



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT
3515 MISKOLC Egyetemváros



Csernely borsodi kistelepülés biomassza tüzelőanyagainak vizsgálata

Készítette:

Bratu Zoltán Ferenc

Konzulens:

Dr. Szűcs István
egyetemi tanár

Energia- és Minőségügyi Intézet
Tüzeléstani és Hőenergiái Intézeti Tanszék
2012.

TARTALOM

BEVEZETÉS	4
1 BIOMASSZÁRÓL ÁLTALÁNOSÁGBAN	6
1.1 BIOMASSZA KELETKEZÉSE	6
1.2 FELHASZNÁLÁS	6
1.3 BIOMASSZA-TÜZELÉS JELLEMZŐI	7
1.4 ERŐMŰI ENERGIATERMELÉSRE HASZNÁLT BIOMASSZÁK	8
1.5 BIOMASSZA-TÜZELÉSŰ TECHNOLÓGIÁK	9
1.6 CSERNELY TELEPÜLÉS TÜZELŐANYAGAINAK ÉS TÜZELŐBERENDEZÉSEINEK BEMUTATÁSA	10
2 FÁSSZÁRÚ BIOMASSZÁK TÜZELÉSTECHNIKAI VIZSGÁLATA	12
2.1 A TÜZELŐANYAGOK HŐMÉRSÉKLET NÖVELESE HATÁSÁRA BEKÖVETKEZŐ SZÁRADÁSI- ÉS GYULLADÁS FOLYAMATAINAK TERMOANALITIKAI VIZSGÁLATA	12
2.1.1 <i>Tüzelőanyagok termoanalitikai vizsgálata derivatográffal</i>	12
2.1.2 <i>Égerfa kéregminta termoanalitikai vizsgálata derivatográffal</i>	14
2.1.3 <i>Az égerfa szilács-rész minta termoanalitikai vizsgálata derivatográffal</i>	15
2.1.4 <i>Az égerfa geszt minta termoanalitikai vizsgálata derivatográffal.</i>	16
2.1.5 <i>A nyárfa kéreg minta termoanalitikai vizsgálata derivatográffal</i>	17
2.1.6 <i>A nyárfa szilács+gest rész minta termoanalitikai vizsgálata derivatográffal</i>	18
2.2 ÉGÉSMELEG ÉS FÜTŐÉRTÉK MEGHATÁROZÁSA	19
2.2.1 <i>Mérés és számítás elve</i>	20
2.2.2 <i>A bomba kaloriméter elvi felépítése</i>	20
2.2.3 <i>Kalibráció</i>	21
2.2.4 <i>Kaloriméter korrekciók</i>	21
2.2.5 <i>Az égésmeleg meghatározása</i>	22
2.2.6 <i>A fűtőérték meghatározása</i>	25
2.3 HAMUTARTALOM MEGHATÁROZÁSA	26
2.4 KARBON- ÉS HIDROGÉNTARTALOM MEGHATÁROZÁSA	29
2.4.1 <i>A mérés és számítás elve</i>	29
2.5 A HAMU SZINTEREZŐDÉSI ÉS LÁGYULÁSI JELLEMZŐK MEGHATÁROZÁSA	32
2.5.1 <i>Eszközök, berendezések</i>	32
2.5.2 <i>Az eljárás rövid ismertetése</i>	34

3	ÖSSZEGZÉS	38
4	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	39
5	IRODALOMJEGYZÉK	40

BEVEZETÉS

Földünk energiaigénye hatalmasra nőtt az elmúlt századokban, és ezt a megnövekedett energiaigényt az emberiség a földkéregből kitermelt fosszilis energiahordozók eltüzelésével biztosítja. A tüzelés hatására keletkező, de feleslegessé váló füstgáz ezután a légkörbe kerül. Ez a tevékenység globális felmelegedéshez, klímaváltozáshoz vezet. Emellett a földkéregből kitermelt fosszilis energiahordozó készleteink egyre gyorsabban fogyó tendenciát mutatnak. Ez a tudósokat és az energetikával foglalkozó kutatókat egyre jobban arra a megoldásra készíti, hogy egy másik út után nézzenek. Az egyik megoldás az lehet, hogy a fosszilis energiahordozókat megújuló energiaforrásokkal helyettesítjük.

Kimeríthetetlen energiaforrások közé tartozik a szélenergia, a vízi energia, a geotermikus energia, a napenergia, illetve a biomassa és a hulladékok. A biomassa hasznosítása leginkább a mérsékelt égövi zónában a legelőnyösebb a természeti adottságok miatt.

Az energiaellátás és a környezetvédelem számos országban vált központi témává. Így van ez az európai országok többségében is, ezért egyre inkább előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások, köztük a biomassa energetikai hasznosítása. Tehát az energiatermelésre hasznosítható melléktermékek felértékelődtek, melynek következtében elkezdődött a különböző energianövények termesztése.

A biomassa-hasznosítás környezetre és élelmiszerárakra gyakorolt hatása szakmai körökben számos vitát vált ki. Egyre több példa bizonyítja, hogy egy jól megtervezett és megfelelő szakértelemmel üzemeltetett biomassa bázison alapuló korszerű energiaellátó rendszer gazdaságos és környezetbarát energiatermelésre ad módot.

A bioenergia-hasznosítás tekintetében egyes országok lehetőségei eltérőek. Hazánk megfelelő adottságokkal rendelkezik a biomassa eredetű energiaforrások hasznosítására, ezért a jelenleginél lényegesen nagyobb volumenű felhasználás lehetséges.

Az elmúlt időszak energiaár-emelései, a földgáz ellátás bizonytalanságai és áralakulása miatt egyre több önkormányzat, vállalat és háztartás keres új lehetőségeket az energiaigényeinek fedezésére. Hazánkban is egyre több lehetőség kínálkozik a szilárd biomassa tüzelésen alapuló energiaellátásra.

A nagyobb teljesítményű faaprítékkal üzemelő rendszerek a vidéki települések nagyobb fogyasztóinak (falufűtés, közintézmények, ipari és mezőgazdasági létesítmények),

míg a korszerű fatüzelésű, vagy energetikai tömörítvényekkel (pellet, brikett) üzemelő rendszerek pedig a kisebb fogyasztóknak, háztartásoknak kínálnak alternatívát.

1 BIOMASSZÁRÓL ÁLTALÁNOSÁGBAN

A biomassa a világ negyedik legelterjedtebb energiaforrása a szén, a kőolaj és a földgáz után, a világ összes energiafelhasználásának mintegy 13-15%-át adja. Az EU-ban az összes energiafelhasználás 4%-a biomassa eredetű [18].

1.1 BIOMASSZA KELETKEZÉSE

A biomassa biológiai eredetű szervesanyag-tömege lehet a szárazföldön és vízben található élő és nemrég elhalt szervezetek (növények, állatok, mikroorganizmusok) testtömege, biotechnológiai iparok termékei, és a különböző transzformálók (ember, állatok, feldolgozó iparok stb.) összes biológiai eredetű terméke, hulladéka, mellékterméke. A növényi biomassa a fitomassa, az állati biomassa a zoomassa. A keletkezés alapján a biomasszákat három csoportra lehet bontani; elsődleges, másodlagos és harmadlagos [1, 8, 12].

Az elsődleges biomasszát a természetes vegetáció, szántóföldi növények, erdő, rét, legelő, kertészeti növények és vízben élő növények teszik ki. A másodlagos biomassa az állatvilág, gazdasági haszonállatok összessége, továbbá az állattenyésztés főtermékei, melléktermékei és hulladékai. A harmadlagos biomassa a biológiai eredetű anyagokat felhasználó iparok termékei, melléktermékei, hulladékai, emberi települések szerves eredetű szerves hulladékai [1, 8, 12].

1.2 FELHASZNÁLÁS

A biomasszáknak sokfajta felhasználási lehetősége ismert, legnagyobb mennyiségben a közvetlen eltüzelést alkalmazzák, de tüzelőanyagot vagy üzemanyagot, illetve biogázt is állítanak elő. A megfelelő felhasználás kiválasztását és megvalósítását mindig a helyi adottságok és igények szabják meg. A hazai lehetőségek a következők [1, 11]:

- Elsődleges biomasszák, ide tartoznak a nagy energiahozamú energiaültetvények (pl. fás- vagy lágyszárú energiaültetvény, energiaerdő), a növénytermesztés melléktermékeinek (szalma, szár, torzsa stb.) energetikai hasznosítása, illetve az erdészeti, erdőgazdálkodási melléktermékek [1, 3, 11, 22].
- Másodlagos biomasszáknak nevezzük azokat a biomasszákat, amik az elsődleges biomasszák konverziójával jönnek létre. A konverziót végző

szervezetek lehetnek állatok vagy mikrobák. Szerepük lokálisan jelentős lehet (pl. állattartó telepek, állati termékeket feldolgozó üzemek, stb.), de az országos energiamérleghez történő hozzájárulásuk csak másodlagos [1, 3, 11, 22].

- A harmadlagos biomasszák az elsődleges és másodlagos biomasszák feldolgozása és hasznosítása közben keletkező melléktermékek, hulladékok, valamint kommunális hulladékok és a környezetvédelmi technológiák szerves melléktermékei. Gyakran veszélyes hulladéknak számítanak, így ártalmatlanításuk, átalakításuk járulékos haszonnal is jár [1, 3, 11, 22].

A biomassza-felhasználásnak számos előnye van, ezek közül az egyik legfontosabb a szennyezőanyag-kibocsátás. A biomassza égésekor a növény növekedése során megkötött üvegházhatású gázokat bocsátja a légkörbe, így módon a biomasszák CO₂ semlegesek, tehát használata alkalmas a globális éghajlatváltozás fékezésére [1, 11, 22].

A biomassza, mint energiaforrás minden országban hozzáférhető, emellett az egyik legkönnyebben kiaknázható és egyszerűen hasznosítható energiahordozó. Ezen alapuló energiatermelés beruházási költségei lényegesen kedvezőbbek lehetnek, mint a többi megújuló energiaforrás, mivel a régi széntüzelésű erőművek viszonylag kis költséggel könnyen átalakíthatók. A többi megújuló energiahordozó termeléséhez korszerű szélerőmű-park, vagy egy naperőmű-park szükséges, ezek pedig jelentős beruházási költséggel járnak. További előnye még, hogy a biomasszák hatásfoka sokkal kedvezőbb, mint a többi megújuló energiáé [6].

1.3 BIOMASSZA-TÜZELÉS JELLEMZŐI

A biomasszák és hulladékok energetikai célú hasznosításának leghatékonyabb módja a kazánban történő eltüzelésük, mivel az optimálisan üzemeltetett kazán az egyik legnagyobb hatásfokkal működő energiaátalakító-berendezés [20, 21].

A biomassza eltüzelése a legrégebbi energianyerési forma. A tüzelőanyagok tulajdonságait egyértelműen megszabja az elemi összetétel. Az összetevők elemanalízissel pontosan meghatározhatók. A szilárd tüzelőanyag éghető és meddő részből áll. Éghető részek a szén (C), a hidrogén (H), a kén (S) és a foszfor (P). Nem éghető rész az oxigén (O), a nitrogén (N), a nedvességtartalom (H₂O) és a hamu (ásványi anyagok, karbonátok, szilikátok, foszfátok, szulfátok, oxidok stb.). A biomasszát alkotó elemek közül hat fő komponens különböztethető meg. A tüzelőanyagok égési tulajdonságai szempontjából a szén, a hidrogén és az oxigéntartalom fontos [2, 7, 9, 19, 20].

Az égés során az egyes elemek exoterm reakcióban egyesülnek az oxigénnel. A folyamatban a szén és a hidrogén oxidációja játssza a fő szerepet. A kén éghető része hozzájárul a hőfejlesztéshez, ez az alkotó azonban mégsem kívánatos, mert az égéstermék korrodálja a berendezéseket és szennyezi a környezetet. Hasonló hatása van a nitrogén-oxidoknak is [2, 10, 19, 20].

Egyes biomassza félések széntartalma 45-50% körüli és jelentős az oxigéntartalma is. A hidrogéntartalma 5-6% körüli, a nitrogéntartalma viszont 1% alatti. A klórtartalom elsősorban a korrózió és a környezetszennyezés szempontjából fontos paraméter [2, 9].

A biomasszát alkotó elemek közül a fő komponensek mellett legalább nyolc másik (Si, Al, Ca, K, Mg, Na, P, Fe) úgynevezett salakképző elem van jelen. Ezek közül a szilícium és a kálium a lágyszárú növényekben a klórhoz hasonlóan szintén nagyobb mennyiségben fordul elő. A kálium a szilíciummal alacsony olvadáspontú fémeket képez, amely hamuösszesüléshez vezet. Ez tüzeléstechnikai szempontból szintén nem kívánatos tulajdonságokat eredményez, illetve lerakódásból adódó meghibásodásokhoz vezethet [2, 7, 9].

A különböző biomasszafélések hamutartalma és hamujuk olvadáspontja eltérő lehet. A hamutartalom fás növények esetén 2% alatti. A magasabb kéregtartalom magasabb hamutartalommal jár. A hamu olvadáspontja ezen növények esetén 1300-1450°C közötti érték körül alakul. A lágyszárú növények hamutartalma néhány százalékkal magasabb, mint a fás szárú növényeké. A hamujuk olvadáspontja akár 300°C-al is alacsonyabb lehet [2, 7, 9].

Fontos tüzeléstechnikai paraméter a magas illótartalom. A különböző biomasszafélésekben lévő illóanyagok az égés során 250-300°C hőmérsékleten nagy mennyiségben szabadulnak fel [7].

1.4 ERŐMŰI ENERGIATERMELÉSRE HASZNÁLT BIOMASSZÁK

Az erőműi energiatermelésre általában szilárd biomasszát alkalmaznak. Magyarországi erőművekben és fűtőművekben leginkább fás- és lágyszárú növényeket, illetve szántóföldi és erdőgazdasági melléktermékeket és hulladékokat használnak fel [4, 5, 8].

A szántóföldi növénytermesztésből a különböző gabonafélék szalmája, kukoricacsutka, kukoricaszár, valamint néhány egyéb növény szármaradványa használható fel tüzelési célokra. Emellett gyakran használnak fel olyan külön erre a célra termesztett úgynevezett lágyszárú energianövényeket, mint az energiafű és az energianád [3, 4, 5, 7, 17].

