

A természetes elektromos tranziensek felhasználásával az ELF tartományban végzett ionoszférakutatás néhány eredménye

BENCZE PÁL

A Föld-ionoszféra üregrezonátor rezonanciafrekvenciáit reflektáló szintje magasságának és vezetőképességének Balser és Wagner méréseiből Stefant módszerével meghatározott napi változása kettős hullámot mutat. Ez a változás azt bizonyítja, hogy az ionoszféra nappali és éjszakai oldalának az üregrezonátor rezonanciafrekvenciára gyakorolt ellentétes hatása az eddigi feltételezésektől eltérően egymást nem egyenlíti ki. A görbék menete a terjedési viszonyok, illetve a zivatartevékenység fő forrásai eloszlásának a befolyására utal. Ebből arra lehet következtetni, hogy a rezonanciafrekvencia eltolódásából meghatározott veszteségi tényező csak a reflektáló réteg egy részének átlagos magasságára és annak átlagos vezetőképességére jellemző.

Вариации геоэлектрического поля с сверхнизкими частотами могут использоваться не только в качестве естественного поля для геологоразведочных работ по поиску полезных ископаемых, но и для изучения ионосферы, в частности нижних ее слоев, трудно доступных искусственными электромагнитными волнами.

При определении частот, по которым условия распространения волн днем и ночью значительно не отклоняются между собой, эти величины приблизительно дают частоту Лармора, из которой может вычисляться плотность электронов. По изучению фактора добротности объемного резонатора Земля-ионосфера также можно делать выводы о состоянии ионосферы. Дополнительные возможности исследования открываются при сопоставлении измеренных величин с теоретическими значениями. Вышеизложенное иллюстрируется на примерах.

Die Untersuchung der sehr niederfrequenten (ELF) Aenderungen des elektromagnetischen Feldes der Erde, als eines natürlichen Kraftfeldes, kann nicht nur zu Rohstoffforschungen, sondern auch zum Studium der durch künstliche elektromagnetische Wellen schwer zugänglichen unteren Ionosphärenschichten verwendet werden.

Nach Bestimmung der Frequenz, bei welcher sich die Fortpflanzungsverhältnisse bei Tag und Nacht nicht wesentlich unterscheiden, gibt ihr Wert angedeutet die Larmor-Frequenz an, wovon die Elektronendichte berechenbar ist. Ebenso kann man auf den Zustand der unteren Ionosphäre bezügliche Folgerungen anhand der Untersuchungen über den Gütefaktor des Hohlresonators der irdischen Ionosphäre ziehen. Der Vergleich der gemessenen Daten mit den theoretisch abgeleiteten Werten verspricht weitere Schlüsse.

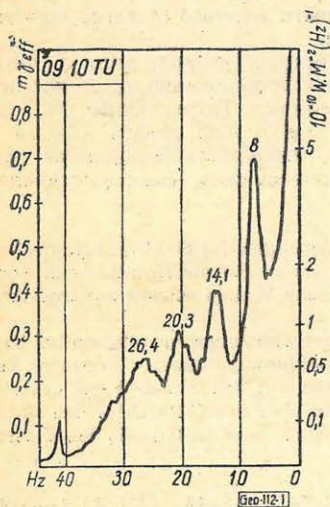
Egy korábbi tanulmányunkban [1] az igen kisfrekvenciás (ELF) természetes elektromágneses energiaforrás vizsgálatával kapcsolatban utaltunk annak a földtani nyersanyagkutatásban energiaforrásként való alkalmazására. A földi elektromágneses térnek ez a frekvenciatartománya az ionoszféra vizsgálatának szempontjából különösen jelentős, amennyiben lehetővé teszi egyrészt az igen kisfrekvenciás elektromágneses hullámok terjedésének, másrészt ezen keresztül az ezeket a hullámokat visszaverő, illetve a rövid hullámokat abszorbeáló alsó ionoszférarétegek tanulmányozását.

