

10. C. E. Lenehan, N. W. Barnett, S. W. Lewis: *Analyst*, 127, (2002) 997 (330 cikk)
11. J. Ruzicka: "Lab on-valve: Microflow Analyzer Based on Sequential and Bead Injection. *Analyst*, 125, (2000) 1053
12. D.L. Eichler: *Technicon Symposium, 1969* Vol.1, Mediad, White Plains New York 1970, 51.
13. B.Fleet, A.Y.W. Ho: *Anal. Chem* 46 (1974) 9
14. G. Nagy, K. Tóth, E. Pungor: Novel Programmed Coulometric Titration Technique; Chloride Determination in Streaming Solutions, *Anal. Chem.* 47 (1975) 1460
15. G. Nagy, Zs. Fehér, K. Tóth, E. Pungor: A novel titration technique for the analysis of streamed, samples - The triangle programmed titration technique Part I. General considerations, *Anal. Chim. Acta* 91 (1977) 87
16. G. Nagy, Zs. Fehér, K. Tóth, E. Pungor: A novel titration technique for the

analysis of streamed samples - The triangle programmed titration technique Part II Argentimetric titrations, *Anal. Chim. Acta* 91 (1977) 97

17. G. Nagy, Zs. Fehér, K. Tóth, E. Pungor: A novel titration technique for the analysis of streamed samples - The triangle programmed titration technique Part III. Titrations with electrically generated bromine *Anal. Chim. Acta* 100 (1978) 181
18. G. Nagy, Z. Lengyel, Zs. Fehér, K. Tóth, E. Pungor: A novel titration technique for the analysis of streamed samples - The triangle programmed titration technique Part IV. Automatic evaluation of the titration curves obtained with linear signal detectors, *Anal. Chim. Acta* 101 (1978) 261
19. M.Becker, B.Fuhrmann, U.Spohn: Selective determination of gas dialysable components in complex sample solutions using triangle programmed coulometric titration in continuous flow systems. *Anal.Chim.Acta*, 324, (1996). 115-123.

A kapilláris elektroforézis alkalmazása szervesetlen vegyületek meghatározására

Gáspár Attila*

A kapilláris elektroforézis rövid áttekintése

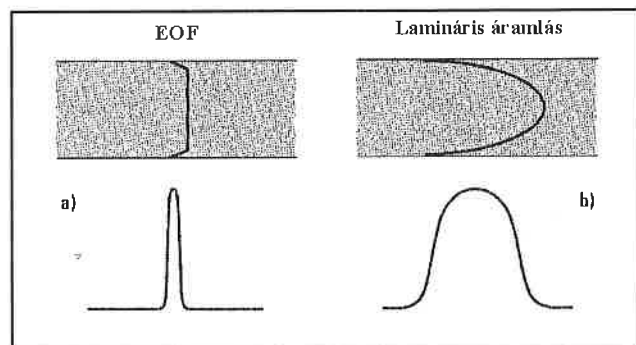
A jelenleg leghatékonyabb elválasztási technikák az elektroforézis elvén alapulnak, melynek lényege, hogy elektromos térben az oldott anyagok különböző sebességgel vándorolnak. A kapilláris elektroforézisnél (CE) az elektroforézis egy vékony, általában 25-75 μm belső átmérőjű, puffer oldattal töltött kapillárisban történik. A kapilláris alkalmazásának számos előnye van, így például az, hogy a kapilláris nagy elektromos ellenállásánál fogva a rendkívül nagy térerő (100-500 V/cm) alkalmazását csekély hőfejlődés mellett teszi lehetővé, ráadásul a fejlődött hő (Joule-hő) a kapilláris nagy felület/térfogat aránya miatt jól eloszlik. A nagy elektromos térerő használata rövid mérési időt, valamint nagy elválasztási hatékonyságot és felbontást biztosít. Az elméleti tányérszám, a kapillárison belüli elektroosmotikus áramlás dugószerű profiljának köszönhetően, sok esetben meghaladja a 10^6 értéket. Az elektroosmotikus áramlás lehetővé teszi valamennyi oldott részecske egyidejű vizsgálatát, tekintet nélkül a részecske töltésére. A CE minimális mintamennyiséget (1-10 nl) igényel, könnyen automatizálható. A módszer egyik legnagyobb előnye a lehetséges alkalmazások rendkívül széles köre. Míg a kapilláris elektroforézist eleinte csak biológiai makromolekulák vizsgálatához használták, ma már alkalmazzák fémionok, szervesetlen anionok, szerves savak, aminosavak, királis vegyületek, peszticidek, peptidok és fehérjék, szénhidrátok, DNS fragmentumok, vagy akár egész sejtek és vírusok elválasztásához és meghatározásához is. Mivel az elektroforézises, illetve a kromatográfias elválasztások mechanizmusai eltérnek, így e vizsgálatok kölcsönösen kiegészíthetik egymást. Ezen kívül a CE módszer fejlesztése egyszerűbb, rendkívül kis oldatmennyiségekkel történő, gyakorlatilag szerves oldószerektől mentes munkát tesz lehetővé, és minimális minta-előkészítést igényel.

