



KRKONOŠE V DOBĚ LEDOVÉ



www.krnapp.cz



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Životní prostředí



Lomikámen sněžný. Foto: L. Harčariková ↑



Slavík modráček. Foto: Z. Patzelt ↑

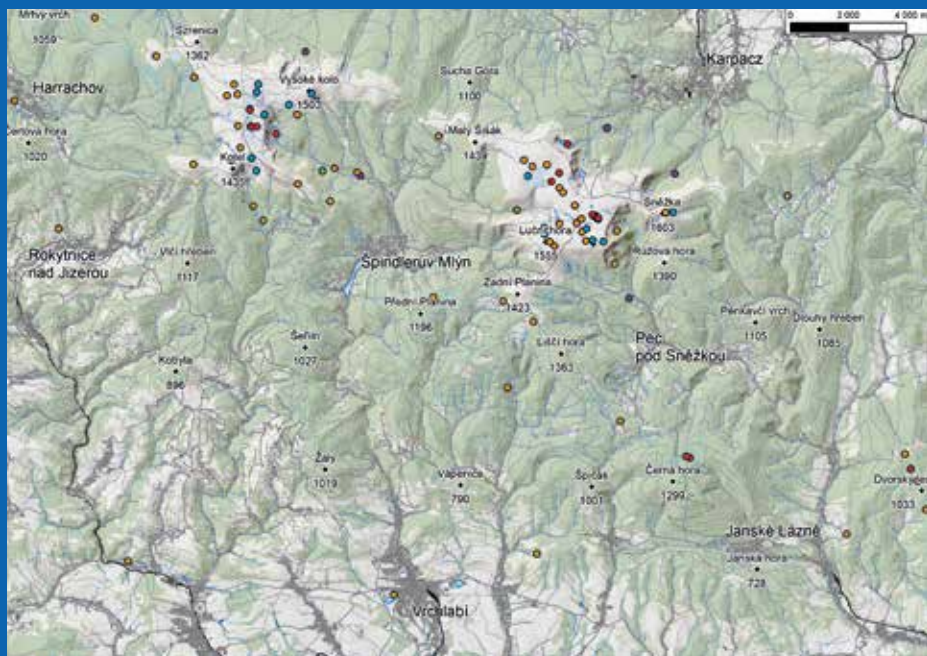


Jako **glaciální relikt**

je označován druh, který byl v době ledové v určitém území hojně rozšířen, ale dodnes se dochoval na velmi omezeném území. Příkladem v Krkonoších může být **lomikámen sněžný** (*Micranthes nivalis*) nebo **prvosienka nejmenší** (*Primula minima*). Mezi glaciální relikty z říše živočichů patří například **slavík modráček tundrový** (*Luscinia svecica svecica*).



Prvosienka nejmenší.
Foto: K. Antošová



Mapa lokalit, kde byly provedeny paleoekologické analýzy vzorků z rašeliníšť a jezer, červeně dříve publikované, oranžově provedené v projektu „Holocén“, modře provedené v projektu „Sněžová pole“, fialově analýzy ústupu zalednění dříve publikované, zeleně provedené v projektu „Geomorphologie“ ↑

Úvod

V projektu zkráceně nazvaném „Holocén“, přiděleném Správě KRNAP Ministerstvem životního prostředí ČR pro roky 2014–2017, byla ve spolupráci s odborníky různých oborů (paleoekologie, paleoetnologie, paleozoologie, geomorphologie, botanika, klimatologie) řešena otázka vývoje změn krajiny Krkonoš od konce poslední doby ledové do současnosti. V rámci projektu „Podrobná inventarizace geomorfologických forem na území Krkonošského národního parku a jeho ochranného pásma“ (2019–2023) byl podrobně zmapován výskyt tvarů reliéfu vzniklých v tomto období a zároveň byly provedeny paleoekologické a datovací analýzy na několika lokalitách. Výzkum vývoje Krkonoš v době ledové a při následujících klimatických

změnách je zároveň v součinnosti se Správou KRNAP realizován univerzitami a ústavu Akademie věd. V poslední době tak dochází k neustálému upřesňování poznatků o tom, jak se naše příroda v průběhu geologických období do současnosti vyvíjela. Brožura, kterou držíte v ruce, má za cíl přiblížit čtenáři náhled do vývoje přírodního prostředí Krkonoš v poslední době ledové a následném období v širších souvislostech.

Je to pouze necelých 200 let, v jejichž průběhu se díky průkopnickým objevům v různých oborech podařilo najít metody, které umožnily určit konkrétní časová data k různým historickým objektům a událostem, a to jak v makroměřítku vesmíru,

