

## **ELEKTROMOS IMPEDANCIA TOMOGRÁFIA (EIT)**

- alkalmazásfejlesztési összefoglaló -

### **1. Előzmények**

A Karotázs Tudományos Műszaki és Kereskedelmi Kft. 2009. óta mérőműszer-családot fejleszt komplex elektromos impedancia mérésére. A műszercsalád második generációs mérőeszközeiből 4 prototípus 2011-ben készült el. A harmadik generációs eszköz fejlesztésének befejezése: 2012. okt. 31.

A mérőeszközök 2 fő elektromos impedancia mérési feladat típus végrehajtására alkalmasak:

1. EIT: Elektromos Impedancia Tomográfia, ami roncsolásmentes, nem invazív képalkotási technika;
2. EIS: Elektromos Impedancia Spektroszkópia, roncsolásmentes spektroszkópai eljárás, ami elsősorban anyagjellemzőkre, anyagjellemzők időbeli változásának vizsgálatát teszi lehetővé.

A továbbiakban az EIT-vel kívánunk foglalkozni részletesen.

Jelenleg „mindössze” a mérőeszközök állnak rendelkezésre, a kutatás-fejlesztés következő lépései: a modellkísérletek, a mérési eredmények kiértékelésének (inverzió) fejlesztése (2D, 3D, mozgókép) és alkalmazásfejlesztések.

### **2. Általános ismertetés**

#### **2.1. Geofizikai alkalmazási lehetőségek**

Az EIT alapja a geoelektromos mérések esetében megszokott fajlagos ellenállás mérése, amely akkor végezhető el a legegyszerűbben, ha az altalaj minden irányban azonos fajlagos ellenállású kőzetből épül fel, vagyis geofizikai modellként homogén féltérrel helyettesíthető. Ilyen esetben a kőzet fajlagos ellenállását a következő egyenlet adja meg:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} .$$

Bármilyen elektródaelrendezést alkalmazzanak is a fajlagos ellenállásmérésnél, a vizsgált térfogatok hatalmasak, általában több százezer, vagy sok millió m<sup>3</sup>-es kőzettömegekből történik a meghatározás. Ennek következménye, hogy:

- a) nagy térfogatból számított fajlagos ellenállásértékek erősen átlagoltak, kisebb ellenállás-inhomogenitások hatása nem jelentkezik;
- b) felszíni ellenállásméréssel a homogén anyakkőzettől eltérő fajlagos ellenállású kőzet (réteg vagy betelepülés) csak akkor mutatható ki, ha kiterjedése az elektróda elrendezés méreteivel azonos nagyságrendű vagy annál nagyobb.

A terepi mérések során a fajlagos ellenállás mérése a következő elektróda elrendezések segítségével mérhető: kétpólus elrendezések, hárompólus elrendezések (gradiens elrendezésben is), AMNB (Schlumberger vagy Wenner) elrendezéssel, vagy dipól elrendezésekkel: dipól tengelyirányú (DT) dipól radiális (DR), dipól azimutális, dipól párhuzamos és dipól párhuzamos.

A különböző elektródaelrendezések alkalmazási területe:

- a kis (1 - 400 m) és közepes (400 - 1000 m) mélységű kutatásnál a Schlumberger-elrendezést használják, a vertikális elektromos szondázások 80 - 90%-át ezzel végzik;
- a Wenner-elrendezést a vízszintes szelvényezésnél,
- az AMN-gradiens elrendezést néhány speciális feladat megoldásánál alkalmazzák;
- dipól ekvatoriális elrendezéssel nagy, 1000-6000 m mélységű szondázásokat végeznek (Hátrányuk a nagyobb tápáramigény. Átlagos földtani viszonyok mellett ( $\rho_L = 10 \Omega m$ ) 3000 m mélységben fekvő szint meghatározására 20 km legnagyobb AB távolságú AMNB szondázás, vagy ezzel ekvivalens (10 km legnagyobb dipóltávú) DE szondázás szükséges. Előbbinek tápáramigénye 6 A, utóbbié 43 A, azonos pontosságú látszólagos ellenállás meghatározást ( $\Delta V = 100 \mu V$ ) feltételezve.).