A kapilláris elektroforézis módszer fogalma különböző elválasztási technikákat foglal magába, amelyek közül a legalapvetőbbek a kapilláris zónaelektroforézis (CZE), a micelláris elektrokinetikus kromatográfia (MEKC), a kapilláris izoelektromos fókuszálás (CIEF), a kapilláris gélelektroforézis (CGE), a kapilláris elektrookromatográfia (CEC) és a kapilláris izotachoforézis (CITP). A CZE jelenleg a leggyakrabban használt kapilláris elektroforetikus módszer, mely az oldott részecskék különböző elektroforetikus mozgékonyágán alapszik.

A kapilláris elektroforézis elve

Az elektroforetikus elválasztási módszerek elve, hogy elektromos erőterben az oldott anyagok különböző sebességgel vándorolnak. Mivel egy ion sebességét az ion töltése, mérete, az alkalmazott térerősség nagysága, illetve a közeg viszkozitása szabja meg, a kis méretű, nagy töltésű részecskék rendelkeznek a legnagyobb sebességgel.

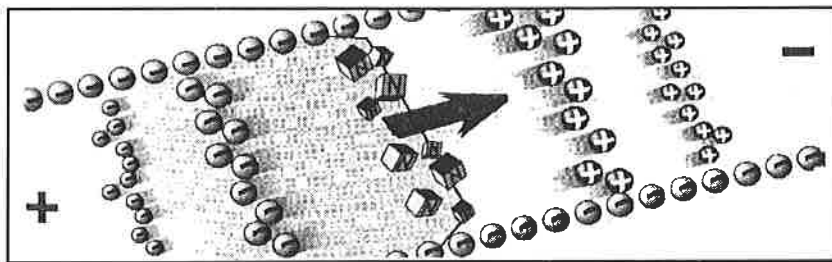
A CE működésének egyik fontos eleme az elektroosmotikus áramlás (electroosmotic flow, EOF). Az EOF a folyadék kapillárisbeli tömegtranszportja, mely a kapilláris belső falán kialakult felületi töltések (kettős réteg) következménye. A kapillárisbeli EOF fontos jellemzője a lapos áramlási profil (1-a ábra). Mivel az áramlás hajtóereje egyenesen oszlik el a kapillárisban, egyáltalán nincs nyomásesés a kapillárison belül, s így az áramlás teljesen egyenesnek tekinthető. A lapos áramlási profil következtében a részecskék zónáinak diszperziója csak kis mértékű. Ennek ellenkezője igaz a nyomáskülönbség hatására (pl. pumpákkal) előállított lamináris vagy parabolikus áramlásokra (1-b ábra).



1. ábra. Áramlási profilok és részecske zónák kapilláris elektroforézisnél (a) és kromatográfias technikáknál (b)

Az EOF egy másik fontos előnye, hogy az gyakorlatilag az összes részecskét, függetlenül azok töltésétől, azonos irányú mozgásban tartja. A szokásos körülmények mellett (vagyis amikor a kapilláris belső felülete negatív töltésű) az áramlás az anódtól a katód irányába történik. A katód felé nem csak a kationok vándorolnak, de az anionok is, mivel az EOF akár egy nagyságrenddel is nagyobb lehet az anionok sebességénél. Így a kationok, töltés nélküli részecskék és anionok akár egyetlen CE-s „futtatással” is elemezhetők. A folyamatot a 2. ábra mutatja be. A kationok vándorolnak a leggyorsabban a katód felé az elektroforetikus vonzóerő és az EOF miatt; a töltés nélküli részecskéket kizárólag az

