



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Műszaki Tudományág, Villamosmérnöki Tudományszak

ELEKTROSZTATIKUS PORLEVÁLASZTÓ BERENDEZÉSEK  
IMPULZUS ÜZEMŰ TÁPLÁLÁSÁNAK MODELLEZÉSE

---

MODELING THE PULSE MODE ENERGISATION  
OF ELECTROSTATIC PRECIPITATORS

PhD értekezés tézisei

**Iváncsy Tamás**

Témavezető:  
Dr. Berta István  
egyetemi tanár

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
VILLAMOS ENERGETIKA TANSZÉK  
NAGYFESZÜLTSGŰ TECHNIKA ÉS BERENDEZÉSEK CSOPORT

Budapest  
2012

PhD értekezés tézisei

Ivancsy Tamás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamos Energetika Tanszék  
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

1111 Budapest, Egry József utca 18

e-mail: [ivancsy.tamas@vet.bme.hu](mailto:ivancsy.tamas@vet.bme.hu)  
tel: +36(1)4632784  
fax: +36(1)4633231

Témavezető  
Dr. Berta István  
egyetemi tanár

## 1. Bevezetés

Manapság kiemelt figyelmet kap a környezetvédelem, ezen belül pedig a levegő tisztaságának védelme. Az egész világon egyre szigorodnak azok az előírások, amelyek a levegőbe jutó por mennyiségét szabályozzák. A  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  előírások<sup>1</sup> a levegőbe kerülő 10 mikronnál kisebb és 2,5 mikronnál kisebb porszemcsék mennyiségét szabják meg. Ezekkel az előírásokkal, és ezek betartásával próbálják csökkenteni az emberi tevékenységek által a légkörbe kerülő szennyező anyagok mennyiségét.

Az egyik leghatékonyabb eszköz az iparban a levegőbe jutó pormennyiség csökkentésére az elektrosztatikus porleválasztó berendezés<sup>2</sup>. Egy ilyen berendezés telepítési költségei igen jelentősek, és az üzemeltetésük is költségekkel jár. Más típusú áramló gázok tisztítására alkalmas berendezésekhez képest az ESP berendezések telepítési költségei magasabbak, de hosszútávú üzemeltetési költségei kedvezőbbek, eredő leválasztási fokuk pedig eléri vagy meghaladja más típusú berendezéseket. Sajnos ez nem mondható el a finom, ultrafinom frakciók leválasztási fokára. Minthogy az ESP berendezéseket kedvező tulajdonságaik miatt igen széles körben használják, ezért nagyon fontos a finom és ultrafinom frakciók leválasztásához a meglévő technológiák korszerűsítése.

Az egyre szigorodó előírások teljesítéséhez az ESP-k folyamatos fejlesztése szükséges. Az egyik fejlesztési irány a berendezés táplálásának módosítása volt. A korszerű berendezések már nem egyenfeszültséggel, hanem feszültség-impulzusokkal működnek.

Az iparban használt elektrosztatikus porleválasztó berendezések közül még sok a hagyományos egyenfeszültségű táplálással üzemel. Ahhoz, hogy ezek a berendezések is olyan leválasztási fokkal tudjanak üzemelni, amely lehetővé teszi a szigorúbb előírások betartását, szükség van a berendezések felújítására. Az egyik legfontosabb lépése a felújításnak az, hogy a hagyományos egyenfeszültségű táplálást korszerű impulzus üzemű táplálásra cserélik. Tapasztalati úton kialakított különböző feszültség impulzusokat alkalmaznak a berendezésekben ahhoz, hogy a lehető leghatékonyabban töltsék fel a porszemcséket és csökkentsék a kialakuló ellenkorona-jelenséget, így növelve a leválasztás fokát és csökkentve a felhasznált energia mennyiségét.

A felújítás során nagyon hasznos (esetenként elengedhetetlen) eszköz lehet egy számítógépes (numerikus) modell, amely segítségével lehetőség nyílik a berendezésnek a felújítás során kialakuló új paramétereinek modellezésére. Az impulzus üzemű táplálás paramétereinek beállítása nagyon fontos lehet, hiszen előállhatnak olyan esetek (a gáz áramlási sebessége, a por tulajdonságai és egyéb fizikai jellemzőkből adódóan), amikor az impulzus üzem paramétereinek helytelen megválasztása drasztikus leválasztási fok romláshoz vezethet. A modell segítségével költséghatékonyan lehet az új táplálás lehetséges paramétereit közül kiválasztani az adott felhasználáshoz legalkalmasabbakat.

Számos numerikus porleválasztó modell készült, melyek nagy része számítja ugyan az iontértöltést, de a földelt és a nagyfeszültségű elektródok között folyamatos ionáramot feltételez. Ez a számítási eljárás az egyenfeszültségű táplálást elég jól képes modellezni, de nem alkalmas az impulzus üzem modellezésére.