1775	Dánský astronom Christian Horrebow upozornil na cyklicky se měnící intenzitu slunečních skvrn. Roku 1843 ji potvrdil německý astronom Samuel Heinrich Schwabe.
1842	Francouzský matematik Joseph Alfonse Adhémar jako první předpokládal, že doby ledové jsou způsobeny 22 000letým cyklem spojeným se změnami parametrů zemské osy a oběhem Země kolem Slunce po eliptické dráze. Předpoklad potvrdil skotský geolog James Croll (1864). Srbský matematik a astronom Milutin Milanković (1914, 1920) jejich teorie rozvinul a stanovil tři základní faktory ovlivňující změny klimatu.
1852	Švýcarský astronom Johann Rudolf Wolf stanovil cyklus na 11,1 let a zpětně ho rekonstruoval do r. 1610. Na těchto objevech stojí určení minim (pojmenovaných Oort, Wolf, Spörer, Maunder) a maxim sluneční aktivity v průběhu posledních dvou tisíc let, která mají výrazný vliv na klima.
1894	Americký astronom Andrew Ellicott Douglass zjistil korelaci mezi letokruhy stromů a cykly slunečních skvrn. Dal tak základ nové disciplíně – dendrochronologii.
1896	Francouzský chemik Henri Becquerel objevil přirozenou radioaktivitu uranových solí. Navázal na objev radioaktivních prvků radia a polonia (Marie a Pierre Curie – 1898), přirozených rozpadových řad radioaktivních prvků a možnost takto datovat vznik hornin (britský fyzik novozélandského původu Ernest Rutherford).
1916	Švédský geolog Lennart von Post zjistil v různých vrstvách rašeliny odlišné pylové spektrum. Výsledky svých pozorování graficky znázornil v pylovém diagramu zachycujícím časovou posloupnost změn vegetace na daném místě.
1940	Američtí chemici Martin Kamen a Samuel Ruben objevili izotop ^{14}C , vznikající rozpadem dusíku vlivem kosmického záření, a zjistili jeho poločas rozpadu 5 700 let. Tentýž rok fyzikální chemik Willard Frank Libby na základě tohoto objevu vyvinul převratnou metodu ^{14}C datování organického materiálu.
1953	Byla vyvinuta metoda optické luminiscence k určení stáří sedimentů nebo půdy. Na základě přítomnosti mikroskopických částic vhodných minerálů – především křemene, lze určit, kdy byl zkoumaný materiál poprvé vystaven světlu. Používá se v řadě oborů – v archeologii, glaciologii, geologii.
1954	Cesare Emiliani, italsko-americký zakladatel paleoocéanografie, zjistil, že podíl izotopu kyslíku $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ se mění s teplotou vody. Stanovením tohoto poměru ve fosilních schránkách mikroskopických mořských organismů – dírkonošců (<i>Foraminifera</i>), které se ukládají po tisíceletí v mořských sedimentech, stanovil v odebraných vrtech v Mexickém zálivu minimálně 15 chladných a teplých cyklů, které souvisejí se změnami klimatu.
1976	Američtí geologové James D. Hays, John Imbrie a Nicholas J. Shackleton (1976) potvrdili na základě analýz poměru izotopu $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ ve dvou hlubokomořských vrtech v Indickém oceánu kompatibilitu s cykly Milankoviće.
1990	V rámci projektu GRIP (The Greenland Ice Core Project) byl proveden první vrtů do grónského ledovce za účelem zjištění změn klimatu pomocí analýz poměru izotopu $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ v ledu. Vrt dosáhl báze v hloubce 3 029 m a klima bylo možné analyzovat 100 000 let zpět.
1997	Poprvé byla analyzována DNA neandertálců.
2005	Americké oceánografky Lorraine Lisiecki a Maureen Raymo sestavily křivku hlubokomořského $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ pro posledních 5 milionů let.

tak k místním „pozemským“ poměrům, či dokonce ke stárí mikroobjektů, jako jsou např. pylová zrna nebo zrnka minerálů. Dnes vnímáme jako samozřejmost minulost v řádu až miliard let, mluvíme-li o vesmíru, stovek milionů let týkajících se existence života na Zemi nebo tisíců let od poslední doby ledové.

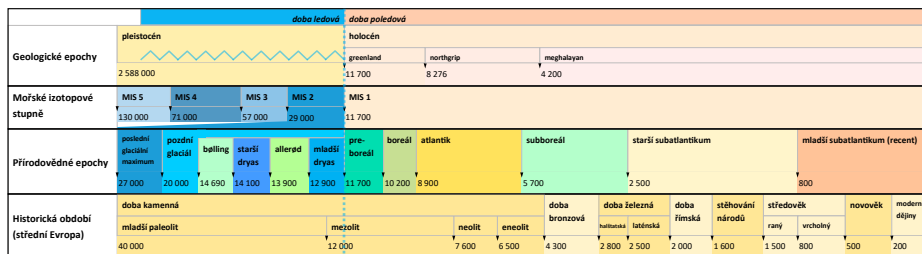
Ještě na konci 19. století ale bylo v Evropě rozšířeno uvádění biblického stárí dějin Země a lidstva, vycházející ze Starého zákona a potopy světa, která měla nastat kolem r. 2348 před narozením Krista, celkem tedy

pouze v řádu prvních tisíců let. Podpořeno to bylo řadou geologů studujících uložení vrstev hornin a fosilií v nich nalezených (prvně tuto myšlenku na základě terénního výzkumu zveřejnil dánský geolog Nicolaus Steno r. 1669). Jiní vědci naopak podporovali myšlenku, že Země je starší, než uvádí Bible. Například Francouz Comte de Buffon došel na základě pokusů s ochlazováním kovů (příměr k ochlazování tělesa Země) ke stárí 75 000 let. Německý geolog Abraham Werner předpokládal, že většina hornin vznikla vysrážením z prvotního světového oceánu a určil stárí Země na zhruba milion let.

Jak šel čas

Různé vědecké obory používají různá členění času, respektive jednotlivých epoch, v historii. Suverénně nejdelší sérii epoch užívají geologické vědy, které pokrývají celé období od vzniku naší planety. Změny klimatu a osídlení v té úplně nejmladší geologické historii jsou ale natolik variabilní a rychlé, že je pro stu-

dium vývoje našeho prostředí zapotřebí podrobnějšího členění. Archeologové používají členění podle lidských kultur, naopak paleoekologové vycházejí ze změn vegetace, fauny a klimatu. Schéma znázorňuje časovou osu s vymezením jednotlivých běžně používaných období napříč obory.



Časové vymezení epoch poslední doby ledové (posledního glaciálu před 115–11,7 tisíci let) a poledové (holocénu) podle různých oborů (čísla značí počátek epochy v letech před současností, modrá přerušovaná čára značí konec posledního glaciálu a začátek holocénu; mořské izotopové stupně – viz. str. 19) ↑

Poznámka:

Jednotlivé roky uváděné ve schématu i v celé brožuře odpovídají času jednoho oběhu Země kolem Slunce. Datovací metody veškeré údaje neustále zpřesňují. Proto je v některých zdrojích možné narazit na data, která se mírně liší. Tato tabulka odpovídá poznatkům ve stavu z roku 2023.