* Debreceni Egyetem, Szerves és Analitikai Kémiai Tanszék, 4010 Debrecen, Pf.21., gaspara@tigris.klte.hu



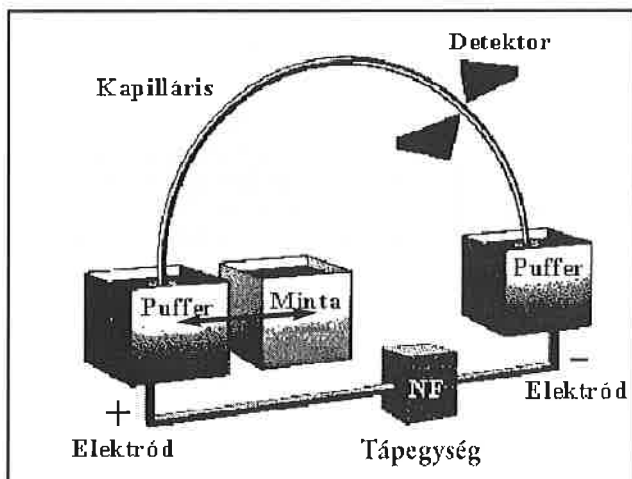
2. ábra. Különböző töltésű és méretű részecskéknek az elektroosmotikus áramlással szuperponált vándorlása kapilláris zónaelektroforézisnél [1]

EOF szállítja, így a különböző töltés nélküli részecskék itt nem szeparálódnak; a leglassabban pedig az anionok vándorolnak a katód felé (az EOF-nek köszönhetően), mivel ezekre az anód az EOF irányával ellentétes vonzóerőt fejt ki.

Az EOF szabályzásához elsősorban a kapilláris felületi töltésének vagy a puffer viszkozitásának megváltoztatása szükséges. A gyakorlatban jelentős változás az EOF-ben a puffer pH-jának megváltoztatásával érhető el. A pH változása azonban hatással lehet az oldott részecskék töltésére, és így mozgékonyására is. Ezenkívül az EOF változtatható a kapilláris falának módosításával (stabil réteg kialakításával vagy speciális adalékokkal) is.

A készülék felépítése

A CE készülékekben a két, elektrolitot (puffer oldatot) tartalmazó edény között egy, az elektrolittal megtöltött 25-100 μm belső átmérőjű, 25-120 cm hosszú kvarckapilláris van elhelyezve (3. ábra). A kis mennyiségű (néhány nI) mintát a detektortól távolabb eső kapilláris végénél (általában a kapilláris anódos végénél) juttatják be. A mintabevitel történhet a megfelelő edény megemeléssel/süllyesztésével, a mintaedénynél nyomás alkalmazásával, a puffer edénynél vákuum alkalmazásával vagy egyszerűen a minta komponenseinek a kapillárisba történő elektroforetikus migrációjával. A puffer edényekre nagyfeszültséget (10–30 kV) kapcsolnak.



3. ábra. A CE készülék vázlatos felépítése

A minta komponenseinek vándorlása a pufferrel töltött kapillárisban akkor kezdődik, amikor a puffer edényekre feszültséget kapcsolunk. A részecskék elektroforetikus vándorlásához hozzáadódik egy kisebb-nagyobb mértékű elektroosmotikus áramlás, mely hozzájárul az oldott részecskék zónáinak szállításához. Mint azt már említettük, az EOF sokszor olyan nagy, hogy nem csak a töltés nélküli molekulák, de ellentétes irányú elektroforetikus mozgásuk dacára néha még a negatív töltésű ionok is eljuttathatók a detektorig. A modern CE készülékek mindegyike a sorozatmérésekhez rendkívül hasznos automata minta-

adagolóval, a kapilláris állandó hőmérsékletét biztosító termosztáló egységgel és a készülék vezérlését, valamint a mérési adatok feldolgozását ellátó számítógéppel is fel van szerelve.

A CE technikáknál a detektálás egyfajta kihívásnak számít a kapilláris kis átmérője és a csupán nanoliternyi mintatérfogat miatt. Bár a CE egyike a legkevesebb minta mennyiséget felhasználó módszereknek, nem tekinthető „nyomonanalitikai” módszernek, mivel nagyon kis koncentrációk meghatározására nem alkalmas,

ezért sokszor dúsítási eljárás alkalmazása szükséges. Számos, a HPLC-s technikáknál korábban már alkalmazott detektálási módszert próbáltak ki a CE esetén is, leggyakrabban azonban az UV-látható fényelnyeléses detektálás használatos.