A geofizikai gyakorlatban, a felszíni geoelektromos mérések elektróda konfigurációi a a dipól elrendezések megjelenése óta csak kis mértékben változtak. A mérések kiértékelése azonban az '90-es évek közepe óta nagy fejlődésen ment keresztül. Az azelőtti kézi kiértékelési és szemléltetési módszereket felváltották a számítógépes kiértékelési technikák, köszönhetően a matematikai modellezés ugrásszerű fejlődésének.

Az 1D-s mérések (pl. VESz, HESz) mellett megjelentek a továbbfejlesztett 2D-s, illetve 3D-s elektromos szelvényezési módszerek, amelyek segítségével egy síkmetszetet (2D), vagy egy térrész (3D) határozható meg. A két-, vagy háromdimenziós elektromos szelvényezési módszereket (hasonlóan, mint az orvostudományban) röviden tomográfiának nevezik. Ezek esetében egyszerre több tucat elektródát helyeznek ki felfűzve egy intelligensen vezérelhető kábelre. A mérés végrehajtásához szükséges elektródákat a sorból egy előre leprogramozott mérési algoritmus választja ki. Így akár az összes lehetséges elektróda konfigurációban történhet mérés. A mérések eredményeit úgy képzelhetjük el, mintha az adott területen, pár méterenként szelvényezést és szondázást is végeztünk volna.

A módszerek előnyei az 1D-s méréshez képest, hogy érzéketlen a szelvény menti inhomogenitásokra, gyakorlatilag egy elektromos síkmetszetet, vagy térrészt ad eredményül, valamint gyors és hatékony. Egyetlen hátránya, hogy az elektródák száma határozza meg a behatolási mélységet.

A geofizika gyakorlatában a rezisztív tulajdonságok mérése mellett megjelentek (ennek kibővítéseként) a gerjesztett polarizációs (GP) és indukált polarizációs (IP) jelenségek (pl. kapacitív hatások) mérésére irányuló technikák is, amelyek elsősorban az érckutatás területén terjedtek el.

Ezeken kívül a komplex elektromos impedancia mérésének megjelenése új lehetőségeket kínál a geoelektromos kutatási módszerek alkalmazása esetén. Természetesen ezen paraméternek a mérése esetén is rendelkezésre állnak a tomográfias kiértékelési módszerek, melyek segítségével roncsolásmentes, képpalkotási eljárást kapunk.

Az EIT mérések végrehajtása a szakirodalmi példák alapján [15-21] gyakorlatilag az előbbieken felsorolt elrendezésekben végrehajtható (természetesen a képalkotásnak megfelelően), de ezen kívül a sokcsatornás mérések előnyeként végezhető multielektrodás mérések is, ahol lehetőség van két ponton gerjeszteni és sok ponton mérni, vagy több ponton gerjeszteni és több ponton mérni.

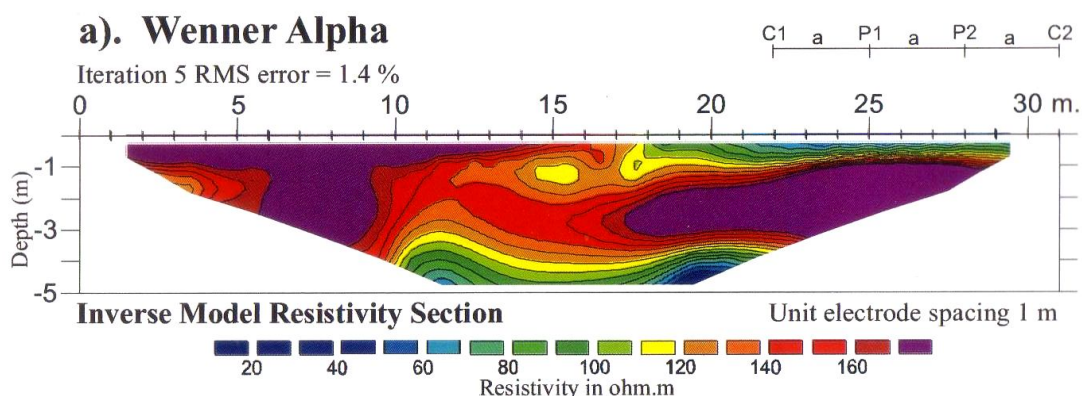
A mérési adatok kiértékelése [17] bonyolult matematikai modellek segítségével, ún. inverz probléma megoldásával lehetséges (a többi EIT mérést alkalmazó tudományághoz hasonlóan). A kiértékelés alapját a következők adják, amennyiben  $f$  áramot  $\Omega$  térrészbe juttatunk:

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla u) = 0 \quad \Omega\text{-ban}$$

$$\sigma \frac{\partial u}{\partial n} = f \quad \partial \Omega$$

Az inverz probléma megoldása és további tényezők figyelembevétele az [17]-ben olvashatóan, igen bonyolult matematikai eljárásokkal lehetséges. Ezek természetesen csak számítógép segítségével értékelhetők ki és jeleníthetők meg színes képek, metszetek formájában.

A mérési eredmények kiértékelésére és megjelenítésére természetesen a piacon megtalálhatók olyan szoftverek, melyek segítségével ez elvégezhető. Ilyenek a GEOTOMO szoftver verziói, amelyekkel ilyen és ezekhez hasonló metszetek jeleníthetők meg:



Egy Wenner elrendezésben készített fajlagos ellenállás mérés kiértékelt metszetrajza

A GEOTOMO szoftver első sorban ellenállás és IP mérés eredményeinek kiértékelésére készült.

Szakirodalom kutatásaink során azonban találtunk olyan kutatókat, akik az orvosi célú, nyílt forráskódú EIDORS programcsomagot módosították geofizikai mérések szemléltetésére. Ez bővebben a [19]-ban olvasható. Az EIDORS-t kifejezetten EIT mérések megjelenítésére fejlesztették ki.

## 2.2. EIT alkalmazása geoelektromos mérések esetében

A szakirodalmi kutatásaink alapján az EIT a geoelektromos mérések tárházának viszonylag új képviselője. Ezt mutatják a szakirodalom jegyzékben látható dátumok.

Az EIT geoelektromos alkalmazhatóságát a következőképpen csoportosíthatjuk:

1. felszíni geoelektromos mérések:

- hidrológiai céllal: felszín alatti vizek térképezése, hidrológiai műtárgyak szivárgása, szigetelési tulajdonságainak vizsgálata
- geológiai képződmények felszín alatti vizsgálata (az EIT információt adhat ezek porozitására, víztartalmára stb. [19]), üregkutatás, agyagásványok vizsgálata, vulkánok vizsgálata

2. felszín alatti mérések:

- felszín alatti létesítmények (vágatok, lejtaknák) falára helyezett elektródákkal végzett mérések [19]
- fúrólukák közti átvilágítás

3. Fúrómagok vizsgálata:

- Elsősorban folyadék telítettség, eloszlás vizsgálatok [20]

4. Környezetvédelmi célú geoelektromos mérések:

- Vízrel nem elegyedő folyadékfázisok kimutatása [21]

### **3. Vegyipari alkalmazási lehetőségek**

A vegyipari alkalmazásokat külön dokumentumban ismertetjük, ezért ebben a fejezetben mindössze a lehetséges konkrét példákat soroljuk fel.

