

**REIDAR
MÜLLER**

**TŰZ
ÉS
JÉG**

TÜZ

REIDAR
MÜLLER

ÉS

A FÖLDI ÉGHAJLAT
TÖRTÉNETE

JÉG

FORDÍTOTTA PATAT BENCE



TYPOTEX

This translation has been published with the financial support of NORLA.



A könyv megjelenését a Nemzeti Kulturális Alap
a kiadói program keretében támogatta.



Nemzeti
Kulturális
Alap

Ild og is

© Reidar Müller

First published by H. Aschehoug & Co. (W. Nygaard) AS, 2022

Published in agreement with Oslo Literary Agency

Hungarian translation © Patat Bence, 2024

Hungarian edition © Typotex, Budapest, 2024

Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

Lektorálta: Dulai Alfréd

ISBN 978 963 493 316 8

TARTALOM

AZ ÉGHAJLAT SZÍNPADA	11
ÉGHAJLATI REJTÉLYEK A DÉLI-SARKON	17
Erdő az Antarktiszon	19
A földrészek klímátanca	22
A „hógolyó Föld”	25
Amikor az éghajlat elszabadul	28
A világ legrégebbi erdeje	33
A halvány fiatal Nap paradoxonja	37
SZÉNREJTÉLYEK	40
Aligátorok az Északi-sarkvidéken	42
Szénrejtélyek	44
Egy ősrégi szénrejtély	48
A metánszörnyeteg	55
Egy jövőbeli éghajlati bomba?	58
Egy hidegebb világ felé	61
Tevék az Északi-sarkon	65

A NAGY FAGY	71
A klagenfurti sárkány	73
Rejtélyek a norvég hegyek között	75
Vízilovak Londonban	79
Ad undas – összeomlanak a jégsapkák	82
Az ítéletnap gleccsere	86
A gondnok, aki megoldotta a jégkorszakok rejtélyét	88
Utazás az univerzumba	92
A Föld pulzusa	95
Az éghajlat mint az ember evolúciójának hajtóereje?	98
Exit Afrika	102
Mikor lesz a következő jégkorszak?	105
 AZ ÉGHAJLAT A BILLENŐPONTON	 110
Ezer évszázadnyi éghajlatváltozás	113
A természet egy seggfej	115
A jégkorszak hirtelen vége	119
A billenőponton	121
A nagy szállítószalag	125
Elérkezett az ítélet napja	129
 AZ UTOLSÓ PARADICSOM	 133
Erdő a kopár hegyen	135
A gleccserek összeomlása	141
A zöld Szahara	143
Áradások	146
Halál a gleccseren	150
Az ember, aki kivágatta a világ legöregebb fáját	153
Világtörténelem a tenger fenekéről nézve	156

ÉGHAJLATI VÁLSÁGOK	161
A holtak tava	162
A világ legrosszabb éve	166
A Valhalla felé	169
Az összeomlás	173
Nedvesség és hideg mindenütt	178
Vulkánok, napfoltok és rút kiskacsák	182
Egy rettentően magas jéghegy	187
Kis jégkorszak – csak hőmérsékletek?	192
A jég és a hideg vége	195
 AZ EMBER KORA	200
A pszichozoikum felé	202
Vissza az eocénba	204
Lakhatatlanná válik a bolygó?	211
Az éghajlat jelentette fenyegetés	214
 UTÓSZÓ	219
 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	222
 AJÁNLOTT IRODALOM	223
 JEGYZETEK	226

„Kezdetben, fény és sötétség, tűz és jég között volt a Ginnungagap, a nagy, feneketlen üresség. A Ginnungagap két világot választott el: Nivlheimet, a köd, fagy és hideg világát, és Muspelheimet, a lángok, a tűz és a melegség világát. Ebben a hatalmas ürességben – fény és sötétség között – kezdődött aztán minden élet.”

Az óészaki teremtetéstörténetből

AZ ÉGHAJLAT SZÍNPADA

Soha, sem azelőtt, sem azóta nem jártam annyira kihalt vidéken. Három társammal vettem részt terepmunkán a Spitzbergákon, az Agardh-öbölben, Longyearbyentől 50 kilométerre. A pusztaság közepén lapos, lecsapott tetejű hegyek, zubogó folyók, amelyek többfelé ágaznak a tenger és a kékesszürke Storfjord felé, ahol kis jéghegyek lebegnek a vízen. Zord szépség jellemzi a kopár és fátlan sarkvidéki tájat. Napközben helikopterrel szállítottak oda minket Longyearbyenből, este pedig az éjféli nap átható fényében haladtunk a terepen. Csipkézett sziklák és kavicsos tengerpartok mentén gyalogoltunk, meredek kőhalmokon másztunk át, és zúgó patakokon gázoltunk keresztül.

