



Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

# A Tennessee Egyetem és környéke

## Második rész

### Oak Ridge, a titkos város

Az Oak Ridge-i Nemzeti Laboratóriumot (ORNL) 1943-ban alapították a Manhattan-terv részeként. 1942-ben Oak Ridge közelében az amerikai kormány 2,6 millió dollárért felvásárolt közel 70 000 hold földterületet a projekthez. A gyéren lakott területen nagy kiterjedésű farmok és mezőgazdasági területek voltak. A földterületre az urándúsításhoz, nukleáris kísérletekhez és egy új fegyver fejlesztéséhez volt szükség lehetőleg egy félreeső helyen, ahol nem keltik fel az ellenséges kémek figyelmét. Szigorúan titkos objektum volt (**1. ábra**). Nem volt könnyű eltitkolni az építést, mert az objektum nagy területen létesült, és sokan jöttek ide



**1. ábra.** A biztonságra nagy hangsúlyt fektettek. Óriásplakátok figyelmeztették a hallgatásra az intézményben dolgozókat

dolgozni: az építőkön (45 000 ember) kívül tudósok és technikai munkatársak is. 1945-ben már 80 000 ember dolgozott itt. Oak Ridge-re költötték el a Manhattan-terv költségvetésének több mint 60%-át. Clinton Engineer Works (CEW) lett a hely neve, aminek fő feladata a közelítőleg tiszta urán-235 előállítása volt. Ehhez ki kellett dolgozni a nagy méretű ciklotron-tömegspektrometriás, a gázdifúziós, valamint a folyadék-hődiffúziós dúsítási technikákat, mert a természetes uránnak csak 0,7% az U-235-tartalma, a többi U-238. Sok kísérletezés és egyre több egység beállítása után a fenti technikákat egymás után kapcsolva érték el a szükséges dúsítást, és az elvárt U-235 mennyiséget előállították az atombombához. A 90%-osra dúsított uránból 1944. szeptember végére már 220 kg-ot gyártottak, ami elegendő lett volna több olyan Little Boy típusú atombombához is, mint amilyen Hirosimát pusztította el. Az urán nagy részét Belga Kongóból szerezték be, ahonnan igen nagy urántartalmú ércet tudtak importálni; ebben akár 65% fekete urán-oxid ( $U_3O_8$ ) is lehetett. Az itteni importot a háború alatt tovább folytatták, ellenséges táma-

dásban csak egy hajó veszett oda. Összehasonlításképpen: a kanadai érc urán-oxid-tartalma csak 1%, míg az amerikaié 0,25%, azért ezeket is kiaknázták. A fekete oxidot először  $Na_2U_2O_7$ -vegyületté alakították, ezt finomították tovább barna ( $UO_2$ ), illetve narancs ( $UO_3$ ) oxiddá. Ez utóbbi került Oak Ridge-be, ahol urán-tetrakloriddá, urán-tetrafluoriddá, illetve urán-hexafluoriddá alakították. Magnéziumos redukcióval tiszta uránfémeket is előállítottak.

Közben nagyon sok problémát kellett megoldani. Például az  $UF_6$  rendkívül korrozív, és vízzel vagy zsírral érintkezve robbanást okozhat. Hatalmas munka volt egyedül csak az is, hogy több ezer szivattyút, pumpát, csövet, szelepet stb. bevonjanak alkalmas anyaggal. Az alkalmas anyagnak a politetrafluoretilén, azaz a Teflon bizonyult, amit R. Plunkett, a DuPont cég vegyészje 1938-ban véletlenül fedezett fel.

A másik projekt a kísérleti atomreaktor építése volt. Ez grafit-szabályozós léghűtéses reaktor volt (X-10 kódneven). Húsz évig működött még a 2. világháború után is, főleg orvosi célokra használt izotópokat állítottak elő.