A Villamos Energetika tanszék Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoportja az Áramlástan Tanszékkel közösen létrehozott egy numerikus modellt az ESP berendezések

---

<sup>1</sup>PM: Particulate Matter, Fine particles – Előírások a *Finom szemcsés porok* kibocsátására

<sup>2</sup>angolul: *Electrostatic Precipitator*, rövidítése: *ESP*

működésének vizsgálatára [Kiss, 2004], [Suda, 2007]. Ez a modell az ESP berendezések egyenfeszültségű üzemét képes modellezni, figyelembe véve többek között a portértöltést és az iontértöltést, a por paramétereinek bizonytalanságát és több porfázis kezelésére is képes. A modell moduláris felépítése folytán könnyen bővíthető, a figyelembe vett fizikai jelenségek köre, illetve a számítás módja könnyen változtatható. A modell csak korlátozott mértékben volt képes követni a feszültség változások miatt létrejövő portértöltés és iontértöltés-változásokat, így csak olyan táplálással működő porleválasztó modellezésére volt képes, ahol a feszültség változásai nem voltak néhány ms-nál gyakoribbak. Manapság azonban a porleválasztó berendezésekben használt táplálások között gyakran található olyan, ahol az impulzusok a  $\mu\text{s}$ -os tartományba esnek.

## 2. A modell továbbfejlesztése

A modern porleválasztó berendezések működésének pontosabb modellezéséhez szükséges a meglévő modell továbbfejlesztése olyan módon, hogy képes legyen az impulzus üzem vizsgálatára, illetve az ellenkorona-jelenségének pontosabb vizsgálatára. A modell moduláris felépítésének köszönhetően viszonylag egyszerűen lehetséges a számítást végző részek módosítása, illetve cseréje.

Az impulzus üzem gyors paraméter változásainak követéséhez az állandósult állapotot feltételező iontértöltést és portértöltést számító modult le kellett cserélni egy olyanra, amely képes kezelni a gyors változásokat is. A számítást az új modul a donor-cella módszer használatával végzi. A donor-cella módszer felhasználásával a modell figyelembe tudja venni az ionáram gyors változásait, így akár a  $\mu\text{s}$ -os idejű impulzusok esetében is képes számítani az ion- és portértöltést a porleválasztó berendezésben.

A továbbfejlesztés egy másik célja volt az ellenkorona-kisülések pontosabb kezelése, kialakulásuk idejének kiszámítása. A modell eddig is képes volt az ellenkorona-jelenség figyelembe vételére, amit egy fuzzy módszerre épülő modul számított. Az ellenkorona pontosabb vizsgálatához ezt a modult kellett lecserélni egy olyan modulra, amely az ellenkoronát a por paramétereit és a villamos paraméterek alapján számítja, így a modell pontosabban képes figyelembe venni az ellenkorona-kisülések leválasztási fokot rontó hatásait. Segítségével lehetőség van arra is, hogy a táplálási paraméterek és a leválasztandó porok tulajdonságainak ismeretében meghatározzuk, hogy kialakul-e ellenkorona-kisülés az adott körülmények között. Ebből adódóan az impulzus üzemű táplálás paramétereit lehet később úgy beállítani, hogy az ellenkorona kialakulásának lehetősége minél kisebb legyen, így biztosítva a jobb leválasztási fokot.

Az ellenkorona-kisülések kialakulási helyének és idejének meghatározásához ez a modul számítja a felfogó elektródon felhalmozódó porréteg vastagságát, és ennek segítségével határozza meg az ellenkorona-kisülés létrejöttéhez szükséges feltételek meglétét. Ehhez figyelembe veszi a lerakódott porréteg töltését, fajlagos vezetőképességét, relatív permittivitását és a felhalmozódás közben eltelt időt is.

### 3. Új tudományos eredmények

Cél volt a porleválasztó modell továbbfejlesztése az impulzus üzemű táplálás modellezésére, valamint az ellenkorona-kisülések pontos figyelembe vételére.

A munka során első lépésként az impulzus üzem gyors változásainak követésére kellett lehetőséget találni. Ehhez a modell moduláris felépítése nyújtott lehetőséget. Az állandósult állapot tértöltésének számítására alkalmas modult kellett lecserélni egy olyan modullra, amely képes az impulzus üzem által okozott gyors tértöltés változásokat számítani. Az így kialakult komplex vizsgálatokra alkalmas modell képes a villamos és áramlási tér, az impulzus üzemű táplálás, polidiszperz porok együttes figyelembe vételére.