Az UV-látható fényelnyeléses detektálás elsősorban univerzális jellege miatt a legszélesebb körben használatos detektálási módszer. Kvarckapillárisok esetén a detektálás történhet 190 nm-től kezdve a látható fény teljes hullámhossz-tartományában. Amint a HPLC technikában, úgy a CE-nél is, a detektálás rögzített és változtatható hullámhosszokon is megvalósítható. A CE-nél a spektrofotometriás detektálást azért szokták nagy hatékonyságúnak nevezni, mert a detektálás magán a kapillárison keresztül (on-capillary) történik, így a detektálási lépés nem okoz zónaszélesedést. Mivel a CE-nél a csúcsok 2-5 mm szélesek, a részélesség ezen érték legfeljebb egyharmada lehet. A detektor tervezésénél figyelemmel kellett lenni a rövid optikai úthosszra is. A fényt közvetlenül a kapilláris belsejébe kell fókuszálni, hogy a résnél maximális áthatolás legyen elérhető, és hogy a lehető legkevesebb szórt fény jusson a detektorba. A CE-nél a detektálás érzékenységét elsősorban a rövid úthossz korlátozza. Az érzékenység és a lineáris kimutatási tartomány ugyan javítható a kapilláris belső átmérőjének növelésével, ennek alkalmazási lehetőségét azonban korlátozza, hogy a nagyobb áramerősségek alkalmazása a kapilláris jelentős felmelegedését okozza. A kapilláris átmérőjének megkétszerezése például a jelabszorbancia kétszeres, de az áramerősség négyszeres növekedéséhez vezet. A túlzott áramfelhasználás (és így a túl nagy hőtermelődés) elkerülése érdekében olyan speciális kapillárisokat állítottak elő, melyek átmérőjét csupán az optikai fényút helyén növelték meg. Ilyen kapilláris típusok a buborékcéllás és a Z-céllás kapillárisok.

Azok az anyagok, amelyeknek az UV-tartományban csekély az elnyelése, indirekt UV-detektálással határozhatók meg. Ehhez, az adott részecske mozgékonyásával közel megegyező, UV-tartományban jól elnyelő anyagot kell a pufferhez adni. Az elektroneutralitás elve miatt, a fényelnyelő anyag koncentrációja kisebb a mintarészecskék zónája helyén (kiszorítási mechanizmus). Ez kisebb abszorbanciához vezet, mely negatív csúcsként jelenik meg az elektroferogramon.

Az elektroforetikus elválasztás során a háttélektrolit valamely ionjának kicserélődése egy eltérő mozgékonyágú mintakomponenssel olyan változást okoz a vezetőképességben, mely felhasználható a zónák detektálására. Ennek megfelelően csak olyan komponens detektálható, amelynek effektív mozgékonyága eltér a háttélektrolit azonos töltésű ionjának mozgékonyásától. A vezetőképesség-méréses detektálás alkalmazásakor a fő nehézség, hogy egyszerre kell megfelelni két egymással ellentétes követelménynek. Egyrészt a CE-nél alapvető kívánalom, hogy olyan háttélektrolitot alkalmazzunk, melynek a meghatározandó ionnal megegyező töltésű ionjának (koion) effektív mozgékonyága hasonló a mintai ion mozgékonyágához, különben a csúcsalakok jelentős torzulásával kell számolnunk (tailing, illetve fronting). Másrészt azonban az érzékeny konduktometriás detektáláshoz maximálnunk kell az elválasztott mintazónák és a háttélektrolit vezetőképessége közötti különbséget. Mindezek miatt a megfelelő elektrolit kiválasztásakor kompromisszumot kell találni a szükséges érzékenység és felbontás elérése érdekében.

A CE-nek az egyik legnagyobb teljesítőképességű detektorhoz, a *tömegspektrométer*hez (MS) való kapcsolásánál a legnagyobb nehézséget a CE által szolgáltatott, rendkívül kis sebességű (100 nl/perc) folyadékáram jelenti. Ezért egy pótlólagos folyadékáramot (make-up flow) vezetnek a kapillárishoz, hogy így biztosítsák – például az elektro-spray ionizációhoz szükséges – az EOF-nél körülbelül 50-szer nagyobb folyadékáram igényt. A legtöbb CE-MS rendszerrel elektro-spray interfészt használnak, de intenzív kutatások folynak a CE és a különböző ionforrásokkal (pl. induktív csatolású plazma ionforrással, ICP) felszerelt MS összekapcsolásán is.

