

Nyugat- magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

TDK DOLGOZAT

2014



Fás szárú energetikai ültetvények fűtőértéke a főbb
farészek és a hozamok függvényében

Szerző neve: Götz Sándor Bálint

Témavezető neve: Dr. Komán Szabolcs
Témavezető Intézet: Faanyagtudományi Intézet

Sopron, 2014. november 3.

Tartalomjegyzék

1. Célkitűzés.....	3
2. Faenergetika helyzete Magyarországon	4
3. Kutatásban résztvevő fajok	7
3.1. Nyárok (<i>Populus</i>)	7
3.1.1. 'I-214' (<i>Populus x euroamericana</i> cv. 'I-214')	8
3.1.2. 'Kopecky' (<i>Populus x euroamericana</i> cv. 'Kopecky')	9
3.1.3. 'AF 2' (<i>Populus x euroamericana</i> cv. 'AF 2')	10
3.1.4. Erti (kísérleti klón)	10
3.2. Fehér akác (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	11
3.3. Fűzek (<i>Salix</i>)	12
3.3.1. 'Express' (<i>Salix alba</i> 'Express')	13
3.3.2. 'Drávamenti' (<i>Salix alba</i> 'Drávamenti')	13
4. Fatüzelés, energetikai áttekintés	14
5. Mérési módszer és elvi háttere	16
5.1. Kalorimetrlás	16
5.2. Fűtőértékkel kapcsolatos alapvető fogalmak	16
5.2.1. Égéshő	16
5.2.2. Fűtőérték	17
5.3. A tüzelőanyag minták égéshőjének kaloriméteres meghatározása	17
6. Vizsgálati anyag és módszer	19
6.1. Mintaelőkészítés	20
6.2. Bomba előkészítése	21
6.3. Fűtőérték kiszámítása	21
6.4 Hektáronként fűtőérték meghatározása	22
7. Eredmények	24
7.1. Tömegre vonatkoztatott fűtőérték	24
7.2. Fatest-kéreg arány	27
7.3. Térfogatra vonatkoztatott fűtőérték	28
7.4. Az ültetvények hozamadatai	31
7.5. Hektáronkénti fűtőérték	32
8. Általános összefoglalás, kiértékelés	34

9. Jövőbeni célkitűzések.....	36
Irodalomjegyzék	37
Ábrajegyzék	39
Köszönetnyilvánítás	40

1. Célkitűzés

Kutatásomat a TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projektben, a 2. számú „Dendromassza alapú energiaforrások” keretein belül folyó projekt részeként végzem.

Vizsgálatom célja, hogy megállapítsam egy azon fajból származó, egyező és különböző klónú egyedek fűtőértékét tömegre, térfogatra vonatkoztatva. Fő feladatom, ezen belül, hogy a vizsgált egyedek mutatnak-e eltérést a különböző termőhelyek között, valamint az egyes klónok közötti különbségek feltérképezése.

Munkám e nagy projekten belül a következőket hívatott vizsgálni és kielemezni;

- Különböző termőhelyekről származó nyár, akác, fűz klónok feldolgozása, mintavétele és kategorizálása
- Ezen vizsgált minták szekcionálása, törzsenként 3 részre bontva, külön mérve
- A vizsgált anyagok ledarálása, majd pasztillázás után fűtőérték vizsgálat
- A tömegre, térfogatra, hektárra vetített fűtőérték meghatározása a főbb farészek tulajdonságainak a figyelembevételével



1. ábra Energetikai nyár ültetvény az ERTI kísérleti telepén

2. Faenergetika helyzete Magyarországon

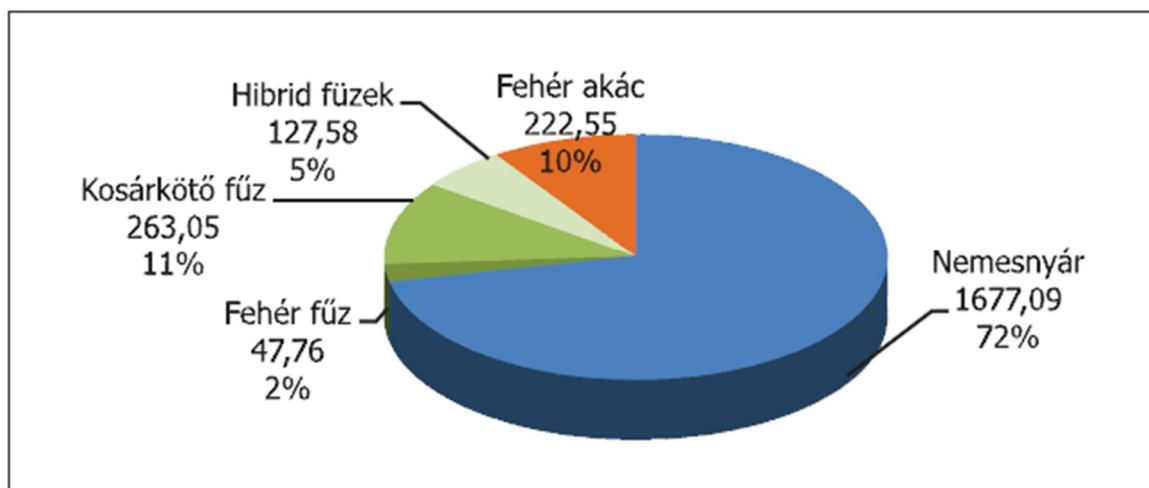
A dendromassza (a faalapú biomassza), mint energiaforrás fokozatosan visszanyeri stratégiai jelentőségét az épületek (családi házak stb.) energia ellátásában. A faanyag „reneszánszához” a fosszilis nyersanyagok, energiahordozók fogyatkozó készletei mellett elsősorban az a tény járul hozzá, hogy az egyébként is kiváló tulajdonságokkal rendelkező fa igen pozitív szerepet játszik a globális klímaváltozás mérséklésében, a CO₂ kibocsátás csökkentésében. A fa energetikai hasznosításáról ismert, hogy nem jelent többlet széndioxid kibocsátást. Nem elhanyagolható szempont az sem, hogy az épületek, építmények gázfüggőségének mérséklésében a faalapú energiaforrások játsszák a legjelentősebb szerepet. Az erdőtelepítéseket és az energetikai faültetvények létesítését nem csak a vidékfejlesztés egy lehetséges eszközeként, hanem éghajlatvédelmi beruházként is kell értelmeznünk. Meg kell állapítanunk, hogy jelenleg Magyarországon a megújuló 83%-ba biomassza alapú energiát jelentenek, amelynek túlnyomó többsége az erdőből származó tűzifa és a faipari feldolgozás során keletkező faalapú melléktermékek elégetéséből származik. Elsősorban ennek köszönhető, hogy jelenleg a megújuló részaránya az összes primer energiafelhasználásból 7%-ot tesznek ki. Ugyanakkor azt is hangsúlyoznunk kell, hogy megközelítettük az erdőből származó, energetikai célú „biomassza” kitermelésének felső határát. A tűzifa jelenleg a teljes kitermelés több mint fele 3,6 millió m³. Fontos kiemelnünk, hogy a célul kitűzött energianövekmény csak az energetikai faültetvények szélesebb körű elterjesztése révén valósítható meg. Az ilyen típusú ültetvények egységnyi területen akár egy nagyságrenddel több faalapú biomassza megtermelésére adnak lehetőséget, ráadásul rövid 2-3 éves vágásfordulóban. Az energetikai faültetvények széleskörű elterjedésének jelenlegi stádiumában alapvető érdekünk a hazai környezeti feltételek között biztonságosan termeszthető, megfelelő hozamot biztosító fajták előállítása és korszerű termesztéstechnológiai eljárások kidolgozása (Horváth et al. 2014).

Energetikai célokra hasznosítható faanyag jelentős mennyiségben öt forrásból származhat:

- a hagyományos erdőgazdálkodás (állami- és magánszektorból) tűzifa választékából
- (lakossági tűzifa, export tűzifa, erőműi tűzifa);
- a fahasználatok során képződő apadék, vágástéri melléktermék, vékonyanyag, gallyanyag, tuskó, kéreg;
- a faanyag feldolgozása során képződő melléktermék, illetve az elhasznált fatermékek;
- energetikai faültetvények faanyaga, mely többnyire apríték formában hasznosul.

(Horváth et al. 2013)

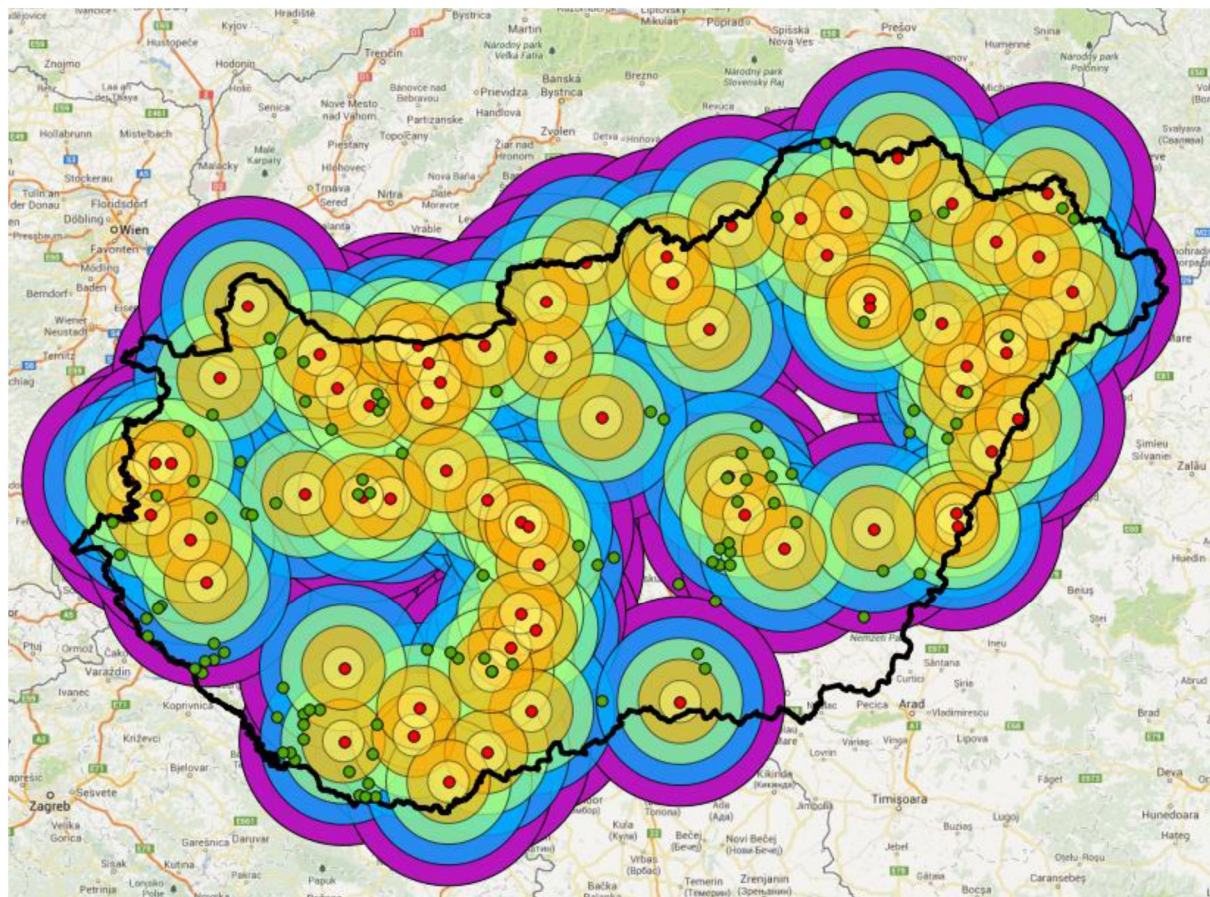
Jogszabályi előírás alapján [45/2007. (VI. 11.) FVM rendelet] sarjzattatásos típusú fás szárú energetikai ültetvény kizárólag fekete nyár, fehér nyár, rezgő nyár, szürke nyár, fehér fűz, kosárkötőfűz és fehér akác fajokból, illetve a belőlük levezethető fajtákból létesíthető. Bár az ültetvényekben felhasználható fajok száma kevés, eltérő termőhelyi igényük folytán általuk változatos termőhelyek hasznosíthatóak. A NÉBIH Erdészeti Igazgatósága adatai alapján az energetikai ültetvények területe hazánkban 2012 végén összesen 2338,03 hektár volt (NÉBIH, 2012). Az ültetvények által elfoglalt terület fajtamegoszlását a 2. ábra szemlélteti (a fajok megnevezése alatt az általuk elfoglalt, hektárban mért terület nagysága, illetve azok területaránya látható) (Borovics et al. 2013).