Az ültetvények melléktermékei közül a szőlővenyige és a gyümölcsfanyesedék jöhet számításba, valamint erdőgazdaságokban, fatelepeken, fafeldolgozó üzemekben keletkező

továbbfelhasználásra már alkalmatlan fahulladékok. Ahogy a lágyszárú növényeknél, úgy a fás szárú növényeknél is vannak olyan energianövények, amelyeket külön erre célra termesztnek, ilyen például az akác, a fűz, az éger és a nemesnyár. Ezeket általában olyan területekre telepítik, amik a mezőgazdaságban nem hasznosíthatók, vagy a termelésből kivontak. Ezeket a területeket energiaerdőknek nevezünk, ebből nyerhető a legrövidebb idő alatt a legkisebb költséggel nagy mennyiségű és jól elégethető tüzelőanyag [3, 4, 5, 7, 8, 17].

1.5 BIOMASSZA-TÜZELÉSŰ TECHNOLOGIÁK

A szilárd halmazállapotú biomassza eltüzelése tüzeléstechnikailag széntüzelési analógiára vezethető vissza. Biomassza alapú portüzelés a ritkább megoldás. Általánosan elterjedt a közvetlenül darabolt illetve előkészített (hasábfá, forgács, bálázott mezőgazdasági hulladék), vagy a brikettált termékek tüzeléstechnikai felhasználása. A tüzeléstechnikai alkalmazás a fajlagos károsanyag-kibocsátás és az energiaforrás megújuló jellege miatt egyaránt kedvező feltételeket képvisel más fosszilis energiahordozókkal történő összehasonlításban [10].

Alapvetően a következő égetési technológiákat különböztethetjük meg: szilárd ágyú tüzelés, örvényréteges tüzelés és portüzelés [10].

A szilárd ágyú tüzeléses rendszerek alátoló tüzelésből és rostélytüzelésből tevődnek össze. A primer levegőt keresztülvetik a tüztérágyon, ahol a tüzelőanyag szárítása, gázosítása és a faszénelégetés végbemegy. Az itt termelt éghető gázokat a szekunder levegő befújása után elégetik (általában egy külön, a rostélyrétegtől elválasztott utóégetési tartományban) [10].

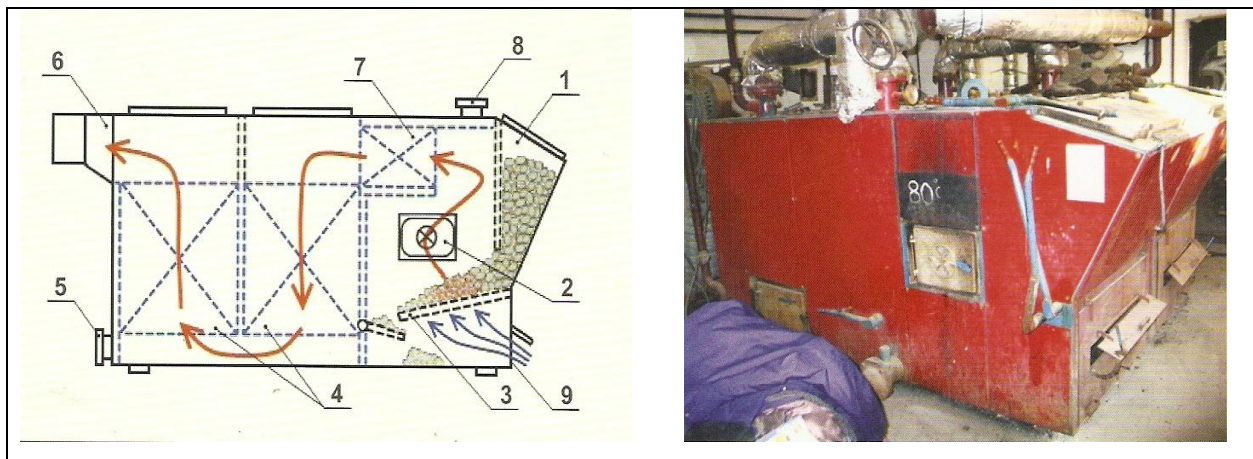
Örvényréteges tüzelés esetén a tüzelőanyagot egy mederanyagból és éghető gázokból álló szuszpenzióban égetik el. A primer levegőt alulról vezetik be, ez felel a fluidizáló állapot fenntartásáért. A fluidizálás sebessége szerint megkülönböztetünk egyenletes és cirkuláló örvényréteges tüzeléseket [10].

A portüzelés olyan biogén tüzelőanyagok égetésére alkalmas, melyeknek a szemmagysága kisebb 2 mm-nél. A tüzelőanyagot a primer levegővel összekeverve fújják be a tüztérbe, és így égetik el. Az éghető gázok teljes elégetése csak a szekunder levegő hozzáadása után következik [10].

Lehetséges ezeknek az égetési technológiáknak a variációja illetve kombinációja, valamint szóró adagolókkal és ciklon-égéskamrákkal felszerelt rendszerek felállítása. A tüzelési technológia helyes kiválasztását nagyban befolyásolja a biomassza eredetű tüzelőanyag szemmagysága, fajtája és formája [10].

1.6 CSERNELY TELEPÜLÉS TÜZELŐANYAGAINAK ÉS TÜZELŐBERENDEZÉSEINEK BEMUTATÁSA

Csernely község Borsod-Abaúj-Zemplén megye nyugati részében fekszik, az Upponyi-hegységtől délnyugatra, a Bükk-hegységtől nyugatra, a Csernely patak völgyében.



1. ábra: A háromhuzamú, szilárdtüzelésű kazán szerkezetének vázlata és a kazán képe (1- tüzelőanyag tartály és –adagoló, 2- kémlelőajtó a szekunder levegő bevezetésére szolgáló, szegmentált tárcsával, 3-rostély, 4,7- füstgázhuzamok, 5-visszatérő víz csatlakozása, 6- füstgáz elvezetés, 8- előremenő víz csonkja, 9- primerlevegő bevezetés)

A Csernelyi Önkormányzatnál 1992-ben üzemeltek be két Megamorv-250 (1. ábra) típusú lemezkazánt. Ezek egyenként 290 kW teljesítményűek, eredetileg széntüzelésűre tervezték. A berendezések elején helyezkedik el a tüzelőanyag-tároló garat, amiből a darabos energiahordozó kézi úton adagolható a tüztér alatt egy kézi karral előre-hátramozgatható rostélyra. Alatta helyezkedik el a lehulló tüztéri hamu befogadására szolgáló salakgyűjtő. A primer égéslevegő bevezetése a kazánok elején kiképzett, állítható csappantyús nyíláson keresztül történik, a levegő a salak fölött áthaladva jut a rostély alá. A szekunder levegő szükség szerinti bevezetése a berendezések külső oldalán elhelyezkedett kémlelő ajtó közepén kiképzett, szegmentált, forgatható tárcsa állításával lehetséges. A tüztér után 3 db hőcserélő-huzam van, a füstgáz a huzamokon történő áthaladás után, egymás fölött elhelyezett két téglalap szelvényű füstcsonkon keresztül lép a kéménybe. A felső csatornában egy centrifugális ventilátor mozgatja a füstgázt, ezt hideg induláskor kapcsolják be. Bemelegedett kazán esetén a ventilátort lekapcsolják, és a kémény természetes huzatja szívja el a füstgázokat az alsó csatornán keresztül.

A tüzelőanyagokat három különböző forrásból lehet beszerezni:

- Helyben begyűjtött, esetleg vásárolt biomassza alapú melléktermékek, hulladékok felhasználásával, aprítékként.
- Helyben megtermelt energianövények felhasználásával, aprítékként.
- Tüzifa vásárlásával, rönk vagy hasábfa formában.

Akár tűzifa vásárláskor, akár a környékről begyűjtött alapanyag esetében is az égerfa és a nyárfa a legjellemzőbb tüzelőanyag, ezért ezt a két fajta fát vizsgáltam. A vizsgálatkor az égerfát 3 különböző részre választottam szét, kívülről befelé haladva a kéregre, szilácsra és a geszt részre. Nyárfa esetében viszont csak 2 részt vizsgáltam: a kérgét, valamint a nyárfa gyors növekedése miatt egyértelműen szét nem választható szilács+gestt részt.

2 FÁSSZÁRÚ BIOMASSZÁK TÜZELÉSTECHNIKAI VIZSGÁLATA

2.1 A TÜZELŐANYAGOK HŐMÉRSÉKLET NÖVELESE HATÁSÁRA BEKÖVETKEZŐ SZÁRADÁSI- ÉS GYULLADÁS FOLYAMATAINAK TERMOANALITIKAI VIZSGÁLATA

2.1.1 *Tüzelőanyagok termoanalitikai vizsgálata derivatográf*

A derivatográfus vizsgálat lehetővé teszi a mintában a hőmérséklet növelése hatására bekövetkező tömegváltozási vagy hőeffektusi folyamatok (dehidratáció, kristályszerkezeti átalakulás, stb.) nyomon követését. A vizsgálat az egyik legösszetettebb termikus elemzési módszerek közé tartozik, amely a több komponensű rendszerek esetén a vegyületek között hő hatására végbemenő kémiai reakciók, illetve fizikai átalakulások vizsgálatára szolgálnak [14].

A termikus folyamatok, akár kémiai reakcióról, akár állapot-, vagy halmazállapot-változásról legyen is szó, mindig a rendszer belső hőtartalmának kisebb-nagyobb arányú megváltozásával járnak. Az átalakulást vagy hőelnyelési (endoterm), vagy hőfelszabadulási (exoterm) folyamatok kísérik. Ezeket a hőhatásokat a differenciál termikus elemzés módszereivel meglehetősen nagy érzékenységgel és pontossággal lehet kimutatni. A legtöbb esetben az átalakulásokat tömegváltozás kíséri, ezen jelenségek különböző tényezőit a termogravimetria módszereivel lehet nagy pontossággal meghatározni [14].

Jelen vizsgálatokhoz a számítógép-vezérelt, felfűtéssel rendelkező DERIVATOGRAPH-C típusú készüléket (2. ábra) használtuk.



2. ábra: A mérésekhez használt derivatográf fényképe.

A vizsgálandó mintát pontosan szabályozott felfűtési sebességű elektromos kemencébe helyeztük. A kemence térhőmérsékletét PtRh-Pt hőelemmel érzékeltük a felfűtés sebességének szabályozása és a vizsgálat hőmérsékletének elektronikus úton történő rögzítése céljából. A vizsgálandó anyagmintát egy – a környezet légmozgásaitól gondosan elzárt – nagyérzékenységű mérleg egyik karjára korund rúddal támaszkodó korund tégelybe mértük be. Fontos, hogy a mintatámasztó rúd és a mintatartó tégely anyaga legalább 1500 °C hőmérsékletig stabil legyen, vagyis semmilyen tömegváltozás, vagy hőeffektus ne menjen benne végbe, mert azok a két lényeges jellemző érzékelésében ellenőrizhetetlen nagyságú mérési hibát okoznának. A műszer megbízható működése és élettartama szempontjából lényeges követelmény, hogy az anyag szilárdsága nagyobb legyen, mint a hőmérséklet változása közben kialakuló mechanikai feszültség. Ezeknek a feltételeknek a korund felel meg leginkább [14].

A mintában végbemenő hőmérséklet-változásokat a mintatartó tégely aljába elhelyezett PtRh-Pt hőelem érzékeli. A hőeffektusokból eredő hőmérséklet-változások pontos felvétele céljából a kemencetérbe a vizsgálandó anyag mellett egy hőeffektusokat nem mutató, korund etalon anyagot is behelyeztünk. A berendezés a vizsgálat alatt a minta és az etalon anyag hőmérséklet-különbségét differenciál termoelemmel érzékeli, melyet a termofeszültség különbségének erősítése után a műszer elektronikusan rögzít. Ennek a szoftveres kiértékeléséből kapjuk a differenciál-termikus analízis (DTA) görbét [14].

A mérleg segítségével a tömegnek a hőmérséklettől való függését, az úgynevezett TG-görbét kapjuk meg. A mérleg másik „karja” egy homogén mágneses erőterbe benyúló, nagy menetszámú tekercs, amelyben a minta tömegének időbeli változását követő, lineárisan arányos feszültség indukálódik. A mérlegkar kitérésének sebességéből a DTG-görbe határozható meg. A jelek detektálása elektronikus úton, a mérési adatok gyűjtése digitalizálva, az adatok tárolása és kiértékelése pedig a műszerhez célirányosan kidolgozott „MOM Winder” nevű szoftverrel számítógépen történik [14].

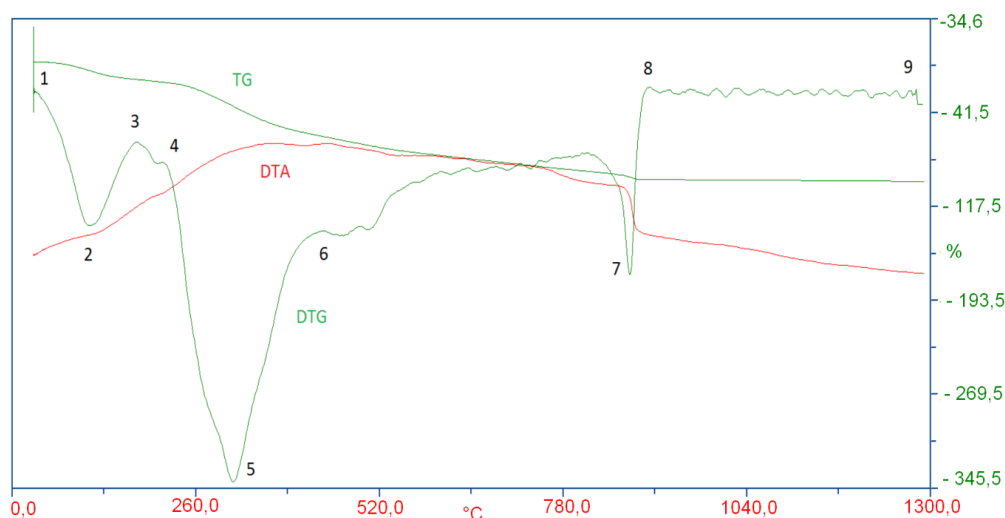
A fentiek alapján a derivatográf a vizsgálati eredményeket három görbével ábrázolja:

- Termogravimetria (TG): ez a görbe a hőmérséklet emelkedésének hatására a mintában bekövetkező tömegváltozást mutatja. Ez a tömegváltozás egyszerű függvénye [14].
- Differenciál termogravimetria (DTG): a termogravimetrikus görbék kiértékelésnek nehézségei vezettek oda, hogy a TG-görbéjének szükségessé, illetve lehetségessé vált a derivált görbéjének az úgynevezett differenciál termogravimetrikus görbének a megalkotása. Ahol a TG-görbének inflexiós pontja van, ott a DTG-görbén csúcs jelentkezik, ezáltal pontos képet alkothatunk a mintában lezajló termikus folyamatokról [14].