Az első vízhűtéses reaktor (B pile) a Hanford Engineer Works (HEW) üzemben, Washingtonban épült szintén a projekt részeként, ahol a plutónium- ( $Pu-239$ ) termelés folyt. A B reaktort is Oak Ridge-be tervezték, de azután biztonsági okokból nem itt építették fel.

Később Knoxville-ban épült egy nyomott vizes reaktor is. A különböző hűtési módok közül számos próbálkozás után a vízhűtést választották, amelyet Wigner Jenő javasolt a neutronok lassítására. 1946-ban egy évig ő volt a CEW kutatási és fejlesztési igazgatója. A nyomott vizes reaktor a legnépszerűbb reaktortípus, a világon több száz üzemel. A Paksi Atomerőműben is ilyen típusú reaktorok működnek.

Szintén nagy jelentőségű munkát végzett Oak Ridge-ben Róna Erzsébet (Budapest, 1890 – Oak Ridge, 1981). A Manhattan-tervvel kapcsolatban mindig a fizikusok szerepét emelik ki, pedig éppen Oak Ridge-ben a magkémiai tudás legalább annyira fontos volt, hiszen az izotópok elválasztása és a polónium előállítása is kiemelt cél volt. Ehhez pedig Róna értett a legjobban. 1914 és 1918 között Hevesy György munkatársaként kidolgozta ki az izotópok diffúzióval való elválasztásának módszerét. 1921-től Otto Hahn mellett dolgozott ugyanezen a témán, majd 1924-től Stefan Meyer mellett Bécsben, utána Irène Joliot-Curie laboratóriumában, Párizsban a polónium előállításán. 1941-ben emigrált az Egyesült Államokba. Különböző ideiglenes munkák után kapott egy homályos tartalmú levelet, amelyben a University of Rochester állást ajánlott fel neki. Kiderült, hogy a Manhattan-terv keretében kellene a háborús erőfeszítéseket segítenie. Az atombombához (plutóniumbombához) kellett a polónium, amivel a maghasadási reakciót indították be a Nagaszakira ledobott Fat Man nevű bombánál. Róna eljárását használták a polónium-210 előállításához, bár a pontos célról ő nem tudott, mert az atombomba-prog-

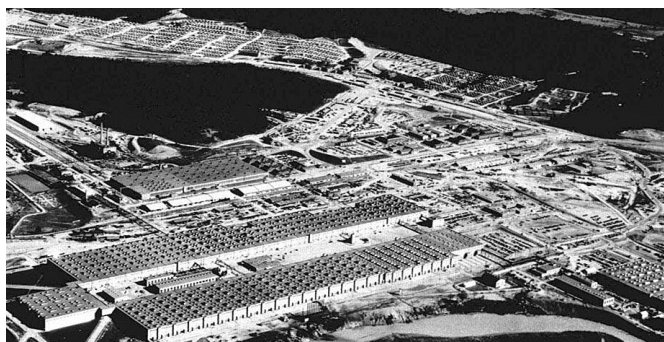


ramban mindenki csak annyit tudhatott, amennyi szükséges volt a tevékenységéhez. Nála még az is problémát jelentett, hogy amikor meghívták a projekthez, még bevándorlási papírjai sem voltak, de annyira szükség volt a tudására, hogy ezt is elintézték. Az ő tapasztalata kellett ahhoz is, hogy a kutatók és más dolgozók megfelelő védőszerelést viseljenek. 1948-ban kapott állampolgárságot. 1950-től dolgozott hivatalosan az ORNL-nél, 1965-ben innen ment nyugdíjba. Dolgozott még a Miami Egyetemen, az Argonne Nemzeti Laboratóriumban is. 88 évesen nagy sikerű könyvet írt (Elizabeth Róna: *How it came about: radioactivity, nuclear physics, atomic energy*. Oak Ridge, Tennessee: Oak Ridge Associated Universities.)