Másik fontos cél volt, az ellenkorona-kisülések modellezésének pontosítása. Ehhez létre kellett hozni egy ellenkorona-kisülést számító modult. Az ellenkorona-kisülések létrejöttének egyik meghatározója a felfogó elektródon felhalmozódott por töltése. Ahhoz, hogy ezt figyelembe tudjuk venni, számítani kell a felfogó elektródokra kerülő por mennyiségét, az így kialakuló porréteg vastagságát és töltését. A kialakuló ellenkorona-kisülés folyamán por és töltések kerülnek vissza a gázáramba, amelyek befolyásolják a porleválasztóból kikerülő por mennyiségét, azaz a leválasztási fokot. Az impulzus üzem változásainak figyelembe vételét lehetővé tévő módszer újszerű alkalmazása lehetővé teszi a felfogó elektródokra kerülő por töltésének és az ellenkorona-kisülések által generált töltések figyelembe vételét a tértöltések számításakor.

Az eddig elkészített modellek jelentős része nem képes az impulzus üzem és az ellenkorona-kisülések modellezésére. Azok a modellek, amelyek képesek ezen jelenségeket modellezni, olyan elhanyagolásokat alkalmaznak, amelyek miatt a modellek csak korlátozó-sokkal használhatóak.

Az ellenkorona-kisülések természetesen nem csak a felfogó elektródokra lerakódott por mennyiségétől és paramétereitől függenek, hanem a táplálás és kopogtatás paramétereitől is. A villamos táplálás (impulzusok) paramétereinek és a por paramétereinek ismeretében a modellel meghatározható, hogy az adott körülmények között kialakul-e ellenkorona-kisülés, illetve mikor alakul ki. Amennyiben létrejön a kisülés, a modell segítségével meghatározhatóak azok a táplálási és kopogtatási paraméter beállítások, hogy az ellenkorona-jelenség ne alakuljon ki a leválasztás során.

Az így kialakított numerikus elektrosztatikus porleválasztó modell az eddig alkalmazott modelleknél pontosabban képes modellezni a porleválasztás során kialakuló folyamatokat, így pontosabban lehet meghatározni vele a várható leválasztási fokot.

A modell hitelesítését laboratóriumi mérésekkel, modell kísérletekkel és szakirodalomból származó adatok segítségével végeztem. Az ellenkorona-jelenség eredményeit a korábbi modell eredményeivel is összehasonlítottam.

A továbbiakban az új tudományos eredményeim kerülnek ismertetésre, ahol a tézisek pontos szövege dőlt betűtípussal került kiemelésre. Minden tézisenél szerepel a tézishez kapcsolódó publikációk listája.

## 4. Tézisek

**1. Tézis.** *Létrehoztam egy új, komplex vizsgálatokra alkalmas numerikus elektrosztatikus porleválasztó modellt, amely az eddigi polidiszperz, a villamos és áramlási teret együttesen figyelembe vevő modell továbbfejlesztése révén képes*

- a villamos és áramlási tér együttes hatásának az eddigieknél pontosabb együttes figyelembevételével,
- a táplálás rendkívül gyors változásainak kezelésével,
- a különösen nagy ellenállású porok viselkedésének figyelembevételével

*az elektrosztatikus porleválasztó berendezések (ESP) impulzus üzemének modellezésére.* [Iváncsy & Berta, 2002b], [Iváncsy et al., 2007a], [Iváncsy et al., 2007b] [Iváncsy et al., 2009a], [Iváncsy et al., 2004], [Iváncsy et al., 2009c], [Iváncsy et al., 2009b], [Németh & Iváncsy, 2006], [Iváncsy et al., 2006b], [Iváncsy & Suda, 2005], [Suda et al., 2006], [Tamus et al., 2008]

A kifejlesztett numerikus elektrosztatikus porleválasztó modell moduláris felépítése lehetővé teszi a modell módosításait a meglévő modulok cseréjével, illetve módosításával. A modell egyes moduljai egy adatstruktúrán keresztül kommunikálnak egymással. Ez az adatstruktúra minden olyan információt tartalmaz, amely a modellezett folyamatok leírásához szükséges.

A modell első modulja az áramlási teret számítja. Az áramlási teret számító modul figyelembe veszi a korona elektródok áramlási nyomát és a villamos szelet is [Suda, 2007]. Több olyan modell is létezik, amely figyelembe veszi valamilyen módon a villamos szél hatását, azaz elektrohidrodinamikusan áramlási teret számít, ezek azonban többnyire nem veszik figyelembe a tértöltések villamos szél erősségét módosító hatását (például Gallimberti [Gallimberti, 1998]), vagy csak egyetlen korona elektróddal számolnak, ami miatt a korona elektród áramlási tér módosító hatását nem tudják kellőképpen figyelembe venni (például Fujishima [Fujishima et al., 2004]).

