

Vállalat	Ipar, termékek	Tevékenység
Cambrios	félvezetők	Biomolekula által irányított nanoméretű anyagok előállítása
Chloragen	gyógyszerek	Fehérjetermelés növényi kloroplasztokban
Molecular Imprints NanoGram Corp.	félvezetők	Nanolitográfia
Nanomix	anyagok	Nanoporok és vékony filmek gyártása
NanoOpt Corp.	félvezetők	Szén nanocsövek és szilíciumtermékek előállítása
Nanopharma	anyagok, nanoméretű optikai alkatrészek	Gyógyszerbevitel nanorészecskékkal
Nanosys	gyógyszerek	Nanohuzalok, nanocsövek gyártása
Nanotechnologies, Inc.	elektronika	Nanoporok és -bevonatok gyártása
Nantero	anyagok	Nanocsőalapú memóriacsipek gyártása
NeoPhonics	félvezetők	Planáris optikai berendezések előállítása nanoanyagokból
Optiva	távközlés	Nanoanyag-alapú sík képernyők gyártása
Solazyme	elektronikus képernyők	Fotoszintetizált mikrobák előállítása
	energia	

3. táblázat. Nanoskálán tevékenykedő vállalatok

Ipar	Éves haszon, milliárd dollár	Leírás
Nanoanyagok	340	Új anyagok és eljárások
Elektronika	300	Félvezetők, integrált áramkörök
Gyógyszeripar	180	2015-ig a gyógyszerek 50%-át nanotechnológiával fogják gyártani
Vegyipar	100	A vegyiparban és a köolaj-feldolgozásban nanoszerkezetű katalizátorok használata
Légi közlekedés és űrkutatás	70	Repülőgép-bevonatok, -keretek és lökhajtás
Műszerek	22	Mérés, képfalkotás, szimulálás (páztázó és elektronmikroszkópok)

4. táblázat. 2015-ig létrejön az ezermilliárd dolláros ipar

policyt a magyar nyelv megtévesztően politikának fordítja, és így is értelmezi, azaz „a társadalom, az állam vezetésére, a hatalom megszerzésére és megtartására irányuló közösségi vagy egyéni tevékenység”-ként.¹ Ezt azért hangsúlyoztuk, mert jelen írás a nanoméretek tudományának a XX. század végén és a XXI. század elején tapasztalt fejlődéséről szól, és különös hangsúlyt fektet az Egyesült Államok ez irányú tudomány-policyjára (mondhatnánk: tudomány-stratégiájára).

A cikk címében említett korlátlan kifejezést a 4. táblázat adatai is alátámasztják. A nanoméretek tudományától jó, helyes és átgondolt stratégia segítségével 2015-re egyezermilliárd dollár forgalmú iparágat várnak. Ez, pestiesen szólva, nem semmi. Kérdés: ezt csak ők tudják? Válasz: sajnos, ma még igen. Bár mintha e téren az EU és Japán, Kína körül is mozogna valami.



IRODALOM

- Juhász J., Szőke I., O. Nagy Gábor, Kovalovszky M. (szerk.): Magyar értelmező szótár, 9. kiadás, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2000.
- K. E. Drexler: Engines of Creation. The Coming Age of Nanotechnology, Anchor Press, 1987.
- S. A. Edwards: The Nanotech Pioneers. Where Are They Taking Us? Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006.
- Braun T.: Grafit nanocsövek: a nanokémia, a nanofizika, a nanotechnológia és a fulleréntudomány határmezsgyéjén. Magyar Kémikusok Lapja, 52 (1997) 317.
- T. Braun, A. Schubert, S. Zsindely: Nanoscience and Nanotechnology on the Balance, Scientometrics, 38 (1997) 321.
- Gyulai József (szerk.): Nanotechnológia. Magyar Tudomány (9. tematikus szám) (2003), 1076–1216., 1. táblázat. A nanoobjektumok mérete.
- http://www.m-w.com