A CE elválasztást megelőzően ismert származékképző reagensekkel kromofór vagy fluoreszcens csoportokat lehet bevinni az UV-tartományban el nem nyelő vagy nem fluoreszcens meghatározandó anyagokba. Megfelelő származék-, vagy komplexképzésre igen gyakran szükség van az átmenetifémek, nehézfémek meghatározásánál, vagy speciációs vizsgálatoknál is. A higanyvegyületeket például ciszteines komplexbe viszik, mivel a higanyvegyületek gyakorlatilag nem disszociáló, töltés nélküli anyagok, melyek spektrofotometriásan is csak rosszul detektálhatók. A komplexképzési reakciók teljesek, gyorsak, a kapott vegyületek pedig ionosak, és spektrofotometriásan jól detektálhatók. A komplexképzés történhet off-line (elemzés előtt a higanyvegyületeket tartalmazó mintaoldathoz adunk ciszteint) vagy on-line módon (a ciszteint a pufferelektrolit tartalmazza, a komplexképzés az elektroforézis első szakaszában, a kapillárisban megy végbe) is.

A szervesetlen ionok meghatározása

Bár a CE egy viszonylag új módszer, mostanáig az egyatomos, kisméretű ionoktól a nagy molekulatömegű biomolekuláig sokféle anyag elválasztását leírták már, s azt is megállapították, hogy a CE kiválóan alkalmazható szervesetlen vegyületek meghatározásához [2]. A módszer alkalmazásával kapcsolatos közlemények száma napjainkban is meredeken növekszik. A következőkben a CE rendkívül széles körű alkalmazási lehetőségeit igyekszem bemutatni a szervesetlen vegyületek esetén érdekes, vagy gyakorlati szempontból fontos példákon keresztül, néhány saját munkánkat is ismertetve. Az elektroferogramok megadásánál nem volt céлом a körülmények pontos, részletes megadása. Mivel a töltéssel rendelkező részecskék elválasztásához a legegyszerűbb CE technika, a kapilláris zónaelektroforézis (CZE) alkalmazható különösen előnyösen, nem meglepő, hogy az ismertetett módszerek majd mindegyikénél ezt a technikát használják a szervesetlen vegyületek meghatározásához.

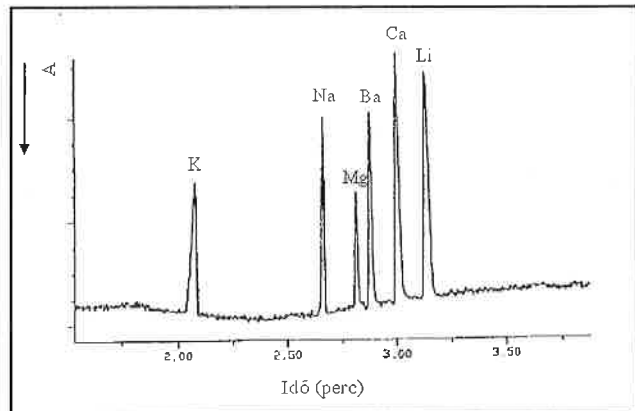
A fémionok, kisméretű szervesetlen anionok mozgékonyasága általában nagy. A zónák direkt fényelnyeléses detektálása többnyire nem alkalmazható, mivel ezen ionok többsége nem nyeli el a fényt az UV vagy a látható tartományban. Emiatt vagy indirekt fényelnyeléses detektálást vagy másfajta detektálási módszert (pl.: vezetőképesség-mérés, ICP-MS stb.) kell használni. A vízoldható szervesetlen kationok, anionok és azok komplexei meghatározásának elsősorban az ivóvizek, illetve a környezeti, klinikai és ipari minták esetén van nagy jelentősége.