Az igen kisfrekvenciás elektromágneses hullámok – amelyeknek tartományát 3 Hz-től 3 kHz-ig számítják – fő forrásai a légköri elektromos kisülések különböző fázisai [2], amelyek természetes elektromos tranziensfolyama-

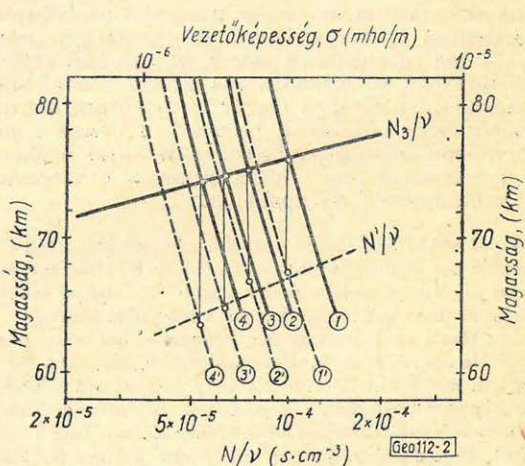
tokat képviselnek. Sugárzó terük spektruma ennek következtében folytonos. Ez a spektrum a szabad térben való terjedés közben bekövetkező módosuláson (a távolságtól és a frekvenciától függő csillapodás [3]) kívül a Föld felszíne és az ionoszféra különböző rétegei által alkotott hullámvezető jelenléte következtében terjedés közben jelentős változáson megy keresztül. Ismerve a tér spektrumát a forrásnál — a forrásspektrumot a közeli villámok különböző szerzők által végzett analízise [4, 5, 6, 7] alapján közelítőleg ismerjük — a vételi helyen észlelt spektrum lehetőséget nyújt a terjedés közben bekövetkezett változások megállapítására.

Különösen érdekes része az igen kisfrekvenciás tartománynak a 100 Hz alatti terület. Az ezeknek a frekvenciáknak megfelelő hullámhosszak megközelítik ugyanis a Föld-ionoszféra hullámvezető méreteit és így ezeken a frekvenciákon a Föld felszíne és az ionoszférarétegek által alkotott rendszer üregrezonátor jellege is megmutatkozik. Az alapfrekvencia (8 Hz) és felharmonikusai (14, 20, 26 Hz stb.) vizsgálata nyújt módot az elektromágneses hullámok segítségével jelenleg észlelhető legalacsonyabb ionoszférarétegek tanulmányozására.

A mérések a rezonancia frekvenciákat tartalmazó spektrum-részre az amplitúdó-frekvencia karakterisztikát adják meg, amelyből a különböző rezonanciafrekvencia értékek, az ezekhez tartozó amplitúdó (elektromos, vagy mágneses térerősség) értékek, továbbá az egyes rezonancia-görbék részek sávszélessége olvasható le (1. ábra). Ezek közül az amplitúdó értékek abban az



1. ábra. A természetes elektromágneses hullámok mágneses komponense spektrumának a Földionoszféra rendszer rezonanciafrekvenciát tartalmazó része [10]



2. ábra. A Föld-ionoszféra üregrezonátor rezonanciafrekvenciáit reflektáló szint magasságának és vezetőképességének meghatározási módszere Stefánt [10] szerint

1, 2, 3, 4 a rezonanciafrekvencia felharmonikusai
 ——— alap állapot
 megváltozott állapot

esetben, ha a térnek csak egyetlen komponensét mérjük, nem használhatók fel. Mivel ugyanis az elektromos térerősség radiális komponensét TM módnál:

$$E_r = k^2 \frac{n(n+1)}{(kr)^{3/2}} Z_{n+\frac{1}{2}}(kr) P_n(-\cos \delta)$$

illetve a mágneses térerősség radiális komponensét TE módnál:

$$H_r = k^2 \frac{n(n+1)}{(kr)^{3/2}} Z_{n+\frac{1}{2}}(kr) P_n(-\cos \delta)$$

alakú összefüggés fejezi ki, a Legendre polinomoknak a pólustávolságtól való függése következtében a térerősség a forrás és az észlelőhely közötti távolság függvénye. Mivel a földi üregrezonátort gerjesztő légköri elektromos kisülések az egyenlítő körüli zónára koncentrálnak és még ezen belül is gócai vannak a zivatartevékenységeknek (Afrika, Dél-Amerika, Délkelet-Ázsia), a források egyenletes eloszlásáról nem lehet beszélni. Így az észlelőhelyen egy-egy góc sugárzó terének erőssége zérussá válik és az eredő térerősség csökken, ha az

$\delta = \frac{\pi}{2}$ pólustávolságba kerül. A térerősségkomponensek amplitúdója első-

sorban a forrás és az észlelőhely egymáshoz viszonyított helyzetének változását tükrözi, amely az ionoszférára jellemző változásokat elfedi. Amennyiben legalább két, vagy több komponenszt mérünk, az egyidejűleg mért, tehát feltehetően azonos forrásból származó térerősségértékek hányadosát képezve a forrás észlelőhelyhez viszonyított helyzetének hatása kiküszöbölhető. A felhasználás lehetőségei tehát több térerősségkomponens mérése esetén megnövekednek.