„A víz, mind szilárd, mind folyékony, mind légnemű alakjában, a természet legcsodálatraméltóbb anyagai közé tartozik. (...) A melegségbeli mozgás minden oly hőmérséklet mellett, mely 32 F, vagy 0 C. foknál magasabb, elegendő arra, hogy a víz tömecseit merev testté való egyesülésökben megátolja; 0 °C. mellett ellenben e mozgás már annyira gyengül, hogy a tömecsek erősen kezdenek egymáshoz tapadni s szilárd testté egyesülni. Egyesülésök azonban törvényszerű. Az itt jelenlévők közül nem egynek talán úgy látszik, mintha e jégdarab nem gerjeszthetne nagyobb érdeklődést és nem nyújtana több szépséget, mint egy darab üveg; de az üveg valóban oly viszonyban áll hozzá, mint a piaci lármá Händel valamely oratoriumához. A jég zene, az üveg lármá; a jég rend, az üveg zűrzavar. Az üvegben a tömecsorok kibonthatatlanul összekuszált pamatot képeznek; a jégben pedig szép, rendes kelmévé vannak összeszövve.”

(John Tyndall: A hő mint a mozgás egyik neme. Fordította: Jezsovics Károly. Bp. 1874)

John Tyndall angol fizikus, egyetemi professzor vetítőbe helyezett jéglapokat világított át, vetített ki hatalmas méretben, s ahogy lassan olvadni kezdett a jég a vetítőlámpa meleg sugáraitól, itt is, ott is egy-egy csillag jelent meg, majd mindegyik egy-egy hatlevezű virággá alakul, s láthatjuk, amint a virág leveleinek szélei rovátkosakká válnak, s haraszthoz hasonlóan terjeszkednek szét az ernyőn. A jelenség létrejöttének oka, hogy a fagyáskor a jég kis, légüres tereket zár magába, ekörül válnak láthatóvá a hő hatására a jég hatszögű kristályszerkezetének köszönhető szép virágok, melyek sokféleségükkel elkápráztatják a szerencsés csodálót. Hasonló ehhez a hópehely is, ha mikroszkóp alatt szemléljük: „A tökéletesen kiképződött hó nem szabálytalan halmazata a jégrészecskének; ... Az atomok hatszögletű csillagokká rendezkednek. ... Ama hatlevezű virágok csodálatosan változatos alakúakká idomulnak. ... Szépség szépségre van halmozva, mintha a természet rábízott munkájához fogván, abban örömet találna, hogy eszközei gazdagságát még a legszűkebb határok között is megmutassa” – írja Tyndall. Mégis hányszor látunk napjainkban is telente, karácsony körül az üzletek falán három-, négy-, öt- vagy nyolcszögű hópehelyt vagy „szabályos” jégvirágot.

Az említett jégkísérlet kapcsán az angol professzor megjegyzi: „Éjszak befagyott tengerein a szilárd jégtakaró minden atómja e törvény szerint lelt helyet. A természet építkezésében zene van; a tudományok pedig feladata: megtisztítani szerveinket, hogy hallhassuk a dallamot.”

A jég világát kutatva Tyndall nyaranta rendszeresen hosszú hónapokra fölkereste az Alpokat, s itt elsődlegesen a gleccserek szerkezetét és létrejöttét vizsgálta, hajmeresztő utakat járva. Nemcsak mint természettudós, az időjárás viszonytárgyaival is szembenéz, kitartó kutató, hanem mint kiváló hegymászó is ismertté vált. Mint az első hegymászó társaságnak, az angol *Alpin Clubnak* (1857) a tagja, ő jutott fel elsőnek az addig elérhetetlennek hitt Weisshornra, mely Zermatt környékén emelkedik 4512 méteres magasságba. Főként a híres Morteratsch-jégaron, Délkelet-Svájcban végzett méréseket.

A jégbarlangok még ma is aránylag kevésbé ismertek, mint ahogy a vízbeszivárgás és a jég hízásának összefüggése, a tél és nyár közti különbség, s a jegesedést létrehozó hideg-meleg levegő cirkulációja. Vannak időszakos jégbarlangok is; ezek részben a fönről, valami kürtőn, természetes nagyobb nyíláson keresztül behullott hó által keletkezett „jégvermek”, de vannak rendes, föld alatti barlangok is, melyekben – ha nagy szárazság van, s nincs meg a víz utánpótlása – a jégképződés megáll, vagy el is olvadhat. Ilyen például a Délkelet-Mongóliában, *Dariganga* mellett található barlang. 1971-ben számos szép kris-

Jég a föld alatt

KIS DOMOKOS DÁNIEL

tályos jégalakzat volt, de három évre rá, két száraz, meleg nyár után az ott járók nem láttak jeget. Később ismét megindult a jégképződés.