- Differenciál-termikus analízis (DTA): ez a vizsgálati módszer azt a hőmennyiséget határozza meg, amely a vizsgálandó anyag felmelegítése illetve hevítése esetén a hőtartalom-változással járó fizikai- és kémiai változások miatt felszabadul, illetve elnyelődik a vizsgálati rendszerben. A kapott görbe a minimuma felé endoterm, míg a maximuma felé haladva exoterm folyamatokra utal [14].

2.1.2 Égerfa kéregminta termoanalitikai vizsgálata derivatográfval

Az égerfa kéreg termogravimetriás vizsgálatának eredményeként kapott derivatogramot a **3. ábrán** mutatom be.



3. ábra: Az égerfa kéreg minta derivatogramja, a minta tömegváltozásai és hőeffektusai a hőmérséklet függvényében

Az égerfa kéregminta derivatogramjának kiértékelésével nyert adatokat a **1. táblázatban** foglaltam össze.

1. táblázat: Az égerfa kéreg derivatogramjának jellemző pontjaihoz tartozó értékek

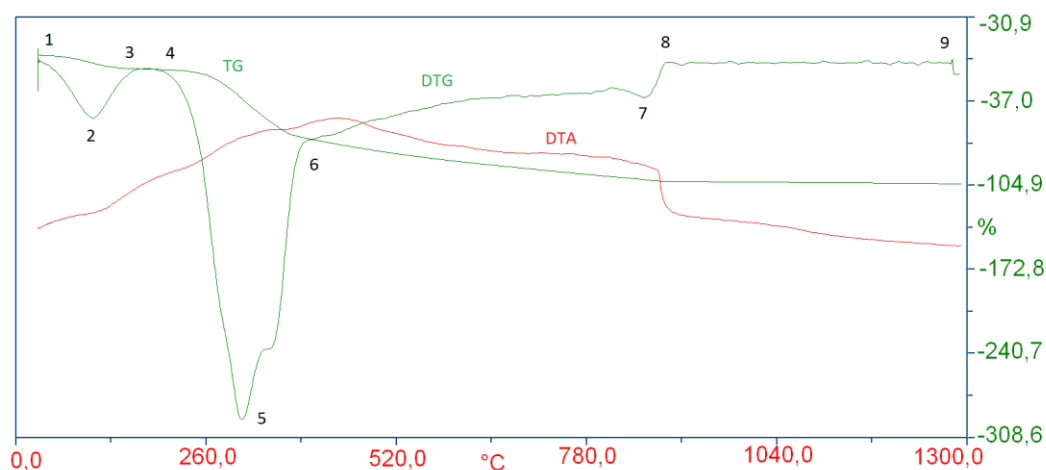
Jellemző pont	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérséklet különbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	31	-0,03	-0,262	-0,034
2	113	-7,96	3,292	-1,803
3	177	-14,55	8,046	-0,735
4	218	-17,65	10656	-1,05
5	313	-36,55	17,519	-5,353
6	438	-60,64	18,714	-1,937
7	570	-73,59	16,748	-1,274
8	825	-89,45	11,958	-0,923
9	875	-93,72	9,058	-2,529
10	905	-95,51	3,047	-0,011
11	1277	-97,01	-3,304	-0,098

A derivatogramból (3. ábra) megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség eltávozás hőmérséklete $T_{w, \max} = 113\text{ }^{\circ}\text{C};$
- a száradás befejeződésének hőmérséklete $T_{w, 0} = 177\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, kezd} = 218\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, gyull} = 240\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete $T_{ill, \max} = 313\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az illók kiválásának véghőmérséklete $T_{ill, vég} = 438\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az intenzív égés hőmérséklet tartománya $T_{int, ég} = 240\text{--}825\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete $T_{égés, bef} = 905\text{ }^{\circ}\text{C}.$

2.1.3 Az égerfa szilács-rész minta termoanalitikai vizsgálata derivatográffal

Az égerfa szilács rész termogravimetriás vizsgálatának eredményeként kapott derivatogramot a 4. ábrán mutatom be.



4. ábra: Az égerfa szilács rész minta derivatogramja, a minta tömegváltozásai és hőeffektusai a hőmérséklet függvényében

Az égerfa szilács rész minta derivatogramjának kiértékelésével nyert adatokat a 2. táblázatban foglaltam össze.

A derivatogramból (4. ábra) megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség eltávozás hőmérséklete $T_{w, \max} = 99\text{ }^{\circ}\text{C};$
- a száradás befejeződésének hőmérséklete $T_{w, 0} = 175\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, kezd} = 216\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, gyull} = 240\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete $T_{ill, \max} = 333\text{ }^{\circ}\text{C};$
- az illók kiválásának véghőmérséklete $T_{ill, vég} = 402\text{ }^{\circ}\text{C};$

- az intenzív égés hőmérséklet tartománya
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete

$$T_{\text{int,ég}} = 240-807\text{ }^{\circ}\text{C};$$

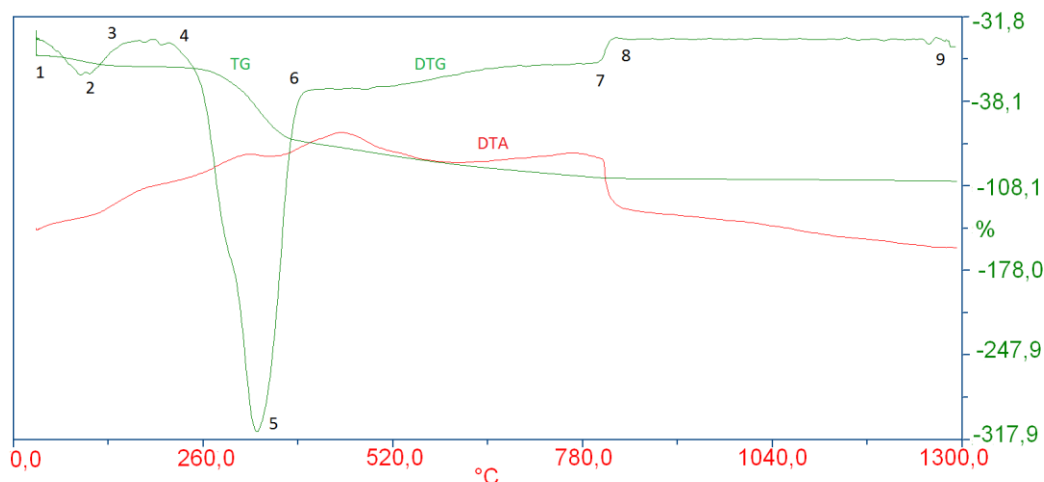
$$T_{\text{égés,bef}} = 828\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

2. táblázat: Az égerfa szilács rész derivatogramjának jellemző pontjaihoz tartozó értékek

Jellemző pont	Hőmérséklet $T, ^{\circ}\text{C}$	Tömegváltozás TG, %	Hőmérséklet különbség DTA, $^{\circ}\text{C}$	Tömegváltozás sebessége DTG
1	33	-0,01	-0,273	-0,62
2	99	-5,5	2,222	-1,239
3	175	-9,23	7,416	-0,168
4	216	-9,71	8,769	-0,244
5	333	-44,6	13,852	-13,697
6	402	-72,02	16,013	-1,861
7	807	-96,43	13,067	-0,711
8	828	-97,83	4,222	-0,043
9	1279	-98,94	-3,612	-0,15

2.1.4 Az égerfa geszt minta termoanalitikai vizsgálata derivatográffal.

Az égerfa geszt termogravimetriás vizsgálatának eredményeként kapott derivatogramot a **5. ábrán** mutatom be.



5. ábra: Az égerfa geszt minta derivatogramja, a minta tömegváltozásai és hőeffektusai a hőmérséklet függvényében

A derivatogramból (**5. ábra**) megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség eltávozás hőmérséklete
- a száradás befejeződésének hőmérséklete
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete
- az illók kiválásának véghőmérséklete

$$T_{w, \text{max}} = 106\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{w, 0} = 172\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{ill, kezd}} = 200\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{ill, gyull}} = 240\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{ill, max}} = 310\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{ill, vég}} = 401\text{ }^{\circ}\text{C};$$

- az intenzív égés hőmérséklet tartománya

$$T_{\text{int,ég}} = 240-861\text{ }^{\circ}\text{C};$$

- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete

$$T_{\text{égés,bef}} = 896\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

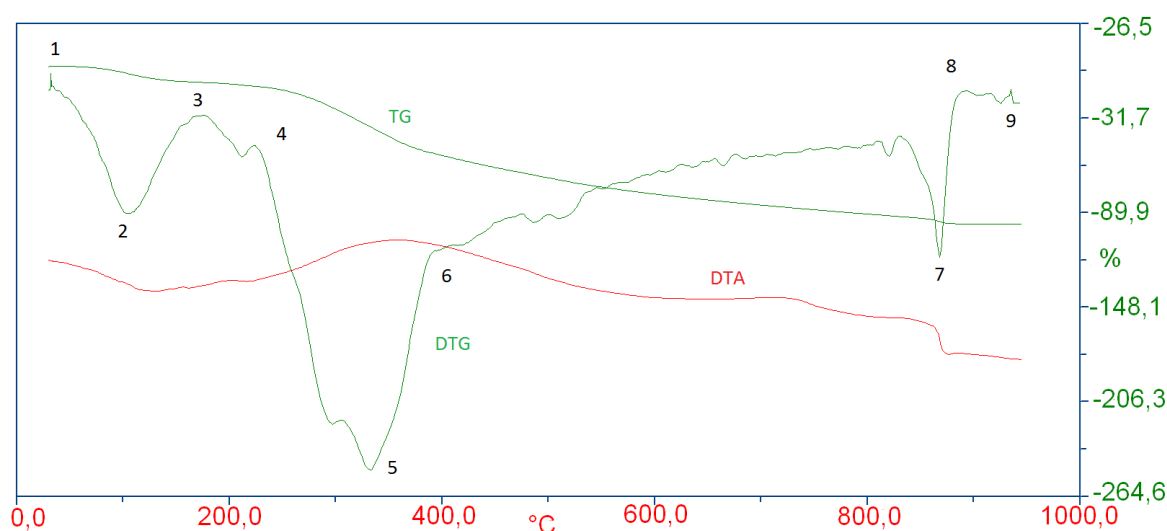
Az égerfa geszt minta derivatogramjának kiértékelésével nyert adatokat a **3. táblázatban** foglaltam össze.

3. táblázat: Az égerfa geszt derivatogramjának jellemző pontjaihoz tartozó értékek

Jellemző pont	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérséklet különbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	32	-0,05	0,162	-0,035
2	106	-6,59	2,808	-1,743
3	172	-10,97	8,124	-0,27
4	200	-11,45	9,878	-0,34
5	310	-36,32	17,237	-10,836
6	401	-67,64	19,945	-2,401
7	861	-96,51	11,777	-1,121
8	896	-97,74	2,967	-0,063
9	1273	-99,14	-3,461	-0,099

2.1.5 A nyárfa kéreg minta termoanalitikai vizsgálata derivatográffal

A nyárfa kéreg termogravimetriás vizsgálatának eredményeként kapott derivatogramot a **6. ábrán** mutatom be.



6. ábra: A nyárfa kéreg minta derivatogramja, a minta tömegváltozásai és hőeffektusai a hőmérséklet függvényében

A nyárfa kéreg minta derivatogramjának kiértékelésével nyert adatokat a **4. táblázatban** foglaltam össze.

4. táblázat: A nyárfa kéreg derivatogramjának jellemző pontjaihoz tartozó értékek

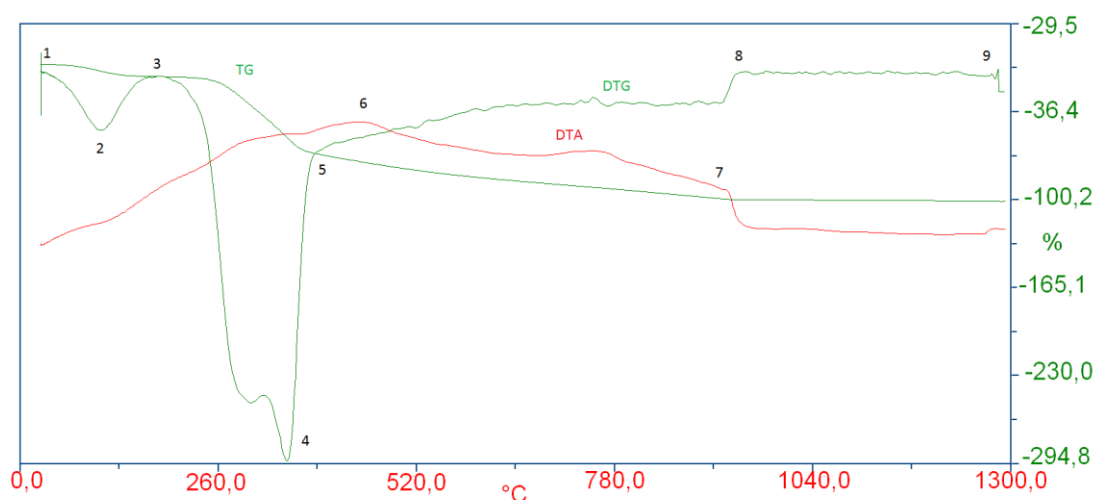
Jellemző pont	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérséklet különbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	33	-0,16	-0,21	-0,058
2	103	-4,13	-4,014	-1,927
3	175	-9,78	-4,345	-0,396
4	224	-12,16	-3,472	-0,867
5	333	-37,54	2,915	-5,95
6	394	-53,86	2,56	-2,522
7	868	-95,59	-14,196	-2,574
8	895	-96,81	-15,901	-0,017
9	950	-97,04	-16,762	-0,105

A derivatogramból (6. ábra) megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség eltávozás hőmérséklete $T_{w, \max} = 103 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- a száradás befejeződésének hőmérséklete $T_{w, 0} = 175 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, kezd} = 224 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, gyull} = 240 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete $T_{ill, max} = 333 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az illók kiválásának véghőmérséklete $T_{ill, vég} = 394 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az intenzív égés hőmérséklet tartománya $T_{int, ég} = 240\text{-}868 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete $T_{égés, bef} = 895 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.1.6 A nyárfa szilács+geszt rész minta termoanalitikai vizsgálata derivatográfval

A nyár szilács+geszt rész termogravimetriás vizsgálatának eredményeként kapott derivatogramot a 7. ábrán mutatom be.



7. ábra: A nyárfa szilács+geszt rész minta derivatogramja, a minta tömegváltozásai és hőeffektusai a hőmérséklet függvényében

A nyárfa szilács+geszt rész minta derivatogramjának kiértékelésével nyert adatokat a 5. táblázatban foglaltam össze.