2. ábra Az energetikai ültetvények fajtamegoszlása Magyarországon 2012-ben

Az energiaültetvények energiamérlegének javítása érdekében elengedhetetlen, hogy az ültetvények közelében legyen a hasznosításuk (3.ábra). Minél közelebb van a felhasználóhely

az ültetvényhez annál kevesebb energia befektetést jelent a szállítás, így javul a folyamat energiamérlege.



3. ábra Magyarország energiaültetvényei és felhasználói (Vágvölgyi 2013)

A biomassza hasznosító energiatermelő egységek lehetséges beszállítói körzetei 10, 20, 30, 40, 50 km-es távolságban (Jelmagyarázat: zöld pont:ültetvények települései; piros pont:energiatermelő egységek; sárga kör 10 km-es távolság; narancssárga kör 20 km-es távolság; világoszöld kör 30 km-es távolság; kék kör 40 km-es távolság; lila kör: 50 km-es távolság) (Vágvölgyi 2013).

3. Kutatásban résztvevő fajok

3.1. Nyárok (Populus)

A nyárok könnyű, homogén sokoldalúan felhasználható faanyaguk révén egyre növekvő szerepet játszanak a hazai és nemzetközi fagazdaságban. Ezt igazolandó elég megemlíteni, hogy ma a hazai nettó fakitermelés 1/5-e nyárfa, az erdőtelepítésekben pedig 30-40% a nyárasok részaránya. E magas arány gyors növekedésüknek, rövid vágásfordulójuknak és jól értékesíthető faanyaguknak köszönhetően az elkövetkezendő években fokozatosan növekedni fog. Ezt segíti elő a gazdaságosan nem művelhető mezőgazdasági területek erdősítése is. Mivel az ültetvényszerű fatermesztés elvi és gyakorlati feltételeit leginkább a nyárok elégítik ki, ezért az ültetvényszerűen termeszthető fajok között ma világszerte a legnépszerűbbek közé tartoznak (Komán 2012) (4. ábra).



4. ábra 2 és 10 éves nemesnyár ültetvények (fotó:Ivelics)

3.1.1. 'I-214' (*Populus x euroamericana* cv. 'I-214')



5. ábra 'I-214' nyár kísérleti ültetvények (borjádi, celldömölki, sárvár -bajti)

Olaszországban a Pó völgyében egy deltoidos nyár és őshonos fekete nyár keresztezéséből keletkezett hibrid. Magyarországra 1952-ben hozták be. Törzse enyhén ívesen hajlott, hajlamos oldalágak növelésére, az oldalágak szélesen elállóak, csaknem egyenesek. A levelek nagyok, hosszuk nagyjából megegyezik a legnagyobb szélességükkel. Koronában erőteljes ágrendszerre bomló törzzsel rendelkezik. A törzs legfeljebb alig sudarlós. Az ágak a törzsön szórt állásúak, jellemzően, durva vastagodásra hajlamosak, gyakori a villás ágrendszer. A korona széles elégséges növőtér esetén terebélyes, laza. Gyakori a törzsek görbülése állandó szélnyomás hatására. Kérge sokáig sima, fénylő, vékony, fiatal korban jól rajzolódó, paraszemölcsökhöz hasonló jellegzetes pettyeződéssel. Az idősebb korban is csak mérsékelten durva héjkéreg jóval később alakul ki. A hosszanti kéregrepedések barázdái világosak, a kéregnek jellegzetesen sárgásszürke árnyalatot adnak. Kéregfekély megbetegedésre közepesen hajlamos. A korai és a kései fagyokra érzékeny, a fagylécesedésre mérsékelten hajlamos. Jellemzően sekély gyökérrendszere miatt könnyen szélöntésnek esik áldozatul. Az egyik leggyorsabb és legerőteljesebb növekedésű nyárfajtánk. Ez jó termőhelyeken tartós, közepes fa-termőképességű nyárfá-termőhelyeken 10-15 évesen erősen lelassul, megáll (kulliminál). Ökológiai plaszticitása igen nagy, tág határok között mozog; nagy fatermést azonban csak jó és legalább jó-közepes fa-termőképességű termőhelyeken, jó tápanyag-ellátottság, kedvező vízháztartási viszonyok, jó szellőzöttség, intenzív művelés mellett ad. Gyors növekedése és nagy fatermőképessége folytán az egyik legjelentősebb és leginkább

kedvelt, és nyárfajtánk. Az ültetvényyszerű nyárfatermesztés egyik legfontosabb kultivárja (Tóth 2006)(5. ábra).

3.1.2. 'Kopecky' (*Populus x euroamericana* cv. 'Kopecky')



6. ábra 'Kopecky' nyár kísérleti ültetvények (borjádi, celldömölki)

Az Erdészeti Tudományos Intézet sárvári kísérleti állomásán Kopecky Ferenc által létrehozott mesterséges hibrid. A törzs egyenes, a koronán végigfutó; erősen sudarlós. Az oldalágak egymástól távol eső álgörvekben rendeződnek. A korona keskeny karcsú. A levelek közepes nagyságúak, lombozata inkább laza, sötét tónusú. A kéreg a törzs alsó részén igen korán parásodó, majd erőteljesen durva héjkéreg. A fagykárosodásokkal szemben a lombozata, hajtásrendszere ellenálló. A kezdeti növekedés erőteljes, ez később mérséklődik, de az óriás nyárét így is felülmúlja. Telepítése elsősorban a lazább homoki vagy vályogos homoktalajú nyárfa-termőhelyekre javasolható. A termőhelyigény tekintetében mutatkozó nagyfokú plaszticitása lehetővé teszi a nemesnyártermesztést egy bizonyos, korlátozott termőképességű termőhelysávban is. A növekedési tulajdonságai elsősorban a „tömegfa” termesztés céljaira teszik alkalmassá (ideértve az energetikai fatermesztést is) (Tóth 2006)(6. ábra).

3.1.3. 'AF 2' (*Populus x euroamericana* cv. 'AF 2')



7. ábra 'AF-2' nyár kísérleti ültetvény (<http://www.energyforest.eu/af2.html>)

1994-ben *P. deltoides* × *Populus nigra* keresztezésével létrehozott nemesített fajta. Egyenes hengeres törzsű. Sűrű tömött ágrendszerrel rendelkezik. Homokos agyagos talajokon is termesztethető jó vízháztartás mellett. Kettő vagy öt éves vágásfordulójú fajta. Felhasználása: energiaültetvény; biomassa, forgácslap, papíripar, pellet. (<http://www.alasiafranco.it/biomassa.asp?lingua=eng>) (7. ábra).

3.1.4. Erti (kísérleti klón)

Az Erti, Erti I., Erti II. nyárfák klónok még nincsenek köztermesztésbe bevonva így egyenlőre fajtaleírásuk sem található meg.

3.2. Fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.)



8. ábra Akác kísérleti ültetvények (celldömölki, sárvár-bajti)

Észak-Amerikából származó, hazánkban az 1700-as években meghonosított fafaj, amely a legjelentősebb állományalkotó fafajaink közé tartozik. Alföldi területeken jelentősége meghaladja az országos mértéket, mert olyan termőhelyeken biztosítja a folyamatos erdőborítottságot, a gazdaságos fatermesztés lehetőségét, ahol más fafajokkal sikertelen lenne az erdőtelepítés vagy az erdőfelújítás. A fafaj energetikai hasznosítását számos kedvező tulajdonsága segíti. Viasszerző képessége kiváló, tuskó és tősarjról egyaránt jól újul. Szárazságtűrésének köszönhetően csapadékban szegény, többletvízhatástól független alföldi területeinken, ahol szántóföldi művelésre gazdaságosan már nem hasznosítható termőhelyek találhatóak, egyedüli lehetőségként vehető figyelembe energetikai ültetvények telepítésénél. Gyökerein szimbiózisban élő nitrogénkötő baktériumok segítségével gyenge tápanyagellátottságú homoktalajainkon is megfelelő növekedést mutat. Fiatalkori gyors növekedése alkalmassá teszi rövid vágásfordulóval – 2-5 éves vágásciklus – történő kezelését. Fényigénye magas, ezért a megfelelő hozamot biztosító, és a fényhiány miatti tő- és hajtáspusztulást minimalizáló telepítési hálózat kialakítása kiemelten fontos (Csiha et al. 2011) (8.ábra).

3.3. Fűzek (*Salix*)



9. ábra Fűz kísérleti ültetvények (www.tankonyvtar.hu)

Jó növekedést csak akkor mutat, ha gyökerei eléri a talajvizet. Erősen fényigényes és a laza talajokat kedveli. Vízigényes fafaj. A *Salix* nemzetség mintegy 400 fajának többsége az északi félteke és a mérsékelt égöv északi peremének növényei, jellemzően Európában és Ázsiában fordulnak elő. Magyarországon természetesen, illetve telepítve, mintegy 20 fűzfajjal találkozhatunk, melyek között vannak fák, cserjék és törpecserjék is.

Érdekes megjegyezni, hogy az intenzív nyártermesztés háttérbe szorította nemzetközi szinten is a fűzet, de az utóbbi években végzett kísérletek (9. ábra) az mutatják, hogy a fűzek - nemes nyárakkal szemben – a tápanyagban szegényebb talajokon is jó növekedést mutatnak. Ma a magyar erdők kb 1 %-át alkotják fűzesek (elsősorban a Duna és a Tisza árterein) (Molnár 2004).

