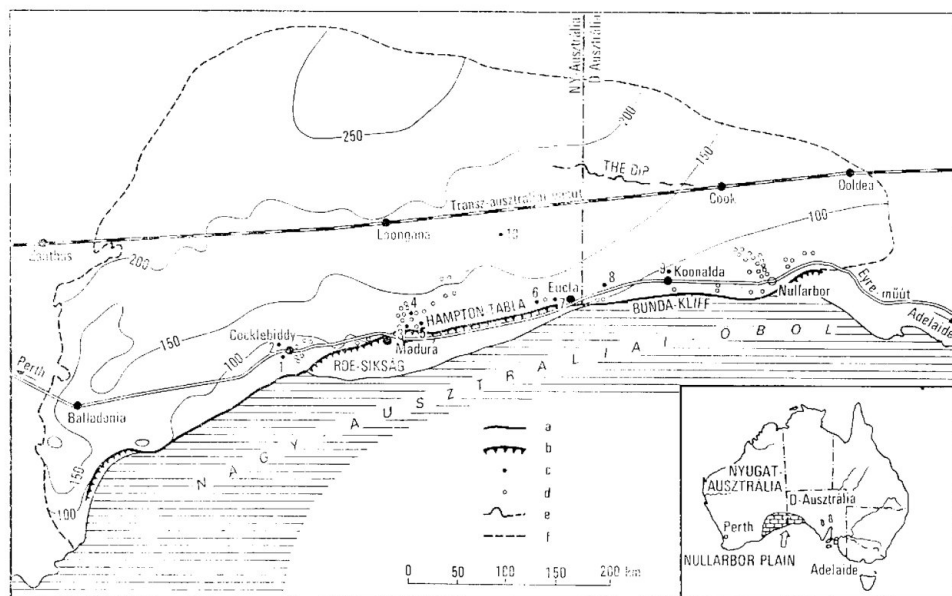


Szemiaridus éghajlatú mészkőfelszínek pusztulása a Nullarbor Plain példáján

DR. BALÁZS DÉNES

A Nullarbor Plain (Fátlan-síkság) nemcsak Ausztrália legnagyobb karsztvidéke, hanem egész Földünk egyik legkiterjedtebb száraz klímájú karsztterülete. A Nagy-Ausztráliai-öbölre támaszkodva Ny—K-i irányban több mint 800 km hosszan nyúlik el, szélessége É-ről D-re 250—350 km, és az újabb számítások szerint a karsztosodó felszín mintegy 195 000 km² területet foglal el (JENNINGS 1971).

A száraz fűcsomókkal tarkított, végeláthatatlan pusztaság a szemlélőben nem kelti karsztvidék látszatát. Az első angol utazók úgy nyilatkoztak róla, hogy akár kerékpárral is át lehet hajtani rajta. A karsztsíkságon később vasutat vezettek keresztül, amelyről azt tartják, hogy a világon a leghosszabb egyenes vonalú vaspálya: csaknem ezer km-en keresztül törés nélkül halad. A vasúttól D-re, a tengerpart közelében transzkontinentális autótutat is építettek, amelyet a karsztsíkság első (1837. évi) európai átutazójáról Eyre műútnak neveztek el (1. ábra).



1. ábra. A Nullarbor Plain földrajzi helyzete és a jelentősebb karsztjelenségek elterjedése. — Mély barlangok: 1 = Murra-El-Elevyn; 2 = Cocklebiddy; 3 = Firestick; 4 = Kestrel; 5 = Mullamullang; 6 = Aburakurie; 7 = Weebubbie; 8 = Warbla; 9 = Koonalda; 10 = Old Homestead; a = jelenlegi abráziós partfal (kliff); b = felemelt kliff; c = mély barlangok (1—10); d = szakadékdolina; e = szárazvölgy; f = a karsztvidék határvonala (A szintvonalak tájékoztató jellegűek)

Geographical location of Nullarbor Plain and the distribution of the more important karst phenomena. — The deep caves in the figure are numbered as follows: 1 = Murra-El-Elevyn; 2 = Cocklebiddy; 3 = Firestick; 4 = Kestrel; 5 = Mullamullang; 6 = Aburakurie; 7 = Weebubbie; 8 = Warbla; 9 = Koonalda; 10 = Old Homestead; a = present-day abrasion cliff; b = elevated cliff; c = deep caves (1—10); d = collapse doline; e = dry valley; f = bordering line of the karst region (Contour lines are informative)

A csapadékszegény Nullarbor Plain kitűnő például szolgál a félszáraz (szemiari-dus) karsztvidékek lassított denudációs folyamatának és sajátos formakincsének megismerésére. Ausztráliai tanulmányutam során 1972–1973-ban több ízben átszeltem ezt a területet. Megfigyeléseimről az alábbiakban számolok be.

Geológiai felépítés és szerkezet

A közel horizontális fekvésű, hatalmas mészkőtábla *kőzettani felépítése* viszonylag egyszerű. A prekambriumi kristályos (gránit) alapzatra — az Eucla közelében mélyített rétegtani kutatófúrás adatai szerint — a krétában homokkő és különféle tengeri üledékek települtek (madurai összlet). Ennek vastagsága az egyenetlen prekambriumi domborzat miatt 5–150 m között ingadozik (2. ábra).

A terciér üledékek sorát a viszonylag vékony hamptoni homokkő nyitja meg (középsőeocén), amelyre az eocén hátralevő időszakában krétaszerű, puha (körömmel is jól karcolható) briozóás mészkő anyagai rakódtak le 200–250 m vastagságban. Ez a kőzet Eucla közelében messziről szembetűnő fehér falként jelenik meg a Wilson Bluff kliffjein, ahonnan a nevét is kapta. Bár itt csak 40–50 m-re emelkedik ki a tengerből,

Idő	Időszak	Kor, emelet	millió év	üledék lerakódás, erózió időszak	Kőzettani részletezés
T E R C I É R	Negyedkor	Holocén			dűne, tavi üledékek stb.
		Pleisztocén			dűnehomok, kankar, tavi üledékek, kalkarenit
		Pliocén			
	Miocén	felső	10		
		középső			
		alsó	20		nullarbori mészkő abakurrie mészkő
	Oligocén		30		
	Eocén	felső	40		Wilson Bluff-i mészkő
		középső			hamptoni homokkő
		alsó	50		
M E Z O Z O I K U M	Kréta	Paleocén	60		
		maastrichti	70		
		senoniai	80		
		turonai	90		
		cenomani	100		madurai összlet
		albai			
		apti	110		
		neocomiai	120		
	Jura		130		loonganai homokkő
			140		

2. ábra. A Nullarbor Plain (Eucla környéke) kőzeteinek sztratigráfiai oszlopa D. C. LOWRY (1971) nyomán. Az abszolút időbeosztás FUNNEL (1964) és CASEY (1964) szerint

The stratigraphical column of the rocks of Nullarbor Plain (environs of Eucla) after D. C. LOWRY (1971). The absolute timing is done according to FUNNEL (1964) and CASEY (1964)