Az EIT eljárás az ipari folyamat monitoring tevékenységek (industrial process tomography) közül a következők végrehajtására lehet alkalmas ezekre találtunk példát:

1. Szilárd-folyadék fázisú rendszerek áramlástanai vizsgálata:

- hidraulikus szállítás és többfázisú rendszerek áramlásmérése
- transzportvizsgálatok (hozam, térfogatáram) hidraulikus, vagy pneumatikus rendszerekben: térfogatarány és sebesség profilok mérése
- szuszpenziók vizsgálata

2. Keverés:

- szilárd-folyadék (négy síkban, síkonként 16 elektródás mérés)
- gáz-folyadék keverés vizsgálata (UMIST, nyolc síkban, síkonként 16 elektródás mérés)
- különböző viszkozitású folyadékok keverése (UMIST, nyolc síkban, síkonként 16 elektródás mérés)

3. Szeparálás (szétválasztás):

- Ciklonok üzemvitele: szilárd-szilárd, szilárd-folyadék, folyadék-folyadék (UMIST, nyolc síkban, síkonként 16 elektródás mérés)
- Habzás vizsgálata

- Szűrési eljárások
- 4. Reaktorok vizsgálata:
  - Polimerizáció vizsgálata
  - Fluidágyas reaktorok
  - Nagynyomású reaktorok „tranzienst” áramlásának vizsgálata

## **4. Induló alkalmazásfejlesztéseink**

### **4.1. Ipari igények**

#### 4.1.1. Anyageloszlás vizsgálatok

Fluidágyas kazánok esetében felmerül néhány megoldásra váró kérdés, mely kulcsfontosságú lehet ezek üzemeltetése kapcsán. A kazán bemenetén feltételezések szerint jelentős mennyiségű meddőanyag kerül, ami nagy mennyiségű salakanyag keletkezését eredményezi. A fluidány üzemviteli paramétereinek mérése is szükséges lenne, ugyanis az ágyhoz használt homok tisztán bekerülve fokozatosan szennyeződik, kormosodik, majd fokozatosan nagyobb góccokba összeáll ellehetetlenítve a kazán megfelelő működését. Ezen kívül az ágyba a tüzelőanyaggal bekerülhetnek idegen anyagok is, amelyek szintén működési rendellenességet okozhatnak. Az említettek halmozódása a fluidágy bizonyos időközönkénti cseréjét indokolják. A kazánból a füstgázzal távozó hamu elektrosztatikus porleválasztóba jutva a porleválasztó elektródáira cementálódik, annak eltávolítása csak mechanikai úton lehetséges, ami nem minden esetben teszi lehetővé a porleválasztó folyamatos üzemvitelének fenntartását.

További említendő műszaki probléma a keletkező pernye tárolásában rejlik, ugyanis e közben a pernye összecementálódik és ez által megnehezíti a további felhasználást, mivel azt mechanikai úton aprítani kell.

Kiemelendő még a turbinaolajok víztartalmának vizsgálata (emulzióvizsgálat) is, hiszen az olajban levő víz a kenést csökkenti, ami fokozott kopás, vagy akár a turbina meghibásodását is eredményezheti.

Ezen megoldásra váró kérdések kivizsgálásához és javaslataink kidolgozásához kívánunk olyan mérési eljárásokat, lehetőleg in-situ mérési módszereket fejleszteni, amelyeket segítségével előremehetünk a problémának.

#### 4.1.2. Felszíni geoelektromos mérések: talajvizsgálatok, térképezés talajtisztítási módszerek monitoringja

Magyarországon, napjainkban a talajszennyezők felszín alatti emisszió, transzmisszió, de immiszió vizsgálata is fűrés és mintavétel segítségével történik. Így a szennyezettnek vélt területet, szerencsésebb esetben egy raszter szerint kis mélységű kutató fűrés segítségével feltárják, majd mintát véve az egyes fűrésből megállapítják az adott helybeli szennyezőanyag-koncentrációt. A módszer legnagyobb hátránya, hogy igen drága, hiszen a megfelelő térképezési felbontás eléréséhez igen nagy számú fűrés szükséges, ami komoly beruházási költséget jelent. Még a nagy számú fűrés esetében is fennáll a bizonytalanság, hogy nem ad pontos képet a tisztítani kívánt területről. Ugyanezen érvek vonatkoznak a

kibocsátásra és a transzportra is, hiszen az egyes talajszennyezők talajba jutásának és továbbterjedésének felderítése is lényeges tényező.