3.3.1. 'Express' (*Salix alba* 'Express')



10. ábra 'Express' fűz kísérleti ültetvények (www.silvanusforestry.com)

Hazánkban is őshonos fehér fűz nemesítésének eredménye. Faalakú fűz, mely egyaránt alkalmas fás szárú, sarjzatatott, rövid vágásfordulójú (2-3év) energetikai (apríték vagy biomassa termelési céllal) és iparifa termelési célú, hengeres választékot adó faültetvények létesítésére, mintegy 5-10 éves vágáskorral. Habitusában feltűnő a fehér fűztől eltérő világoszöld megjelenésű lombozat (10. ábra), a smaragdzöld hajtások és a tönél vörösesen felrepedező kéreg. Környezeti tűrőképessége nagy, a többi fűz fajtánál jóval gyorsabban nő, és jobb a szárazságtűrése is. Fatermése egészen kimagasló. Energianövényként 2 évente javasolt letermelni és egyedülálló módon akár 10x is sarjzatható. Alkalmas belvizes területek, nádasok vagy időszakosan vízzel borított területek hasznosítására, kiszáritására (<http://www.silvanusforestry.com/express-energiafuz.html>).

3.3.2. 'Drávamenti' (*Salix alba* 'Drávamenti')

Régi nevén Veliki Bajar, a régi Jugoszláviából származó fűz klón. A Dráva öntéstalaján szelektálták. Nőivarú. Törzse egyenes, esetleg enyhén hajlott. koronája szabályos, laza szerkezetű. Ágai vékonyak, szűrt állásúak. Növekedése rendkívül erőteljes a kotus láp és az öntéstalajokon, felszínig nedves homokos réti talajon (Tóth et al. 1977).

4. Fatüzelés, energetikai áttekintés

A megújuló energiaforrások egyik legfontosabb pillére – különösen hazánkban – a biomassza. A biomassza felhasználás egyáltalán nem új módszer az energianyerésre. A kis és közepes gazdaságok számára igen nagy jelentőséggel bír, mint energiaforrás (Bai 2002).

A kutatások egyértelműen arra utalnak, hogy a hazai energiatermelés megújításában kulcsszerepe van, ill. lesz a különböző biomasszák, mezőgazdasági, erdőgazdasági és hulladék felhasználásának energianyerés céljából. A biológiai eredetű szervesanyagtermékek, még az olyan mezőgazdasági potenciállal rendelkező országban is, mint Magyarország, egyik legfontosabb forrása az energiaerdők és az energetikai faültetvények. Az energiaerdők speciális céllal létesített és üzemeltetett erdők, míg az energetikai faültetvények energiatermesztésre létesített faültetvények, amelyek elsődleges fafajai a fűzfélék, az éger, a nemesnyárok és az akác (Fehér et al. 2013).

A különböző biomasszák energianyerési célú felhasználását azok fűtőértéke, hamutartalma és egyéb égés jellemzői határozzák meg jelentős mértékben. Az egyes fajok energetikai jellemzőire viszont az adott faj genetikai tulajdonságai, szöveti szerkezete, makroszkópos jellemzői, ill. az állomány kora van hatással. A fa, mint tüzelőanyag szempontjából tulajdonságai közül négy összetevő az, amely az energetikai hasznosítás tekintetében főleg meghatározó: a sűrűség, a fűtőérték, a nedvességtartalom, fatest-kéreg arány valamint a hamu mennyisége és annak alkotói (Toth et al. 2007).

A biomassza energetikai hasznosítása során keletkező éghetetlen salak, a nagyobb teljesítményű tüzelőberendezéseknél speciális üzemeltetési gondokat vet fel. Ez egyrészt a tüzelőberendezés karosodásával, másrészt a nagy mennyiségben keletkező hamu elhelyezésével kapcsolatos. Ezen problémák elsősorban a tüzelőanyag megtermelése során a talajból a biomasszába beépülő kémiai elemek jelenlétével és azok hatásával magyarázható.

A biomassza alapú tüzelőanyagok fizikai, kémiai és elemi összetétele határozza meg az égés tulajdonságait, a visszamaradó hamu mennyiségét, annak olvadáspontját, valamint a füstgáz összetételét. Általánosságban a kémiai összetevők mennyiségével kapcsolatban az alábbi kijelentéseket tehetjük:

- Azoknak a tüzelőanyagoknak, amelyeknek magas a kálium, nátrium és szilícium tartalma, alacsonyabb a hamuolvadási pontja
- A klórtartalom növekedésével növekszik a korróziós hatás előfordulásának valószínűsége
- Magas nitrogén- és a kéntartalom esetén az emissziós értékek romlása tapasztalható

Mérésem leírásához szükségesnek találtam az alkalmazott technikák bemutatását, ezt a következő fejezetekben meg is teszem.

5. Mérési módszer és elvi háttere

5.1. Kalorimetralás

Az energiatermeléshez, hőközléshez szükséges hő jelentős részét tüzelőanyagok égetése útján nyerik. Az égés a tüzelőanyagok éghető részeinek a levegő oxigénjével való gyors egyesülése, amely jól észlelhető hőfejlődéssel jár. Az égés tehát oxidáció, amely során az éghető anyagok kémiaiilag kötött energiájának egy része hő formájában szabadul fel. A tüzelőanyagokat legtöbb esetben levegővel (légköri nyomáson) égetik el, eközben gáz-halmazállapotú égéstermék, füstgáz keletkezik. Az égés folyamatában a fizikai tényezők (keverés, levegő-hozzávezetés, füstgáz-elvezetés, tüzelőterek kiképzése, tüzelőberendezés fajták stb.) szerepe a kémiai tényezőkkel azonos fontosságú.

A tüzelőanyagoknak égési tulajdonság szempontjából éghető és nem éghető összetevői vannak.

- Éghető összetevők: C, H, S.
- Nem éghető összetevők: O, H₂O, N, hamu

Az egyes összetevőket a tüzelőanyag általában nem elemi állapotban, hanem különféle vegyületek formájában tartalmazza, ezért a tényleges összetétel meghatározása igen nehéz. A gyakorlatban az elemi összetétellel (tömeg vagy térfogatszázalékban kifejezve) jellemzik a tüzelőanyagokat. A C, H és O-tartalom a tüzelőanyag égési tulajdonságai, a kén-tartalom és nitrogéntartalom pedig elsősorban a korrózió és környezetszennyezés szempontjából fontos paraméter.

A kén jelenléte azért nem kívánatos, mert az elégetéskor keletkező kén-oxidok egy-részt savas esőt eredményeznek, másrészt erős korróziót okoznak. A nem éghető rész szervesetlen vegyületei az égés után hamuként maradnak vissza. A tüzelőanyagok tüzeléstechnikai szempontból legfontosabb jellemzője az égéshő és a fűtőérték (<http://www.muszeroldal.hu>).

5.2. Fűtőértéssel kapcsolatos alapvető fogalmak

5.2.1.Égéshő

A tüzelőanyag tömeg- vagy térfogategységének teljes elégetésekor keletkező átalakulási hő: az a hőmennyiség, amely az egységnyi mennyiségű tüzelőanyag tökéletes elégetésekor 25°C

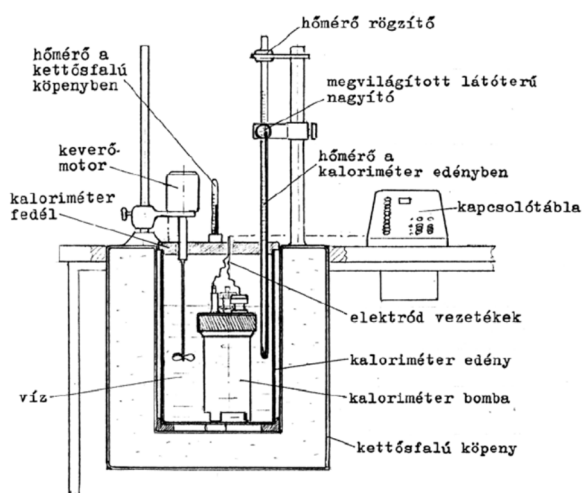
állandó hőmérsékleten, 3,0 MPa túlnyomású oxigénben felszabadul. Az égéshő kísérletileg kaloriméterben határozható meg. Az elégés után gáz halmazállapotú oxigén, nitrogén, szén-dioxid, nitrogén-oxidok és kén-dioxid, folyékony halmazállapotú víz és szilárd halmazállapotú hamu marad vissza.

5.2.2. Fűtőérték

Az elégetéskor a tüzelőanyagból eltávozó és a hidrogén elégéséből keletkező víz párolgási hőjével csökkentett égéshő (A tökéletes égés után a víz gőz halmazállapotú).

5.3. A tüzelőanyag minták égéshőjének kaloriméteres meghatározása

A 11. ábra szemlélteti a kaloriméter felépítését és működési elvét. A kísérletet egy IKA 2000C márkájú géppel végeztem (12. ábra).



11. ábra Kaloriméter sematikus ábrája



12. ábra IKA 2000C típusú kaloriméter

Kaloriméteredény: vékonyfalú, kb. 3-4 liter űrtartalmú nikkelezett fém tartály, felülete a sugárzó hő visszaverésére fényesre polírozott. A környezettel való hőcsere megakadályozására vízzel töltött kettősfalú köpeny veszi körül. A kaloriméter- edény szolgál annak a vízmennyiségnek a befogadására, amely átveszi a kaloriméterbombától a tüzelőanyag elégetésekor fejlődő hőt. A kaloriméteredény vizét kevertetni kell, hogy abban a helyileg fel-lépő hőmérséklet- különbségek rövid idő alatt kiegyenlítődjenek.

A kaloriméteredényben a bombát középen kell elhelyezni, hogy a keverővel mozgásban tartott víz szabadon áramolhasson a bomba körül, a keverőlapát szabadon mozogjon.

A keverőberendezés_a keverőből és az ezzel egybeépített hajtószerkezetből áll. A keverőtengely, így a keverőlapát helyzete a kaloriméteredényben változtatható. A hőmérséklet-mérésre elektronikus úton történik tíz-ezred $^{\circ}\text{C}$ -os nagyságrendben.

A vizsgálandó minta meggyújtása a kaloriméterbombában elektromos úton történik. Az elektródok áramkörére 12-14 V gyújtó feszültség rákapcsolása a gyújtóhuzalt izzásba hozza.

6. Vizsgálati anyag és módszer

A minták az Erdészeti Tudományos Intézet 3 különböző, 3 éves korú kísérleti ültetvényéből (borjádi, celldömölki, sárvár-bajti) kerültek beszállításra bezsákolva. A legjobb minőségű termőhely a borjádi, a közepes a bajti (Sárvár), míg a leggyengébb a celldömölki terület. Egy fafajon/fajtán belül a szár alsó, középső és felső részéből vágtam ki mintadarabokat a vizsgálathoz. Amelyik mintánál a keresztmetszet nagysága lehetővé tette különválasztottam a fatestet a kéregtől. Ez a felső vékony részeken azonban már nem volt kivitelezhető. A minták először felvágásra kerültek. A különböző termőhelyekről érkező klónokból 5-5 db-ot vágtam ki (13. ábra) a szár különböző helyéről. Ezt követően méretarányosan befényképezésre kerültek.



13. ábra Minták méretarányos fotózása kéreg-fatest arány megállapításához

A későbbiek folyamán ezen képek segítségével lett meghatározva a fatest-kéreg arány, amit a kivágott részek alsó és középső mintáinak átlaga szolgáltatott. A kéreg vastagsága függ a fafajtól, a kortól és az ökológiai tényezőktől. Ugyanolyan átmérő mellett a fiatal fának vékonyabb, az idősebb fának vastagabb a kérge (Sopp 2000). Mivel jó termőhelyen a törzsek előbb érnek el bizonyos átmérőt, azonos átmérő esetén kisebb kéregvastagságot adnak, mint a rosszabb termőhelyeken.