Geologická historie před kvartérem

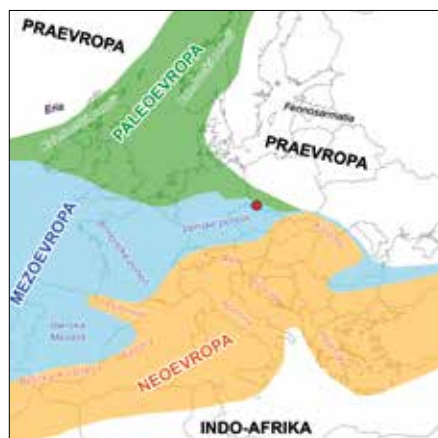
VÝVOJ ČESKÉ PŘÍRODY V DÁVNÉ MINULOSTI

Prvohory

Český masiv včetně Krkonoš tvoří celá paleta hornin různého původu a stáří. Podstatný milník, kdy se začal náš dnešní prostor formovat, nastal během takzvaného variského vrásnění před zhruba 350 miliony let. Tehdy, na pomezí geologických epoch devonu a karbonu, došlo ke srážce kontinentálních desek prakontinentů Laurussie (Euroameriky) a Gondwany, což dalo vzniknout zná-



Rozmístění kontinentů v období, kdy vznikal superkontinent Pangea, tedy před 325 miliony let. Variské horstvo, jehož byly pra-Krkonoše součástí, tehdy vzniklo poblíž rovníku; Krkonoše – červený bod (podle Scotese, 2021) ↑



Jednotlivé části Evropy podle různých etap horotvorných pochodů, při kterých vznikly; Krkonoše – červený bod ↑

mému superkontinentu Pangea. Od té doby mluvíme o Českém masivu, který známe dnes, byť v jiné podobě. Musíme si totiž uvědomit, že zemský povrch a krajina vypadaly tehdy úplně jinak.

Prostor dnešních Čech se nacházel ještě v oblasti rovníku a rozhodně zde nebyly vyšší rostliny nebo například plazi či savci. Všechny tyto skupiny organismů se začaly vyvíjet až mnohem později. Také zemský povrch by náš dnešní svět ani zdaleka nepřipomínal, i když ne tak docela. Celý Český masiv tvořilo vysoké členité pohoří tvořené prvohorními i staršími přeměněnými horninami, jehož velmi přibližný dnešní ekvivalent můžeme nalézt například v Himálaji. Nejvyšší vrcholy dnešního prostoru Čech nebyly v Krkonoších, ale

Základní éry geologické historie naší planety ↓

období (miliony let před současností)	prekambrium			prvohory			
	hadaikum	prahory	starohory	kambrium	ordovik	silur	devon
	4567–4000	4000–2500	2500–539	539–485	485–444	444–419	419–359

nejstarší krkonošské horniny variské



Skalní defilé permských sedimentů v Klášterské Lhotě je krásným a relativně ojedinělým úkazem skalního odkryvu v podkrkonošské pánvi. Foto: D. Krause ↑

jižně od Prahy. Říční síť vypadala úplně jinak a o konkrétní podobě tehdejší krajiny se můžeme jen dohadovat.

Pro Krkonoše podstatnou roli hrál ještě průnik magmatu v posledních fázích variského vrásnění, kdy vzniklo podzemní magmatické těleso, které známe jako krkonošsko-jizerský žulový pluton. Následující období mnoha desítek milionů let bylo relativně klidnější, ale docházelo k poměrně rychlému odnosu materiálu.

Horstvo postupně erodovalo a odnesený materiál se ukládal v jezerních pánvích (díky vysokému obsahu železa vysrážené ho v horkém rovníkovém klimatu načernalé pískovce permského a karbonského stáří jsou z Podkrkonoší velmi známé), občas se projevoval vulkanismus. Pro představu – než se dostal žulový pluton utuhlý v hloubce zhruba 5 km pod povrchem na povrch, po kterém dnes šlapeme v okolí Luční nebo Labské boudy, trvalo to několik desítek milionů let.

		druhoohory			třetihory		čtvrtohory	
karbon	perm	trias	jura	křída	paleogén	neogén	pleistocén	holocén
359–299	299–252	252–201	201–145	145–66	66–23	23–2,58	2,58–0,0117	0,0117
vrásnění					alpínské vrásnění			



Do samotného závěru křídového období, kdy z českého území moře ustupovalo, je datován vzácný nález pozůstatků **českého dinosaura**. *Burianosaurus augustai*, který byl pojmenován po známém malíři přírody z geologické historie Zdeňku Burianovi a paleontologovi Josefu Augustovi, žil na pevnině, tedy i na ostrovech v křídovém moři v prostoru Čech. Délka dinosaura je odhadována na 3–4 metry. Jedinec, jehož kosti byly nalezeny v lomu nedaleko Kutné Hory, se po své smrti dostal do moře a jeho nalezené pozůstatky v podobě stehenní kosti nesou stopy po zubech několika druhů žraloků. Takovíto živočichové obývali Čechy zhruba před 94 miliony let.



Dinosaurus *Burianosaurus augustai*, jehož ostatky byly nalezeny v Čechách; Autorka: Edyta Felcyn, (CC BY ND 4.0) ↑



Rozmístění kontinentů v období křídý, zhruba před 90 miliony let; Krkonoše – červený bod (podle Scotese, 2021) ↑

Druhoهورy

Po původních velehorách již nebyly ani památky, když se zhruba před 100 miliony let v křídovém období objevilo mělké moře, které zaplavilo velkou část tehdejšího prostoru Evropy. Nejvyšší polohy Českého masivu včetně oblasti Krkonoše tvořily v mělkém moři nevysoké ostrovy. Zároveň se v křídovém období začal rozvířat Atlantský oceán a v našem prostoru se postupně začaly projevovat tlaky vlivem počínajícího vrásnění Alp na jih od Českého masivu, které bylo způsobeno nárazem Africké desky do Evropské.

