

## A LÉNA PILLÉREI

VERESS MÁRTON – ZENTAI ZOLTÁN – PÉNTEK KÁLMÁN – DÖBRÖNTEI LJUBOV

THE LENA PILLARS

### Abstract

The study deals with the Lena Pillars (Sakha Republic, Russia, Siberia). We investigated the veneers of cliffs, the fracture density of the building rock, the distribution and dispersion of the fracture directions, the direction distribution and dispersion of the giant grikes between the pillars, the layer thickness of the building rock, the size and dispersion of debris. Having distinguished pillar types, we classified the features on the area of the pillars from morphogenetic point of view; the types are: half cylinder like, mass, ridge, tower pillar and ridge pillar with steps. The forms of pillars developed by denudation, accumulation and can be developed from paleokarsts. During former karstification, grikes and caverns developed close to the surface. These features coalesced into each other. The giant grikes of great size got filled and the pillars were covered. After the incision of the Lena river these features were revealed and become exhumed. By now the pillars are destroyed, developing by frost weathering.

**Keywords:** Lena River; pinnacle; landscape; giant grike; pillar types; paleokarst; cave

### Bevezetés

A *Léna pillérei* az Oroszország szibériai részén, Jakutföldön keresztülhaladó óriás folyam K–Ny-i irányú középső szakasza D-i völgyoldalának (1. ábra) sziklaalakzatai. A Jeges-óceán felé haladó Léna az általa feltöltött hatalmas Léna-medencében Jakutsk után É felé fordulva áthalad a Prilenszkoje-platón, amelynek a folyótól É-ra eső része a 200–350 m magasságú Léna-felföld, míg a D-re eső része az 500–700 m-re emelkedő Amga-felföld. A folyó e szakaszát az é. sz.  $61^{\circ}03'$  és  $61^{\circ}12'$ , illetve a k. h.  $126^{\circ}19'$  és  $128^{\circ}17'$  között mintegy 80–100 km hosszan, de nem folytonos kifejlődésben szegélyezik a pillérek, amelyek nemcsak a Léna mentén, hanem annak mellékfolyói (Labija, Sinyaja, Amga, Aldan, Buotama) völgyeiben, többnyire azok K-i völgylejtőin is előfordulnak (OGNEV, G. N. 1927; ROZENCVIT, A. O. 1948). A táj karsztvidék, amit kambriumi és szilur mészkő, valamint dolomit épít fel; helyenként jura mészkő is színezi (KORZHUEV, S. S. 1961; SOLOMONOV, N. et al. 2010). A kambriumi mészkő vékonyan rétegzett, a rétegvastagság uralkodóan 5–12 cm, és törésekkel sűrűn átjárt, a törések száma 1 m-en belül 5–11 között váltakozik. A felszínt jelentős kiterjedésben fedi – helyenként 20 m-es vastagságban – homok és agyag. A Léna sziklás, pilléres, teraszos völgyéhez sziklás, pilléres kényszermeanderező (Szinyaja), sziklás kényszermeanderező (Ogdokun), széles, tál alakú, vagy sík talpú, többrös, sziklás, pilléres (Labija), meredek oldalú, V alakú (Diring Jurjah) és talpas, többrös (Bolsoj Taring) völgyek csatlakoznak. A főfolyó és mellékfolyói által tagolt fennsík völgytalpain, illetve völgyközi hátain gyakoriak az álászok és a karsztformák.

A Középső-Lénán Pokrovskznál 5 – pliocén, alsó pleisztocén, középső pleisztocén, felső pleisztocén és holocén korú – teraszt különítenek el (LUNGERSGAUZEN, G. F. 1961; ALEKSEEV, M. N. et al. 1962; KAMALETDINOV, V. A. – ZIGERT, H. G. 1989; ALEKSEEV, M. N. et al. 1982). A bal part teraszai sziklateraszok, míg a jobb parté kavicsteraszkok, utóbbiak fiatalabb teraszai tavi üledéken alakultak ki. A völgy lejtői meredek, lépcsőhomlokokat alkotnak, és a csekély pluvialis erózió, valamint a lejtőt alkotó kőzetek

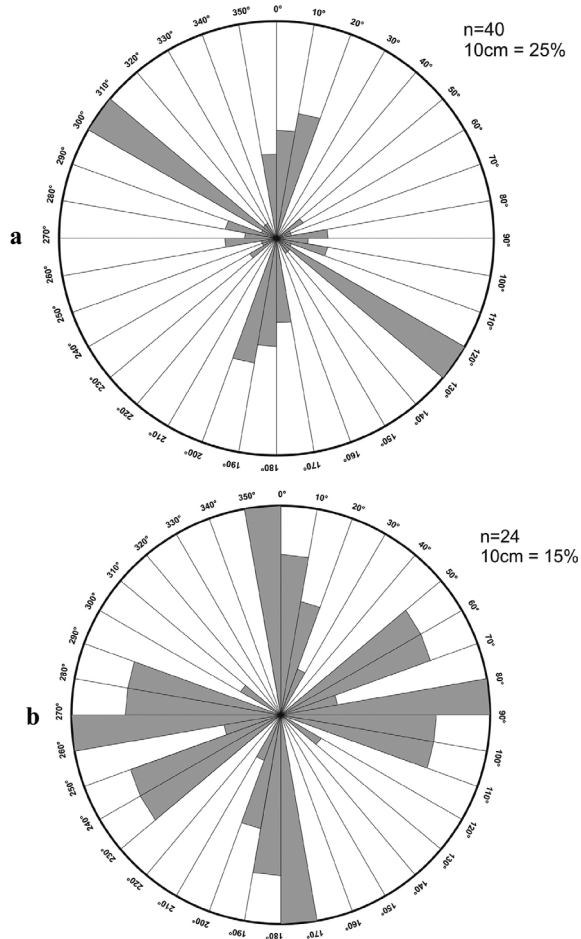


kemény, ellenálló jellege következtében a bevágódás során meg is őrzik meredekségüket. A meredek D-i völgyoldal (lépcsőhomlok) mintegy 50-150 m magasságú, és a pilléreknél alulról felfelé több részre különül: alsó része folyóvízi homokból és törmelékből felépült lejtőszakasz a folyó árvízszintje és közepes vízszintje között; e felett törmelékűpök és hordalékűpök sorozatából felépülő törmeléklejtő következik, amelynek hossza mindössze néhány m; majd a harmadik lejtőrész képezi a tulajdonképpeni lépcsőhomlokot, amely 100 m-nél is hosszabb és a relatív magassága is meghaladhatja a 100 m-t. E lejtőrészen fejlődtek ki a pillérek, illetve az azokat elkülönítő pillérközi mélyedések (óriás hasadékok), amelyek törmelékes lejtőrészek.

A Középső-Léna vidékének jelenlegi éghajlata szubarktikus. A tél hosszú (kb. 7 hónap), a hőingadozás nagy (a téli minimum  $-50^{\circ}\text{C}$  és  $-60^{\circ}\text{C}$ , a nyári maximum  $30-35^{\circ}\text{C}$  közötti), a csapadék – amelynek zöme főleg a nyár második felében hullik – 200-300 mm. Az örökfagy 50-300 m közötti vastagságú és nyáron kb. 1-1,5 m-es mélységig megolvad (KORZHUEV, S. S. 1961), bár júliusban is láthatók a felszínen jég előbukkanások. E zóna alatt húzódik egy több m-es vastagságú olyan fagyott zóna, amely csak 2-3 évente enged fel (ERSHOV, E. D. 2002). A mérések szerint a Léna pilléréinél a felszínen néhányszor 10 cm-es mélységig olvad meg. A 2-3 évente felengedő mélyebb zóna vastagságát a Léna pilléréinél nem mérték, de a közelükben igen, ott 8-10 m-ig is lenyúlhat (ERSHOV, E. D.