Példaként említhetjük erőművek, vagy bányaterületek meddőhányóit, zagyártározóit, ahol számolni kell a csapadék által kimosott anyagok talajvízbe való bejutásával (pl. szulfátok, oldható vegyületek stb.). Más, ipari területeknél széles körben előforduló talajszennyezés típus az olajszennyezés, amely az ipari folyamatok során felhasznált olajok, fűtőolajok stb. talajba jutásának eredménye. Ezen szennyezések feltárása a környezetvédelmi gyakorlatban szinte kizárólag kis mélységű fúrások mélyítésével, majd mintavételezéssel és laborvizsgálatokkal történik.

Ezen indokok alapján érezzük szükségesnek olyan roncsolásmentes mérési eljárások környezetvédelmi adaptálását, amelyek széles körű alkalmazhatósága lehetővé teszi, hogy in-situ, relatíve egyszerű és gyors mérési eljárással végezhessük a szennyezőanyag kutatást, tisztítási eljárás nyomon követését, vagy egyéb monitoring tevékenységet.

## 4.2. Céljaink

A fentebb említett ipari problémák megoldása érdekében célunk, hogy pályázati projekt megvalósulása során olyan az iparban, vagy más tudományterületeken elterjedt mérési módszereket fejlesszünk, melyek adaptálásával reprezentatívabb, egyszerűbben kivitelezhető és akár a mérés helyszínén értelmezhető mérési módszerekhez jussunk. Ezen módszerek bevezetésével és alkalmazásával nem csak a környezetvédelmi mérés technika repertoárját korszerűsítjük, hanem az oktatásba való bevonásával az oktatási színvonalat is növelni tudnánk.

Célunk, hogy mérőrendszerünket továbbfejlesztve, olyan mérési módszerekhez jussunk amelyek

- Esetében lehetőleg nincs szükség fizikai kontaktusra a folyadék és a detektorok között, így a detektorokat a cső külső falára, vagy a vizsgált térfogat felszínén elhelyezve végezhető el a mérés,
- szélesebb méréstartományt tesznek lehetővé, így például az indukciós elvet alkalmazó rendszerek alsó méréshatára alatt is működhetnek, megfelelően ezzel a reaktorok működése során alkalmazott alacsony sebességek által támasztott kritériumoknak,
- a mérés végeredménye lehetőleg 2D-s, 3D-s profil, vagy mozgókép, ami színes képen ábrázolva igen könnyen kiértékelhető, esetlegesen a mérés elvégzésével a mérési képernyőn a vizsgált rendszer áramlási viszonyai láthatóak.

Ennek alkalmazásai a környezetvédelemben, így a reaktorhidraulikában szinte korlátlan lehetőségeket rejt magában, hiszen csőszakaszok, műtárgyak áramlási viszonyait térképezhetjük fel, ezen keresztül a szennyvíztisztításban, egyéb tisztítási eljárásokban, valamint gyártástechnológiák (vegyipar) során alkalmazott reaktortípusait működését ismerhetjük meg, monitoring tevékenység folytatásával optimálisabb (takarékosabb) üzemeltetést alakíthatunk ki.

A szivárgás vizsgálati módszerek megismerésével, a környezetvédelmi mérés technika gyakorlatába adaptálásával olyan mérési eljárásokat nyernénk, amelyek gyakorlati haszna igen jelentős, mind az üzemeltetés, felülvizsgálatok, állapotértékelések, szennyezőanyag talajbéli transzportjának vizsgálata, riasztások, katasztrófa-előjelzések tekintetében.



#### 4.2.1. Vizualizációs reaktorhidraulikai vizsgálatok

Reaktorok áramlástanai vizsgálata kulcsfontosságú, ugyanis amennyiben egy reaktor áramlástanai szempontból nem megfelelően működik, az általában magával más fontos üzemelési paraméterek (pl. tisztítási tulajdonságok) kedvezőtlen alakulását is eredményezheti. Az ilyen jellegű problémák feltárásában a tartózkodási idő vizsgálata mellett kiemelt jelentőségű az áramló rendszer sebességviszonyainak vizsgálata is.

