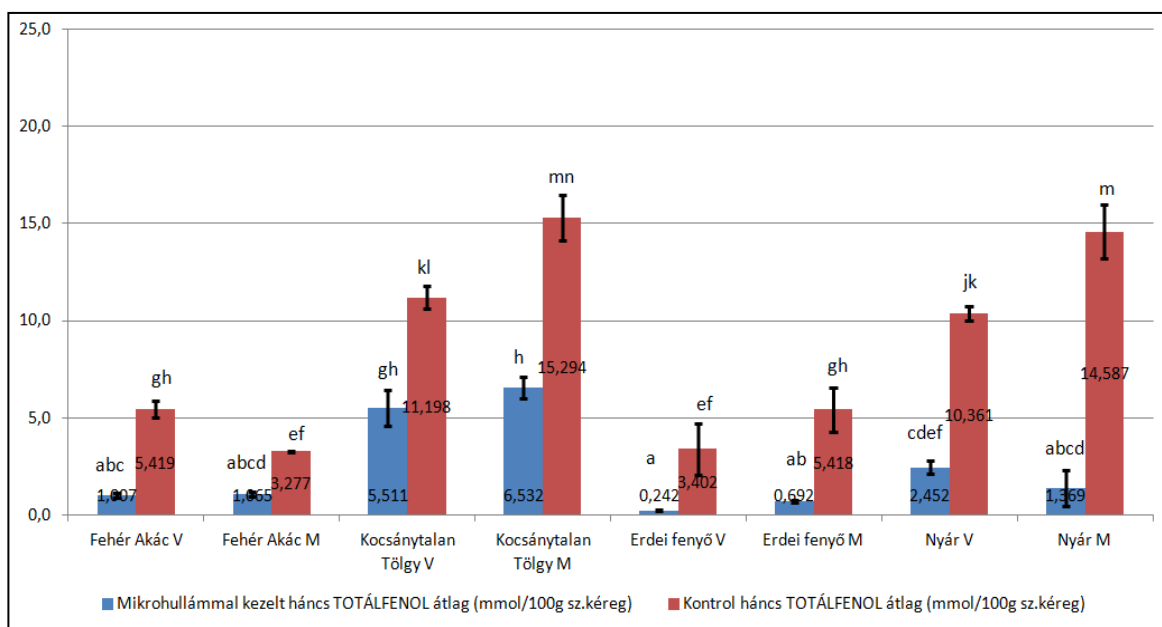
4. táblázat: Totálfenol minták varianciánálízisének eredménye

Minta	TOTÁLFENOL átlag (mmol/100g sz.kéreg)	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
11V	0,24174	***															
11M	0,69192	***	***														
9V	1,00682	***	***	***													
9M	1,06495	***	***	***	***												
12M	1,36907	***	***	***	***												
7V	2,13987		***	***	***	***											
12V	2,45179			***	***	***	***										
1V	2,59624			***	***	***	***										
3V	2,68175				***	***	***										
13M	3,27722					***	***										
15V	3,40175					***	***										
5V	4,03300						***	***									
3M	5,13030							***	***								
15M	5,41782							***	***								
13V	5,41862							***	***								
10V	5,51143							***	***								
7M	5,61712							***	***								
1M	6,11718								***								
10M	6,53249								***								
6V	8,37662									***							
2V	8,80686									***	***						
8V	9,02225									***	***						
4V	9,52274									***	***						
5M	9,72237									***	***	***					
16V	10,36069										***	***					
14V	11,19759											***	***				
2M	12,20231												***				
16M	14,58723													***			
14M	15,29370													***	***		
8M	16,29517														***		
4M	18,14030															***	
6M	23,69854																***

Mennyiségét tekintve a kontrol tölgy háncsban van a legtöbb polifenol, ez szignifikánsan kiemelkedik a többi minta eredményei közül (4. táblázat). A mikrohullámmal kezelthez képest a nyár szerves oldata mutatja a legtöbb mennyiségi növekedést. Mindezek ellenére arányait tekintve az erdei fenyő kis polifenol tartalmában van a legnagyobb változás: a vizes oldat 14,17-szeresére, a metanolos pedig 7,85-szörösére növekedett.



8. ábra: Héjkéreg totálfenol tartalma



9. ábra: Hácns totálfe nol tartalma

A fehér akác héjkérgének totálfenol tartalma metanolos kivonás esetén több mint duplája a vizes kivonásnak mindkét esetben. A hácnsban a mikrohullámmal kezelt mintákban 0,5 mmol/100 g az eltérés, amit közel egyenlőnek lehet tekinteni, a kontrol mintákban viszont, nem csak, hogy a mikrohullámmal kezelt minták öt és háromszorosa van, de a vizes kivonás egyértelműen eredményesebb is a metanolosnál. Ilyen csak az akácnál és a mikrohullámmal kezelt nyár hácnsnál fordul elő.

A kocsánytalan tölgy héjkérgének metanolos kontrol oldata kimagaslóan a legtöbb polifenolt tartalmazza a többi fafajhoz képest. Érdekes, hogy amíg a metanolos kontrol anyag mennyisége duplája a héjkéregnek, addig a kontrol vizes oldat nagyon kicsivel

ugyan, de kevesebb a mikrohullámmal kezeltnél, tehát az adott időintervallumon majdnem állandónak tekinthető a mennyisége. A hancsok esetében továbbra is megmaradt a metanolos kioldás nagyobb hatékonysága. A mikrohullámmal kezelt mintához viszonyítva a kontrol kétszer annyi polifenolt tartalmaz, ráadásul a kontrol mintánál a vizes oldat hatékonyabb mindkét héjkéreg vizes kioldásnál is.

Az erdei fenyő polifenol tartalma meglehetősen hasonló eredményeket adott, mint az extraktanyag tartalom eredményei. A héjkéreg a többi fafajhoz képest kevés polifenolt tartalmaz, de a fenyő hancsának többszörösét. A vizes kontrol héjkéreg polifenol tartalma 0,54 mmol/100 g-mal kisebb a héjkéregnél, ugyanekkor a metanolos kontrol héjkéreg mennyisége közel ugyanennyivel, 0,49 mmol/100 g-mal kevesebb a kontrolnál. A hancs kontrol anyagmennyisége vizes kioldással 14,17-szer, szerves kioldással 7,8-szor jobb eredményt adott a mikrohullámmal kezeltnél.

A fehér nyár mikrohullámmal kezelt héjkérge vizes és szerves kioldás esetén is a legjobb eredményt adta. A kontrol héjkéreg esetén mindkét mintában, kis mértékben, de kevesebb polifenol található, így a vizes oldatok közül az akác, a metanolos oldatok közül pedig a tölgy előzi meg a nyarat. A hancs, habár a tölgytől jelentősen elmarad, jóval több polifenolt tartalmaz a többi fafajnál, kontrol minták esetén pedig megközelíti a tölgy polifenol tartalmát. A hancsok esetében a vizes és a metanolos minták egymáshoz való viszonya megfordul a mikrohullámmal kezelt és a kontrol kezelést összevetve: míg a mikrohullámmal kezelt mintáknál a vizes oldat polifenol tartalma több 1,08 mmol/100 g-mal, addig a kontrol minták esetében a szerves oldat anyagtartalma több 4,23 mmol/100 g-mal.

6. ANTIOXIDÁNS KAPACITÁS

6.1. ANTIOXIDÁNSOK

Az antioxidáns oxidáció inhibitor, azaz oxidáció gátló, vagy késleltető. Az antioxidáns kapacitás az adott rendszerre vonatkozó összes antioxidáns vegyület együttes szabadgyökfogó hatását jelenti. A legtöbb irodalom nemcsak egy, hanem többféle módszer alkalmaz az antioxidáns kapacitás meghatározására (Ghiselli et al. 2000). Ennek oka a fogalom összetettsége miatt van, mivel egyik módszer sem képes a természetes módon lezajló reakciók összességét modellezni. Minden módszer specifikus bizonyos antioxidánsokra, azok reakcióira, de egyik sem képes az összes antioxidáns valódi antioxidáns erejét mérni. A kapott eredmény még egyszerű standard oldatoknál is különböző lesz, más és más módszereket, tesztek alkalmazva.

