

Dunaújvárosi Főiskola
Műszaki Intézet
Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék

**Energianövények égetése által kibocsátott légszennyező
anyagok leválasztása villamos kisülések segítségével**

Szerző:

Prohászka Tivadar

Dunaújvárosi Főiskola, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék
Gépészmérnöki BSc

Témavezető(k):

Dr. Horváth Miklós

Dunaújvárosi Főiskola, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék

Dr. Kiss Endre

Dunaújvárosi Főiskola, Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszék



Tartalom

Bevezetés	3
1. Az energianövények alkalmazása	5
1.1 Biogáz fejlesztés	5
1.2 Pírolízis	6
1.3 Bioetanol előállítás	6
1.4 Égetés	7
2. Gázbontás villamos kisülésekkel	9
2.1 A koronakisülés	10
2.2 Kutatási cél	12
3. Kísérleti eredmények	12
3.1 A kísérleti elrendezés	12
3.2 A kisülési áramkör	15
3.3 Eredmények:	16
4. Összegzés	35
5. Felhasznált irodalom	36

Bevezetés

Az ipari termelés a második világháborút követő harminc évben megsokszorozódott, a termelékenység minden addiginál nagyobb lett, nyersanyag- és energiaigénye elképzelhetetlenül megnőtt. A gyors növekedés idején mind a nyersanyagokkal, mind az energiahordozókkal rendkívül pazarló módon gazdálkodtak, akkoriban úgy tűnt, hogy a tudományos felfedezések és a műszaki találmányok minden létező és felmerülő problémára kínálnak megoldást. Az első sokkot az 1973-as energiaválság miatti megtorpanás okozta: az ipari termelés növekedése lelassult, a nemzeti jövedelmek nem nőttek, a gazdaság szereplői kénytelenek voltak tudomásul venni, hogy a Föld nyersanyag- és energiahordozó-készletei nem kimeríthetetlenek. Napjainkban az energiafelhasználás rohamosan nő, az energiaforrások mennyisége rohamosan csökken.

Az ezredfordulón közel 6 milliárd ember élt a Földön, azóta ez a szám tovább növekedett. Földünk lakosságának növekedésével az energia felhasználás is jelentősen nő. Peking utcáin 1984-ben jelent meg az első magán autó, napjainkban 1,2 millió autó hömpölyög Kína fővárosának utcáin. 2003-ban 70%-kal több autót vásároltak, mint 2002-ben, így Kína a földkerekség második legnagyobb olajfogyasztójává vált. Folytathatnánk a sort számtalan energiafalo berendezési tárggyal: légkondicionáló gépek, elektromos fogkefe, elektromos csavarhúzó. Mind, mind olyan eszközök, amelyek hozzájárulnak a növekvő energiafelhasználáshoz. Talán kevesen tudják, de a műanyagok nagy része is egy fontos energiaforrásból, kőolajból - pontosabban annak származékából – készülnek.

Az energiapazarlásnál ne feledkezzünk meg a csomagolóanyagokról sem. A különböző csomagolóanyagok (műanyag, alumínium stb.) nem csak a nyersanyagok mennyiségét csökkentik, hanem előállításuk jelentős energiát igényel, nem beszélve a rendkívüli mennyiségű hulladék keletkezéséről. Egyetlen kg alumínium előállítása annyi energiát igényel, mint amennyit egy 4 fős család 4 hónap alatt felhasznál.

A benzinfalo sportterepjárók és az autópályákon araszoló kocsisor láttán aligha gondolná az ember, hogy az olajbőség korszaka leáldozott. Az olaj iránt mindenütt nő a kereslet, de a legnagyobb fogyasztó Amerika. Ezzel szemben az olajmezők kitermelése folyamatosan csökken, az ígéretesnek tűnő tartalékok számával együtt. Nagyon nehéz meghatározni, hogy mikor apad ki a földi olajkészlet. Ez nagymértékben függ a felhasználási szokások további alakulásától, az energiatakarékossági elvek megvalósulásától [1].

Ahhoz, hogy ezt a hatalmas energiaigényt kielégítsék, szinte csak fosszilis energiaforrásokat alkalmaztak, és az emberiségnek rá kellett jönnie, hogy egyre inkább át kell

állniuk a megújuló energiák alkalmazására. Az elmúlt egy-két évtizedben már tettek lépéseket, sok helyen alkalmaznak már szélérőműveket, napelemeket, napkollektorokat, és a fosszilis tüzelőanyagok helyett is előkerül az energianövények alkalmazása.

Az égetéses energiatermelés ezen formája előnyökkel jár, legfontosabb talán, hogy ezek CO₂ kibocsátása nulla, azaz elégetésükkor nem bocsátanak ki több szén-dioxidot, mint amennyit növekedésük során megkötöttek. Alkalmazásuk lehetővé teszi a lokális energiatermelést mindenki számára, a növényi melléktermékek energetikai hasznosítását, a hulladékgazdálkodás segítségét. Mivel az energianövények (fűz, nád, stb.) megteremnek olyan földterületeken is, melyek alkalmatlanok táplálék növények termesztésére, a racionális földhasznosítást, a vidékfejlesztést is elősegíthetjük alkalmazásukkal.

Sajnos nem csak előnyei, hanem hátrányai is vannak az energianövény-termesztésnek. Elégetésükkor káros anyagok kerülnek a légkörbe (pl. kéndioxid, nitrogén-oxid, klór, stb.), ha nem teszünk valamit ellene. Hátrány továbbá az is, hogy némely rendkívül gyorsan nöövő lágyszárú növény a fejlődésekor szilíciumot épít be magába, ami az elégetéskor a tüzelő berendezés falára rakodik le, károsítva azokat. Ezek miatt nem lehetséges a folyamatos tüzelés, hiszen időnként le kell állni, hogy megtisztítsák a kazánokat, ami szintén komplikált feladat.

1. Az energianövények alkalmazása

Természetesen az energianövényeket nemcsak elégetéssel lehet hasznosítani. Számos módja van, hogy hogyan nyerjünk energiát belőlük, ezeknek csak egyike a közvetlen hőtermelés. Ebbe beletartozik a mezőgazdasági melléktermék-, a mezőgazdasági főtermék-, illetve a teljesnövény-égetés. Ekkor a hőenergiájukat hasznosítjuk, pl. erőművekben áramtermelés céljából, bár ez nem túl gazdaságos. Legeredményesebb felhasználásuk a fűtés céljából történő égetés.

1.1 Biogáz fejlesztés

Gázosítás útján is nyerhetünk energiát a növényekből, ez is többféleképpen történhet. Biotechnológiai eljárásokkal (rothasztás) állítják elő a biogázt. Ez a gáz szerves anyagok mikrobák által anaerob körülmények között történő lebontása során képződő gázelegy. Körülbelül 45-70% metánt (CH_4), 30-55% szén-dioxidot (CO_2), nitrogént (N_2), hidrogént (H_2), kénhidrogént (H_2S), ammóniát (NH_3) és egyéb maradványgázokat tartalmaz. A gáz képződésekor a mikrobiológiai folyamatokat két fő fázisra oszthatjuk, az egyikben a fermentáció történik, a másikban pedig a metánképződés.

Magas energiatartalma miatt (kb. 50 - 60% metán) a biogázt energiatermelésre lehet hasznosítani. A biogáz energiatartalmát a metántartalomból lehet következtetni: 1 m^3 metán 9,94 kWh energiát tartalmaz. 60%-os metántartalom esetén 1 m^3 biogáz 0,6 l tüzelőolaj energiájával egyenértékű. Lehetséges felhasználási módok:

1. Meleg víz előállítása biogáz kazánban: A biogáz legegyszerűbb és legolcsóbb hasznosítási módja biogáz égetésére alkalmas kazánban meleg víz előállítás. A fejlődő országokban ez az egyik legelterjedtebb hasznosítási mód. A biogáz üzemű kazánokat el lehet látni olyan égőfejekkel is, melyek alkalmasak egyéb folyékony vagy légnemű energiahordozók elégetésére (fűtőolaj, földgáz, PB gáz). Ehhez az egyszerű hasznosítási módhoz nagyban hasonlít a fejlődő országok energiaellátását célzó programok eredményeképpen létrejött egyszerű felépítésű biogáz üzemű tűzhelyek és lámpák használata. A vezetékes villamos rendszerektől elzárt területeken a biogáz üzemű lámpa lehetőséget biztosít olcsó fényforrás használatra.

2. Kapcsolt villamos- és hőenergia termelés: A biogáz üzemű generátorblokk, melynek felépítése azonos a földgáz üzemű kogenerációs berendezésekkel, a gázmotor nagyságától függően a biogáz energiatartalmának 25-42%-át képes villamos energiává alakítani, míg termikus hatásfoka 40%-körül alakul. A kis teljesítményű motorok elektromos hatásfoka alacsonyabb. A kogenerációs berendezések összhatásfoka (elektromos és termikus) 75% fölött van.

3. Biometán előállítása: Számos technológia létezik, melynek segítségével a biogázban található szén-dioxidot és egyéb olyan gázokat le lehet választani, melyek eltávolítása után a földgáz minőségével egyező ún. biometánt kapunk. A biometán, amennyiben megfelel az MSZ 1638-ban közölt földgáz minőségi paramétereknek, a földgáz hálózatba betáplálható. Magyarországon még nem valósítottak meg biogáz tisztító berendezést és földgáz hálózati betáplálást [2].

1.2 Pirolízis

Következő eljárás a gázosításon belül a pirolízis (termikus bontás), amivel energiát nyerhetünk. A pirolízis akárcsak a hagyományos hulladékégetés a termikus eljárások közé tartozik, ahol magas hőmérsékletet alkalmaznak a hulladék lebontására. Ugyanakkor mégsem tekinthető teljesen azonosnak az égetéssel. Az égetéshez ugyanis három dolog szükséges, úgymint éghető anyag, oxidáló és hő. A pirolízisnél is jelen van a hő és az éghető anyag, ami a különbséget jelenti, az az oxigén hiánya. A valóságban, valamennyi oxigén jelen van az eljárásban, hiszen az égetnivaló maga is tartalmaz oxigént, ezért van szén-monoxid, kén-oxid és nitrogén-oxid és dioxin-furán kibocsátás, de elméletileg lényegesen alacsonyabb, mint a hagyományos égetési eljárások során. A pirolízis abban is különbözik az égetéstől, hogy míg ez utóbbi exoterm folyamat, azaz hőt termel, addig a pirolízis endoterm folyamat, azaz hő bevitelt igényel a folyamat fenntartásához. A pirolízis során, a különböző kémiai reakciók eredményeként számos vegyület jön létre, például hidrogén és metán, amely közül sok hasznosítható tüzelőanyagként [3],[4],[5].

1.3 Bioetanol előállítás

A növények erjesztésével, fermentálásával alkoholt nyerhetünk, a bioetanol is hasonló módon gyártják. Az alkohol előállítás technológiája egy relatív egyszerű folyamaton alapszik. Ha egy közönséges élesztőgombát levegőtől elzárt környezetbe helyezünk és ellátjuk cukorral (leginkább glükózzal), akkor az élesztőgomba a cukorból alkoholt fog erjeszteni. Tehát könnyen előállíthatunk alkoholt, ha kellő mennyiségű cukor áll rendelkezésre. A növények

nagy százaléka cukorból épül fel, amit azonban általában polimer formájában tartalmaznak. A két leggyakoribb cukor polimer a keményítő és a cellulóz. Ahhoz, hogy a polimerekből az erjesztéshez szükséges monomer cukrot tudjunk előállítani, le kell őket bontani. A lebontási folyamat neve a hidrolízis. A folyamatot enzimek végzik, amelyek beszerzése megdrágíthatja a folyamatot, főleg a cellulóz alapú technológia esetében.

Az erjesztés során élesztő bekeverésével, hűtött körülmények között történik meg az alkohol előállítása, az eredmény a nyersanyagtól és annak előkészítésétől függő, de alacsony alkoholtartalmú (10-18%), nagy víztartalmú és szilárd maradványanyagot is tartalmazó cefre. A cefréből az alkohol kivonása több fokozatú desztillációval történik, a desztilláció végterméke általában 95-96%-os alkohol, melyből általában molekulaszűrő segítségével érik el a 99,9%-os tisztaságot. A tiszta alkoholt a végfelhasználásnak megfelelően denaturálják vagy benzinbe keverik. A maradványanyag (DGS – Distillery Grain with Solubles, vagy DDGS – Dried Distillery Grain with Solubles) a desztilláció utáni cefremaradvány szárazanyag tartalma. A szárazanyagot a vízből centrifugálással vonják ki, és/vagy bepárlással. Az így nyert, magas nedvességtartalmú (60-70%*m/m* nedvesség) DGS takarmányozásra használható ugyan, de nem tartható el néhány napnál hosszabb időn át. A hosszú idejű tárolás érdekében a DGS-t legalább 16%-os nedvességtartalom alá ki kell szárítani, így kapjuk a DDGS-t, ami alacsony nedvességtartalmú, magas fehérje és rosttartalmú, takarmányként jól hasznosítható anyag [6].

1.4 Égetés

Az energianövények legnagyobb arányú felhasználása az égetéssel történő energiatermelés. Az energiatermelés ezen formájának egyik előnye, hogy az energianövények teljes életciklusa, valamint elégetésük eredményeképpen a légkör széndioxid tartalma nem nő, mivel elégetésükkor nem bocsátanak ki több széndioxidot, mint amennyit növekedésük során megkötöttek.