A folyadékáramlás mérés gyakorlatában rendelkezésre álló mérőrendszerek jelenleg csak az áramló közeggel fizikai kontaktusban lévő detektorokkal képesen feladatukat ellátni, e miatt valamilyen mértékben beavatkoznak a mérendő áramképbe. Ezen kívül a mérés eredménye minden esetben átlagsebesség, ami a vizsgált jelenséget „csak” globálisan jellemzi. Számos esetben ez az információ nem elegendő a vizsgált jelenség leírásához.

Áramlási sebesség mérésére széles körben alkalmazzák az indukciós elvet, mely azt használja ki, hogy homogén mágnes térben mozgó vezető hatására feszültség indukálódik. Az indukált feszültség egyenesen arányos a vezető mozgási sebességével, azaz a folyadék áramlási sebességével. A jelenlegi indukciós áramlásmérők alkalmazásának korlátai, hogy a vizsgált folyadék vezetőképessége nem lehet kisebb, mint kb.  $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ , illetve méréstartománya kb. 2 – 10 m/s közé tehető. Ez a tartomány reaktorok vizsgálata során nem alkalmazható, hiszen a nagy tartózkodási idők eléréséhez kis áramlási sebesség szükséges. Ezekon kívül a mérés során meghatározott sebesség a teljes keresztmetszetre értendő átlag. Továbbiakban ki kell emelnünk, hogy jelenleg az áramlási sebesség méréstechnikájában kizárólag olyan megoldások léteznek, melyek esetében a detektornak fizikai kontaktusban kell lennie mérendő közeggel.

#### 4.2.2. Vizualizációs hidrológiai és talajvizsgálatok, szivárgás-vizsgálatok (felszíni geoelektromos mérések)

A környezetünkben megtalálható víz, illetve más folyékony halmazállapotú anyagok porózus közegben való mozgása, vagy éppen mozgásának akadályoztatása a környezetvédelem főbb szakterületeinek (pl. vízminőség-védelem, hidrológia, hulladékgazdálkodás talajvédelem stb.) kulcsfontosságú kérdése. Így főként a vízgazdálkodás területén, de más ipari tevékenységek esetében is alkalmaznak vízzáró tereptárgyakat (pl. vízzáró gátakat), amelyek állapotvizsgálata, monitoringja alapvető információval szolgál, így ezek akár katasztrófhelyzetek megelőzését is elősegítheti. Ezzel azonos célú mérési és monitoring tevékenység folytatható a hulladéklerakók vízzáró rétegeinek (szigetelésének) ellenőrzésére. Talajvizsgálatok esetében a fejleszteni kívánt mérési módszerek segítségével a talajfelszínről behatárolható az egyes talajszennyezők (ilyen tipikusan a folyékony szénhidrogén) szennyezőanyag teste. Ezen kívül talaj-, kőzetmintákon szivárgási vizsgálatok is végrehajthatók. Az információ gyűjtés lényege a mérés eredményeként a mintában szétterjedő folyadék áramlását vizsgálhatjuk akár terepi mérőműszer és mérési módszer segítségével.

#### 4.2.3. Felszíni geoelektromos mérések permafrost kutatásra

Mérési elv: mérés idő és frekvenciatartományban elektromos impedancia méréssel vizsgáljuk a talaj vezetőképesség változását. Max 64 elektródás méréssel, aktív szondavonatokkal, programozható (2 év) mérő adatgyűjtővel.

Tulajdonságok:

- Elektroda távolság:  $d=1$  m
- Tervezett lehatolás: 8-10 m
- Felbontás: felszínhez közeli néhány méteres tartományban: 30-50 cm.
- Elektrodák mérete: 30-60 cm.
- A műszerdoboz kivitele a legmagasabb IP védelmi fokozattal kell rendelkezzen.
- A csatlakozók és a kábelek szintén magas minőségű, időjárás elleni védelemmel kell rendelkezzenek.
- Az akkumulátor a műszeren kívül helyezkedjen el, vagy biztosított legyen annak könnyű cseréje.
- A mérőberendezés mellé a csomagárban adjuk a kereskedelmi szoftvert, valamint egy félipari, esetleg ipari notebookot is az üzemeltetéshez.