Többféle mérési módszert alkalmazva lehet következtetéseket levonni arra vonatkozólag, hogy egy minta mennyire jó antioxidáns a beállított reakciókörülmények között. A különböző módszerekkel kapott eredmények kiegészíthetik egymást, ezáltal árnyalt képet adva a minta antioxidáns képességéről.

Az eddig kifejlesztett mérési módszereket csoportosítani lehet:

- Hidrogénatom átmenettel (HAT – hidrogen atom transfer) kapcsolatos módszerek
- Elektronátmenettel (ET – electron transfer) kapcsolatos módszerek

Az ET reakciók általában színváltozással járnak, ennek mértékéből lehet az antioxidáns kapacitásra következtetni.

Az antioxidáns mérések eredményét nagymértékben befolyásolja (Balogh 2010.):

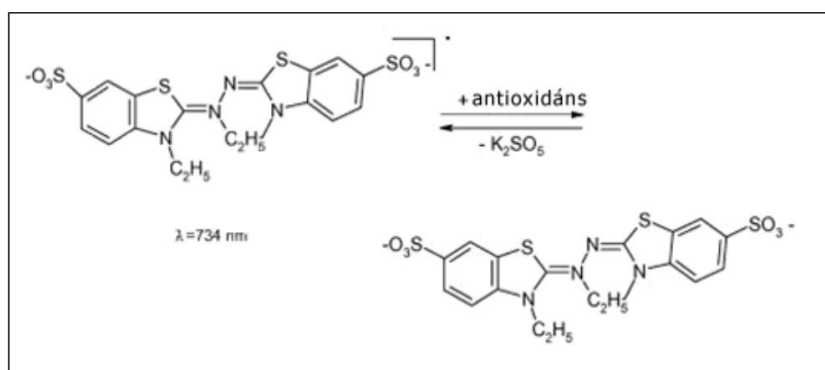
- Mintaelőkészítés
- Extrakció
- Alkalmazott oldószer
- Választott módszer (HAT, ET)
- Méréshez használt szabadgyök
- Mintamátrix
- Fényérzékenység
- Hőmérséklet érzékenység
- pH
- Idő

- Reakciósebesség, reakció kinetika
- Méretből, szerkezetből adódó különbség
- Additív, szinergens hatások

Az ORAC (oxygen radical absorbance capacity) azaz oxigéngyök abszorpciós kapacitás egy nemzetközileg elfogadott mérőszám az élelmiszerek és táplálék-kiegészítők antioxidáns kapacitásának jellemzésére. Az ORAC érték megközelítőleg pontosan mutatja az adott élelmiszer, táplálék-kiegészítő vagy táplálék-összetevő szabadgyök semlegesítő képességét. Minél magasabb az ORAC érték, annál jobb antioxidánsról van szó.

6.2. MÉRÉSI MÓDSZER

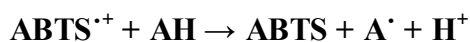
Fakéreg antioxidáns kapacitását ABTS- módszerrel határoztuk meg (III. Melléklet). A reakció az ABTS (2,2'-azinodi-(3-etilbenzotiazolin)-6-szulfoninsav) reakcióján alapszik (10. ábra) (Balogh 2010.). Standard: trolox 2 mM/l-es oldat. Ezt kétszeresére hígítottuk 1mM/l-es (=1000µM/l) koncentrációra, és ebből készítettük a kalibrációs sort. A kalibrációs sor minden pontjából 40 µl-nyit pipettáztunk a kémcsőbe, majd hozzáadtunk 1960 µl ABTS^{•+}-oldatot. 10 perc múlva mértük az oldat abszorbanciáját 734 nm-en. Az alkalmazott 734 nm-en a természetes növényi pigmentek kis interferenciát okoznak.



10. ábra: Antioxidáns és az ABTS gyök reakciója

Forrás: Balogh (2010.)

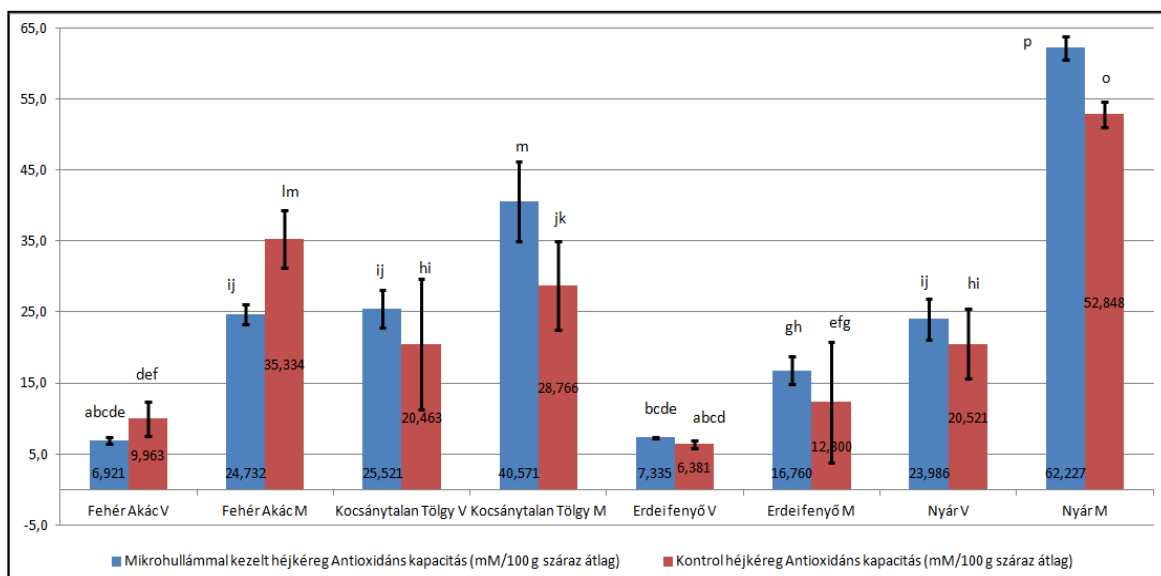
A hígított mintából 40 µl-t pipettáztunk a kémcsőbe, majd hozzáadtunk 1960 µl ABTS^{•+}-oldatot. 10 perc múlva mértük az oldat abszorbanciáját 734 nm-en. Az ABTS-oldatot előző nap összekevertük, és 12-16 órát hagytuk sötétben, majd másnap felhasználtuk. Pontosán 7,4-re állítottuk a puffer oldat pH-ját.



6.3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

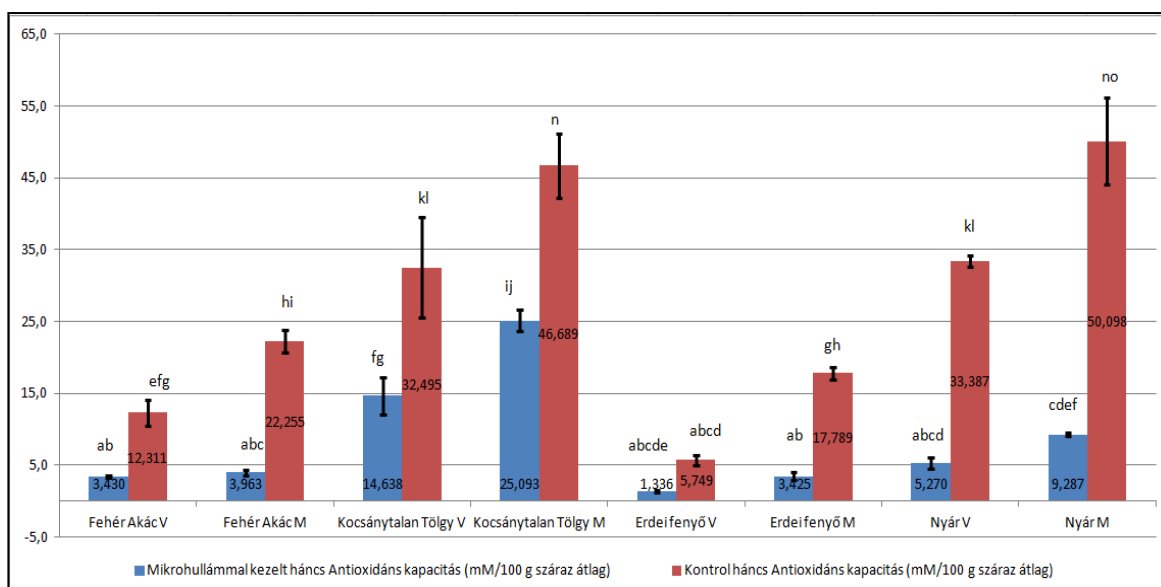
Az előző mérésekhez hasonlóan a 4:1 metanol/víz eleggyel extrahált nyárfá minták kiemelkednek a többi közül magas antioxidáns tartalmukkal (11. és 12. ábrák). Ez alól kivételt képez a mikrohullámmal kezelt háncs, ahol mindkét tölgy minta a többi minta antioxidáns kapacitásának többszörösével rendelkezik. Az eredmények összehasonlításához és elemzéséhez a Statistica programmal történt varianciaanalízis készítése.