Egy geológust az efféle túrák mindig izgatott várakozással töltik el: vajon ezúttal mi kerül elő? Mit mesélnek nekünk a kőzetrétegek a hajdani tájról, az egykori életről és az éghajlatról? A terepen töltött napok gyakran összefolynak, korán kelünk és későn fekszünk le, és végül mintha ébren és ál munkban is csak kőzeteket látnánk. Ezen az úton a legmeghatározóbb emlékem – amellet, hogy jegesmedve nyomaira is bukkantunk – az volt, amikor egy 180 millió éves homokkőrétegből hatalmas, egymás hegyén-hátán heverő, elszenesedett fatörzsek kerültek elő. Mintha előző este vágták volna ki őket – a farönkök arról tanúskodtak, hogy a szigetcsoporton hajdan egészen más éghajlat uralkodott.

Sokszor jártam a Spitzbergákon. Egyetemistaként két hetet töltöttem ott terepmunkán. Akkor a Reindalen-völgy fölötti csipkés sziklával foglalkoztunk, és a homokkőből 50 millió éves kőris-, szil- és bükkfák kövületei kerültek elő. A hegyoldalban vékony szénrétegek futottak körbe, jelezve, hogy valaha mocsár és áthatolhatatlan bozót terült el ott. A szigetcsoport nem mindig volt kopár és fátlan, egykor termékeny és meleg volt. A kietlen tundra egyhangúságát ma egyetlen fa sem töri meg, de a kőzetrétegek elemzése után el tudtuk képzelni, hogy hajdan hatalmas lombos erdő borította a szigetet.

Egy biztos: az éghajlat és a táj idővel változik. Semmi sem állandó. Nap mint nap szembesülünk a globális felmelegedéssel, ám sokszor nem érzékeljük a változásokat. Talán észrevevesszük, hogy a telek egyre rövidülnek, a virágok korábban nyílnak, és már márciusban vége a síszezonnak, de ehhez hamar hozzászokunk. Az új, megváltozott éghajlat lesz az új normalitás. A változásokat ugyanis egyik napról a másikra nem észleljük. Nálunk, geológusoknál viszont, akik a földtörténeti idő mélységeibe szállunk alá, ez másként van: mi látjuk, ahogy világok tűnnek el, és újak jönnek létre. A nagy változások foglalkoztatnak bennünket, ezek mutatkoznak meg a kőzetrétegekben, mint például az, hogy a Spitzbergák fagyott talajú, kopár tájait valaha dús erdők borították.

Gyakran tesznek fel nekem ilyen kérdéseket: mikor volt utoljára olyan meleg, mint most? Emelkedett valaha a hőmérséklet olyan gyorsan, mint most? A szén-dioxid-szint korábban is volt olyan magas, mint ma? Ahhoz, hogy erre válaszolni tudjunk, néhány évezrednél jóval messzebbre kell visszamennünk az időben: a jelenlegi szén-dioxid-kibocsátások több millió éves rekordokat döntenek meg. A talajban évmilliók alatt felhalmozódott sok milliárd tonna szén most rendkívül gyorsan kerül a légkörbe.

Naponta 95 millió hordó kőolajat égetünk el – ha sorba állítanánk őket, körbeérnék az Egyenlítőt. Emellett naponta 2,5 millió teherautónyi szenet is felhasználunk, az ezekből álló sor is körbeérne az Egyenlítőn. És mindennap csaknem 10 milliárd köbméter földgázt is elégetünk.¹ Ezt a sok szenet növények és algák vonták ki egykor a lég-

körből, a természet legfontosabb találmányának, a fotoszintézisnek a segítségével. A növények és algák lassan eltemetődtek – kikerültek a szénkörforgásból –, és ezek alkotják ma a bolygó hatalmas szénkészletét. A Földön található szén szinte teljes mennyisége: 99,99 százaléka, mintegy 100 millió gigatonna van elraktározva szén, földgáz és kőolaj formájában – de mészkőként is. Jelenleg ezt a készletet éljük fel gátlástalanul. A szén – geológiai mércével nézve – rekordsebességgel áramlik ki a levegőbe. Korunk egyik legnagyobb kérdése, hogy ez hogyan hat a légkörre, az életre és a Föld éghajlatára.