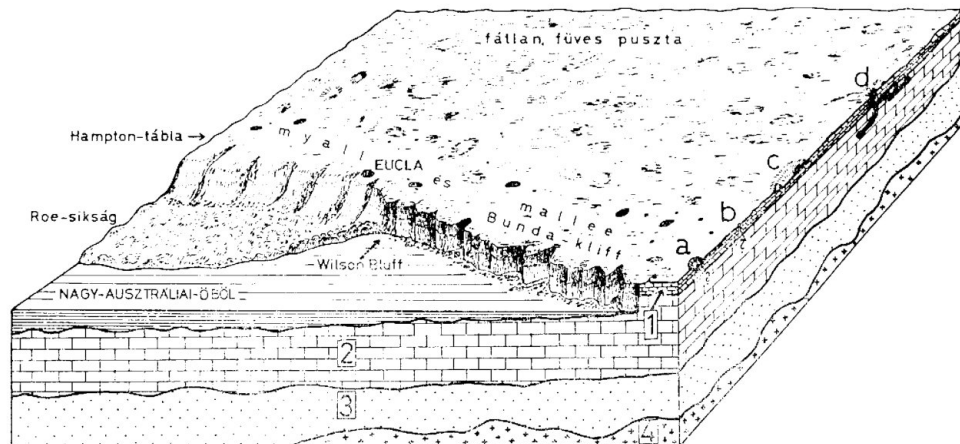
az euclai fúrásban 194 m vastagságúnak találták, s maximális vastagsága más fúrások szerint 250 m.

Az oligocén valószínűleg igen szerény intenzitású lepusztulási időszak lehetett, mivel a felsőeocén Wilson Bluff-i mészkőrétegen közvetlenül miocén üledékek fekszenek. Az alsómiocén idősebb kőzete az abrakurrie mészkő, sárgás színű, porózus, briozoás kalkarenit. (A kalkarenit olyan karbonátos kőzet, amelynek viszonylag laza szövete korall- és kagylótöredékekből vagy felaprózódott idősebb mészkő apró részecskéiből állt össze. A kőzet szemcsenagysága 0,1-től 2 mm-ig terjed.) A réteg elnevezését az Abakurrie-barlangról nyerte, ahol az üregek egy része — a felszíntől számított 16—48 m mélységig — ebben a mészkőben keletkezett.

A tábla fedőkőzete a szintén alsómiocénből származó, ún. nullarbori mészkő, amely áthalmozott, finom és közepes szemcsenagyságú kalkarenit, foraminiferák és mészalgák töredékeivel. Ez a réteg 25—30 m vastagságban csaknem az egész Nullarbor Plain uralja, s keményebb volta miatt megvédi a lepusztulástól az alatta fekvő vastag, de viszonylag laza szerkezetű, könnyen málló kőzeteket.

A pleisztocén időszak üledékei közt szerepel az ún. roei kalkarenit, amely a Hampton-tábla előterében fekvő Roe-síkságot borítja. Ez a terület hosszan elnyúló, 40 km-re kiszélesedő, felemelt abráziós terasz, amelyen pleisztocén és recens dűnék sorakoznak. Pleisztocén eredetű lerakódások helyenként a tábla felszínén is megtalálhatók. A mélyedéseket 0,5—3 m vastagságban különféle lepusztulástermékek töltik ki: meszes anyagok, sós tavi üledékek és eolikus homok. Többfelé előfordul a felszínen kankar is: ez a képződmény agyagos rezidiumba ágyazott, gömb alakú, 1—3 cm Ø-jű, héjas szerkezetű, szürke vagy vörös színű, kemény konkreciókból áll. A tábla holocén képződményeit kolluviumok, lagúnaüledékek és eolikus homok képviselik.

A Nullarbor Plain geológiai szerkezete a sztratigráfiai képhez hasonlóan ugyancsak egyszerű. A szilárd — bár még ismeretlen struktúrájú — prekambriumi kristályos alapzatra települt üledékeket nem háborgatták nagyobb szerkezeti mozgások. Az egész tábla lassú, több ritmusú epigenetikus emelkedéssel jutott el a pliocén és a negyedidőszak folyamán a mai — ÉNy-on kb. 200 m, K-en 50—100 m — tszf-i magasságba. (JENNINGS a Roe-síkságon a parti dűnék elhelyezkedése alapján egy 3 m-es recens és egy 35 m-es pleisztocén emelkedést mutatott ki.) A tábla a Nagy-Ausztráliai-öböl felé hosszú szakaszon 60—90 m magas fallal szakad le (Bunda-kliff), ez azonban nem tektonikus



3. ábra. A Nullarbor Plain partvidékének tömbszelvénye Eucla közelében. — Jellemző karsztformák: a = szakadék-tükr; b = széllyuk (blow-hole); c = széles, sekély depressziók; d = mély barlang beszakadásos nyílással. Földtani felépítés: 1 = alsómiocén nullarbori és abrakurrie mészkő; 2 = felső- és középsőeocén Wilson Bluff-i mészkő és hamptoni homokkő; 3 = krétaidőszaki madurai ösleszt (főleg homokkő); 4 = prekambriumi gránit. A Roe-síkság fedőkőzete pleisztocén kalkarenit és recens dűnehomok

Block diagram of Nullarbor Plain coastal area near Eucla. — Characteristic karst formations: a = collapse doline; b = blow-hole; c = broad and shallow depressions; d = deep cave with an opening formed by the collapse of the roof. Geological structure: 1 = Lower Miocene Nullarbor and Abakurrie limestone; 2 = Upper and Middle Eocene Wilson Bluff limestone and Hampton sandstone; 3 = Cretaceous Madura Formation (mainly sandstone); 4 = Precambrian granite. The covering rock in the Roe Plain is Pleistocene calcarenite and recent dune sand

vonalat, hanem gyorsan hátráló abrúziós partfalat jelöl (1. kép). Ennek megfelelően a Hampton-tábla éles pereme, amely az alatta fekvő Roe-síkságra tekint (2. kép), szintén nem szerkezeti eredetű, hanem felemelt, pusztuló, plio-pleisztocén abrúziós partvonal (3. ábra).

A tábla viszonylagos tektonikai zavartalansága ellenére a legújabb részletes geológiai vizsgálatok kisebb szerkezeti elmozdulásokat mutattak ki. Ezek 10–50 km hosszúságú, főleg É–D-i irányú normális vetődések, amelyek azonban csupán néhány m nagyságrendű domborzati formákat eredményeztek.

Éghajlat és élővilág

A karsztvidékek kialakulásának alapvető geológiai feltétele a karbonátos kőzetek jelenléte, formakincsük kialakításában azonban már az éghajlati tényezők játszásk a fő szerepet. A Nullarbor Plain karsztosodásához nem kedveznek a klimatikus viszonyok: a táblán sztyepi vagy félisváti éghajlat uralkodik.

A mészkőtábla nagy részén az évi csapadékként mindössze 130–200 mm, ezzel szemben a párolgás elméleti nagysága 1400–2000 mm/év. Csupán a tengerpart közelében több valamivel a csapadék (200–275 mm), főleg a téli esők hatására. A csapadékos napok száma viszonylag nagy, a partvidéken évente 60–80, beljebb 30–60 napon hull eső. A csapadékszegénység és az erős párolgás következtében az állandó felszíni vízfolyások és természetesen a források is teljesen hiányoznak.