Az energianövények égetésük során azonban egyéb légszennyező anyagokat is kibocsátanak. Az alábbi táblázatban a növények égetésekor keletkező szerves és szervetlen gázokat gyűjtöttük egybe.

1. táblázat: Növényi anyag égetésénél keletkező szerves vegyületek

Név	Tapasztalati képlet
Oxidok: Szén-monoxid, szén-dioxid, nitrogén-oxidok	CO, CO ₂ , NO, NO _x
Metán, etán	CH ₄ , C ₂ H ₆
Kloridok, bromidok	CH ₃ Cl, CH ₃ Br
Policiklusos aromás szénhidrogének	Pirén, perilén, antracén
Ecetsav	H-COOH, CH ₃ -COOH
Fenol	CH ₃ -OH
Hidrogénperoxid	H ₂ O ₂ és peroxid származékok
Ammónia, cianidok, salétromsav	NH ₃ , HCN, CH ₃ CN, HNO ₃
Kén vegyületek, szulfidok	SO ₂ , COS

A kéndioxid káros hatásai közismertek: izgatja a légutakat, ha azonban porszemcsékre adszorbeálva, vagy szulfátokkal együtt lélegzi be az ember, egészségromboló reakciókat vált ki. A kibocsátott kéndioxid a levegőbe kerülve SO₃-dá oxidálódik, amelynek egy részéből H₂SO₄, másik részéből H₂SO₃ keletkezik. A légtérben a kénsavból szulfátok, a kénessavból szulfitok keletkeznek, amik később szintén szulfátokká oxidálódnak.

Nagy nedvességtartalom esetén nagyobb szulfátszemcsék és kénsavcseppek keletkeznek. A szulfátok szemcse- és a kénsav cseppmérete 0.2 – 0.6 µm, ami miatt a tüdőbe könnyen be tudnak hatolni. A kéndioxid és a másodlagos reakciókban képződött származékai a kibocsátás helyétől 100-1000 km távolságban is károsíthatják a növényzetet, szennyezhetik a talajt és a vízkészletet.

A nitrogén-oxidok szintén károsak az egészségre és rendkívül reakcióképesek. A nitrogén-oxidok a kén-dioxidokkal pusztítják az élő környezetet, de az épületek, műemlékek is károsodnak a savas esők miatt. A nitrogén-oxidok és a belsőégésű motorok által kibocsátott káros vegyületek a felelősek a nagyvárosokban a napsugárzás hatására kialakuló fotokémiai szmogért, ami szintén rendkívül veszélyes az emberi egészségre, valamint a környezet állapotára.

A klorid tartalom az égetés során illékony fémhalogenidek, klórozott szénhidrogének és sósavgáz képződéséhez vezethet. A 2. táblázat adatai az egyes növények klorid tartalmára vonatkoznak.

2. táblázat Növények klorid koncentrációja

Növény (száranyagra vonatkoztatva)	Klorid koncentráció %
Energiafű	1,05
Kukoricaszár	0,19
Búzaszalma	0,10
Napraforgó	0,095

A klórgáz szúrós szagú, a nyálkahártyát (orr, száj, kötőhártya, légutak) erősen izgató gáz. Az irritáló hatás oka, hogy a nyálkahártyák nedves felszínén maró hatású sósavat képez, ezért a tüdőbe kerülve tüdővízenyőt okozhat. Korábban gyakran előforduló klórgáz-mérgezés típus volt, hogy sósavat különböző tisztítószerekkel keverték, vagy egymás után használtak, és ilyenkor klórgáz szabadult fel [7],[8],[9],[10].

2. Gázbontás villamos kisülésekkel

Az említett gázok leg többjének emissziója hatékonyan csökkenthető a hagyományos adszorpciós, abszorpciós és katalitikus eljárásokkal. Ezen módszerek alkalmazása azonban a nagy beruházási költségek, valamint a magas energiaigény miatt a kevésbé tőkeerős vállalatok számára nehézséget okoz, a füstgázokban fellépő nyomásesés pedig bizonyos esetekben korlátozza az alkalmazhatóságot. A problémákra megoldást jelenthet az utóbbi húsz évben a levegőtisztaság védelmi kutatások előterébe került „nemtermikus plazma” vagy a szakirodalomban PCDP (Pulsed Corona Discharge Process) néven említett technológia. A módszer a már jól ismert elektrosztatikus porleválasztóhoz hasonlóan korona kisüléssel működik, de itt a szóróelektrodra egyenfeszültség helyett gyors nagyfeszültségű impulzusok kerülnek. A szóróelektrod környezetében létrejövő korona impulzusok szabad elektronjai a nagy potenciálesés és közepes szabad úthosszoknak köszönhetően jelentős sebességre gyorsulnak fel, míg az ionok viszonylagos nagy tömegük és az impulzusok rövidege miatt erre nem képesek. Az így kialakuló magas elektronhőmérséklet és alacsony ionhőmérséklet kedvez az elektronütközések által kiváltott gázbomlásnak, de nem segíti elő a rekombinációt.

Az módszer egyik előnye az adszorpciós, abszorpciós és katalitikus eljárásokkal szemben az alacsony beruházási költség: a már működő ipari elektrosztatikus porleválasztóra retrofit módon illeszteni lehet a gázleválasztó berendezést, egyszerűsége miatt pedig a kisebb tüzelőberendezésekre olcsón fel lehet szerelni. További előny szemben a hagyományos

technológiákkal, hogy a berendezésben kicsi a nyomásesés, a füstgázok megtisztítva, szabadon távoznak a reaktorból [11].

2.1 A koronakisülés

A koronakisülés olyan viszonylag alacsony energiájú részleges átütés, ami, erősen inhomogén elektromos terekben alakul ki. A koronakisülésnek több típusa van, így ide tartoznak az elektron lavinák, a pamatos kisülés, és a csatorna kisülés. Az erősen inhomogén tér létrejöhet kis átmérőjű huzal mentén, tű hegyén, vagy egy elektróda éles szélén. A „korona” név a tengerészektől származik, akik viharos időben az árboc hegyén figyelték meg a jelenséget. Abban az esetben, amikor legalább az egyik elektród csúcs, csúcskisülésről beszélünk.

A koronakisülésben lejátszódó folyamatokról

Ha egy kis görbületes sugárral rendelkező elektródára (pl. tű, vékony huzal, stb.) nagyfeszültséget kapcsolunk, akkor azon nagy térerősségű villamos mező alakul ki. A létrejött villamos mező erősen inhomogén, aminek következtében részleges átütés, úgynevezett koronakisülés alakul ki a vezető környezetében.

Az inhomogén mezőben az eredetileg töltéshordozókat nem tartalmazó és ezért szigetelő gáz (ilyen a levegő és általában a füstgázok, stb.) töltéshordozókhoz jut. Negatív elektród esetén ez emittál, pozitív elektród esetén a tér bontja fel az eredetileg semleges molekulákat.

A folyamatok leírásánál nagy szerepe van egyrészt annak a térerősségnek (közönséges környezeti levegőben ~ 30 kV/m), amelynél a gáz ionizálódik, azaz egy semleges molekula, vagy atom elveszíti legalább egy elektronját, másrészt annak a potenciálkülönbségnek, amit a keletkezett elektron befut azelőtt, hogy egy atommal, vagy molekulával ütközik. A molekulák átlagos távolsága mintegy 3-4 nm normálállapotú (101 325 Pa, 273 K) gázokban a molekuláris tömegtől függően.

A közepes szabad úthossz az, amit egy elektron keletkezése után megtesz anélkül, hogy a gáz részecskéivel ütközne.

Az oxigén és nitrogén molekulák szabad úthossza normálállapotú gázban 90 nm körül van az átlagos molekulatávolság mintegy 30 szorosa. Hasonló nagyságrend írja le a többi szokásos füstgáz komponenst is.

Az elektronok szabad úthossza ugyanezen gázokban normálállapot esetén $0,4 - 0,6 \mu\text{m}$ körül van, energiától függően.

Egy hengeres porleválasztó esetén, abban az esetben, ha a szóró elektród átmérője $0,2 \text{ mm}$ és a külső, földelt henger belső átmérője 6 cm , az az átmérő, amely esetén a térerősség 30 kV/cm , 30 kV feszültség esetén $3,5 \text{ mm}$, 50 kV esetén pedig $5,8 \text{ mm}$. Ennél nagyobb átmérő esetében csak a tér következtében nem válik szabadabbá új elektron.

Az újonnan keletkezett elektron a pozitív elektród fele gyorsul, és ütközik a gáz molekuláival. Amennyiben a tér olyan erős, hogy a szabad úthossz megtétele során eléri azt az energiát, ami az ionizációhoz szükséges (ez $8-20 \text{ eV}$ közé esik, azaz $8-10 \text{ V}$ potenciálkülönbséget kell befutnia), úgy az ütközés következtében leszakít egy elektront a gázmolekula külső elektronhéjáról, és ezután két elektron megy, illetve gyorsul tovább.

Ha mindkettő elegendően felgyorsul, újabb elektronok keletkeznek. A példa kedvéért tegyük fel, hogy molekulánként ismét kettő, azaz 4 elektron gyorsul tovább. A következő ütközés 8 -ra szaporítja számukat, és a számuk exponenciálisan növekszik. Akár $10-50$ sokszorozódás is elképzelhető. Ez a lavina effektus.

Természetesen a sokszorozódás emelkedésével a sokszorozódási tényező nem 2 , hanem annál kisebb szám alakul ki. Ha csak $1,12$ az érték, 50 lépésben egy elektron 300 -at eredményezhet. Egy általánosnak mondható 15 lépés $1,8$ -as tényezővel 7000 elektront jelent, ami a tér által 10^6 helyen generált elektronnal 10^6 ponton mintegy $4 \mu\text{A}$ villamos áramot eredményez.

Ennek alapján könnyen elképzelhető, hogy a fenti koronakisülésben akár amper nagyságú áram is folyhat elég hosszú vezető esetén.

A keletkező elektronokkal egy időben ionok is keletkeznek, elvileg megduplázva az áramot. A kétféle töltéshordozó ellenkező irányban mozog, rekombináció, azaz töltés kiegyenlítés, vagy semlegesítés is lejátszódik. Ezért a kisülési csatornában az áramerősség, és a töltéshordozók száma jóval nagyobb, mint a ténylegesen, az áramkörben mért áram.

A fentiekben csak azokról az elektronokról szoltunk, amelyek ionizálnak. Ez a kisülési elektróda néhány mm-es, illetve cm-es környezetében, a feszültségtől függetlenül figyelhető meg. Negatív szóró elektróda esetén a kisülést létrehozó térerősség helye után az ionizáció csak a lavina effektussal folytatódhat, de a sokszorozódási tényező egyre csökken, és a másik elektród valamilyen szomszédságában gyakorlatilag nem játszik szerepet. Ez a szomszédság általában a térfogat döntő többségét jelenti. Ebben a régióban a földelt elektród felé haladó

elektronok egy ún. tértöltést alakítanak ki, ez a tértöltés kerül azután a porleválasztóba belépő porszemcsékre.

Pozitív szóró elektród esetében a negatív elektród földelt, és a sugara nagy, közelében a térerősség jó közelítéssel homogénnek tekinthető, jóval a levegő átütési szilárdsága alatt van az értéke. A szabad töltéshordozók generálása ebben az esetben is a szóró elektród közelében kezdődik, azonban az elektronok a pozitív szóró elektród felé mennek. Az elektron-ion párok keletkezése miatt a szóró, vagy kisülési elektród környezetét vezetővé teszik, és amíg a rétegnek (körgyűrűnek, hengeres porleválasztó esetén) a feszültségesése elhanyagolható, így a nagyfeszültség a szélére tevődik át, és ott indul a következő ionizáció. A kisülési áram pozitív szóró elektród esetén nagyobb feszültségen indul, különösen ott, ahol sem UV fotonok, sem radioaktív sugárzás nincsen. Ebben az esetben tértöltés nem alakul ki, ezért porleválasztók céljaira ezt az elrendezést nem szokás alkalmazni, mert a hatásfok kisebb, és az átütés veszélye nagyobb. Érdekes módon a μm -nél kisebb porok esetén ez már nem teljesen igaz. Gázbontás esetében a pozitív szóró elektród kifejezetten jobb [12],[13],[14].