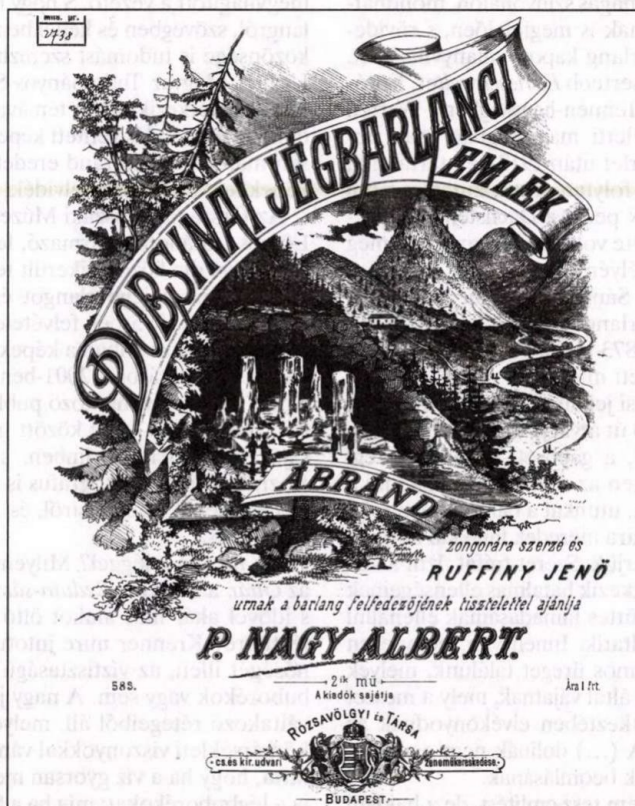
Mióta a *dobsinai jégbarlangot* 2000 decemberében a világörökség részévé nyilvánították, még érdekesebbé vált a jég föld alatti létének, kialakulásának, változásának és megővésének kérdése.

Viszonylag ritkák az ilyen jelenségek, a jég csodálatos világának e földre zárt kis birodalmi. Elég későn bukkantak jelentősebb jéggel telt üregekre, járatokra, vagy egész barlangokra. Ezt a Felvidék egyik ma már kevésbé ismert nevezettségének hajdani „világhíre” is igazolja. A *szilicei jégbarlangról* a XVIII. század közepén, Bél Mátyás jóvoltából,

már az angol tudósok is hírt kaptak. Magyarországon is megjelent néhány latin és magyar nyelvű beszámoló még a XVIII. század végén és a XIX. század elején. Sőt egy angol geológus, Robert Townson 1793-ban hazánkba látogatva személyesen is felkereste, s 1797-ben megjelent könyvében le is írta az itt tapasztaltakat. Townson, a Tátra korai külföldi tudományos leírója is jelentős botanikai, meteorológiai és geológiai eredményeket ért el. Utazása során megmászta a Lomnici-csúcsot, a Krivánt, légnyomás- és magasságméréseket végzett. Kísérője Mauksch Tamás szepesbéli lelkész volt.

Híres jégbarlang volt még a XIX. században felfedezett *szkarisorai* is, olyannyira, hogy Eötvös Loránd is erről írta 1869-ben első, tudományosnak számító dolgozatát, melyet a Vasárnapi Ujság közölt is. Eötvös ifjúkori „geologicus” utazásait kedves nevelője, a későbbi tudós mineralógus, Krenner József Sándor vezetésével tette meg, s velük volt Klette, azaz a későbbi híres tájképfestő, Keleti Gusztáv; az Eötvös által készített egyik rajz az ő igazításában kerül a Vasárnapi Ujságba. Úti noteszében még több más jégalakzatot is megörökített, például az Oltárt, a barlang lejáratait és alaprajzát, vagy a kiindulópontul szolgáló erdészházat.