Az évi középhőmérséklet 15–17 °C. Januárban a napi átlagos maximumok 25–30, júliusban pedig 8–18 °C között ingadoznak. A napi átlagos minimum januárban 16–18, júliusban 5–7 °C. Az abszolút hőmérsékleti maximumok nyáron elérik az 50 °C-ot, télen pedig a belső területeken 5–10 éjszakán tapasztalható fagypon alatti hőmérséklet.

Az éghajlati és az azzal összefüggő szegényes talajviszonyoknak megfelelően alakul a tábla természetes növényvilága. A Nullarbor Plain elnevezés, azaz a „fátlan síkság” (nulla = semmi, arbor = fa) nem teljesen helytálló, mivel a partok közelében még található csenevész fás növényzet.

A part menti 10–20 km-es övezet jellegzetes szemiáridus növénytársulása a mallee és a myall. A mallee alacsony növény (2–5 m magas) eukaliptuszok együttese szegényes aljnövényzettel (3. kép). Ennek a zónának másik jellegzetes képviselője egy kemény szövetű, alacsony faféleség, amit az ausztrálok „tea-tree”-nek neveznek (teafa: *Melaleuca* sp.). A cserjés myall fő képviselője a parttól kissé távolabb az *Acacia sowdenii* és más aprólevelű akácfa. A tábla csapadékosabb DNy-i és DK-i részein megjelenik a mulga, amelynek uralkodó növénye a 3–6 m magasságba növő *Acacia aneura*. A parttól távolodva a cserjés növényzet egyre ritkábbá és alacsonyabbá válik, s fokozatosan átadja helyét a szárazságtűrő, sós talajban is megélő füves vegetációnak. Ennek két jellegzetes típusa van: a „blue-bush” vagy kék bozót (*Kochia sedifolia*) és a „salt-bush” vagy sós bozót (*Atriplex* spp.; 4. kép).

A karszt-tábla állatvilágából a kengurut és a vombátot említjük. Főleg a mallee- és a myall-övezetben tanyáznak. A medveszabású, erszényes vombát (ausztrál kiejtés szerint: vambet; *Phascomomys* sp.) olyan nagy üreget alakít ki magának az agyagos üledékekben, hogy azokba még ember is be tud kúszni. Ezek az állatok sajátos szerepet játszanak a karsztosodási folyamatban is.

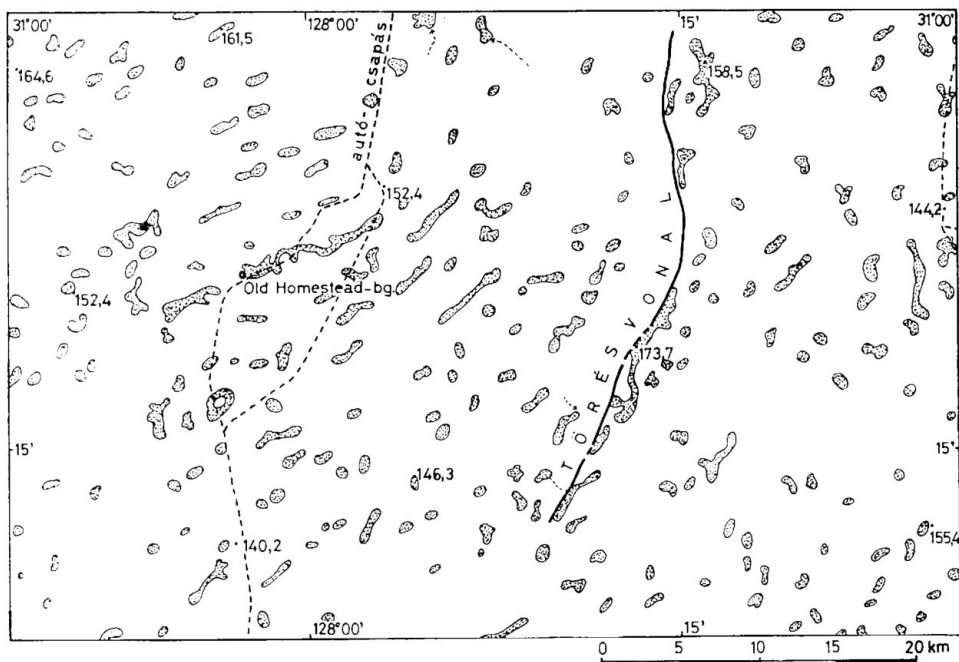
Felszíni karsztformák

Az ismertetett geológiai-geomorfológiai adottságok, valamint az éghajlati viszonyok már sejtetik, hogy milyen karsztos jelenségek uralkodnak a nullarbori mészkőtáblán. Először a felszíni formakincset vesszük sorra.

1. *Karsztvölgyek.* Csaknem minden karsztvidéken kimutathatók a karsztfejlődés korai szakaszának felszíni vízfolyásmedrei. A Nullarbor Plainen kisebb (néhány km hosszú) szárazvölgyeket csak a mészkőövezet szélein találunk, továbbá a Hampton-tábla peremét szabdalják fel a hajdani abrúziós öblöcskébe torkolló sziklás szurdokvölgyek. JENNINGS (1967) írt le egy mean-

derező folyómederhez hasonló jelenséget a Cook vasútállomástól NyÉNy-ra, amely mintegy másfél km széles, 15 m mély, egymáshoz kapcsolódó hosszanti, zárt depressziókból áll (The Dip; 1. az 1. ábrán.). Ettől eltekintve a felszínen még fosszilis szárazvölgyek sem találhatók, amelyek pedig oly jellemzőek pl. a szaharai mészkőtáblákra. Ez arra utal, hogy a Nullarbor Plain fejlődése során mindig a maihoz hasonló, vagy még szárazabb klíma uralkodott, szemben a szaharai pluviális múlttal.

2. *Sekély depressziók.* A vonattal vagy gépkocsival utazóknak a Nullarbor Plain geometriailag tökéletes sík felületnek tűnik. Valójában azonban nem így van: az egész táblát szórványosan zárt, rendkívül sekély depressziók borítják (4. ábra). Akadnak közöttük hosszan elnyúlók, de többségük kerekded, ovális, tál alakú, sekély mélyedés. Átmérőjük 300 m-től 1–2 km-ig terjed, viszonylagos mélységük 1–5 m. Olyan sekély domborzati hullámok ezek, hogy sokszor csak a növényzet hiánya és a kicserepesedett sós agyagkéreg utal a mélyedésre. Ezek a lapos teknőcskék kezdetleges korróziós mélyedéseknek tekintendők; a csapadékosabb területek oldásos töbreivel rokon jelenségek. Helyzetüket a felemelt tábla kezdeti egyenetlenségei, a felépítő kőzetekben rejlő eltérő tulajdonságok és a tábla hasadékirányai határozzák



4. ábra. A Nullarbor Plain felszíne Eucla-tól ÉNy-ra. A fehéren hagyott alap a felszínen levő alsómiocén nullarbori mészkövet jelenti, amelyet törmelékes lepusztulási termékek borítanak vékony homokos agyagba ágyazva. A pontozott kerekded vagy hosszanti foltok a sekély depressziók elhelyezkedését jelölik; ezek alját holocén agyagos kolluvium tölti ki. (Az alapul szolgáló térkép: Australia 1 : 250 000, Geological Series, Eucla-Noonaera, Sheet SH 52–14. Canberra, 1970. Magassági adatok m-ben)

The surface of Nullarbor Plain NW of Eucla. The white plots mean the Lower Miocene Nullarbor limestone on the surface, imbedded in a shallow layer of sandy clay and covered with broken fragments of decay. The dotted roundish or longitudinal plots indicate the position of the shallow depressions with Holocene clayey colluvium in their bottoms. (The map used for this work is: Australia 1 : 250 000, Geological Series, Eucla-Noonaera, Sheet SH 52–14, Canberra, 1970, with elevation figures shown in metres)

meg. (Hasonló jelenségeket ismertetnek G. CONRAD és munkatársai (1967) a Szahara mészkőtábláiról, ahol a nép ezeket a sekély mélyedéseket *daya* névvel illeti.)