A következő lépés a porleválasztó elektródjai között az alkalmazott tápfeszültség által kialakított villamos térerősség számítása. Az ezt követő lépésekben számított mennyiségeket csak iteráció segítségével lehet meghatározni, így ciklusba vannak szervezve.

A ciklus első lépéseként a portértöltés és az iontértöltés kerül kiszámításra, amelyek befolyásolják a porleválasztóban kialakuló villamos térerősséget. Az így kalkulált villamos térerősség adatokat a következő áramlási tér számításnál a villamos szél kalkulálásakor a modell figyelembe veszi. A portértöltés számítás ismét csak iterációval lehetséges, ami így egy újabb ciklus az előzőn belül.

A por töltődésének kiszámításához szükséges a porszemcsék töltődésének modellezése is. Ha ismert a villamos térerősség és a leválasztandó részecskék töltése, akkor számítható a villamos tér és az áramlási tér által a részecskére ható erők együttes hatása, ami meghatározza a részecskék mozgását a porleválasztó belsejében. A részecskék elmozdulásának hatása miatt számítani kell a megváltozott portértöltés-sűrűséget, illetve a felfogó elektródot elérő, leválasztódó szemcsék mennyiségét is.

A leválasztásra került részecskék bizonyos hatások miatt ismét visszakerülhetnek a gázáramba, ezt veszi figyelembe a porvisszalépést számító modul. A porvisszalépés egyik oka

az áramló gáz, ami a már leválasztott részecskéket visszakeveri a gázáramba. Ezt a modellt statisztikus módon veszi figyelembe. A másik ok a kialakuló ellenkorona-kisülés lehet, amelynek hatására nagy mennyiségű leválasztott részecske kerül vissza a gázáramba, amit szintén figyelembe vesz a porvisszalépést számító modul.

Ezen a ponton a számított eredmények ismét a modell elejére kerülnek, és ezeket felhasználva számít az áramlási tér számító modul egy újabb lépést. Ez azt jelenti, hogy az egész számítás ciklikusan ismétlődik, és az előző lépésben kiszámított eredményeket felhasználva folytatódik a folyamat számítása.

Ezen számított eredményekből kiszámítható a porleválasztás foka bármely ciklus végén, azaz az, hogy a belépő összes porból mennyi kerül leválasztásra, illetve mennyi hagyja el a porleválasztó berendezést. Természetesen megfelelően nagy számú ciklus futása esetén lesz értékelhető az eredmény.

Ezzel a módszerrel a legnagyobb ciklus időlépésének megválasztásával tetszőlegesen gyors változásokat figyelembe tudok venni a porleválasztó modellben, de a nagyon kis időlépés választása értelemszerűen a szimuláció teljes idejének növekedését eredményezi.

**2. Tézis.** *Az új komplex ESP modellben a donor-cella módszert alkalmaztam oly módon, hogy a modern elektrosztatikus porleválasztókban lejátszódó gyors tértöltés-változásokon túl a modell képes legyen figyelembe venni a felfogó elektródon lerakódó por töltését és az ellenkorona-kisülések által okozott tértöltés-változásokat is.*

[Iváncsy et al., 2009a], [Iváncsy et al., 2004], [Iváncsy et al., 2009b], [Iváncsy et al., 2006b], [Tamus et al., 2008]

A portértöltés és iontértöltés számítására olyan számítási módszert kellett választanom, amely képes az impulzus üzemű táplálás során fellépő gyors térerősség- és tértöltés-változások követésére. Ennek a feladatnak a megoldására megfelelő választás a donor-cella módszer [Levin & Hoberg, 1990], [Meroth et al., 1999], [Meroth et al., 1996a], [Meroth et al., 1996b].

A donor-cella módszer a számított teret nem reguláris (nem azonos cellaméretű) ráccsal osztja fel. Ez a felosztás előnyös amiatt, mert az elektródok környezetében a tér nagyobb gradiensű változásainak pontos modellezéséhez finomabb rácsra van szükség, míg az utca közepén nem szükséges már olyan finom felbontás a modellezéshez. Ez ráadásul egybevág az áramlási tér modellezéséhez alkalmas rácsozás finomságával, így azonos rácsot lehet használni a két rész modellezéséhez.

A módszer ezekben a cellákban kezelni tudja a töltések felhalmozódását. Ez a tulajdonsága azért fontos, mert az impulzus üzemű táplálás modellezésekor nem feltételezhetünk állandósult ionáramot, illetve állandósult töltés eloszlást. A feszültség impulzusok hatására az ionáram, illetve a por mozgása nem egyenletes, így bizonyos helyeken rövid ideig felhalmozódhatnak a töltések. A donor-cella módszer ezt kezelni tudja.