Fontos információkat adhatnak azonban egyetlen komponens mérése esetén is a különböző rezonanciafrekvencia értékek. A rezgőkörök elméletéből ismeretes, hogy a rezonanciafrekvencia értéke a kör veszteségeinek a függvénye. Minél nagyobbak ezek, annál jobban eltávolodik a veszteséges kör rezonanciafrekvenciája a veszteségmentes kör rezonanciafrekvenciájához viszonyítva a csökkenő frekvenciák irányában. Ebből tehát a kör, esetünkben a földi üregrezonátor veszteségeire következtethetünk. Az üregrezonátor veszteségei az üregrezonátor határoló felületein, tehát a Föld felszínén és az ionoszférában keletkező, ún. falveszteségekből, valamint az üregrezonátort kitöltő dielektrikumban, illetve az ionoszféra alatti légrétegekben létrejövő ún. dielektromos veszteségekből tevődnek össze. Mivel a Föld felszínének vezetőképessége, különösen a tengerek területén az ionoszféra rétegekéhez viszonyítva nagy, az elméleti vizsgálatoknál a Föld felszínét tökéletes vezetőnek tekintik és az itt keletkező veszteségeket a dielektromos veszteséggel együtt elhanyagolják. A földi üregrezonátor veszteségei ezzel az elhanyagolással tehát egyedül az ionoszférában való visszaverődéskor keletkező veszteségeknek tulajdoníthatók. Az ezeket kifejező veszteségi tényező és a rezonanciafrekvenciának a már fentiekben említett összefüggésére Raemer [8] a következő, a tapasztalattal megegyező képletet adta meg:

$$\alpha = 0,9 \frac{\omega_n - \omega}{\sqrt{\omega_n}} \quad \dots (2)$$

ahol α a veszteségi tényező, ω pedig a mért rezonancia frekvencia. A veszteségi tényező viszont Wait [9] szerint még a következőképpen is kifejezhető:

$$\alpha = \frac{1}{h \sqrt{\sigma_i \mu_0}} \quad \dots (3)$$

ahol h a vizsgált frekvenciának megfelelő reflektáló szint magassága, σ_i a reflektáló szint vezetőképessége, μ_0 a vákuum permeabilitása. A (2) és (3) egyenlet

segítségével tehát összefüggést találunk a mért rezonanciafrekvencia és a reflektáló réteg vezetőképessége, illetve magassága között.

A kiértékelés Stefant [10] szerint úgy történhet, hogy egy ionoszféramodellt választunk, amelynek a N elektronkoncentrációnak a magassággal való bizonyos változása felel meg. Az ezt kifejező függvényt a ν ütközési frekvenciának a magassággal való változását leíró egyenlettel osztva a

$$\sigma = 2,83 \cdot 10^{-2} \frac{N}{\nu} \quad \dots (4)$$

összefüggés szerint a vezetőképességet ábrázolhatjuk a magasság függvényében. A veszteségi tényező értékét a (2) egyenlettel kiszámítva, vagy az annak megfelelő görbéről leolvastva α értékét a különböző rezonanciafrekvenciákra megállapíthatjuk. Ezek ismeretében a (3) egyenletet a