Eötvös 1868-as bihari utazását megelőzte egy felvidéki expedíció is, szintén Krennerrel. 1864 szeptemberében bejárták az Érc-hegységet, Káposztafalva (Kapsdorf, Hrabušice) környékét, melynek mostani, sűrűn látogatott nevezetessége, a Szlovák Paradicsom egy része sajnálatos módon (2000 októberében) leégett, majd több városkát, várat felkeresve egészen



Ótátrafüredig jutottak. Dobsinán is időztek, bejárták a festői Sztracena-völgyet, több vaskohót, sőt egy üveggyárat is felkerestek.

A *sztracennai sziklakapun* is áthaladtak, melyet az 1680-as években a meredek mészkőfal átfúrásával hoztak létre a leleményes bányászok, s melyet a második világháború végén a németek robbantottak föl a gyorsabb áthaladás végett. Ezért is érdekes, hogy zöld vászonba kötött úti noteszében a murányi vár és a zlatnói üvegghuta mellett ezt is megörökítette, hogy majd több mint 30 évvel később a fotográfia segítségével rögzítse újra maga s barátai számára.

1864-ben Krenner és Eötvös utazásából – bár a környék geológiai érdekességeit töviről hegyire megvizsgálták – a jégbarlang kimaradt! Jókai Mór az 1884-ben folytatásokban a *Nemzetben*, majd 1885-ben öt kötetben megjelenő regényében, *A lőcsei fehér asszonyban* már mint a Rákóczi-szabadságharcban is ismert természeti csodát emlegeti: „A magyar föld természeti ritkaságainak Kohinoorja, a dobsinai jégbarlang még akkor csak kevés ember előtt volt ismerve. A kik tudtak róla, nehéz eskü alatt kötelezték magukat nem beszélni felőle másnak, mint a híveknek.” (...) „E jégbarlang bejárását a Gölnitz-völgy felől rég ismerték a dobsinaiak. Azt is tudták, hogy ott jég van. Nyári mulatságaik alkalmával odaerestették le a seres hordóikat, de leszállni bele csak e század utolsó évtizedeiben mert két fiatal tudós, a ki azután ez isteni remeket a világ előtt feltárta. A Rákóczy hadjárat idejében ez volt a találkozási rejteke a kurucz összeesküvőknek.”

Micsoda írói lelemény, de a barlangot valójában csak 1870-ben fedezte föl Ruffiny Jenő bányamérnök néhány társával. A szenzáció bejelentésére sem kellett sokat várni: „A dobsinaiak, kiknek határába esik, régi idők óta ismerik ezen úgynevezett jéglyukat (ducsa), s míg jégvermük nem volt, nyári időben innen hoztatták súlyos betegek számára a szükséges jeget. Az e célra kiküldött bányászok azonban mindig csak a nyílás közelében, s az az előtt fekvő jeget aknázták ki. A járatnak mindjárt kezdetlegesen lejtős fekvése miatt mélyebben senki sem mert menni. A múlt nyár elején azonban a dobsinaiak, élükön Szontagh Márton bányaigazgató és Ruffinyi urakkal, kötelek-, létrák-, kapák s fejszékkel felfegyverkezve, néhány ügyes bá-

nyász kíséretében leereszkedtek a föld mélyébe. A meglepetés nagyszerű volt.”¹

A kíváncsiság hamar többieket odavonzott, s miután a város képviselő-testülete a bejárat kiépítésére szükséges költségeket megszavazta, a barlang már annyira járhatóvá vált, hogy szinte alig a felfedezés után, 1870. augusztus 15-én egy nagyobb társaság is meglátogatta. Hála Dobsina város és a környék néhány jeles személyiségének, rövidesen a széles közönség előtt is megnyílt, a kor lehetőségeihez képest magas színvonalon, mondhatni, a természetvédelmi elvárásoknak is megfelelően, s rövidesen, a világon először, ez a jégbarlang kapott villanyvilágítást. Összehasonlításképp: az azóta ismertebb *Eisriesenwelt*-et, Európa legnagyobb jégbarlangját a Tennen-hegységben, Werfen felett, 1656 méter tengerszint feletti magasságban csak egy 1879-es félbemaradt feltárási kísérlet után 1912-ben tárták föl, de csak az első világháború után folytatódott a kutatás; s hol van még a nagyközönség. A másik pedig a Dachstein-csoportban található *Rieseneishöhle*. Ki hitte volna korábban, hogy még akadhatnak ilyen csodák a föld mélyén?