3. *Szakadéktöbrök*. Jóval feltűnőbb, de sokkal kevésbé elterjedt formák a szakadéktöbrök (szakadékdolinák): a terepet jól ismerő kísérő nélkül nehéz rájuk akadni. A fiatalabb töbrök meredek, sőt olykor aláhajló falú, 10–30 m mély és 15–100 m Ø-jű képződmények. Néhány ilyen berogyás alján — a beszakadt törmeléken átkapaszkodva — tágas, horizontális barlangfolyosókba juthatunk, a szakadékdolinák többsége azonban a nagy mennyiségű omladék miatt teljesen zárt.

Akadnak olyan karsztdepressziók is, amelyek formailag nagyon hasonlítanak az Aggtelek környéki korróziós, terra rossa aljazatú töbrökhöz. Mélységük 3–10 m, átmérőjük pedig 50–100 m, s alakjuk mosdótálra emlékeztet. Az ausztrál karsztkutatók úgy vélik, hogy genetikailag ezek is szakadéktöbrök, de a mészkő mállástermékeivel és szélfújta homokkal feltöltődtek (5. kép).

A legtöbb beszakadáshoz kisebb-nagyobb kiterjedésű, sekély depressziók kapcsolódnak, s lehetséges, hogy a barlang beomlása előtt ezeken a helyeken — a hasadékok keresztezése mentén — víznyelő lyukak léteztek. A szakadéktöbrök kizárólag csak a parti — esősebb — 40 km-es sávban találhatók. Számukat 150-re becsülik, ami a tábla óriási méretéhez képest elenyésző.

4. *Széllyukak*. Sokkal elterjedtebb jelenségek az ausztrálok által „blow-hole”-oknak nevezett nyílások a kopár mészkőpadokon, amelyekből időnként nagy erővel tör elő a hűvös levegő (6. kép). Hasonló jelenségek nálunk is ismertek. Az égerszögi pásztorok nyári időben az ilyen hideget lehelő sziklaüregekben helyezték el a magukkal vitt ételmet, s a „blow-hole”-nak megfelelő magyar nevet, a „széllyukat” is tőlük kölcsönöztem.

A széllyuk működése terjedelmes üregrendszer, de nem feltétlenül járható barlangot tételez fel. A felszínen látható nyílás gyakran csak egy-két arasznyi átmérőjű kerek lyuk, de akadnak tágasabb, ember számára is hozzáférhető, kiszélesedő zsombolyaknában folytatódóak is. Genetikájuk még vitatott, de mivel legtöbbször — megfigyeléseim szerint — kisebb-nagyobb sekély, hosszanti felszíni depressziók is csatlakoznak, időszakos víznyelőknak kell tekintenünk, amelyeket a mélység felé az üregek felharapódzása is bővíthetett.

5. *Kőlyukak*. Nem feltűnő, de mégis említésre méltó felszíni jelenségek az ún. „rock-hole”-ok vagy kőlyukak. Ezek eredetileg a mészkőfelszín kisebb mélyedései lehettek, amelyek üledékkel töltődtek fel. A vizet kereső állatok — főleg kenguruk, de a parti sávban meghonosított juhok is — ösztönszerűen ezeket a helyeket keresik fel. Patáikkal nemcsak a nedves üledéket kaparják ki, hanem a viszonylag puha mészkőben is 1–2 m mélységű üregeket vésnek ki, ahol a víz eső után időlegesen megmarad, így az korróziós úton is lassan tovább mélyül.

A felszínen általában alárendelt szerepet játszanak a karsztokra egyébként jellemző korróziós formák (8. kép). Főleg az idősebb szakadékdolinák szabad falfelületein vagy a kliffvonal szikláin találhatunk legfeljebb néhány cm mélységű korróziós vájatokat és kezdetleges kamenicákat. A felszín pusztításában elsősorban a fizikai hatóerők — az inszolációs és a kifagyásos aprózódás — érvényesülnek.

Mélyégi karsztformák

A kevés csapadék és a nagyfokú evaporáció, a gyér növényzet és ennek következtében a biogén eredetű széndioxid csekély mennyisége nemcsak a felszíni korrózió mértékét csökkenti le, hanem a kőzet belsejében érvényesülő oldóhatást (üregképződést) is kedvezőtlenül befolyásolja. Mindezek ellenére meglepő, hogy a Nullarbor Plain alatt hatalmas méretű barlangrendszerek is kialakultak.

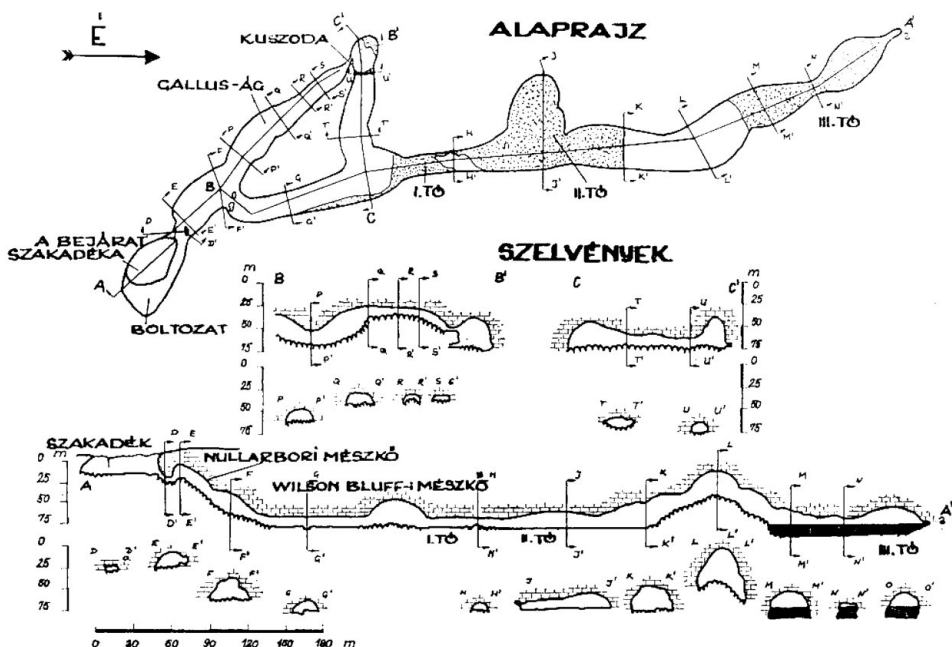
Az ausztrál szpeleológusok a nullarbori barlangoknak két típusát különböztetik meg: sekély és mély barlangok. Ez a meghatározás nem egyszerűen méretbeli csoportosítást jelent, hanem genetikai szétválasztást is. A sekély barlangok („shallow caves”) ugyanis a tábla fedőkőzetét alkotó, 25–30 m vastag, viszonylag kemény, de erősen repedezett nullarbori mészkőben keletkeztek, míg a mély barlangok horizontális üregrendszerei 50–90 m mélységben a kréta tulajdonságú, porózus, homogén Wilson Bluff-i mészkőben alakultak ki.