A donor-cella módszer töltésfelhalmozódást kezelő képességét használtam ki arra, hogy a felfogó elektródon felhalmozódott por töltését figyelembe lehessen venni a modellben. A felfogó elektródon lerakódott por töltése befolyásolja a porleválasztó utcában kialakuló villamos teret és hatással van az ellenkorona-kisülések kialakulására is. Amennyiben kialakult az ellenkorona-kisülés, a donor-cella módszert alkalmazva számítom az ellenkorona-kisülések által a porleválasztó utcába juttatott töltések hatását is. Ezek a töltések a már feltöltött részecskéket ellentétes töltésűre töltik fel, ami hatással van a leválasztási fokra, hiszen ezeket a részecskéket újra kell tölteni a megfelelő polaritással.

A felfogó elektródon felhalmozódott töltött részecskék a módszer által használt nem reguláris rács felfogó elektródon megadott celláiban halmozódnak fel. A felfogó elektródon felhalmozódott töltések a por fajlagos ellenállásának megfelelően, a kialakuló ellenkorona-kisüléssel vagy a kopogtatás eredményeként távoznak. A módszer lehetővé teszi az ezen fizikai folyamatoknak megfelelő számítást.

Mivel az iontértöltés és portértöltés kiszámítása iterációs módon történik, így a donorcella módszer alkalmazva az ellenkorona-kisülések által létrehozott ionáramot is figyelembe tudom venni a modellben.

**3. Tézis.** *Az impulzus üzemű táplálás paramétereinek függvényében az új komplex ESP modell segítségével meghatározható az ellenkorona-kisülés kialakulásához szükséges időtartam és az ellenkorona-kisülés intenzitása, illetve a modell segítségével a villamos táplálás paramétereit úgy választhatóak meg, hogy ellenkorona-kisülés még ne alakuljon ki.*

[Iváncsy et al., 2009a], [Iváncsy et al., 2009c], [Iváncsy et al., 2009b]

Az elektrosztatikus porleválasztás folyamatának egyik nagyon fontos jelensége az ellenkorona-kisülés. Az ellenkorona-kisülés kialakulása jelentősen csökkenti a porleválasztás hatékonyságát. A jelenség során nagy mennyiségű por jut vissza a gázáramba a felfogó elektródon már leválasztott porból.

Az ellenkorona-jelenség kialakulását jelentősen befolyásolja a por fajlagos ellenállása és a porréteg vastagsága illetve a kopogtatás gyakorisága. Minél nagyobb a por fajlagos ellenállása, annál lassabban távozik a felületéről a feltöltés folyamán felhalmozott töltés, így a felfogó elektródokon felhalmozódó, egyre vastagodó porréteg csak nagyon lassan veszíti el töltését. A felhalmozott töltések térerőssége így helyenként akkora térerősséget alakít ki, amely képes átütni a porréteget. Az átütés során egyrészt a leválasztott por kerül vissza a gázáramba, másrészt az átütésen mint elektródon kialakuló koronakisülések a korona elektródokon kialakuló koronakisüléssel ellentétes előjelű ionokat juttatnak a leválasztó térbe.

Ennek a folyamatnak a modellezése igen fontos az elektrosztatikus porleválasztó berendezések leválasztási fokának meghatározásához. Az ellenkorona modellezése két részre bontható. Az egyik része a porréteg vastagodása során a felfogó elektród és a porréteg által kialakított villamos térerősség időfüggvényének meghatározása. A másik része az ellenkorona áramának meghatározása, és ennek az áramnak a hatása az iontértöltésre és a portértöltésre.

A villamos térerősség meghatározásánál figyelembe kell vennem a porréteg időbeni vastagodását, illetve a kopogtatáskor a hirtelen vékonyodását. A számításoknál a felfogó elektródot a modellben szakaszonként veszem figyelembe, ahol a szakaszokra a porréteg vastagsága egy adott pillanatban egyforma, a vastagodása az adott szakaszra szintén azonos és az adott szakaszon a korona áramsűrűséget is azonosnak tételezem fel. Ezeket a feltételezéseket használva kiszámítható a felfogó elektród és leválasztott porréteg együttesen a villamos térerősség.

A villamos térerősség a porréteg vastagodásával egy idő után eléri azt a kritikus térerősséget, mely térerősség esetén kialakul az ellenkorona-kisülés. Figyelembe véve a por és a táplálás tulajdonságait, meghatározható, hogy mennyi idő alatt vastagodik meg a porréteg egy adott szakaszon annyira, hogy az adott táplálás és porkoncentráció mellett kialakulhasson az ellenkorona-kisülés.



