



## SÉTÁK A TUDOMÁNY KÖRÜL

Lawrie tervezte az épület ereszének díszítését, amelyen a megfigyelést jelképező hiúz, a bölcsességet jelképező bagoly és az orvostudományt jelképező kígyó ismétlődő alakja látható. Az épület homlokzatán az ablakok között hat domborműves bronztábla látható: három a bejáratától balra és három jobbra. Minden tábla hat tudóst ábrázol (kivéve a jobb középsőt, amely hetet; előző oldal).

A táblák sorrendje a következő: bal szélső – középső bal – bal – jobb – középső jobb – jobb szélső. Ezek a következő tudósokat jelenítik meg:

Bal szélső: Galton, Gibbs, Helmholtz, Darwin, Lyell, Faraday. Középső bal (a képen fent): Humboldt, Dalton, Lamarck, Watt, Franklin, Huygens.

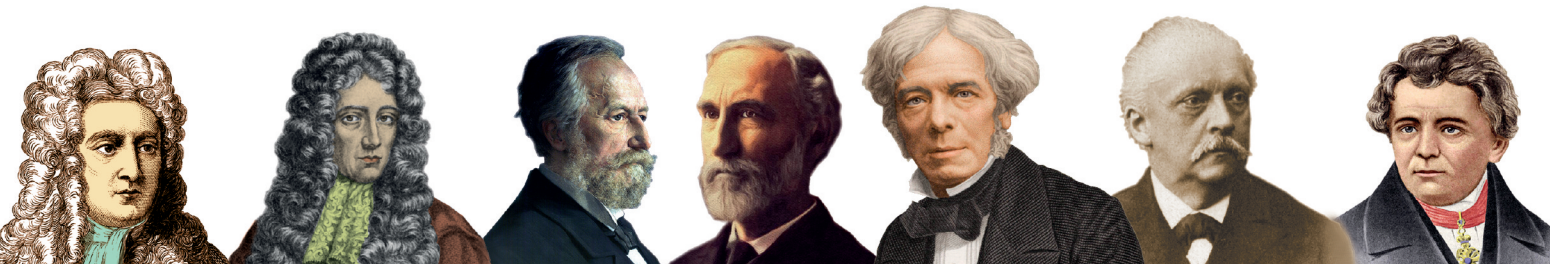
Bal: Galilei, Leonardo, Hipparkhosz, Euklidész, Démokritosz, Thalész.

Jobb: Hippokratész, Arisztotelész, Arkhimédész, Kopernikusz, Vesalius, Harvey.

Középső jobb (lent): Descartes, Newton, Linnæus (Linné), La-voisier, Laplace, Cuvier, Gauss.

Jobb szélső: Carnot, Bernard, Joule, Pasteur, Mendel, Maxwell.

*A washingtoni séta fizikus-emlékek meglátogatásával folytatódik a következő számban.*



## KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

# Az Erdey-Grúz–Volmer-egyenlet

**A** Nernst-féle egyensúlyi elektrokémia még szilárdnak tűnő építményén Erdey-Grúz és Volmer közleménye [1] ütötte a legnagyobb rést (1. ábra).



1. ábra. Erdey-Grúz és Volmer híres cikkének első oldala

Alap gondolatuk az volt, hogy az elektród folyamatokat a reakciókinetika törvényei alapján kell értelmezni. Döntő kísérleti megfigyelésük az volt, hogy a túlfeszültség közvetlenül az áram bekapcsolása után nem logaritmikusan, hanem lineárisan nő a töltés mennyiségével. Ebből pedig az következik, hogy azoknál az elektródoknál, amelyeknél a **Tafel-egyenlet**  $b$  állandójának értéke 0,12 körüli, a hidrogénionok semlegesítése a gátolt folyamat, hiszen a lineáris változás csak a hidrogénionoknak az elektrokémiai kettős rétegben való feldúsulásával magyarázható. Ez viszont a folyamat nagy aktiválási energiájára vezethető vissza. Az aktiválási energia pedig a túlfeszültség ( $\eta = E - E_e$ , ahol  $E$  az alkalmazott, míg  $E_e$  az egyensúlyi elektródpotenciál) révén csökkenthető [2–6].