Róna Erzsébetet életében nem ismerték el olyan mértékben, amelyet megérdemelt volna. Kései, posztumusz elismerésként a Tennessee Women's Hall of Fame (dicsőséggel) kiváló hölgyei közé választották 2015-ben (2. ábra).

| Tennessee Women's Hall of Fame |                                                                                   |             |      |                                                                                                                                          |  |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Name                           | Image                                                                             | Birth-Death | Year | Area of achievement                                                                                                                      |  |
| Joy Bishop                     |                                                                                   | (1934–2023) | 2015 | First career Air Force woman appointed to the Senior Executive Service and served as the Women's Program Coordinator.                    |  |
| Lizzie Crozier French          |  | (1851–1926) | 2015 | Founder of the Knoxville Female Institute and the Tennessee Suffrage Association                                                         |  |
| Elizabeth Rona                 |                                                                                   | (1890–1981) | 2015 | First woman to teach chemistry in any university in Hungary, in the United States, she served on the Manhattan Project                   |  |
| Janice M. Holder               |                                                                                   | (1949–)     | 2015 | First woman Chief Justice of Tennessee                                                                                                   |  |
| Rosetta Miller-Perry           |                                                                                   | (1934–)     | 2015 | Founder of the Greater Nashville Black Chamber of Commerce, and co-founder, publisher and journalist of Perry & Perry Publishing Company |  |

2. ábra. Tennessee Women's Hall of Fame (részlet, Wikipédia)



3. ábra. Az Oak Ridge-i üzem látképe (1942)



4. ábra. Az Oak Ridge-ben készült atombomba japán bevetéséről szóló újságcikk

A 3. ábra előtérében látható U alakú épület a K-25-ös gázdifúziós urándúsító létesítmény. Alapanyaga urán-hexafluorid volt. Amikor elkészült a K-25, a legnagyobb alapterületű épület volt a világon. Építése 500 millió dollárba került. Üzemeltetési költségekkel együtt ez volt a Manhattan-terv legdrágább létesítménye. 2013-ban bontották le.

A helyi lap különkiadása tudatta, hogy ledobták az atombombát Japánra (4. ábra).

## A tenneszine

A tenneszine (magyarul tenesszium, az MTA 2019-es meglehetősen szakmaiatlan javaslata alapján) a periódusos rendszer 117. eleme. A nevét és a vegyjelét (Ts) 2016-ban hagyta jóvá az IUPAC és az IUPAP. Elvileg halogénnek kellene lennie, azért „-ine” a neve vége, és nem „-ium”, hogy illeszkedjék a chlorine és a többi halogén angol nevéhez, de a relativisztikus hatások miatt feltehetően némileg eltérő kémiai tulajdonságokat mutat. Ezt az elemet az amerikai Oak Ridge-i Nemzeti Laboratórium (ORNL), az orosz Egyesített Atomkutató Intézet, Dubna (JINR), a Vanderbilt Egyetem, a Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium (LLNL) és a Tennessee Egyetem kooperációjában állították elő 2010-ben, majd két évvel később sikeresen megismételték a kísérleteket. 2014-ben több kutatócsoport megerősítette az eredményeket. A történet 2004-ben kezdődött, amikor a dubnaiak együttműködést javasoltak az ORNL-nek a 117-es elem előállítására céljából. Az orosz csoport ugyanis már évek óta folytatta aktinida céltárgyak bombázását kalciumionokkal az ottani ciklotronnal. Szerettek volna berkélium-249-es izotópot használni, ami a 117-es elem előállításához kellett. Az ORNL az egyetlen hely a világon, ahol a radioaktív berkéliumból megfelelő mennyiséget tudnak előállítani; ez a kalifornium-252 ( $^{252}\text{Cf}$ ) gyártása során keletkezik. Oak Ridgeben a megrendelésre vártak, ugyanis a 117-es előállításához szükséges mennyiségű berkélium közelítőleg 3,5 millió dollárba került. A  $^{252}\text{Cf}$  egy grammja 27 millió dollár. Nagy neutronkibocsátása miatt az orvoslásban sugárterápiára és az iparban szerkezetvizsgálati célokra használják.