Az *alkáli- és alkáliföldfém ionok* vizes oldatbeli töltés-méret viszonya kellően különbözik ahhoz, hogy CZE módszerrel könnyen, gyorsan, a legegyszerűbb elektrolit rendszerben elválaszthatók legyenek. Gyakran imidazol tartalmú oldatot használnak háttéreltrolliként, az imidazol kis hullámhosszaknál való nagy elnyelése és megfelelő ionmozgékonyasága miatt (4. ábra, [3]). Az *átmenetifém, ritkaföldfém ionok* elválasztásakor általában komplexképzőket (pl. EDTA, tejsav) adagolnak az elemzendő mintához vagy a pufferelektrolithoz. A CZE-t a lantanidák elválasztásához például előnyösebben lehet használni mint az ionkromatográfiát, mert jobb elválasztási hatékonyságot, csúcsfelbontást és rövidebb mérési időt lehet elérni. CZE-vel akár az összes lantanidát el lehet választani, ami ionkromatográfiás módszerrel nehéz feladat (5. ábra, [4]). A CZE-nél a minta-előkészítés rendkívül egyszerű, környezeti minták esetén a legfontosabb művelet csupán a minta szűrése az

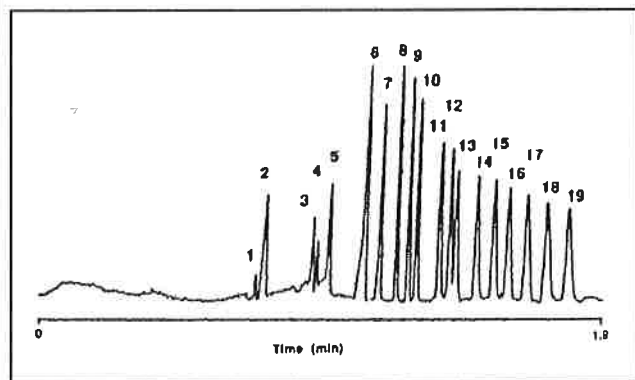
elemzést megelőzően. Míg a legtöbb elválasztástechnikai módszernél a biológiai minták analizálása sokkal összetettebb minta-előkészítést (pl. fehérjementesítés) igényel, a CZE-nél lehetőség van ezen minták közvetlen injektálására/elemzésére is. (Egy 100-szoros hígítású vérminta fehérjetartalma még 0,7 g/l felett van, mely így még mindig jelentős mátrixkomponensnek számít a legtöbb vizsgálómódszer esetén. Mindemellett a fémionok nehézség nélkül meghatározhatók CZE-vel, mert mozgékonyaságuk jóval nagyobb, mint a mátrixkomponenseknek, és így a fehérjék csak a fémionokat követően érik el a detektort.)

A CZE kiváló felbontóerejének köszönhetően jól használható *fém-speciációs* analitikai célokra, amikor is ugyanazon fémion különböző formáinak, komplexeinek meghatározása a cél. Az As(III) és As(V) gyors, 2 percen belüli elválasztását rövid (40 cm) kapilláris alkalmazásával, az EOF irányának megfordításával, borát pufferben értük el (6. ábra) [5], ugyanezen rendszerben lehetőség van jónéhány szerves arzénvegyület meghatározására is.

Szervesetlen és szerves higanyvegyületek meghatározásakor e vegyületeket ciszteines komplexekbe vittük, s ily módon a megfelelő töltésre, vízoldhatóságra és UV elnyelésre szert tett komponensek elválaszthatók és 200 nm-en detektálhatók voltak (7. ábra) [6]. Az UV spektrofotometriás detektálással elérhető 1 µg/ml körüli kimutatási határok lézer indukált fluoreszcens (LIF) detektálással akár 2-3 nagyságrenddel is javíthatók megfelelő származékképzés után (pl. fluoreszcein izotiocianát segítségével).

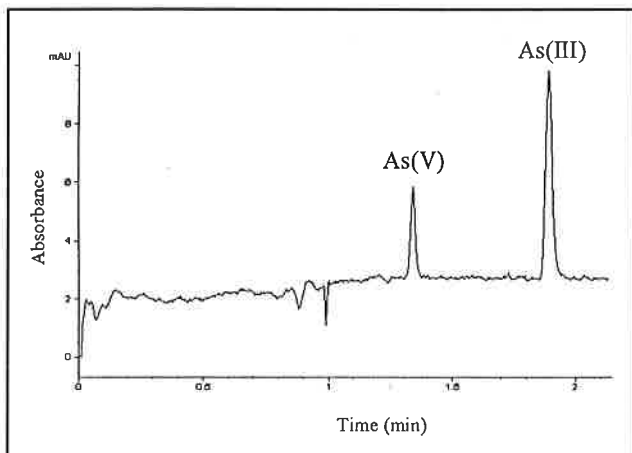


4. ábra. Alkáli- és alkáliföldfémionok elválasztása imidazol pufferben [3] (Körülmények: kapilláris: 75 µm, 50/56 cm, télerő: 446 V/cm, puffer: 5 mM imidazol/kénsav, pH=4,0, detektálás: indirekt, 214 nm, minta: 1 mg/l K, Na, Mg, Ba, Ca és 0,5 mg/l Li)