Nem véletlenül Krenner József Sándort bízta meg a Természettudományi Társulat, hogy a barlang teljes feltárását és szakszerű leírását elvégezze. Először 1873-ban a Természettudományi Közlönyben számolt be a végzett munkáról. Az 1873. május 14-ei szákulésen felolvasott „utazási jelentés”-ében a környéket így mutatja be: „A felfelé kigyózdó út átvágja a triasz- és kőszén képlet homokkő- és pala-rétegeit, a gabbrot, váltakozva régi agyaggalakkal. Fent a hegygerinczen az út kétfelé ágazik; mi a szélesebb ágat jobbra oldalthagyva, utunkat a bal irányban folytattuk. (...) A mész, mely nem sokára meredek falakkal környezi völgyünket, *triasz-mész*. Jól ismerjük. Szeret tréfát űzni a vízzel, miért ez boszút áll rajta. Szövetkezik hatalmas ellenségeinek egyikével, és e kettő folytonos együttes támadásainak ellenállni nem bírva, legyőzetik, szétromboltatik. Innen van, hogy ezen óriási mészsíklák bensejében számos üreget találunk, melyek azon behatoló szénsavtartalmú víz által vájtnak, mely a meszet feloldja. Gyakran e kivájás következtében elvékonyodnak az üregek tetőzetei, és beomlanak. A (...) dolinák nem egyebek, mint külső jelei ily földalatti üregek beomlásának.”

Krenner ugyan közös útkürről nem tesz említést, de a hajdani nevelő jeles tanítványa első szárnypróbálgatásait, a szkarisorai jégbarlangról írt tanulmányát megemlíti mint a magyarországi jégbarlangokat ismertető egyik írást.

A barlangot tehát 1870 nyarán Ruffiny Jenő bányamérnök fedezte föl Láng Gusztáv m. k. honvéd hadnagy, Méga Endre városi tiszttel és dr. Fehér Nándor orvos társaságában. Fehér Nándornak köszönhető a barlang első tudományos ismertetése a Természettudományi Közlöny 1872. évi januári számában. 1870–71-ből már a barlangon kívül és a barlangban mért hőmérsékleti adatokat is közölt. Ekkor még úgy tűnt, hogy a barlangot felfedezőjéről Ruffiny-barlangnak fogják hívni. A szerkesztő már itt ígéretet tett, hogy a barlangot a legközelebbi füzet valamelyikében rajzban is szándékoznak bemutatni. S valóban, Krenner cikkét már két remek fametszet illusztrálja, az egyik a *jégbarlang átmetszetét*, a másik az *egyik jégoszlop alsó részét* mutatja.

Tehát míg a bihari utazáson Eötvös (illetve Keleti Gusztáv) rajzolt, akárcsak az 1864-es úton, 1873-ban Krennerre várt e feladat. Vezetője Dobsináról a barlangba Fehér Nándor volt.

A változásokat Eötvös – akárcsak a Dolomitokban tett túrákat s az immár lányai, Ilona és Rolanda által végbevitt hegymászóbravúrokat – a fotográfia segítségével örökítette meg 1895 nyarán. Alighogy megnyílt a barlang, a környezetét is a látogatók magasabb igénye szerint alakították ki. „Hogy az idegen vendégeknek a jégbarlang meglátogatása lehetővé té-

tessék, a jégbarlangot magába záró hegy tövében, egy üde forrás közelében csinos vendégházat építettek 5 lakoszobával, a hol vezető is található, ki a látogatót a szükséges gyertyákkal s a többivel ellátja.” (Krenner, 1874) Ezt a vendégfogadót is megörökítette Eötvös.

A képek némelyikén jól látszik a villanyvezeték, illetve egy villanyoszlop részlete. 1886 óta van a barlangban villanyvilágítás. Egyes szebb jégalakzatokat kívánatra magnéziummal is megvilágított a vezető. S hogy mit is érdemes tudni erről a barlangról, szövegben és képekben bemutatva a főváros érdeklődő közönsége is tudomást szerezhetett. 1899. november 15-én az Uránia Magyar Tudományos Színházban Cholnoky Jenő előadása következik újabb témával: *A dobsinai jégbarlangról*. „Tudományos előadás vetített képekkel”, s a december 5-ei előadásán már Eötvös Loránd eredeti felvételei után készült vetített képekkel került sor a felvidéki jégbarlang bemutatására.

