

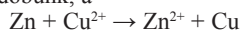
INZELT GYÖRGY

A Volta-oszlop

Az elektromosság története *Alessandro Volta* (1745–1827) találmányával kezdődött. Az első áramforrás megalkotásának tudományos és történelmi háttérét több mint 10 éve írtam meg [1,2]. Nemrégiben tartottam előadást a tüzelőanyag-elemekről. Bemutattam a Volta-oszlopot, nemcsak azért, mert szeretem a fejlődést is illusztrálni, hanem ezúttal azért is, mert a polimerelektrolit membrános (PEM) tüzelőanyag-cellát éppen úgy rakjuk össze, mint azt Volta tette egykoron. Akkor gondolkodtam el azon, hogy a Volta-oszlopról is úgy beszélünk, ahogy a galvánelemekről szoktunk. Pedig ez egy sajátos konstrukció, aminek Volta által adott értelmezését is vitatták már a XIX. század elejétől kezdve. Tanulságos történet, érdemes betekinteni a részletekbe.

A Volta-oszlop (-köteg) és a tüzelőanyagcella-köteg felépítése

Volta roppant egyszerű áramforrást csinált. Nem tett mást, mint fém párokat – például ezüstöt és cinket vagy rezet és cinket – egymásra helyezett, és a fém párok közé sóval vagy enyhén savas oldattal átitatott filcet vagy papírt tett. Volt egy másik elrendezése is, amikor az elektrolitoldat kis poharakban volt, és ezeket kötötte össze a fém párokkal. Lényeges, hogy a két fém közvetlenül érintkezett, nem úgy, mint ahogy ma egy galvánelemet készítünk. Legtöbbször úgy ábrázolunk egy galvánelemet, hogy a két különböző fém a saját ionjait tartalmazó oldatba merül, és a két, elkülönített részt (az úgynevezett félcellákat) sóhiddal kötjük össze vagy diafragmával választjuk el. Úgy magyarázzuk, hogy a kémiai reakció térben elválasztva játszódik le, és az energiáját (pontosabban a reakció szabadentalpia-változását) alakítjuk elektromos energiává (árammá). Ha egy darab cinket rézszulfát-oldatba dobunk, a



reakció akkor is végbemegy, de az energiát nem hasznosítjuk, az teljes egészében hővé alakul. Sok írásban, sőt tankönyvekben is az található, hogy a Volta-oszlop is így működött. Ez azonban nyilvánvalóan nem lehetséges, amire ké-

sőbb visszatérünk. Vessünk egy pillantást Volta saját közleményének ábrájára, illetve a Comóban, a Volta-templomban (Tempio Voltiano) látható Volta-oszlop fényképére (1. ábra). A Volta-oszlopot ugyan eredetinek hirdetik, de valószínűleg rekonstrukció. Ugyanis 1899-ben, Volta találmányának centenáriuma alkalmából kiállítást rendeztek, amely a megnyitó után néhány héttel leégett. A sors különös fintora, hogy a tüzet elektromos rövidzárlat okozta. Elpusztultak Volta műszerei is. A maradványokat ösz-



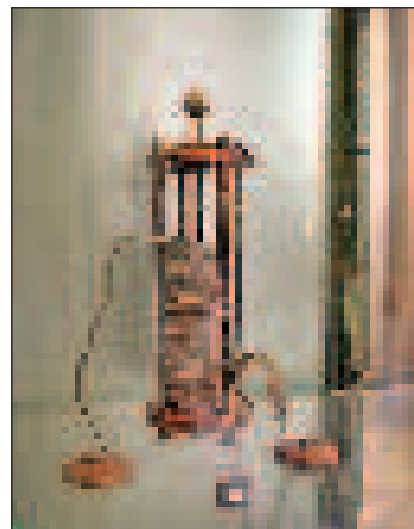
1. ábra. A Volta-oszlop és a poharas elrendezés Volta eredeti közleményéből (*Philosophical Transactions Royal Society London* 2. kötet 403. oldal, illetve *Philosophical Magazin* 7. kötet 289. oldal), valamint egy Volta-oszlop fényképe

szegyűjtötték, és eredeti fotók alapján rekonstruálták. Ezek ma a Paviai Egyetem Volta múzeumában, a Volta tiszteletére épített templomban található. Nem tudok másik olyan templomról, amelyet egy tudósnak építettek. Volta halálának 100. évfordulóján, 1927-ben nyílt meg a templom, és azóta is az olasz zseni (zsenialitás) szimbóluma (2. ábra).