A kontrol és mikrohullámmal kezelt minták közti különbség fafaj és kioldási módszerfüggő. A háncsok esetén jelentősen nagyobb a kontrol minták antioxidáns tartalma a mikrohullámmal kezeltéknél. A héjkéregnél ilyen nagy eltérés nem figyelhető meg.



11. ábra: Héjkéreg antioxidáns kapacitása

A fehér akác héjkéregében mindkét esetben közel négyszer hatásosabb a szerves oldat. Míg a vizes héjkéreg oldat a vizsgált fajok között csak a vízzel extrahált erdei fenyőnél tartalmaz több antioxidánst, addig a kontrol metanolos oldat jobb az azonosan kezelt tölgy oldatnál. A háncs mikrohullámmal kezelt oldatai nagyon, vizes oldatban 3,6-szorosan és metanolos oldatban 5,6-szorosan elmaradnak kontrol háncs antioxidáns kapacitásától. Mindegyik esetben megállapítható, hogy a kontrol akác minták több antioxidánst tartalmaznak, mint az azonosan kioldott mikrohullámmal kezelt minták héjkéreg és háncs esetén.



12. ábra: Háncs antioxidáns kapacitása

A kocsánytalan tölgy héjkérge a mikrohullámmal kezelt mintákban több antioxidánst tartalmaz. A mikrohullámmal kezelt és a kontrol minták esetén is hasonló a vizes és metanolos minták közti különbség, azonban a mennyiségbeli csökkenés nagyobb, mint a többi fafajnál. A belső kéreg esetén a kontrol mintákban lett több antioxidáns mérve, majdnem a mikrohullámmal kezelt minták duplája. A mikrohullámmal kezelt háncs antioxidáns kapacitása messze kiemelkedek a többi fafaj mintái közül, a kontrol azonban, habár duplája a mikrohullámmal kezeltnek, mégis kis mértékben elmarad a nyár eredményeitől.

Az erdei fenyő esetén a mikrohullámmal kezelt héjkéregnek nagyobb az antioxidáns kapacitása, mint a kontrolnak, a háncsban viszont ez pont fordítva van. A héjkéregben a vizes oldatok között kisebb a különbség, mint a metanolosban, ami kétszer olyan hatékony kioldást eredményezett, mint a vizes. A háncsban, főleg a vizes oldatban kisebb az antioxidáns kapacitás, ugyanakkor a kontrol minták ötszörösen többet tartalmaznak, mint a mikrohullámmal kezeltnek.

5. táblázat: Anti-oxidáns kapacitás mérés variáncianalízisének eredménye

	Anti-oxidáns kapacitás (mM/100 g száraz átlag)	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
11V	1,33565	***															
11M	3,42491	***	***														
9V	3,42996	***	***														
9M	3,96287	***	***	***													
12V	5,27024	***	***	***	***												
15V	5,74906	***	***	***	***												
7V	6,38066	***	***	***	***												
1V	6,92095	***	***	***	***	***											
3V	7,33460		***	***	***	***											
12M	9,28650			***	***	***	***										
5V	9,96284				***	***	***										
7M	12,30014					***	***	***									
13V	12,31080					***	***	***									
10V	14,63840						***	***									
3M	16,76020							***	***								
15M	17,78928							***	***								
6V	20,46344								***	***							
8V	20,52140								***	***							
13M	22,25506								***	***							
4V	23,98615									***	***						
1M	24,73222									***	***						
10M	25,09292									***	***						
2V	25,52067									***	***						
6M	28,76566										***	***					
14V	32,49460											***	***				
16V	33,38655											***	***				
5M	35,33419												***	***			
2M	40,57104													***			
14M	46,68870														***		
16M	50,09807														***	***	
8M	52,84751															***	
4M	62,22743																***

A nyár külső kérgének vizes oldata meglehetősen átlagos antioxidáns kapacitást mutat, a metanolos oldat viszont mindkét kezelés esetén kiemelkedően magas mennyiségben tartalmazza az antioxidánsokat, mint az 5. táblázatban is látható: 4M, 8M és hancs esetén 16M is szignifikánsan kiemelkedik a többi minta közül. Habár a mikrohullámmal kezelt hancsban az akáchoz és az erdei fenyőhöz képest több antioxidánssal rendelkezik, a kont-

rol háncsban mégis annnyival több anyagtartalommal rendelkezik, hogy a metanolos minta megelőzi a tölgy minta antioxidáns kapacitását. Azonban még mindig nem éri el, habár megközelíti a külső kéreg eredményeit, aminek a metanolos mintái több mint 20 mmol/100 g-mal több antioxidánst tartalmaznak.

6.4. FENOL-ANTIOXIDÁNS EGYÜTTHATÓ (PAC)

A totálfenol és antioxidáns kapacitás eredmények hányadosa adja PAC (Phenol Antioxidant Coefficient) számot, amely megmutatja az extraktumban lévő összes fenolos vegyület fajlagos (egységnyi koncentrációra eső) antioxidáns kapacitását. Ennek számításához a totálfenol tartalmat átszámoltam mg kvercetin/g száraz kéreg mértékegységre, illetve az antioxidáns kapacitás értékét mg trolox/g száraz kéreg mértékegységre (6. táblázat).

6. táblázat: Fenol-Antioxidáns Együttható (PAC)

Fafaj	Kéreg rész	Totálfenol (mg kvercetin/ g száraz kéreg		ABTS (mg trolox/ g száraz kéreg		PAC (ABTS/Totálfenol)	
		4:1 Metanol:Deszt.		4:1 Metanol:Deszt.		4:1 Metanol:Deszt.víz	
		H2O	víz	H2O	víz	H2O	Deszt.víz
Akác mikrózott	héjkéreg	7,84	18,47	19,62	70,13	2,50	3,80
Akác kontrol	héjkéreg	12,18	29,36	29,13	103,32	2,39	3,52
Tölgy mikrózott	héjkéreg	26,60	36,85	76,54	121,68	2,88	3,30
Tölgy kontrol	héjkéreg	25,30	71,57	61,53	86,49	2,43	1,21
Erdei fenyő mikrózott	héjkéreg	8,10	15,49	22,15	50,60	2,73	3,27
Erdei fenyő kontrol	héjkéreg	6,46	16,96	19,47	37,53	3,01	2,21
Nyár mikrózott	héjkéreg	28,76	54,78	69,12	179,33	2,40	3,27
Nyár kontrol	héjkéreg	27,25	49,21	59,74	153,85	2,19	3,13
Akác mikrózott	háncs	3,04	3,22	9,79	11,31	3,22	3,52
Akác kontrol	háncs	16,36	9,90	35,62	64,38	2,18	6,51
Tölgy mikrózott	háncs	16,64	19,73	40,96	70,22	2,46	3,56
Tölgy kontrol	háncs	33,82	46,19	95,00	136,50	2,81	2,96
Erdei fenyő mikrózott	háncs	0,73	2,09	3,95	10,12	5,40	4,84
Erdei fenyő kontrol	háncs	10,27	16,36	17,31	53,57	1,69	3,27
Nyár mikrózott	háncs	7,40	4,13	15,30	26,95	2,07	6,52
Nyár kontrol	háncs	31,29	44,05	98,63	148,00	3,15	3,36

A legmagasabb PAC szám a nyár belső kérgére jött ki (6,52), ami azt indikálja, hogy ebben a szövetben nagyon erős antioxidánsok vannak. A mikrohullámmal kezelt vizes és alkoholos fenyő belső kéreg minták (5,40 és 4,80) valamint néhány akác minta is (6,51 és 3,80) nagy PAC eredményt adott.