1. *Sekély barlangok.* Rendszerint széllyuk-szerű függőleges aknákból nyílnak, és szövevényes, szűk hasadékokból állnak. Hosszúságuk a 100–200 m-t ritkán haladja meg. Mivel a leszálló karsztvízövezben helyezkednek el, vadózus barlangoknak tekintendők, jöllehet csapadékvizet ritkán kapnak. Több ilyen sekély barlang bonyolult járatrendszeréből arra lehet következtetni, hogy az üreglabirintus kialakításában — a fejlődés korai szakaszaiban — a freatikus tényezők (karsztvízszint alatti cirkulációk) is szerepet játszottak. Ezek a barlangok szárazak, de a falakon helyenként pusztuló cseppkőképződményeket fedezhetünk fel. A mennyezeti beomlások miatt jelentős a törmelékfelhalmozódás.

2. *Mély barlangok.* Ellentmondásosnak tűnik, mégis tény, hogy a nagy-méretű nullarbori barlangok az üregképződésre kevésbé alkalmas, laza szerkezetű Wilson Bluff-i mészkőben képződtek. Szinte kivétel nélkül beomlás útján, szakadéktöbrök aljából nyíltak meg az ember számára (7. kép.). A meredek törmelékletjőn leereszkedve tágas csarnokok sorába juthatunk. Ezek nagyjából egyazon szinten alakultak ki, szélességük 15–20 m, magasságuk eléri a 15–20 m-t. A Koonalda-barlangban egy 60 m magas, kupola alakú terem képződött felharapódzással, alján 30 m magasságig halmozódott fel a boltozati omladék (5. ábra).

Az ausztrál barlangkutatók 1970-ben összesen 14 mély barlangot tartottak számon. Miként a szakadéktöbrök, a mély barlangok is az abráziós part 20–40 km-es övezetében fekszenek. Közülük leghosszabb a Mullamullang-barlang: mellékágaival együtt 8 km hosszú. Nyolc mély barlang alján található állandó tó, amelyek a karsztvízszintet jelölik.

A mély barlangok keletkezésének megmagyarázása különösen vitatott. A legismertebb és a nullarbori barlangokra is adaptált elmélet szerint az üregek a karsztvízszint alatt freatikus oldással (keveredési korrózió stb.) képződtek, ám ennek igen kevés látható nyoma van. Több kutató a pleisztocén pluviális időszakaira hivatkozik, mások a nagy üregek kialakulását a jégkorszaki tengerszint-ingadozásokkal is összefüggésbe hozzák. GLENNIE (1954) ismertette a „karsztvízszint-folyam” elméletet, amely JENNINGS (1967) szerint a nullarbori barlangok esetében valamennyi hipotézis közül a legelfogadhatóbb keletkezési magyarázat. Eszerint egy kezdeti freatikus (karsztvízszint alatti) üregképződés szakasz után a lefolyás irányában kialakult koncentrált



6. ábra. A nullarbori mély barlangok tipikus példája: a Koonalda-barlang (J. B. HINWOOD és munkatársainak 1960. évi felmérése alapján: JENNINGS 1963)

A characteristic example of the Nullarbor deep caves is the Koonalda cave. (Based on the survey done by J. B. HINWOOD and his colleagues: JENNINGS 1963)

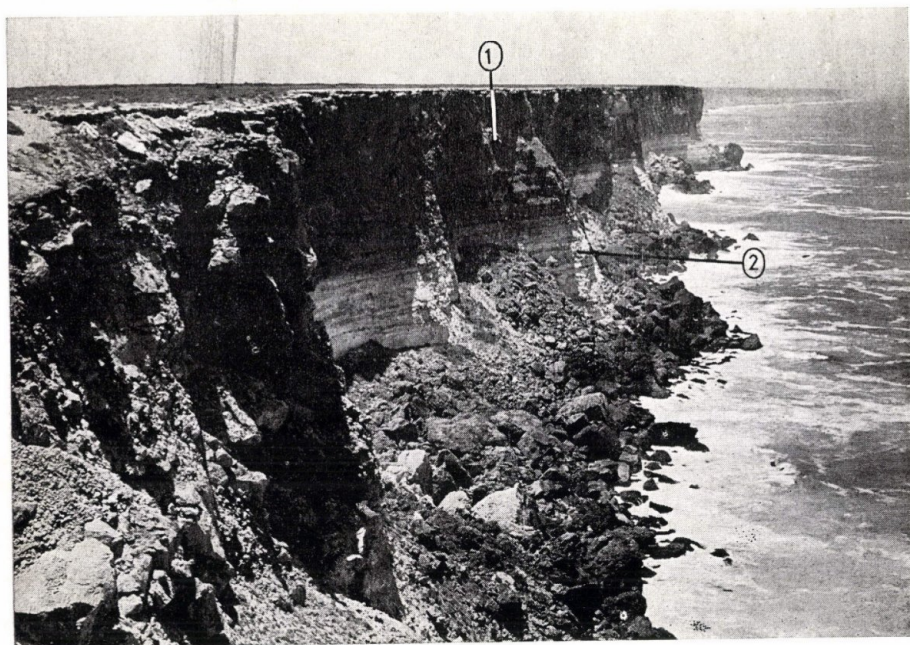
vízfolyamok bővítették ki a járatokat, amelyek felfelé mechanikai úton nagyobbodtak. Az elmélet alapján a tengerpart mentén forrásokat kell feltételeznünk, ilyenek azonban nem ismertek, sőt ősi forrásszájaknak sincs nyomuk.

A karsztos lepusztulás intenzitása

A Nullarbor Plainen a száraz klímára jellemző formakincs megfigyelése mellett adatokat gyűjtöttem a karsztos korrózió mértékének kiszámításához is. Egyrészt a Koonalda-barlang tavaiból, másrészt az Eyre műút mentén fúrt kutakból vettem vízmintákat. Ez utóbbiak harántolják a Wilson Bluff-i mészkövet és a karsztvizet 250—300 m mélységből szivattyúzzák fel.