A korona elektródon kialakuló korona kisülések által létrehozott ionáram a lerakódott poron keresztül jut el a földelt felfogó elektródra. Ez az áram a poron áthaladva feszültséget hoz létre, ami a por töltésével együttesen hozza létre azt a feszültséget, ami az ellenkorona-kisüléshez vezet. Minél nagyobb a por fajlagos ellenállása, annál nagyobb ez a feszültség. A táplálás módosításával az ionáram okozta feszültség összetevő változik, megfelelő módosítással csökkenthető, ami késlelteti az ellenkorona-kisülések kialakulását. Csak vastagabb porréteg esetén jön létre az átütéshez illetve az ellenkorona-kisülés kialakulásához szükséges feszültség.

A módosításokkal a modell képes az impulzus üzem hatásainak és az ellenkorona-kisülésnek a hatékony és gyors számítására, a rácsozás felfogó elektródhoz közeli cellát használva, és kihasználva a donor-cella módszer töltésfelhalmozódás kezelő képességét.

**4. Tézis.** *Az ESP geometriai adatai, a por fizikai jellemzői és a villamos táplálás paramétereinek alapján az új komplex modell fizikailag pontosabban írja le az impulzus üzem során lejátszódó folyamatokat, és ilyen módon további segítséget nyújt a korszerű porleválasztók tervezéséhez és üzemeltetéséhez.*

[Iváncsy et al., 2009a], [Iváncsy et al., 2004], [Iváncsy et al., 2009c], [Iváncsy et al., 2009b], [Iváncsy et al., 2011a], [Iváncsy et al., 2011b], [Iváncsy et al., 2006b], [Iváncsy & Suda, 2005], [Suda et al., 2006], [Tamus et al., 2008], [Iváncsy et al., 2011a], [Iváncsy et al., 2011b]

Az elektrosztatikus porleválasztó berendezések numerikus modelljeiben nagyon fontos kérdés az, hogy a porleválasztás folyamatának mely összetevőit, milyen paramétereket vesz figyelembe a modell. A folyamat összetettsége miatt szükség van bizonyos elhanyagolásokra ahhoz, hogy a modell számítások ideje ésszerűen rövid maradjon. A számítástechnika rohamos fejlődése természetesen nagyobb teret enged a figyelembe vett folyamatok és paraméterek körének bővítésére.

Az elektrosztatikus porleválasztás folyamatában a következők játszanak szerepet:

- tértöltés villamos tér (iontöltés és portöltés),
- ionizáció (a generált szabad töltések és az ionszél),
- részecskék töltése, telítési töltés és töltődési folyamatok (diffúziós töltődés, tértöltődés és együttes töltődési folyamat),
- gázáramlás (turbulens határ réteg áramlás),
- por leválasztás, porréteg vastagodása,
- por visszalépés, ellenkorona-kisülés.

Ezen jelenségek a mai modern, impulzus üzemű elektrosztatikus porleválasztó berendezések esetében csak akkor modellezhetőek pontosan, ha a modell nem csak állandósult állapotot képes kezelni, hanem a gyors (kis időállandójú) és a lassú (nagy időállandójú) változásokat is képes modellezni. Az impulzus üzem modellezésekor a gyors változások követésére van szükség, mivel a tápfeszültség ms és  $\mu$ s nagyságrendű változásait kell modellezni. A lassú változások követése az elektrosztatikus porleválasztó berendezések hosszabb működésének modellezésénél szükséges, mikor az elektródokra rakódó por vastagságát<sup>3</sup>,

---

<sup>3</sup>A felfogó és koronázó elektródokon is van por lerakódás, a koronázó elektródokon jellemzően lassabb ez a folyamat.

a bejövő por minőségének változását (például a kazánok tüzelőanyagának váltásakor) kell követni. Az ilyen változások miatt a lerakódott porrétegben a por tulajdonságai nem egyformák, amit a porréteg töltésének elvezetésekor, az ellenkorona-kisülés keletkezési idejének számításakor és az ellenkorona-kisülés áramának számításakor is figyelembe kell vennem. A koronázó elektródokon lerakódott porréteget modellezésére a legegyszerűbb modell az elektród sugarának lassú növekedése lehet, ami a kialakuló korona kisülések intenzitását befolyásolja és így a por töltődésének folyamatát.

Az általam létrehozott modell képes a fentebb említett folyamatokat megfelelő módon figyelembe venni, és így az impulzus üzemet és a hosszútávú működés közbeni változásokat is figyelembe venni. Ezen folyamatok követését a donor-cella módszer módosított felhasználásával, módosított ellenkorona modell alkalmazásával és a korona elektródok vastagságának lassú változtatásával tettem lehetővé.