Ily módon magyarázatot tudtak adni a **Tafel-egyenletre**

$$\eta = a - b \lg |j|, \quad (1)$$

ahol  $j$  az áramsűrűség,  $a$  és  $b$  állandók. Nagy túlfeszültségre, amelyre a Tafel-egyenlet is vonatkozik, a következő egyenletet vezették le:

$$j = -k_{red} F c_{H^+} \exp \left[ -\frac{\alpha_c F \eta}{RT} \right], \quad (2)$$

ahol  $k_{red}$  a redukciós folyamat sebességi állandója,  $F$  a Faraday-állandó,  $c_{H^+}$  a hidrogénionok koncentrációja,  $R$  a gázállandó,  $T$  a hőmérséklet, míg  $\alpha_c$  az általuk bevezetett átlépési tényező (a  $c$  alsó index a katódos reakcióra utal.) Az (1) és (2) egyenletek összehasonlításából azonnal szembetűnik, hogy logaritmizálva és átrendezve (2)-ből az (1) egyenlet adódik.

Ugyanekkora jelentőségű volt, hogy egyensúlyközeli állapotokra vonatkozó egyenlethez, amely az elektródreakciók kinetikájának alapegyenlete, is eljutottak, és az egyensúlyi potenciál első kinetikai (nem termodinamikai) magyarázatát is meg tudták adni:

$$j/F = -k_{red} c_{ox} \exp \left[ -\frac{\alpha_c n F (E - E^0)}{RT} \right] + k_{ox} c_{red} \exp \left[ \frac{\alpha_a n F (E - E^0)}{RT} \right], \quad (3)$$

ahol  $k_{ox}$  az anódfolyamat (oxidáció) sebességi állandója,  $c_{ox}$  és  $c_{red}$  az oxidált, illetve redukált alak, jelen esetben a hidrogénionok, illetve az adszorbeált hidrogénatomok koncentrációja,  $\alpha_a$  az anódos folyamatra vonatkozó átlépési tényező,  $E^0$  a formális (standard) elektródpotenciál, míg  $n$  a cellareakció töltésszáma, jelen esetben  $n = 1$ .

Az eredeti közleményben [1], mivel a hidrogénfejlődési reakcióra írták fel, a következő egyenlet található:

$$\frac{j}{F} = k_2 c_+ e^{-\frac{\alpha_c E F}{RT}} - k_3 c_H e^{+\frac{\alpha_a E F}{RT}}, \quad (4)$$

ahol  $c_+$ , illetve  $c_H$  értelemszerűen a hidrogénion koncentrációját, illetve a hidrogén koncentrációját jelentette. Ez általánosítva látható a (3) egyenletben, vagyis akármilyen vegyület oxidált alakjára az elektroredukciós, illetve akármilyen redukált formájára az elektrooxidációs folyamatra.

Egyensúlyban  $j = 0$ ,  $E = E_{\infty}$  és ekkor az egyensúlyra, ha  $\alpha_a = \alpha_c$ , a Nernst-egyenlethez jutunk.

$$\exp \left[ \frac{n F (E - E^0)}{RT} \right] = c_{ox} / c_{red}, \quad (5)$$

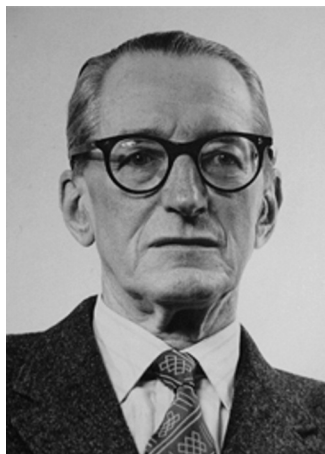
Ez óriási eredmény volt, de az  $\alpha$  átlépési tényező tulajdonképpen teljesen formálisan került az egyenletbe abból a célból, hogy a kísérleti adatokkal összhangba jussanak, nevezetesen a  $b$  tényező ( $b = 2,3 RT / \alpha_c n F$ ) értékét jól becsüljék meg. Az átlépési tényező fizikai jelentését Polányi Mihály (1891–1976) adta meg néhány évvel később [7].