7. A FAKÉREG ÉGÉSE

7.1. A FA ÉS A FAKÉREG ENERGETIKAI FELHASZNÁLÁSA

A fát az ősidőktől kezdve eltüzeli az emberiség (13. ábra), hogy melegítse az életterét, megsüsse az ételét. Napjainkban is a kitermelt fa 50 %-a tüzelőanyag, melybe beletartozik a tűzifa, ipari hulladék elégetése (fapellet), fa cseppfolyósítása és elgázosítása égetés céljából. A fakéreg, mint faipari hulladék kerül az égetési folyamatba.

A kéreg hasznosítása nem csak extrakció céljára lehetséges, hanem energetikai felhasználásra is. Szintén kutatásra érdemes, hogy a fakéreg-őrlemény egy esetleges extrakció után hogyan alkalmazható energiatermelésre. Ezekben a vizsgálatoknak a bevezetéséhez elvégeztem a fakéreg-minták alapvető tüzeléstechnikai paramétereinek (égésmeleg, fűtőérték) meghatározását

Hőenergia nyerése céljából a kérget tisztán vagy fűrészpórral keverve elégetik. Nagy különbségek vannak az egyes kéregfajták fűtőértékei, a különböző anyagtartalom függvényében, a fő komponenseknek a következő fűtőértékei vannak (Gerencsér K. 2008):

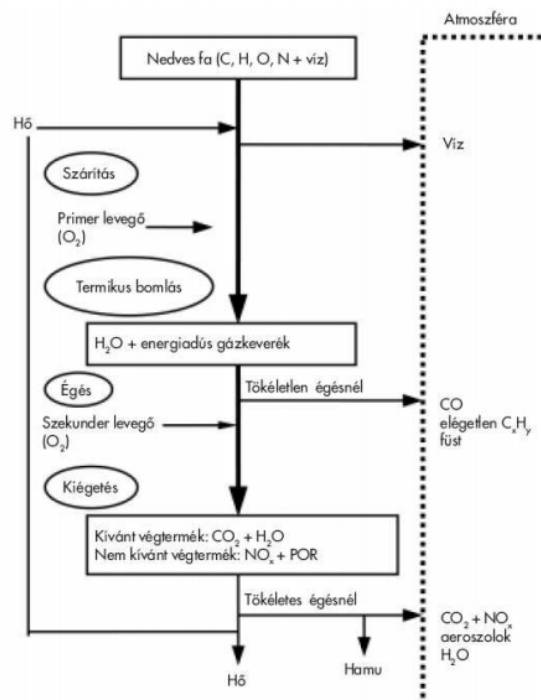
- | | |
|----------------|-------------------|
| • Zsír, gyanta | 8500-9100 kcal/kg |
| • Cellulóz | 4150-4350 kcal/kg |
| • Lignin | 6100 kcal/kg |

A levegő oxigénjének jelenlétében bekövetkező égési folyamatnak három szakaszát különíthetjük el:

- felmelegedés, gyulladás
- égés
- utóizzás

Felmelegedésekor 105°C után erősödik a gázok eltávozása. 180-210°C-ig jelentős elváltozások a fatestben nem következnek be. A faanyagból kiváló gázok 220-260°C körül lángra lobbannak, de az anyag még tartósan nem ég. 260-290°C körül az anyag tartósan égni kezd. 350-470°C körül a faanyagból távozó gázok önmaguktól (külső lángforrás nélkül) meggyulladnak.

A fa égését befolyásolja a sűrűség, a nedvességtartalom, a fafajok közti különbségek (az eltérő sűrűségük, szöveti és kémiai jellemzőik) miatt eltérő égési sajátosságokkal rendelkeznek, az alakító tényezők szempontjából a fa felülete és a térfogat aránya a fontos.



13. ábra: A fa égetésének folyamata

Forrás: Széll (2007)

Az égési jellemzőket befolyásolja (Molnár 2004.):

- Hőmérséklet,
- Hővezetési tényező nagysága
- Faanyag anizotrópiája

Égetésnél lényeges a kéreg víztartalma. A kéreg-nedvesség száraz kéregzésnél télen 50-60 %, nyáron 40 % vízi tárolásnál. A hamu rendszerint nem hasznosítható, mert nagyon sok salakot tartalmaz.

Az égésmeleg az a hőmennyiség kalóriában kifejezve, amely 1 kg anyag elégetésénél felszabadul, ha (Hofmann 2014.):

- A vizsgált anyag hőmérséklete az égés előtt és az égéstermék hőmérséklete az égés után egyaránt 20 °C
- A szén és kén tartalom az égés után CO₂ és SO₂ alakban van jelen az égéstermékben
- Az anyagban eredetileg jelenlévő nedvesség és az égés folyamán keletkező víz cseppfolyós halmazállapotban van jelen

A fűtőérték annyiban különbözik az égésmelegtől, hogy az égésmeleg értékéből le kell vonni az égéstermékben lévő vízpárolgathatósághoz szükséges hőmennyiséget, vagyis az anyagban eredetileg jelen lévő és keletkezett víz-gőz alakban van jelen. A fűtőérték az

1,0 kg tömegű faanyag állandó nyomáson való, tökéletes elégetésekor felszabaduló hőmennyiség (7. táblázat). Ez elméleti szinten pontosan meghatározható.

7. táblázat: Abszolút száraz fa (tűzifa) égésmelege és fűtőértéke [MJ/kg]

Fafaj	Égésmeleg	Fűtőérték
Akác	18,62	17,537
Tölgy	17,86	16,778
Erdei fenyő	16,75	15,665
Nyár	16,84	15,763

Forrás: Szalay (1981)

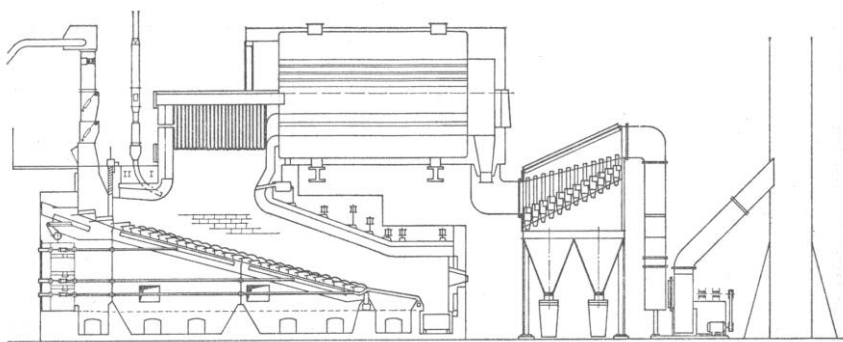
A fafajok fűtőértéke közötti különbséget a lignin mennyisége határozza meg, aminek a fűtőértéke a cellulózét meghaladja (7. táblázat). A gyantatartalom a felszabadítható hőmennyiséget általában növeli. A nedvességtartalom egyértelműen csökkenti a faanyag fűtőértékét, hiszen mind a kötött, mind a szabadvíz elpárologtatása hőelvonással jár.

8. táblázat: Fafajok kérgének fajhője

Fafaj (kéreg)	Fajhő, KJ/(kg*K)		
	Minimum	Átlag	Maximum
Akác	1,44	1,53	1,59
Tölgy	1,39	1,73	1,92
Erdei fenyő	1,61	1,73	1,78
Nyár	1,49	1,58	1,63

Forrás: Szalay (1981)

A kéreg eltüzeléséhez mozgó, öntisztító, ferde rostélyt használnak az üzemekben, ügyelve a hamueltávolítás és a tisztítás lehetőségére (14. ábra). A rostély több szakaszos, sebessége szabályozható. Az égéslevegő mennyiségét és hőmérsékletét a tüzelőanyaghoz igazodva állítják elő.