Fontos figyelembe venni az egyes fajok és azon belül klónok kéreg arányának mértékét, mert fűtőértéke eltér a fatestétől és tüzeléstechnikai szempontból sem elhanyagolható tényező.

Mivel a minták még élőnedves állapotban kerültek hozzánk, ezért ki kellett szárítani őket először 12-14%-os nettó nedvességtartalomra, azért hogy megkezdhessem ezek darálását.

A minták darálása 2 ütemben zajlott; először egy durvább gallyaprítóval, majd ezt követően egy finomabb pordarálóval. Miután a darálás megtörtént a mintákat bezacskozóztam és felcímkéztem.

Az előkészített minták így kerülhettek a laborba, fűtőérték vizsgálatra. A laborban a zacskókból Petri csészékbe helyezve, több napot töltöttek szárítószekrényben (14. ábra) az abszolút száraz ($u=0\%$) állapot elérése érdekében, azért hogy a nedvességtartalom ne befolyásolja a mért értékeket.



14. ábra Szárítószekrénybe berakott minták



15. ábra Tablettaprés

6.1. Mintaelőkészítés

A vizsgálandó minta tömegét úgy kell megválasztani, hogy a kalorimétereredény vizének várható hőmérséklet emelkedése 2-3 °C legyen. Ez fa mintából 0,5-1g anyagot jelent. Az anyagmintákat analitikai pontossággal, tizedred gramm nagyságrendben kell bemérni. A mintákat egy erre a célra készített tablettaprésszel készítettem elő (15. ábra).

A gép működéséhez elengedhetetlen a megfelelő mennyiségű és nyomású (30 Bar) oxigén biztosítása. A mérés kezdete előtt csatlakoztatni kell hozzá a vízhűtő berendezést is. Bekapcsolás utána a gépnek 5 percre van szüksége a mérés elkezdéséhez. Ha a gép készenléti

állapotban van, elkezdhetjük a mérést. A lemért tömeget, minta számát be kell táplálni a kaloriméter paneljébe. A gép addig nem indul el, amíg a bomba nincs megfelelően a helyére téve.

6.2. Bomba előkészítése

Az ellenőrzött tömegű tablettát adott minőségű és hosszúságú pamutszállal átkötve az égetőtégelybe kell helyezni, majd a tégelyt a bombafedél oxigénbevezető csövén kiképzett tartógyűrűbe kell tenni. Ezt úgy kell felszerelni, hogy a gyújtóhuzal az elektródokat meghatározott helyen egy ágban, feszesen kösse össze. (Más fémmel, pl. a bomba falával, stb. a gyújtóhuzal ne érintkezzen!) A pamutszálat a gyújtóhuzalra kell hurkolni úgy, hogy ezáltal a minta és a huzal összeköttetése biztosítva legyen. Ezt követően kerülhet a bomba behelyezése a gépbe, majd a mérés elindítása.

A gép dinamikus üzemmódban 10-15 perc alatt végez el egy vizsgálatot. A mérés végeztével az adatokat MJ/kg adja meg. A mintáknak a szár különböző magasságában elfoglalt helye szerint a különböző fafajok/fajták esetében 5-5 darab mérést végeztem.

6.3. Fűtőérték kiszámítása

A Dulong-féle képlettel az égéshő az elemi összetételből meghatározható (+/- 10%-os pontossággal)

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

A faanyag átlagos elemi összetételét kg/kg-ban kifejezve (Németh 1997):

$$C=0,5 \qquad O=0,44 \qquad H=0,06$$

és ezt behelyettesítve az összes fafaj átlagában (u=0%)

$$E=17700 \text{ kJ/kg}$$

A fának a gyakorlati elégetésekor az elemi összetételben figyelembe vett hidrogénből és az oxigénből egy részéből vízgőz keletkezik, amely a fában lévő víztartalommal együtt gőz formájában eltávozik. Tehát a gyakorlatban felhasználható hőmennyiség-a fűtőérték- kisebb mint a teljes égési hő (Molnár 2004).

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

A kifejezés abszolút száraz állapotra redukálva:

$$F_0 = E - 1350 \text{ kJ/kg}$$

A vizsgálati eredmények kb. 250 mérés alapján kerültek értékelésre. A mért fűtőértékek számuknak megfelelően átlagolva lettek. A leírt fűtőértékek már az 1350 kJ/kg-os érték levonásával kerültek felhasználásra.

A mért minták közül jó néhány nem tartalmaz adatot a kéregre vonatkozólag, ez a fent említett vékony keresztmetszet, vagy a túl vékony (elhanyagolható mennyiségű) kéregnek köszönhető.

6.4 Hektáronként fűtőérték meghatározása

A mérési eredményekből egy általam meghatározott számítással határoztam meg a hektáronkénti fűtőértéket MJ-ban kifejezve. Ebben figyelembe vettem a tömegre vonatkoztatott fűtőértéket, a kéregarányt, a sűrűséget és a hektáronkénti átlagos éves hozamot. Ez által kapunk egy összefogó, átlátható és számszerűsített adatot, amely alapján kirajzolódnak a valós különbségek az különböző fajták között. (A számításba azokat a klónokat illetve termőhelyeket tudtam bevonni, amelyeknél rendelkezésemre álltak az éves növekmények értékei)

Első lépésben a fatest és a kéreg térfogati arányait figyelembe véve kiszámítottam az egész szára vonatkozó fűtőértéket térfogatra vonatkoztatva.

$$F_V = F_{VF} * A_F + F_{VK} * A_K \quad \text{ahol,}$$

F_V : a teljes szár fűtőérték térfogatra vonatkoztatva (MJ/m³)

F_{VF} : a fatestre fűtőértéke térfogatra vonatkoztatva (MJ/m³)

F_{VK} : a kéregre fűtőértéke térfogatra vonatkoztatva (MJ/m³)

A_K : kéreg térfogati aránya (%)

A_F : fatest térfogati aránya (%)

Következő lépésben - mivel a hozam adatok tömegben vannak megadva - a megfelelő sűrűségi értékkel visszaosztottam az előbb számolt adatokat. Így megkaptam az egész szárra vonatkozó fűtőértéket tömegre vonatkoztatva.

$$F_0 = \frac{F_V}{\rho} \quad \text{ahol,}$$

F_0 : a teljes szár fűtőértéke tömegre vonatkoztatva (MJ/kg)

ρ : abszolút száraz sűrűség (kg/m³)

Az utolsó lépésben megszoroztam a fenti eredményt a hozam adatokkal, így megkaptam a hektáronkénti fűtőértéket.

$$F_C = F_0 * B \quad \text{ahol,}$$

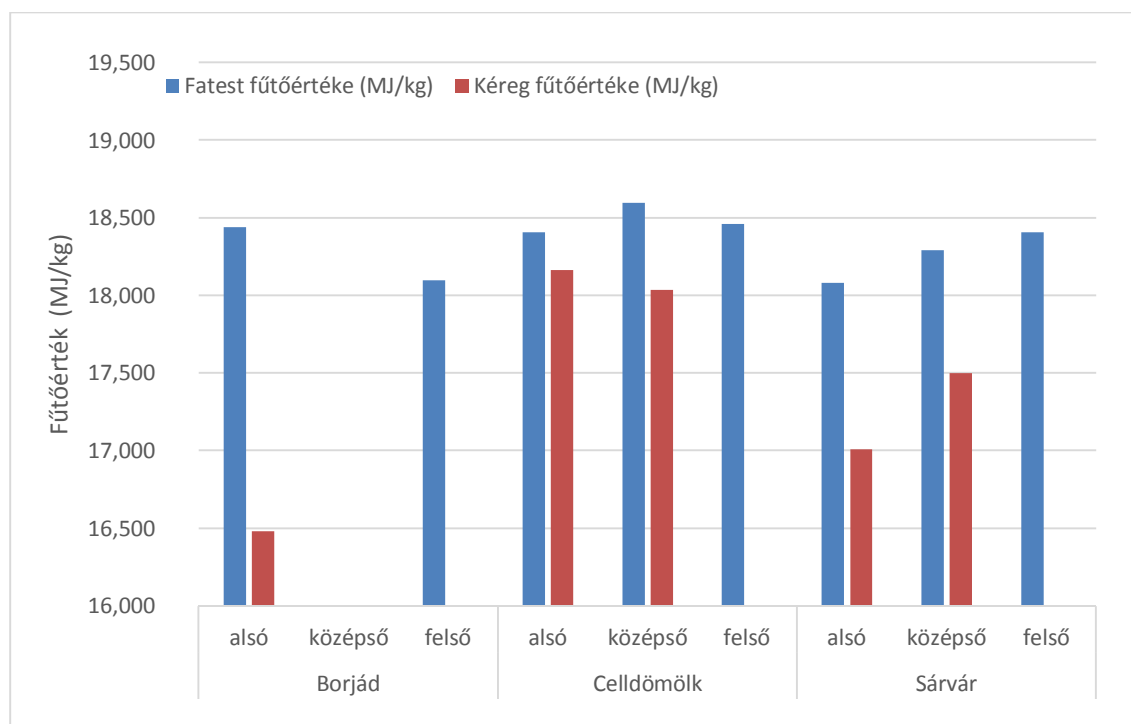
B : hozam hektáronként (t)

F_C : hektáronkénti fűtőértéket (MJ)

7. Eredmények

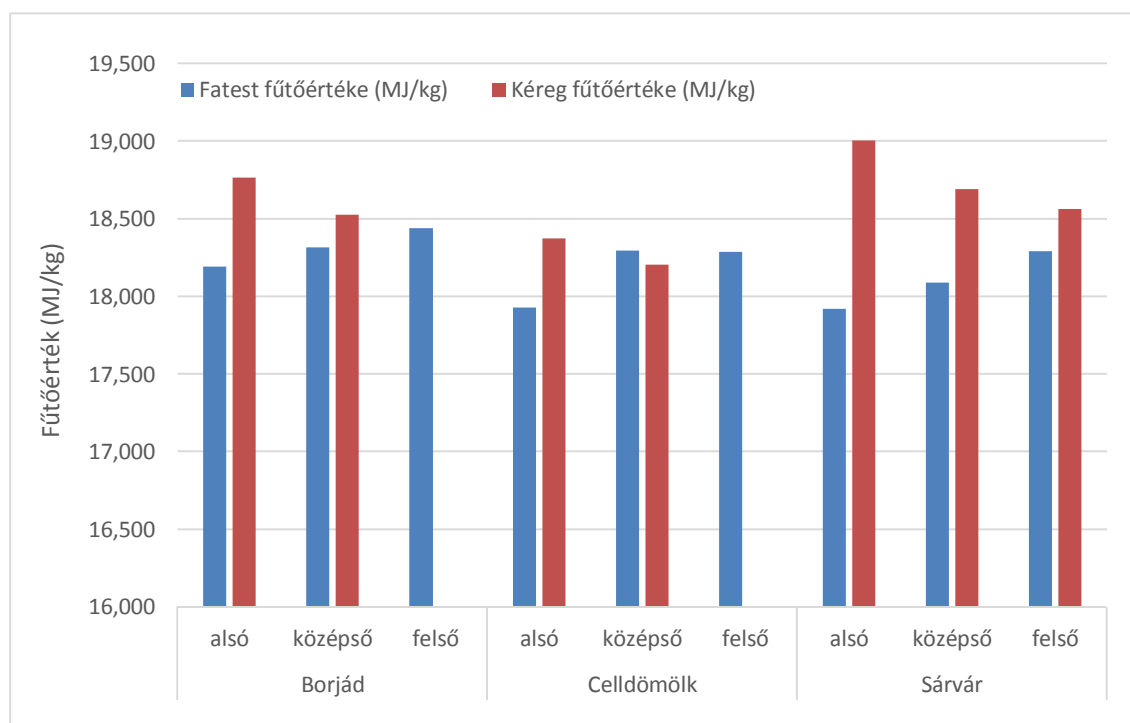
7.1. Tömegre vonatkoztatott fűtőérték

Az 'I-214' nyár (16. ábra) esetében a két fő farész viszonyában elmondható, hogy a kéreg fűtőértéke általában elmarad a fatestéhez képest. Ez különösen a borjádi és a sárvári területekről származó mintákra érvényes. A fatest fűtőértéke a termőhelyek és a törzsön belül elfoglalt hely viszonyában nem mutat számottevő eltérést. A kéreg esetében azonban már jelentős különbségek figyelhetők meg a termőhelyek között.