## Az előzmények

Az elektród folyamatok sebességének mérése igen egyszerű, hiszen az áramot ( $I$ ) kell csak mérni, vagy hogy pontosabbak legyenek – lévén szó heterogén reakcióról – az áramsűrűség ( $j$ ) ad egyértelmű felvilágosítást egy adott reakció sebességéről. Az elektrokémiában még az a különleges lehetőségünk is megvan, hogy állandó reakciósebességet (áramsűrűséget) állítsunk be. A korai mérések általában így is történtek, azaz az áramsűrűség függvényében mérték a potenciált. A galvanosztikus módszert ( $j = \text{állandó}$ ) csak a potenciosztát kifejlesztése (1942) után kezdtek felváltani a potenciosztatikus, illetve a potenciáldinamikus

mérési technikák. Az elektrokémiai méréseknél a szokásos paramétereken (hőmérséklet, koncentráció) kívül megjelenik a fázishatáron fellépő potenciálkülönbség, az elektródpotenciál ( $E$ ), sőt már az is korán nyilvánvalóvá vált, hogy ez az utóbbi mennyiség a meghatározó az áram nagysága, illetve a termékeloszlás (Fritz Haber, 1868–1934) tekintetében. Mindenki nagyjából elfogadta az elektródpotenciál Nernst-féle értelmezését, tehát azt a felfogást, hogy a potenciál ellentétes irányú, végső soron egyensúlyi, anyagátlépéssel járó folyamatok eredményeként jön létre. Ez a modell többé-kevésbé megfelelő volt olyan galvánelemeknél, amelyeknél fémoldódás/fémionleválás történik, de nem alkalmazható redoxielektrodok, ideálisan polarizálható elektrodok, illetve irreverzibilis elektródreakciók esetén. Az első jelentős összefüggés felismerése a szerves kémikus Julius Tafel (1862–1918) nevéhez fűződik. Kísérleti eredményei alapján állította fel a róla elnevezett (1) egyenletet. Tafel azt gondolta, hogy a hidrogénfejlődésnél a  $H_2$ -molekula képződése ( $2H \rightarrow H_2$ ) a lassú folyamat. Az értelmezéséből adódó következtetések, a  $b$  állandóra kapott értékek azonban általában nem egyeztek a tapasztalattal. Noha az 1920-as években J. A. V. Butler (1899–1977) és Jaroslav Heyrovský (1890–1967) már kinetikai elméleti alapon kísérlete meg értelmezni a túlfeszültséget, az igazi áttörést Erdey-Grúz és Volmer 1930-as közleménye [1] hozta meg. Ezzel az eredménnyel megszületett az elektród folyamatok kinetikájának tudományos elmélete, és megnyílt az út a korszerű elektrokémia fejlődése előtt.

## Erdey-Grúz Tibor



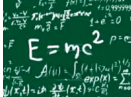
2. ábra. Erdey-Grúz Tibor

Erdey-Grúz Tibor (Budapest, 1902. október 27 – Budapest, 1976. augusztus 16) (2. ábra) édesapja, Erdey-Grúz Aladár miniszteri tanácsos, elnökségi csoportfőnök volt a Honvédelmi Minisztériumban. 1916-ban nemességet kapott egerbegyi előnévvel, és ekkor engedélyezték neki a kettős, Erdey-Grúz név viselését is. 1919. november 7-én nyugdíjazták. A család eredeti neve Erdey volt. Erdey Aladárt Grúz Albert és felesége, aki Erdey lány volt, örökbe fogadták. Innen az Erdey-Grúz név [8–10]. Erdey-Grúz Tibor a

Mintagimnázium (ma ELTE Trefort Gyakorlógimnázium) [11] elvégzése után a Budapesti Tudományegyetemen (ma Eötvös Loránd Tudományegyetem) folytatta tanulmányait, szerzett egyetemi, majd 1924-ben bölcsészdoktori diplomát. Itt is kezdett el dolgozni 1924-ben Buchböck Gusztávnál (1869–1935), a III. Kémiai Intézetben.