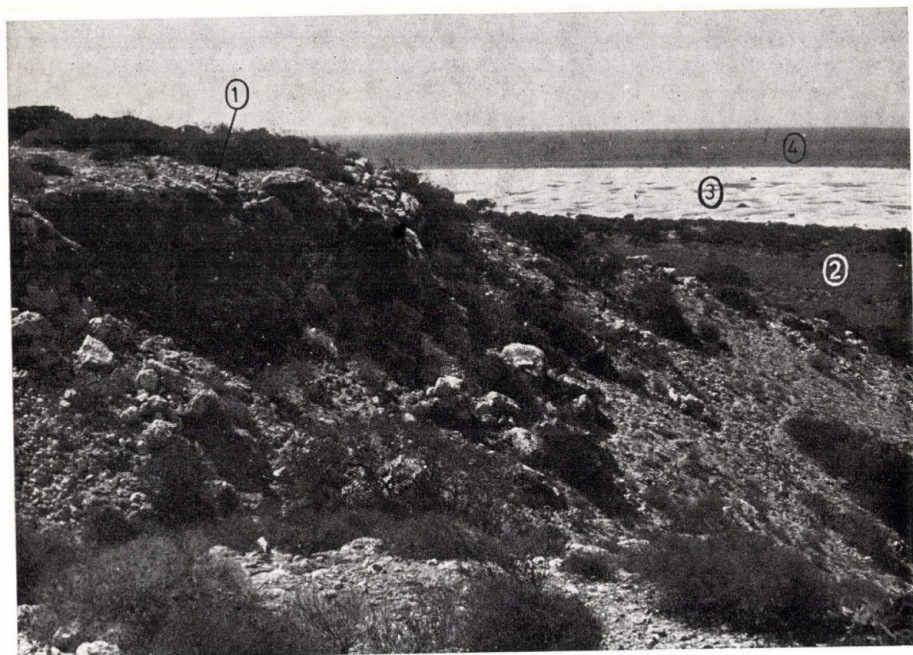
A gyűjtött vízmintákat részben egyszerű tereplaboratóriumi felszerelésekkel a helyszínen, részben hazaszállítva, laboratóriumi körülmények között elemeztük. Saját vizsgálati eredményeim ellenőrzésére az 1. táblázatban közölt négy vízminta analízisét a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetben végezték el. E segítségért ez úton is köszönetet mondok.

A nullarbori mélységi karsztvizekre jellemző a magas nátriumklorid-tartalom (0,4—1,0%), ami miatt emberi fogyasztásra alkalmatlanok, de állatok itatására még hasznosíthatók. Az ott élő emberek edesvíz-szükségletüket részben a felfogott esővízből elégítik ki, szárazabb időszakban azonban sok-száz km távolságból kénytelenek odaszállítani az ivóvizet. Igen tekintélyes a karsztvizekben koncentrálódott kalcium és magnézium ionok mennyisége,



1. kép. A Nullarbor Plain 90 m magas abrázíós partfala Koonaldától D-re, az ún. Bunda-kliff. — 1 = alsómiocén nullarbori mészkő; 2 = felső- és középsőeocén Wilson Bluff-i mészkő

The 90 m high abrasional cliff of Nullarbor Plain south of Koonalda, the so-called Bunda Cliff. — 1 = Lower Miocene Nullarbor limestone; 2 = Upper and Middle Eocene Wilson Bluff limestone



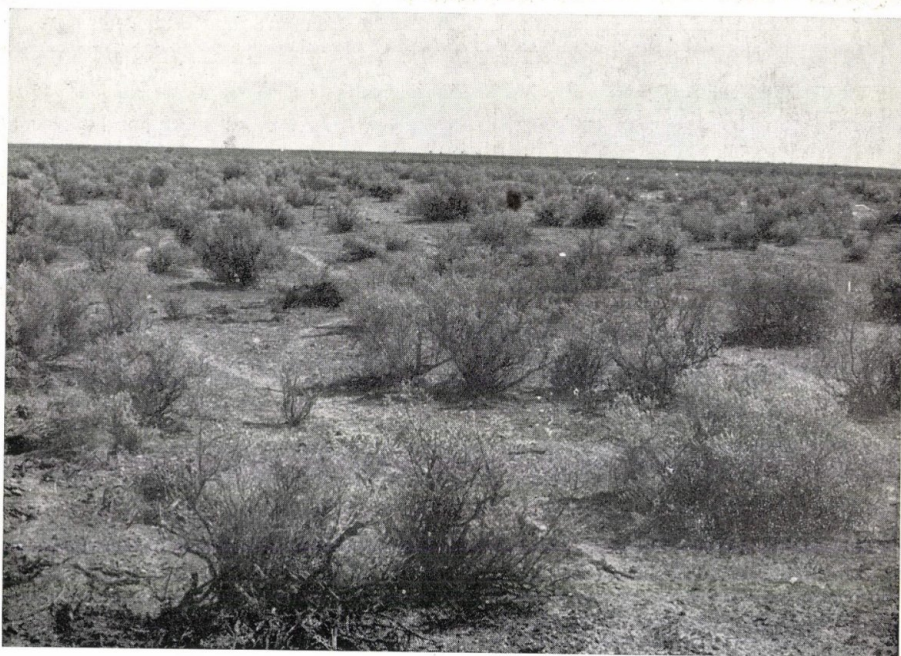
2. kép. A Hampton-tábla pusztuló pereme Eucla mellett. — 1 = alsómiocén nullarbori mészkő; 2 = Roe-síkság (pliocén-pleisztocén); 3 = recens mészhomokdűnék (futóhomok); 4 = Nagy-Ausztráliai-öböl

The decaying cliff of the Hampton Tableland near Eucla. — 1 = Lower Miocene Nullarbor limestone; 2 = Roe Plain (Pliocene-Pleistocene); 3 = recent dunes (wind-blown sand); 4 = Great Australian Bight



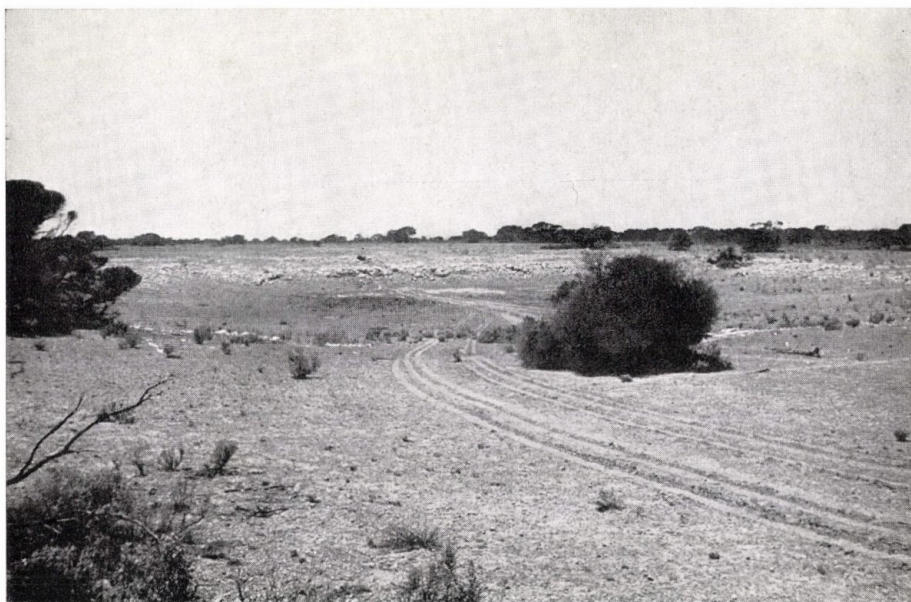
3. kép. Mallee típusú növényzet Eucla közelében a tengerparttól 8 km távolságra (eukaliptuszfák és ún. „blue-bush” aljnövényzet)

Mallee association of plants near Eucla, in a distance of 8 km from the sea. (Eucalyptus trees and the so-called „blue-bush” undergrowth)



4. kép. A jellegzetes „fátlan síkság” Koonaldától É-ra, a tengerparttól 25 km távolságra (ún. salt-bush)