A Föld története a távoli múltba nyúlik vissza, és a múlt meghatározza a jelent is. Az általunk ismert élet, táj és éghajlat sok-sok ezer, sőt millió év során alakult ki. Ahhoz, hogy megértsük ezt az ősrégi, bonyolult, folyamatosan változó bolygót, el kell kezdenünk úgy gondolkodni, mint a hegyek – írja *Timefulness* („Időtudatosság”) című könyvében Marcia Bjornerud geológus. Magunkévá kell tennünk a bolygó hosszú történetét – az idő mélységét. Ez hozzásegíthet bennünket ahhoz, hogy jobban vigyázzunk rá, és egyúttal utat mutasson a jövőbe. A Föld éghajlatának története olyan, mint egy végtelen zenemű, amelynek ritmusa és tempója állandóan változik. Az éghajlat ütemváltásainak értelmezése segíthet annak megértésében, mi történik bolygónkkal a jelenben és a jövőben. Mi, emberek kietlen földrészeket fedeztünk fel, űrszondákat küldtünk más bolygókra, és zászlót tűztünk ki a Holdra. De emellett a Föld hosszú történetét is meghódítottuk. Az elmúlt kétszáz évben feltártuk a Föld távoli múltját, és a prekambriumtól a negyedidőszakig eonokra, időkre, időszakokra és korokra osztottuk azt. Időutazást tettünk ezekbe az idegen korszakokba, rekonstruáltuk a tájakat, kontinenseket mozgattunk és népesítettünk be, a kambrium időszak trilobitáitól a triász időszak dinoszauruszain át a paleocén korszakig, amikor az emlősök meghódították a bolygót. E hosszú-hosszú történet során az éghajlat folyamatosan változott: hűtőházból üvegházba vagy elviselhető hőségbe extrém hidegbe fordult. Bár ismereteink továbbra is hiányosak, távoli múltunkat a tavak és a tengerek aljzatáról, mocsarakból, barlangokból, gleccserekből és a kőzetrétegekből nyert, egyre bővülő éghajlati archívumnak köszön-

hetően életre tudjuk kelteni. Így alkotjuk meg az éghajlat történetét, amelyből különösen egy, a földtörténeti középkorban bekövetkezett éghajlati optimum, egy jégkorszak és egy 50 millió évvel ezelőtti meleg időszak emelkedik ki.

A földtörténetet gyakran hiányos adatok alapján kényszerülünk rekonstruálni, áthidalva a szédítő időszakadékokat, és elfogadva, hogy a „bizonyítékok” többsége már rég megsemmisült. Sokszor csak jelekre vagy közvetett bizonyítékokra hagyatkozhatunk. Az idő mélyének térképén továbbra is sok a fehér folt, de archívumunk egyre bővül, és gyorsan dolgozunk ki új vizsgálati módszereket is. Ezáltal egyre több színt tudunk vinni a történetbe. Még messze nem járunk az út végén, mivel ismereteink – az éghajlathoz hasonlóan – állandóan változnak. Elgondolkodtató, hogy a földi éghajlat történeti értelmezését ma meghatározó két legfőbb elmélet – a lemeztektonika és a Milanković-ciklusok elmélete – hatvan évvel ezelőtt még nem volt általánosan ismert. Ennek tudatában ez a könyv azt is vizsgálja majd, hogyan változtak az éghajlattal kapcsolatos ismereteink.

„Az éghajlat az a színpad, ahol az ember élete – az emberiség története – játszódik, és amely rögzíti annak a kereteit, hogy mi történhet a Földön” – írta Wilhelm Lauer német geográfus.² Az, hogy a Föld lakható, hogy ezen a bolygón létrejött és évmilliókon át fennmaradt az élet, éppen az éghajlatnak köszönhető. Ha a bolygót egy kicsit messzebb löknénk a Naptól, jéghideg lenne, mint a Mars. Ha közelebb keringene hozzá, forró és élehetetlen lenne, mint a Vénusz. Egy kozmikus kótéltánc biztosítja az alapját fajunk történetének és a Földön létező élet egészének: míg bolygók trilliói éghajlati szempontból élehetetlen sötétségben maradnak, néhány a Stephen Hawking fizikus által Goldilocks-zónának elnevezett lakható övezetben helyezkedik el.* Ez az a keskeny öv egy csillag körül, amely éppen megfelelő a fejlett élet számára. Itt lehetetlenül egyensúly áll

* A Goldilocks, „Aranyfürtöske” elnevezés a klasszikus angol mesére utal, melynek hőse a medvék házában talált három tál kása közül az elsőt túl melegnek, a másodikat túl hidegnek, a harmadikat éppen megfelelőnek találja – a *szerek*.

fenn tűz és jég, az élettelen sötétség és az égető pokol között. A mi kék bolygónk is egy ilyen övezetben lebeg.