Hároméves (1928. október – 1931. szeptember) németországi tanulmányútja rendkívül sikeres volt. Kasimir (Kazimierz) Fajans (1887–1975) müncheni laboratóriumában adszorpciók kutatásokat végzett, és közös cikket is publikáltak az ionok adszorpciójáról. Max Volmer berlini laboratóriuma szintén igen jó választásnak bizonyult. A hidrogéntúlfeszültséggel kapcsolatos munkája mellett a katódos fémleválasztásról, az elektrokristályosodásról szóló cikkeik is mindmáig alapműnek számítanak.

Az elektród folyamatok kinetikai értelmezése csak lassan nyert teret, mert Walther Nernst (1864–1941, MTA külső tagja 1899,



Nobel-díj 1920) tekintélye kikezdetlen volt, sőt az még halála után is hosszú ideig hatott. Erről 1992-ben John O'M. Bockris (1923–2013), a 20. századi elektrokémia egyik meghatározó személyisége a Nemzetközi Elektrokémiai Társaság (CITCE, majd 1971-től ISE) 1949-es alapítására visszaemlékezve így írt [12]: „A túlfeszültséget, mint olyan betegséget tekintették, amelytől a gázelektrodok szenvednek. Erdey-Grúzt és Volmert, akiket én az elektród-folyamatok kinetikája atyáinak tekintek, valamint Frumkint ritkán említették.”

Hazatérve az elektród-folyamatok tanulmányozása mellett, a Buchböck-iskola hagyományait követve, Erdey-Grúz az elektrolitoldatokban végbemenő transzportfolyamatok vizsgálatát választotta a másik fő kutatási témájának (3. ábra).

*Acta Chimica Academiae Scientiarum Hungaricae, Tomus 77 (2), pp. 173–178 (1973)*

### SELF-DIFFUSION COEFFICIENTS OF WATER IN METHANOL–WATER MIXTURES

T. ERDEY-GRÚZ, Gy. INZELT and P. FODOR-CSÁNYI

(Department of Physical Chemistry and Radiology, Eötvös Loránd University, Budapest)

Received June 3, 1972

The open-end capillary method, without stirring, was used to determine the self-diffusion coefficients of water in methanol–water mixtures, in the whole concentration range at 25 °C. Water was labeled with  $^{18}\text{O}$ . The oxygen exchange between water and methanol is negligible. The isotope content of the samples was measured on a mass spectrometer.

The self-diffusion coefficient of water decreases on the addition of methanol, it passes through a flat minimum at a methanol concentration of about 20 mole %, and then increases with the further increase of the methanol concentration. The product  $D^*\eta$  passes through a sharp minimum at a methanol concentration of about 11 mole % and a maximum at about 65 mole %, and then decreases again. The behaviour of the self-diffusion coefficient and of the product  $D^*\eta$  indicates that the incorporation of a small amount of methanol into the structure of water stabilizes it, whereas the structure-breaking effect may dominate at medium concentrations. In mixtures with high methanol concentrations, however, the water molecules are stabilized, presumably by incorporation into the chains formed by the methanol molecules.

### 3. ábra. Egy kései publikáció a transzportfolyamatok témakörben

Érdeklődése nyomon követhető, ha megnézzük akadémiai előadásait. 1943. május 14-én választották meg az MTA levelező tagjának, székfoglalóját „Potenciál-meghatározó folyamatok fém és oldat határán” címmel 1944. január 24-én tartotta. Éppen időben, mert nem sokkal később az MTA működése megszűnt.