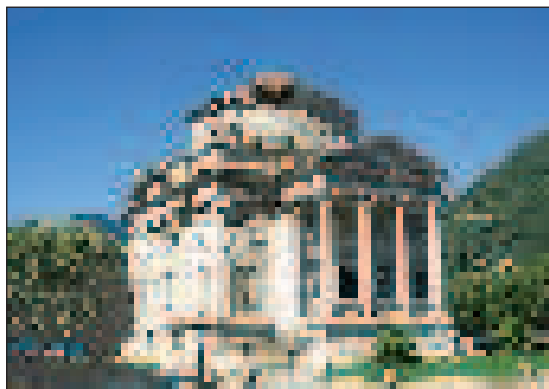
A 3. ábrán egy 20 cellából álló tüzelőanyagcella-köteget láthatunk építés közben és kész formában. Látszatra ugyanúgy járunk el, mint Volta, azaz egy elektródra tesszük az ionvezető membránt, erre újra egy elektródlapot, majd ismét egy membránt, újra egy elektródlapot

és így tovább. Ez egy szokásos galván-elem-elrendezés, vagyis két elektronvezető (ami legtöbb esetben fém) közé kerül az ionvezető fázis (elektrolit, ami ionokat tartalmazó vizes vagy nemvizes oldat, gél stb.).

A bemutatott tüzelőanyag-cellánál az elektród kissé bonyolult konstrukció, mert ezekben a cellákban hidrogént oxidálunk az egyik elektródon, a másik elektródreakció pedig az oxigén redukciója. Ehhez pedig a gázokat is oda kell juttatni a katalizátor (legtöbbször finom



eloszlású platina) felületére. Lényegében olyan cellánk van, ahol mindkét elektród platina, az egyik elektródhoz hidrogént, a másikhoz oxigént (levegőt) vezetünk. Technikailag ez úgy néz ki, hogy poros szénzövetre, az úgynevezett gázdifúziós rétegre (GDL) visszük fel a katalizátorréteget (CL). Ez a gáz-difúziós elektród (GDE). A GDE-t a katalizátorral bevont felével a protonvezető membránhoz (szilárd elektrolit) préseljük. A membrán, ez esetben szilárd elektrolit feladata az, hogy elválassza a katódot és az anódot, biztosítsa a protonvezetést, és megakadályozza az elektronátmenetet, illetve a gázok közvetlen keveredését



2. ábra. A Volta-templom Comóban

az anód és a katód között. Legtöbbször perfluoro-szulfonsavat használunk ionvezetőként, amelynek legismertebb képviselője a Nafion™. A protonvezetés akkor a legjobb, ha minden szulfonsavcsoportot legalább 50 vízmolekula vesz körbe. Ha a membrán kiszárad, akkor a cella működésképtelenné válik. A GDE külső feléhez csatlakoznak a bipoláris lapok, amelyek egyrészt az elektronvezetést biztosítják, másrészt a gázokat vezetik a gázcsatornában az elektródhoz (FF). További szerepük az egyes elemi cellák elválasztása, a reakcióhő és a keletkezett víz elvezetése [3–5]. A jobb érthetőség kedvéért a viszonyokat a 4. ábrán szemléltetjük.

Tehát minden bonyolultsága ellenére, tüzelőanyag-cellánk a szokásos elektronvezető–ionvezető–elektronvezető felépítést mutatja [3–5]. A Volta-elem nem ilyen. Ott egy cella elektronvezető–elektronvezető–ionvezető felépítésű. Az már más kérdés, hogy a sorba kötés miatt olyan, mintha hagyományos galváncellákat kötöttünk volna sorba. Volta szilárdan hitte, hogy a két fém közvetlen kapcsolata a döntő elem, és a fémek közötti kontaktpotenciál a cellapotenciál forrása. Az ionvezető szerepét figyelmen kívül hagyta, csak az elektromos vezetést elősegítő 'alkatrésznek' tekintette. A mai szemléletünk kialakulása a XIX. század második felének és a XX. századnak a terméke. Az ehhez kapcsolódó vitákra később még kitérünk.