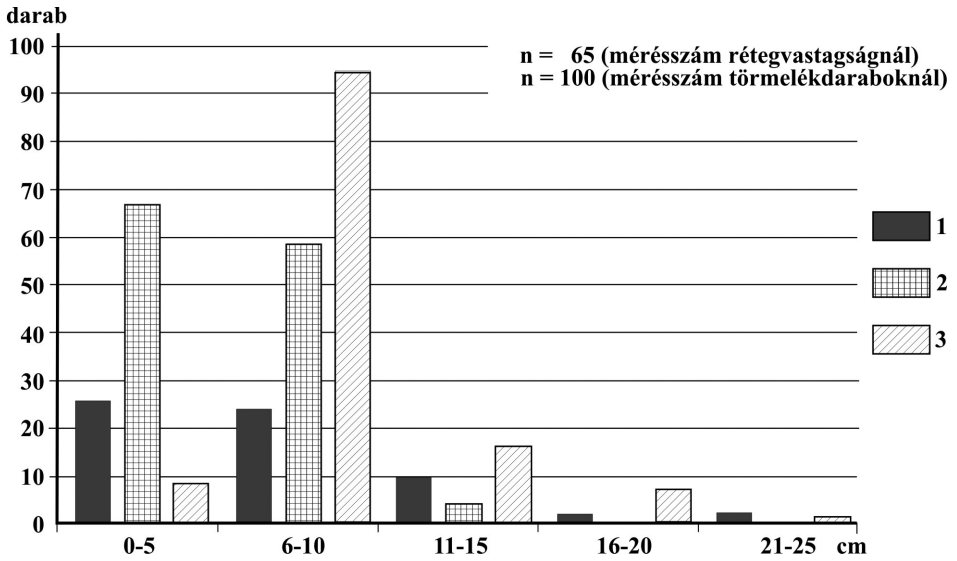
2002). Az örökfagy nem egységes kifejlődésű, hanem talikkal megszakított, amelyek vize forrásokat táplál.

Kutatómunkánkban többféle módszert is alkalmaztunk. Terepbejárások során vázlatrajzokat készítettünk a pillérekéről, a lépcsőhomlok különböző részeiről. Tipizáltuk a pilléreket, elvégeztük a pilléres lejtők formáinak morfológiai osztályozását. Mintákat vettünk az Ogdokun-völgy dolomitos kőzetei felületének bevonatából, aminek összetételét röntgendiffrakciós eljárással határoztuk meg. Két helyen (a Labija-völgy torkolatánál, illetve a Léna ezzel átellenes partjánál) a kambriumi mészkő töréssűrűségének, törésirányának, a pillérek közei irányának, továbbá a kőzet rétegvastagságának, valamint a fagyaprózódásos törmelékdarabok szélességének és vastagságának a mérését végeztük el (előbbit a törmelékdarabon felismerhető réteglapmaradvánnyal párhuzamosan, míg utóbbit arra merőlegesen mértük). Meghatároztuk a törések és közök (óriás hasadékok) iránygyakoriság-eloszlását, valamint a rétegek vastagságának és a törmelékdarabok mérete szélesség és vastagság szerinti gyakoriság-eloszlását (2., 3. ábra). Számítottuk továbbá a törésirányok, az óriás hasadékok irányai, a töréssűrűségek, a törmelékdarab-szélességek és -vastagságok, valamint a rétegvastagságok szórását.



2. ábra A hordozó kőzet törésirányainak (a) és köz(óriás hasadék)irányainak (b) eloszlása. Mérési helyszín: a Labija-völgy torkolatánál és a Lénának a torkolattal átellenes partjánál.

Figure 2 Distribution of the bearing rock (a) and of the corridor directions (b).  
Measuring site:  
at the mouth of the Labiya Valley and  
at the Lena bank opposite the mouth.



3. ábra Fagyaprózódásos törmelék szemcse- és a rétegvastagság-eloszlása.  
Jelmagyarázat: 1 – rétegvastagság; 2 – törmelék vastagsága; 3 – törmelék szélessége  
Figure 3 Distribution of the grain of the frost weathering debris and the distribution of bed thickness.  
Legend: 1 – layer thickness; 2 – debris thickness; 3 – width of the debris

### A pillérek formakincse

A pillérekön elkülönítettünk pillértípusokat, pusztulásos formákat (kiemelkedéseket és mélyedéseket, karsztformákat és maradványaikat) és épüléssel létrejött formákat. A mélyedések között előfordulnak komplex eredetűek is, amelyek kialakításában karsztos és nem karsztos hatások is szerepet játszottak. A formák genetikai csoportosítása az 1. táblázatban látható.

A többnyire mozaikszerűen kifejlődő különböző pillértípusokat számos hasonló forma képezi. A pillérek formái közé tartoznak a típusok alapformái (*félhengeres sziklaalakzatok, tömeges sziklaalakzatok, gerincek, lépcsős gerincek, elsődleges és másodlagos toronyok*), az alapformák pusztulásával létrejött formái (*gerincmaradvány, toronyroncs, toronymaradvány*) és a pillérek *mélyedései*. Egy-egy típus kiterjedése és morfológiája is változatos, és egy adott pillértípus elterjedési területén más típusra jellemző formák is előfordulhatnak. Megjelenhetnek más olyan formák is, amelyek a pillérek jellegzetes kísérő formái (pl. *törmelékűpok*).

A vizsgálatok során öt pillértípust különítettünk el (4. ábra).

- Félhengeres pillér.* E típust a lépcsőhomlokokat kissé feltagoló bemélyedések (eróziós árkok, vízmosások és kicsi völgyek) közötti félhengeres sziklaalakzatok sorozata képezi (4/I. ábra). Ez a formaegyüttes főleg a Léna bal partján elterjedt.
- Tömeges pillér.* E típust oldalirányban több 100 m-es kiterjedésű, függőleges falakkal határolt sziklatömegek alkotják (4/II., 5. ábra). A sziklatömegeken gyakoriak a másodlagos toronyok.
- Gerincszerű pillér.* Szélességükhöz képest hosszú sziklatömegek alkotják, amelyek környezetüknél 50-100 m-rel is magasabbak lehetnek (4/IIIa, 4/IIIb, 6. ábra). Többnyire a folyóra merőleges helyzetűek, ezek a keresztirányú gerincek, míg a