2.2 Kutatási cél

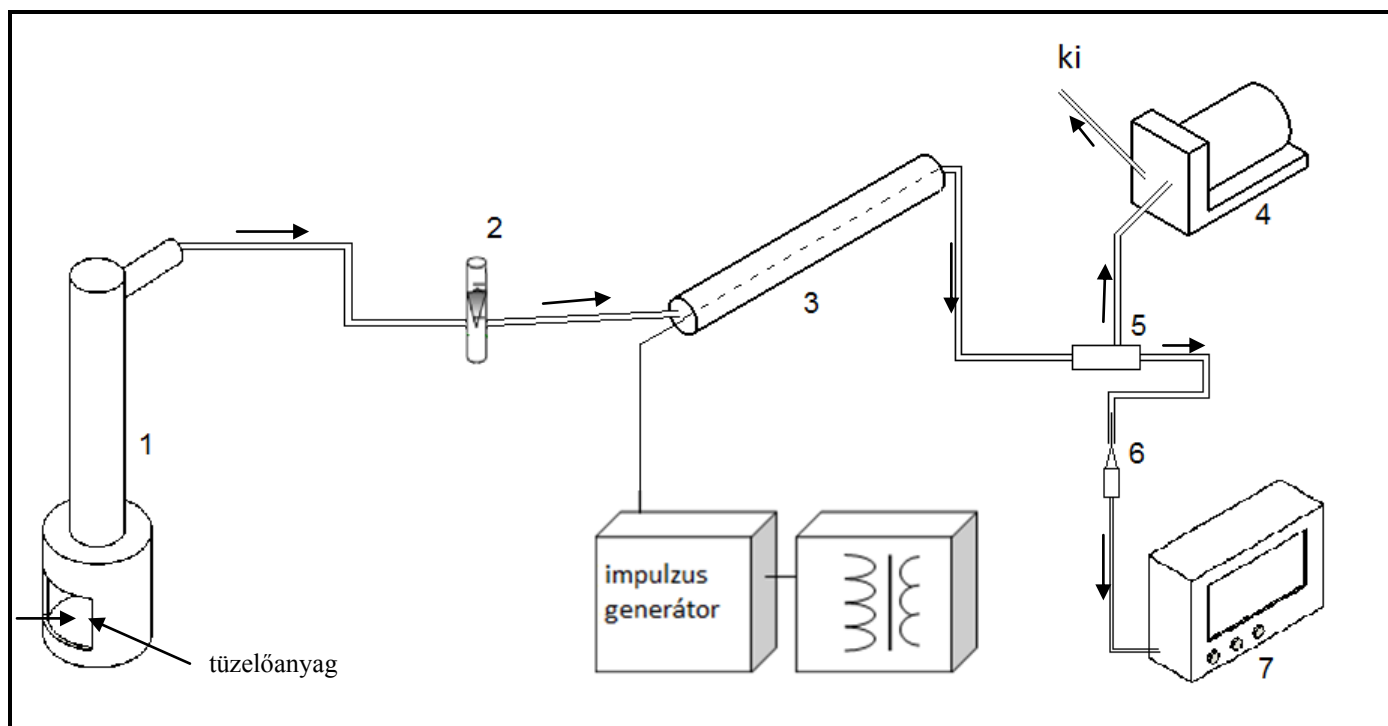
Kísérleteink célja az volt, hogy bizonyos energianövények károsanyag-kibocsátását megmérjük, azok lebontásának lehetőségeit megismerjük, elemezzük az elektrosztatikus bontás hatásfokát, feszültség-függését.

3. Kísérleti eredmények

3.1 A kísérleti elrendezés

Kísérleteink során energiafűzt, nádat valamint bio-brikettet égettünk, és a keletkezett füstgázban levő káros anyagok elektrosztatikus lebontását vizsgáltuk. A transzformátor által előállított feszültségből egy kapacitív áramkör hozta létre a nagyfeszültségű impulzusokat, amiket a reaktorokban kifeszített szóró elektródra kapcsoltunk. A feszültséget 18 és 30 kV között változtattuk, annak függvényében vizsgáltuk a lebontást.

Az 1. ábrán a kísérleti elrendezést látjuk:



1. ábra A kísérleti elrendezés

1: Kályha; 2: Rotaméter; 3: Reaktor; 4: Szivattyú; 5: Mintavevő; 6: Mérőszonda; 7: Gáz analizátor

Kísérleteink során a kályhában mindig pontosan 100 g anyagot égettünk el. A tüzelőanyagot egy fém dobozban égettük el azért, hogy égés után az összes hamut ki tudjuk venni a kályhából. A növényeket Rothenberger multigas 300 típusú hordozható gázpalackkal, és a hozzá tartozó gázgyújtóval gyújtottuk meg. Ennek is megvizsgáltuk a gázkibocsátását, és kiderült, hogy az SO_2 és NO kibocsátása elhanyagolható. A füstgázból mintát vettünk, azt vezettük egy csövön a reaktorba, egy áramlásmérőn keresztül, amivel figyelemmel tudtuk kísérni az áramlási intenzitást. A reaktorban történt a gázbontás koronakisüléssel. A tisztított gáz a reaktorból a gáz analizátorhoz került, amivel mértük a káros-anyag koncentrációt. A gáz koncentráció mérő egy ENVIRO 51 típusú elektrokémiai cellás füstgáz-analizátor, melynek méréshatára 5000 ppm. A reaktor és az analizátor között egy külön ágon volt egy szivattyú, mely segítségével tudott a füstgáz áramolni a kályhától az analizátorig. Az analizátor adatait számítógépre vittük és az Envisoft nevű szoftverrel rögzítettük. A program 3 másodpercenként rögzítette az adatokat, és egy táblázatba foglalta őket. Erre azért volt szükség, mert az égetés során a kibocsátott gáz koncentrációja nem volt állandó, folyamatosan változott. A táblázat alapján elkészítettük a koncentráció-idő diagramokat, amiket később felhasználtunk a gáz tömegének kiszámításához.

Több referenciamérést is végeztünk kikapcsolt reaktorral, ezekből derült ki, hogy bontás nélkül mennyi káros anyag van a gázban. A bontási arányt végül a lebontott gáz tömege és a reaktorba beáramló összes gáz tömegének hányadosaként számítottuk ki. Mivel a koncentrációk időben nem voltak állandók, a tömegeket kellett használnunk az egyenletben. A tömeget a következő eljárással számítottuk ki:

1. Megmértük a füstgáz áramlási sebességét, amire 2,5 m/s-ot kaptunk. Ebből ki lehetett számolni az áramlási intenzitást, miután lemértük a füstgáz-elvezető cső átmérőjét.

Az áramlási intenzitás:

$$Q_v = A \cdot v \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

2. Az áramlási sebesség és a koncentráció-idő függvény alapján ki tudtuk számolni a kiáramló gáz teljes térfogatát.

A térfogat:

$$V_g = Q_v \cdot \int C(t) dt$$

ahol $C(t)$ a kibocsátott gáz koncentrációjának időfüggése.

3. Megmértük a kályhából kiáramló gáz hőmérsékletét, és az egyesített gáztörvényből kiszámoltuk a gáz normálállapotra (0 °C, 1 atm) vonatkozó térfogatát.

$$\frac{pV_{g0}}{T_0} = \frac{pV_g}{T_{mért}}$$

ahol V_{g0} a gáz normálállapotú térfogata, T_0 a normálállapotú hőmérséklet (0 °C = 273 °K), V_g a gáz mért térfogata, $T_{mért}$ pedig a mért hőmérséklet.

Ebből a normálállapotú térfogat:

$$V_{g0} = \frac{V_g \cdot T_0}{T_{mért}}$$

4. 1 mólnyi gáz térfogata normálállapotban 22,41 l. Mivel már tudtuk az előbbi egyenletből a gáz normálállapotban megadott térfogatát, kiszámolhatjuk, hogy hány mol gáz szabadult fel az égés során.

A gáz anyagmennyisége:

$$n_g = \frac{V_{g0}(m^3)}{0,02241(m^3)}$$

ahol n_g a gáz molban kifejezett anyagmennyisége.

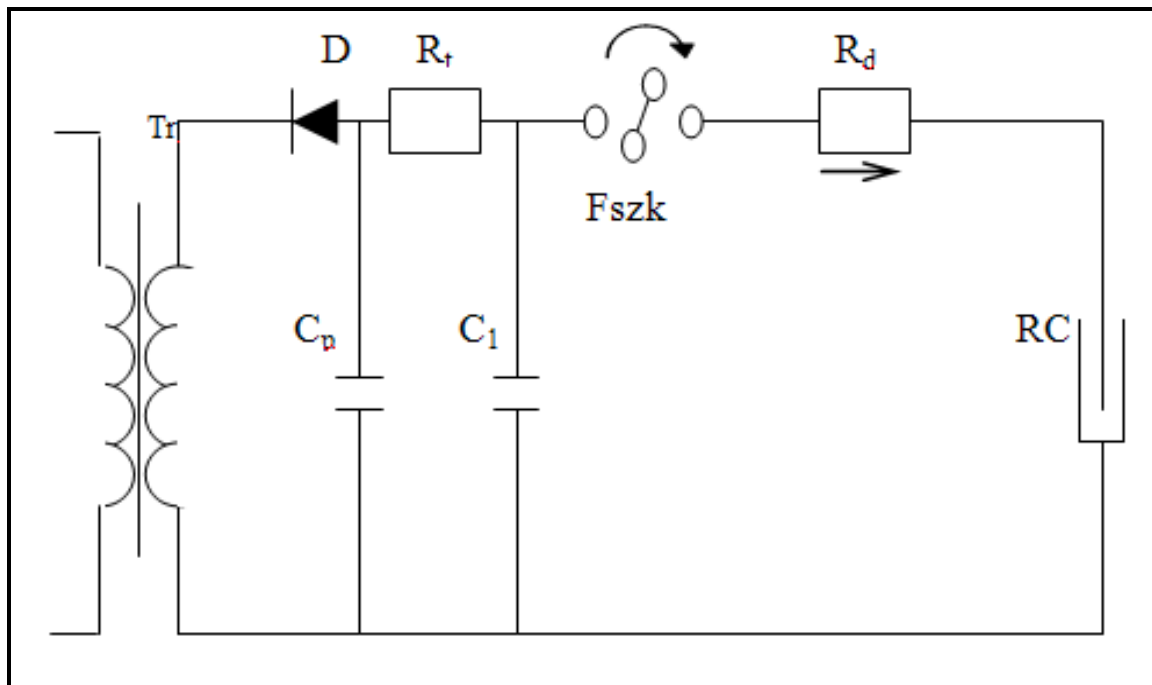
5. A gáz relatív atomtömege alapján kiszámolhatjuk, hogy 1 móljának mennyi a tömege, és ezt a kapott anyagmennyiséggel beszorozva megkapjuk, hogy hány gramm volt az adott gázból a füstgázban.

$$m = n_g \cdot M$$

ahol M a gáz moláris tömege.

3.2 A kisülési áramkör

A feszültség impulzusok előállítására az a 2. ábrán látható áramkört használtuk:

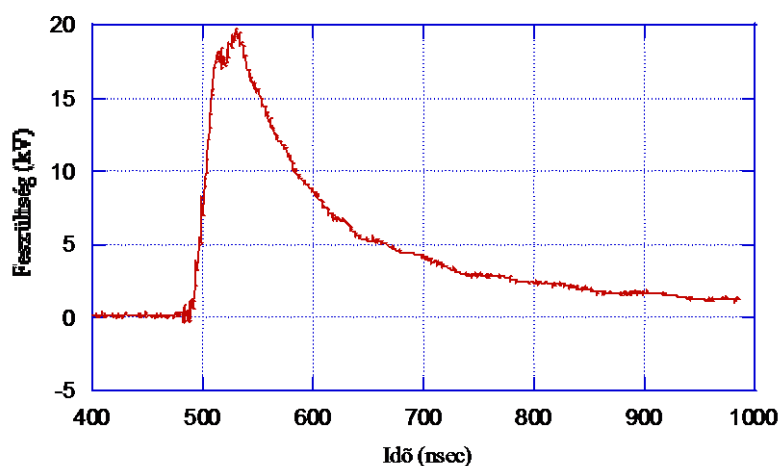


2. ábra nagyfeszültségű impulzusok előállítására használt áramkör

Tr: transzformátor; D: dióda; R_t : töltő ellenállás; R_d : kisütő ellenállás; RC: reakciócella; Fszk: forgó szikraköz; C_p : puffer kondenzátor; C_1 : lökő kondenzátor

Az áramkörben a Tr transzformátor a D diódán és a R_t ellenálláson keresztül tölti a C_1 kondenzátort. A kondenzátor által tárolt energia akkor sül ki a szikraközön keresztül, amikor forgó szikraköz elektródjai közötti távolság akkora, amekkorán a kondenzátor feszültsége elég az átütéshez. A C_1 kondenzátoron kisülések között a feszültség a C_b puffer kondenzátor hatására csaknem állandó, kisülés után gyorsan feltöltődik. A szikraközön történő átütés után az impulzus az R_d ellenálláson keresztül az RC reakciócellára kerül.

A szóró elektródra kapcsolt feszültség impulzus az elektród kis görbületi sugara miatt korona kisülést hoz létre, ami szintén impulzus formájában jelenik meg. A 3. ábrán egy pozitív feszültség impulzus digitális oszcilloszkóppal rögzített alakját látjuk.