1945 nyarán tagja lett a Szent-Györgyi Albert szervezte Magyar Természettudományi Akadémiának, ami 1946. július 24-én beolvadt a Tudományos Akadémiába (4. ábra).



### 4. ábra. Erdey-Grúz akadémiai tagsági könyve Szent-Györgyi Albert elnöki aláírásával (a Szent-Györgyi által aláírt dokumentum 1945 őszén igen sokat számított, mert ő a Magyar–Szovjet Művelődési Társaság díszelnöke is volt ekkor)

1948. július 2-án lett az MTA rendes tagja. „A reakciósebesség változása a kontakt-katalizátor mennyiségével” című székfoglalójának felolvasására 1948. október 1-én került sor. Az 1950 novemberében tartott ünnepi hetén az „Elektród-folyamatok kinetikája” címmel tartott előadást. A Tudományos Minősítő Bizottság (TMB) megalakulásával újraértékeltek a kutatókat. Első körben 333 pályázó közül 68-nak a tudományok doktora, 173-nak a tudományok kandidátusa fokozatot ítéltek oda. (5. ábra)

lójának felolvasására 1948. október 1-én került sor. Az 1950 novemberében tartott ünnepi hetén az „Elektród-folyamatok kinetikája” címmel tartott előadást. A Tudományos Minősítő Bizottság (TMB) megalakulásával újraértékeltek a kutatókat. Első körben 333 pályázó közül 68-nak a tudományok doktora, 173-nak a tudományok kandidátusa fokozatot ítéltek oda. (5. ábra)



### 5. ábra. Erdey-Grúz oklevele a TMB-től 1952-ben

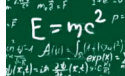
Ma már különös olvasni, hogy Erdey-Grúz hamarabb lett akadémikus, mint a tudományok doktora. Még az akadémikusok közül sem kapott mindenki fokozatot. Ehhez persze tudni kell azt is, hogy három évvel korábban sok akadémikust visszaminősítettek tanácskozó tagnak.

Az elektród-folyamatok kinetikája tekintetében a váltóáramú mérések és az oxigéntúlfeszültséggel kapcsolatos vizsgálatok képezték tevékenysége fő vonulátát 1950 és 1976 között. Minden említett területen az ő kezdeményező tevékenysége folyamánként alakultak meg azok a tudományos iskolák, amelyek ma is meghatározó szerepet játszanak a hazai elektrokémiai kutatásban.

Egyetemi pályafutása, amely mindvégig az alma materéhez kötődött, töretlen volt: egyetemi adjunktus (1932–1946) és magántanár (1934–1941), majd címzetes nyilvános rendkívüli tanár (1941–1946). 1938-ban megszerezte a gyógyszerészi oklevelet is. Az 1941–42. tanévtől kezdve a bölcsészeti karon a fizikai kémia megbízott előadója. 1949-ben az akkor létesült Fizikai-Kémiai és Radiológiai Tanszék vezető professzora lett, majd a Természettudományi Kar dékáni tisztségét is ellátta. 1945 után Erdey-Grúz energiáját nem kis részben más tevékenységek vonták el. Többek között a következő tisztségeket töltötte be: A Magyar Kémikusok Lapja felelős szerkesztője, főszerkesztője (1946–1976), a Magyar Kémikusok Egyesülete főtítkára (1943–1949), felsőoktatási, majd oktatásügyi miniszter (1952–1956), az MTA osztálytitkára (1947–1949, 1959–1964), elnökségi tagja (1949–1950, 1953–1961), főtítkára (1950–1953, 1956–1957, 1964–1970), majd az MTA elnöke (1970–1976). A Tudományos és Felsőoktatási Tanács alelnöke (1961–1962), elnöke (1962–1964).

Erdey-Grúz Tibor Berg Magdával, aki okleveles gyógyszerész volt, a budapesti (VI. Teréz körút 56.) gyógyszertár tulajdonosa, kötött házasságot, és az 1940-es évek első felében három gyermekük született.