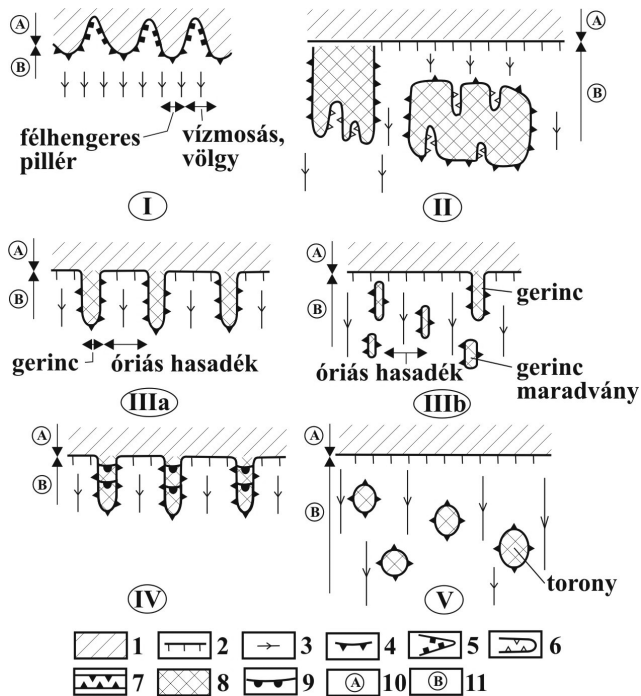


A Léna pilléreinek formái  
The features of the Lena Pillars

Pillértípus	A típusok pusztulásos formái		Karsztformák és Épületes formák	
	kiemelkedések	mélyedések	maradványaik	formák
félhengeres pillér	félhenger	eróziós árok vízmosás kicsi völgy	–	hordalékkúp
tömeges pillér	sziklatömeg másodlagos torony	repedés hasadék	barlang kürtőroncs	–
gerincszerű pillér	gerinc másodlagos torony	repedés hasadék <sup>1</sup>	barlang átjáró barlang kürtőroncs	törmelékkúp hordalékkúp
lépcsős gerinces pillér	lépcsős gerinc	óriás hasadék <sup>1</sup> eróziós árok vízmosás	ablak sziklahíd	
tornyos pillér	elsődleges torony másodlagos torony gerincmaradvány toronyroncs toronymaradvány	repedés hasadék <sup>1</sup> eróziós árok vízmosás	barlang átjáró barlang	törmelékkúp
		eróziós árok vízmosás	átjáró kürtőroncs ablak sziklahíd	törmelékkúp

<sup>1</sup> komplex eredetű forma, amelynek kialakulásában karsztos és nem karsztos hatások is szerepet játszhattak

4. ábra Pillértípusok.  
Jelmagyarázat: 1 – lépcsőtest;  
2 – lépcsőtest pereme;  
3 – törmelékes lejtő; 4 – sziklafal;  
5 – völgy, vízmosás; 6 – hasadék;  
7 – óriás hasadék; 8 – pillér teteje;  
9 – kicsi lépcső; 10 – lépcsőtest;  
11 – lépcsős homlok (pilléres lejtő);  
I – félhengeres pillértípus;  
II – tömeges pillértípus;  
III – gerinces pillértípus;  
IV – lépcsős gerinces pillértípus;  
V – tornyos pillértípus
- Figure 4 Types of the pillars.  
Legend: 1 – step body;  
2 – margin of step body;  
3 – slope with debris; 4 – cliff;  
5 – valley, creek; 6 – crevice;  
7 – giant grike; 8 – top of pillar;  
9 – small step; 10 – step body;  
11 – scarp front (slope with pillar);  
I – half cylinder like pillar type;  
II – mass pillar type;  
III – ridge pillar type;  
IV – type of ridge with steps;  
V – type of the tower pillar





5. ábra Tömeges pillértípus  
Figure 5 Typical of mass pillar

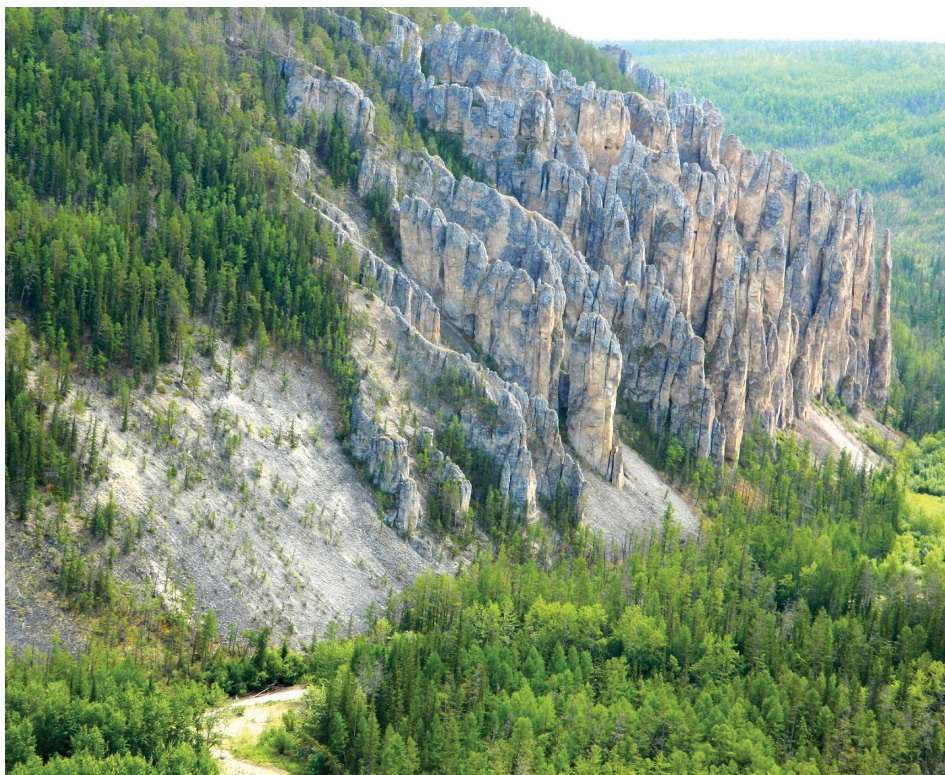


6. ábra Keresztgerinc óriás hasadékokkal  
Figure 6 Transversal ridge giant grikes



- folyóval párhuzamosak a hosszantiak. Különböző szélességű közök (hasadékok, óriás hasadékok) tagolják. A gerincek teteje tagolt, gyakoriak rajtuk a másodlagos tornyok (7. ábra), és sokszor a lépcsőhomlokot szegélyező kis lejtésű térszínbe simulnak bele.
- d) *Lépcsős gerinces pillér*. A gerincek kisebb magasságú lépcsőhomlokokra és lépcsőtestekre különülnek (4/IV. ábra). A lépcsőhomlokokat különböző szélességű hasadékok tagolják, a lépcsőtesteken szőnyegszerűen kifejlődött törmelékborítás van.
- e) *Tornyos pillér*. A tornyok (elsődleges tornyok) az igazi pillérek (4/V., 8. ábra), amelyek valószínűleg egykori karsztosodás maradványai. Hengeres formájúak, környezetük fölé 50-100 m-rel magasodnak. Gyakran a gerinces pillértípussal keverten fordulnak elő, de kisebb kiterjedésben önállóan is. A másodlagos tornyok a gerincekből vagy az elsődleges pillérekéből alakulnak ki fagyaprózódás hatására (7. ábra); a gerincekből kialakuló másodlagos tornyok sorokat képeznek.

A típusok jellemzése során bemutatott alapformák átalakulásával további formák képződhetnek. *Gerincmaradvány* akkor jön létre, ha az egykori gerincek hosszabb-rövidebb gerincrészekre különülnek. A tornyok pusztulásával (a környező tornyoknál már alacsonyabb) *toronycsonkok*, majd *elpusztult tornyok* jönnek létre; utóbbiak környezetük fölé mindössze néhány m-rel magasodnak (9. ábra). *Részben eltemetett gerinc*, *eltemetett gerincmaradvány* és *eltemetett torony* jön létre, ha e formák környezetében törmelék halmozódik fel.



7. ábra Másodlagos tornyok gerinceken a Labija-völgy oldalában  
Figure 7 Secondary pinnacles on ridges in the side of the Labiya Valley





8. ábra Elsődleges tornyok  
Figure 8 Primary pinnacles



9. ábra Elpusztult torony  
Figure 9 Destroyed pinnacle



A *mélyedések* alakjuk szerint lehetnek körkörös és vonalas alakzatok. A félig kinyíltak körkörös formák, amelyeket ugyancsak körkörös elrendeződésben öveznek a toronyok és a gerincek. Ilyen képződmény fordul elő a Labija-völgy nyugati peremén, ahol a völgy a Lénába torkollik (10. ábra). A mélyedés csak egy rövidebb szakaszon nyitott a Léná irányába.