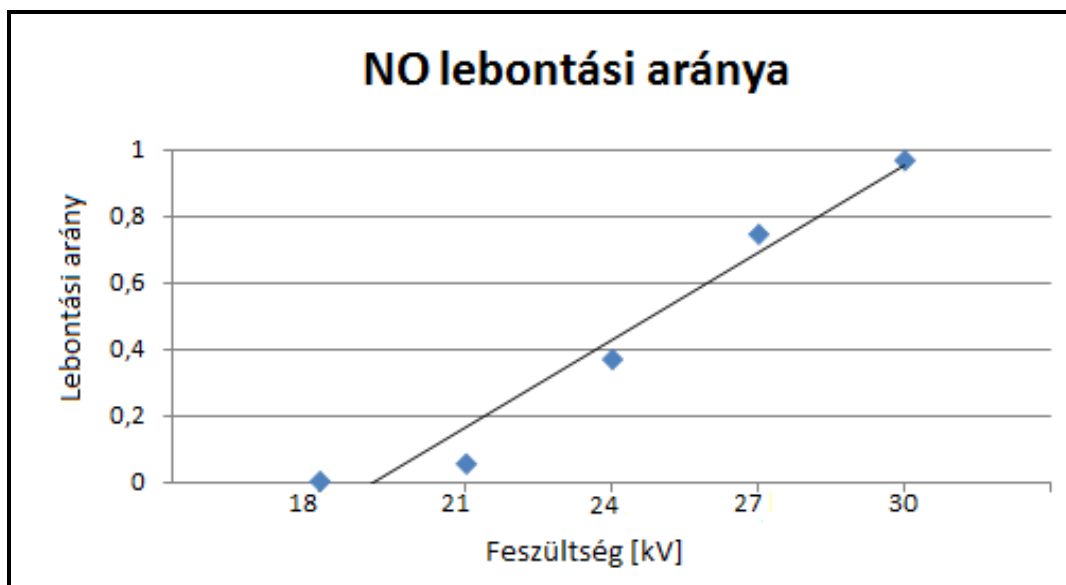
3. ábra A feszültségimpulzus képe

3.3 Eredmények:

Méréseink során különböző szempontok szerint vizsgáltuk külön-külön mind a három fajta tüzelő anyagot. A füstgáz áramlási intenzitása végig 100 l/h, az impulzusok frekvenciája 100 Hz, az elégetett tüzelőanyag tömege minden esetben 100 g volt. A bontási arányt minden esetben a füstgáz lebontott, és a reaktorba beáramló mennyiségének hányadosaként határoztuk meg. A következőkben növényenként mutatjuk be az eredményeket.

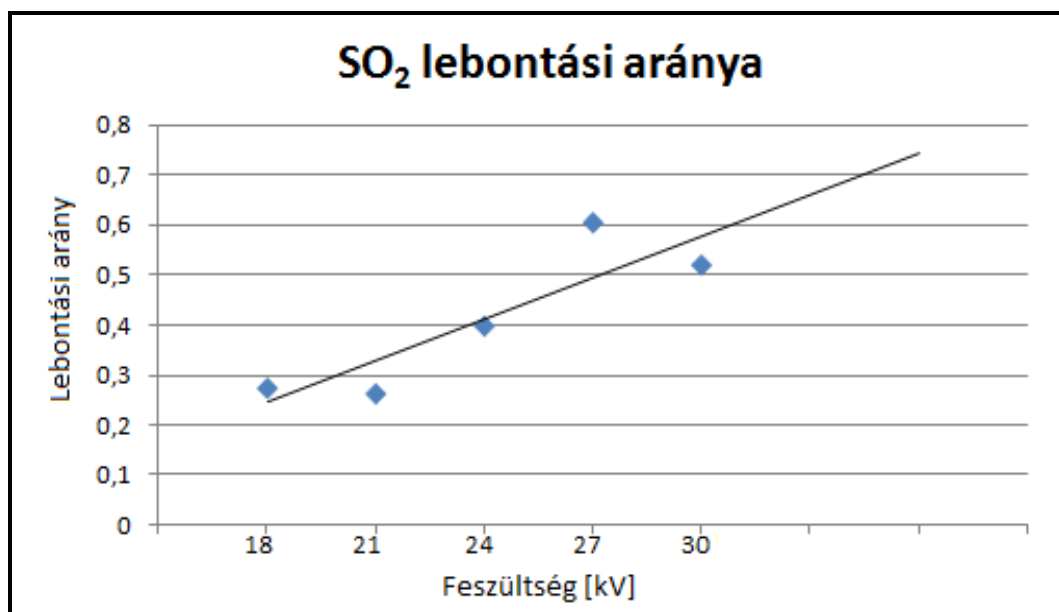
3.3.1 A náddal végzett kísérletek eredményei:

A 4. ábrán a bambusz égetése folyamán kibocsátott nitrogén-oxid lebontásának feszültségfüggését ábrázoltuk.



4. ábra NO lebontási aránya nád esetén

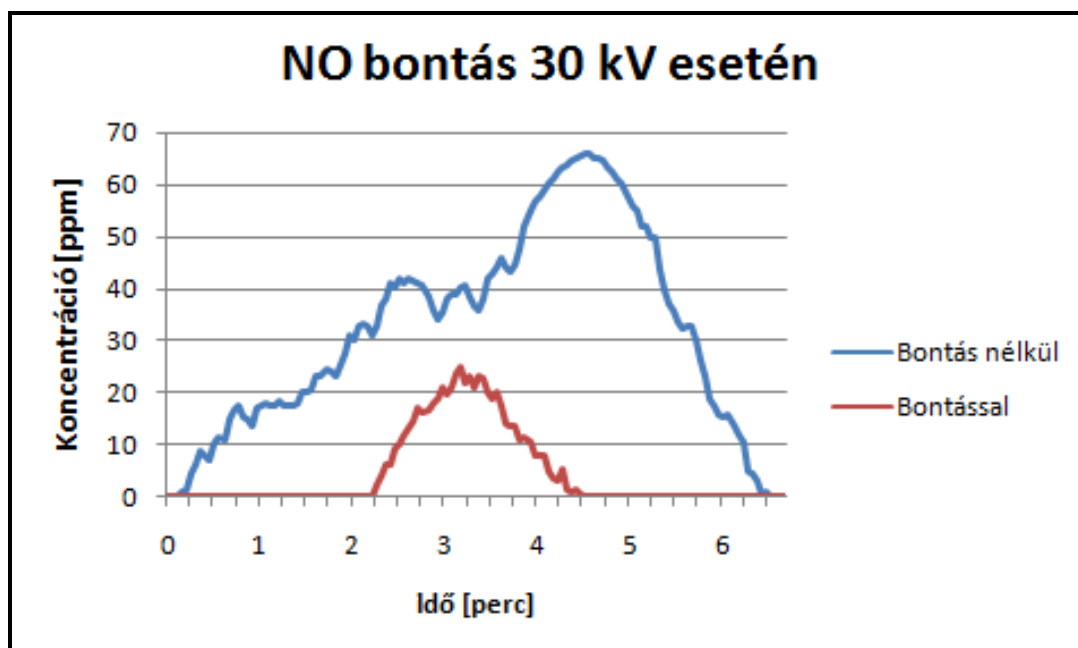
Jól látszik, hogy a feszültség növelésével nőtt a bontási arány. Megfigyelhető, hogy kellően nagy feszültségnél csaknem 100 %-os arányban lebontható a nitrogén-oxid.



5. ábra SO₂ lebontási aránya nád esetén

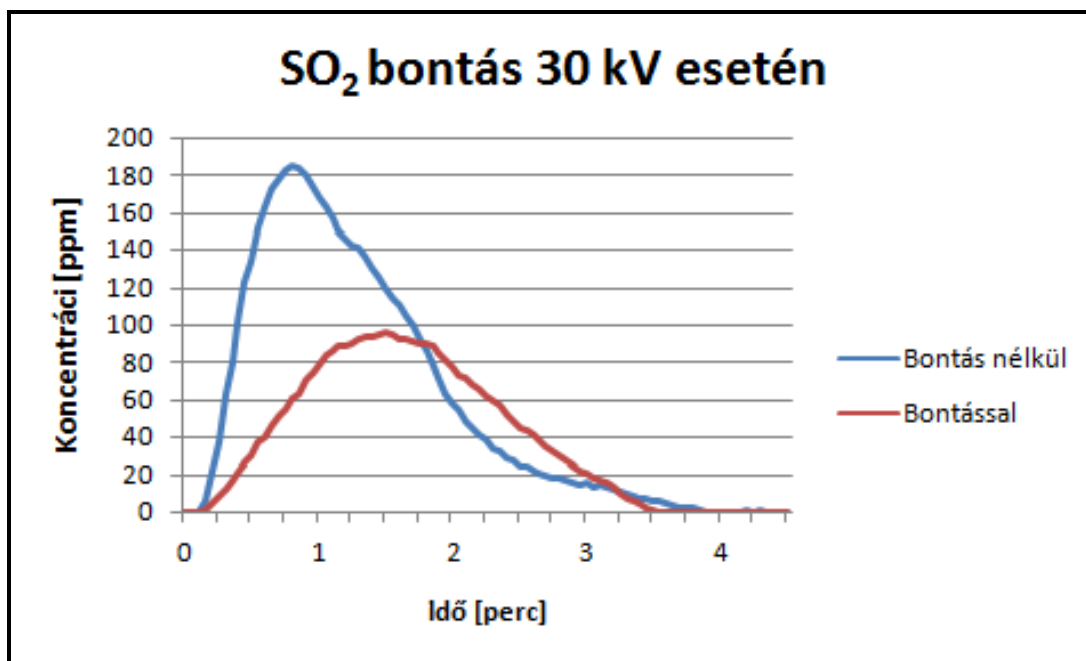
Kéndioxid esetén is azt látjuk, mint a 4. ábrán, hogy a feszültséggel arányosan nő a bontási arány, azonban itt már nincs olyan közel a 100 %-hoz, mint az NO esetén. A különbségek kisebbek, itt a bontási arány 0,28 és 0,61 között változik, míg az előző diagramon 0 és 0,98 között változott ugyanazon a feszültség-intervallumon.

A kísérleteknél használt 100 g energia növény, illetve bio-brikett emissziója az idő függvényében változott, így a légszennyező gázok lebontásának hatásosságát szemléletesen mutatja a koncentráció-idő diagram. A következő ábrákon a referencia-mérés NO és SO₂ kibocsátását hasonlítottuk össze a bekapcsolt reaktornál mért koncentrációkkal. A 6. ábrán a reaktoron áthaladó füstgáz nitrogén-oxid koncentrációját látjuk az idő függvényében energianád esetén.



6. ábra NO kibocsátás bontással és bontás nélkül

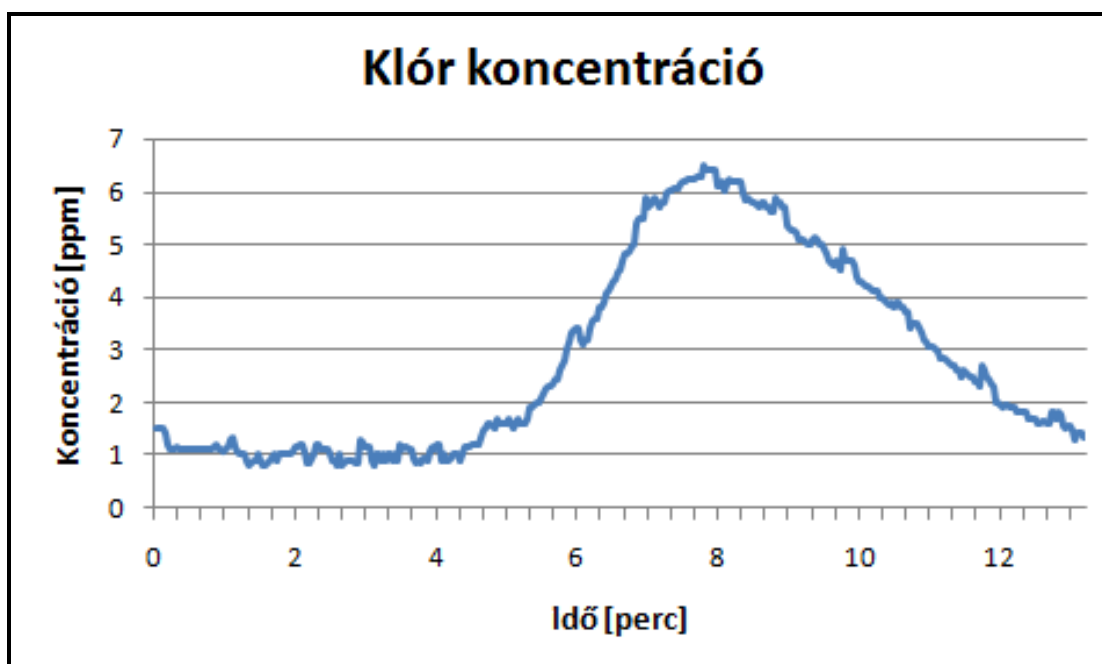
Nagyon jól látszik a különbség a két mérés között. A kék vonal mutatja a referenciamérés eredményét, melynek a csúcserőke kb. 66 ppm. A piros vonal a feszültséggel együtt mért eredmény, maximumértéke kb. 25 ppm. A lényeges különbség azonban nem a csúcserőkek különbsége, hanem a területeké. A területek alapján lehet következtetni a bontási arányra. Ennél a mérésnél bontás nélkül 36,84 mg, míg működő reaktor esetén csak 18,26 mg NO került ki a levegőbe.



7. ábra SO₂ kibocsátás bontással és bontás nélkül

A 7. ábrán is ugyanolyan tendencia figyelhető meg, mint a 6. ábrán. A bontás előtti maximális érték kétszerese a bontással együtt mért értéknek, a területek is jól láthatóan különböznek. Kikapcsolt rektor esetén a kibocsátott SO₂ tömege 97,3 mg, míg működő reaktor mellett 64,12 mg volt.

A felhasznált bambusz az égetés során néhány ppm klórgázt is kibocsátott. A 8. ábra a nád klorid-kibocsátásának időfüggését ábrázolja a referenciamérés során.