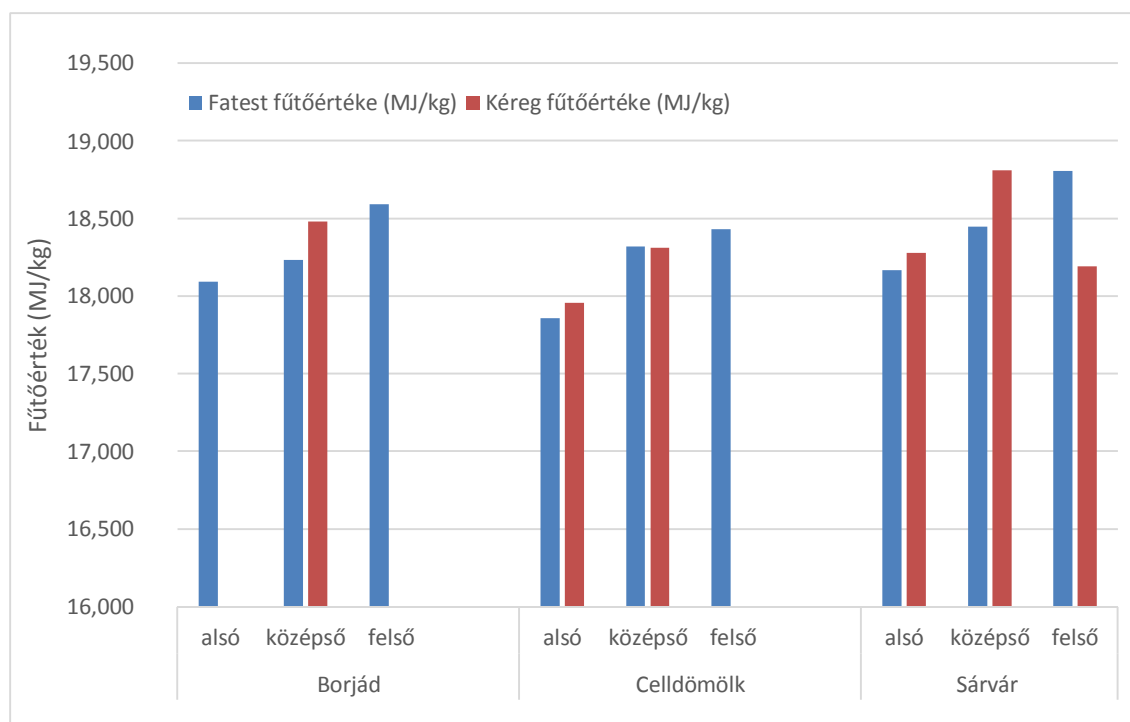
16. ábra 'I-214' nyár fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint

A 'Kopecky' nyár (17. ábra) esetében a kéreg fűtőértéke többnyire magasabb értéket ér el a fatesthez képest, kivétel a celldömölki minta, amelynél közel azonos nagyságrendű. A fatest fűtőértéke a termőhelytől függetlennek mondható, viszont a törzsön belül elfoglalt helye szerint a tő közelében a legalacsonyabb. A kéreg esetében a fatesten belül elfoglalt helye szerint megállítható, hogy a tő közelében nagyobb a fűtőérték és ez arányosan csökken a felsőbb részek felé.



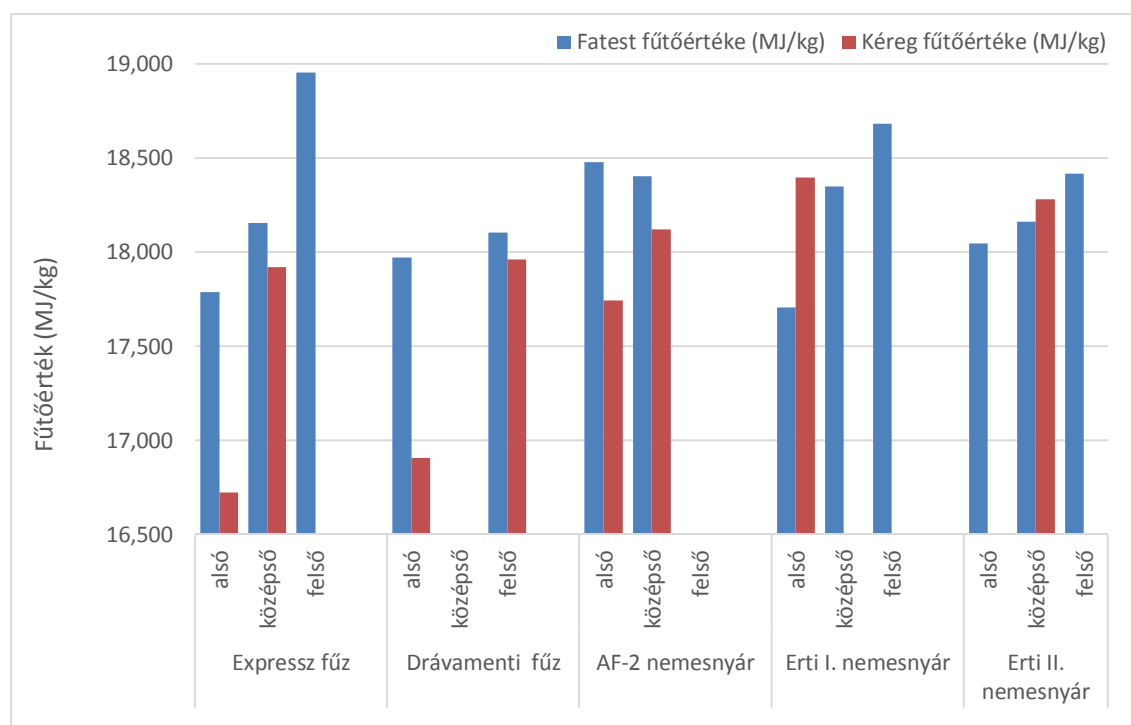
17. ábra 'Kopecky' nyár fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint

Az Erti nyár (18. ábra) esetében termőhely szerint a fatest tömegre vonatkoztatott fűtőértékében nem tapasztalhatóak nagy eltérések. Ennél a nyárfajtánál is kijelenthető, hogy a tő közelében alacsonyabb a fatest fűtőértéke, felfelé arányosan növekvő értéket mutat. A kéreg viszont nem mutat emelkedő tendenciát a fatesten belül elfoglalt helye szerint. A kéreg fűtőértékére a termőhelynek nincs egyértelmű hatása.



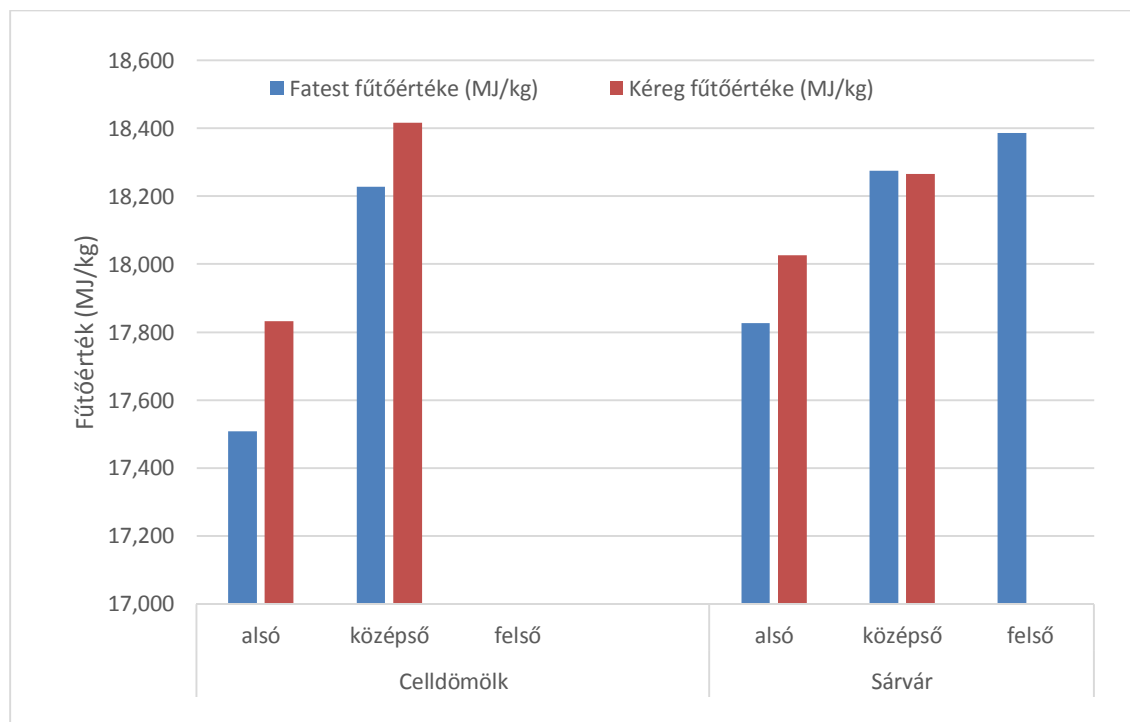
18. ábra 'Erti' nyár fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint

A további 3 nyár és 2 fűz klón (19. ábra) esetében csak a sárvári Bajti Csemetekertből származó minták voltak, így ezek különböző termőhelyi összehasonlítása nem lehetséges. Észrevehető, hogy az Erti I.-II. nyár esetében a fatest fűtőértéke a fatörzsön belüli elhelyezkedés szerint a tőtől arányosan növekszik. A kéreg és a fatest fűtőértéke az Expressz és a 'Drávamenti' fűz alsó részének kivételével nem nagyon tér el egymástól. Utóbbi két minta azonos faj különböző két klónja, így faji sajátosságra utalhat az alacsonyabb érték. Kiemelkedően magas értéket mutat viszont az 'Express' fűz felső mintája.