10. ábra Félig kinyílt mélyedés  
Figure 10 Half open depression at the mouth of Labiya Valley

A pilléreket részben, vagy teljesen különböző szélességű *közök* választják el. Ezek törések mentén képződött vonalas alakzatok. Szélességük szerint három kategóriába oszthatók.

- a) *Repedések*. Néhány cm-es szélességű formák a kőzetben. Lehetnek tektonikus eredetűek, de létrejöhetnek a törést határoló kőzetfalak pusztulásával is.
- b) *Hasadékok*. Néhány dm-től több m-ig terjedhet a szélességük. Még a hordozó sziklafalban végződnek.
- c) *Óriás hasadékok*. Több 10 m-es szélességű, gerinceket elválasztó mélyedések (11. ábra), amelyek a lépcsőhomlok felső pereménél ékelődnek ki. Végighúzódnak a pilléres lejtők teljes hosszában. Talpaikon eróziós árkok, vízmosások is előfordulhatnak, alsó végüknél gyakoriak a törmelékkúpok.

A hasadékok létrejöhetnek törések fagyaprózódásos kiszélesedésével és hasadékkarrok fagyaprózódásos átalakulásával is. A hasadékkarrok törések menti oldódás során képződnek. VERESS M. et al. (2008) szerint a hasadékkarrok és barlangok összenövése során óriás

hasadékok képződnek. A hasadékkarrok, de főleg az óriás hasadékok fagyaprózódással tovább szélesedhettek.

A *törmelékkúpok* és *hordalékkúpok* elsősorban a pillérek sziklaalakzatait elválasztó óriás hasadékok, völgyek alsó végénél képződtek (11. ábra). A törmelékkúpok gyakoribbak és főleg a gerinces pillértípusra jellemzők, míg a hordalékkúpok inkább a félhengeres pillértípus völgyeinél fordulnak elő.



11. ábra Óriás hasadék és törmelékkúp  
Figure 11 Giant grike and alluvial cone

A pillérek *karsztformái* nem aktív, pusztuló formák, illetve maradványok. Jelenlétük egyik bizonyítéka a pillérek területén ható egykori karsztosodásnak. Közülük a *barlangok* több m-es bemélyedések a kőzetben. Magasságuk többnyire meghaladja szélességüket. Többségük szögletes keresztmetszetű, de előfordulnak íves, elliptikus üregek is (12. ábra). KORZHUEV, S. S. (1961) szerint gyakoriak a hasadék- vagy hasadékszerű barlangok is. Ezek keskeny üregek, amelyeket párhuzamos falak határolnak. Szélességük 1-2 dm, vertikális kiterjedésük elérheti az 50 m-t is. A barlangok egyik változatát az *átjárók* képezik. Ezek a gerinceket harántoló üregek, két bejáratral; hosszuk meghaladja az 1-2 métert. Az egykori hosszabb barlangok rövidülése során képződtek a hordozó kőzettömeg pusztulása során. Az *ablakok* a gerincek néhány m-es hosszúságú átréselődései (13. ábra). A gerinc pusztulásával, vagy az átjárók rövidülésével jöttek létre. *Sziklahidak* az ablakok feletti barlang mennyezet maradványai (13. ábra). A *kürtőroncsok* függőleges helyzetű formák, amelyek a sziklafalak félkör, vagy félelliptikus bemélyedései (14. ábra). Feltehetőleg egykori kürtők részleges pusztulásával (felnyílásával) jöttek létre.





*12. ábra* Fagyaprózódással átformált elliptikus barlang  
*Figure 12* Ellipsoidal cave transformed by frost weathering



*13. ábra* Sziklahíd és ablak  
*Figure 13* Natural bridge and window





14. ábra Hasadékok kereszteződésénél kialakult kürtőroncs a Labija folyó torkolatánál  
 Figure 14 Chimney stump which developed at the cross of grikes at the mouth of the river Labija

### A pillérek kialakulása

A pillérek kialakulásával orosz kutatók foglalkoztak. Magyarázataik három csoportba sorolhatók:

- a pillérek jelenlegi karsztosodással alakultak ki,
- a formaegyüttes feltárt paleokarszt,
- nem karsztos folyamat(ok) hatására képződtek.

GRIGORJEV, A. A. (1930) szerint a pillérek a Léna által feltárt paleokarsztból képződtek. KORZHUEV, S. S. (1961) szerint erózió által feltárt mélykarsztból jöttek létre. ROZENCVIT, A. O. (1948) felismerte, hogy a pillérek hosszúsági és szélességi körökkel egybeeső vonulatokra tagolódnak, amelyeket közők választanak el egymástól. Ez utóbbiak húzásos hasadékok és vetők menti mállás (?) és kimosás során képződtek. GVOZDETSKIY, N. A. (1981) szerint a pillérek a folyóvízi erózióval feltárt paleokarsztból jöttek létre. A Léna Nemzeti Parkot bemutató ismertető szerint a kőzet a törések mentén végbement aprózódása során tagolódott sziklaalakzatokra (SOLOMONOV, N. et al 2007), míg egy másik tanulmányukban a formaegyüttest óriási karnak nevezik (SOLOMONOV, N. et al. 2010).

Ha recens karsztosodás során alakultak volna ki a sziklaalakzatok, jelentős oldódást kellene feltételeznünk. Az oldódás feltételei viszont hiányoznak a szubarktikus éghajlaton, illetve az örökfagy-területeken, ugyanis a csapadék kevés, fagypont feletti hőmérséklet pedig csak rövid ideig áll fenn. Ilyen viszonyok mellett a karsztosodás nagyon csekély;

kismértékű oldódásra csak a pillérek sziklafelületének mikrokarrjai utalnak (TROFIMOVA, E. 2012). Ha az oldódás feltételei (víz, CO<sub>2</sub>, megfelelő hőmérséklet) mégis megvannak, akkor a karsztosodást az örökfagy akadályozza meg. Az ilyen karsztokon a beoldott anyag elszállítása csak ott lehetséges, ahol a permafrost mélyebben van, mint máshol, pl. vízfolyások medrei alatt (FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 2007), vagy a karszt ponszerű vízbeáramlásainál (pl. víznyelőknl; PULINA, M. 2005). Karsztosodás, ha a kőzetben örökfagy található, gipszen és kőson jöhet létre (VAN EVERDINGEN, R. O. 1981) vagy paleokarsztos járatoknál, ha azok újra aktivizálódnak (KORZHUEV, S. S. 1961; FORD, D. C. – STANTON, W. I. 1968; PULINA, M. 2005). E feltételek hiányában permafroston jelenlegi karsztosodás mindössze kőzetdarabok felületén mehet végbe (WOO, M. K. – MARSH, P. 1977), illetve a felszínre bukkanó kőzetfelszíneken, ahol karrosodás történik (CIRY, R. 1962).

Örökfagyterésíneken paleokarszt létezését bizonyítják a Kanadából leírt harmadidőszaki barlangok (LAURIOL, B. et al. 1997), illetve a „korridor karszt” ugyancsak Kanadából (BROOK, G. A. – FORD, D. C. 1978), valamint a szibériai bányákban feltárt töbrök kréta és jura kitöltései (FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 2007). Paleokarsztosodást mutatott be, illetve írt le Szibériából LUNGERSGAUZEN, G. F. (1961), KORZHUEV, S. S. (1961, 1972) és PULINA, M. (2005). A rifeikumtól a pliocénig terjedően öt karsztosodási ciklust különített el a Szibériai-pajzs karsztjain KORZHUEV, S. S. (1972). Az egykori karsztosodás(ok)at a mainál melegebb éghajlat tette lehetővé; a Bajkálontúlról és Észak-Mongóliából szavanna éghajlatot (VANGENGEJM, E. A. 1977), illetve félszavanna éghajlatot (BELOVA, V. A. 1985) mutattak ki 2,5-3,5 millió évvel ezelőttről. Meleg éghajlatról árulkodik a Diring Jurjah melletti régészeti lelőhely meleg, csapadékos klímán keletkezett homokja is (KAMALETDINOV, V. A. – ZIGERT, H. G. 1989).