Třetihory

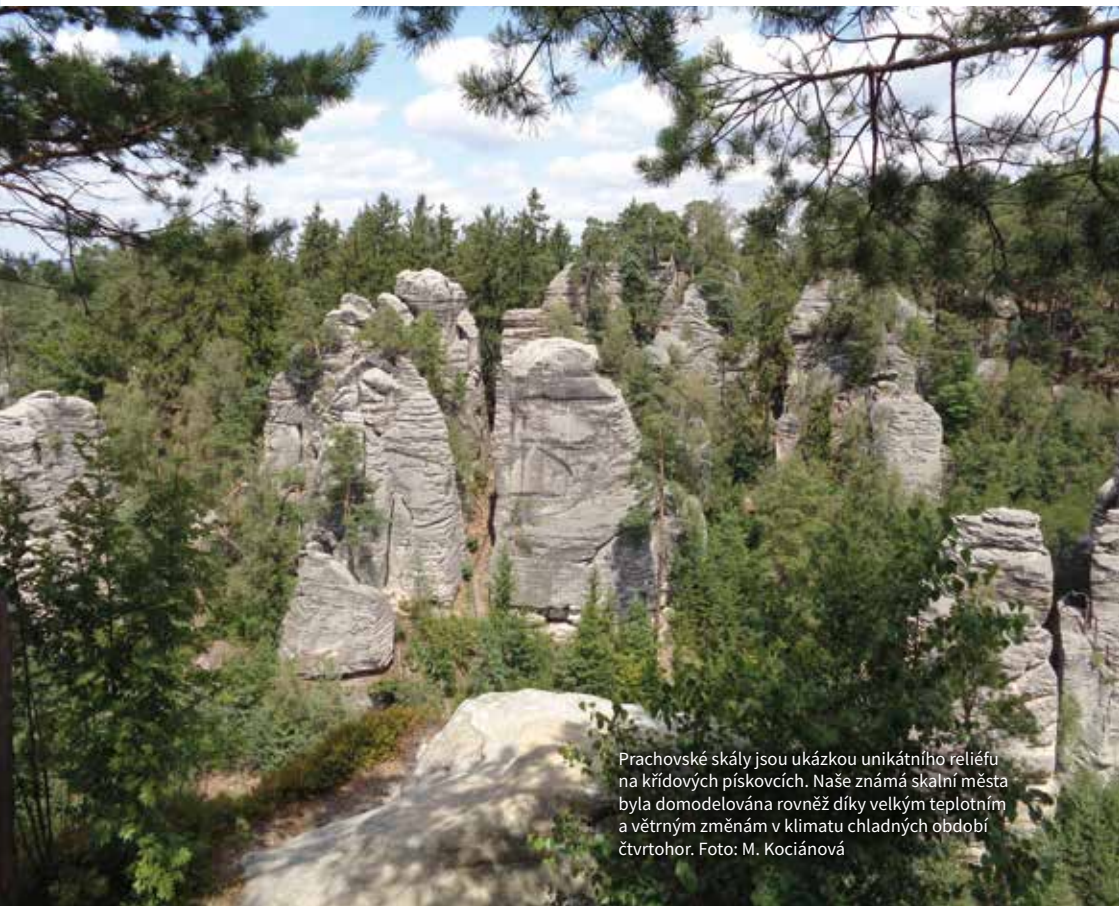
Po ústupu křídového moře, které zanechalo pískovcové sedimenty, v nichž dnes nacházíme krásná skalní města například v Českém ráji, nastalo období kenozoika (zhruba 66 mil. let před současností do dneška; Mezinárodní stratigrafická komise v současnosti již nepoužívá termín „třetihory“, ale „kenozoikum“, kam spadají jak původní třetihory, tak čtvrtohory/kvartér). Postupně začaly být vlivem alpinského vrásnění ožívány staré zlomy z dob variského vrásnění, podle nichž začalo docházet k tektonickým pohybům, které daly Krkonošim zhruba dnešní relativní výšku vůči okolní krajině. V Českém masivu se v jezerních pánvích tvořilo hnědé uhlí a také se opět projevoval vulkanismus, s nímž jsou spojeny vypeparované tvary sopouchů, které známe z Českého středohoří, ale magma proniklo i do prostoru Krkonoše a Jizerských hor. Můžeme zmínit například Bukovec na Jizerce či bazaltovou žílu v Malé Sněžné jámě. Oblast Krkonoše byla odvodňována jihovýchodním směrem a celková říční síť dnešních Čech byla dosti odlišná od současného stavu, i když se

mu částečně začínala v některých úsecích přibližovat. S výzdvihem jednotlivých hrástí (rozlámaných bloků zemské kůry) včetně Krkonoše se začala značně projevat činnost vodní eroze. Zahlubování řek spolu s doznívajícími tektonickými pohyby postupně pomáhaly přerodu krajiny Českého masivu do přibližně dnešní podoby, kdy vrcholky Krkonoše se zarovnanými povrchy tvoří relikv původní paroviny a hluboká údolí sledují zásadní poruchy. Od křídý do současnosti vznikající Atlantický oceán postupně způsobil úplně jiné rozmístění kontinentů na severní polokouli, než bývalo ve starší geologické historii. Jelikož oceány a jejich proudy mají zásadní vliv na klima, to se, jako mnohokrát předtím, začalo poměrně radikálně měnit. Dostáváme se tak do nejmladší geologické

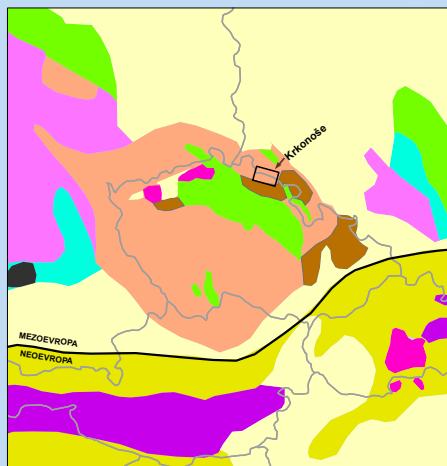


Rozmístění kontinentů v období neogénu, asi před 5 miliony let; Krkonoše – červený bod (podle Scotese, 2021) ↑

historie, která trvá „pouhých“ 2,6 milionu let a kterou nazýváme kvartérem nebo také čtvrtohorami. Právě ve čtvrtohorách nyní žijeme a vývoj Krkonoše v jejich nejmladším období, v posledních pouhých několika tisících letech, je pro dnešní přírodu Krkonoše klíčový.

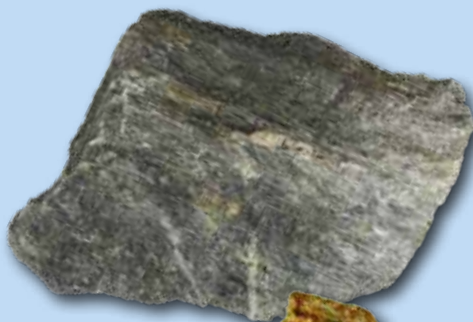


Prachovské skály jsou ukázkou unikátního reliéfu na křídových pískovcích. Naše známá skalní města byla domodelována rovněž díky velkým teplotním a větrným změnám v klimatu chladných období čtvrtohor. Foto: M. Kociánová



- | | |
|--|---|
| ■ krystalické horniny českého masivu a Harzu | ■ krystalické horniny Alp a Karpat |
| ■ karbonské a permské sedimenty | ■ obalové série Alp a Karpat |
| ■ triasové sedimenty | ■ třetihorní sopečné horniny |
| ■ jurské sedimenty | ■ třetihorní a čtvrtohorní sedimenty |
| ■ křídové sedimenty | ■ tektity dopadového kráteru Ries a okolí |