19. ábra Nyár- és fűzfajták fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint

Az akác (20. ábra) esetében a borjádi telephelyről nem volt hasonló korú kísérlet, így a másik két termőhely összehasonlítását végeztem el. A kéreg értékei a vizsgált minták közül háromnál meghaladták a fatestét, míg a negyedik mintánál nem volt különbség köztük (5. minta a kicsi keresztmetszet miatt nem volt kéregre). A fatest és a kéreg fűtőértékére a törzsön belüli elhelyezkedés alapján megállapítható, hogy ennél a fajnál a tő közelében a fatest és a kéreg fűtőértéke kisebb, mint a fa felsőbb részein. A fatörzsön belül felfelé haladva arányosan emelkedik mindkét farész fűtőértéke.



20. ábra Akác fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint

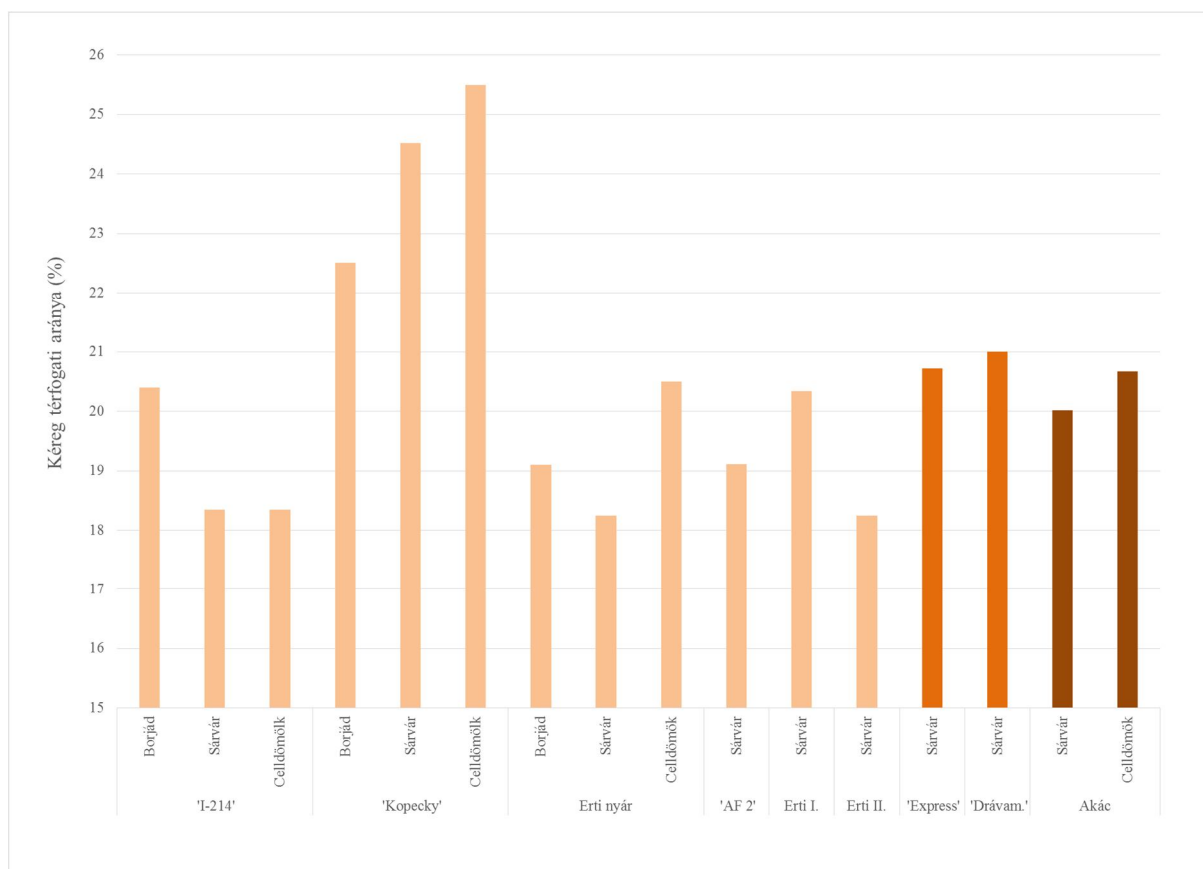
Összességében megállapítható, hogy a nyár klónok fatestének fűtőértékei többnyire 17,5-18,5 MJ/kg értéket értek el, ezért ebből a szempontból nem lehet lényeges különbséget tenni közöttük. A kéreg esetében azonban már az 'I-214' értékei valamivel alacsonyabbnak bizonyultak. A fűz klónok fatestének fűtőértékei - a nyárakhoz hasonlóan - 18,0 MJ/kg-os értékek között mozognak, ettől eltér kérgaik fűtőértéke, amely a nyárakétól kissé elmarad. Az akác fatestének fűtőértéke megegyezik az azonos korú nyárakéval, és a kérgének értékei sem mutatnak jelentős eltérést azokhoz képest.

7.2. Fatest-kéreg arány

A 21.ábrán jól látható, hogy mekkora mértékben eltérnek egymástól a különböző fajok kéregarányai. Összességében 16-28% között mozog a fajok kéregének térfogati aránya, amelyek közül a 'Kopecky' termőhelytől függetlenül kiemelkedik. Az azonos - sárvári - termőhely esetében érdemes elemezni a kapott értékeket, mivel ez esetben a termőhely befolyásoló hatása nem jelentkezik. Ezen a közepes minőségű termőhelyen a 'Kopecky' után a két fűz majd az akác következik, a legkisebb értéket pedig az 'I-214' nyár adja.

A két másik termőhelyet is figyelembe véve nem lehet egyértelmű következtetést levonni a termőhely hatására. Amíg az 'I-214' esetében a legjobb minőségű termőhely adta a

legnagyobb kéregarányt, addig például a 'Kopecky' és az ERTI nyár esetében a legrosszabb minőségű celldömölki.



21. ábra Kéreg keresztmetszeti aránya fajokra/fajtákra és termőhelyre lebontva (Nagy-Molnár 2013)

7.3. Térfogatra vonatkoztatott fűtőérték

A gyakorlati hasznosítás szempontjából a térfogatra számított fűtőértéket a faanyag sűrűsége jelentősen befolyásolja. Amíg a tömeghez viszonyított fűtőérték esetében a vizsgált fafajok/fajták között nem volt lényeges különbség, addig ugyanezt térfogatra átszámítva már jelentős eltérést láthatunk.

A vizsgálat során a próbatestek térfogatára pontos meghatározása az alábbi okok miatt nehézségbe ütközik, így azok sűrűsége egyelőre nem került meghatározásra:

- kicsi, nem szabályos keresztmetszet, fatest és kéreg esetében egyaránt
- „vízbemerítéses” eljárást a fa higroszkópos tulajdonsága miatt nem lehetett elvégezni pontosan
- higanyos eljárás veszélyessége miatt eltekintettem ezen lehetőség használatától

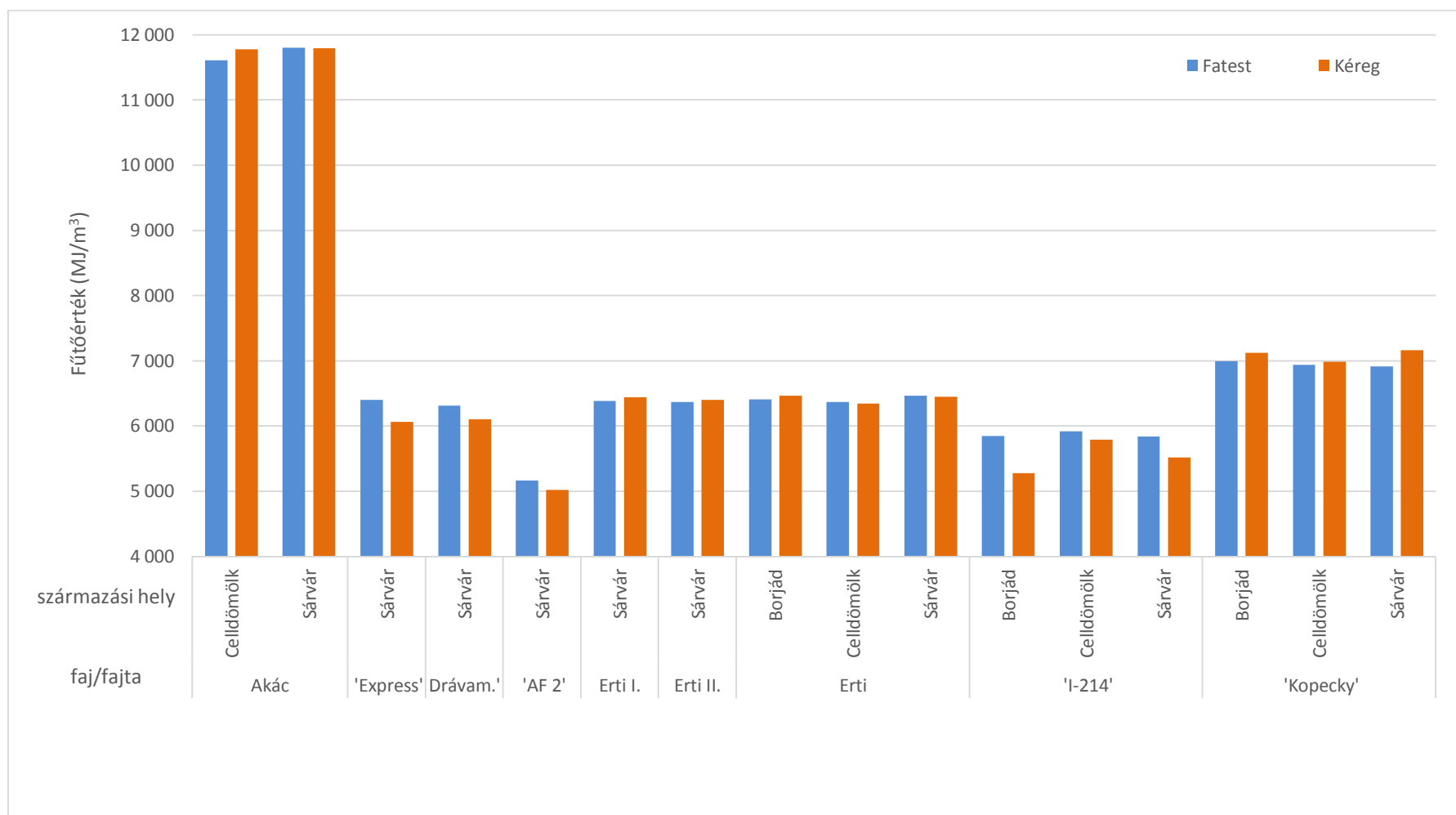
A mérési eredményekből elvégzett számításoknál az alábbi irodalmi sűrűség értékeket vettem figyelembe (Molnár 2004; <http://www.alasiafranco.it/biomassa.asp?lingua=eng>):

- 'I-214': 320 kg/m³
- 'Kopecky': 382 kg/m³
- Akác: 650 kg/m³
- 'AF 2': 280 kg/m³
- Erti, Erti I, Erti II, Expressz, Drávamenti,: 350 kg/m³

A kéreg sűrűségének mérése a fent említett okok miatt még folyamatban van, így a további számításokban a fatest sűrűségével megegyező értékkel számoltam, mivel ilyen idős korban a kéreg még nem kezd el parásodni.