Paleokarsztosodást bizonyítanak a Léna menti hidrokarbonátos források (KORZHUEV, S. S. 1961), a paleokarsztos töbrök és az eltemetett töbrök (LUNGERSGAUZEN, G. F. 1966). A hidrokarbonátos források paleokarsztos járatokra utalnak. A forrásoknál felbukkanó víz ezekben áramlik. Paleokarsztos felszint jelezhet a Diring Jurjah-i lelőhely, ahol a fedő alatt a mészkő felszíne egyenletlen, magaslattal tagolt (KAMALETDINOV, V. A. – ZIGERT, H. G. 1989). Paleokarsztos formák említhetők a Bolsoj Taring- és Malij Taring-völgyek közti hátról. Itt félig kitakaródott kúpok fordulnak elő, amelyek átmérője hasonló, mint a pillérek átmérője. A Diring Jurjah völgy peremén a diringi lelőhely homokjával eltemetett, de jelenleg kitakaródó torony figyelhető meg.

A pillérek sziklaalakzatainak a létrejöttében a fagyaprózódást (vagy más nem karsztos hatásokat, mint az inszolációs aprózódást, vagy a tömegmozgásokat) másodlagosnak tartjuk. Ezt sok tényező bizonyítja. Így pl. hogy a tornyokat, a gerinceket, a sziklatömegeket gyakran sima falak határolják. Lesimított falak viszont nem fagyaprózódás, hanem oldás során alakulnak ki. A kőzetben gyakoriak a lefelé szélesedő hasadékok, holott a fagyhatásra létrejött hasadékok lefelé elkeskenyedve kiékelődnek. A kőzet lehülése következtében kialakuló rések, repedések öt- és hatszöges mintázatot alkotnak (a talajjég hatására ez a mintázat fejlődik tovább jégék-poligonná), a gerincek és tornyok viszont nem mutatnak ilyen mintázatot, tehát elsődleges kialakító tényezőként nem léphetett fel a lehülési zsu-gorodás, vagy a talajjég. További tényező, hogy a pillérek túlhajló falain a beszívargó víz nem folyik le, ezért ezeken a felületeken oldani sem képes. Figyelembe kell venni, hogy a fagyaprózódás az örökfagyban nem képes hatni, ezért csak a már kialakult hasadékvég-gek töréseinél képes pusztítani a kőzetet, ott ugyanis a jég nyáron megolvad, ami lehetővé teszi a törések menti sziklafalak pusztulását. Az így kialakuló hasadékok szélesednek csak fagyaprózódásos pusztulással, miközben falaik hátrálnak. Ezért a pillérek által képviselt formakincs már az örökfagy kifejlődése előtt ki kellett, hogy alakuljon. Ráadásul ha a gerinceket elválasztó közök fagyaprózódással képződtek volna, az elpusztult kőzet helyén

létrejött törmelék térfogata akár kétszeresére is növekedhetett volna. Ez esetben a pillérek közei törmelékkel lennének kitöltve, de a törmelék mennyisége kevés a nagyméretű óriás hasadékok méretéhez képest.

A pilléreképződés feltételei jelenleg nincsenek meg, ellenkező esetben ugyanis azokon a lépcsőhomlok-szakaszokon, ahol már csak toronycsonkok, toronymaradványok vannak, újabb pillérgeneráció képződésének kellett volna lejátszódnia. Ennek hiánya jelzi, hogy a pilléreképződés nem fagyhatásra történik, vagy kezdődik el. Végül ha a fagyaprózódásnak a sziklafalak kialakulásában meghatározó szerepe lett volna, akkor azokat törmelék-kúpok sorozata szegélyezné. Ezzel szemben törmelék-kúpok csak a közök végeinél vannak.

Ugyanakkor egyes formák az egykori karsztosodást bizonyítják. Karsztos eredetre utalnak a kürtőroncsok, az elliptikus keresztmetszetű üregek, a hasadékbarrangok, a félig kinyílt mélyedések, az átjárók és a sziklahidak. A hasadékbarrangok fagyaprózódással nem alakulhattak ki, hiszen a keletkező törmelék azokat teljesen kitöltötte volna. Másik bizonyíték, hogy a dolomitokon nem jöttek létre pillérek, pedig rajtuk is van fehéres bevonat, ami bizonyítja a jelenlegi kismértékű oldódást. Méréseink alapján a pillérhiányos Ogdokun-völgy sziklafalai 72%-ban tartalmaznak dolomitot (a sziklák fehér bevonata oldódást majd kicsapódást jelez, miután 57%-ban dolomitot tartalmaz), ezzel szemben a pilléres Labija-völgyben a völgy elvégződésénél a kőzet 97%-a kalcit. Ha a pillérekre különös fagyhatásra következne be, akkor pillérek dolomiton is lennének. A pillérek hiánya a dolomiton egyúttal arra is utal, hogy azok kialakulása nem történhetett túlságosan meleg éghajlaton, trópusi klímán ugyanis a dolomit formakincse nem különbözik számottevően a mészkőtől (JAKUCS L. 1977).

Az óriás hasadékok, törések iránygyakoróságainak, a rétegvastagságok, a törmelékdarabok méreteinek statisztikai elemzése azt mutatja, hogy a pillérek közötti óriás hasadékok és törmelékdarabok eltérő módon alakultak ki.

Óriás hasadékok csak törések mentén képződhettek, ugyanis a törések által elfoglalt iránytartományokban fordulnak elő. Eloszlásuk azonban eltér a törések eloszlásától (az óriás hasadékok esetén a szórás értéke 1,5, míg a töréseké 2,71). Ennek magyarázata, hogy az óriás hasadékok csak bizonyos töréstartományokban fordulnak elő, ami viszont oldódásos kialakulásukra utal. Ha fagyaprózódás során képződtek volna, akkor minden egyes törésirányban létrejöttek volna, oldódásos kialakulás esetén viszont csak a vízáramlási irányok mentén képződhettek. Vízáramlások azonban nem feltétlenül mennek végbe az összes törésirány mentén.

A törmelékdarabok szélességátlagának és a törések sűrűségátlagának a szórása hasonló (a szélesség szórása 3,85, míg a törések szórása 3,26). Ez arra utal, hogy a törmelékdarabok törések mentén különültek el fagyaprózódás által. A törmelékdarabok átlagos mérete 8,3 cm, a törések átlagos távolsága 14,3 cm. Az eltérés azt jelzi, hogy a törések nem mindegyike volt észlelhető a mérés során. Viszont e nem mért törések mentén is aprózódik a kőzet, ezért a törmelékdarabok mérete kisebb, mint a nem aprózódott kőzet mért töréseinek távolsága.

A rétegvastagságnak, valamint a törmelékdarabok vastagságának az átlaga nagyfokú egyezést mutat. A törmelékdarabok átlagos vastagsága 6,04 cm, a rétegeké 7,23 cm. A szórásuk viszont jelentősen különbözik: a törmelékdaraboké 2,45, a rétegvastagságoké 4,57. Ez arra utal, hogy a törmelékdarabok létrejöttében a különböző vastagságú rétegek nem egyforma arányban vettek részt. Valószínűleg a vékonyabb rétegekből – lévén aprózódásra alkalmasabb – több törmelék keletkezett, mint a vastagabb rétegekből. A törmelékvastagság és a rétegvastagság nagyfokú egyezése a kőzetnek a réteglap menti elkülönülését jelzi, amely fagyaprózódással történhetett.