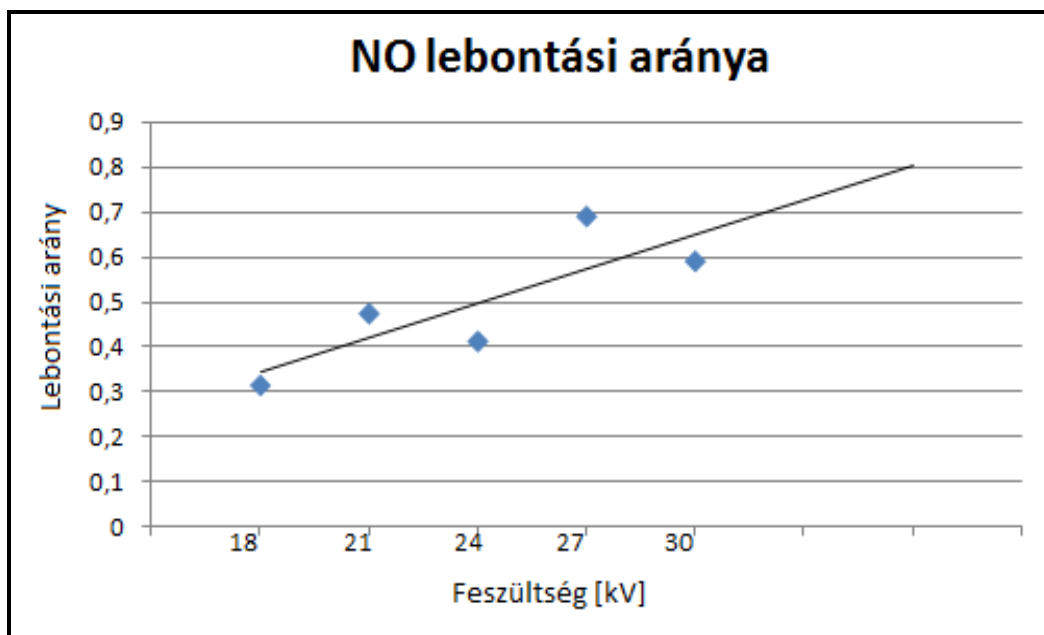


8. ábra Klór koncentráció

Jól látható, hogy a maximum értékét a mérés második felében érte el, de a csúcserték, ekkor is csak 6,5 ppm volt. Az egész égés során összesen 7,6 mg Cl_2 szabadult föl.

3.3.2 Energiafűz vizsgálatának eredményei:

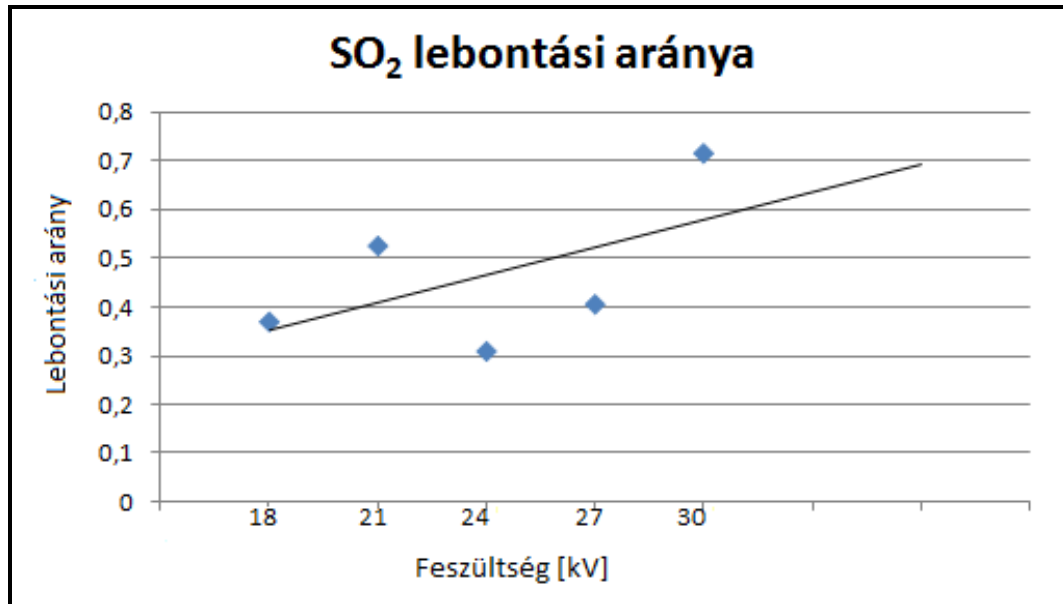
Az energiafűz égése során kibocsátott nitrogén-oxid szintén hatékonyan csökkenthető korona impulzusokkal (9. ábra.)



9. ábra NO lebontási aránya energiafűz esetén

Az ábrán jól látszik, hogy a bontási arány együtt nő a feszültséggel, de nem olyan meredeken, mint a nád esetében. A mért eredmények a feszültség függvényében 0,3 és 0,7 közötti arányt mutatnak.

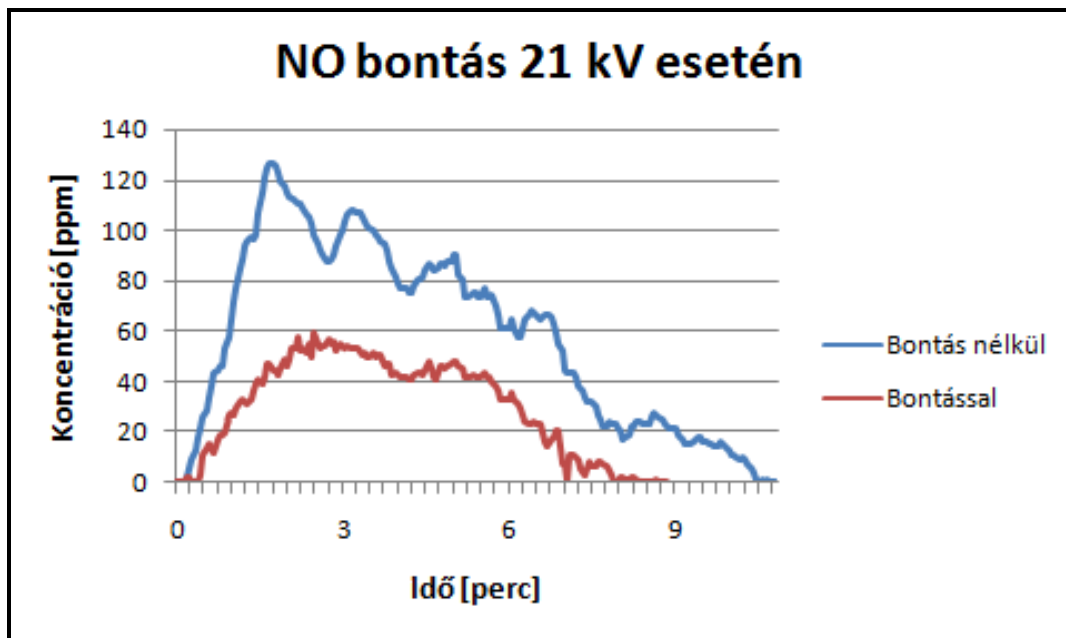
A 10. ábrán az energiafűz által kibocsátott kéndioxid bontási arányát látjuk



10. ábra SO₂ lebontási aránya energiafűz esetén

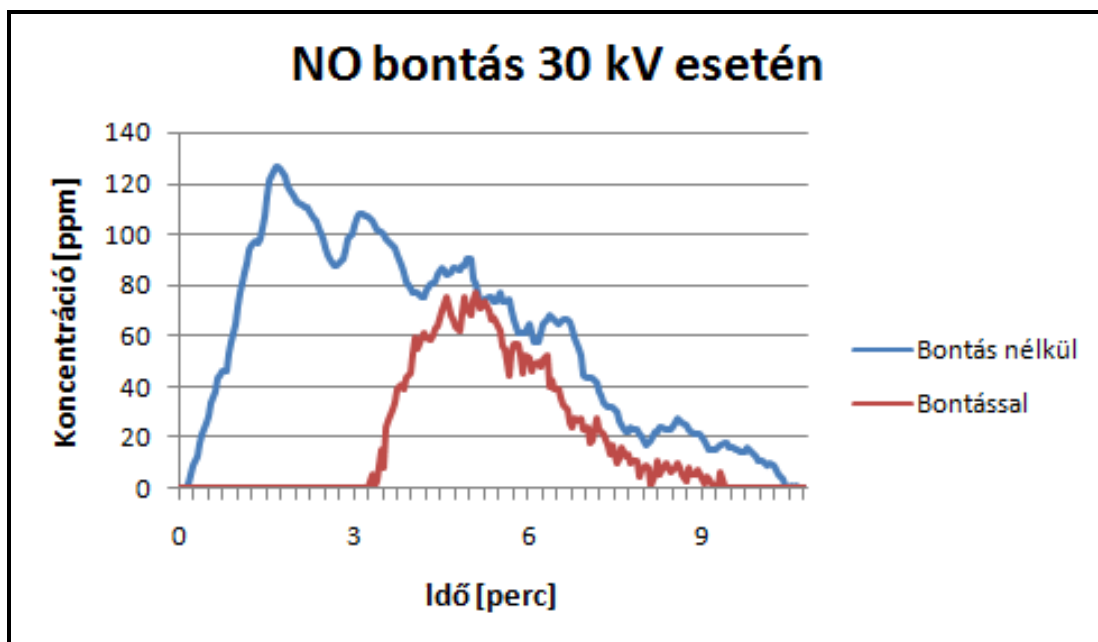
A bontási arány itt is a várakozásoknak megfelelően nő a feszültség növekedésével. A mérési pontok szétszóródtak, de a regressziós egyenesen jól látni a bontás és a feszültség közötti kapcsolatot. Az NO-hoz hasonlóan az eredmények itt is 0,3 és 0,72 között változtak.

A 11-14. ábrák a referenciamérések és működő reaktorból kiáramló füstgáz koncentrációjának összehasonlítását ábrázolják az idő függvényében.



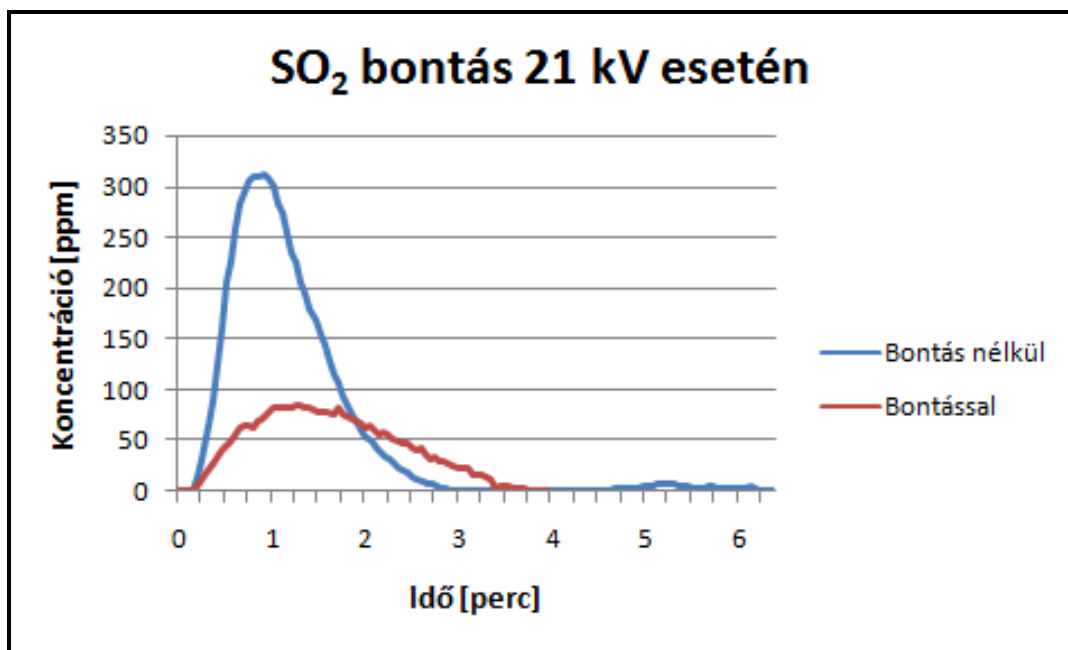
11. ábra NO kibocsátás bontással és bontás nélkül

A 11. ábrán megfigyelhető, hogy a referenciamérés eredménye most is sokkal magasabb, mint a lebontással mért eredmény. A számítások szerint kikapcsolt reaktor esetén 86,27 mg, míg 21 kV feszültségen működő reaktor esetén 45,29 mg NO került ki a levegőbe.