The characteristic vegetation of the Nullarbor Plain north of Koonalda, 25 km from the sea (the so-called salt-bush)



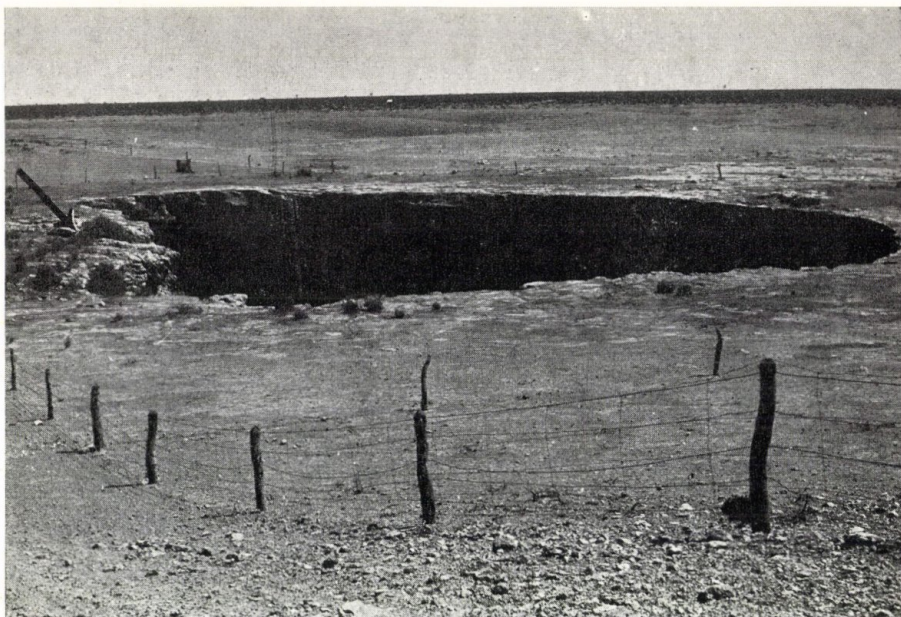
5. kép. Lapos, tál alakú mélyedés Koonaldától D-re, a tengerparttól 5 km távolságra. Az ausztrál kutatók szerint feltöltődött szakadéktöbör

Flat, platter-like depression south of Koonalda, 5 km from the sea. According to the Australian scientists it is a filled-up collapse doline



6. kép. Kettős széllyuk Koonaldától 8 km-re K-re. A lyukakból a levegő olykor olyan erősen áramlik ki, hogy a nyílt fölé tartott kalapot a magasba röpíti

Double blow-hole east of Koonalda, in a distance of 8 km. Sometimes the air comes from the holes with such a strength that it takes a hat up in the air



7. kép. A Koonalda-Larlang bejárata. A szakadék átmérője 40–50 m; a bejárat egy kb. egy km hosszú, sekély depresszió legalacsonyabb pontján nyílik. A nyíllal megjelölt helyen zápor után időszakosan víz zúdul az üregbe
Entrance to Koonalda Cave. The diameter of the collapse sink is some 40–50 metres, and the entrance is at the lowest point of a shallow depression having a length of about 1 km. The arrow shows the place where after a rainfall temporarily water pours into the cave



8. kép. A huzamosabb idő óta szabadon álló mészkő felszínén a karsztos oldódás (korrózió) mikroformái figyelhetők meg. Karrmezők kialakulásához a csapadék nem elégséges
On the surface of the limestone uncovered for a longer time the micro-forms of karstic solution (corrosion) can be found. The amount of precipitation is not enough to result information of karren-fields

(A képek a szerző felvételei)

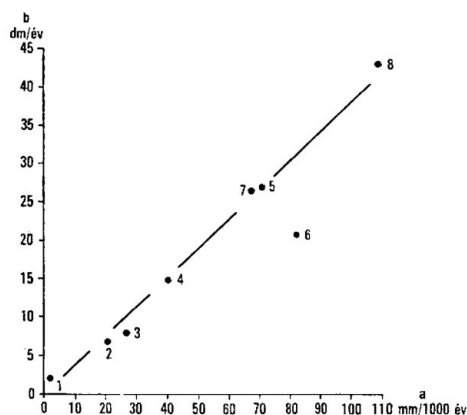
1. táblázat. A nullarbori karsztvízminták vizsgálati eredményei

Minta száma	Szármaszási hely	Víz-hőfok °C	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	Na ⁺	K ⁺	NaCl + KCl %	Számított oldás	
			mg/l						CaCO ₃ mg/l	n.k.f.
6713	Koonalda-bg. 1. tó	13,8	430	6010	820	1400	200	0,39	125	7,0
6185	Nullarbor Homestead	—	370	5250	1930	1900	150	0,50	108	6,1
6191	Cocklebidy Homestead	—	490	9500	990	3200	250	0,85	143	8,0
6861	Eucla Hotel	—	370	7230	1150	3450	140	0,90	108	6,1

Átlag: 121 6,8

ezek zöme azonban nem a karsztvizeknél általában megszokott hidrogénkarbonát ionokkal, hanem szulfát ionokkal társul.

A hidrogénkarbonát-koncentráció alapján számításokat végeztünk a mélybe jutó csapadékvizek oldó hatásáról. Amint várható volt, a kapott értékek alacsonyabbnak bizonyultak a csapadékosabb karsztterületekről származó adatoknál. A mélybe jutó csapadékvíz a Nullarbor Plainen literenként mintegy 100–140 mg kalciumkarbonátot old fel, s ennek megfelelően a víz-



6. ábra. A korróziós karsztdenudáció nagysága (a: mm/1000 év) a csapadékatlagok (b: dm/1000 év) függvényében. A diagramban az összefüggések szemléltetése céljából csupán néhány kiragadott átlagértéket szerepeltettünk Földünk különböző klímaövezeteiből: 1 = Nullarbor Plain; 2 = az öt legjelentősebb magyarországi karsztvidék átlaga; 3 = lengyelországi karsztterületek a Magas-Tátra kivételével (M. PULINA adataiból számítva); 4 = Szlovénia alacsony és középmagas karsztjai (I. GAMS adataiból); 5 = Fülöp-szigeteki karsztok; 6 = Indonézia karsztvidékei; 7 = DNy-csendes-óceáni-szigetek; 8 = Pápua és Új-Guinea (magashegységi adatok nélkül)

The degree of corrosional karstic denudation (a: mm/1000 years) as a function of the average precipitation (b: dm/year). The diagram shows only some arbitrarily chosen averages from the various climatic zones of the Earth in order to illustrate the relationships: 1 = Nullarbor Plain; 2 = the average value of the five most important Hungarian karst regions; 3 = karst regions in Poland, with the High Tatras excluded (based on the data of M. PULINA); 4 = low and medium-high karst regions in Slovenia (based on the figures of I. GAMS); 5 = karst regions in the Philippines; 6 = karst regions in Indonesia; 7 = islands of the SW Pacific; 8 = Papua and New Guinea (with the figures of high mountains excluded)

hidrogénkarbonát-keménysége 6—8 n. k. f.-ot tesz ki. Ez utóbbi adatok megközelítően egyeznek KING (1950) és JENNINGS (1963) mérési eredményeivel.