Hogyan működik a Volta-oszlop?

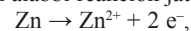
Azt könnyen beláthatjuk, hogy a Volta-oszlop tulajdonképpen sorba kötött galvánelemből áll, ily módon nem csodálkozunk azon, hogy áramot tud szolgáltatni. Ha galvánelemeket sorba kötünk, akkor is rendre a negatív és a pozitív pólusokat kötjük össze. Persze lehetnek gondok, például a folyadékkal átitatott

fílc kiszárad. Ami azonban lényegesebb az, hogy miként első ránézésre gondolnánk – és sokan így is tárgyalják! – ez egy cink-ezüst vagy cink-réz (Volta rezes is használt, az ábrán az A = argentum = ezüst, a Z = cink) elem. Az, hogy a cink oldódik, az elég nyilvánvaló, de mi történik a másik elektródon, a katódon? Itt szó sem lehet Ag és Ag⁺ egyensúlyáról, ez nem ezüst elektród. Két folyamat játszódhat le: vagy hidrogén fejlődik vagy oxigén redukálódik. Nagy részben, ahogy már az 1830-as

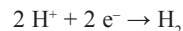
években *John Frederic Daniell* (1790–1845) és mások is kimutatták, hidrogén fejlődik. Az oxigénelektrod csereárama nagyon kicsi, így érthető, hogy inkább hidrogénfejlődés történik. Akkor pedig Volta eleme az elektrokémiai fémkorrózió mechanizmusa szerint működik. Fémek korróziójakor egyrészt a fém oldódik (ionok képződnek, amelyek oldatba mennek, vagy felületi vegyület jön létre), másrészt ugyanazon a fémfelületen a hidrogénion vagy az oxigénmolekula redukálódik. Így jön létre egy keverékpotenciál, amit ebben az esetben korróziós potenciálnak nevezünk. Ezért veszélyes a

Ilyen az ólom, de ez a helyzet tiszta cink, kadmium vagy ón esetében is. (Ezért is használták az ólmot évszázadokon keresztül vízvezetékek anyagául, bár lassan azért oldódik és mérgező. Egyes szerzők ennek tulajdonítják a római birodalom hanyatlását is.)

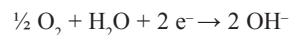
Tehát az alábbi reakciók játszódhatnak le:



illetve



vagy



A leírt korróziós folyamatot a modern galvánelemben, és a tulajdonképpeni tüzelőanyag-cellákban is kihasználjuk. Így működik a cink–levegő elem. Itt a cinket oxidáljuk, 'égetjük el', tehát a cink a tüzelőanyag. Ilyen elemeket használnak kisméretű eszközökben gombaelemként, de nagy méretben is, például gépjárművek áramforrásaiban. Ez utóbbi esetben a 'töltés' annyiban áll, hogy az elhasznált cinkkazettát kicserélik. Most a lítiumelemek (Li-ion elemek) a népszerűek, mert sokkal könnyebbek, de ne felejtkezzünk meg arról, hogy az ismert cinktartalékunk kb. 6 gigatonna, míg a rendelkezésre álló lítium ennek csak töredéke. Az éves termelés lítiumból 10 millió, míg cinkből 100 millió gépjármű áramforrásigényét tudja fedezni.