Megegyezés jött létre Jurij Oganyeszján (JINR), Jim Roberto (ORNL) és Joseph Hamilton (Vanderbilt) között, hogy amint a gyártás megindul, elkezdik a kísérleteket. Csatlakoztak hozzájuk kollégák a Lawrence Livermore Nemzeti Laboratóriumból, akik az adatok feldolgozásában vettek részt. Krzysztof Rykaczewski (ORNL) és Robert Grzywacz (UT) egy új detektor és a digitális adatgyűjtő rendszer fejlesztésében vett részt.

Az ORNL reaktorát 2008-ban indították újra. A szükséges berkélium mennyiséget 250 nap besugárzás után érték el. A berkélium elválasztása és tisztítása további 90 napot igényelt, a folyamatot a Radiochemical Engineering and Development Centerben hajtották végre. Az ORNL a 22 mg berkélium-249-et, amelynek felezési ideje 327 nap, azonnal a dimitrovgrádi Atomreaktor-kutató Intézetbe (Research Institute of Atomic Reactors, RIAR; Naucsno-issledovatyelszkij insztitut atomnih reaktorov, NIIAR) küldték, ahol a céltárgyat elkészítették, azaz a berkéliumot (97 proton) vékony réteg formájában felvitték titánelapra. Így került Dubnába, ahol a  $^{249}\text{Bk}$  céltárgyat 150 napig sugározták másodpercenként 7 trillió kalciumionnal (20 proton), így keletkezett a 117 protont tartalmazó új elem. A mágneses elválasztás után mérték a bomlását, ami során 115, 113, 111, 109, 107 és 105 rendszámú elemek keletkeztek.



## Vendégségben a cseroki indiánoknál

Tennessee neve a cseroki indiánoktól származik. Mint a legtöbb indián törzsnek nekik is hosszú és szomorú történetük van. Falvakban éltek és mezőgazdasággal foglalkoztak. Az európai bevándorlókkal aránylag jó kapcsolatot alakítottak ki. Az öt civilizált törzs egyikeként tartották számon őket. A hétéves háborúban, amit itt francia–indián háborúnak hívtak, először az angolok szövetségesei volt a cserokik, de összekülönböztek, és 1760-ban harc tört ki az angolokkal. George Washington (1732–1799) a függetlenségi háború után próbálta rendezni a délkeleti törzsek helyzetét, amelyek egyre kisebb területre szorultak vissza az új telepések és az útépitések miatt. A szarvasvadászatból sem tudták már fedezni a hússzükségüket. Szarvasmarha- és sertésenyésztésbe kezdtek, amihez a kormánytól kaptak segítséget. Amerikai állampolgárságot is kaptak. A cserokiknek 1827-ben már amerikai mintájú alkotmányuk, bírósági rendszerük is volt. Mindazonáltal a Tennessee, Észak-Karolina és Georgia területekről, ahol éltek, 1838-ban kitelepítették őket Oklahomába. Már a „Könnyek ösvényé”-nek hívott úton is sokan elpusztultak. A polgárháború tovább pusztította a régi területen maradt kevés indiánt. Amikor a Tennessee Egyetemen dolgoztam, az egyik Smoky Mountainsben (ez a hegylánc választja el Tennessee és North Carolina államot; az észak–déli Appalache-hegylánc része) tett túra során meglátogattam az Oconaluftee indián falut és az ott található múzeumot (5. ábra).



5. ábra. Oconaluftee indián falu

A néprajzi érdekességeken túl a cseroki nép története is megismerhető. Ami a legnagyobb hatással volt rám, az a szerződések sorozata az amerikai kormányzat és a cseroki indiánok között. Szabályos kölcsönös kötelezettségvállalások voltak, amelyeket azután a kormányzat rendre megszegett.