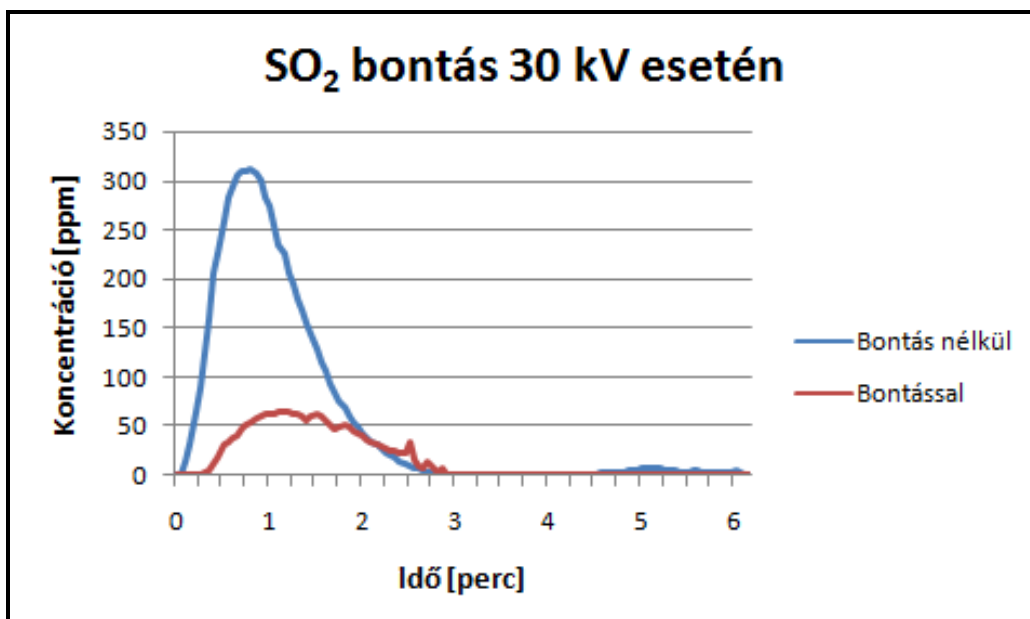
12. ábra NO kibocsátás bontással és bontás nélkül

A 11. és 12. ábra nagyon hasonló, de látszik, hogy 30 kV esetén a bontással mért eredmény vonala alatti terület kisebb, mint 21 kV esetén, látszik, hogy nagyobb feszültség esetén nagyobb a bontási arány. A számítások szerint a 30 kV feszültségen működő reaktorból kiáramló füstgáz mindösszesen 35,28 mg nitrogén oxidot tartalmazott.



13. ábra SO₂ kibocsátás bontással és bontás nélkül

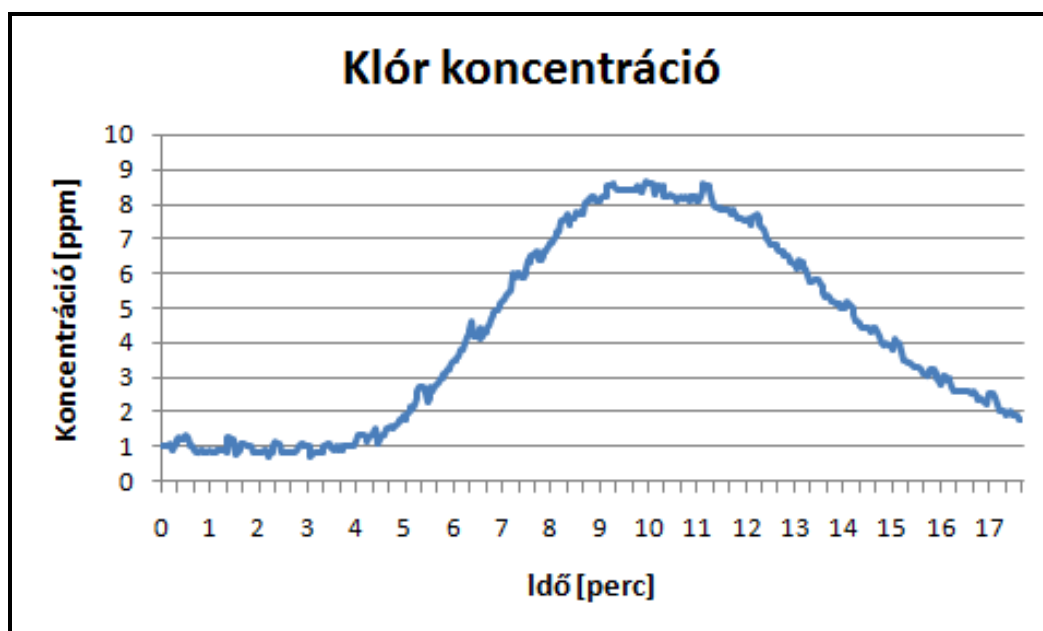
A 13. ábra is jól mutatja a különbséget a két mérés között. Itt a maximális értékek közötti különbség már több mint háromszoros. A referencia füstgáz 130,94 mg kéndioxidot, míg a kezelt füstgáz csak 62,1 mg kéndioxidot tartalmazott.



14. ábra SO₂ kibocsátás bontással és bontás nélkül

A 14. ábrán levő diagramon a két csúcérték különbsége már a kisebbik négyszeresénél is több, a területek közötti különbség is látványos. Ismét látszik a két diagram alapján a lebontási arány feszültségfüggése. A referenciatömeg itt is 130,94 mg, a bontással mért tömeg 37,25 mg volt.

A 15. ábra a klórkibocsátást szemlélteti.

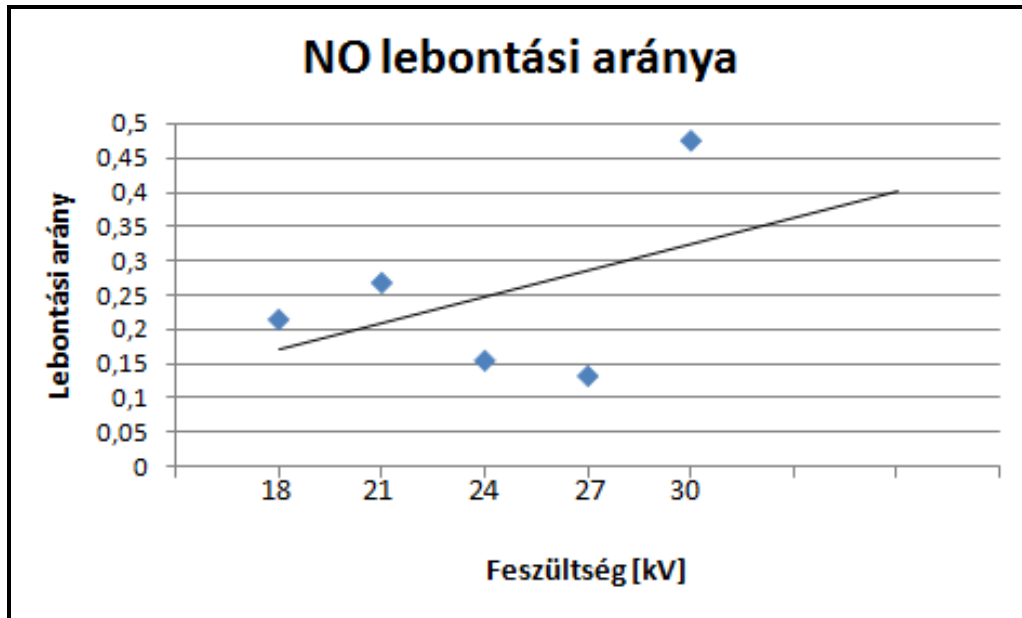


15. ábra Klór koncentráció

Leolvashatjuk az ábráról, hogy ebben az esetben nagyobb mértékű volt a klór kibocsátás, mint a nád égetésekor. Most a csúcserték 8,7 ppm körül van, míg a nádnál csak 6,5 ppm volt. A kibocsátott össztömeg is nagyobb, 15,3 mg.

3.3.3 Biobrikettel végzett kísérletek eredményei:

A 16. ábra az NO lebontási arányát mutatja a feszültség függvényében.

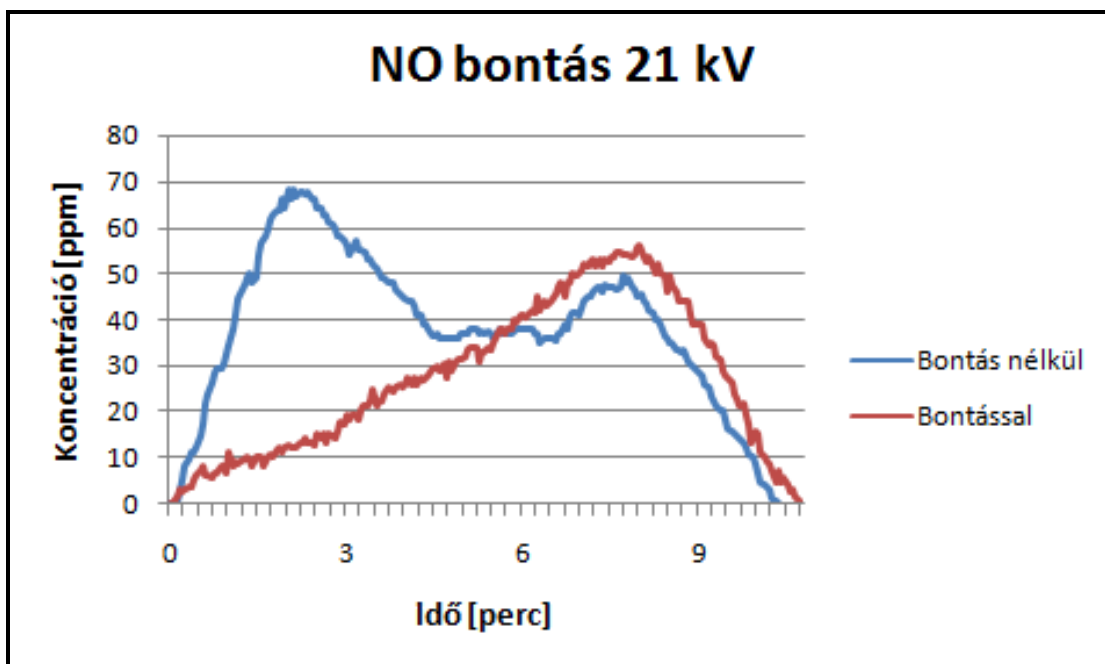


16. ábra NO lebontási aránya biobrikett esetén

Ahogy az eddigi megfigyelések mutatták, úgy itt is az látszik, hogy a feszültséggel együtt nő a bontási arány. A mérési pontok meglehetősen szétszóródnak, de a trendvonal alapján ezt ki lehet jelenteni. Ellentétben a többi hasonló kísérlettel, itt már csak 0,48 körül van a legnagyobb bontási arány.

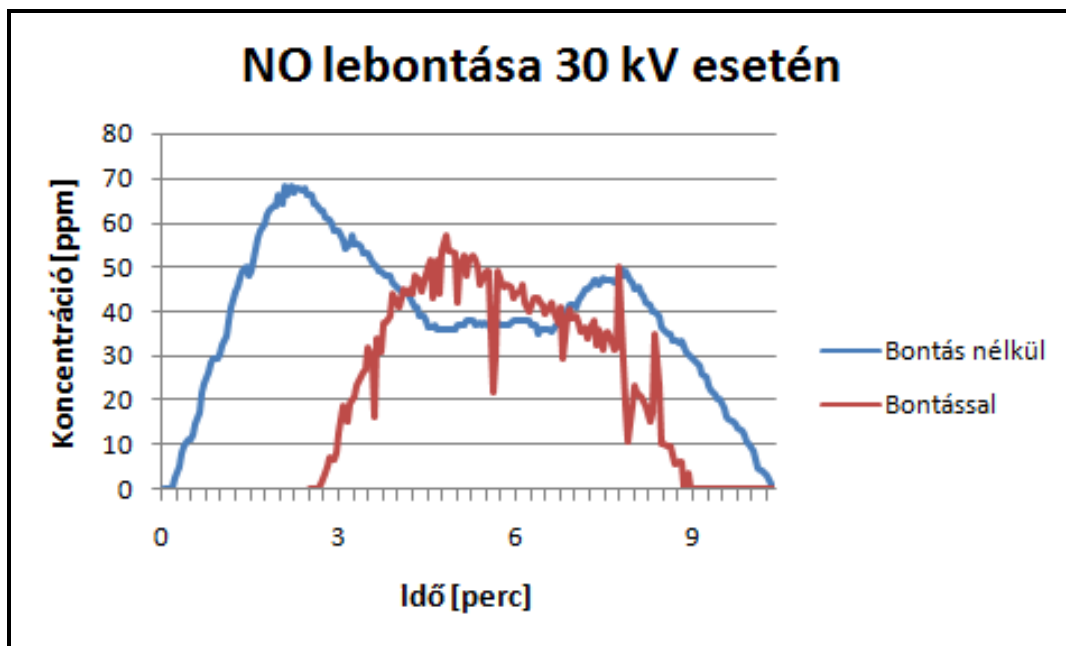
SO₂-re sajnos nem tudunk hiteles adatokat felvenni biobrikett esetén, mert meghibásodások voltak a mérőeszközöknél.

A következő ábrákon az összehasonlítás látható a referencia, és a bontással együtt történő mérésekről.



17. ábra NO kibocsátás bontással és bontás nélkül

A 17. ábrán jól látszik, hogy a kikapcsolt reaktor mellett mért koncentráció görbéje alatti terület jóval nagyobb, mint a másik, de a csúcsértékek között nincs olyan nagy különbség, mint az előzőeknél. A referenciatömeg 68,7 mg, míg működő reaktor esetén a kibocsátott NO tömege 50,35 mg volt.