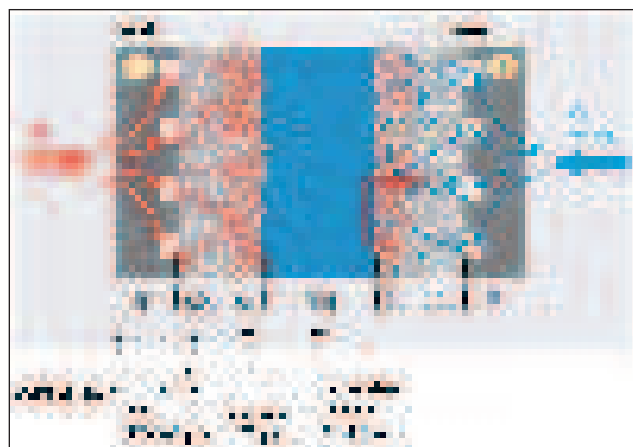
3. ábra. Egy PEM tüzelőanyagcella-köteg építése és egy kész, 20 cellából álló tüzelőanyagcella-köteg a szerző laboratóriumában

savas eső, mert a korrózióhoz mind a vizes oldat jelenléte, mind a H⁺-ion jelenléte szükséges. A folyamat sebessége ez utóbbi koncentrációjától függ. Az oxidálószert lehet az oxigén is, aminek a fémfelülettel való érintkezését igyekszünk gátolni. Mivel a tenger fenekén kevés oxigén van, az elsüllyedt hajók fém alkatrészei nagyon lassan korrodálódnak. Számos fém a hidrogénfejlődés gátolt, ezért ezek a fémek gyakorlatilag nem vagy csak nagyon lassan oldódnak savakban annak ellenére, hogy termodinamikai szempontból le kellene játszódni az oldódásnak.

Hogy alakult ki mai szemléletünk és kiknek köszönhetjük?

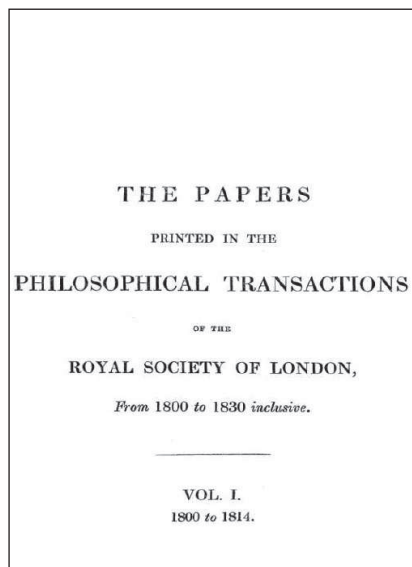
Volta azon nézetét, hogy a *Luigi Galvani* (1737–1798) állati elektromosság elmélete – ami a békacomb-kísérleteken alapult – nem helytálló, elfogadták, de a kontaktpotenciállal való magyarázat tekintetében kétségek merültek fel [6,7]. A vita tárgya alapvetően az volt, hogy a potenciálkülönbség hol keletkezik, és mi az áram forrása. Már korán felmerült, hogy a potenciálkülönbség a fém és az elektrolyt határfelületénél lép

fel, és nem a két fém érintkezésénél. A dolgot bonyolítja, hogy két fém között is fellép potenciálkülönbség, de csak fémekből nem építhető galvánelem. (Érdekese, hogy maga a név Galvani emlékéét őrzi.) Volta elképzelése szerint két különböző fémel kell használni, de az úgynevezett koncentrációs elemeknél két azonos fémel, de különböző töménységű elektrolitoldatot alkalmazva is tudunk galvánelemet létrehozni. Az 1830-as évekre többek között *Michael Faraday* (1791–1867) és *Daniell* arra a következtetésre jutott, hogy a galvánelem működése kémiai reakcióval van összefüggésben. Ez a vonal, miszerint a potenciál ott alakul ki, ahol a kémiai átalakulás megtörténik, diadalmaskodott azután a század második felére, főleg *Walther H. Nernst* (1864–1941) elméletének (1888) és *F. Wilhelm Ostwald* (1853–1932) széleskörű terjesztő munkájának következtében. Nernst elméletének hibáit már részletesen elemeztem [1,5]. Mindazonáltal nem volt könnyű diadal, mert *William Thomson* (Baron Kelvin of Largs, 1824–1907) az 1860-as években Volta pártjára állt. Közte és *James Clerk Maxwell* (1831–1879) között pedig a kontaktpotenciálok mibenlétéről folyt vita. Ne feledjük el, hogy ezek a viták még az elektron felfedezése, 1897 előtt folytak, ami azután új értelmezést tett lehetővé. Ez sem született meg könnyen, mert Nernst és má-



4. ábra. A PEM tüzelőanyag-cella felépítése

sok ragaszkodtak a hibás elméletükhöz még az 1930-as években is. Bár ma már többé-kevésbé világos képünk van arról, hogy mi az áram forrása, valamint miért és hol lép fel potenciálkülönbség, a fázishatárokon kialakuló elektromos kettős réteg szerkezetének vagy a töltésátlépés elemi aktusának megismerése még a jelen és a jövő feladata.