A Treaty of Holston (6. ábra) egyezményt az Egyesült Államok kormánya nevében William Blount, a Délnyugati Területek kormányzója és az indián ügyek szuperintendánsa (rőla szoltunk már korábban), illetve a cseroki nép képviselői írtak alá, élükön John Watts, más néven Fiatal Bojt), cseroki törzsfőnökkel (kb. 1746–1802), aki az Amerikai Egyesült Államok elleni háborúban a cserokikat vezette. Ilyen pontokat találunk a szerződésben: „Örök béke és barátság a két nép között; a cserokik elismerik az Egyesült Államok védnökségét; a hadifoglyok hazatérhetnek; határokat hoztak létre a cseroki földek és az Egyesült Államok kö-

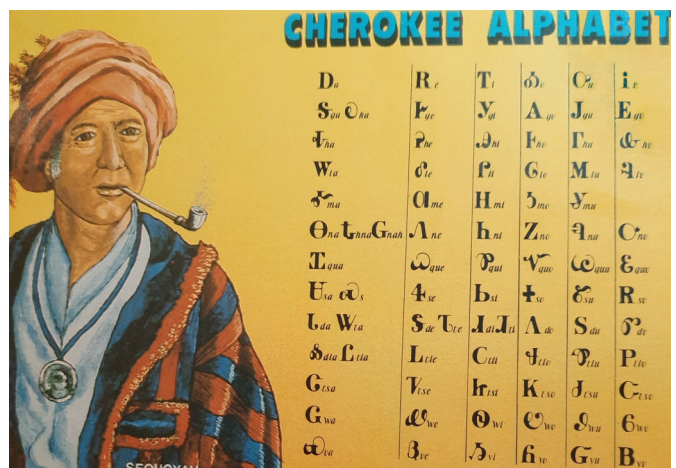


6. ábra. A Holston-egyezmény emlékműve Knoxville belvárosában a Tennessee folyó partján, ahol az egyezményt 1791-ben aláírták

zött; az Egyesült Államok garantálják, hogy nem tartanak igényt a cseroki nép földjére stb.”

Amikor ott voltam, az 1980-as évek elején lángolt fel éppen a vita, hogy ha már kitelepítették az indiánokat Oklahomába, akkor jár nekik az ott kitermelt olaj bevételeiből. A CBS televízió híradója mutatta a szerződést, amely szerint ez a föld az indiánoké az ott található minden értékkel együtt, „ameddig a folyók folynak és a fű zöldell”. És akkor a kamera végigpásztázta a hatalmas olajmezőket, ahol olajos sár volt mindenütt. A riporter feltette a kérdést, hogy akkor most érvényes-e a szerződés azon pontja, amely szerint „ameddig a fű zöldell”, mert itt bizony már nem nő fű.

A cseroki eredetileg az irokéz nyelvcsoporthoz tartozó nyelv, de mivel ők körülbelül 3–4000 évvel ezelőtt a Nagy-tavak környékéről délre költöztek, tulajdonképpen külön nyelv alakult ki. Sequoyah (kb. 1770–1843) nevű főnökük, aki civilben ezüstműves volt, 1821-ben kidolgozott egy ábécét. Ily módon lehetővé vált az írás és az olvasás cseroki nyelven (7. ábra). Igen különleges dolog, hogy egy nép önállóan hozzon létre saját írásbeliséget. El is kezdték használni. Hamarosan többen tudtak írni és olvasni, mint a környéken letelepülő, Európából érkező bevándorlók.