Tehát az óriás hasadékok irányainak eloszlása karsztosodásra, míg a törmelékdarabok méretei fagyaprózódásra utalnak.

Morfológiai szempontból a Léna pillérei hasonlóságot mutatnak az olyan karsztokkal, amelyeket nagyméretű hasadékok, illetve tornyok jellemeznek. Ilyen karszt vagy karr együttes a labyrint karszt, amelynek uralkodó formái a hasadékhálózat, illetve a tornyok (BROOK, G. A.–FORD, D. C. 1978; BROOK, G. A.–FEENEY, T. P. 1996; FORD, D. C. 2003), a kőerdő karr, ahol kürtők, kürtőroncsok, tornyok és hasadékok fordulnak elő (KNEZ, M.–SLABE, T. 2009), a tsingy, ahol nagyméretű hasadékok és ezek között tömbök a jellemzők (VERESS M. et al 2008). Nagyfokú a hasonlóság a pinnacle karsztal, amely kúp alakú tornyokból és az azokat elválasztó kétirányú hasadékokból épül fel (WILLFORD, G. E.–WALL, J. R. D. 1965; WILLIAMS, P. W. 1971; OSMASTON, H.–SWEETING, M. M. 1982; DAY, M.–WALTHAM, T. 2009; WILLIAMS, P. W. 2009). A 2. táblázat ismerteti a pillérek, valamint e karsztípusok morfológiai hasonlóságait, illetve eltéréseit.

2. táblázat – Table 2

A különböző karsztípusok és a Léna pilléreinek főbb formáinak összehasonlítása  
Comparison of the main features of various karst types with the Lena Pillars

Karsztípus	Fejlődési fázis	Forma										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Labyrint karszt	fiatal	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-
	idős	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Kőerdő	fiatal	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-
	idős	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-
Óriás hasadék	-	+	+	-	-	+?	+?	+	+	-	-	-
Pinnacle karszt	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-
Ankaranoi tsingy		+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
Bemarahai tsingy		+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
A Léna pillérei	fiatal	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-
	idős	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-

Karsztípus	Fejlődési fázis	Forma										
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Labyrint karszt	fiatal	+?	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	idős	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Kőerdő	fiatal	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
	idős	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-
Óriás hasadék	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-
Pinnacle karszt	-	+?	+	-	+	+?	+	+	-	-	+	-
Ankaranoi tsingy		-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+
Bemarahai tsingy		+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
A Léna pillérei	fiatal	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+?	-
	idős	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-

1 – tömb, 2 – gerinc, 3 – torony, 4 – kúpos torony, 5 – kürtő, akna, 6 – kürtőroncs, 7 – hasadék, 8 – utca, 9 – zárt mélyedés, 10 – nyitott mélyedés, 11 – négyzetes völgy, 12 – barlang, 13 – átmenő barlang, 14 – függőjárat, 15 – színlő, 16 – réteglap menti hasadék, 17 – ablak, 18 – sziklahíd, 19 – törmelékkúp, 20 – hordalékkúp, 21 – karrok, 22 – különböző dolinák



A pillérek olyan mészkövön fejlődtek ki, amely jól rétegzett és nagy töréssűrűségű. Ezek a formák dolomiton vagy dolomitos mészkövön nem jönnek létre. A pillérek barlangjainak vízszintes helyzete egykori karsztvíz jelenlétére utal, a barlangoknak a plató felszínéhez közeli helyzete alapján pedig a karsztvízszintnek a felszínhez közeli helyzetére kell következtetnünk. Ugyanakkor a pillérek területén uralkodnak az azokat elválasztó óriás hasadékok és hasadékok. E formák kialakulása felszíni oldódás során kezdődött. Miután a barlangok száma viszonylag kicsi, a mélyülő hasadékkarrok hasadékai felnyitották a karsztvízszint alatti üregeket. Hasonló fejlődési modellt írtak le a madagaszkári Bemarahai tsingyről (VERESS M. et al 2008), valamint Ausztráliából a Judbarra-karsztról (GRIMES, K. G. 2012).

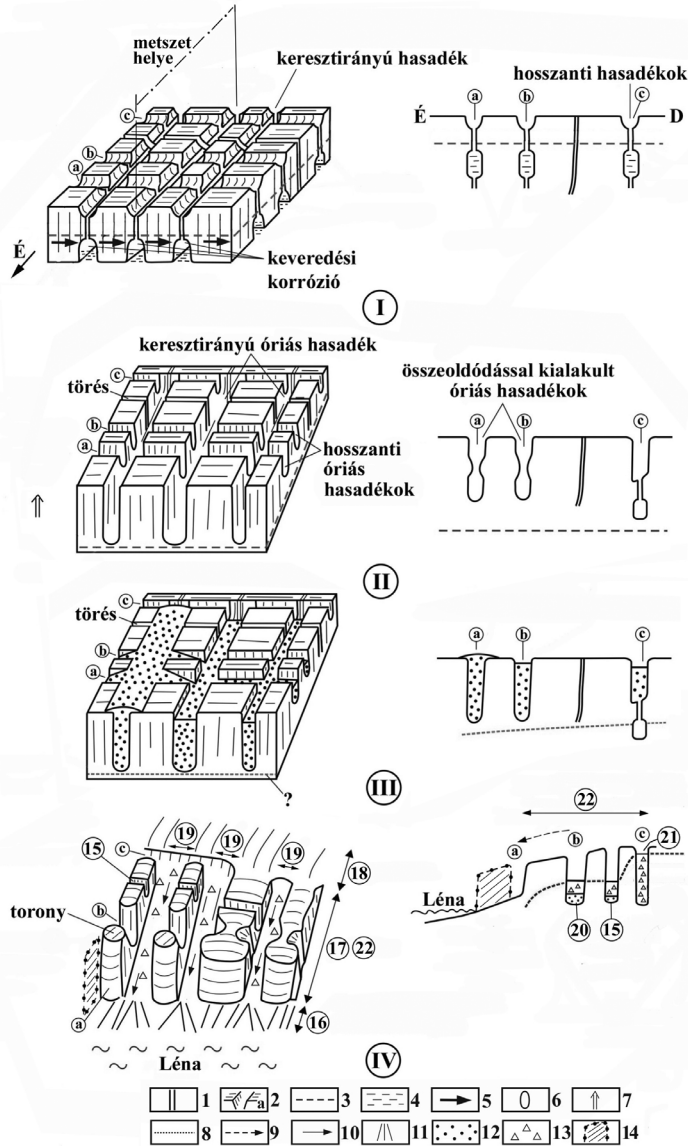
A pillérek tehát karsztos folyamatok révén nyerték el mai formájukat az alábbi fejlődési folyamat során (15. ábra, 3. táblázat).