Az a kötelességtudás, ami egész életét jellemezte, megnyilvánult élete utolsó hivatali kötelezettségének idején is. 1976 májusában halálos betegen még szervezte és részt vett az MTA éves közgyűlését. 1976. augusztus 16-án hunyt el.



## Max Volmer



6. ábra. Max Volmer

Max Volmer (Hilden, Németország 1885. május 3 – 1965. június 3) (6. ábra) apja, Gustav Volmer gazdálkodó volt. Hildenben végezte az általános iskolát, majd Düsseldorfban a felsőreáliskolát. A Marburgi (1905–1908), majd a Lipcsei Egyetemen (1908–1910) tanult, ahol Wilhelm Ostwald (1853–1932, Nobel-díj 1909) és Max Le Blanc (1865–1943) – akinek többek között a hidrogénelektrodát köszönhetjük – voltak a tanárai. 1910-ben szerzett doktori fokozatot, nagy vákuumban végbemenő fotokémiai reakciók témakörben. Itt is kezdett el dolgozni. 1916-ban besorozták, Berlinben a Friedrich Wilhelms (ma Humboldt) Egyetemen elvileg gázzvédelmi tisztként folytatott katonai kutatásokat, de Walther Nernsttel és Otto Sternnel (1888–1969), fizikai Nobel-díj 1943) is dolgozott. A fluoreszcencia-intenzitást leíró **Stern–Volmer–egyenlet** őrzi közös munkájuk eredményét. Rövid ideig Hamburgban volt az egyetem fizikai kémiai és elektrokémiai professzora, majd 1922-ben Nernst utódja lett a berlini Műszaki Egyetem Fizikai Kémiai Tanszékén. Nem sokkal később kinevezték a Fizikai Kémiai és Elektrokémiai Intézet igazgatójának. Kiváló munkái jelentek meg a termodinamika, az adszorpció, a diffúzió, a fázisátalakulások és más témákban [13]. Mégis leginkább az elektrokémia kiválóságai között tarthatjuk őt számon. A náciaktól távol tartotta magát, többek között – ismerve nézeteit – akadémusi kinevezését sem hagyták jóvá. Mindazonáltal ő sem kerülhette el számos más német tudós sorsát. 1945-ben őt is a Szovjetunióba „invitálták”, ahol 10 évig a Gustav Hertz (1887–1975, fizikai Nobel-díj 1925) vezette titkos intézetben más német hadifogoly tudósokkal együtt atombombával kapcsolatos kutatásokkal foglalkozott, például deutérium előállításán, illetve a sugárzó hulladék kezelésén dolgozott. 1955-ben térhetett haza az NDK-ba, ahol a berlini Humboldt Egyetemen lett professzor. 1956 és 1958 között az NDK Tudományos Akadémiájának elnöke volt. Ma utca viseli a nevét Potsdamban (7. ábra) és Hildenben. 1955 és 1965 között kilencszer jelölték kémiai Nobel-díjra, többek között Max von Laue, Nyikolaj Nyikolajevics Szemjonov és Iwan Nikolov Stranski a fázis-

képződés és az elektródreakció kinetikája közötti alapvető összefüggések felfedezéséért [14].

Az elektródfolyamatok kinetikájának alapegyenletét, amelyet Erdey-Grúz Tibor és Max Volmer vezetett le, az újabb szakirodalom Butler–Volmer-egyenletként említi. Ennek történetét és a mai napig folyó vitát korábbi cikkeinkben már ismertettük [2, 4].