Geologie střední Evropy ↑



Fylit ↑



Žula →



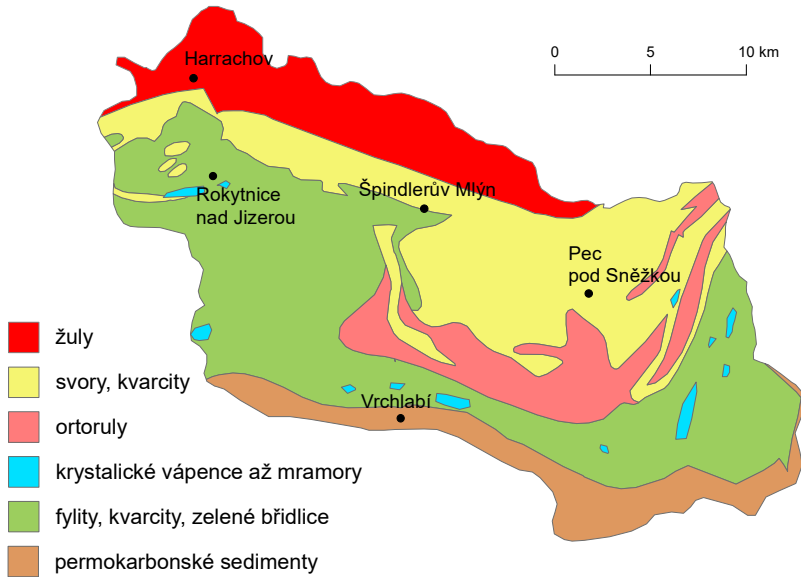
Svory ↑ →



Krkonošské horniny

jsou poměrně rozmanité. **Svory** a **fylity**, které vznikly různě pokročilou přeměnou během variského vrásnění z původních písčitých a jílovitých mořských sedimentů starších prvohor, mají charakteristickou břidličnatost, díky níž jsou jejich skalní výchozy hodně členité. Staré žuly byly ve stejné době přeměněny na **ortoruly** a z různých izolovaných vápencových těles vznikly **krystalické vápence**. Podzemní magmatické těleso tvořené **žulou** (granitem) bylo postupem času obnaženo erozí. Žula nemá břidličnatost a charakteristická je její kvádrovitá odlučnost. Kontaktní pás žulového tělesa (plutonů) je místem výskytu intenzivně tlakově a teplotně přeměněných hornin, zejména **kvarcitů**. Ty jsou díky vysokému obsahu křemene velmi odolné vůči erozi (tvoří například Kozí hřbety). Právě prostorové uspořádání výskytu jednotlivých hornin, a zejména západovýchodní průběh kontaktní zóny žulového plutonu, měly vliv na tektonické procesy a erozi po celé geologické období. Nynější povrch Krkonoš se svým uspořádáním se zarovnanými povrchy a západovýchodně orientovanými údolními hrály a hraje zásadní roli pro klima – o tom ale na dalších stránkách.

Geologická mapa české části Krkonoš ↓



Zarovnaný povrch západních Krkonoš. Vlevo Violík s Vysokým kolem, vpravo Kotel a Zlaté návrší. V pozadí se rýsuje Sněžka se Studničním a Luční horou. Foto: J. Vaněk ↑

Mírně zvlněný zarovnaný povrch vrcholové části východních Krkonoš mezi Studničním horou (vpravo) a Úpským rašelinářem (vlevo) je zbytkem kdysi zarovnaných praktkrkonoš. Mezi nimi se tyčí trojboký jehlan Sněžky. Foto: K. Antoňová ↓



Jak zjišťujeme vývoj krajiny v nejmladší geologické historii?

CO JSOU TO PROXY DATA A CO NÁM ŘÍKAJÍ?

Na základě geofyzikálních, paleontologických, oceánografických a biologických poznatků opřených o souvislé sekvence hlubokomořských i suchozemských záznamů se v sedmdesátých letech dvacátého století podařilo podchytit problematiku nejmladšího geologického a celkově přírodního vývoje v nejmladší geologické historii v daleko větší šíři a komplexnosti. Odborníci při rekonstrukcích vývoje a změn podnebí a celého přírodního prostředí v minulosti, tedy vzhledu tehdejší krajiny, rozšíření vegetace, živočichů, člověka

a jeho vlivu od počátku příchodu na dané území, nevycházejí z dojmů či odhadů, ale potřebují co nejpřesnější důkazy v podobě kombinace různých přírodních záznamů. Těm říkáme proxy data a mají různý význam od regionálního po celosvětový – od konkrétních míst o rozloze pouze několika m² po celé kontinenty či oceány. Pro rychlou představu to mohou být například různě široké letokruhy, které odrážejí změny ve srážkách a teplotách, pylová zrna v jezerních nebo rašelinných sedimentech, která podávají svědectví o složení vegetace a jeho změnách, nebo třeba zbytky živočichů, kteří byli vázání na specifické přírodní podmínky. Celá řada takových či



Pylové zrna borovice limby (*Pinus cembra*)
Mikroskopické foto: V. Jankovská ↑



Letokruhy na vybroušeném vzorku
Foto: J. Dvořák ↑



Krápníky v Ponikelské jeskyni
Foto: M. Hájek ↑

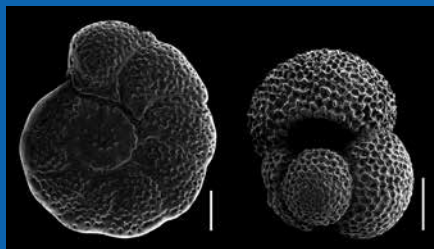


Různé organické zbytky ze sedimentu v Labském dole
Foto: P. Bobek ↑

podobných záznamů, které nazýváme proxy data, pomáhá skládat mozaiku vývoje teplot a srážek, jakož i přírody a krajiny včetně vlivu člověka v průběhu času. Například za období posledních 40 000 let, kdy se objevují stopy moderního člověka ve střední Evropě (jeskynní malby, kamenné nástroje, zbytky sídel). Samozřejmostí jsou rekonstrukce s různou přesností. Na světě existují místa, kde je k dispozici málo proxy dat, a zároveň se dochovalo logicky méně proxy dat ze starších období. To znamená, že míra poznání klesá směrem do minulosti a není stejná na celém světě.