5. ábra. A *Philosophical Transactions* címlapja, Volta francia nyelvű közleményének angol fordítása, ahogy Joseph Banks felolvasta a Royal Society ülésén (1800) és Faraday egyik cikke (1834)

Kis történeti kalandozás

A tudomány fejlődésének szépsége akkor bontakozik ki igazán, ha az eredeti közleményeket olvassuk. Ezért ideillesztjük hőseink néhány releváns munkájának első oldalát. Ezt abban a reményben tesszük, hogy olvasóink kedvet kapnak a régi közlemények tanulmányozásához [8]. A munkákat olvasva izelítőt kaphatunk a legnagyobb gondolkodásának fejlődéséből, a tudomány előrehaladásának mibenlétéről. Faraday két, sok év különbséggel megjelent közleményéből láthatjuk, hogy a nagy tudós hogyan jutott egyre közelebb a Volta-oszlop titkához. Gyönyörű mondatokat is olvashatunk. Például az 1834-es közleményben a következőket. „A Volta-féle oszlopban keletkező elektromosság forrásának nagy kérdése számos kiváló filozófus figyelmét felkeltette.” (Itt, miként a folyóirat címében is, a filozófia a természettudományt.) „Az embernek magának kell rászánnia magát a munkák elvégzésére és a tények megvizsgálására.” „...ez

On the Electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different Kinds. In a Letter from Mr. Alexander Volta, F.R.S. Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to the Rt. Hon. Sir Joseph Banks, Bart. K.B. F.R.S. Read June 26, 1800. [Phil. Trans. 1800, p. 406.]

In prosecuting his experiments on the electricity produced by the mere contact of different metals, or of other conducting bodies, the learned Professor was gradually led to the construction of an apparatus, which in its effects seems to bear a great resemblance to the Leyden phial, or rather to an electric battery weakly charged; but has moreover the singular property of acting without intermission, or rather of re-charging itself continually and spontaneously without any sensible diminution or perceptible intervals in its operations. The object of the present paper is to describe this apparatus, with the variety of constructions it admits of, and to relate the principal effects it is capable of producing on our senses.

XX. Experimental Researches in Electricity.—Eighth Series. By MICHAEL FARADAY, D.C.L. F.R.S. Fullerian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal and Imp. Acad. of Sciences, Paris, Petersburg, Florence, Copenhagen, Berlin, &c. &c.

Received April 7.—Read June 5, 1834.

§. 14. On the Electricity of the Voltaic Pile; its source, quantity, intensity, and general characters. ¶ i. On simple Voltaic Circles. ¶ ii. On the intensity necessary for Electrolysis. ¶ iii. On associated Voltaic Circles, or the Voltaic Battery. ¶ iv. On the resistance of an Electrolyte to Electrolytic action. ¶ v. General remarks on the active Voltaic Battery.

¶ i. On simple Voltaic Circles.

875. THE great question of the source of electricity in the voltaic pile has engaged the attention of so many eminent philosophers, that a man of liberal mind and able to appreciate their powers would probably conclude, although he might not have studied the question, that the truth was somewhere revealed. But if in pursuance of

arra ösztönzött, hogy feltételezzem azt, hogy képes vagyok talán segíteni a kérdés meghatározásában és nagy szolgálattal tehetek a kétséges nézetek eloszlatásában. Ilyen tudás minden fejlődő tudománynak kora reggeli fénysugár, és létfontosságú az előrehaladásához.”

Érdekese a levélforma is, nemcsak Volta esetében, hanem így írta meg Daniell is Faraday-nek is azt, hogy olyan elemet szerkesztett, amely tetszőleges időtartamig képes állandó áramot szolgáltatni. Megtudhatjuk azt is, hogy Volta elnézést kért azért, hogy régóta nem jelentkezett. Daniell pedig fontosnak tartja az új ismeretek megosztását a diákjaival, és hogy lenyűgözze őket, új kísérleti eszközöket készít, és új kísérleteket mutat be.