14. ábra: Kéregelégetésre alkalmas, háromszakaszos, előtoló rostélyos berendezés

Forrás: Szalay (1981)

A fa környezetbarát tüzelőanyag, elégetésekor nem keletkeznek ártalmas gázok, nem termel többlet CO₂-t, csak az élőfa által megkötött mennyiséget juttatja vissza a termék-

szetbe. A faanyag újratermelhető, növekedéséhez a nap energiáját hasznosítja. A széntüzeléshez viszonyítva a fa elégetésekor mindössze 0,5-1,0%, a szénnél viszont 25-40% hamu keletkezik. A fa energetikai hasznosítása jelenti az ipari fahulladékok megsemmisítéséhez a legnagyobb lehetőséget. A keletkező fűrészpor, kéreg, darabos apró hulladék alkalmas az egyéb energiahordozók kiváltására, illetve a gazdaságosan nem művelhető területeken értékes „energia ültetvények” létesíthetők (Molnár 2004.).

7.2. MÉRÉSI MÓDSZER

A fakéreg égésmelegének meghatározása oxigén-bombakaloriméterrel EN ISO 1716 szabvány előírásainak megfelelően történt. A finomra őrölt és szitált kéreg anyagból 0,6-1,1 g közötti mennyiséget analitikai mérlegen kimértünk, majd finoman a tartó edénybe helyeztük, ahol a bomba pólusait összekötöttük virágróttal. A bombát összeszereltük, majd redukálószelep segítségével 30 bar nyomásig töltöttük oxigéngázzal. Ezután az elektródákat a gyújtószerkezettel összekapcsoltuk és kaloriméter edényébe helyeztük, melybe előzőleg 2 liter desztillált vizet tettünk, mely a bomba fedelét is befedte. A kaloriméter edényben lévő víz kezdeti hőmérséklete alacsonyabb volt 1-1,5 °C fokkal a köpenyvíz hőmérsékleténél.

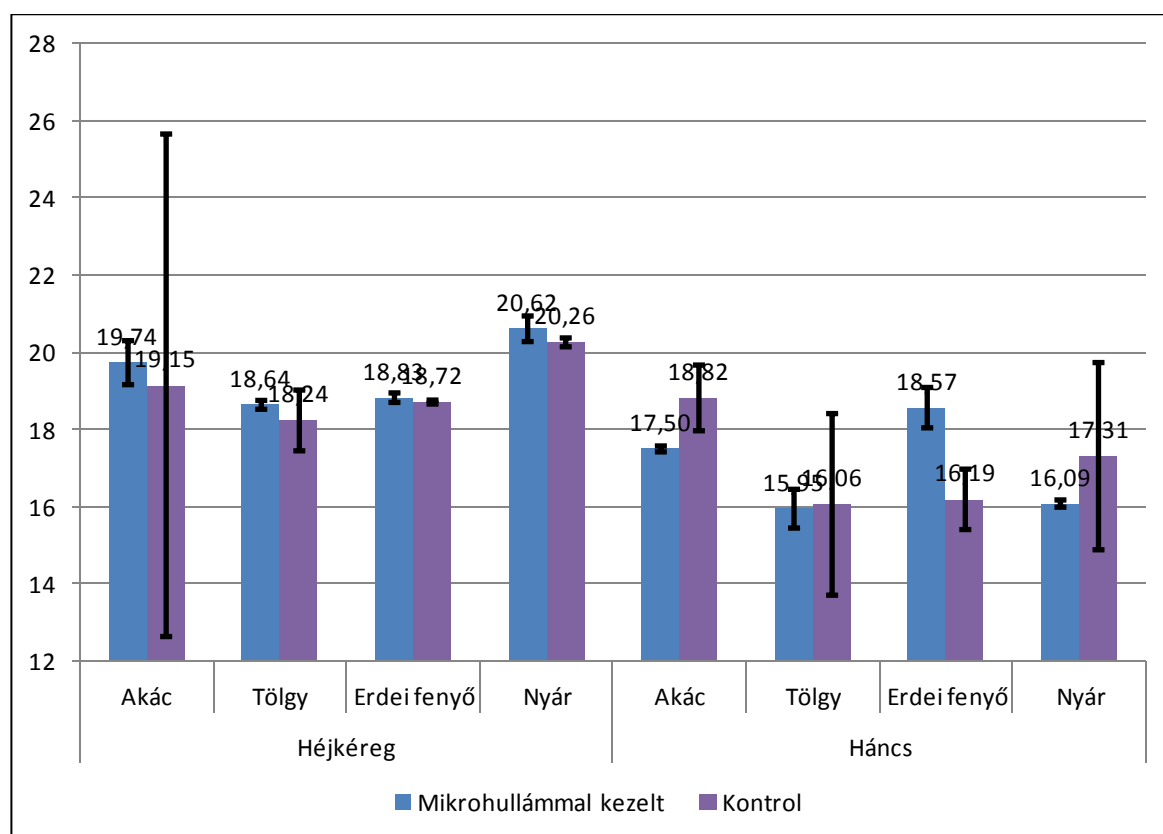
A kaloriméter automatikusan elvégzi a szükséges műveleteket:

- A hőmérséklet emelkedését állandósítja,
- Elindítja a mérést
- Zárja a gyújtó áramkört
- Leolvassa a hőmérsékleteket a hőmérsékletemelkedés megszűntéig
- Jelzi, ha a mérés véget ért.

A kaloriméter automatikusan kiszámítja az előre megadott tömegre vonatkoztatva az Égésmeleget (HOC), a delta T értékét, a köpenyvíz hőmérsékletét. A szétszerelt bombán visszamaradt drótszál hosszát megmérve megkaptuk a kaloriméter által számított Égésmeleget helyesbítő értéket (Σb). Ebből kiszámítható a Fűtésérték.

A bombában visszamaradt hamu tömegét megmérve számítható a fakéreg hamutartalma.

7.3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK



15. ábra: Abszolút száraz kéregminták fűtőértéke (MJ/kg)

Az 15. ábrán látható, hogy a mikrohullámmal kezelt és a kontrol minták között általában nincs nagy eltérés a héjkéreg minták esetén. Ezzel szemben a háncs mintáknál az erdei fenyőt kivéve a kezeletlen minták fűtőértéke magasabb a mikrohullámmal kezeltéknél. Egyértelműen megállapítható, hogy a héjkéreg minták jobb fűtőértékkel rendelkeznek, mint a háncs minták. Legmagasabb fűtőértéke a nyár héjkéregnek van, ezt követi az akác két külső kéreg mintája és az akác kezeletlen háncs mintája.

A továbbiakban érdemes megvizsgálni, hogy a kéreg mintákban lévő égést késleltető, akadályozó és elősegítő járulékos anyagok mekkora mennyiségben vannak jelen az adott anatómiai részben az adott vizsgálati időpontban, illetve ezek mekkora hatással vannak a fűtőérték alakulására.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

8.1. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Dolgozatomban vizsgáltam egyes ipari fák kérgének kémiai- illetve energetikai hasznosítási lehetőségeit, a belőlük kioldható antioxidáns vegyületek (polifenolok) mennyiségének, illetve a kéreg tüzeléstechnikai tulajdonságainak felmérésével. A dolgozatomban ismertetett eredményeket az alábbi pontokban foglalom össze:

- Az *extraktanyag tartalom tekintetében megállapítható*, hogy az alkoholos extrakció hatásosabb a vizesnél, különösen a külső héjkéreg esetén, viszont a kontrol és mikrohullámmal kezelt minták esetén is közel állandó a két kinyerési mód közötti különbség fafajokon belül. A héjkéreg és a háncs járulékos anyagai közötti különbségek nagyon fafaj függőek, azonban a fehér nyár minden esetben feltűnően nagyobb extraktanyag tartalommal rendelkezik, mint a többi fafaj. Átlagosan legkisebb extraktanyag tartalma az erdei fenyő mintának van. A morfológiai részek és a kezelések közötti különbség jelentős eltérést mutat. Minden fafajt együttevén a legtöbb extraktanyagot a kontrol háncsoknál sikerült mérni. A mikrohullámú enzim inaktiválás, mint előkezelés csak a héjkéreg minták esetében mutatkozott hatásosnak, a háncs esetében jelentős extraktanyag-tartalom csökkenéshez vezetett. Ellenkéntben tehát a korábbi eredményekkel (Makk et al. 2013) a mikrohullámú inaktiválás nem hozta a várt eredményt.
- A mikrohullámú kezelés *fenolvegyületekre* gyakorolt konzerváló hatása – a nyár metanolos kivonatától eltekintve – nem hatékony, sőt kifejezetten totálfenol koncentráció csökkentő hatása van. Ez elsősorban a háncs szöveteknél szembetűnő. A héjkéreg szöveteknek általában magasabb a totálfenol tartalma, mint a megfelelő háncs szöveteké. A legmagasabb értékeket a tölgy, akác illetve a nyár szöveiben mértük.
- Megállapítható, hogy *nem mindig a legnagyobb extraktanyag tartalmú* minták tartalmazták a *legnagyobb totálfenol* mennyiséget. Különösen igaz ez a háncsra, ahol nagy mennyiségben vannak jelen más extraktanyagok is, például cukrok.
- A vizsgált fajok héjkérge általában nagyobb *antioxidáns kapacitással* rendelkezik a belső kéregnél. Az előző mérésekhez hasonlóan a 4:1 metanol:víz eleggyel extrahált nyárfá minták kiemelkednek a többi közül magas antioxidáns tartalmukkal. Ez alól kivételt képez a mikrohullámmal kezelt háncs, ahol mindkét tölgy minta a

többi minta antioxidáns kapacitásának többszörösével rendelkezik. A kontrol és mikrohullámmal kezelt minták közti különbség fafaj és kioldási módszerfüggő. Meglepő módon a tölgy és a nyár héjkérgé esetében a mikrohullámú kezelés az antioxidáns kapacitás szignifikáns növekedését eredményezte, a többi mintánál vagy nincs szignifikáns eltérés a kezelt és kezeletlen szövetek közt, vagy (ami gyakoribb) a kontrol szövetek antioxidáns kapacitása nagyobb.

- A legmagasabb totálfenol és antioxidáns eredményeket a tölgy és a nyár minták adták. A *PAC (Fenol-Antioxidáns Együttható)* számot kiszámítva megállapítható a fenol extraktanyagok fajlagos antioxidáns hatása, „ereje” a mintákban, ami első sorban a fenolos anyagok minőségéről ad információt. A legmagasabb PAC szám a nyár belső kérgére adódott (6,52), ami azt indikálja, hogy ott nagyon erős antioxidánsok vannak. A mikrohullámmal kezelt vizes és alkoholos fenyő belső kéreg minták (5,40 és 4,80) valamint néhány akác minta is (6,51 és 3,80) nagy PAC eredményt adott.
- *Hőenergia nyerése céljából* a kérget tisztán vagy fűrészporral keverve elégetik. Nagy különbségek vannak az egyes kéregfajták fűtőértékei között a különböző anyagtartalom függvényében. A kéreg égetése ellen jelenleg az egyik legfőbb ok, hogy a magas nedvességtartalom és hamutartalom miatt nehezebben és rosszabbul ég a tiszta fánál.

8.2. TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

A fakéreg kémiai és egyéb célokra történő hasznosítása fontos és kiemelt, nemzetközi szinten is művelt kutatási terület napjainkban. Számos példa utal arra, hogy az extraktanyagok potenciális hasznosítása megtörténhet faipari (természetes faanyagvédőszer), élelmiszeripari (táplálék kiegészítők, természetes alapú tartósítószer) illetve gyógyászati (polifenolok tisztítása, izolálása) területeken.

A mérési eredményekből kiderült, hogy a járulékos anyagok mennyisége és minősége fajoként eltérő. Ehhez még hozzájárul, hogy nem egyértelmű, hogy a kivágást követően mely fafajnál kezd el csökkenni a járulékos anyagok mennyisége, és melyiknél kezd el növekedni. Ha pedig időben növekedést mutatnak a mért értékek, akkor az meddig tart, mennyi idő múlva kezd el csökkenni az extraktanyagok mennyisége. Ezek alapján a további kutatási lehetőségek az alábbi területeken képzelhetők el:

1. *Az extraktanyagok mennyiségének szezonális változása* a kéreg egyes részeiben, hogy megállapítható legyen, mikor optimális a járulékos anyagok kinyerése. Eb-

ből következik az is, hogy nem mindegy, milyen járulékos anyagok vannak a kéregben, tehát meg kell vizsgálni, hogy az extraktanyagok mely csoportjai, mekkora mennyiségben vannak jelen a kéregben. Ez elsődleges fontosságú az extraktumok további kémiai hasznosíthatóságának vizsgálatában.

2. A kémiai hasznosíthatósághoz az lényeges, hogy az üzemben keletkező kéreg-hulladék járulékos anyagainak ne csak a meglétüket és mennyiségüket lehessen megállapítani, hanem az egyes csoportjainak a *hasznosítható szintű kinyerését* is meg kell oldani megfelelő technológiai megoldásokkal.
3. Az előzőekben elvégzett vizsgálatok ezt segíthetik, így például az *antioxidáns kapacitás más módszerekkel való vizsgálata* elősegítheti az antioxidánsok pontosabb meghatározását.
4. Érdekes az *erdei fenyő vizsgálatait ismét elvégezni a fa idősebb kéregrésszével*, hiszen az eddigi vizsgálatokhoz a fatest felső, friss részéből származó kéreg volt használva.
5. Az *extrahált fakéreg minták tüzeléstехnikai paramétereinek meghatározása*. Az extrakció után visszamaradt fakéreg már alacsonyabb hamutartalommal rendelkezik, mivel az extrahálószer vizes része a hamuképzők jelentős részét kioldja, ezáltal az extrahált kéreg égési tulajdonságai is javulhatnak.
6. *Kéreg extraktumok vizsgálata in-vitro* kísérletekben, mikroorganizmusok, gombák elleni hatásuk módszeres felmérése.
7. *Újabb fafajok bevonása a kutatásba*, elsősorban a Magyarországon ipari jelentőséggel bíró és hozzáférhető kéreg-mellékterméket produkáló fajok tekintetében (pl. bükk, gyertyán, éger, csertölgy, kőris, stb.).

Technológiai hasznosíthatóság vizsgálata inkább a részletes kémiai analízis után érdemes, mikor már egyértelmű, hogy a lejátszódó technikai folyamatok következményei miért valósulnak meg. A járulékos anyagok technológiai hasznosítása nagyon szerteágazó kutatási terület napjainkban, sok lehetőséget rejt magában, így érdemes egy nagyon pontos, nagy mennyiségben alkalmazható extrakciós eljárás kidolgozása, ezáltal sokféle teszt elvégezhető az extraktumokkal többször ismételve és a feltételeket igény szerint változtatva.

9. SZAKIRODALOMJEGYZÉK

- Balogh E. (2010): Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata bogys gyümölcsök esetében, *Doktori értekezés*.
- Gerencsér K (2008): Fűrészipari technológia – rönktér, *Egyetemi Jegyzet*, 65-84. o.
- Ghiselli A., Serafini M., Natella F. és Scaccini C. (2000): Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: Critical view and experimental data, *Free Radical Biology and Medicine*, (29):1106-1114.
- Havsteen B. H. (2002): The biochemistry and medical significance of the flavonoids, *Pharmacology & Therapeutics*, (96):67-202.
- Hofmann T. (2014): Kémia 2 gyakorlati jegyzet, *Egyetemi jegyzet*.
- Makk Á., Hofmann T., Rétfalvi T. (2013): A (+)-katechin kinyerése tölgyek kérgéből, FA-IPAR – a faipar tudományos folyóirata, 2013/2: 16-25. o.
- Manach C., Scalbert A., Morand C., Remesy C. és Jimenez L. (2004): Polyphenols: food sources and bioavailability, *American Journal of Clinical Nutrition*, (79):727-747.
- Németh K (1997): Faanyagkémia, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Bp.
- Rice-Evans C. A., Miller N. J. és Paganga G. (1996): Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids, *Free Radical Biology and Medicine*, (20):933-956.
- Soobratee M. A., Neergheen V. S., Luximon-Ramma A., Aruoma O. I. és Bahorun T. (2005): Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents, *Mechanism and actions. Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, (579):200-213.
- Szalay L. (1981): A fahulladék hasznosítása, *Műszaki könyvkiadó*, Budapest, 32-43, 204-213. o.
- Széll A. (2007): Emissziós vizsgálatok forgácslapra – az égetés környezeti szempontú értékelése, *Doktori értekezés*

I. MELLÉKLET

NymE Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

LABORATÓRIUMI JEGYZŐKÖNYV KIVONAT

Mérés megnevezése:

Tanév: 2013/14 II. félév

Extraktanyag tartalom meghatározása

Név: Eső István

Dátum: 2014.03.27.–2014.03.28

Mérés elve:

Extraktanyag mennyiségének meghatározása a Desztillált víz és a 4:1 Metanol- desztillált víz szárítószekrényben elpárolgatásával.