5. táblázat: A nyár szilács+geszt rész derivatogramjának jellemző pontjaihoz tartozó értékek

Jellemző pont	Hőmérséklet $T, ^\circ\text{C}$	Tömegváltozás TG, %	Hőmérséklet különbség DTA, $^\circ\text{C}$	Tömegváltozás sebessége DTG
1	28	-0,18	-0,241	-0,024
2	106	-5,48	3,848	-1,686
3	185	-9,37	10,42	-0,15
4	350	-54,46	19,967	-11,064
5	385	-65,94	20,505	-2,377
6	451	-72,72	22,142	-1,872
7	923	-98,69	9,839	-0,826
8	942	-99,12	4,12	-0,033
9	1276	-99,31	2,723	-0,144

A derivatogramból (7. ábra) megállapítható legfontosabb jellemzők:

- a legintenzívebb nedvesség eltávozás hőmérséklete $T_{w, \max} = 106 ^\circ\text{C}$;
- a száradás befejeződésének hőmérséklete $T_{w, 0} = 180 ^\circ\text{C}$;
- az illók kiválásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, kezd} = 190 ^\circ\text{C}$;
- az illók begyulladásának kezdőhőmérséklete $T_{ill, gyull} = 270 ^\circ\text{C}$;
- az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete $T_{ill, \max} = 350 ^\circ\text{C}$;
- az illók kiválásának véghőmérséklete $T_{ill, vég} = 385 ^\circ\text{C}$;
- az intenzív égés hőmérséklet tartománya $T_{int, ég} = 270-923 ^\circ\text{C}$;
- az égés teljes befejeződésének hőmérséklete $T_{égés, bef} = 942 ^\circ\text{C}$.

Az 3-7. ábrán látható, hogy a nedvességtartalom eltávozása volt az első jelentős tömegcsökkenése a tüzelőanyagnak. A következő tömegcsökkenés az illóanyag eltávozása, majd elkezdődik a tüzelőanyagban lévő éghető alkotók intenzív égése. Ezután a tüzelőanyag már nem veszít a tömegéből.

Az égerfa minták derivatográfus vizsgálatánál szembejövő, hogy a kéregnek sokkal magasabb a nedvességtartalma, mint a szilács és a geszt résznek, ezért itt sokkal több energia fordítódik arra, hogy a nedvességtartalom gőzállapotba kerüljön és távozzon a tüzelőanyagból. Ezért csökkenti azt a hőenergiát, amit ki lehet belőle nyerni.

2.2 ÉGÉSMELEG ÉS FŰTŐÉRTÉK MEGHATÁROZÁSA

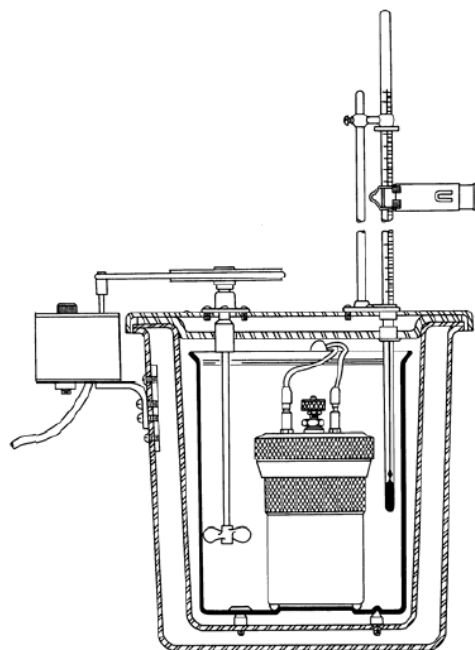
Ezt a mérést Parr 6200 típusú, automatikus, izoperibolikus oxigén bomba kaloriméterrel, az MSZ 24000-5:1978 szerint végeztem [13].

2.2.1 Mérés és számítás elve

A bomba kaloriméter az égésmeleg értékét úgy számolja ki, hogy először egy ismert kalibráló anyagot eléget - jellemzően benzoesavat -, majd ezután a mintát is elégeti. Az égésmeleget az égetésből felszabaduló hőmennyiség összehasonlítása alapján számolja ki. Maga az égetés az ún. bombában történik, ami fém nyomástartó edény, amiben nagy – jellemzően 30 bar - nyomású oxigén atmoszféra van. Az égetés során felszabaduló hőenergiát a kaloriméteren belül elnyeletjük és az abszorbeáló közeg hőmérséklet-változását regisztrálja a készülék. Az vizsgált minta égésmelegét, azaz égetés során felszabaduló hőmennyiségét a hőmérséklet-növekedés valamint a kalibráció során előzetesen meghatározott kaloriméter-állandó, vagy hőkapacitás szorzataként számítja ki. Ez viszont nem a mintára jellemző égésmeleg, a kapott értéket korrigálni kell bizonyos hőforrások, azaz a bombában végbemenő, a minta égésétől különböző mellékfolyamatok figyelembevételével [13].

2.2.2 A bomba kaloriméter elvi felépítése

Az általam használt bomba kaloriméter alapvetően négy részből épül fel. **(8. ábra)** Az első fő része a bomba, vagy nyomástartó edény, ahol a vizsgálandó minta elégetése végbemegy. A második fő része az az edény, ahová a bombát behelyezzük, ez az ún. kaloriméter edény, amiben ismert mennyiségű víz található. Ezt veszi körül a szigetelt köpeny, ami megóvjá az edényt a vizsgálat során a környezettel való hőcserétől. A negyedik része a bomba kaloriméternek a hőmérő vagy szenzor, ami azt a hőmérsékletváltozást méri, ami a kaloriméter edényben következik be [13].

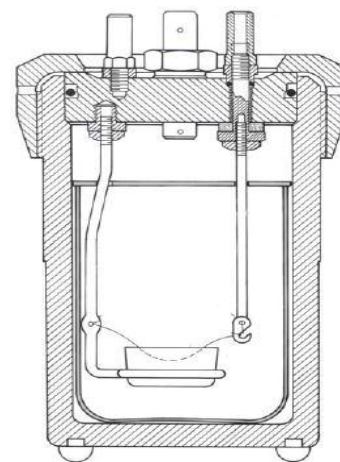


8. ábra: A bomba kaloriméter elvi felépítése [13].

Maga a bomba **(9. ábra)** egy erős vastag falú edény, ami nyilvánvalóan nyithatónak kell lennie, legfőképpen azért, hogy a vizsgálandó mintát be lehessen helyezni, majd az égéstermék el tudjuk távolítani az eszköz belsejéből. Ezen felül a vizsgálat előtt gondoskodni kell a bomba tisztaságáról, gondosan ki kell tisztítani az előző vizsgálatkor keletkezett savakat és egyéb égéstermékeket. Ezt csak úgy tudjuk megoldani, ha az eszköz belseje megfelelően hozzáférhető a számunkra. A mérés előtti nagy nyomású oxigénnel való feltöltése, és a vizsgálat végén a keletkezett gázok eltávolítása szelepek segítségével történik,

ami a bomba fedelén található. Ugyancsak a bomba fedelén találhatók az elektródák, ami a gyújtóáram bevezetésére szolgálnak [13].

A kaloriméter edény méretét úgy tervezték, hogy a bomba és a keverő egésze a víz szintje alatt lehessen. A keverő arra szolgál, hogy a kaloriméter edényben lévő víz teljesen homogén hőmérsékletű legyen, ezt úgy oldja meg, hogy mechanikus energia formájában nem visz be túl sok hőt. A víz hőmérsékletének a homogenitására azért van szükség, hogy a környezettel való hőcserét minimalizáljuk [13].



9. ábra: A kaloriméter bombájának metszete [13]

Ahogy a bombának, úgy a kaloriméter edénynek is van tárolója, ez a kaloriméter köpeny, ez egyfajta védőburokként szolgál, mérsékli a környezet közötti hőátadást. Tehát a köpeny feladata, hogy a vizsgálat időtartama alatt minimalizálja a huzat, a hőszugárzás valamint a helyiség hőmérséklet változását, azonban ezen tényezők még így sem zárhatóak ki teljes mértékben [13].

2.2.3 Kalibráció

Az ismeretlen égésmeleg értékkel rendelkező minta vizsgálata előtt a kaloriméter vízhőértékét vagy hőkapacitását meg kell határoznunk. A kapott érték kifejezi a mérőrendszer teljes hőkapacitását, ami a bomba, az edény és az edényben lévő víz hőkapacitása összeadva. Az előbb felsorolt elemek hőkapacitását külön-külön meghatározni nagyon bonyolult és időigényes feladat lenne, ezért empirikus úton határozzuk meg a rendszer egészére jellemző vízhőértékét egy ismert égésmelegű minta reprodukálható körülmények közötti elégetésével. Erre a célra benzoésavat (Benzoe-Acid) használunk, mert oxigénben tökéletesen elég, nem higroszkópos és nagy tisztaságban áll a rendelkezésre [13].

2.2.4 Kaloriméter korrekciók

A vizsgálandó minta begyűjtésére gyújtózsínort használtam, azonban ennek elégetése többlet hőt jelent a bombában. Viszont a gyújtózsínór elégett mennyisége mérésről mérésre változhat, ezért minden mérés végén a zsínór által bevitt energiát külön meg kell határozni és azt le kell vonni az égésmelegből és ezután kapjuk meg a mintára jellemző égésmeleg értéket. Ha bármilyen más anyagot vinnénk be, például tökéletes égést segítő anyagot, akkor is ugyanígy kell eljárunk. Mivel a minta elégetése nagy nyomáson és magas hőmérsékleten játszódik le közel tiszta oxigénben, ezért számos olyan reakció léphet fel, amelyek normál

körülmények között nem mennének végbe ugyanazon anyagnál. Ezeket mellékreakcióknak nevezzük, amelyek ugyancsak hőt termelnek, ezért ezt is figyelembe kell venni a korrekciónál [13].

Normál körülmények között végbe menő tüzelőanyag égetésekor a kéntartalom kén-dioxiddá ég el és a füstgázzal távozik. Azonban a bombában való égetésekor a kéntartalom kén-trioxiddá ég el, ami azonban a bombában lévő nedvességgel reakcióba lép és kénsavat alkot. A nitrogénnel is hasonló a helyzet, hiszen normál tüzelésnél figyelmen kívül hagyható, de a bombában rekedt nitrogén-molekulák az oxidáció után a vízgőzzel reakcióba lépnek és salétomsavat alkotnak. Az ASTM és ISO szabványok tartalmazznak olyan korrekciós módszereket, amelyek ezen savak képződésénél felszabaduló hőt figyelembe veszik a számításoknál [13].

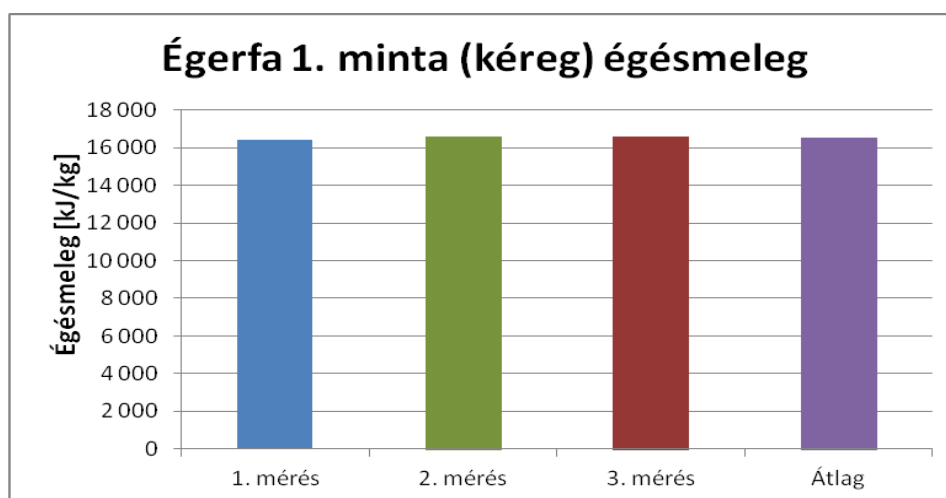
2.2.5 Az égésmeleg meghatározása

A mérőműszer által meghatározott égésmelegből le kell vonni a korrekciós tagokat, és az újbóli érték lesz a vizsgált tüzelőanyag égésmelege.

Az égerfa minta bomba kaloriméterrel végzett vizsgálata által kapott adatokat a **6.-8. táblázatban** foglaltam össze.

6. táblázat: Az égerfa kéreg minta bomba kaloriméter adatai.

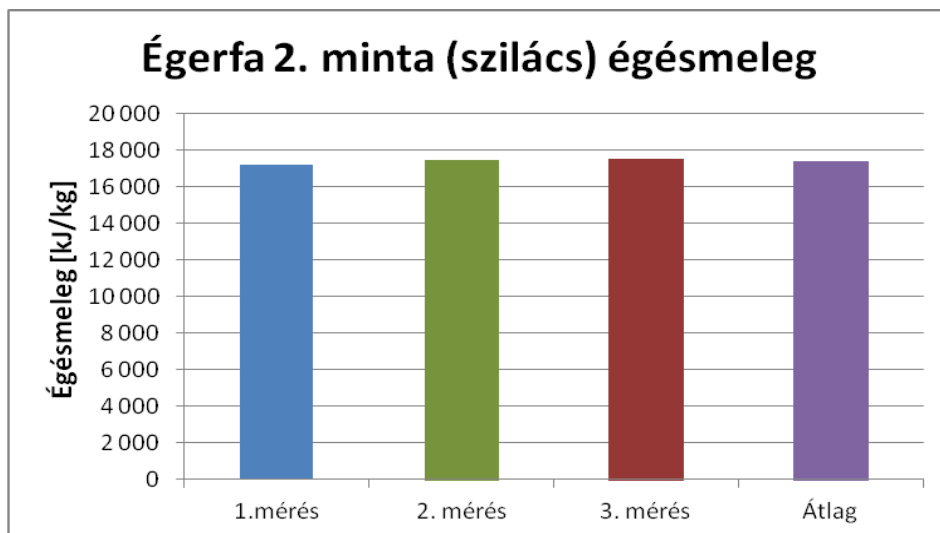
Minta	dT	Minta tömege [g]	Égésmeleg [kJ/kg]
1	0,6203	0,3814	16391,1
2	0,3120	0,1896	16584,5
3	0,3591	0,2182	16586,2
Átlag			16520,6



10. ábra: Az égerfa kéreg minta égésmelege.

7. táblázat: Az égerfa szilács minta bomba kaloriméter mérési adatai.