Podle toho, o čem vypovídají, rozlišujeme místní a globální proxy data. Tak například pokročilé analýzy izotopů kyslíku ze schránek hlubokomořských dírkonosců umožnily rekonstruovat střídání relativně teplejších a studenějších období na celé planetě během posledních pěti milionů let! To je typický příklad globálních dat, jejichž platnost se odráží na celé planetě. Naopak záznam pylových zrn z uloženin zaniklého jezera v Labském dole nám podává přesné informace o vývoji vegetace (a tedy i teplot) v Krkonoších během posledních třiceti tisíc let. Zde se jedná o lokální proxy data, protože se vztahují přímo ke Krkonošům a nemůžeme z nich zjistit, jak to vypadalo například v Antarktidě nebo kdekoliv jinde. V Krkonoších je situace pro podobné rekonstrukce poměrně příznivá. Protože se jedná o vlhké horské prostředí s podložím kyselých hornin, kde je navíc řada nepřilíš strmých svahů a zarovnaných povrchů, vyskytuje se zde mnoho rašelinišť, která ukrývají nejen pylová zrna, ale také takzvané makrozbytky (například rostlinné stonky) nebo uhlíky. Rovněž zde působily horské ledovce, které zanechaly tvary v podobě morén nebo depresí s jezery (která později mohla zaniknout). V neposlední řadě je zde množství malých, ale významných krasových jeskyň s krápníky, které nesou také řadu důležitých záznamů.

Logicky se nabízí otázka, jak je možné odvozovat z proxy dat přírodní podmínky, když neznáme jejich stáří. Dříve se odvozovalo pomocí absolutní pozice (např. hloubky) konkrétního záznamu za přispění porovnání s dalšími záznamy z různých zdrojů (to se nazývá relativním datováním). Dnes nám však jistotu přináší takzvané absolutní datování. Radiometrické metody, které jsou postaveny na rozpadu radioaktivních prvků, jsou dnes nejpoužívanějšími a nejspolehlivějšími pomocníky při určování stáří jednotlivých článků ve skládačce dávného přírodního prostředí. Zde uvádíme ty nejpoužívanější ve vztahu k regionu Krkonoš a tématu této brožury.



Dírkonosci používaní k analýze stabilních izotopů kyslíku náleží např. k rodu *Cibicides* (vlevo) a *Globigerina* (vpravo). Měřítka 100 µm. Foto: A. Tichá ↑

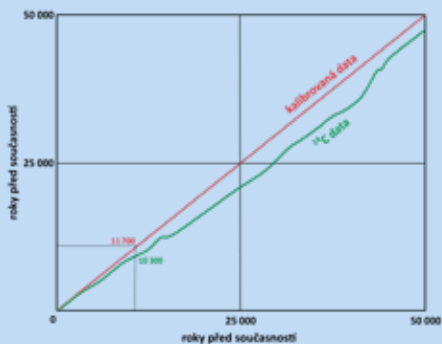


Uhlíky a makrozbytky v sedimentu v Labském dole o stáří cca 9 000 let v hloubce 80 cm. Foto: D. Krause ↑

METODA URČENÍ STÁŘÍ POMOCÍ IZOTOPU ^{14}C

Od poloviny dvacátého století je známá takzvaná radiouhlíková metoda, která znamenala skutečný přelom v poznání minulosti. Americký vědec Williard Frank Libby za její objevení získal v roce 1960 Nobelovu cenu za chemii. Vlivem neustálého kosmického záření vznikají v horních vrstvách atmosféry kolize s atomy prvků obsažených v zemské atmosféře nestabilní prvky, mezi něž patří i radioaktivní uhlík ^{14}C . Ten se spolu s nikoliv radioaktivními izotopy uhlíku ^{13}C a ^{12}C stává součástí atmosférického oxidu uhličitého, který se fotosyntézou dostává do rostlin a posléze jejich konzumací i do těl živočichů. V okamžiku uhynutí organismu zůstávají v jeho těle stále koncentrace stabilního uhlíku ^{12}C a ^{13}C , nicméně koncentrace radioaktivního ^{14}C jeho rozpadem klesá. Jelikož známe poločas rozpadu ^{14}C (5 730 let), můžeme tak podle laboratorně naměřených hodnot poměrně přesně zjistit, kdy daný organismus zemřel, pokud známe poměr

koncentrací stabilního a radioaktivního uhlíku v jeho zbytku. Lze tak datovat výhradně organický materiál, tedy zbytky rostlin či živočichů. Metoda byla ověřována na dlouhých letokruhových sériích stromů a poskytuje relativně velkou přesnost, přesto je třeba výsledné stáří upravovat (kalibrovat), neboť tvorba ^{14}C v atmosféře nebyla vždy stejná. Kalibrační křivky se neustále zpřesňují, a tak se zvyšuje i přesnost samotného datování. Spolehlivá je tato metoda pro určení stáří mezi padesáti tisíci lety před současností a dvacátým stoletím, kdy se vlivem jaderných testů narušila přirozená koncentrace radioaktivních prvků v atmosféře. Pokud hovoříme o stáří před současností, je tím myšleno období před rokem 1950. Mluvíme-li však o tisících či desetitisících let, nemusí nás taková drobnost jako půlstoletí příliš zajímat. V České republice, respektive na střední Moravě máme nejstarší takto datovaný sediment z lokality Jablunka starý ca 42 000 let, z Krkonoš je to zhruba 30 000 let z báze sedimentárního profilu v Labském dole, o čemž se můžete dočíst dále.