Az ember évmilliók alatt fejlődött ki a legegyszerűbb organizmusokból. Történelmünk során egymást követő civilizációk születtek, virágoztak fel és hanyatlottak le. Háborúkat vívtunk, piramisokat, katedrálisokat és felhőkarcolókat építettünk. És éltük az egyszerű hétköznapi kis életünket. Az éghajlat úgy volt jelen benne, mint valami láthatatlan kéz, amely megadta a kereteket elődeink élete számára. Ahogy Hubert Lamb éghajlatkutató írja, az ember az éghajlatot mindig is megbízhatatlannak és változónak élte meg. Néha „váratlan lehetőségeket teremtett, máskor viszont katasztrófákat, például éhínségeket, áradásokat, aszályokat és járványokat okozott”. Ez teremtette meg az elemi igényt arra, hogy megpróbáljuk értelmezni és megérteni a történeteket, és ennek nyomait megtaláljuk a világvallásokban. Ugyanez a törekvés a modern éghajlattudomány hajtóereje is. A látómezőnket azonban ennél tovább is tágíthatjuk: az éghajlat sok tekintetben meghatározó volt az evolúció szempontjából is. Nemcsak társadalmunk, hanem testünk, sőt, tudatunk működése is a változó éghajlathoz való evolúciós alkalmazkodás eredménye.

Ez a könyv időutazásra hív az éghajlat történetének utolsó 600 millió évén át. Ebben az időszakban az éghajlat a két véglet között csapongott. A változások néha lassan, évmilliók alatt mentek végbe a kontinensek lassú vándorlása következtében, máskor viszont gyorsan, hatalmas vulkánkitörések, aszteroidabecsapódások vagy hirtelen lelassuló tengeri áramlások hatására következtek be.

A Spitzbergák szürke kősvatagában meglevenedett előttem sötét történelmünk néhány ellenpólusa. 55 millió éve erdők hajladoztak itt. Akkoriban a bolygó a mainál 14 fokkal melegebb volt. Ha viszont csak 20 ezer évet megyek vissza az időben, egész más helyzetet találok. Akkor az északi félteke jelentős részét jég borította. Ott, ahol álltam, a jég vastagsága elérte az ezer métert, a globális átlaghőmérséklet pedig a mostaninál hat fokkal alacsonyabb volt.

Amikor először jártam a szigetcsoporton, nem sokat gondolkodtam ezen. Inkább a részletek nyűgöztek le: az, hogy a folyócsatornák

évmilliókkal korábban hogyan kanyarogtak egy nagy deltasíkságon át. Bár már akkor is amellettt érveltünk, hogy az üveggházhatású gázok kibocsátását mérésékelni kell, még egészen új dolognak számított, hogy az emberiség szédítő tempóban megváltoztatja a Föld éghajlatát. És azóta is csak robogunk tovább az ismeretlen éghajlatú jövő felé.

Ugyanakkor az éghajlat története hullámokat ver az éghajlatváltozásról folyó vitában, amelynek szemben álló résztvevői folyamatosan hivatkoznak rá. Egyesek azt emelik ki, hogy a Föld korábban a mai-nál melegebb volt, és úgy vélik, hogy a jelenlegi felmelegedés teljesen normális és problémamentes. Mások – ezzel szöges ellentétben – azt állítják, hogy a bolygó éghajlati rendszere mindaddig stabil és paradicsomi volt, amíg mi, emberek ki nem billentettük az egyensúlyából. Ez a könyv azt kívánja bemutatni, hogy a Föld éghajlatának története bonyolult és összetett. Voltak benne óriási hőhullámok, szárazságok és pusztító jégkorszakok is. És a mindenkori éghajlat törékenynek bizonyulhat: hirtelen változások is bekövetkezhettek, amelyek drámai hatást gyakorolhatnak a bolygó élővilágára.

Ez a könyv arról szól, hogy miként változott a Föld éghajlata a bolygó hosszú története során. De a fő kérdés, ami mindvégig foglalkoztat, az, hogy mit taníthat nekünk a földtörténeti múlt éghajlata a jövő globális felmelegedéséről. Ebben én is az „időtudatosság” szemléletmódját követem: a múlt mélységeit feltárva a jövőbe keresek betekintést. A múlt bizonyos értelemben a jövő megértésének a kulcsa.