A *Philosophical Transactions* folyóiratról is érdemes néhány szót szólni. A legrégebbi olyan folyóirat, amelyet teljesen a természettudománynak szántak. (Ha a Párizsban 2 hónappal korábban megjelent *Journal des sçavans* folyóiratot is figyelembe vesszük, akkor a második, bár ebben más cikkeket is publikáltak.). 1665-ben alapította az akkor már 6 éves Royal Society. Az említett tudósok sok eredményüket itt tették közzé, de *Newton* első cikke a fény és színelméletéről is itt jelent meg 1671-ben. Végezetül, ha a folyóirat címlapjának aljára siklik a tekintetünk, azt látjuk, hogy azt *Richard Taylor* (1781–1858) nyomtatta. Helyénvaló, hogy szóljunk róla is. Hosszú évtizedekig ő jelentette meg a tudományos lapokat, a másik fontos természettudományos folyóiratnak, a

Philosophical Magazine-nak szerkesztője is volt. Maga is foglalkozott természettudományokkal, a Linnean Society titkára is volt. London város tanácsának 35 éven keresztül volt tagja. A nyomdai vállalkozásban az egész család részt vett, az apja, testvére és unokatestvére is. *William Francis* 1852-ben csatlakozott a vállalkozáshoz. A Taylor & Francis kiadó ma is létezik.

Képzletünk visszarepíthet a régi idők londoni Fleet Street-jére, ahol a kiadói és nyomdai tevékenység már a XVI. század eleje óta folyt. Elképzeltethetjük a Royal Society titkárát, vagy akár Faraday-t és a többieket, ahogy betérnek Taylor úr cégéhez a Vörös Oroszlán udvarba, kezükben a kéziratukkal, ami megalapozta mai tudásunkat és tágabb értelemben életünket. Ma már ne keressük a kiadókat a Fleet Street-en, mert az 1980-as évektől kezdve elhagyták az utcát, de a nagy idők emléke tovább él.

Irodalom

- [1] Inzelt György: Kétszáz éves Alessandro Volta találmánya. *Természet Világa*. 2000. november, Természettudományi Közlöny 131 (11) 503-505 (2000).
- [2] Inzelt György: **Kalandozások a kémia múltjában és jelenében** (Kémiai esszék). Vince Kiadó, Budapest, 2003.
- [3] Inzelt György: A kémia és az elektromosság frigyének gyümölcsei. *Természet Világa* 2005./1 kémia különszám, Természettudományi Közlöny 58-64. (2005).
- [4] Inzelt György: Az elektrokémia reneszánsza a 21. században. *Magyar Kémikusok Lapja* LXVII. évf. 6. szám. 178-182 (2012).
- [5] Inzelt György: Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei II. kötet. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.
- [6] Horányi, György, Inzelt, György: Hommage to Alessandro Volta on the occasion of the 200th anniversary of the invention of the "electric pile". *Modern electrochemistry based on Volta's ideas*. *ACH Models in Chemistry*, 136, 675-682 (1999).
- [7] Horányi György, Láng Győző: Zsákutcák, tévutak és csapdák a jelenkori elektrokémia elméletében és kutatásában. A kémia újabb eredményei, szerk.: Csákvári Béla, 90. kötet, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001.
- [8] Volta, Faraday, Daniell és a többiek eredeti cikkeinek jelentős része megtalálható a Nagy Zoltán szerkesztette internetes Encyclopedia of Electrochemistry webhelyén: (<http://electrochem.cwru.edu/estir/history.htm>) illetve az ELTE Kémiai Intézetének könyvtárában az eredeti folyóiratpéldányokban, a <http://www.jstor.org> webhelyen, aminek a könyvtárban hozzáférés van, illetve az Ostwald's Klassiker sorozat köteteiben német fordításban, de az eredeti ábrákkal.