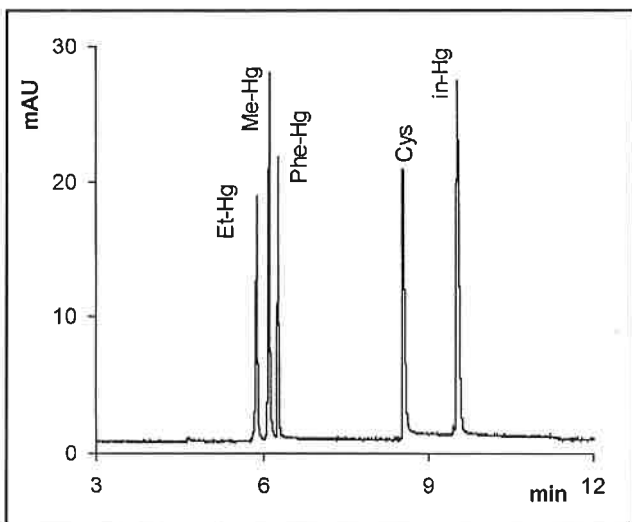


5. ábra. Alkáli-, alkáliföld- és ritkaföldfémek elválasztása [4].

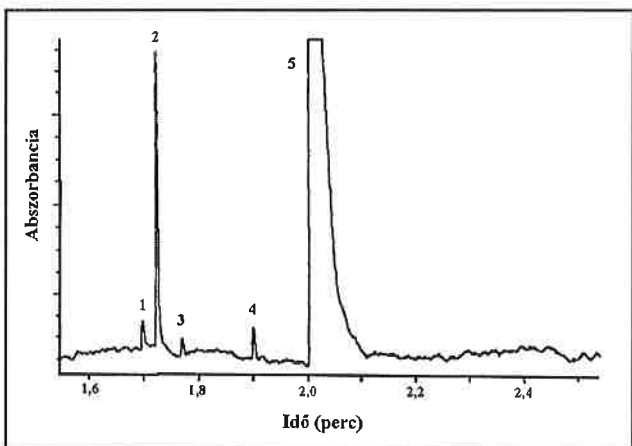
(Körülmények: kapilláris: 36,5 cm x 75 µm, 10 mM Waters UVCat-1, 4 mM HIBA, pH=4,4, +30 kV, injektálás: 20 s/10 cm, λ=214 nm indirekt detektálás, 1: 1 ppm Rb, 2: 5 ppm K, 3: 2 ppm Ca, 4: 1 ppm Na, 5: 1 ppm Mg, 6: 1 ppm Li, 7: 5 ppm La, 8: 5 ppm Ce, 9: 5 ppm Pr, 10: 5 ppm Nd, 11: 5 ppm Sm, 12: 5 ppm Eu, 13: 5 ppm Gd, 14: 5 ppm Tb, 15: 5 ppm Dy, 16: 5 ppm Ho, 17: 5 ppm Er, 18: 5 ppm Tm, 19: 5 ppm Yb)



6. ábra. As(III) és As(V) gyors elválasztása [5].
(Körülmények: L=40 cm, U=30 kV, puffer: 50 mM borát, 0,5 mM CTAB, pH: 9,3, $\lambda=200$ nm)



7. ábra. Higanyvegyületek elválasztása [6] (Körülmények: kapilláris: 64,5 cm x 50 μ m, 25 mM borát, pH=9,2, +25 kV, 100 mbar.s, $\lambda=200$ nm, Et-Hg (etil-Hg): 108 μ g/ml; Me-Hg (metil-Hg): 172 μ g/ml; Ph-Hg (fenil-Hg): 57 μ g/ml; in-Hg (Hg²⁺): 50 μ g/ml, a higanyvegyületek származékképzése ciszteinnel (Cys) történt)



8. ábra. Anionok meghatározása felszíni vízben (Bajkál-tó) [3].
Körülmények: kapilláris: 75 μ m, 50/58 cm, térerő: -431 V/cm, puffer: 5 mM kromát/kénsav, 0,5 mM CTAB pH=8,0, hidrosztatikus injektálás: 10 cm 30 s, detektálás: indirekt 254 nm, csúcsok: 1: klorid (0,5 mg/l), 2: szulfát (12,4 mg/l), 3: nitrát (<0,5 mg/l), 4: foszfát (<0,5 mg/l), 5: hidrogénkarbonát (81,1 mg/l).