A nyár klónok közül a magasabb sűrűséggel rendelkező 'Kopecky' térfogatra számított fűtőértéke a nagyobb (22. ábra). Ez mind a különböző termőhelyek, mind a minta törzsön belül elfoglalt helye viszonyában igaz. Az akác értéke a faanyag sűrűségéből adódó jelentős különbség miatt már többszöröse a nyárákének és fűzeknek. Az ERTI, 'I-214' és a 'Kopecky' nyárok esetében 3-3 helyről kaptunk mintát. Lényeges eltérés a fajtán belül a termőhelyek viszonyában nem mutatkozik a fatest fűtőértékei alapján. A kéreg esetében az 'I-214' kivételével ugyanez elmondható. Fűtőérték alapján nem lehet a 3 nyár termőhely között különbséget tenni.

Az akácnál a celldömölki minta esetében a fatest fűtőértéke csak minimálisan ért el kisebb értéket, mint a sárvári mintáé. Kéreg esetében egyezést mutatnak a minták. Az eredmények alapján itt sem lehet jelentős különbséget tenni a két termőhely között.

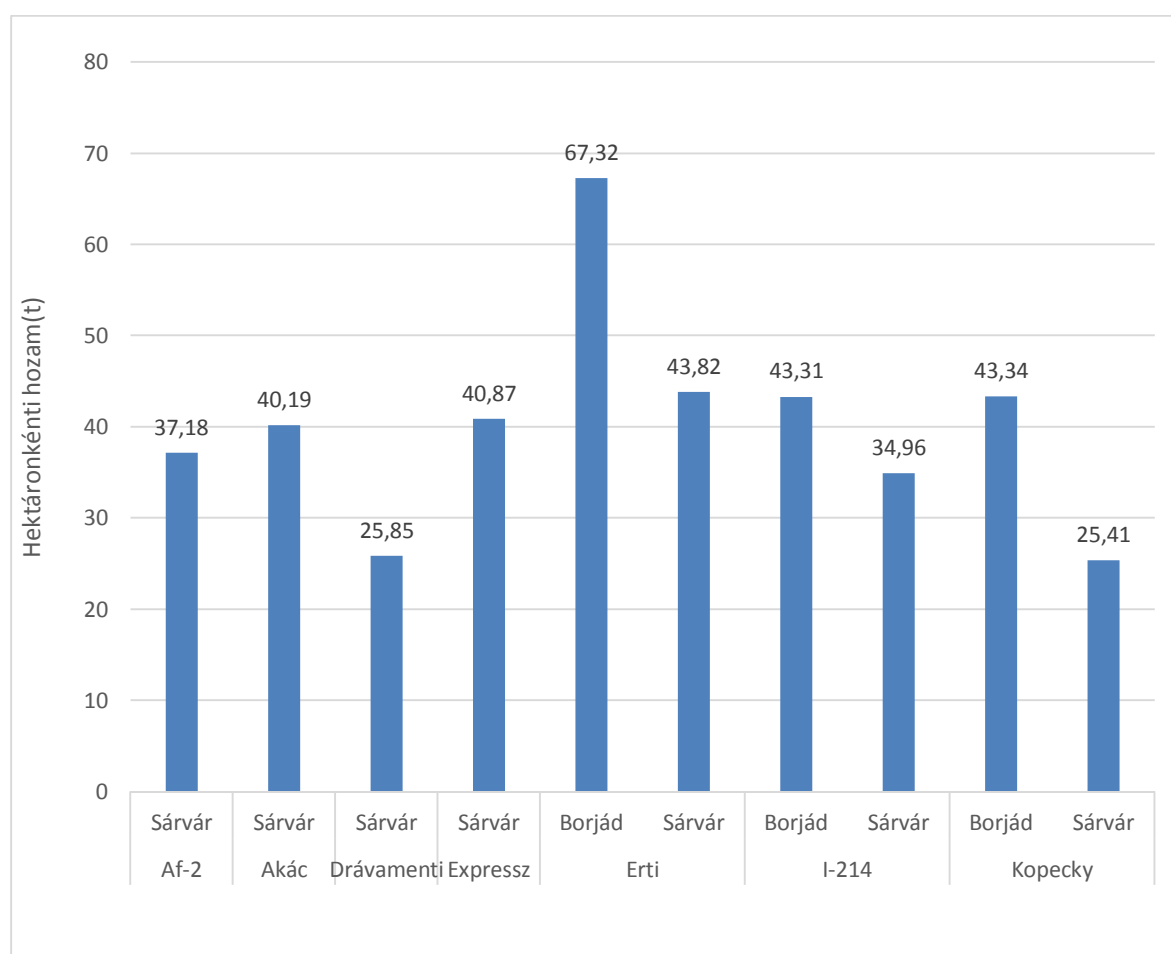


22. ábra A vizsgált fafajok/fajták fatestének térfogatra számított fűtőértéke

7.4. Az ültetvények hozamadatai

A kísérleti ültetvények hozamadatai az ERTI vizsgálatai alapján kerültek kiértékelésre.

A 23. ábra alapján jól látható, hogy a sárvári kísérletben a nyárok közül az ERTI által nemesített, még kísérleti stádiumban lévő ERTI nyár mutatta a legnagyobb hozamot, éves biomassza produktuma megközelítette a 15t/ha-t. A leggyengébben teljesítő nemesnyár fajta, a 'Kopecky' ennek csak mintegy felét képezte (8,47 t/ha/év). A fűzek közül az 'Express' volt a jobban teljesítő, éves hozama 13,62 t/ha-t ért el, míg a 'Drávamenti' csupán 8,62 t/ha-t produkált. Az akác, bár a sárváron uralkodó termőhelyi viszonyok nem ideálisak a számára (a talaj kötöttsége viszonylag magas), jó hozamot produkált az elmúlt három évben (40,19 t/ha).



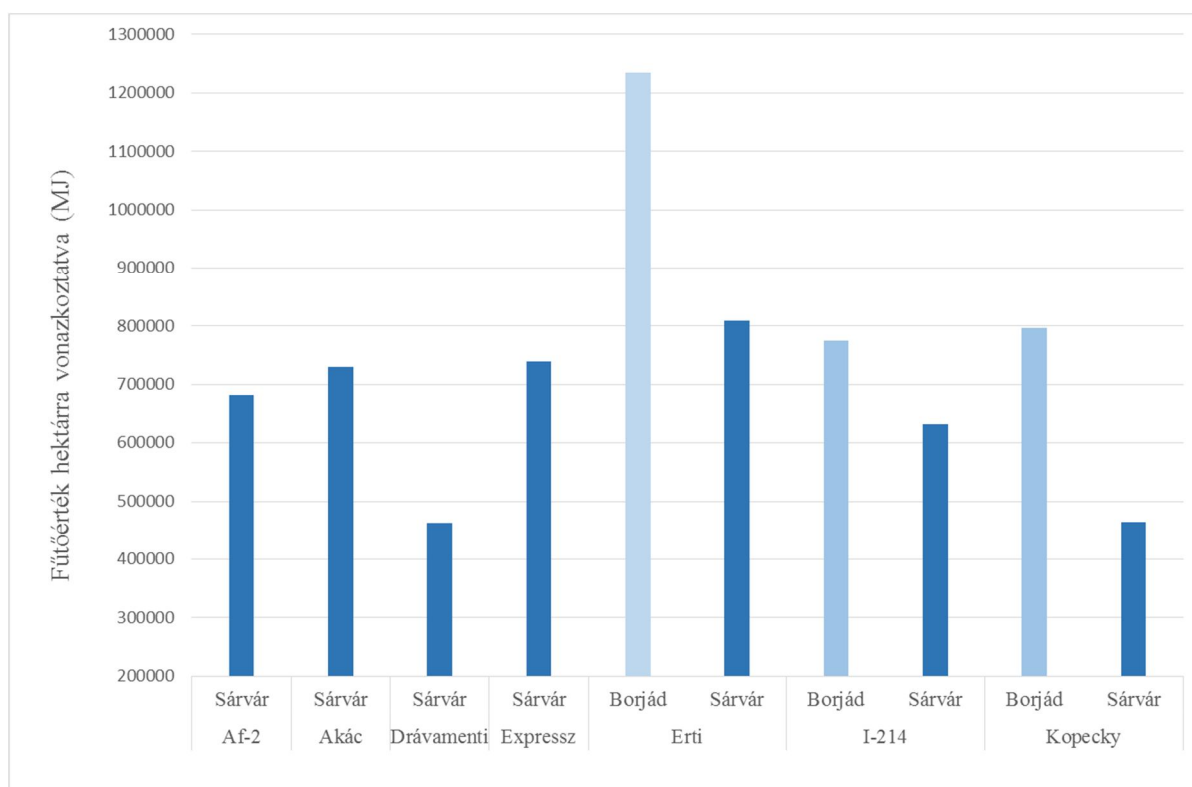
23. ábra Hozam adatok hektáronként termőhely és fajta szerint 3 éves korban (ERTI, 2014)

A borjádi kísérletek hozamadatait is kiértékelve megállapítható, hogy a termőhelyi jóságbeli különbség az egyes klónok hozamában is megmutatkozik. Az ERTI kísérleti klónja hektáronként 23,50, a 'Kopecky' nyár 17,93, míg az 'I-214' nyár 17,90 tonnával produkált több hozamot 3 év alatt a borjádi kísérletben a sárvári kísérlethez képest, ami jelentősnek

mondható, és egyben felhívja a figyelmet az ültetvények telepítését megelőző helyes termőhely és fajtamegválasztásra. Ez utóbbit támasztja alá az ERTI által nemesített kísérleti klón 25, illetve 55 %-os többlet hozama Sárváron, illetve Borjádön.

7.5. Hektáronkénti fűtőérték

A 24. ábrán látható a 3 éves ültetvények hektárra vetített fűtőértékei a fatest-kéreg arányokat és a sűrűséget is figyelembe véve. A kiszámított értékek segítségével egy átfogóbb képet kapunk az egyes fajok és klónok „eredményességéről”. A hozam adatok a sárvári és a borjádi kísérleti ültetvényekről álltak rendelkezésre. A sárvári kísérletben a vizsgált fajok/fajták mindegyike megtalálható, ezért ezeket a termőhely esetleges befolyásoló hatása nélkül elemezhetjük azokat.



24. ábra A 3 éves korú ültetvények hektáronkénti fűtőértéke

A nyárok esetében az ERTI klón értékei a legmagasabbak, ami elsősorban a kimagasló hozamadatainak köszönhető. A legkisebb értékkel, pedig a 'Kopecky' szolgáltatja, annak ellenére, hogy a nyárok közül ez rendelkezik a legnagyobb sűrűséggel. A két fűz fajta között jelentős különbség mutatkozik. Az 'Express' mintegy 40%-kal jobban teljesít ebben az összevetésben a 'Drávamentihez' képest. Amíg a térfogatra vetített fűtőértéknél még az akác kimagaslott a többi fajtához képest, addig a hektárra vetített fűtőértéke már alacsonyabb az

ERTI nyárénál és gyakorlatilag megegyezik az 'Expressével'. Ez a kisebb hozamával magyarázható.