## 5. A gyakorlati alkalmazás lehetőségei

Az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások részeként a levegőtisztaságra vonatkozó előírásokat is egyre szigorítják. Az ipar résztvevőinek az előírások betartására két alapvető lehetőségük van. Az egyik új porleválasztó berendezések építése, amelyek képesek az előírásoknak megfelelő porkibocsájtást biztosítani. A másik megoldás a már meglévő berendezések felújítása úgy, hogy azok képesek legyenek a szigorúbb előírásoknak megfelelni. Az elektrosztatikus porleválasztó berendezések nagy beruházási költségei miatt előnyös a már meglévő berendezések felújítása.

A kifejlesztett komplex numerikus elektrosztatikus porleválasztó modellel lehetővé válik a tervezett vagy felújítás előtt álló berendezések előzetes vizsgálata. Egy pontos modell lehetővé teszi különböző paraméterek meghatározását, illetve a tervezett paraméterekről megmondható, hogy azokkal a porleválasztó hogyan fog üzemelni. Minél több paramétert képes figyelembe venni a modell, annál pontosabban képes meghatározni a valós berendezés leválasztási fokát. Az elkészült modell az eddigieknél több folyamatot képes számítani, pontosabban képes a különböző paramétereket figyelembe venni a modern impulzus üzemi esetben is, így alkalmas lehet az elektrosztatikus porleválasztó berendezés tervezése illetve felújítása során felmerülő kérdések megválaszolására kis költségekkel.

Az újonnan kialakított modell alkalmazható olyan esetekben is, mikor az elektrosztatikus porleválasztó berendezések működését olyan esetben szeretnénk vizsgálni, ahol a porleválasztóba érkező por tulajdonságai változnak. Ilyen esetekben nagyobb időtartamok modellezésére van szükség nagy pontossággal, amit a modell lehetővé tesz.

A számítástechnika rohamos fejlődése, a számítási kapacitások rendkívüli növekedése lehetővé teszi egyre pontosabb numerikus modellek létrehozását úgy, hogy a számítási idő igény ne, vagy alig növekedjen. Ez további fejlesztésekhez nyújt újabb lehetőségeket.

## A jelöltnek az értekezés témakörében készült tudományos közleményei

- [Iváncsy & Berta, 2002a] Iváncsy T. & Berta I. (2002a). Die Rolle von Elektrofiltern in der Luftreinigung. In *14 Frühlingsakademie* (pp. 32–36). München, Germany.
- [Iváncsy & Berta, 2002b] Iváncsy T. & Berta I. (2002b). Numerical modelling of pulse energised electrostatic precipitators. In *IEEE Postgraduate Power Conference* (pp. 7–10). Budapest, Hungary.
- [Iváncsy et al., 2007a] Iváncsy T., Kiss I., & Berta I. (2007a). Effect of impulse mode ESP energisation on fine particle removal. In *1st International Youth Conference on Energetics* Budapest, Hungary.
- [Iváncsy et al., 2007b] Iváncsy T., Kiss I., & Berta I. (2007b). Numerical analysis of the effect of pulse energisation on back corona formation in electrostatic precipitators. In *15th International Symposium on High Voltage Engineering* Ljubljana, Slovenia.
- [Iváncsy et al., 2009a] Iváncsy T., Kiss I., & Berta I. (2009a). Improved model for the analysis of back corona in pulse energised electrostatic precipitators. *Journal of Electrostatics*, 67, 146–149.
- [Iváncsy et al., 2004] Iváncsy T., Kiss I., Suda J. M., & Berta I. (2004). Efficiency of the precipitation of fine particles influenced by the ESP supply mode. In *IX International Conference on Electrostatic Precipitation* (pp. A01 1–5). Kruger Gate, South Africa.
- [Iváncsy et al., 2009b] Iváncsy T., Kiss I., Suda J. M., & Berta I. (2009b). New aspects of pulse energisation of electrostatic precipitators. In *2nd International Youth Conference on Energetics* (pp. 1–5). Budapest, Hungary.
- [Iváncsy et al., 2011a] Iváncsy T., Kiss I., Suda J. M., & Berta I. (2011a). Modelling of complex physical processes in electrostatic precipitators. *Journal of Physics: Conference series*, 301, 012060.
- [Iváncsy et al., 2011b] Iváncsy T., Kiss I., Suda J. M., & Berta I. (2011b). Some aspects of "long term" modelling of electrostatic precipitators. In *XII International Conference on Electrostatic Precipitation* Nürnberg, Germany.
- [Iváncsy & Suda, 2005] Iváncsy T. & Suda J. M. (2005). Behaviour of polydisperse dust in electrostatic precipitators. *Journal of Electrostatics*, 63(10), 923–927.
- [Iváncsy et al., 2006a] Iváncsy T., Suda J. M., Kiss I., & Berta I. (2006a). Finom porok kibocsátásának csökkentése elektrosztatikus porleválasztókkal. In *A tudomány napja* (pp. 1–4). Dunaújváros, Hungary.
- [Iváncsy et al., 2006b] Iváncsy T., Suda J. M., Kiss I., & Berta I. (2006b). Novel ESP model for impulse energisation. In *X International Conference on Electrostatic Precipitation* (pp. 6B3 1–7). Cairns, Australia.
- [Iváncsy et al., 2009c] Iváncsy T., Suda J. M., Kiss I., & Berta I. (2009c). Modeling of back corona in pulse energized "multizone" precipitators. In K. Yan (Ed.), *Electrostatic Precipitation* (pp. 395–398). Springer Berlin Heidelberg.
- [Kiss et al., 2001a] Kiss I., Iváncsy T., & Berta I. (2001a). New results of fuzzy logic based ESP modelling. In *VIII International Conference on Electrostatic Precipitation* (pp. A1–7 1–4). Birmingham, Alabama, USA.
- [Kiss et al., 2004] Kiss I., Iváncsy T., & Berta I. (2004). Precipitation of fine particles considering uncertain dust properties. In *IX International Conference on Electrostatic Precipitation* (pp. A06 1–5). Kruger Gate, South Africa.