Az Országos Műszaki Múzeumban lévő mintegy 500 darab, Eötvös Lorándtól származó, feldolgozatlan sztereó üvegnegatív, illetve dia között sikerült fellelni és beazonosítani 10 darabot, melyek a jégbarlangot és környékét ábrázolják. Arról, hogy Eötvös 1895-ben felvételeket készített a barlangban, többek is tudtak, azonban a képek 1899 óta csak újabban kerültek elő, s nyomtatásban 2001-ben jelentek meg először. Székely Kinga 1992-es, vonatkozó publikációja nyomán meg kell említeni, hogy 1888–1889 között már H. Rückwardt is publikálta saját fényképeit Berlinben, s korábban, 1887. július 22-én Kozmata Ferenc fotográfus is meglátogatta a barlangot, majd Benky Dezső Budapestről, és 1888-ban Stefany nevű rosnnyói fényképész.

De mi van a jéggel? Milyen jégből is van a *Kút*, a *Kápolna*, az *Oltár*, a *Lugas*, a *Beduin-sátor* s a többi, talán még névtelen, s idővel akár más alakot öltő jégscobor, s a *Nagyterem* sima jégtükrre? Krenner mire jutott? „A mi e barlang jegének minőségét illeti, az víztisztaságú derült jég és vagy vannak légbuborékok vagy sem. A nagy jégtömeg mind a kétféle jégnek váltakozó rétegeiből áll, melyeknek képződése kétségtelenül hőmérsékleti viszonyokkal van kapcsolatban. Tyndall megmutatta, hogy ha a víz gyorsan megfagy, akkor a jég magába zárja a légbuborékokat; míg ha a fagyás lassan megy végbe, akkor a légbuborékok fagyásközben lefelé szoríttatnak és a teljesen tiszta, üvegszerű jégtábla alatt vékony réteget alkotnak. A légbuborék tartalmú jégrétegek tehát a hidegebb, az üvegszerűek ellenben a melegebb időszakban képződhetnek. Ezen felül a melegebb időbeli légbuborékoknak kissé több szénsavat kell tartalmazniuk mint a hidegebb időbelieknek. Jégkristályainkban fegyverzetlen szemmel nem lehetett buboréküregcséket észrevenni, de ezek nem is folyóvízből, hanem vízgőzből képződtek.” A továbbiakban részben Fehér Nándor 1872-es adataira támaszkodik, illetve azokat egészíti ki. Ugyanitt hőmérsékleti adatokkal is szolgál. Részletesen később a kiváló meteorológus, Steiner Lajos ismerteti ezeket: Hőmérsékleti viszonyok a Dobsinai-jégbarlangban. Emlékkönyv Dobsina bányaváros alapításának 600 éves évfordulójára (Putnok, 1927). Innen is megtudhatjuk, hogy 1911 novemberében a *Nagyteremben* angol hőmérőházikót állítottak fel.

A barlangban uralkodó légáramlási viszonyok igen fontosak a jégképződésben, s bár Krenner ekkor még nem ismerte fel a tartósan cirkuláló téli levegő hőelvonó hatását, a barlang úgynevezett légsák jellegét felismerve, helyes nyomon járt.

1893 óta állandósultak a barlang „örök jéghegyei közt” a nyári korcsolyázások. Eötvös, amellet, hogy remek lovas volt, korának jeles alpinistája, szeretett korcsolyázni is. Állítólag feleségét, Horváth Gizellát is a városligeti Műjépgályán ismerte meg, vagy ott vált szorosabbá ismeretségük.

A régi jégünnepek elmúltak, de azóta is sokan keresik föl a természetnek ezt a csodáját. (*Dr. Kopec Gábor főgeológus [1925–2005] emlékének*)

¹ Sz. M. [Szontagh Miklós]: A gömöri jégbarlang. Természettudományi Közlöny, 1871. január