A borjádi mintákat is figyelembe véve látható, hogy az ezen a termőhelyen növekedett nyárok értékei jóval magasabbak a sárvári kísérleti ültetvényekénél. Ez annak köszönhető, hogy ez a termőhely jobb minőségű a nyáaraknak, ami a hozamokból is jól látható. Az ERTI nyár és a 'Kopecky' esetében ez a különbség nagyobb, mint az 'I-214' nyárénál. A 3 klón közül itt is az ERTI nyár teljesít a legjobban, a másik termőhelyhez képest itt már azonban a 'Kopecky' és az 'I-214' nyárok értékei megegyeznek.

A borjádi mintákat is figyelembe véve látható, hogy az ezen a termőhelyen növekedett nyárok értékeijóval magasabbak a sárvári kísérleti ültetvényekénél. Az ERTI nyár és a 'Kopecky' esetében ez a különbség nagyobb, mint az 'I-214' esetében.

8. Általános összefoglalás, kiértékelés

- *tömegre vonatkoztatott fűtőérték*

A vizsgált fajok/fajták tömegre vonatkoztatott fűtőértékei általánosságban 17,5 -19,0 MJ/kg között váltakoztak. A nyárok esetében nincs jelentős különbség a vizsgált klónok között. A fajták többségénél a fatest fűtőértéke emelkedő tendenciát mutat a szárban alulról felfelé haladva. Ez a termőhely jóságától függetlenül általában igaz. A kéreg fajtától függően elérheti vagy meghaladja a fatest értékét, amely viszonyra a termőhely befolyásoló hatása nem mutatható ki.

A fűzek esetében az 'Express' felső részéből származó minta értéke az összes fajta közül kimagaslik, de a többi farészének fűtőértéke megegyezik a 'Drávamenti' és a többi nyár klón nagyságrendjével. A kéreg értékei elmaradnak a nyárakétól, különösen az alsó rész alacsony fűtőértéke ami figyelemre méltó.

Az akác fatestének fűtőértéke az alsó részeken még elmarad, de a középső részeknél már megegyezik a nyárakéval és fűzekével. A kéreg esetében a fűtőérték többnyire meghaladja a fatestét, nagyságrendileg megegyezve a másik két fajta értékeivel.

- *térfogatra vonatkoztatott fűtőérték*

A fajták között a sűrűségbeli eltérések miatt itt már jelentősebb különbségek mutatkoznak. Mivel az akác sűrűsége közel kétszerese a nyár illetve fűzének és a tömegre vonatkoztatott fűtőértékük közel azonosnak vehető, az akác térfogatra vetített fűtőértéke jóval magasabb.

Az alacsonyabb sűrűséggel rendelkező 'AF 2' és 'I-214' klónok kisebb, míg a nagyobb sűrűséggel rendelkező 'Kopecky' fajta - a fatest és a kéreg esetében is - nagyobb értékeket produkál a többi nyár és fűz fajtákhoz képest.

- *fatest-kéreg térfogatarány*

A vizsgált fajták között a 'Kopecky' kivételével - amely kiemelkedik a többi közül - az azonos termőhelyről származók értékei 2-3%-os értéken belül mozognak. A fűzek és az akác kéregaránya valamivel magasabb a nyárakénál. A termőhely jóságának a hatása erre a tulajdonságra nem mutatható ki egyértelműen.

- *éves hozamérték*

Az ERTI által rendelkezésre bocsátott hozam adatok alapján a sárvári kísérletben szereplő klónok közül a kiemelkedik az ERTI nyár, amelyet az 'Express' fűz majd az akác követ. A többi klónhoz képest is jelentősen elmaradnak a 'Drávamenti' fűz és a 'Kopecky' nyár értékei. A legjobb minőségű borjádi termőhelyről származó három klón közül is kimagasló az ERTI nyár hozama. A 'Kopecky' és az 'I-214' nyáré pedig gyakorlatilag megegyezik.

- *hektáronkénti fűtőérték*

Az előzetesen meghatározott jellemzők alapján kiszámított hektáronkénti fűtőérték egy olyan számszerűsített adatot ad, amely egy adott termőhelyen lévő faj vagy klón esetében figyelembe veszi az alábbi befolyásoló tényezőket is:

- fatest-kéreg fűtőértéke
- fatest-kéreg aránya
- sűrűség
- hozam

A sárvári közepes termőhelyet figyelembe véve az egy hektárra vonatkozó fűtőérték szempontjából az ERTI nyár értéke a legkedvezőbb. Ezt követi közel 10%-os lemaradással az 'Express' fűz és az akác. Az 'AF 2' és az 'I-214' értékei 15-20%-kal kevesebb, míg a 'Kopecky' nyár és a 'Drávamenti' fűz pedig már majdnem csak fele akkora értéket produkál. A borjádi mintákon keresztül a termőhely hatását is figyelembe véve látható, hogy a jobb minőségű termőhelyre telepített ültetvények - elsősorban a hozamnak köszönhetően - jelentősen nagyobb hektárra vetített fűtőértékkel rendelkeznek.

9. Jövőbeni célkitűzések

Mostani munkámat a mérések teljes befejeztével, szeretném kiterjeszteni a következő területekre:

- több fafaj és azok klónjainak részletes vizsgálata
- pontos hamutartalom és hamuösszetétel vizsgálata
- sűrűségvizsgálatok

Irodalomjegyzék

Bai A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest

Borovics A., Csiha I., Benke A. (2013): Az energetikai ültetvények fajtaválasztéka, In: Molnár S., Komán Sz. (szerk.) Dendromassza alapú energiaforrások, Nyugat-magyarországi Egyetem, pp.12-15.

Csiha I., Rédei K., Kamandiné Végh Á., Keserű Zs., Rásó J. (2011) Fás szárú energetikai ültetvények termesztéstechnológiai fejlesztése Kelet-Magyarországon. Környezettudatos energiatermelés és felhasználás. II. Környezet és Energia Konferencia, Debrecen. pp. 54-59.

Fehér S., Komán Sz., Szeles P., Antalffy E. (2013): A fátüzelés energetikai és környezetvédelmi összefüggései, In: Molnár S., Komán Sz. (szerk.) Dendromassza alapú energiaforrások, Nyugat-magyarországi Egyetem, pp.20-24.

Horváth B., Czupy I., Heil B., Kovács G., Major T., Szakálosné M. K., Szalay D., Vágvolgyi A. (2014): 4. RÉSZJELENTÉS a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 jelű, Környezettudatos energia hatékony épület c. pályázat Dendromassza alapú energiaforrások c. alprojektjének 1. és 2. tevékenységéről, a 4. munkaciklusban (2013. 09-12. hó)

Horváth B., Szakálosné M. K., Major T., Horváth A. L. (2013): A hazai faenergetikai potenciál elemzése, In: Molnár S., Komán Sz. (szerk.) Dendromassza alapú energiaforrások, Nyugat-magyarországi Egyetem, pp.7-11.

Komán Sz. (2012): Nemesnyár-fajták korszerű ipari és energetikai hasznosítását befolyásoló faanatómiai és fizikai jellemzőik, Doktori értekezés, Sopron

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

Nagy I., Molnár R. (2013): Energetikai célú fanyagok kéregarányának és sűrűségének összehasonlító vizsgálata, Beadandó feladat Önálló labor című tantárgy keretében, Faanyagtudományi Intézet

NÉBIH (2012):

https://www.nebih.gov.hu/szakteruletek/szakteruletek/erdeszeti_igazgatosag/kozerdeku_adatok/adatok (utolsó letöltés:2014.11.01)

Németh J. (1997): A fa, mint környezetbarát nyersanyag. In: Az erdő- és fágazdaság szerepe és fejlesztése , (szerk.) Solymos R., MTA, Budapest

Sopp, L. (2000): Fatömegszámítási táblázatok, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

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

Tóth B., Palotás F., Simon M. (1977): Az erdő, Országos Erdészeti Egyesület, XXVL (5)

Toth B., Molnár S., Fehér S. (2007): Az energetikai faültetvény létesítésének hasznosításának összefüggései. II. Ökoenergetikai és X. Biomassza Konferencia, Sopron. 2007. febr. 28. – márc. 1.

Vágvolgyi A. (2013): Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig; üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái

<http://doktori.nyme.hu/438/1/PhD%20dolgozat%20Vagvolgyi.pdf>

(utolsó letöltés:2014.11.01)

Egyéb internetes források

Fűz energetikai ültetvény: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0010_08_Energianovenyek_termesztese/2450/index.html

(utolsó letöltés: 2014. 11.01)

Kalorimetrlás: <http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/tuzeloanyagvizsg.pdf>

(utolsó letöltés: 2014. 11.01)

'AF-2' :<http://www.alasiafranco.it/biomassa.asp?lingua=eng>

(utolsó letöltés: 2014. 11.01)

'Express': <http://www.silvanusforestry.com/express-energiafuz.html>

(utolsó letöltés: 2014. 11.01)

Ábrajegyzék

- 1. ábra** Energetikai nyár ültetvény az ERTI kísérleti telepén
- 2. ábra** Az energetikai ültetvények fafajmegoszlása Magyarországon 2012-ben
- 3. ábra** Magyarország energiaültetvényei és felhasználói (Vágvölgyi 2013)
- 4. ábra** 2 és 10 éves nemesnyár ültetvények (fotó:Ivelics)
- 5. ábra** 'I-214' nyár kísérleti ültetvények (borjádi, celldömölki, sárvár -bajti)
- 6. ábra** 'Kopecky' nyár kísérleti ültetvények (borjádi, celldömölki)
- 7. ábra** 'AF-2' nyár kísérleti ültetvény (<http://www.energyforest.eu/af2.html>)
- 8. ábra** Akác kísérleti ültetvények (celldömölki, sárvár-bajti)
- 9. ábra** Fűz kísérleti ültetvények (www.tankonyvtar.hu)
- 10. ábra** 'Expressz' fűz kísérleti ültetvények (www.silvanusforestry.com)
- 11. ábra** Kaloriméter sematikus ábrája
- 12. ábra** IKA 2000C típusú kaloriméter
- 13. ábra** Minták méretarányos fotózása kéreg-fatest arány megállapításához
- 14. ábra** Szárítószekrénybe berakott minták
- 15. ábra** Tablettaprés
- 16. ábra** 'I-214' nyár fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint
- 17. ábra** 'Kopecky' nyár fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint
- 18. ábra** 'Erti' nyár fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint
- 19. ábra** Nyár- és fűzfajták fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint
- 20. ábra** Akác fűtőértéke a termőhelyek és a minta törzsön belül elfoglalt helye szerint
- 21. ábra** Kéreg keresztmetszeti aránya fajokra/fajtákra és termőhelyre lebontva (Nagy-Molnár 2013)
- 22. ábra** A vizsgált fafajok/fajták fatestének térfogatra számított fűtőértéke
- 23. ábra** Hozamادات hektáronként termőhely és fajta szerint 3 éves korban (ERTI, 2014)
- 24. ábra** A 3 éves korú ültetvények hektáronkénti fűtőértéke

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani elsősorban konzulensemnek, Dr. Komán Szabolcsnak a szakmai felkészítésben, tanácsadásban és mérés technikában nyújtott segítségével. Ezenkívül Kondor Ferencnek, a kutatásban részt vevő hallgatónak, Horváth Imre intézeti munkatársnak és a Faanyagtudomány Intézetnek dolgozóinak.