Rozdíl mezi daty získanými z laboratoře a kalibrovanými daty při datování pomocí radiokarbonové metody. Nekalibrovaná data řadí počátek holocénu na 10 300 let před současností, zatímco kalibrovaná data na 11 700 let před současností ↑



Odběr sedimentů za pomoci vrtné soupravy.
Foto: M. Kociánová ↑



Vrstvy rašeliny můžou dosáhnout až několika metrů. V Subarktidě, kde se vyskytuje nesouvislý permafrost (dlouhodobě zmrzlá půda či rašelina), jsou typická tzv. palsa rašeliniště vyvýšená nad okolní terén právě v důsledku přítomnosti permafrostu. Naklánějící se sloupy a vznik jezírek jsou důsledkem tání permafrostu.
Foto: M. Kociánová

METODA URČENÍ STÁŘÍ POMOCÍ IZOTOPU ^{10}Be

Stejně jako uhlík také radioaktivní beryllium vzniká vlivem kosmického záření, kterému je naše planeta nepřetržitě vystavena. Na rozdíl od uhlíku ^{14}C však beryllium ^{10}Be nevzniká v atmosféře, ale přímo na zemském povrchu, kde se zabudovává do krystalické mřížky křemene. Nedatuje se tedy organický materiál, ale naopak vzorky hornin. Poločas rozpadu ^{10}Be je téměř 1,4 milionu let. Čím větší je koncentrace tohoto izotopu beryllia v hornině, tím déle je na povrchu vystavena kosmickému záření. Pro složitou laboratorní přípravu a následné měření počtu atomů pomocí hmotnostního spektrometru za použití urychlovače částic je zapotřebí odebrat zhruba půl kilogramu horniny (záleží na obsahu křemene, který je klíčovým minerálem). Výsledné stáří odkrytí povrchu je

získáno rovněž poměrně složitým výpočtem včetně kalibrací. V Krkonoších byly touto metodou datovány ledovcové morény za účelem zjištění stáří ústupu zalednění.



Horninový blok na moréně v Labském Dole, z něhož byl odebrán vzorek pro analýzu (kladivo v místě odběru vzorku);
Foto: D. Krause ↑

OBORY ZABÝVAJÍCÍ SE REKONSTRUKCÍ PŘÍRODNÍHO PROSTŘEDÍ

Vývoj krajiny se skládá z mozaiky, kterou studují různé přírodovědné a humanitní obory. V nejmladším období několika posledních tisíců let jde především o rekonstrukce prostředí pomocí vegetace, živočichů a stop člověka.

Paleoekologie

Charakteristickým rysem každé krajiny je především její vegetační kryt. Ten je výsledkem působení mnoha faktorů, především klimatu. Znamená to, že když dobře známe složení vegetace, můžeme z její skladby od-



Na vykopaném profilu jednoho z plochých „platů palsa“ rašelinišť, s rostlinným pokryvem připomínajícím nápadně některé části krkonošských hřebenových rašelinišť (s převahou ostružiníku morušky, šichy oboupohlavné a místy suchopýrem pochvatým), jsme vykopali profil. Do ca 50–70 cm je patrná rašelina, která přes léto rozmrzá, stejně jako u nás. V hlubších vrstvách je přítomen permafrost. Vrstvičky ledu se ve slunci nápadně lesknou. Obsah ledu může dosáhnout až 60 % objemu palsy. Foto: V. Jankovská (výřez M. Kociánová), Abisko, 2010 ↑

vodit i charakter klimatu, které krajinu spolu s dalšími faktory formovalo. Území Evropy se v průběhu minulých tisíciletí výrazně měnilo právě v důsledku klimatických výkyvů, a to především po stránce vegetační. Údaje o těchto změnách i v dávné minulosti poskytují zbytky rostlin (tzv. makrozbytky), pylová zrna, spory i další biologické objekty zachované v časové posloupnosti v rašeliništích, slatiništích, jezerních sedimentech i dalších organických uloženinách. K tomuto poznání poprvé došel a v roce 1916 ho publikoval švédský geolog Lennart von Post, když zjistil v různých vrstvách rašeliny odlišné pylové spektrum. Výsledky svých pozorování graficky znázornil v pylovém diagramu. Novou metodu zavedl v následujících letech do Čech a střední Evropy vůbec Karl Rudolph, profesor paleobotaniky a fyto geografie na Německé univerzitě v Praze, a dále ji rozvíjeli jeho žáci, zvláště Franz Firbas. Již v r. 1927 takto analyzovali řadu rašelinišť v Krkonoších. Od 60. let 20. st. kombinace pylových analýz s datováním stáří organických částic pomocí radioaktivního uhlíku ^{14}C výrazně zpřesňuje rekonstrukci vývoje vegetace a krajiny daného území.

Ke správnému paleoekologickému vyhodnocení je nezbytné kromě určení biologických objektů zohlednit jejich životní strategie a nároky, důležitá je osobní znalost současného rozmanitého přírodního prostředí, v němž dané organismy ve světě žijí. Pro objektivnější interpretace „našich“ pylových spekter z uloženin z konce doby ledové a počátku holocénu je třeba zaměřit na sever, do prostředí alespoň částečně podobného tomu, které tehdy bylo u nás.

Paleozoologie

Paleozoologie, která je podoborem paleontologie, je věda, jejíž objekt zájmu přesahuje na rozdíl od archeologie nejmladší geologické období. Výzkum zbytků živočichů v geologických souvrstvích zasahuje milio-



Gravettská mělká jáma (objekt S3) z lokality Pavlov I s mamutím klem a kosterními pozůstatky soba, vlka a další fauny.
Foto: S. Sázellová ↑

ny let nazpět, ale zároveň nachází uplatnění i v nejmladší době. Nálezy kosterních zbytků v jeskyních a další paleontologická zjištění umožňují rekonstrukce historického rozšíření druhů, které v určitém prostoru v určité době žily.

Izotopy kyslíku $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ z kostí zvířat umožňují určit teplotu vody, kterou daná zvířata pila, potažmo teplotu srážek v dané době. Izotopy dusíku $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ a $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ve sklovině zubů pomáhají rozlišit rostlinnou a živočišnou stravu – tedy býložravce, masožravce, všežravce, a poskytují bližší informace o spásané vegetaci – tedy i o migraci zvířat. Stroncium je přítomné v horninách ve čtyřech izotopech. Izotop ^{87}Sr je radiogenní a vzniká rozpadem izotopu ^{87}Rb . Starší horniny obsahují méně ^{87}Rb a více ^{87}Sr . Izotopy stroncia se přenášejí do půdy, vody a následně do těl rostlin a živočichů, kde se ukládají v kostech a zubech. Poměr ^{87}Sr a ^{86}Sr v kostech a zubech umožňuje určit místa, kde žil jedinec v různých obdobích života, a jeho migraci. K analýze se odebírají vzorky z první stálé stoličky a kosti, která se přebudovává každých 7 až 10 let. Pro zjištění poměrů izotopů stroncia v místě nálezů se používají vzorky nemigrující fauny, jako jsou kosti hlodavců nebo

plžů. Sezonnost života medvěďů jeskyních (v létě, v zimě) odlišuje např. poměr stopových prvků stroncia (Sr) a baria (Ba) a stroncia a vápníku (Ca) v zubním dentinu. Věk zvířete konkrétního druhu se dá určit např. pomocí časového růstu kostí, mléčných zubů, u býložravců velikostí a tvaru skousání zubů.