3. táblázat – Table 3

Idősebb oldódásos formák átalakulása és újabbak létrejötte a fagyaprózódás során  
Changing of older solution features  
and the development of newer features during frost weathering

Eredeti forma	Kialakulása	Jelenlegi forma	Kialakulása
keresztgerinc és keresztirányú óriás hasadék	keresztirányú törések mentén oldódás, összeoldódás üregekkel	1. keskeny keresztgerinc 2. keresztgerinc-maradvány 3. másodlagos toronyok	1. keresztirányú hasadék mentén fagyaprózódás 2. hosszanti hasadékok mentén fagyaprózódás 3. hosszanti hasadékok mentén fagyaprózódás
hosszanti gerinc és hosszanti óriás hasadék	hosszanti irányú törések mentén oldódás, összeoldódás üregekkel	1. keskeny hosszanti keresztgerinc 2. hosszanti gerinc-maradvány 3. másodlagos toronyok	1. hosszanti hasadékok mentén fagyaprózódás 2. kereszthasadékok mentén fagyaprózódás 3. keresztirányú hasadékok mentén fagyaprózódás
elsődleges torony	hosszanti és keresztirányú törések mentén oldódás	1. torony 2. toronycsonk 3. toronymaradvány	1. – 2. fagyaprózódás 3. fagyaprózódás
másodlagos torony óriás hasadék	hasadékok mentén oldódás összeoldódás üreggel	elsődleges torony óriás hasadék	fagyaprózódás fagyaprózódás
kürtő	oldódás	kürtőroncs	fagyaprózódás
freatikus üreg, vagy járat	karsztvízszint alatti oldódás	1. barlangmaradvány, hasadékszerű barlang 2. átjáróbarlang 3. ablak, sziklahíd	1. összeoldódás, fagyaprózódás 2. omlás, fagyaprózódás 3. omlás, fagyaprózódás
üreg	felnyílás	barlang ablak, sziklahíd	fagyaprózódás fagyaprózódás
barlang	oldódás	hasadék törmeléklejtő törmelékkúp hordalékkúp	fagyaprózódás tömegmozgás tömegmozgás folyóvízi felhalmozódás





15. ábra A pillérek kialakulása.

Jelmagyarázat: 1 – törés; 2 – hasadék és azonosító jele; 3 – karstvízszint; 4 – karstvíz; 5 – a karstvíz áramlása; 6 – üreg, barlang; 7 – a terület emelkedése; 8 – örökfagy; 9 – a Léna lecsúszása; 10 – törmelékelszállítás; 11 – törmelékkúp; 12 – óriás hasadék üledéke; 13 – törmelék; 14 – kőzet, amit a Léna elpusztított; 15 – hasadék, amely fagyhatásra alakult ki; 16 – törmelékcsőnyeg és törmelékkúpok; 17 – pillérek; 18 – lépcsőtest; 19 – különböző mértékben kitararódtó óriás hasadékok; 20 – kitararódtó óriás hasadék; 21 – részlegesen kitararódtó óriás hasadék; 22 – lépcsőhomlok

Figure 15 The development of the pillars.

Legend: 1 – joint; 2 – grike and its identification number; 3 – karst water table; 4 – karst water; 5 – flow of the karst water; 6 – cavity, cave; 7 – the uplift of the karst; 8 – permafrost; 9 – shifting of the Lena; 10 – the transportation of the debris; 11 – alluvial cone; 12 – the sediment of the giant grike; 13 – debris; 14 – rock destroyed by Lena; 15 – grike developed by frost weathering; 16 – debris carpet and alluvial cones; 17 – pillars; 18 – step body; 19 – giant grikes exhumed to various degree; 20 – exhumed giant grike; 21 – partly exhumed giant grike; 22 – scarp front

I – First phase; II – Second phase; III – Third phase; IV – Fourth phase

Az 1. szakaszban a mainál melegebb éghajlaton intenzív karsztosodás történt. Mivel még nem volt örökfagy, ezért kialakulhatott egy karsztvízöv, amelyben a karsztvízszint a felszínhez közel helyezkedett el. Valószínű, hogy a karsztos felszín magassága csak kis mértékben haladta meg az erózióbázis magasságát, ugyanis a felszín alacsony volt, továbbá a Léna még nem vágódott be. Ezért a karsztvízszint alatti üregesedés is a felszínhez közel történt; barlangok képződtek, amelyek törések mentén alakultak ki, és a folyamat során a törések mentén freatikus barlanghálózat képződött. Ezek keskeny, vertikálisan fejlett folyosóhálózatot alkottak. A felszínen viszont oldódásos hasadékok képződtek a törések mentén. Így a hasadékoknak két egymásra merőleges rendszere jött létre, aminek következtében a kőzet tömbökre különült (15/I. ábra).

A 2. szakaszban a karsztvízszint lesüllyedt a terület emelkedése miatt. A mélyülő hasadékok talpai elérték a barlangokat. A barlangok és hasadékok összekapcsolódtak, mivel a barlangok a vízszint fölé kerültek. Ezáltal nagyméretű (óriás) hasadékok jöttek létre. A hasadékok további karsztos oldódása miatt a tömbök egy része tornyokká formálódott (15/II. ábra).

A 3. szakaszban a hasadékok kitöltődtek, elfedődtek (15/III. ábra).

Végül a 4. szakasz során kialakult a Léna, ami bevágódásakor elpusztított egyes hasadékokat és tömböket, feltárva a formaegyüttest. A megmaradt hasadékokból a kitöltés részben kipsztult. A kitakarózott hasadékfalak fagyaprózódással szélesedtek. Újabb tornyok alakultak ki. A pillérek magaslatai, valamint a megmaradt karsztos formakincs átalakult, pusztult, illetve napjainkban is átalakul és pusztul a fagyaprózódás, a tömegmozgások, csapadékvíz és az árkos erózió következtében (15/IV. ábra). A keletkező törmelék kezdetben kitölti az óriás hasadékokat, majd azokból részben kiszállítódva törmelékkúpokban halmozódik fel.

## Összefoglalás

A Léna pillérei több felszínformáló tényező – megfelelő geológiai viszonyok, különleges, idős karszttegyüttes (tehát megfelelő éghajlat), folyóvízi erózió, fagyaprózódás, tömegmozgások – együttes hatása által jöttek létre. Az egykori karszttegyüttes különlegességét két tényezőnek köszönheti: egyrészt annak, hogy az üregesedés a felszínhez közel történt, másrészt az intenzív egykori karrosodásnak. A karsztos formaegyüttes a nem karsztos folyamatok eredményeként átalakult. Kialakulását tekintve a Bemarahai tsingyre, alakzatait tekintve inkább a Pinnacle karszt típusra hasonlít.

Ha a pillérek paleokarsztból alakultak ki, akkor ahol a folyók mentén pillérek vannak, ott a folyók közti platókon eltemetve és kitöltve ugyancsak paleokarszt található. A Középső-Léna mentén ez az eltemetett paleokarszt eredményezi a jelenlegi fedett karszt kialakulását, vagy legalább hozzájárul annak kialakulásához.

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0006 pályázat támogatásával készült. Munkánkat a terepen KIPRIANOVA L. D., a Léna Nemzeti Park igazgatója és SPEKTOR V. B., a Talajfagy Intézet (Yakutzk) munkatársa segítette.

---

VERESS MÁRTON  
NYME TTK Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely  
vmarton@ttk.nyme.hu

ZENTAI ZOLTÁN  
NYME TTK Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely  
zzoltan@ttk.nyme.hu

PÉNTEK KÁLMÁN  
NYME TTK Matematika Tanszék, Szombathely  
pentek@ttk.nyme.hu

DÖBRÖNTEI LJUBOV  
NYME TTK Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely  
d.ljuba@mail.ru