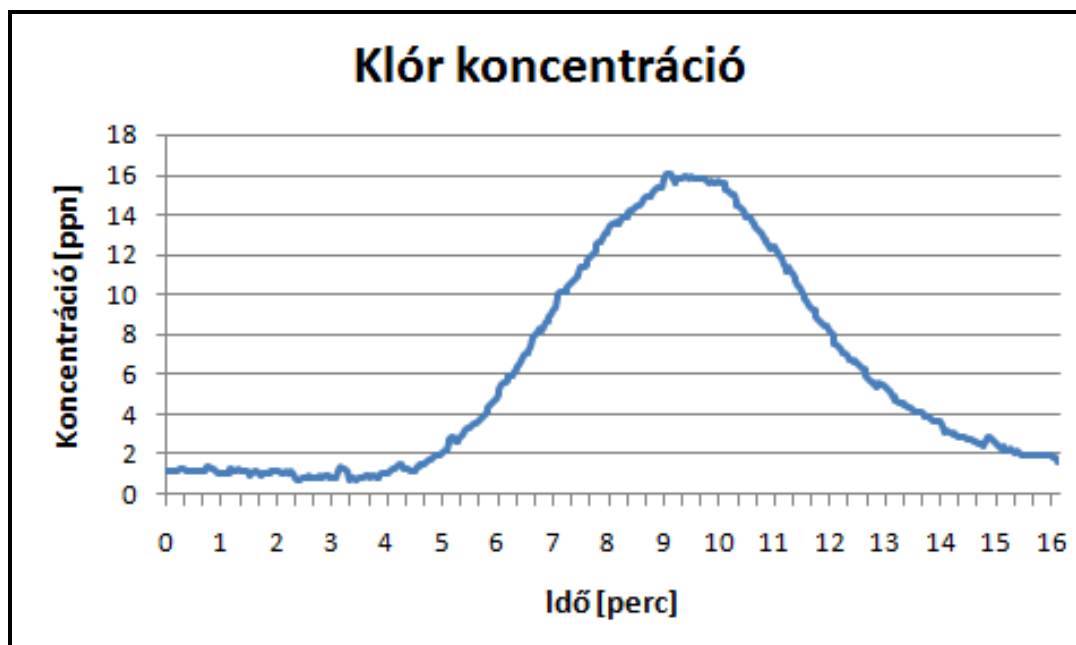


18. ábra NO kibocsátás bontással és bontás nélkül

A 18. ábrán a 30 kV impulzus csúcsfeszültséggel működő reaktor hatásosságát ábrázolja. Ebben az esetben a nagyobb feszültség nagyobb a különbséget eredményez a

vonalak alatti területek között, azaz a reaktorba beáramló füstgáz 68,7 mg NO tartalmát a korona impulzusok 36,14 mg-ra csökkentik.

Biobrikettnél is megvizsgáltuk a klór kibocsátást, az eredményeket az alábbi ábra mutatja.

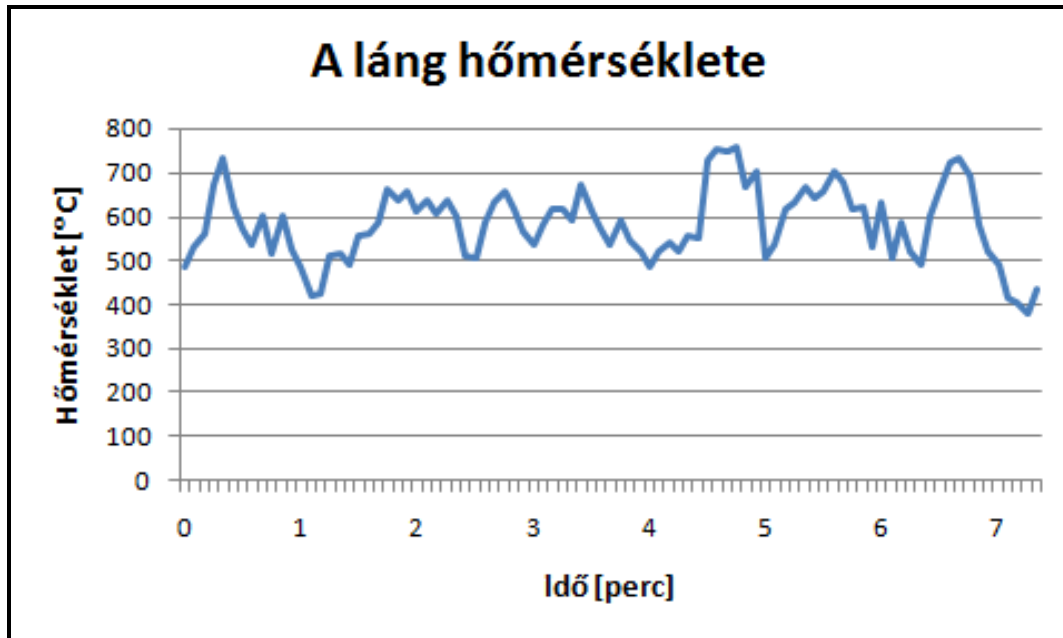


19. ábra Klór koncentráció

A 19. ábra a biobrikett égetése során felszabaduló klórgáz koncentrációjának időfüggését mutatja. A biobrikett klór kibocsátását összehasonlítva a másik két energianövény kibocsátásával kiderül, hogy a biobrikettnél a legmagasabb a klór koncentráció csúcértéke, 16 ppm, ami majdnem duplája az energiafűznel mértnek. Az összes klorid kibocsátás is itt volt a legnagyobb, 19,87 mg.

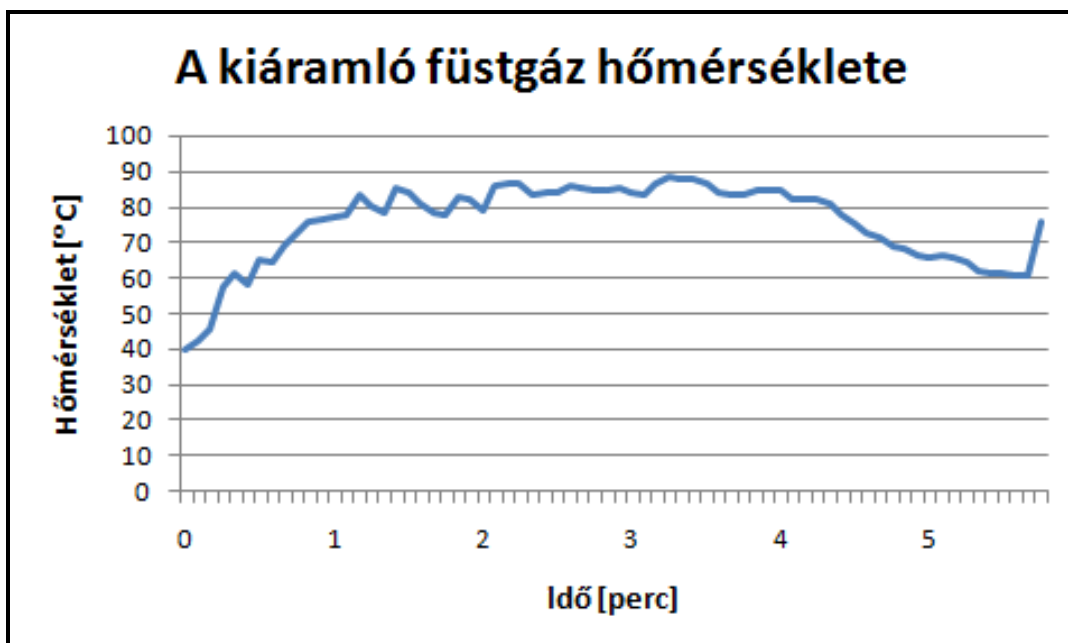
3.3.4 Hőmérséklet diagramok

Fölvettük a hőmérséklet-idő diagramokat is két helyen, először a tüztérben, majd azon a helyen, ahol a füstgáz elhagyta a kályhát. A 20. és 21. ábra ezeket az adatokat mutatja.



20. ábra A láng hőmérséklete

Égés közben a hőmérséklet kb. 400 és 750 °C között változott szabálytalanul, ez leolvasható a diagramról. Az NO 800 °C körüli hőmérsékleten jelenik meg az égés során, tehát ha magasabb hőmérsékleten égett volna az anyag, valószínű, hogy sokkal több NO keletkezett volna a füstgázban.



21. ábra A füstgáz hőmérséklete

A 21. ábrán a kiáramló füstgáz hőmérsékletét ábrázoltuk. Látszik, hogy az égetés elején eléri a 80 °C-ot, és innentől lényegében 80 és 90 °C között változik, majd az égés végén csökken le újra. A kiáramló füstgáz hőmérsékletének ismeretére a kiáramló gázok teljes tömegének meghatározásához volt szükség. Az átlagos hőmérséklet 75,4 °C volt.

3.3.5 Kloridion és szulfátion mennyiségének meghatározása a szárazanyagban

Más méréseket is elvégeztünk a növények károsanyag-tartalmának kimutatására. Égetés előtt és után is megnéztük a kloridion és szulfátion tartalmukat, a klorid tartalmat fotométerrel, a szulfáttartalmat csapadékos tömegszerinti meghatározással.

Fotometriás mérés (Kloridion meghatározása):

Az optikai mérések mindazon mérési módszerek, amelyek során a fény, és az anyag kölcsönhatásba kerül egymással.

A fény, és az anyag kölcsönhatásakor különböző változások játszódnak le:

- új közegbe lépve a fény útja megtörik (refraktometriás mérések)
- új közegbe lépve a fény rezgési síkja megváltozik (polarimetriás mérések)
- az új közeg felületéről a fény visszaverődik (reflektancia)
- **az új közegben a fény elnyelődik (abszorpciós mérések).**

Az analitikában a spektroszkópia az anyag, és az elektromágneses sugárzás kölcsönhatását vizsgálja, a kísérő jelenségek alapján következtethetünk a minta anyagi

(minőségi, és mennyiségi) jellemzőire. A kísérő jelenségek lehetnek: abszorpció, emisszió, reflexió, fluoreszcencia. Egy heterogén anyag molekuláris, elementáris, vagy egy homogén anyag atomi, atomcsoportos összetételének meghatározása a cél.

A mérés során alkalmazott fotométer adatai:

Típus: Lovibond PC22

Optika: hőmérsékletkompenzált világító diódák és fényérzékelő erősítő.

Hullámhossztartományok: 470nm, 528nm, 580nm, 605nm és 660nm.

Kijelző: 4 sor, 16 hely – alfanumerikus LCD.

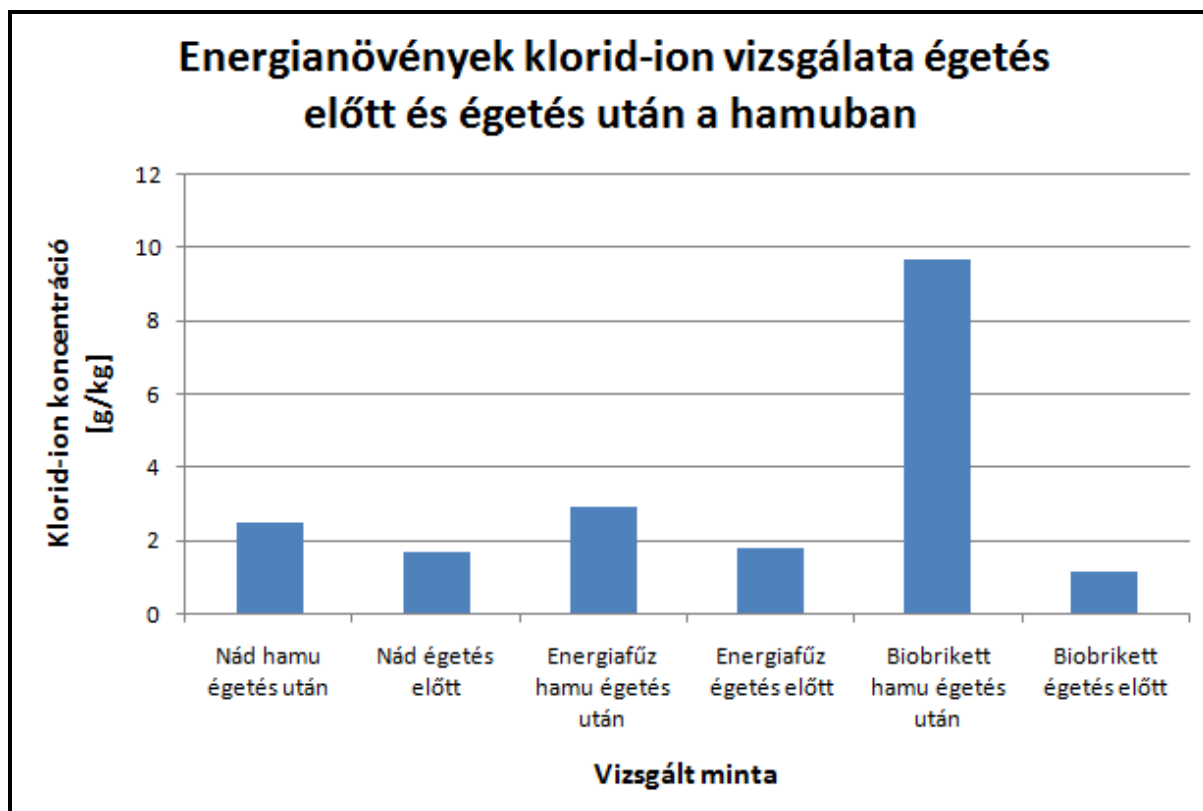
Paraméterek

A kimutatások ún. reagens-tablettákkal történnek, ami nemzetközileg ismert és részben a nemzeti, ill. nemzetközi szabványoknak is megfelel.