Mérés kivitelezése:

Az előkészített 5 ml űrtartalmú műanyag edények meg lettek számozva, majd mikromérlegen le lett mérve a tömegük (M_t). Az extraktumokból pipetta segítségével 2-4-5 ml az edényekbe lett mérve, majd ismét le lettek mérve a mikromérlegen (M_{t+ext}). Ezután 105 °C-ra előmelegített szárítószekrénybe kerültek, ahol a desztillált víz és a 4:1 metanol- desztillált víz teljesen elpárolgott. Az edények teljes kiszárítása után a minták ki lettek véve a szárítószekrényből, le lettek hűtve, majd a mikromérlegen lemérve.

Képletek:

$$E\% = \frac{(M_{t+ext} - M_t) \cdot \frac{15}{V_{\text{bemért}}}}{M_{\text{bemért fa}} \cdot \frac{(100-N)}{100}} \cdot 100$$

Mért adatok:

Edényszám	Mintas szám	V (ml)	Mtálka (g)	Mtálka + extraktum (g)	Nedvességtartalom (%)	Minta tömeg (g)	Extraktanyag tartalom (%)
1	1V	2	0,56855	0,56938	6,103	0,1506	4,402%
2	1M	5	0,60108	0,60422	6,103	0,1497	6,702%
3	2V	2	0,58231	0,58385	8,702	0,1509	8,384%
4	2M	5	0,55637	0,56073	8,702	0,1527	9,382%
5	3V	5	0,56008	0,56197	9,005	0,1540	4,046%
6	3M	5	0,55887	0,56260	9,005	0,1525	8,064%
7	4V	5	0,58266	0,58836	6,860	0,1518	12,094%
8	4M	5	0,56941	0,57760	6,860	0,1530	17,242%
9	5V	5	0,58693	0,59013	7,534	0,1514	6,857%
10	5M	5	0,56118	0,56460	7,534	0,1508	7,358%
11	6V	5	0,55088	0,55406	8,815	0,1514	6,910%
12	6M	5	0,58499	0,58914	8,815	0,1536	8,889%
13	7V	5	0,58973	0,59097	9,477	0,1531	2,684%
15	7M	5	0,62194	0,62490	9,477	0,1506	6,514%
16	8V	5	0,55392	0,55913	7,332	0,1543	10,931%
17	8M	5	0,58132	0,58834	7,332	0,1525	14,903%
18	9V	5	0,57866	0,58366	6,418	0,1538	10,422%
20	9M	5	0,58139	0,58584	6,418	0,1550	9,204%
21	10V	5	0,59251	0,59653	5,479	0,1527	8,356%
22	10M	5	0,58510	0,58984	5,479	0,1518	9,911%
23	11V	4	0,57325	0,57421	8,005	0,1569	2,494%
24	11M	5	0,57649	0,57873	8,005	0,1566	4,665%
26	12V	5	0,57355	0,57922	7,193	0,1540	11,901%
27	12M	5	0,61052	0,61682	7,193	0,1501	13,567%
28	13V	5	0,58076	0,58662	7,040	0,1578	11,984%
29	13M	5	0,56551	0,57156	7,040	0,1518	12,862%
30	14V	5	0,59491	0,59950	7,527	0,1552	9,595%
31	14M	5	0,58810	0,59402	7,527	0,1539	12,479%
32	15V	5	0,58704	0,59163	8,887	0,1542	9,801%
33	15M	5	0,58512	0,59088	8,887	0,1540	12,315%
34	16V	5	0,56730	0,57268	8,007	0,1512	11,604%
35	16M	5	0,58516	0,59324	8,007	0,1550	17,000%

2014. április 26.

II. MELLÉKLET

Nyme Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

LABORATÓRIUMI JEGYZŐKÖNYV KIVONAT

Mérés megnevezése:

Tanév: 2013/14 II. félév

Totálfenol tartalom mérése Folin-Ciocalteu
módszerével

Név: Eső István

Nebehaj Esztella

Dátum: 2014.04.03.

Mérés elve:

A mérés során fákéreg extraktumok totálfenol tartalmát határoztuk meg.

Mérés kivitelezése:

Pontosan kimért 50-100-300 µl extraktumhoz 450-400-200 µl 10-5-5/3 szoros hígítású Folin-Ciocalteu reagenst adtunk, majd 1 perc elteltével az elegyhez 200 µl 0,7 M-os Na₂CO₃ oldatot mértünk. A reakcióelegyet pontosan 5 percig 50 °C-os vízfürdőben melegítjük, ez alatt ki-fejlődik és stabilizálódik az oldat kék színe. Ezután az elegyet hideg vízfürdőben visszahűtöt-tük és a totál fenol tartalmat spektrofotometriásan meghatároztuk 760 nm hullámhosszon, mindegyik reakcióelegyből három párhuzamos mérést végeztünk. Standardként kvercetint alkalmaztunk. A mérési eredményeket súlyállandóságig szárított faanyagra vonatkoztattuk.

Mért adatok:

Kalibrációs egyenlet meghatározása:

Abszorbancia	Quercetin koncentráció (mmol/l)
0,0110	0,0172
0,1440	0,0468
0,3370	0,0915
0,4840	0,1293
0,6410	0,1661
0,8680	0,2262

$$k = 0.2476 \cdot A + 0.0095$$

Spektrofotometriával mért adatok:

Minta jele	Bemérés (g)	Nedvesség tartalom (%)	A1	A2	A3	higitás
1V	0,1506	6,103	0,158	0,157	0,163	5
1M	0,1497	6,103	0,389	0,438	0,447	5
2V	0,1509	8,702	0,668	0,600	0,577	5
2M	0,1527	8,702	0,390	0,464	0,405	10
3V	0,154	9,005	0,163	0,167	0,162	5
3M	0,1525	9,005	0,333	0,327	0,375	5
4V	0,1518	6,860	0,655	0,710	0,695	5
4M	0,153	6,860	0,693	0,586	0,694	10
5V	0,1514	7,534	0,270	0,250	0,277	5
5M	0,1508	7,534	0,778	0,670	0,627	5
6V	0,1514	8,815	0,272	0,275	0,272	10
6M	0,1536	8,815	0,863	0,838	0,865	10
7V	0,1531	9,477	0,117	0,129	0,118	5
7M	0,1506	9,477	0,332	0,354	0,436	5
8V	0,1543	7,332	0,625	0,671	0,673	5
8M	0,1525	7,332	0,564	0,583	0,598	10
9V	0,1538	6,418	0,043	0,040	0,036	5
9M	0,155	6,418	0,120	0,133	0,131	3
10V	0,1527	5,479	0,358	0,396	0,416	5
10M	0,1518	5,479	0,219	0,219	0,204	10
11V	0,1569	8,005	0,018	0,016	0,020	2
11M	0,1566	8,005	0,125	0,127	0,116	2
12V	0,154	7,193	0,149	0,140	0,162	5
12M	0,1501	7,193	0,034	0,071	0,088	5
13V	0,1578	7,040	0,379	0,405	0,385	5
13M	0,1518	7,040	0,210	0,210	0,212	5
14V	0,1552	7,527	0,398	0,384	0,401	10
14M	0,1539	7,527	0,553	0,562	0,528	10
15V	0,1542	8,887	0,178	0,258	0,221	5
15M	0,154	8,887	0,401	0,332	0,380	5
16V	0,1512	8,007	0,726	0,740	0,747	5
16M	0,155	8,007	0,530	0,538	0,497	10