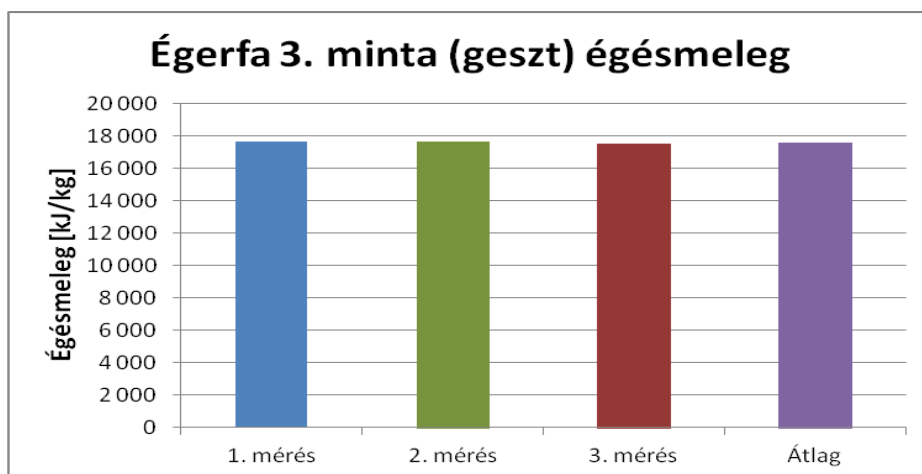
Minta	dT	Minta tömege [g]	Égésmeleg [kJ/kg]
1	0,2532	0,1484	17195,1
2	0,2705	0,1561	17464,2
3	0,2526	0,1452	17532,8
Átlag			17397,4



11. ábra: Az égerfa szilács minta égésmelege.

8. táblázat: Az égerfa geszt minta bomba kaloriméter mérési adatai.

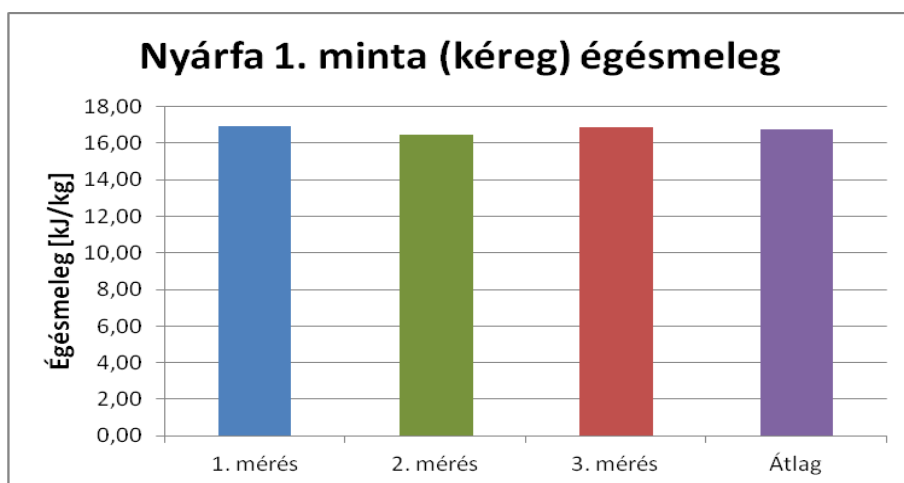
Minta	dT	Minta tömege [g]	Égésmeleg [kJ/kg]
1	0,4594	0,2622	17658,2
2	0,4540	0,2593	17645,8
3	0,5987	0,3443	17525,1
Átlag			17609,7



12. ábra: Az égerfa geszt minta égésmelege.

9. táblázat: A nyárfa kéreg minta bomba kaloriméterrel végzet vizsgálat által kapott adatok.

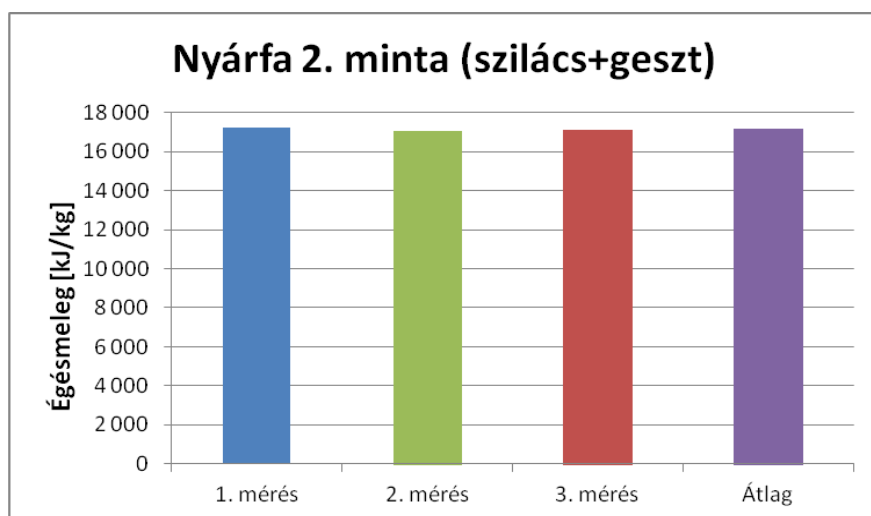
Minta	dT	Minta tömege [g]	Égésmeleg [kJ/kg]
1	0,8699	0,5124	16951,1
2	1,2010	0,6175	16476,5
3	1,1096	0,6009	16889,4
Átlag			16772,3



13. ábra: A nyárfa kéreg minta égésmelege.

10. táblázat: A nyárfa szilács és geszt minta bomba kaloriméterrel végzet vizsgálat által kapott adatok

Minta	dT	Minta tömege [g]	Égésmeleg [kJ/kg]
1	0,6248	0,3604	17229,1
2	0,5850	0,3403	17070,7
3	0,6544	0,3799	17117,7
Átlag			17139,2



14. ábra: A nyárfa szilács+geszt minta égésmelege.

2.2.6 A fűtőérték meghatározása

A fűtőérték meghatározására a szabvány a következő összefüggést adja meg:

$$H_u = H_a - 24,49278(9H + W_t), \text{ kJ/kg}$$

Ahol:

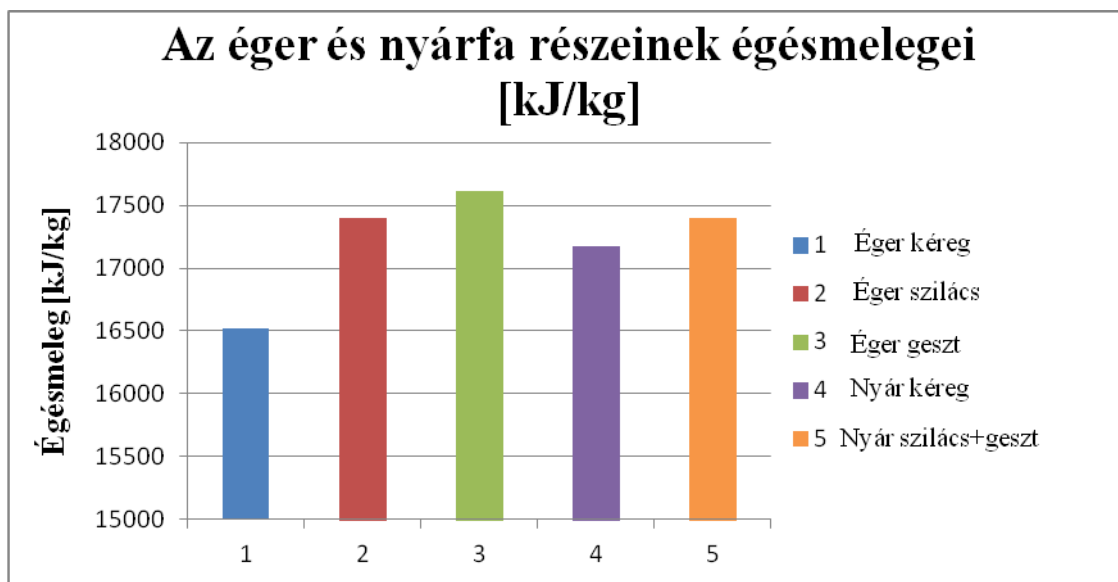
H_a - a fentiek szerint meghatározott égésmeleg, [kJ/kg]

H - a minta hidrogéntartalma, m/m % (meghatározása az MSZ 24000/11) szerint,

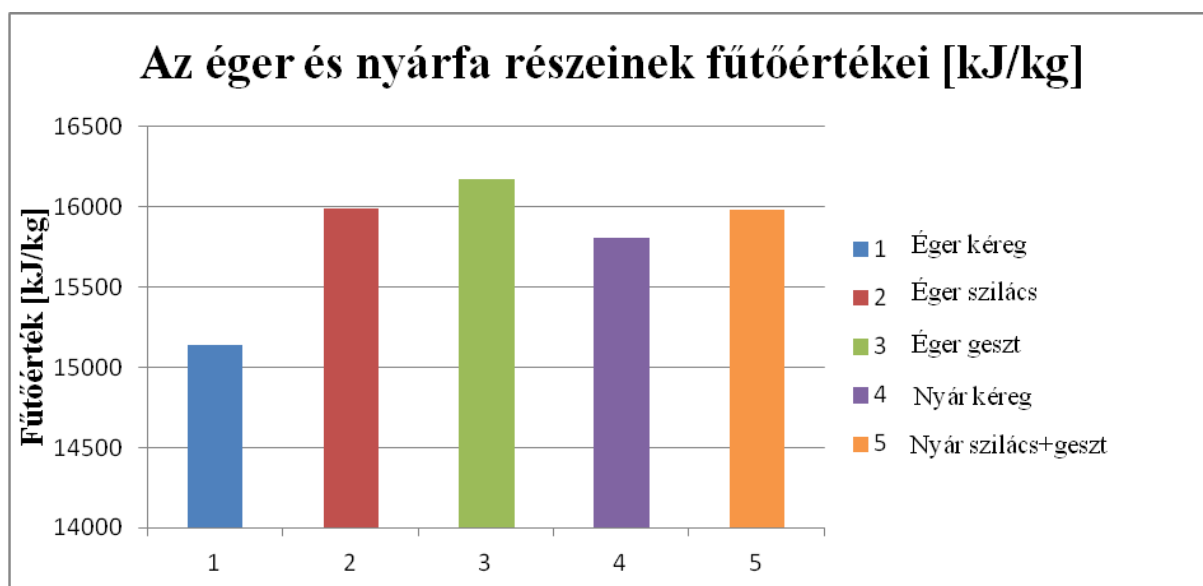
W_t - a minta nedvességtartalma, [m/m %] (nedves minták esetében az összes nedvesség, száraz minták esetében „0”).

11. táblázat: Az égerfa és nyárfa minták MSZ 24000/11 szerinti átlagos fűtőérték meghatározása

Fa	Fa része	Égésmeleg [kJ/kg]	Hidrogéntartalom [m/m %]	Nedvességtartalom [m/m %]	Fűtőérték [kJ/kg]
Éger	Kéreg	16520,6	5,3829	7,9600	15139,1
	Szilács	17397,4	5,7620	5,5000	15992,5
	Geszt	17609,7	5,7761	6,5900	16175,0
Nyár	Kéreg	17175,9	5,7601	4,1300	15805,0
	Geszt+szilács	17394,3	5,7932	5,4800	15983,0



15. ábra: Az éger és nyárfa részeinek égémelegei.



16. ábra: Az éger és a nyárfa részeinek a fűtőértékei.

A **8-11. táblázatokból** jól látható, hogy az égerfa kéregnek az égésmelege, illetve a fűtőértéke is sokkal kisebb értéket mutat, mint a szilács és a geszt. Enne az az oka, hogy a kéreg nedvességtartalma - mint láttuk a derivatográfus mérésből - sokkal nagyobb, mint a fa többi részének. A nyárfa esetében ez az eltérés nagyon minimális.

2.3 HAMUTARTALOM MEGHATÁROZÁSA

A hamu a tüzelőanyagoknak az a szilárd, nem éghető ásványi alkotórésze, amely 850 +/- 25°C hőmérsékleten végzett tökéletes elégetése után visszamarad. A mérést MSZ ISO 1171 alapján végezzük [15].

Az 1 mm-nél kisebb szemnagyságú előkészített mintából 1-2 g-nyi mennyiséget mértem be az előzetesen megszámozott, kiizzított, exsikkátorban lehűtött és analitikai mérlegen meghatározott tömegű porcelán hamvasztó tálcákba. Ezután a mintákat hideg, elektromosan fűthető kemencébe helyeztem, amelyet 850 +/- 25°C hőmérsékletre fűtöttem. A lassú felfűtésre gondosan ügyelni kell, mert sok illót tartalmazó tüzelőanyagnál a hirtelen fejlődő gázok a finom port is magukkal ragadják, és emiatt veszteségek keletkeznek. Az izzítás közben a kemence szellőzőnyílását nyitva kell hagyni, hogy a levegő szabadon áramolhasson. Az izzítást mindig tömegállandóságig kell végezni, de legalább 2 órán keresztül. Az izzítás befejeztével a kemence ajtót nem nyitottam ki, hanem hagytam, hogy kihűljenek a tálcák. A kivétel után exsikkátorban szobahőmérsékletre hűtöttem, majd a visszamaradt szilárd maradékot mérlegen lemértem. A hamutartalmat a vizsgálathoz bemért légszáraz tüzelőanyag tömegére vonatkoztatva adom meg, az alábbi képlet alapján [15]:

$$h = \frac{G_3}{G_2} \cdot 100, \%$$

Ahol:

G_3 - hamu tömege, [g]

G_2 - bemért légszáraz tüzelőanyag tömege, [g]

Az égerfa minta hamutartalom vizsgálata által kapott adatokat a **11.-13. táblázatban** foglaltam össze.

11. táblázat: Az égerfa kéreg minta hamutartalom mérési adatai.