$$\sigma_i = \frac{1}{\mu_0 \alpha^2} \cdot \frac{1}{h^2} \quad \dots (5)$$

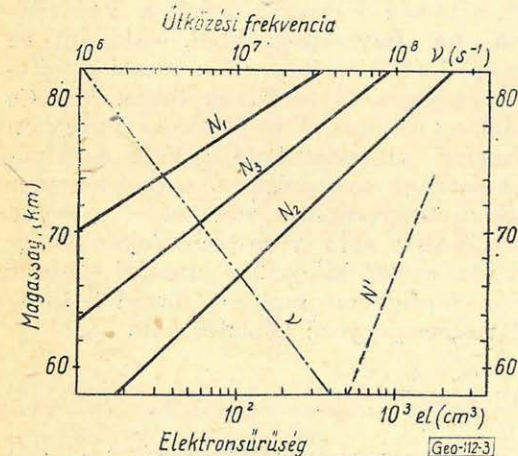
formában alkalmazva ugyanabban a σ , h koordinátarendszerben, amelyben a (4) egyenletet ábráztuk, görbéket szerkeszthetünk. A (4) egyenlet görbéjének az utóbbi görbesereggel alkotott metszéspontjai ordinátái a megfelelő reflektáló réteg magasságát, az abszcisszák pedig a reflektáló réteg magasságának megfelelő vezetőképesség értékeket adják. Ti. a metszéspontok azokat a magasságokat adják meg, amelyekben uralkodó vezetőképesség éppen a mérési eredményekből meghatározott veszteségi tényezőnek megfelelő (2. ábra).

Mivel az ionoszféramodellek, vagyis az elektronsűrűségnek a magassággal való változását leíró függvények átlagos állapotot rögzítenek, a fenti eljárással az átlagos állapotnak megfelelő reflektáló rétegmagasságokat,

valamint az átlagostól eltérő állapotokra ugyanezeket az adatokat, továbbá az elektronsűrűségnek a magassággal az új állapotnak megfelelő változását is meghatározhatjuk (3. ábra).

Az eljárás néhány egyszerűsítő feltevéssel él, amelyeknek hatása bizonyos körülmények között nem hanyagolható el. Így például az új állapotnak megfelelő vezetőképesség-magasság görbe megszerkesztésénél feltételezi, hogy a törésmutató a magassággal nem változik. Sok tény bizonyítja, hogy ez nem így van, ezért nyilvánvalóan figyelembe kell venni a törésmutatónak a magassággal való változását.

A törésmutatónak a magassággal való változását figyelembe



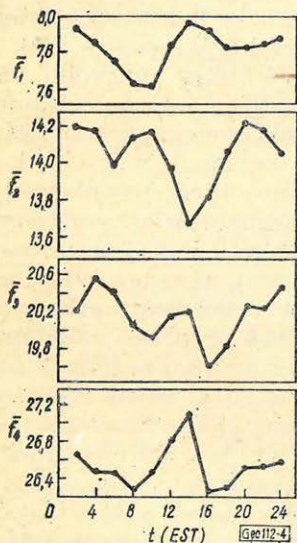
3. ábra. Az elektronsűrűség magassággal való változásának ábrázolása Stefant nyomán

— alap állapot
 megváltozott állapot

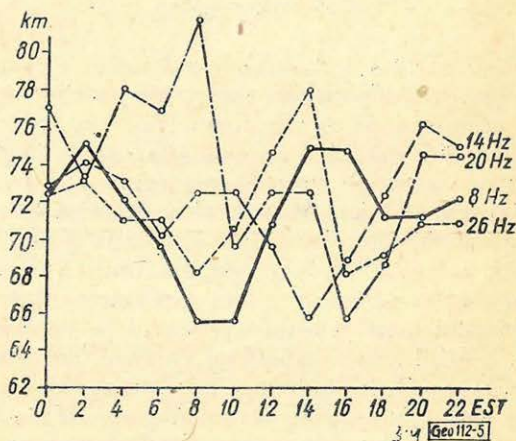
véve, a reflektáló réteg magasságára az előbbi elhanyagolásával nyert értékeknél kisebb értékeket fogunk kapni.

A másik paraméter, amelynek a magassággal való változását ugyan figyelembe veszi az előbbi eljárás, de időbeli állandóságot tulajdonít neki, az az ütközési frekvencia. Ez, amint azt a legújabb vizsgálatok kimutatták, szintén nem tételezhető fel. Különösen akkor nem, ha hosszabb időtartamot vizsgálunk. Belrose és Hewitt [12] ugyanis megállapították, hogy az ütközési frekvencia még az igen kis frekvenciák szempontjából számításba jövő magasságokban is a naptevékenységgel változik. 60 km alatt a naptevékenység növekedésével nő, annak csökkenésével csökken.

Balsler és Wagner [13] mérési eredményeinek felhasználásával a földi üregrezonátor rezonanciafrekvenciáinak napi változása alapján meghatároztuk a vezetőképeseknek a napi változását a reflektáló rétegeknek megfelelő magasságintervallumban, valamint a rezonanciafrekvenciákat reflektáló rétegek magasságának napi változását.