A berendezés használatának 'ittthoni' (Retyezát) begyakorlása, valamint ismert területen a mérési eredmények kiértékelése szükséges, hiszen a műszer újszerű mérési elve alapján még nem végeztek méréseket. A kiértékelő szoftver 3D-s, de szükséges hozzá egy a Fourier transzformációt elvégző csatoló szoftver, aminek a segítségével a frekvencia tartomány beli mérési eredményeket a kiértékelő szoftver fogadni tudja.

#### 4.2.4. Karotázs fúrás, kút és fúrás-felszín közti EIT, EIS szelvényezés.

A GOP-1.3.1-08/1-2008-0006 műszerfejlesztés kutak fúrások tesztelésére projektben kifejlesztett mérőberendezések (Mecsek-2011, NPCLOG, PCLOG,...) és az Elektromos Impedancia mérésére műszercsalád fejlesztés (GOP-1.3.1-09/A-2009-0051) eredményeinek összedolgozása, közös hasznosítása a földtani kutatásban, műszer és módszerfejlesztések. Külső szervezetek bevonása a kutatás-fejlesztésbe.

## **5. Szakirodalom:**

- [1] Tomasz Dyakowski, Laurent F.C. Jeanmeure, Artur J. Jaworski: Applications of electrical tomography for gas–solids and liquid–solids flows — a review; Department of Chemical Engineering, University of Manchester, Institute of Science and Technology, PO Box 88, Manchester M60 1QD, UK
- [2] H.S. Tapp, A.J. Peyton, E.K. Kemsley, R.H. Wilson: Chemical engineering applications of electrical process tomography; Institute of Food Research, Norwich Research Park, Colney, Norwich NR4 7UA, UK; Engineering Department, Faculty of Applied Sciences, Lancaster University, Lancaster LA1 4YR, UK
- [3] M. G. Rasteiro<sup>1</sup>, R. Silva, F. A. P. Garcia and P. Faia: Electrical Tomography: a review of Configurations and Applications to Particulate Processes; Department of Chemical Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra Department of Electric and Computers Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra
- [4] Ramani Duraiswami, Kausik Sarkar, Georges L. Chahine: Efficient 2D and 3D electrical impedance tomography using dual reciprocity boundary element techniques; Dynaflo, Inc., 7210 Pindell School Road, Fulton, MD 20759, USA



- [5] N.S. Mera, D. Lesnic: A boundary element method for the numerical inversion of discontinuous anisotropic conductivities; Centre for Computational Fluid Dynamics, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK, Department of Applied Mathematics, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK
- [6] K.Y. Kim, B.S. Kim, M.C. Kim, S. Kim: Dynamic inverse obstacle problems with electrical impedance tomography; Department of Electronic Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, South Korea, Department of Chemical Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, South Korea, Department of Nuclear and Energy Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, South Korea
- [7] Umer Zeeshan Ijaz, Jeong-Hoon Kim, Anil Kumar Khambampati, Min-Chan Kim, Sin Kim, Kyung-Youn Kim: Concentration distribution estimation of fluid through electrical impedance tomography based on interacting multiple model scheme; Department of Electrical and Electronic Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Republic of Korea, Department of Chemical Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Republic of Korea, Department of Nuclear and Energy Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Republic of Korea
- [8] Umer Zeeshan Ijaz, Anil Kumar Khambampati, Jeong Seong Lee, Sin Kim, Kyung Youn Kim: Nonstationary phase boundary estimation in electrical impedance tomography using unscented Kalman filter, Department of Electronic Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Republic of Korea, Department of Nuclear and Energy Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Republic of Korea
- [9] A. Lipponen, A Seppanen, and J. P. Kaipio: Reduced order estimation of nonstationary flows with electrical impedance tomography; Department of Physics and Mathematics, University of Eastern Finland, 70211 Kuopio, Finland, Department of Mathematics, University of Auckland, Auckland, 1142, New Zealand
- [10] Y.S. Fangary, R.A. Williams, W.A. Nell, J. Bond, I. Faulks: Application of electrical resistance tomography to detect deposition in hydraulic conveying systems; Particle and Colloid Engineering Group, Camborn School of Mines, University of Exeter, Redruth, Cornwall TR15 3SE, UK
- [11] R.A. WILLIAMS, X. JIA, R.M. WEST, M. WANG, J.C. CULLIVAN, J.BOND, I. FAULKES, T. DYAKOWSKI, S.J. WANG, N. CLIMPSON, J.A. KOSTUCH and D. PAYTON: INDUSTRIAL MONITORING OF HYDROCYCLONE OPERATION USING ELECTRICAL RESISTANCE TOMOGRAPHY; Centre for Particle & Colloid Engineering, School of Process, Environmental and Materials Engineering, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, UK; Camborne School of Mines, University of Exeter, Redruth, Cornwall, TR15 3SE, UK, Department of Chemical Engineering, UMIST, P.O. Box 88, Manchester M60 1QD, UK, English China Clays International Ltd, John Keay House, St Austell, Cornwall PL25 4DJ, UK
- [12] M.A. Bennett, R.A. Williams: Monitoring the operation of an oil/water separator using impedance tomography; Institute of Particle Science and Engineering, Houldsworth Building, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK

- [13] Olli-Pekka Tossavainena, Marko Vauhkonena, Ville Kolehmainen, KyungYoun Kim: Tracking of moving interfaces in sedimentation processes using electrical impedance tomography; Department of Physics, University of Kuopio, P.O. Box 1627, 70211 Kuopio, Finland, Department of Electronic Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea
- [14] G. Vilar, R.A. Williams, M. Wanga, R.J. Tweedie: On line analysis of structure of dispersions in an oscillatory baffled reactor using electrical impedance tomography; Institute of Particle Science & Engineering, Houldsworth Building, University of Leeds, Clarendon Road, Leeds LS2 9JT, United Kingdom Malvern Instruments Ltd., Enigma Business Park, Grovewood Road, Malvern WR14 1XZ, United Kingdom
- [15] Jari Kourunen, Ritva Käyhkö, Jouni Matula, Jari Käyhkö, Marko Vauhkonen, Lasse M. Heikkinen: Imaging of mixing of two miscible liquids using electrical impedance tomography and linear impedance sensor; Department of Physics, University of Kuopio, Finland, Wetend Technologies Ltd, Kaartilantie 7, FIN-57230 Savonlinna, Finland, Lappeenranta University of Technology, FiberTech-Research Unit, Savonlinna, Finland
- [16] Ville Rimpiläinen, Marko Kuosmanen, Jarkko Ketolainen, Kristiina Järvinen, Marko Vauhkonen, Lasse M. Heikkinen: Electrical impedance tomography for three-dimensional drug release monitoring; Department of Physics and Mathematics, University of Eastern Finland, PO Box 1627, FIN-70211 Kuopio, Finland, School of Pharmacy, University of Eastern Finland, PO Box 1627, FIN-70211 Kuopio, Finland
- [17] Michael Lukaschewitsch: Geoelectrical Conductivity Problems on Unbounden Domains, University of Podstam, april 1998.
- [18] Kimb E. Andersen, Stephen P. Brooks, Martin B. Hansen: Bayesian inversion of geoelectrical resistivity data, Aalborg University, Denmark, University of Cambridge, U.K, Aalborg University, Denmark, 2001.
- [19] Lesparre N., Adler A., Gibert D., Nicollin F.: Electrical Impedance Tomography in geophysics, application of EIDORS, 2011.
- [20] Robert W. Stacey, Kewen Li and Roland N. Horne: ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (EIT) METHOD FOR SATURATION DETERMINATION, Petroleum Engineering Department Stanford University, 2006.
- [21] EPA 542-R-98-020: Geophysical Techniques to Locate DNAPLs: Profiles of Federally Funded Projects, 1998.