A mérési eredmények:

3. táblázat Fotometriás mérés eredménye

Összetevő	Nád hamu égetés után	Nád égetés előtt	Energiafűz hamu égetés után	Energiafűz égetés előtt	Biobrikett hamu égetés után	Biobrikett égetés előtt
Klorid-ion koncentráció [g/kg]	2,51	1,72	2,94	1,82	9,65	1,15



22. ábra Fotometriás mérés eredménye

Az ábráról jól leolvasható, hogy legnagyobb koncentrációban az elégetett biobrikett hamuja tartalmazott klórt, a legkisebb klórkoncentráció pedig az égetés előtti biobrikettben volt.

A csapadékos tömegszerinti meghatározás menete (Szulfátion meghatározása):

A mérés elmélete:

A gravimetria tömegszerinti meghatározást jelent. A mérés során a meghatározandó alkotórészt ismert összetételű, tömegmérésre alkalmas anyaggá alakítjuk, és annak tömegéből következtetünk a meghatározandó anyag mennyiségére.

A csapadék gyakorlatilag vízben oldhatatlan vegyület.

Két fajtája van:

- a csapadék alak, melyet lecsapással alakítunk ki
- a mérési alak, mely pontosan ismert, állandó összetételű, és mérésre alkalmas.

Az eredményt a gravimetriás faktorról határozzuk meg. A gravimetriás faktor egy dimenzió nélküli szám.

A mérés menete:

1. Analitikai mérlegen kimérjük a mintát, oldatba visszük, majd leszűrjük.
2. Kimérünk 10 cm^3 -t a mintából.
3. 100 cm^3 -re hígítjuk desztillált vízzel.
4. Hozzáadunk 1 g szilárd ammónium-kloridot, egy csepp metilnarancs indikátort, és annyi 10% -os sósav oldatot, hogy az oldatunk épphogy narancsszínű legyen.
5. Forralni kezdjük, és forralás közben 10 cm^3 5% -os bárium-kloridot adunk az oldathoz, melytől leválik a csapadék.
6. Fél órára vízfürdőbe tesszük az oldatot.
7. Leszűrjük, aztán meleg, majd hideg desztillált vízzel átmoszuk.
8. A szűrőpapírt izzító téglába helyezve elhamvasztjuk rezsón, majd $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tömegállandóságig izzítjuk.
9. Exsikkátorban hűtjük, majd analitikai mérlegen visszamérjük.

Az eredményeket a következő módon állapítottuk meg:

Az élő nád szulfáttartalmának meghatározása:

Bemért minta: $4,002\text{ g}$

Üres téglát: $32,888\text{ g}$

Visszamért minta: $32,892\text{ g}$

Tömeg különbség: $0,004\text{ g}$

$M_{\text{SO}_4^{2-}} = 96,1\text{ g/mol}$

$M_{\text{BaSO}_4} = 233,4\text{ g/mol}$

$Gf = (M_{\text{SO}_4^{2-}} / M_{\text{BaSO}_4}) \cdot \text{tömeg különbség} = (96,1\text{ g/mol} / 233,4\text{ g/mol}) \cdot 0,004\text{ g} = 0,0016$

10 cm^3 oldat $\rightarrow 0,0016\text{ g SO}_4^{2-}$

100 cm^3 oldat $\rightarrow 0,016\text{ g SO}_4^{2-} \rightarrow 4,002\text{ g}$ minta

$4,002\text{ g}$ minta $\rightarrow 0,016\text{ g SO}_4^{2-}$

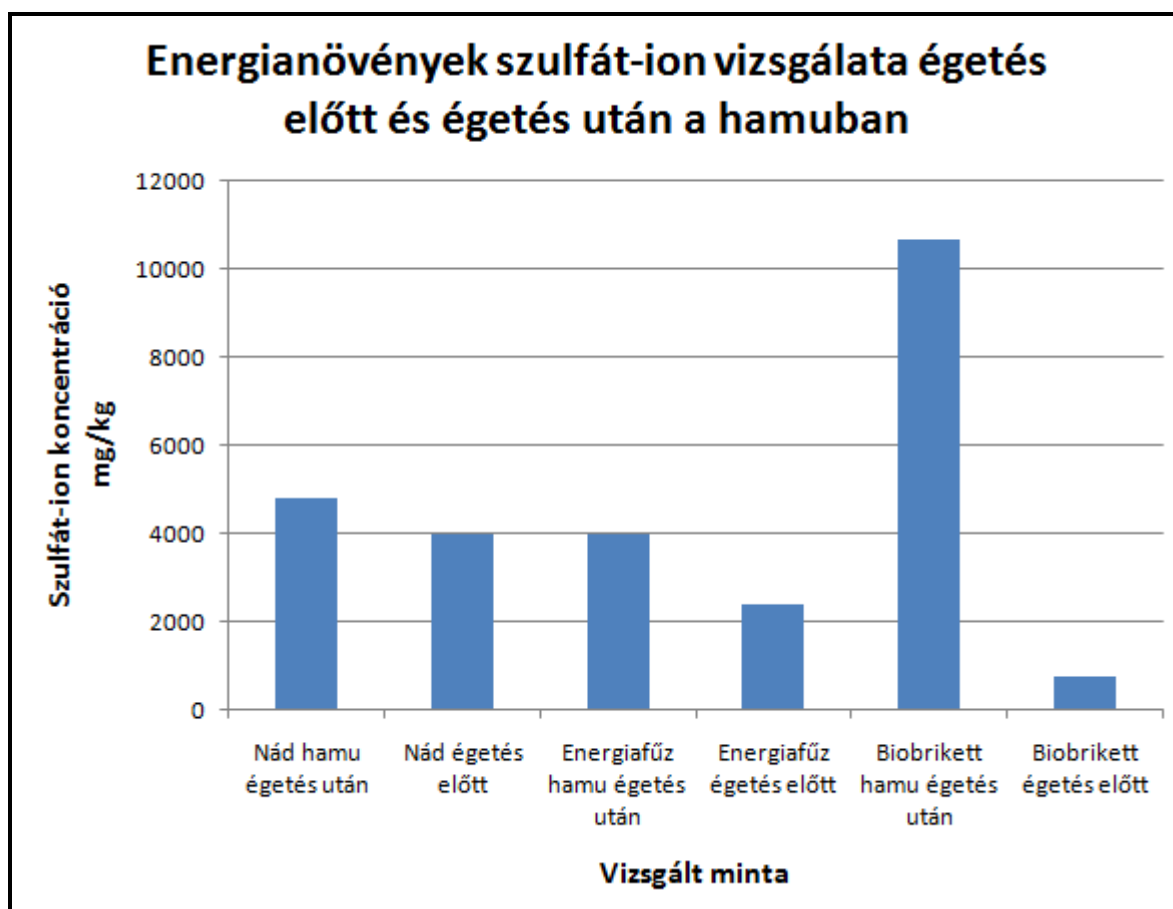
1000 g minta $\rightarrow 3,998\text{ g SO}_4^{2-}$ van.

A minta SO_4^{2-} tartalma: 3998 mg/kg .

A többi tüzelőanyagot is hasonló módon vizsgáltuk meg, és ezeket az eredményeket kaptuk.

4. táblázat A növények Szulfát-ion tartalma

Összetevő	Nád hamu égetés után	Nád égetés előtt	Energiafűz hamu égetés után	Energiafűz égetés előtt	Biobrikett hamu égetés után	Biobrikett égetés előtt
Szulfát-ion koncentráció [mg/kg]	4784	3998	3967	2378	10648	766



23. ábra A növények szulfát-ion tartalma

A szulfát-ion koncentrációjának növények szerinti eloszlása hasonló, mint a klorid-ioné. Itt is az elégetett biobrikett hamujában a legnagyobb a szulfát-ion koncentráció, és az égetés előtti biobrikettben a legnagyobb.

3.4 Eredmények értelmezése

Méréseink azt mutatják, ami a kapcsolódó irodalmakból is kiderült, jelentős mennyiségű kén és klór található az energianövényekben. Az irodalmakban ez megtalálható, ám sajnos a

közhiedelemben nem ez él. Egy japán vendégprofesszor elmondása szerint Japánban tilos otthon bambuszt égetni, mert alacsony hőfokon történő égése során dioxin szabadul föl, ami rendkívül ártalmas. Az emberekben nem tudatosult, hogy az energianövények elégetése is környezetszennyező, ekkor is kerül a levegőbe kén és klór. Nitrogén-oxid minden égésnél megjelenik, mert oxigén jelenlétében a levegőben lévő nitrogén oxidálódik.

A fotometriás mérés kimutatta, hogy minden növénynél az égetés utáni hamuban nagyobb koncentrációban van klorid, mint égetés előtt. Ennek több oka is van. Legkézenfekvőbb, hogy az égetés során eltávozott az anyag 80-90 %-a, a klór ottmaradt, ezért nőtt a koncentráció. Azonban az is elképzelhető, hogy égés előtt olyan formában volt a klór a tüzelőanyagban, hogy nem tudtuk megmérni. Ezzel a módszerrel csak klorid-ion koncentrációt tudtunk mérni, más módszer nem állt rendelkezésünkre, viszont a növényekben lehetett a klór oxid, vagy egyéb formában is.

A szulfát-ion meghatározásánál ugyanez figyelhető meg, hogy égetés után nagyobb a koncentráció a hamuban, mint előtte. A magyarázat is ugyanaz, a kén olyan formában volt az anyagban, hogy az elérhető módszerekkel nem tudtuk kimutatni.

4. Összegzés

Az emberiség energiagondjainak egyik részleges megoldása lehet az energianövények felhasználása energiatermelésre. Az energianövények égetésének előnye, hogy nem terheli tovább a légkört széndioxid kibocsátással. Az égés során azonban további légszennyező anyagok is felszabadulnak. Mennyiségük és hatásuk alapján a légkörre legveszélyesebb kibocsátott gázok a nitrogén oxid, a kéndioxid, és a klórgáz. Előbbiek a savas esők okozói, a klórtartalmú vegyületek pedig szénhidrogént tartalmazó környezetben 1200 °C alatti hőmérsékleten dioxinná alakulnak. Méréseink szerint pl. 100 g energiafűz égetése során 131 mg kéndioxid, 86 mg nitrogén oxid és 15,3 mg klór kerül a levegőbe. Biobrikett és bambusz esetén is hasonló nagyságrendű a károsanyag kibocsátás. Ebből az látszik, hogy a nagyobb mennyiségben elégetett energia növények jelentősen terhelik a környezetet.

Az energia növények felhasználásáról ennek ellenére nem kell lemondanunk, létezik technológia az említett légszennyező gázok lebontására, az égetésnél keletkező füstgáz tisztítására. Az általunk alkalmazott koronaimpulzusokkal megvalósított gázbontással – megfelelő áramlási és kisülési paraméterek mellett- a keletkező nitrogén oxid 70-99 %-a, a kéndioxid 50-70%-a lebontható, így a légszennyezés jelentősen csökkenthető. Méréseink szerint a korona impulzusok feszültségének növelésével a módszer hatékonysága nő, így a tüzelőberendezéshez lehet tervezni és méretezni a megfelelő reaktort. A technológia a

háztartási tüzelőberendezéseken kívül az energia iparban is alkalmazható, a hőerőművek füstgáza jó hatásfokkal tisztítható koronaimpulzusokkal működő reaktorokkal.

5. Felhasznált irodalom

- [1] <http://termtud.akg.hu/okt/8/1/8evals.htm>
- [2] <http://www.greenetik.eu/hu/megoldasok/biogaztermeles>
- [3] Szuhi A. (2007): Pirolízis és elgázosítás: Az új termikus hulladékkezelési eljárások zöld szemmel, Hulladék Munkaszövetség
- [4] <http://legszennezes.hu/ujterm.pdf>
- [5] Umberto Arena and Maria Lura Mastellone: Pyrolysis and Gasification of Solid Wastes in Fluidized Bed Reactors 2005
- [6] <http://www.emergia.hu/index.php?option=com>
- [7] "First Wood Energy trade fair in South-West Europe";
<http://www.itebe.org/telechargement/revue/Revue9/Revue9UK2003>
- [8] Fizika Hulladékgazdálkodóknak. 9. Szilárd biomassza tüzelése. Pécs, Fiz. Int.; 08-09 NB
- [9] Környezetvédelem és az energetika Bohoczky Ferenc, Magyar Energetika 2003
- [10] Biomassza együttes elégetése erőművekben hagyományos fűtőanyaggal;
Energiatermelés, átalakítás, szállítás, szolgáltatás 2004
- [11] Horváth M., Kiss E.: Környezetkárosító gázok megsemmisítése korona impulzusokban - az effektus kinetikai modellje, Dunaújváros
- [12] Csernátorny H. A., Horváth T.: Nagyfeszültségű Technika *Tankönyvkiadó* Budapest, 1986
- [13]: Masuda S.: Destruction of Gaseous Pollutants and Air Toxics by Surface Induced Plasma Chemical Process and Pulse Corona Induced Plasma Process *NATO ASI Series G*, vol. 34, part B. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1993, pp.197-209
- [14]: Yan P., Fujiwara M., Zhou Y., Ishida M.: Investigation on luminescence and NO_x removal by pulsed corona discharges *Journal of Electrostatics* Vol. 51-52, 2001, pp.260-271