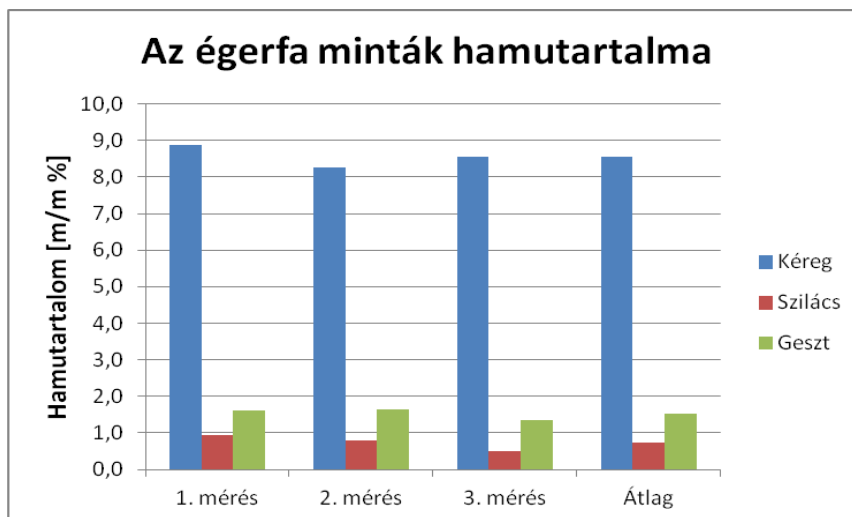
Mérés	Bemért anyag tömege [g]	Hamu tömege [g]	Hamutartalom [m/m %]
1.	0,9345	0,0830	8,8818
2.	0,9025	0,0745	8,2548
3.	1,2825	0,1098	8,5614
Átlag			8,5660

12. táblázat: Az égerfa szilács minta hamutartalom mérési adatai.

Mérés	Bemért anyag tömege [g]	Hamu tömege [g]	Hamutartalom [m/m %]
1.	0,3850	0,0036	0,9351
2.	0,4277	0,0034	0,7949
3.	0,5705	0,0028	0,4908
Átlag			0,7403

13. táblázat: Az égerfa geszt minta hamutartalom mérési adatai.

Mérés	Bemért anyag tömege [g]	Hamu tömege [g]	Hamutartalom [m/m %]
1.	1,4281	0,0230	1,6105
2.	1,3403	0,0221	1,6489
3.	1,3968	0,0187	1,3388
Átlag			1,5327



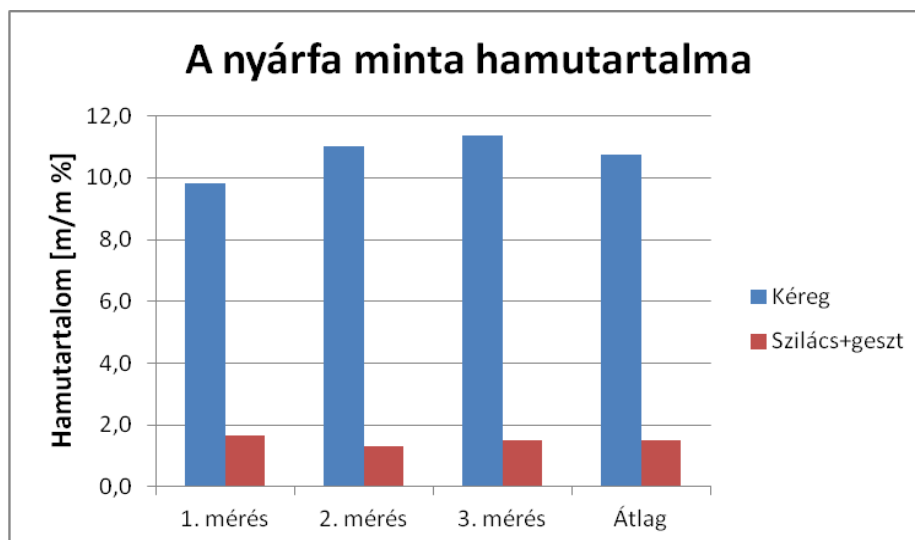
17. ábra: Az égerfa minta hamutartalma.

14. táblázat: A nyárfa kéreg minta hamutartalom mérési adatai.

Mérés	Bemért anyag tömege [g]	Hamu tömege [g]	Hamutartalom [m/m %]
1.	1,3026	0,1279	9,8188
2.	1,2014	0,1324	11,0205
3.	1,6715	0,1903	11,3850
Átlag			10,7414

15. táblázat: A nyárfa szilács és geszt minta hamutartalom vizsgálata által kapott adatok.

Mérés	Bemért anyag tömege [g]	Hamu tömege [g]	Hamutartalom [m/m %]
1.	0,9233	0,0153	1,6571
2.	0,9530	0,0125	1,3116
3.	0,9854	0,0149	1,5121
Átlag			1,4936



18. ábra: A nyárfa minta hamutartalma.

A **11-15. táblázatokból** és a **17-18. ábrákból** láthatjuk, hogy itt is a kéreg rendelkezik rosszabb tulajdonsággal, hiszen szembetűnő a közel hétszeres különbség a kéreg és a minták belső részeinek hamutartalma között. Ezt a jelentős eltérést az okozza, hogy a kéregnek sokkal magasabb a szerves anyag tartalma.

2.4 KARBON- ÉS HIDROGÉNTARTALOM MEGHATÁROZÁSA

A tüzelőanyagok elemi összetételének meghatározása alatt a szerves vegyületek elemi összetevőinek (azaz karbon-, hidrogén-, kén-, nitrogén- és oxigéntartalmának) mennyiségi analízisét értjük. A kapott eredményeket legtöbbször egyéb számításokhoz használjuk fel, esetünkben fűtőérték és égéshőmérték számításoknál [13].

Az tüzelőanyag összetevői közül a C-, H- és O tartalom az égési tulajdonságok szempontjából fontos. A környezetszennyezés és korrózió szempontjából a kén és nitrogéntartalom lényeges [13].

Az elemi összetevők műszeres meghatározására vonatkozó ISO, DIN, CEN szabályok alapján Carlo Erba EA 1108 típusú elem-analizátor végeztem a méréseket. A mérés lényege, hogy az tüzelőanyag mintát tökéletesen elégetjük és a keletkezett füstgázból következtetünk az elemi összetevők mennyiségére [13].

2.4.1 A mérés és számítás elve

A mintát nagy hőmérsékleten, oxidáló közegben gyorsan, tökéletesen elégetjük (flash combustion), ekkor minden szerves és szervesetlen komponenst égésterméké alakul. Az égetés során keletkező gáz égéstermékek hélium vivőgáz segítségével oxidáló és redukáló zónákon áramolnak át, majd a kromatográfiás oszlopra jutnak, ahol komponenseikre (CO_2 , H_2O , N_2 , SO_2) válnak szét. Végül a szétválasztott gázkomponenseket hővezetőképesség-detektorral észleli a műszer [13].

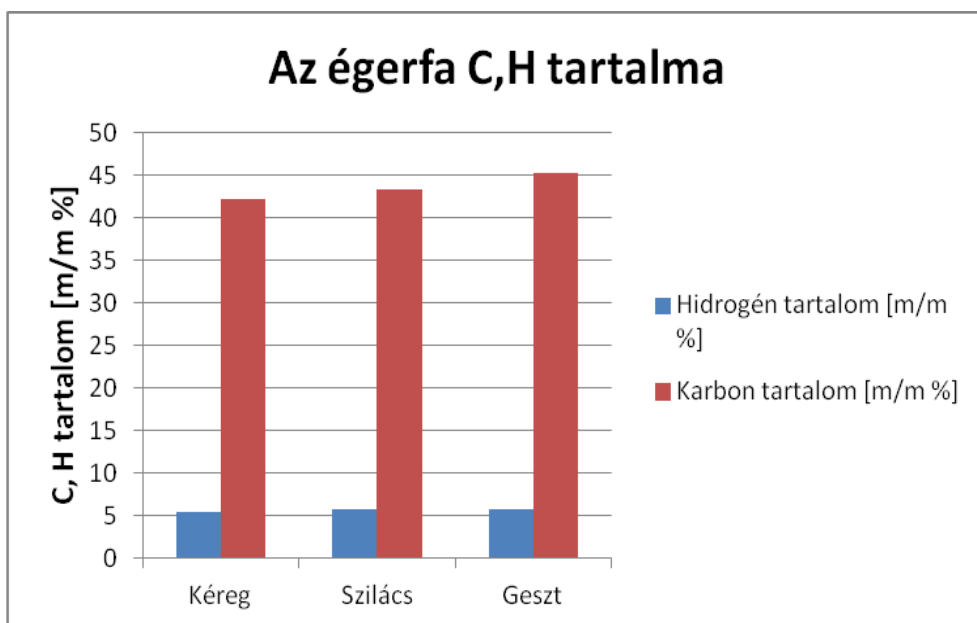
A vizsgálat előkészítéseként az adott mintából 3-5 mg tüzelőanyagot bemértem az ónfóliából készült mintatartóba. A mintához égésgyorsítót kevertem, ami V_2O_5 katalizátor. Az égési reakció egy kvarcüvegből készült reaktorcsőben megy végbe, amit egy csőkemence fűt a számunkra megfelelő hőmérsékletre (900 °C). A gázok áramlása fentről lefelé történik. A reaktorcsőben több rétegű töltet található, ezek a következők fentről lefelé haladva: kvarcvatta, katalitikus oxidáló, kvarcvatta, rézszemcsék, kvarcvatta [13].

A mérés kezdetén a készülék egy meghatározott ideig nagy tisztaságú oxigént juttat a reaktorcsőbe. A következő lépés az, hogy a mintaadagoló belejti a csőbe az aktuális mintát. Az ónfóliába csomagolt vizsgálandó tüzelőanyag heves reakcióval, nagy hőmérsékletű lángot

biztosítva elég, ez eredményezi a minta teljes oxidációját, emellett az erősen oxidáló atmoszféra is segíti a reakció végbemenetelét. Az égetés gyorsan, pár másodperc alatt véghez megy. A gázok áramlása először a katalitikus oxidáló rétegen megy keresztül, ami a CO oxidálására szolgál. Ezután a rézszemcséből kialakított rétegre jutnak, ami két feladatot lát el. Az első feladata, hogy a detektor védelmében a maradék oxigént el kell távolítani. Másik feladata, hogy a képződött nitrogén-oxidokat nitrogénné redukálja [13].

A képződő gázkeveréket CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 és hélium vivőgázban a kromatográfiás oszlopra, más néven kolonnára áramlik. Komponenstől függően bizonyos ideig visszatartást szenvednek, majd a kolonnáról a következő sorrendben jönnek le a gázkomponensek: először az N_2 , majd a CO_2 , harmadikként a H_2O és végül a SO_2 távozik [13].

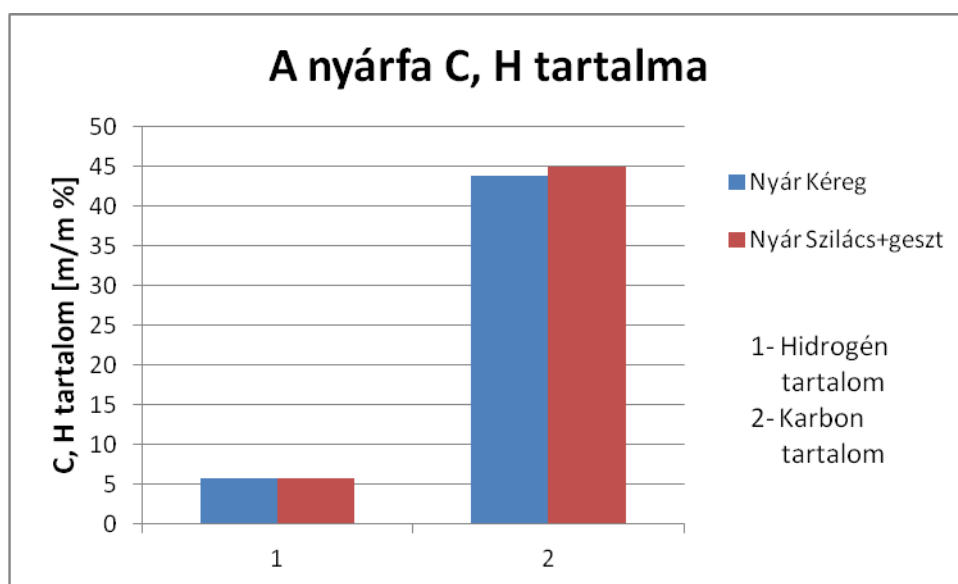
A szétválasztás után a gázkomponensek mennyiségi meghatározása következik, ami hővezetési detektorral történik. Ennek a detektornak négy elektromosan fűtött wolframszál az érzékelője, ami Wheatstone-hídba van kötve. Ez a négy érzékelő közül kettő a mérőágban, a másik kettő pedig a referenciaágban van elhelyezve, az utóbbin csak hélium vivőgáz áramlik át. A szálak hőmérséklete a körülötte áramló gáz hővezető képességétől függ. Amennyiben a tiszta vivőgáz jut a mérőágban lévő szálakra, a hőmérséklete megegyezik a referenciaággal, a híd egyensúlyban van, az erősítőre az alapvonal jele kerül. Abban az esetben, ha a mérőágban valamelyik gázkomponens megjelenik, a wolframszál hőmérséklete és ennél fogva az ellenállása is megváltozik, a híd kibillen az egyensúlyából, analóg jelet küld az adatfeldolgozó rendszernek [13].



19. ábra: Az égerfa minta karbon és hidrogéntartalma.

16. táblázat: Az égerfa és nyárfa minták elemanalizátoros vizsgálat által kapott adatok.

Fa fajta	Fa része	Minta	Hidrogén tartalom [m/m %]	Karbon tartalom [m/m %]
Éger	Kéreg	1.	5,53	43,05
		2.	5,36	41,59
		3.	5,26	42,07
		Átlag	5,38	42,23
	Szilács	1.	6,29	44,76
		2.	6,29	45,03
		3.	6,23	44,63
		Átlag	6,27	44,81
	Geszt	1.	5,78	45,32
		2.	5,92	45,27
		3.	5,74	45,45
		Átlag	5,81	45,35
Nyár	Kéreg	1.	5,77	44,02
		2.	5,62	43,66
		3.	5,70	43,55
		Átlag	5,70	43,74
	Szilács+geszt	1.	6,00	45,09
		2.	5,91	44,97
		3.	6,00	44,58
		Átlag	5,97	44,88



20. ábra: A nyárfa minta karbon és hidrogéntartalma.

A **16. táblázatból** és **19-20. ábrákból** láthatjuk, hogy az égerfa esetében a karbon tartalom a kéregben a legalacsonyabb, a gesztben pedig a legmagasabb. A nyárfánál is a kéregnek az alacsonyabb, míg a szilács+gesztnek magasabb. Az éger tüzelőanyag hidrogéntartalma szempontjából a szilács mutatja a legjobb tulajdonságot és a kéreg a legrosszabbat. A nyár tüzelőanyag esetében viszont nincs jelentős különbség.