Az anionok elválasztása CZE-vel a leggyakoribb elrendezés mellett (amikor a detektor a katód végéhez esik közelebb) nehezebb, mert az anionok elektroforetikus mozgékonyságának és az EOF mozgékonyságának iránya ellentétes. Emiatt a pufferelektrolithoz kationos felületaktív anyagot (pl.: CTAB-t) adagolnak, hogy az EOF iránya megforduljon. Felszíni vizek szervesen aniontartalmának meghatározásához indirekt UV spektrofotometriás detektálást használhatunk (pl. kromatós pufferelektrolit alkalmazásával) (8. ábrán, [3]).

A kapilláris elektroforézis fontosabb fejlődési irányai, fejlesztései

Az alig 20 éve bevezetett CE módszer technikai fejlesztése, illetve alkalmazási területeinek folyamatos bővítése napjainkban is intenzíven folyik. Valószínűleg a legfontosabb megoldásra váró probléma az elválasztott zónák detektálási érzékenységeinek jelentős javítása. A következőkben a CE két fontos fejlesztési területe kerül rövid bemutatásra.

A kapilláris elektrokrómográfia (CEC) egyfajta kombinációja a HPLC-nek és a CE-nek. Itt az elválasztó egység egy olyan töltött kapilláris, melynek állófázisa a HPLC-nél használt állófázisok valamelyike (hidrofób, hidrophil, C18, C8), így az elválasztások mechanizmusa nagyon hasonlít a HPLC elválasztások mechanizmusához. A CEC-nél viszont nincs pumpa, mert itt a folyadékok áramoltatását az elektrooszmózis végzi. Ennek következménye, hogy a HPLC-nél sajnálatosan meglévő parabola áramlási profil és sávszélesedés a CEC-nél elhanyagolható. A minta injektálásakor, detektálásakor a CE-nél szokásos módszereket használják.

Az eredetileg a Caliper és Agilent által közösen kifejlesztett LabChip (Lab-on-a-chip technika, vagy mikrochip kapilláris elektroforézis) technikánál az elektroforetikus elválasztó egység egy csupán 3-4 cm oldalú üveg- vagy műanyag lapka, melynek felületén mikroszkópikus (10 μ m) méretű, általában géllal töltött csatornák találhatók. Míg a számítógépes chipekben elektronok mozognak, addig a LabChipekben néhány pl. térfogatú folyadék szegmensek vándorolnak. E folyadékszegmensek szállítását, illetve folyadékok áramoltatását a chip különböző részein feszültség alkalmazásával, azaz az EOF segítségével érik el. E mikroszkópikus rendszerben természetesen nincsenek mozgó alkatrészek, de mégis mindent el lehet érni, amit a szokásos „makroszkópikus” folyadék-rendszerekben szelepekkel, pumpákkal, keverőkamrákkal, injektorokkal végeznek. A LabChip technikát jelenleg elsősorban DNS minták, fragmentumok meghatározásához használják, legfontosabb előnyei közé tartozik a minimális reagens- és mintamennyiség-felhasználás, a rendkívül gyors elemzés lehetősége (az egyes DNS minták elemzése rövidebb 90 s-nál), teljes körű automatizálás, kiváló reprodukálhatóság.

Hivatkozások

- [1] D. N. Heiger: *High Performance Capillary Electrophoresis*, Hewlett-Packard, Waldbronn, 1992.
- [2] P. Jandrik, G. Bonn: *Capillary electrophoresis of small molecules and ions*, VCH-Weinheim, 1993
- [3] W. Beck, H. Engelhardt: *Chromatographia*, 1992, 33, 313
- [4] P. Jandik, W. R. Jones, A. Weston, P. R. Brown: *LC GC* 1991, 9, 634
- [5] A. Gáspár, C. Sógor, J. Posta: *Chromatographia*, 2000, 51, 135
- [6] A. Gáspár, C. Páger: *Chromatographia*, 2002, 54, 115