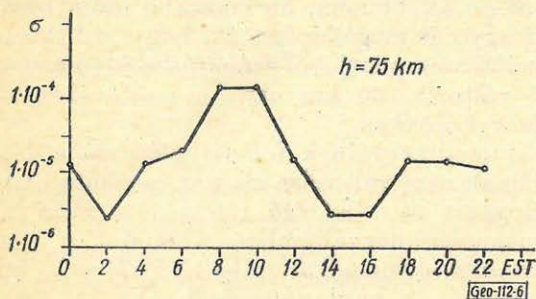
4. ábra. A Föld-ionoszféra üregrezonátor rezonanciafrekvenciáinak napi változása Balsler és Wagner [13] mérései szerint



5. ábra. A Föld-ionoszféra üregrezonátor rezonanciafrekvenciáit reflektáló rétegek magasságának napi változása

A 4. ábrán az egyes rezonanciafrekvenciák napi változását látjuk. A fentiek alapján már ebből is levonhatunk bizonyos következtetéseket. A görbék általában a reggeli és az esti órákban egy-egy minimumot jeleznek. Ez arra mutat, hogy ezekben az időszakokban megnőttek a földi üregrezonátor veszteségei, amely a (3) összefüggés szerint a reflektáló réteg magassága és a vezetőképesesség csökkenésének tudható be. Azt, hogy ez utóbbiaknak a frekvenciaváltozás által jelzett változása milyen mértékű, az ismertetett kiértékeléssel állapítottuk meg. Az 5. ábrán az egyes rezonanciafrekvenciákat reflektáló réteg magasságának a nap folyamán való változását ábrázoltuk, a 6. ábra a vezetőképesesség napi változását szemlélteti a reflektáló síkoknak megfelelő magasságban. Mind a két ábra kettős hullámú napi menetet mutat. A kettős hullám nappali órákra eső részének amplitúdója nagyobb, mint az éjszakai órákra eső. Ebből azt a következtetést kell levonnunk, hogy az ionoszféra nappali és éjszakai oldalának a visszaverő réteg magasságán és vezetőképes-

ségén keresztül a Föld-ionoszféra üregrezonátor rezonanciafrekvenciára gyakorolt ellentétes hatása a feltételezésektől eltérően egymást nem egyenlíti ki.



6. ábra. A vezetőképesség napi változása a reflektáló síkok magasságában

fekvő afrikai forrásokból származó elektromágneses hullámok érik el, ahol ebben az időpontban (helyi idő szerint 14–16h) van a zivatartevékenység maximuma és ennek megfelelően a segítségükkel meghatározott veszteségi tényező is inkább a nappali állapotnak megfelelő, kisebb reflektáló rétegmagasságot, nagyobb vezetőképességet ad. Délután (18–20h) az észlelőhelyet az éjszakai oldalon át érik el a délkelet-ázsiai forrásból eredő elektromágneses hullámok, ahol viszont az ennek az észlelőhelybeli időnek megfelelő időpontra esik a zivatartevékenység maximuma és a vizsgálatuk alapján megállapított veszteségi tényező, mivel a megtett út egy része a nappali, másik része az éjszakai oldalra esik, a nappali és éjszakai állapot átlagához közelebb álló reflektáló szintmagasságot és vezetőképességet értéket ad. A többi rezonanciafrekvenciát, különösen a második (14 Hz) reflektáló szint napi változásának az alap rezonanciafrekvenciát reflektáló szint napi változásától való eltérését is figyelembe véve, annyi mindenestre megállapítható, hogy a terjedési viszonyok és a zivatartevékenység főforrásainak az észlelőhelyhez viszonyított helyzetváltozása következtében a rezonanciafrekvencia eltolódásából meghatározott veszteségi tényező csak a reflektáló réteg egy részének átlagos magasságára és ennek átlagos vezetőképességére jellemző.