- [Kiss et al., 2009] Kiss I., Iváncsy T., Németh B., & Berta I. (2009). Advanced risk analysis for the application of ESP-s to clean flammable gas-pollutant mixtures. In K. Yan (Ed.), *Electrostatic Precipitation* (pp. 50–53). Springer Berlin Heidelberg.
- [Kiss et al., 2001b] Kiss I., Suda J. M., & Iváncsy T. (2001b). Elektrosztatikus porleválasztók modellezése. In *A tudomány napja* (pp. 1–4). Dunaújváros, Hungary.
- [Kiss et al., 2002] Kiss I., Suda J. M., & Iváncsy T. (2002). The effect of the spatial distribution of particles on the ESP's performance. In *Scientific Colloquium of High Voltage Engineering* (pp. 255–259). Kosice, Slovakia.
- [Németh & Iváncsy, 2006] Németh B. & Iváncsy T. (2006). Advanced ESP modelling in air pollution control. In *WEEC 2006* (pp. 1–4). Washington DC, USA.
- [Suda et al., 2005] Suda J. M., Iváncsy T., & Kiss I. (2005). Turbulent flow field of the model ESP influenced by the inlet conditions. In *MicroCAD 2005 International Scientific Conference, University of Miskolc* (pp. 113–120). Miskolc, Hungary.
- [Suda et al., 2006] Suda J. M., Iváncsy T., Kiss I., & Berta I. (2006). Complex analysis of ionic wind in ESP modelling. In *X International Conference on Electrostatic Precipitation* (pp. 3B1 1–11). Cairns, Australia.
- [Tamus et al., 2008] Tamus Z. Á., Kiss I., Berta I., & Iváncsy T. (2008). Improved modelling of impulse mode ESP energization. *Journal of Physics: Conference series*, 142, 012034.

## Irodalomjegyzék

- [Fujishima et al., 2004] Fujishima H., Ueda Y., Tomimatsu K., & Yamamoto T. (2004). Electrohydrodynamics of spiked electrode electrostatic precipitators. *Journal of Electrostatics*, 62, 291–308.
- [Gallimberti, 1998] Gallimberti I. (1998). Recent advancement in the physical modelling of electrostatic precipitators. *Journal of Electrostatics*, 43(4), 219–247.
- [Kiss, 2004] Kiss I. (2004). *Elektrosztatikus porleválasztó berendezések újszerű modellezése*. PhD thesis, BME.
- [Levin & Hoburg, 1990] Levin P. L. & Hoburg J. F. (1990). Donor cell – finite element descriptions of wire-duct precipitator fields, charges and efficiencies. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 24(4), 662–670.
- [Meroth et al., 1999] Meroth A. M., Gerber T., Munz C. D., Levin P. L., & Schwab A. J. (1999). Numerical solution of nonstationary charge coupled problems. *Journal of Electrostatics*, 45, 177–198.
- [Meroth et al., 1996a] Meroth A. M., Gerber T., Munz C. D., & Schwab A. J. (1996a). A model of the non-stationary charge flow in an electrostatic precipitator. In *VI International Conference on Electrostatic Precipitation* (pp. 130–136). Budapest, Hungary.
- [Meroth et al., 1996b] Meroth A. M., Nicolaus S., Levin P. L., & Schwab A. J. (1996b). Effective solution of 3D charge coupled problems in electrostatic precipitators. In *VI International Conference on Electrostatic Precipitation* (pp. 137–143). Budapest, Hungary.
- [Suda, 2007] Suda J. M. (2007). *Kétfázisú áramlás modellezése elektrosztatikus leválasztóban*. PhD thesis, BME.