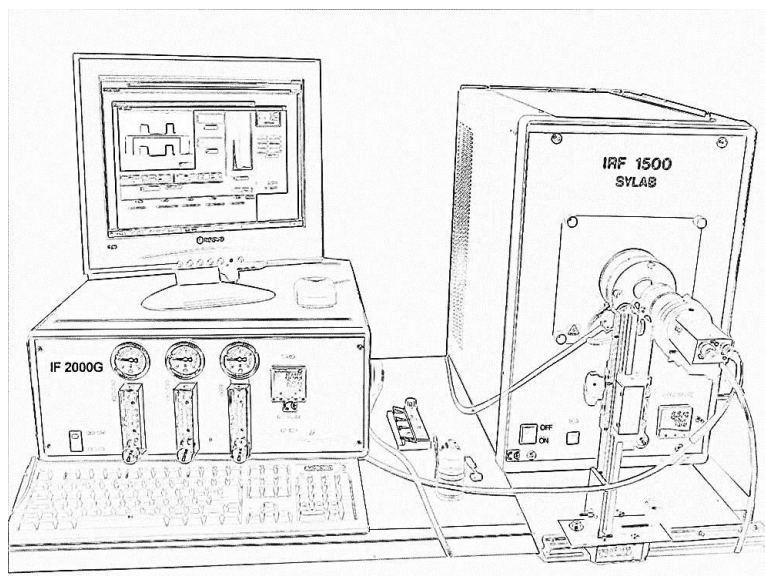
2.5 A HAMU SZINTEREZŐDÉSI ÉS LÁGYULÁSI JELLEMZŐK MEGHATÁROZÁSA

Az olvadási tulajdonságait az alábbi hőmérsékleti pontokkal jellemezhetjük:

- Szintereződési hőmérséklet (IT): az a hőmérséklet ahol a minta magassága a kiinduláshoz képest 5%-ot csökkent
- Deformációs pont (DT): az a hőmérséklet ahol a lágyulás jelei megjelennek pl: a felület megváltozása élek lekerekedése, a próbatest felfúvódásának kezdete
- Gömb hőmérséklet (ST): az a hőmérséklet ahol a próbatest kezd gömbszerűvé válni, a sarkok, élek elkezdnek lekerekedni
- Félgömb hőmérséklet (HT): az a hőmérséklet ahol a próbatest alakja hasonlít egy félgömbre, a megolvadt próbatest fele olyan magas, mint az alapvonala.
- Folyási (megolvadási) hőmérséklet (FT): az a hőmérséklet ahol a próbatest a kiinduló magasság harmadára megolvadt [16].

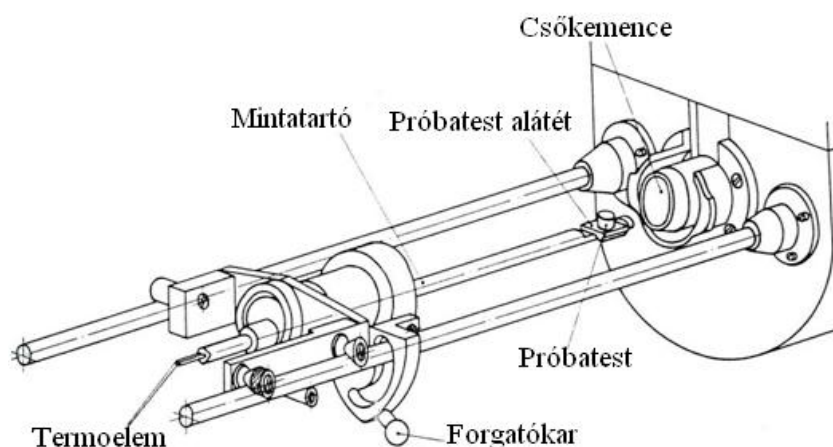
2.5.1 Eszközök, berendezések

Az általam használt SyLab gyártmányú IF 2000G típusú lágyuláspont mérő a hozzátartozó IRF 1500 típusú kemencével (**21. ábra**) a próbatesteknek alakváltozását méri, és regisztrálja egy digitális kamera segítségével. A műszerrel lehetőség van CEN/TS 15370-1-2006, ISO 540 1995, ASTM E 953-8(2004), AFNOR M03048, BRITISH1016-70, AS 1038.15, DIN 51730 szabványok szerinti mérésre [16].



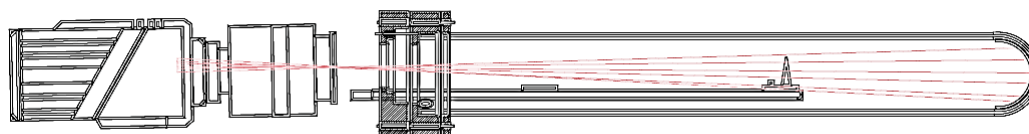
21. ábra: Mérőműszer, adatrögzítő és a kemence [16].

A vizsgálóberendezés fő komponensei: az elektromosan fűtött csőkemence, a megfigyeléshez, fénykép- vagy videó felvételhez kialakított nyílás és a fényforrás. Mindegyik rész egy optikai padon van elhelyezve (**22. ábra**) [16].



22. ábra: Csőkemence a mintatartóval [16].

A csőkemence központosított, belső átmérője 55 mm, lantan-kromit fűtőszálakkal ellátva, mely 1550 °C-ig fűthető. A kemencetér homlokoldalán cserélhető kvarcüveg található, ahol mosógáz hozzáadás és elvezetés lehetséges. A kemence önműködő szabályzó- és vezérlő berendezéssel van ellátva. A **23. ábra** a digitális kamera és a csőkemencébe elhelyezett minták elrendezését mutatja [16].



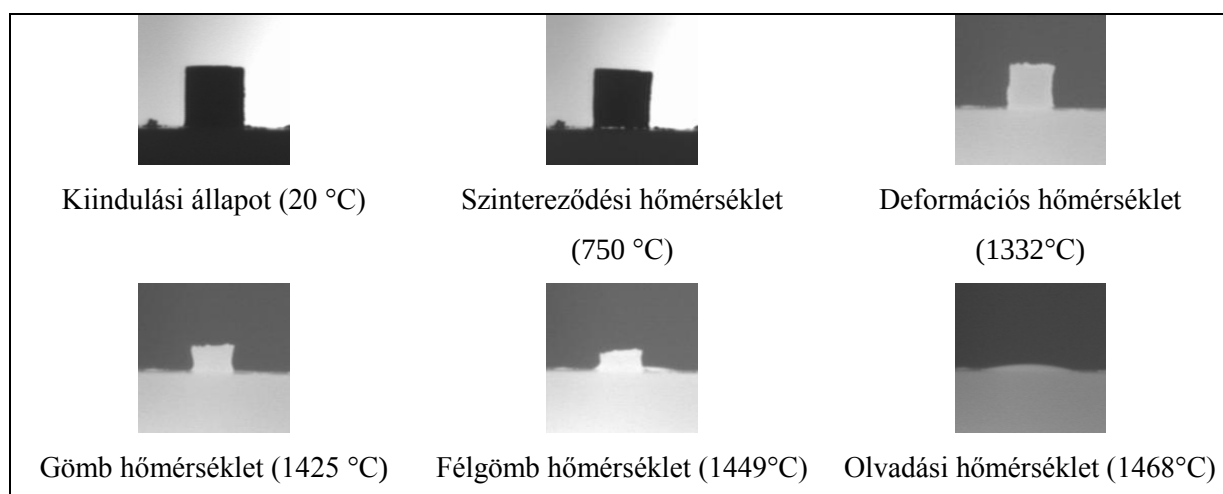
23. ábra: Kamera a kemence és a minta elhelyezkedése [16].

2.5.2 Az eljárás rövid ismertetése

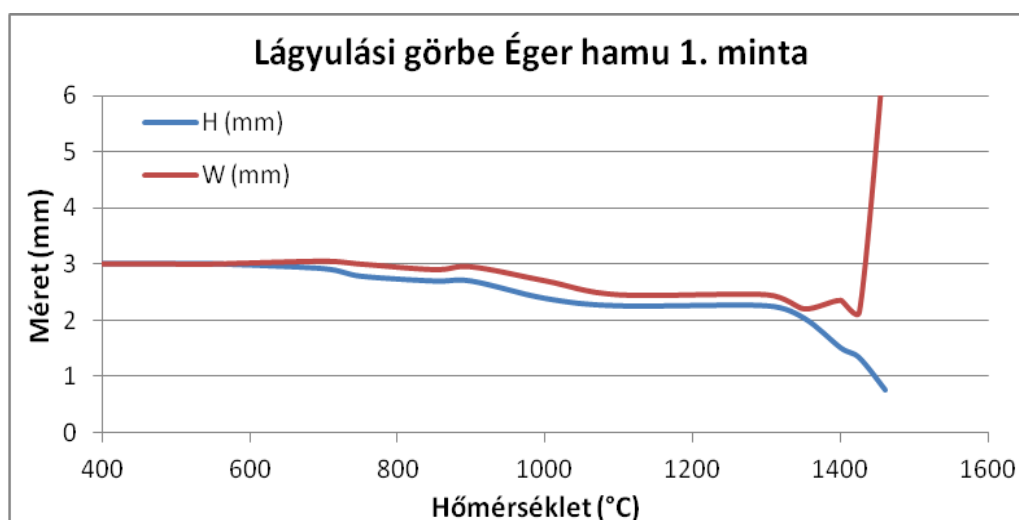
A mintából, 3 mm magasságú és 3 mm átmérőjű hengeres méretű próbatestet szabályozott körülmények között hevítettem. A műszer kamerája az alakváltozást folyamatosan rögzíti és a különböző szabványok szerinti karakterisztikus hőmérsékleteket (DT, ST, HT, és FT) automatikusan meghatározza [16].

17. táblázat: Az égerfa hamu minta mért eredményei.

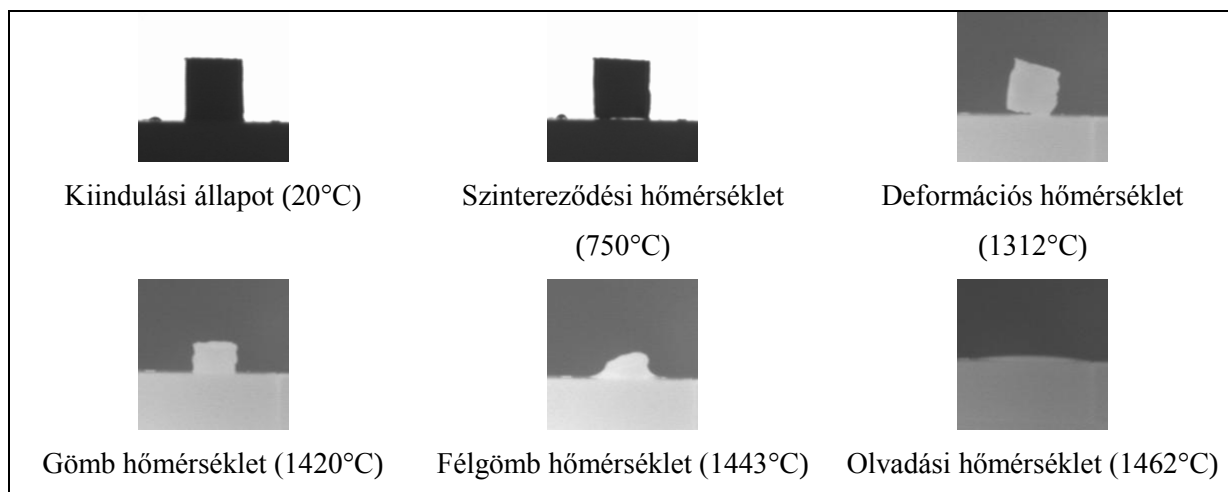
Minta	Szintereződési hőmérséklet IT, °C	Deformációs hőmérséklet DT, °C	Gömb hőmérséklet ST, °C	Félgömb hőmérséklet HT, °C	Olvadási hőmérséklet FT, °C
Éger hamu 1	750	1332	1425	1449	1468
Éger hamu 2	750	1312	1420	1443	1462
Átlag	750	1322	1423	1446	1465



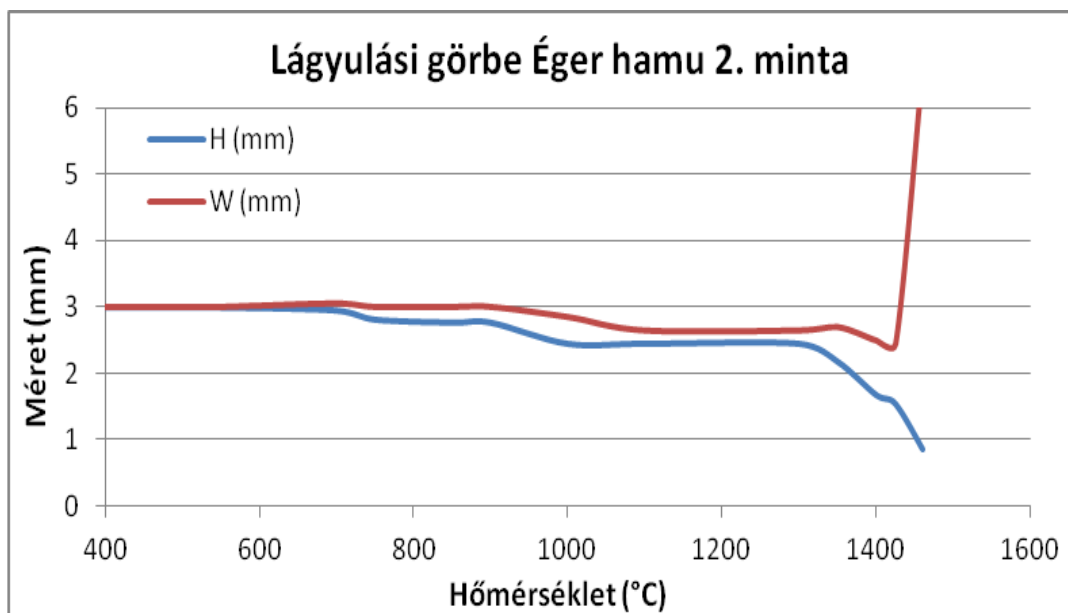
24. ábra: Az égerfa hamu 1. minta alakváltozásai hőmérséklet hatására.



25. ábra: Az égerfa hamu 1 minta lágyulási görbéje.