E két tudós generációjának nehéz sors jutott. A 2. világháborúig aránylag szabadon alkothattak, ekkor születtek legjelentősebb munkáik is. Már korábbi cikkeinkben ismertettünk olyan sorsoakat, amelyeket szintén többé-kevésbé kettétörttek a 20. századi történelem viharai, de akik a nyugati világban folytatták a tevékenységüket. Erdey-Grúz és Volmer életútja példa arra, hogy akiket Európa keleti részén ért a háború vége, azoknak milyen lehetőségek maradtak. Volmer tíz éve a Szovjetunióban – folyamatos életveszély közepette – szakmai, de kényszermunkával telt. Élete utolsó 10 évében ugyan elismerték, és az az NDK Tudományos Akadémiájának elnöke is lett. Erdey-Grúz is elnöke lett a Magyar Tudományos Akadémiának, de ő beilleszkedett a rendszerbe. Tarján Imre akadémikus, biofizikus így írt a közéleti tevékenységéről: „Sok minden volt: művelődésügyi miniszter, az Akadémián pedig elnök, főtítká, talán ő volt az elmúlt évtizedekben hazánkban a kulturális közéletben a legfoglalkoztatottabb személy. Pontosságához, következetességéhez, fegyelmezettségéhez, rendszeretetéhez, munkabírásához, magas szintű közéleti erkölcsiségéhez legendák fűződnek.” [15]. Ezek a feladatok és a nyugati kapcsolatok beszűkülése azonban nyilvánvalóan behatárolták a kutatómunkájának lehetőségeit. 1975-ben az MTA másfél százados évfordulójáról megemlékező jubileumi közgyűlésén elnöki megnyitójában Erdey-Grúz jogos büszkeséggel tekintett vissza az MTA fejlődésére (kutatók létszámának növekedése, a nagy kutatóintézetek felépítése és számos más kutatóintézet létesítése stb.), amelyben ő oroszlánrészt vállalt.

### IRODALOM

- [1] T. Erdey-Grúz, M. Volmer, Zur Theory der Wasserstoffüberspannung. Zeitschrift für physikalische Chemie (1930) A150. 203–213.
- [2] Inzelt Gy., Erdey-Grúz Tibor, mint az elektródfolyamatok kinetikájának úttörője és hatása az elektrokémia fejlődésére. Magyar Kémikusok Lapja (2003) 58, 260–264.
- [3] Inzelt Gy., Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei 1–2. kötet, Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.
- [4] Inzelt Gy., Milestones of the development of kinetics of electrode reactions. Journal of Solid State Electrochemistry (2011) 15(7–8), 1373–1389.
- [5] Erdey-Grúz T., Elektródfolyamatok kinetikája. Akadémiai Kiadó, Budapest 1969.
- [6] G. Inzelt: In: “Hungarian Comets in the Sky of Electrochemistry” in Electrochemistry in a Divided World. Innovations in Eastern Europe in the 20th Century, (ed. F. Scholz), Springer, Heidelberg, 2015, pp. 359–399.
- [7] Inzelt Gy., Egyetlen cikk elég a halhatatlansághoz, avagy Polányi Mihály elektrokémiai kirándulása. Polanyiana (2003) 12, 75–90.
- [8] Székely V., A központi államigazgatás tisztviselői a dualizmus korában, 1. rész: Magyar Királyi Honvédelmi Minisztérium (Forrástudományi segédletek 1.) Budapest, 1979.
- [9] Erdős Sz., Az Erdey-Grúz villa története. <https://peceliszilankok.hu/az-erdey-gruz-villa-tortenete/>
- [10] Budapest Főváros Levéltára. Budapesti Központi Királyi Járásbíróság iratai. Hagyatéki ügyek. Erdey Gruz Aladár dr. HU BFL - VII.12.b - 1925 - 184812.
- [11] Erdey-Grúz T., Emlékezés gimnáziumi éveimről 1972. <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/legenda/egt/gimm.html>
- [12] J. O' M. Bockris, The Founding of the International Society for Electrochemistry. Electrochimica Acta, (1992) 36, 1–4.
- [13] M. Volmer, Zur Kinetik der Phasenbildung und der Elektrodenreaktionen. Ostwalds Klassiker Vol. 262. Leipzig, 1983.
- [14] [https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show\\_people.php?id=10665](https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=10665), letöltve: 2022.12.14
- [15] Tarján I., Intim tudomány (szerk.: Bencze Gyula) Természet Világa, 127. évf. 12. sz. 1996. december, 562–565. o.

7. ábra. A Max Volmer utca Potsdamban