SCHILLER RÓBERT

Regényes vegytan

...tévednek azok, akik szerint a matematikai tudományok semmit sem mondanak a szépről vagy a jóról.
Arisztotelész

A kémia ma: tudomány, technika, ipar. A kémia valamikor: a világmagyarázat ígérete.

Georg Philipp Friedrich von Hardenberg 1772-ben született egy polgárosodó német nemesi családban, másodikként tizenegy gyerek között. A köztisztviselő apa legidősebb fiának tanulmányai a természetes ösvényen haladtak: jogot hallgatott Jénában és Wittenbergben – közben azonban a történelem, a filozófia és az irodalom is mélyen érdekelté –, 22 évesen diplomát kapott, és munkába állt a megyei hivatalnál. Alig egy évvel később azonban új állásba került, a weissenfelsi sóbányák igazgatósága alkalmazta. Ezt követően másfél éven át geológiai, közzétant és vaskohászatot tanult kémia, matematika és biológia mellett a freiberger bányászati akadémián. Nem tudom, hogy a fiatalembert természettudományos érdeklődése vitte-e új munkahelyére, vagy ellenkezőleg, hivatalnokai lelkiismerete vette rá új tanulmányaira. A kémia elméletei iránt mindenestre komolyan érdeklődött.

Ezek az évek a kémikusok körében még az égés régi és új teóriája közti harcokról szóltak. A régi és német Stahl eszméje: minden éghető anyag flogisztont tartalmaz, az égés nem más, mint a flogiszton távozása az anyagból. Az új és francia Lavoisier tétele: az égés nem más, mint oxigénnel való egyesülés. A vita néhány évvel korábban már túlcspott a fegyelmzett tudományos diskusszió keretén. Madame Lavoisier Párizsban nyilvánosan elégette Stahl könyveit, Berlinben pedig Lavoisierit ítélték halálra – képletesen persze. Mire Hardenberg kémiai tanulmányaira sor került, ez a nemzetközi tudományos vita bohósnak tetszett: Lavoisierit kivégeztette a francia forradalmi bíróság, nagyon is valószínűleg.

Hardenberg alapos tanuló lehetett; egyfelől járt a flogiszton-párti Wiegleb előadásaira, másfelől hallgatta a flogiszton-ellenes Lampadius óráit is. Ránk maradt terjedelmes feljegyzései, az ügyvezetett Salinenschriften (Sóbányai iratok) jól felkészült, alapos és lelkiismeretes szakembernek mutatják. Ezekben beszámol geológiai és közzétani megfi-



Georg Philipp Friedrich von Hardenberg (Novalis) arcképe (*Ismeretlen festő munkája*)

gyeléseiről, szénbányászati problémákról és persze napi hivatalos ügyekről is. De gazdasági és szociális kérdések is foglalkoztatják, a munkások szörnyű munkaviszonyai épp úgy, mint Szászország önellátása ásványi anyagokkal. Azonban minden napi és hivatali gondon túl foglalkozott a kémia aktuális elméleteivel is. Mert a költő számára ez igen termékeny mezőnek tetszhetett.

Ezt a szorgalmas műszaki értelmiségit ugyanis az irodalomtörténet Novalis néven ismeri; a korai német romantika nagy költője, írója ő. Egyik legismertebb munkája egy regény, a szerző korai halála miatt töredékben maradt Heinrich von Ofterdingen. A romantika kék virágára, mint a regény fontos motívumára szoktak hivatkozni, ami aztán szimbólumává vált az egész költői mozgalomnak. Ehhez képest elég kevés szó esik róla a könyvben. Ahogyan az újabb tanulmányokban olvasom, talán találóbb volna a romantika kémiaijáról beszélni a regénnyel kapcsolatban. A regény, amely valamikor a középkorban játszódik, fejlődésregény, látszatra legalábbis, amennyiben a főhős egyéniségének a kialakulásáról kíván szólni. Utazás, kaland is akad benne, egyebek között barlangok és tárnák sorát járják be a szereplők, jó hasznát véve a szerző bányamérnöki tudásának.

A legjelentősebb és legterjedelmesebb fejezet egy mese, történet a történetben, amelyet a bölcs aggastyán Klingsohr mond el. (Klingsor – ez a hagyományos írásmód – a