A karsztábra korróziós lepusztulásának mennyiségi meghatározására a Corbel-i formula alábbi, módosított képletét használtam:

$$D_c = \frac{4 \cdot P \cdot R \cdot T}{100}, \text{ ahol a } D_c \text{ a korróziós denudációt jelenti 1000 évenként,}$$

mm-ben kifejezve, P az éves csapadékatlag dm-ben, R a lefolyási koefficiens, T pedig a hidrogénkarbonát formájában oldott kalciumkarbonát mennyisége mg-ban, literenként. Számításaimban a nullarbori példánál $P = 2$ dm, $R = 0,1$, az átlagosan oldott kalciumkarbonát pedig 121 mg/l.

A számítások rendkívül alacsony értéket eredményeztek. A Nullarbor Plainről (a felszínről és a mélyből együttvéve) a jelenlegi éghajlati feltételek mellett 1000 év alatt mindössze 1 mm vastagságnak megfelelő mészkőréteg pusztul le oldásos úton. Különösen kismérvű ez a karsztosodás, ha a magyarországi karsztterületek (20 mm/1000 év), ill. a trópusi karsztok ennél jóval magasabb (60—110 mm/1000 év) értékeivel hasonlítjuk össze (6. ábra). Amíg hazánkban a korróziós lepusztulás egy millió évre kivetített nagysága kb. 20 m, ugyanezen idő alatt a Nullarbor Plain kőzetvesztése mindössze 1 m vastagságú réteg.

A korróziós denudáció természetesen csak egyik oldala a karsztvidékeken érvényesülő lepusztulási folyamatnak. A karsztion eredő vagy azon áthaladó folyók nemcsak oldott formában, hanem szilárd halmazállapotban is szállítanak el anyagot a karsztterületről. Ez a mechanikai denudáció különösen a nedves trópusok karsztjain játszik fontos szerepet, ahol a csapadékhullás nagy intenzitású. Ezzel szemben a száraz Nullarbor Plainen nincs egyetlen folyó sem, még az időszakosan aktív vádik is hiányoznak. Legfeljebb az eolikus elszállítás jöhet szóba, ennek mértékéről azonban nincsenek adataink.

Összefoglalás

A Nullarbor Plain földrajzi fekvését és hőmérsékleti viszonyait tekintve a mérsékelt övi karsztok sorába tartozik. A hasonló fekvésű, fennsíki jellegű európai, észak-amerikai stb. karsztvidékeket általában a mély, tál alakú töbrökkel borított korróziós felszín és a jól fejlett, aktív mélységi hidrográfiai hálózat jellemzi. A Nullarbor Plain sajátossága ezzel szemben az embrionális töbröképződés és a stagnáló inaktív mélységi vízrendszer:

A Nullarbor Plain esetében is minden geológiai alapfeltétel, a szükséges geomorfológiai expozíció (kiemelkedettség) megvolt a mérsékelt övi tipikus töbrös karsztok kifejlődéséhez, csupán egy tényező hiányzott: a kellő mennyiségű csapadék. Ennek hiányát nem pótolta a hosszú denudációs idő sem. Az Aggteleki-karszt töbrös felszíne alig egy-másfél millió éves múltra tekinthet vissza, míg a Nullarbor Plain denudációja a középsőmiocén óta (15—18 millió éve) tartó folyamat.

A Nullarbor Plain mint sajátos morfofoklimatikus formaegyüttes, jól szemlélteti a csapadék elsőrendű szerepét a karsztosodásban.

IRODALOM

- BALÁZS D. 1971. Intensity of tropical karst development based on cases of Indonesia. — *Karszt- és Barlangkutató*, Vol. VI. p. 33—67.
- CONRAD, G.—B. GÈZE et H. PALOC 1967. Observations sur des phénomènes karstiques et pseudo-karstiques du Sahara. — *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique* (2), Vol. IX., Fasc. 5., p. 357—370. Paris.
- GALLUS, A. 1969. Results of the exploration of Koonalda Cave, 1956—68. — (In: *Archaeology of the Gallus Site, Koonalda Cave*) Aust. Aboriginal Studies, No. 26, p. 81—133.
- GAMS, I. 1969. Ergebnisse der neueren Forschungen der Korrosion in Slowenien (NW-Jugoslawien). — *Probl. of Karst Denudation*, Brno.
- GLENNIE, E. 1954. The origin and development of cave systems in limestone. — *Trans. Cave Res. Grp. Gt. Br.* No. 3, p. 75—83.
- JENNINGS, J. N. 1963. Some geomorphological problems of the Nullarbor Plain. — *Roy. Soc. S. Aust.*, Vol. 87, p. 41—62.
- JENNINGS, J. N. 1967. The surface and underground geomorphology. — (In: *Caves of the Nullarbor*. Ed. J. R. DUNKLEY and T. M. L. WIGLEY, 1967). Univ. of Sydney. p. 13—31.
- JENNINGS, J. N. 1971. Some karst areas of Australia. — (In: *Landform Studies from Australia and New Guinea*). Austr. Nat. Univ. Press, Canberra, p. 256—292.
- KING, D. 1950. Geological notes on the Nullarbor cavernous limestone. — *Trans. R. Soc. S. Aust.* 73. p. 52—58.
- LOWRY, D. C. 1964. The development of Cocklebidly Cave, Eucla Basin. — *W-Australia Helictite*, No. 3. p. 13—19.
- PULINA, M. 1972. A comment on present-day chemical denudation in Poland. — *Geogr. Polonica* 73. p. 45—62., Warszawa.
- THOMSON, J. M. 1950. The Nullarbor caves system. — *Trans. R. Soc. S. Aust.* 73. p. 48—51.
- Geológiai térképek 1: 250 000 méretarányban. Explanatory notes by D. C. LOWRY. — Aust. Gov. Publ. Service, Canberra, 1971.

DENUDATION OF LIMESTONE SURFACES AMONGST THE CONDITIONS OF SEMI-ARID CLIMATE AS STUDIED IN NULLARBOR PLAIN

Dr. D. Balázs

Summary

Nullarbor Plain in Australia is a limestone plateau of dry climate and is one of the largest extent on the Earth (195 000 km²). Its constituting rock is limestone from the Middle and Upper Eocene, and from the Lower Miocene. This reaches the height of 50—200 m in the coastal area of the Great Australian Bight. The annual average of precipitation is 130—200 mm on most parts of the plateau, but it is between 200 and 275 mm in the coastal zone.

The karstic phenomena on the surface and in the depth are described by the author on the basis of the experiences gained during his study tour in 1972 and 1973. The samples of karst water were analyzed and it was found that the corrosion (chemical denudation) of the karst plateau is a very slow process. While in Hungary in the temperate zone a layer of about 20 mm is removed from the surface of the limestone in the hills of medium height in the course of 1000 years, and this figure is 60—110 mm in the case of the karsts in the wet tropical areas, the layer removed in Nullarbor Plain is only 1 mm/1000 years. Not only the chemical action is slower, but also the mechanical (physical) denudation. Because there are no water courses, the debris of small fraction resulting from decay due to insolation will be removed in aeolian way.

Nullarbor Plain in Australia is a group of forms of characteristic morphoclimate and proves impressively the utmost importance of precipitation in the karstic processes.

The author thanks warmly for the kind help in organizing the study tour to Nullarbor Plain to Australian National University, Canberra, and National Museum of South Australia, Adelaide.

Translated by G. VÁRADY