#### IRODALOM

- ALEKSEEV, M. N. – KUPRINA, N. P. – MEDYANCEV, A. N. – HOREVA, I. M. 1962: Sztratigrafia i korreljacia neogenovih i csetverticsnih otlozsenij szevero-vosztocsnoj csaszti Szibirszkaj platformi u eje vosztocsnogo szkladcsatogo obramlenija. – Trudi Gin AN SzSzsZr 66. pp. 1–127.
- ALEKSEEV, M. N. – GRINENKO, G. V. – KAMALETIDINOV, V. A. 1982: Guidebook for Excursion A-14 Middle Lena River, Yakutsk Vicinity, Moscow, 40 p.
- BELOVA, V. A. 1985: Rasztitelnoszty i klimat pozdnego kajnozoja Juga Vosztocsnoj Szibiri. – Nauka, Novoszibirszk. 160 p.
- BROOK, G. A. – FEENEY, T. P. 1996: Morphology and denudation of quartzite and limestone pavements in Southern Africa and North America: are they small scale versions of labyrinth karst? – In: FORNOS, I. J. – GINÉS, Á. (szerk.): Karren Landforms. Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca. pp. 25–39.
- BROOK, G. A. – FORD, D. C. 1978: The origin of labyrinth and tower karst and climatic conditions necessary for their development. – Nature 275. pp. 493–496.
- CIRY, R. 1962: Le role du froid dans la speleogenese. – Spelunca Memoires 2. 4. pp. 29–34.
- DAY, M. – WALTHAM, T. 2009: The pinnacle karrenfields of Mulu. – In: GINÉS, A. – KNEZ, M. – SLABE, T. – DREYBRODT, W. (szerk.): Karst rock features – Karren sculpturing. Postojna-Ljubjana. pp. 423–432.
- ERSHOV, E. D. 2002: General geocryology: Manual for high school. – Moscow University Press, Moscow. 682 p.
- FORD, D. C. 2003: Nahanni Karst, Canada. – In: GUNN, J. (szerk.): Encyclopedia of caves and karst science. Taylor and Francis Books, New York, London. pp. 470–473.
- FORD, D. C. – STANTON, W. I. 1968: Geomorphology of the south-central Mendip Hills. – Proceedings of the Geologists' Association 79. 4. pp. 401–427.
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 2007: Karst hydrogeology and geomorphology. – John Wiley & Sons. 561 p.
- GRIMES, K. G. 2012: Surface karst features of the Judbarra (Gregory National Park, Northern Territory, Australia) – Helictite 41. pp. 15–36.
- GRIGORJEV, A. A. 1930: Morfolozija szevero-vosztocsnoj csaszti Viljujszkogo Okrugja. – Izdatyelsztvo AN SzSzsZr, Leningrád. 167 p.
- GVOZDETSKIY, N. A. 1981: Karszt. – Moscow, Izdatyelsztvo Mysl. 214 p.
- JAKUCS L. 1977: Morphogenetics of karst regions. – Akadémiai Kiadó, Budapest. 284 p.
- KAMALETIDINOV, V. A. – ZIGERT, H. G. 1989: Kratkaja litologicseszskaja karakterisztika kajnozojszkij otlozsenij arheologicseszskogo pamjatnika Diring-Jurjah (Szrednaja Lena) – In: SKABICHEVSKAYA, N. A. (szerk.): Pleisztocen Szibiri. Sztratigrafija i mezszregionalnije korreljacji. Nauka, Novoszibirszk. pp. 126–131.
- KNEZ, M. – SLABE, T. 2009: Lithological characteristics, shape, and rock relief of the Lunan stone forest. – In: GINÉS, A. – KNEZ, M. – SLABE, T. – DREYBRODT, W. (szerk.): Karst rock features – Karren sculpturing. Postojna-Ljubjana. pp. 439–452.
- KORZHUEV, S. S. 1961: Merzlotnij karszt Szrednego Prilenja i nekotorije oszobennoszti jego projavlenija – In SOKOLOV, N. I. – GVOZDETSKIY, N. A. – BALASHOV, L. S. (szerk.): Regionalnoje karsztovedenije. Izdatelsztvo AN SzSzsZr. Moszkva. pp. 207–220.
- KORZHUEV, S. S. 1972: Drevnij karszt i cikli karsztoobrazovania Szibirszkaj platformi – Trudi moszkovszkogo obszstvja iszpitatelyj prirodi 47. pp. 141–151.
- LAURIOL, B. – FORD, D. C. – CINQ-MARS, J. – MORRIS, W. A. 1997: The chronology of speleothem deposition in Northern Yukon and its relationship to permafrost. – Canadian Journal of Earth Sciences 34. 7. pp. 902–911.
- LUNGERSGAUZEN, G. F. 1961: Sztratigrafia kajnozojszkij otlozsenij basszejna Szrednej, Nizsnej Leni i eye Delti – Szovesanyije po razrabotke sztratigraf. szhem Jakutszkaj ASzSzsR. Teziszsi Dokladov. Goszoptehizdat, Leningrád. pp. 178–182.

- LUNGERSGAUZEN, G. F. 1966: Influvij-oszobij geneticseszki tip materikovich obrazovaniy. – Dokl. AN SzSzSzR. T. 171. 3. pp. 690–693.
- OGNEV, G. N. 1927: Geologicseszkiye nabljudenija na Lenszko-Amginszkom vodorazdele. – Materiali Komisszii po izucs. Jakut. ANSzSzR 22. pp. 1–71.
- OSMASTON, H. – SWEETING, M. M. 1982: Geomorphology (of the Gunung Mulu National Park). – Sarawak Museum Journal 30. pp. 75–93.
- PULINA, M. 2005: Le karst et les phenomenes karstiques similaires des regions froides – In: SALOMON, J. N. – PULINA, M. (szerk.): Les karsts des regions climatiques extremes. Karstologia Mémoires 14. pp. 11–100.
- ROZENCIVIT, A. O. 1948: Batomajskije kamennye ‘Stolby’ na p. Lene-Izvestiya Vseszozojznogo Geograficseszko Obsesztva 1. pp. 85–90.
- SOLOMONOV, N. – KOLOSOV, P. – KIPRIYANOVA, L. D. – OKHLOPKOV I. – BORISOV B. – MAKSAKOVSKIY, N. – BUTORIN, A. 2007: Nominacija Prirodnij Park ‘Lenskie Stolby’ (Rosszijszkaja Federacija). <http://www.nhpfund.org/files/natural-world-heritage-in-russia-2007.pdf>
- SOLOMONOV, N. – KOLOSOV, P. – KIPRIYANOVA, L. – KNAPP, H. D. – ZHURAVLEV, A. – TROFIMOVA, E. – MAKSAKOVSKIY, N. – BUTORIN, A. – PETROVSKAYA, E. 2010: Nominacija Prirodnij Park ‘Lenskie Stolby’ (Rosszijszkaja Federacija). <http://www.nhpfund.ru/files/lena-pillars-nature-park-nomination-ru.pdf>
- TROFIMOVA, E. 2012: Karst phenomena of Natural Park Lena Pillars. – Scenario of the round table dedicated to the Sakha Republic (Yakutia) project in the field of collaboration with UNESCO.
- VAN EVERDINGEN, R. O. 1981: Morphology, hydrology and hydrochemistry of karst in permafrost near Great Bear Lake. – Northwest Territories, Paper 11. National Hydrological Research Institute of Canada.
- VANGENGEJM, E. A. 1977: Paleontologicseszkoje obosznovanie sztratigrafii antropogena Szevernoj Azii. – Nauka, Moskva. 170 p.
- VERESS M. – LÓCZY D. – ZENTAI Z. – TÓTH G. – SCHLÄFFER R. 2008: The origin of the Bemaraha tsingy (Madagascar). – International Journal of Speleology 37. 2. pp. 131–142.
- WILLFORD, G. E. – WALL, J. R. D. 1965: Karst topography in Sarawak. – J. Trop. Geogr. 21. pp. 44–70.
- WILLIAMS, P. W. 1971: Illustrating morphometric analysis of karst with examples from New Guinea. – Zeitschrift für Geomorphologie 15. pp. 40–61.
- WILLIAMS, P. W. 2009: Arête and pinnacle karst of Mount Kaijende. – In: GINÉS, A. – KNEZ, M. – SLABE, T. – DREYBRODT, W. (szerk.): Karst rock features – Karren sculpturing. Postojna-Ljubjana. pp. 433–437.
- WOO, M. K. – MARSH, P. 1977: Effect of vegetation on limestone solution in a small high Arctic basin. – Canadian Journal of Earth Science 14. 4. pp. 571–581.