Totálfenol tartalom:

Minta jele	T. fenol 1	T. fenol 2	T. fenol 3	TOTÁLFENOL átlag (mmol/100g sz.kéreg)	Szórás	Konfidencia intervallum (+/-)95%
1V	2,579	2,566	2,644	2,596	0,042	0,105
1M	5,646	6,293	6,412	6,117	0,412	1,024
2V	9,521	8,605	8,295	8,807	0,638	1,585
2M	11,412	13,383	11,812	12,202	1,042	2,589
3V	2,668	2,722	2,655	2,682	0,035	0,087
3M	4,970	4,889	5,532	5,130	0,350	0,869
4V	9,107	9,829	9,632	9,523	0,373	0,928
4M	19,061	16,272	19,087	18,140	1,618	4,019
5V	4,090	3,825	4,183	4,033	0,186	0,462
5M	10,872	9,434	8,861	9,722	1,036	2,574
6V	8,350	8,430	8,350	8,377	0,047	0,116
6M	23,902	23,239	23,955	23,699	0,399	0,991
7V	2,082	2,243	2,095	2,140	0,089	0,222
7M	5,045	5,345	6,462	5,617	0,747	1,855
8V	8,615	9,213	9,239	9,022	0,353	0,876
8M	15,831	16,330	16,724	16,295	0,448	1,113
9V	1,050	1,011	0,960	1,007	0,045	0,113
9M	1,014	1,097	1,084	1,065	0,045	0,111
10V	5,100	5,589	5,846	5,511	0,379	0,942
10M	6,662	6,662	6,274	6,532	0,224	0,557
11V	0,242	0,233	0,250	0,242	0,009	0,021
11M	0,702	0,711	0,663	0,692	0,025	0,063
12V	2,434	2,318	2,603	2,452	0,144	0,357
12M	0,965	1,458	1,685	1,369	0,368	0,914
13V	5,284	5,613	5,360	5,419	0,172	0,428
13M	3,268	3,268	3,295	3,277	0,015	0,038
14V	11,292	10,930	11,370	11,198	0,235	0,583
14M	15,433	15,668	14,780	15,294	0,460	1,142
15V	2,860	3,917	3,428	3,402	0,529	1,315
15M	5,815	4,902	5,537	5,418	0,468	1,163
16V	10,205	10,392	10,485	10,361	0,143	0,355
16M	14,804	15,013	13,945	14,587	0,566	1,406

2014. április 26.

III. MELLÉKLET

Nyme Erdőmérnöki Kar, Kémiai Intézet

LABORATÓRIUMI JEGYZŐKÖNYV KIVONAT

Mérés megnevezése:

Tanév: 2013/14 II. félév

Anti-oxidáns kapacitás meghatározása

Név: Eső István

Nebehaj Esztella

Dátum: 2014.05.15.

Mérés elve:

Fakéreg anti-oxidáns kapacitásának meghatározása ABTS- módszerrel

Mérés kivitelezése:

1. Kalibráció

Standard: trolox 2 mM/l-es oldat, ezt kétszeresére hígítjuk 1 mM/l-es ($=1000\text{ }\mu\text{M/l}$) koncentrációra, és ebből készítjük a kalibrációs sort a következő táblázat segítségével:

1 mM-os trolox-ból bemért (μl)	5 mM-os pufferből hozzáadott (μl)	Végtérfogat (μl)	Hígítás	Trolox-koncentráció ($\mu\text{M/l}$)
0	200	200	-	0 (csak puffer van benne)
50	150	200	$200/50=4$	250 (1000/4)
80	120	200	$200/80=2.5$	400 (1000/2.5)
100	100	200	$200/100=2$	500 (1000/2)
150	50	200	$200/150=1.33$	750 (1000/1.33)
200	0	200	$200/200=1$	1000 (1000/1000)

A kalibrációs sor minden pontjából 40 μl -nyit pipetázunk a kémcsőbe, majd hozzáadunk 1960 μl ABTS⁺-oldatot. 10 perc múlva mérjük az oldat abszorbanciáját **734 nm**-en. A trolox pontos koncentrációi (ugye még számolni kell a kémcsőben lévő $2000/40=50\text{x}$ -es hígítással is):

Végleges trolox- koncentráció ($\mu\text{M/l}$)	Abszorbancia
0	...
$250/50=5$	...
$400/50=8$	...
$500/50=10$	...
$750/50=15$	...
$1000/50=20$	...

Az utóbbit ábrázoljuk a kalibrációs egyenesen.

2. Hígítási bemérések:

2x: 100 µl minta + 100 µl puffer-oldat

5x: 100 µl minta + 400 µl puffer oldat

10 x: 100 µl minta + 900 µl puffer-oldat

15x: 100 µl minta + 1400 µl puffer-oldat

A hígított mintából 40 µl-t pipetázunk a kémcsőbe, majd hozzáadunk 1960 µl $\text{ABTS}^{\cdot+}$ -oldatot. 10 perc múlva mérjük az oldat abszorbanciáját 734 nm-en.

ABTS $^{\cdot+}$ -oldat készítése:

39.2 µl 125 µM-os $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (kálium-perszulfát) + 1960.8 µl 7mM-os ABTS-oldat. Ezt előző nap összekeverjük, és 12-16 órát hagyjuk sötétben, majd másnap felhasználjuk.

Puffer-oldat:

5mM-os puffer oldat, amit KH_2PO_4 -ből és K_2HPO_4 -ből készítünk. Pontosan beállított a pH (7.4).

Mért adatok:

Kalibráció:

Trolox-koncentráció [µM/l]	Abszorbancia
0	0,674
5	0,551
8	0,465
10	0,424
15	0,286
20	0,157

$$y = -0,0259 \cdot A + 0,677$$

$$R^2 = 0,9995$$

meredekség: 0,0259

tengelymetszet: 0,677

Anti-oxidáns kapacitás:

Minta	A1	A2	A3	Össztérfogat (μ l)	Hígulás	Feltöltés (ml)	mM/100 g száraz átlag
1V	0,484	0,480	0,492	2000	50	15	6,921
1M	0,412	0,397	0,405	2000	50	15	24,732
2V	0,385	0,371	0,401	2000	50	15	25,521
2M	0,433	0,461	0,434	2000	50	15	40,571
3V	0,464	0,463	0,461	2000	50	15	7,335
3M	0,495	0,481	0,473	2000	50	15	16,760
4V	0,550	0,534	0,542	2000	50	15	23,986
4M	0,325	0,328	0,319	2000	50	15	62,227
5V	0,568	0,549	0,576	2000	50	15	9,963
5M	0,491	0,471	0,472	2000	50	15	35,334
6V	0,502	0,408	0,417	2000	50	15	20,463
6M	0,502	0,497	0,530	2000	50	15	28,766
7V	0,491	0,482	0,499	2000	50	15	6,381
7M	0,480	0,558	0,569	2000	50	15	12,300
8V	0,545	0,559	0,573	2000	50	15	20,521
8M	0,380	0,371	0,379	2000	50	15	52,848
9V	0,580	0,577	0,582	2000	50	15	3,430
9M	0,563	0,569	0,559	2000	50	15	3,963
10V	0,507	0,504	0,530	2000	50	15	14,638
10M	0,393	0,395	0,408	2000	50	15	25,093
11V	0,593	0,604	0,598	2000	50	15	1,336
11M	0,492	0,476	0,459	2000	50	15	3,425
12V	0,529	0,514	0,535	2000	50	15	5,270
12M	0,420	0,420	0,413	2000	50	15	9,287
13V	0,521	0,540	0,537	2000	50	15	12,311
13M	0,436	0,421	0,421	2000	50	15	22,255
14V	0,466	0,497	0,503	2000	50	15	32,495
14M	0,394	0,416	0,416	2000	50	15	46,689
15V	0,500	0,507	0,520	2000	50	15	5,749
15M	0,475	0,467	0,466	2000	50	15	17,789
16V	0,551	0,552	0,549	2000	50	15	33,387
16M	0,493	0,470	0,485	2000	50	15	50,098

2014. április 26.