IRODALOM

- [1] Ádám A. és Bencze P.: Kisfrekvenciás természetes elektromágneses energiaforrás vizsgálata. Magyar Geofizika, IV. 1–2, 29 old. 1963.
- [2] Pierce, E. T.: Excitation of earth-ionosphere cavity resonances by lightning flashes. J. Geophys. Res., 68, 4125 (1963).
- [3] Galejs, J.: A further note on terrestrial extremely low-frequency propagation in the presence of an isotropic ionosphere with an exponential conductivity-height profile. J. Geophys. Res., 67, 2715 (1962).
- [4] Bruce, C. E. R. and R. H. Golde: The lightning discharge. J. Inst. Elect. Engrs., 88, 487 (1941).
- [5] Norinder, H.: Int. Counc. Sci. Unions. Joint Comm. on Radio-Meteorology, 17 (1951).
- [6] Hepburn, F.: Thesis, University of Cambridge, 1952.
- [7] Barlow, J. S., G. W. Frey and J. B. Newman: Very low frequency noise power from the lightning discharge. J. Franklin Inst., 258, 187 (1954).
- [8] Reamer, H. R.: On the extremely low frequency spectrum of earth-ionosphere cavity response to electrical storms. J. Geophys. Res., 66, 1581 (1961).

- [9] *Wait, J. R.*: Terrestrial propagation of very low frequency radio waves, a theoretical investigation. J. Res. NBS. 64 D, 153 (1960).
- [10] *Stefant, R.*: Application d'un magnetometre a induction a la detection des frequences de resonance de la cavite terre-ionosphere. Ann. de Geophys., 19, 250 (1963).
- [11] *Goldberg, Ph. A.*: Effects of cosmic radiation on the extremely low frequency properties of the mesosphere. J. Geophys. Res. 68, 101 (1963).
- [12] *Belrose, J. S. and L. W. Hewitt*: Variation of collision frequency in the lowest ionosphere with solar activity. Nature, 202, 267 (1964).
- [13] *Balser, M. and C. A. Wagner*: On frequency variations of the earth ionosphere cavity modes. J. Geophys. Res., 67, 4081 (1962).

Karszthidrológiai problémák megoldási lehetősége a kőszénkutató mélyfúrások geofizikai vizsgálatainál

FÁBIÁNCSICS LÁSZLÓ - VARGA GÁBOR

Az északdunántúli barnakőszénkutató fúrásokat karsztvízveszély szempontjából is kell vizsgálni. A geofizikailag megoldandó problémák: a védőréteg meghatározása, a vízveszélyes karsztjáratok kimutatása, a várható vízmennyiség becslése. Az utóbbi két probléma megoldásához áramfókuszált mikroszonda alkalmazása, valamint a fúrófolyadék megsózása után vagy nyomásnövelést, vagy nyomás csökkenést kell végrehajtani a fúrólyukban, így előbbi esetben mikroszondázással, utóbbi esetben izzapellenállás-szelvényezéssel lehet a nyitott járatokat kimutatni. A várható vízmennyiséget reométerezéssel, vagy a sókoncentráció hígulásából számítással lehet megállapítani. A kísérletek még folynak, az első eredmények biztatók.

Скважины, бурящиеся в Северном Задунае на бурые каменные угли, должны изучаться и в отношении опасности карстовых вод. Задачи, подлежащие решению геофизическими методами, сводятся к следующему: определение защитного слоя, выявление опасных карстовых проходов, оценка ожидаемого количества воды. Кроме обычных исследований, необходимых для решения последних двух задач, применяются микрозонды и после добавления к буровому раствору соли, в скважине осуществляется увеличение или снижение давления. В первом случае открытые проходы выделяются микрозондированием, а во втором — каротажными работами по методу измерения сопротивления глинистого раствора. Ожидаемое количество воды определяется реометром или же путем вычисления его из разжижения концентрации соли. Исследования продолжаются, но первые результаты уже представляются обнадеживающими.

Wegen Karstwassergefahr in Braunkohlengebieten des nördlichen Transdanubien ist es notwendig folgende Probleme zu lösen: Bestimmung der Schutzschichten, Nachweis der wassergefährlichen Gänge, Schätzung der voraussichtlichen Wassermenge. Zur Lösung der letzteren muss man nach Versalzung des Spülwassers eine Druckerhöhung oder eine Druckverminderung im Bohrloch anwenden.

Man wendet zum Nachweis der geöffneten Gänge im ersten Falle eine Mikrosonde mit Fokussierung der Stromverteilung, im zweiten Falle die Messung des Spülwasser-Widerstands an. Die voraussichtliche Wassermenge wird durch Messung der Flüssigkeitströmung oder durch Berechnung aus der Verdünnung der Salzkonzentration festgestellt. Die ersten Resultate der noch im Gange befindlichen Experimente sind vielversprechend.