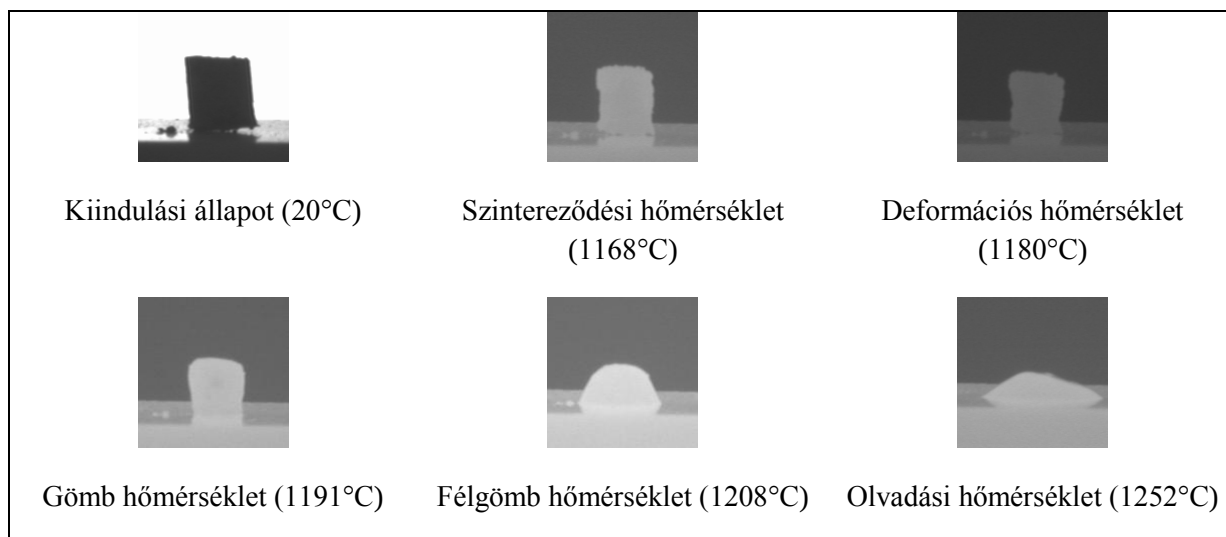
26. ábra: Az éger hamu 2. minta alakváltozásai hőmérséklet hatására.



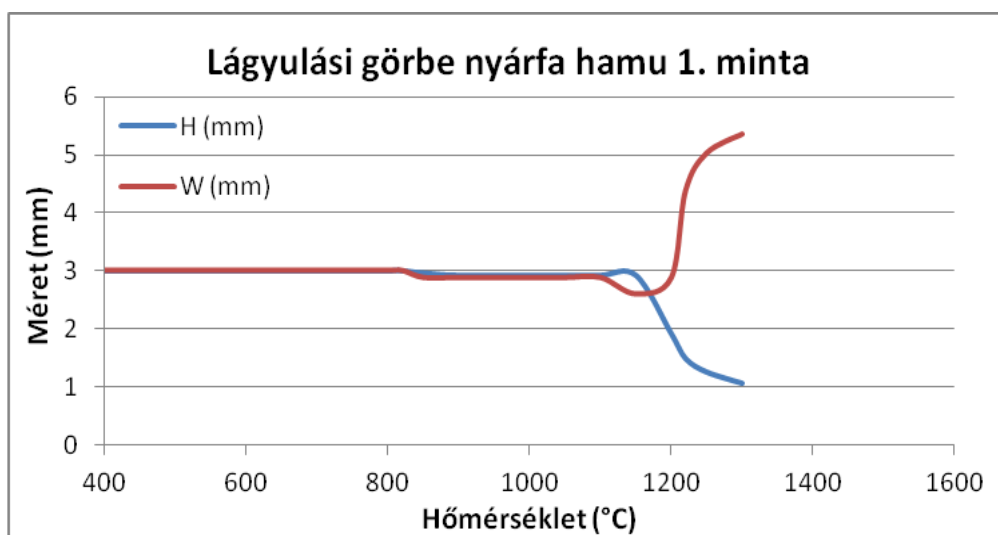
27. ábra: Az égerfa hamu 2. minta lágyulási görbéje.

18. táblázat: A nyárfa hamu minta mért eredményei.

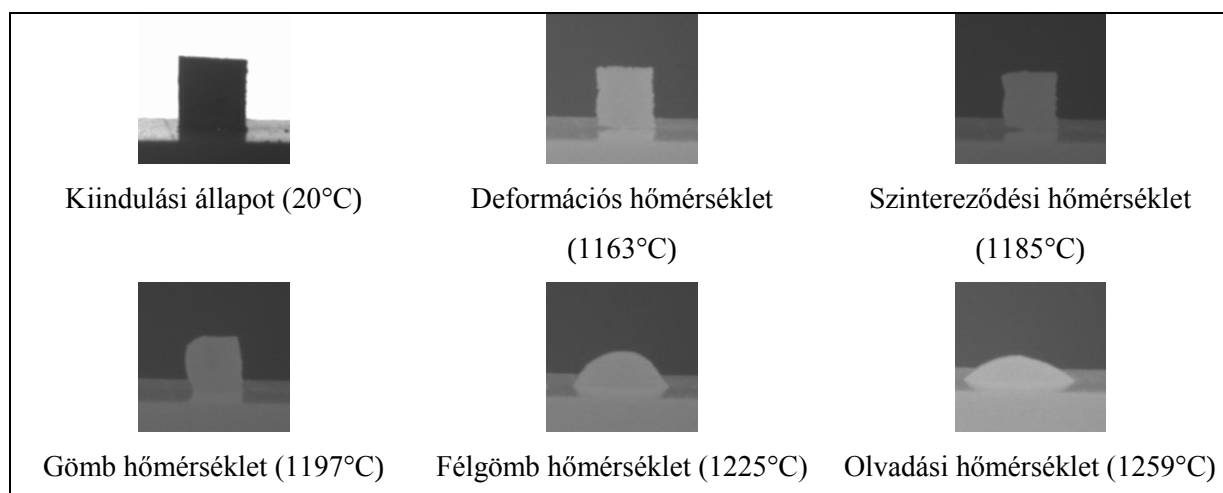
Minta	Szintereződési hőmérséklet IT, °C	Deformációs hőmérséklet DT, °C	Gömb hőmérséklet ST, °C	Félgömb hőmérséklet HT, °C	Olvadási hőmérséklet FT, °C
Nyár hamu 1	1168	1180	1191	1208	1252
Nyár hamu 2	1163	1185	1197	1225	1259
Átlag	1166	1183	1194	1217	1256



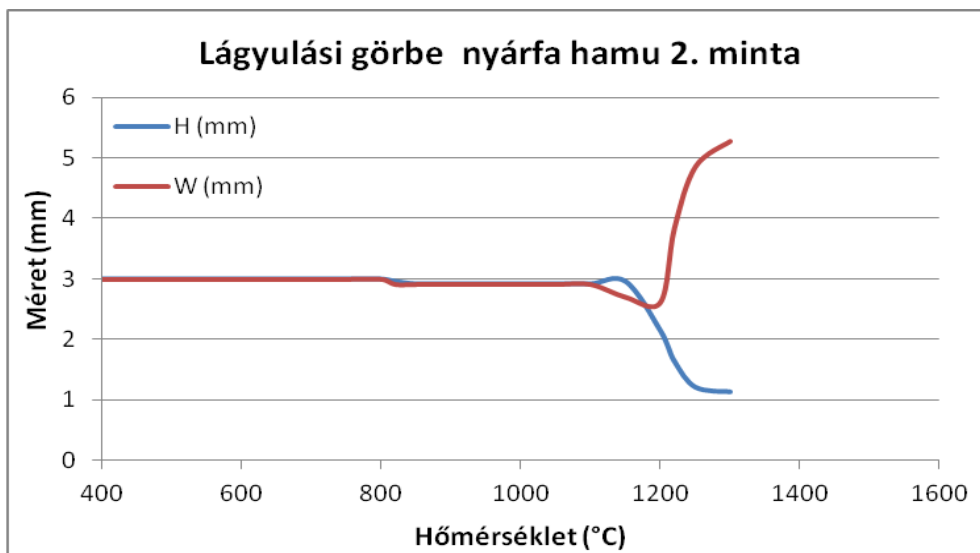
28. ábra: A nyárfa hamu 1 minta alakváltozásai hőmérséklet hatására.



29. ábra: A nyárfa hamu 1 minta lágyulási görbéje.



30. ábra: A Nyárfa hamu 2 minta alakváltozásai hőmérséklet hatására.



31. ábra: A nyárfa hamu 2 minta lágyulási görbéje.

A **17-18. táblázatból** jól látható, hogy az égerfa szintereződési hőmérséklete alacsonyabb, mint a nyárfáé, viszont ami az erőműi tüzelés szempontjából fontos az az olvadási hőmérséklet, ami az égerfának közel 200°C-al magasabb. Az eltérő lágyulási tulajdonságok annak tudhatóak be, hogy a hamu összetétele nem megegyező.

3 ÖSSZEGZÉS

A biomassza-tüzelés számos előnye mellett egyik hátránya az, hogy a tüzelőanyagoknak sok esetben nagy a nedvességtartalma, ennek legfőképpen a frissen betakarított fás-szárú biomasszáknál van jelentősége. Ezeket azonban eltüzelés előtt általában kiszárítják, így a nedvességtartamuk 15-20% alá csökken.

A termoanalitikai vizsgálatokból látható, hogy az illóanyag-tartalom 40-50% között változik. A szakirodalomban feltüntetett illóanyag-tartalom is hasonló értéket mutat. A hamutartalom vizsgálatból kiderül, hogy a fa kérgének a hamutartalma kiemelkedően magas a szilács és a geszt részhez képest, közel hétszeres a különbség. A szakirodalomban mind az éger mind a nyárfára 1% alatti hamutartalmat tüntet fel, ám a kéreg részt nem vizsgálták, csak a fa belső részeit. Ezek az értékek közel azonosak, mert a méréseimnél 1-2%-os hamutartalmat kaptam. Az égésmeleg meghatározásnál szembejövő, hogy a kéregnek az égésmeleg értéke jelentősen kisebb az előbb említett többi részhez képest, amiből következik a fűtőérték csökkenése is. A mért értékek 15,1-16,1 MJ között változnak az égerfa esetében, ami összehasonlítva a szakirodalomban lévő fűtőértékekkel hasonlóságot mutat, hiszen ott 13-19 MJ értékeket tüntettek fel hasonló nedvességtartalom mellett. A karbon- és hidrogéntartalom adataiból láthatjuk, hogy a kéreg valamivel kevesebb kARBONT tartalmaz (42-43%), mint a szilács és a geszt rész, a legtöbb karbon a fa belsejében, tehát a geszt részében található (44-46%). A hidrogéntartalom viszont közel azonos értéket mutat, ami 5-6 %. A karbon- és hidrogéntartalom ellenben eltér, mivel az égerfa esetében a kARBONTtartalom 37 m/m %, a hidrogéntartalom 5 m/m %. A nyárfá estében a kARBONTtartalom 34 m/m %, a hidrogéntartalom pedig 4 m/m %. A hidrogéntartalom előnyös, mivel a hidrogén elősegíti a gyulladást, illetve magasabb fűtőértéke következtében összességében a tüzelőanyag fűtőértékét is növeli. Az égés minden esetben 880-1000 °C között fejeződött be.

A fentiekből láthatjuk, hogy a kéreg tüzeléstechnikai szempontból nem előnyös, hiszen magasabb hamutartalommal, és alacsonyabb fűtőértékkel rendelkezik.

A hamu lágyulási vizsgálatánál az volt megfigyelhető, hogy míg az égerfa tüzelőanyag hamujának olvadási tulajdonságai jobbak, mint a nyárfá tüzelőanyagé, addig viszont a szintereződési hőmérséklete alacsonyabb. Ezek azért fontos paraméterek, mert a tüzeléskor a kazán hőmérsékletét ehhez kell optimalizálnunk, hiszen ha magasabb hőmérsékleten üzemeltetjük, mint az olvadási hőmérséklet, akkor a megolvadt szervesetlen hamu a kazán falazatára feltapadva súlyos károsodásokat okozhat a tüztérrel határoló tűzálló anyagokban.

4 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Tudományos Diákköri Dolgozat a „A Miskolci Egyetemen működő tudományos képzési műhelyek összehangolt minőségi fejlesztése” TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 projekt támogatásával valósult meg.

The work was carried out as part of the TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 project, is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

5 IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Antonia V. Herzog, Timothy E. Lipma, Daniel M. Kammen: *Renewable energy source*. University of Californi. p.63
- [2] B.M. Jenkins, L.L. Baxter, T.R. Miles Jr., T.R. Miles: *Combustion properties of biomas*. University of Californi. (1998) p. 46
- [3] Dr. Gyulai Iván: *A biomassza-dilemm*. Magyar Természetvédők Szövetsége Budapest. p.37
- [4] Dr. Hajdú József: *Alternatív energiatermelés a gyakorlatba*. Gödöllő. (2009) p. 171
- [5] Dr. Sembery Péter, Dr. Tóth László: *Hagyományos és megújuló energiák*. Szaktudás Kiadó Ház Budapest, p. 530
- [6] Dr. Szemmelveisz Tamásné, Koós Tamás: *Biomassza adatbázis*. Miskolci Egyetem. (2011) p. 39
- [7] gyorijegyzet.uw.hu/JEGYZ4_3.DOC
- [8] http://fwee.org/energyforkeeps-pdfs/eforkeeps_ch3_biomass.pdf
- [9] http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2011/Nemeth_Kornel_dissertation.pdf
- [10] <http://meteor.geo.klte.hu/old/oktatas/segedanyag.pdf>
- [11] http://www.energiacentrum.com/news/biomassza_energia_mint_megujulo_energia.html
- [12] <http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/megujulo/Biomassza/Biomassza.html>
- [13] <http://www.combustion.uni-miskolc.hu/oktatas/jegyzetek/energiahordozok-labor1.pdf>
- [14] <http://www.combustion.uni-miskolc.hu/oktatas/jegyzetek/energiahordozok-labor2.pdf>
- [15] <http://www.combustion.uni-miskolc.hu/oktatas/jegyzetek/energiahordozok-labor3.pdf>
- [16] <http://www.combustion.uni-miskolc.hu/oktatas/jegyzetek/energiahordozok-labor4.pdf>
- [17] Lukács Gergely Sándor: *Falufűtőm*. Szaktudás Kiadó Ház Budapest. (2010) p. 319
- [18] Osztolján Tekla: *A biomassza-hasznosítás hazai lehetőségei Hangony község példáján*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajz- és Földtudományi Intézet Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék. (2011) p. 92
- [19] Peter McKendry: *Energy production from biomass (part 1), Overview of Biomas*. Applied Environmental Research Centre Ltd, Colcheste. (2002) p.46,
- [20] Szemmelveiszné dr. Hodvagner Katalin: *Energiahordozók*. Miskolci Egyetem, (1998) p.

[21] Szemmelveiszné dr. Hodvagner Katalin, Dr. Szűcs István, Dr. Palotás Árpád Bence,

Winkler László: Biomasszák és hulladékok erőműi hasznosítás. Miskolci Egyetem. (2007)
p. 62

[22] www.enpol2000.hu/files/Marosvölgyi%20tömörített%20előadás.doc