7. ábra. Sequoyah (ᏍᏏᏉᏯ) és a cseroki ábécé



Az indiánokkal való ellentmondásos viszonyt jól példázza William Tecumseh Sherman (1820–1891) tábornok. Az amerikai polgárháborúban (1861–1865) az északi csapatok talán legtehetségesebb, de legkegyetlenebb tábornoka volt, aki Atlanta városának (lásd az irodalomban M. Mitchell: *Elfújta a szél*), valamint a többi déli terület felégetésével vált hírhedtté. Apja a Tecumseh nevet választotta fiának, az egyik legnevesebb indián főnök tiszteletére, aki 1768-ban született, sokat harcolt az amerikai csapatok ellen az indián földekért, és csata közben esett el 1813-ban. Tecumseh a sóni (Shawnee) törzsből származott, de cseroki nőt vett feleségül, lánya és unokái cserokiként nevelkedtek. Sherman neve ellenére ugyanolyan kíméletlenséggel vezette az Államok csapatait a 1869 és 1883 közötti indián háborúban, mint a polgárháborúban.

Sok minden történt az ott töltött két év folyamán. Az eseményekről a CBS és az ABC tévék híradóiból, valamint a *Time* és a *Newsweek* magazinokból értesültem, ami némileg érdekesebb

volt, mint az akkori hazai híradások. A világpolitikában a falklandi háborútól Reagan elnök Strategic Defense Initiative (SDI) „csillagháborús” programjáig, amelyben Teller Ede játszott fontos szerepet. Állandó téma volt az akkor kezdődő AIDS-járvány, valamint a japán autóimport, ami sokak szerint hozzájárult a gazdasági recesszióhoz az USA-ban. Ezeknél kevésbé izgalmas, de sokkal fontosabb volt az első műszív sikeres beültetése és a ciklosporin immunszuppresszáns gyógyszer felfedezése vagy az űrhajózás több új eredménye (a Pioneer 10 az első ember alkotta tárgy, amely elhagyta a Naprendszer, a Challenger űrrepülőgép, fedélzetén az első amerikai űrhajósnővel, valamint a Global Positioning System (GPS) elérhetővé tétele polgári hasznosításra is). Értesülhettünk a Commodore, az Apple újabb számítógépes fejlesztéseiről vagy az Adobe Inc. és a Microsoft Word 1 megjelenéséről. Kary Banks Mullis is 1983-ban fedezte fel a polimeráz-láncreakciót.



## Hatalmas magyar győzelem a 9. Nemzetközi Kémia Tornán!

2026-ben ismét sikeres évet tudhat maga mögött a Nemzetközi Kémia Torna magyar csapata, mely a versenyt megnyerte Dél-Koreában. A csapattagokat februárban az ELTE Természettudományi Karán megrendezett válogatóversenyen választottuk ki, a 12 legjobban teljesítő diák kvalifikálta magát, a képviselt iskolák Budapesten, Szegeden, Pécsen, Szombathelyen, Zalaegerszegen, és Gödöllőn helyezkednek el.

A diákok tavasztól kezdve több hónapos felkészítési folyamaton mentek keresztül, ahol megismerkedtek a nemzetközi verseny szabályaival, és rengeteg versenyhez szükséges készségüket fejlesztették, mint a kritikus problémamegoldó képesség, a projektmunka, az előadói és vitakészség, a tudományos szaknyelv használata angolul. A felkészülési folyamat legfontosabb állomása idén is a Kehidakustányban megrendezett egyhetes tábor volt július 6. és 12. között; itt a versenyzők intenzív munkát végezhetnek feladataikon, gyakorolhatták előadásait, és konzultálhattak felkészítőikkel. Az idei feladatsor a korábbi évekhez hasonlóan változatos kihívásokat tartogatott a kémia számos területéről, így a versenyzőknek többek között foglalkozniuk kellett a sérült korallzátonyokon alkalmazható kötő- és ragasztóanyagokkal, az NMR-spektroszkópia gyakorlati határaival, és egy, a *Csillagok háborúja* univerzumában leírt különleges fikcionális üzemanyag megalkotásával is.

Természetesen a szakmai munka mellett a tábor egy meghatározó szociális élmény is volt, tábortűz mellett eltöltött éjszakákkal, kirándulással, strandolással. A tábort követő hétvégi felkészítőkön a HUN-REN Természettudományi Kutatóközpontjában a versenyzők tovább finomíthatták megoldásaikat, és értékes visszajelzést kaptak egymástól, illetve a szakmai felkészítőcsapattól is.

A versenynek idén a Korean Minjok Leadership Academy adott otthont a Koreai Köztársaságban, 2026. augusztus 15–19. között. A kiutazás során a verseny előtti napokban a delegációnak lehetősége volt felfedezni a fővárost, Szöült, ami hatalmas élmény volt minden résztvevőnek. A verseny szervezése idén is meglehetősen professzionális volt, nagyszámú helyi önkéntes segítette a verseny sikeres lebonyolítását, mind a viták sikeres levezénylését, mind a nyitó- és záróünnepségeket vagy a kultúrprogramokat (hagyományos koreai zenebemutató, íjászat, kalligráfia). Az ön-

kéntesek mellett a magyar delegáció is hozzájárult a verseny szervezéséhez, a versenyzőket a csapatvezetőkön kívül Vaskó Lili, Formanné Kiss Andrea, Dr. Pálvolgyi Ádám, és Nagy Bence kísérte el, akik moderátorként és zsűritagként vállaltak szerepet.

Az idei tornán három kontinens 16 csapata mérkőzött meg, amely a verseny rövid története során az eddigi legtöbb, az új résztvevők között megtalálható az Egyesült Királyság, Bulgária, és Kirgizisztán is. Bízunk benne, hogy a lendület kitart, és jövőre még nagyobb mezőnnyel vágunk neki a 10. jubileumi IChTo-nak. Az elődöntős szakasz során mindkét magyar csapat kiemelkedően jól teljesített, és jelentősen el tudott lépni a mezőny többi részétől. A pirosak és a zöldek gyakran egymást váltották az első helyen, és végül 1. és 2. helyen jutottak be a döntőbe, a nevezetes brit magániskola, a St Paul's School társaságában. A pirosak a döntőben mindhárom szerepben gyönyörű teljesítményt nyújtottak, a csapatkapitány Kovács Petra adta elő NMR-spektroszkópiával kapcsolatos megoldását, ezután pedig Leiner Emma oponálta páratlan szakmaisággal és vitakészségekkel a britek előadását, melyet a zsűri a teljes verseny egyik legjobb oppozíciójaként értékelt. A zöldeket Gombos Dávid képviselte előadóként a döntőben, aki a hennatetoválás színváltozásának felgyorsításáról tartott egészen rendkívüli előadást élő kísérleti demonstrációval, melyet saját magán mutatott be. Sajnálatos módon a nemzetközi zsűri részéről erre kevésbé volt fogadókészség, és az előadásra kapott alacsony pontszám a zöld csapat győzelmi esélyeit jelentősen csökkentette. A fejlemények ellenére mindkét csapat hihetetlenül büszke lehet magára, a piros csapat végül meg is nyerte a döntőt, és az elődöntős teljesítmények alapján számos egyéni díjat is elhoztunk. Minden nap boldogsággal töltött el, hogy a versenyzők mind szakmailag, mind emberileg példát tudtak mutatni a verseny során, és ennek a gyümölcse jelentős részben idén újra be is ért.

A csapatban aranyérmet elért Hungarian Team Red tagjai: **Kovács Petra** (csapatkapitány, Eötvös József Gimnázium, Budapest), **Kemény Bori** (Szent István Gimnázium, Budapest), **Leiner Emma** (Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziuma és Kollégiuma, Pécs), **Hoang Minh Quan** (Szent István Gimnázium, Budapest), **Halász Viktória** (Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium), **Barkó Zora** (ELTE Radnóti Miklós Gya-