Geomorfologie

Změny klimatu se podepisují nejen ve složení vegetace a fauny, ale rovněž v reliéfu. Stejný geologický fundament se vyvíjí různým způsobem v různých klimatických podmínkách a vznikají tak specifické tvary. Podle výskytu a morfometrie některých specifických fosilních tvarů reliéfu je možné odvozovat klimatické podmínky v minulosti. Za použití absolutních datovacích metod je navíc možné tyto informace vztahovat ke konkrétnímu období. V prostředí střední Evropy se dochovala řada fosilních tvarů ze suchého a chladného období glaciálu. Patří mezi ně písčné dny nebo sítě pseudomorfóz mrazových klínů. V horském prostředí pak stopy ledovců v podobě karů, trogů a morén a stopy intenzivního působení mrazu v podobě kryoplanačních teras, mrazem třídných strukturních půd či dalších tvarů. V reliéfu Krkonoše se však podepsalo i dřívější třetihorní tropické klima, ve kterém mnohem intenzivněji zvětrávala například žula, a tvořil se tak mocný zvětralinový plášť, který posléze snadněji podléhal mrazovému působení. Naopak po konci nejchladnějších období docházelo k sesuvům a intenzivní říční činnosti.

Archeologie

Od počátků osídlení se do vývoje a stavu přírody a krajiny začíná podepisovat také člověk. Předmětem bádání archeologů jsou historické stopy člověka v krajině. Na základě archeologických nálezů v podobě artefaktů či reliktních sídel a pohřebišť spolu s určením jejich stáří je možné usuzovat,

jak se člověk podílel na fungování krajiny v určitém místě v dané době. K upřesnění předpokladů lze použít další metody – například analogie, tj. hledání a ověřování předpokládané podobnosti dějů, procesů a lidské činnosti v minulosti a současnosti. Tomu napomáhají i experimenty – například s výrobou štípaných kamenných nástrojů z doby kamenné, zpracováním kůží, kostí a staveb obydlí z dob lovců mamutů a sobů, způsobem hospodaření prvních „zemědělců“ a podobně.

Paleolit (doba kamenná) zachycuje dlouhé období od nálezů kamenných úlomků dokládajících použití prvními zástupci rodu *Homo* již před ca 3,5 miliony let (naleziště

Olduvai v Tanzánii) po konec poslední doby ledové před 11 700 lety. Podle míst nálezů, odhadovaného způsobu života na základě předmětů denní potřeby, výrobků, kostí zvířat, hrobů apod. archeologové rozdělují paleolit na nejstarší, starší, střední a mladší. V nich odlišují význačné časově blízké či navazující kultury. Na paleolit navazuje poslední doba meziledová – holocén. Její zhruba první polovina, v níž člověk ještě do přírody nezasahoval výrazným způsobem, se označuje jako mezolit. Druhá polovina od počátku zemědělství je ve znamení narůstání lidské populace a jejích zásahů do přírodních procesů – bohužel až do té míry, že v současnosti lidstvo stojí před hrozbou vlastního zániku.



Jeden z mnoha převisů v Českém ráji. Osídlen byl od pozdního paleolitu až do mezolitu. Foto: P. Šída



VÝZNAMNÉ PRAVĚKÉ KULTURY V EVROPĚ

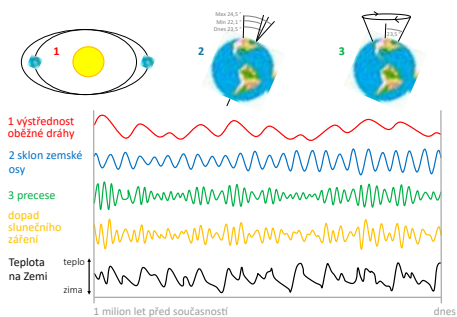
Acheuleén	kultura používající pěstní klíny, šířící se z Afriky do Asie a na Střední východ a před ca 1,5 milionem let do Evropy. Název pochází z naleziště ve Francii v Saint-Acheul (objeveno v roce 1859). V současnosti je nejstarším dokladem v Evropě nález ze Španělska z jeskyně Atapuerca starý ca 1,4 milionu let. Na našem území patří do této doby nálezy např. z Přezletic (stáří ca 700 000 let) a Stránské skály (stáří ca 600 000 let).
Moustérien	kamenná industrie středního paleolitu, která byla rozšířena v Evropě, na Předním východě a v severní Africe. Nejstarší moustérien na Moravě začal někdy před 220 000 lety a skončil před 40 000 lety. Název je odvozen podle lokality Le Moustier v Dordogne ve Francii.
Taubachien	středoevropská industrie středního paleolitu absolutně datovaná mezi 130 000 až 80 000 lety v Karpatké kotlině a mezi 104 000 až 117 000 lety v Německu. Lokality se nacházejí nejčastěji při vývěrech minerálních pramenů, kde se utvářel travertín, na Moravě v jeskyni Kůlna a v Předmostí, na Slovensku pak v Gánovcích a Bojnících.
Micoquien	mladší fáze středního paleolitu. Oblast výskytu se váže na krasové oblasti. Je spojována s neandertálci (<i>Homo sapiens neanderthalensis</i>) ve střední a západní Evropě v době před 130 000 až 70 000 lety. Název pochází z lokality La Micoque v departementu Dordogne ve Francii. U nás pocházejí doklady z jeskyně Kůlna, Pekárna, Tmaň.
Bohunicien	kamenná štípaná industrie mladého paleolitu, jejíž nositelé se pohybovali na území jižní Moravy někdy před 40 000 až 35 000 lety. Lokalita Červený kopec v Brně-Bohunicích.
Aurignacien	spadá přibližně do období 38 až 28 tisíc let před současností. Aurignacká jeskyně (La grotte d'Aurignac) leží v jižní Francii na úpatí Pyrenejí, asi 50 km jihozápadně od Toulouse. V Mladečských jeskyních v CHKO Litovelské Pomoraví byly nalezeny nejstarší pozůstatky <i>Homo sapiens</i> ve střední Evropě (31 000 let). Dalšími lokalitami u nás jsou např. Stránská skála v Brně, Milovice, na Slovensku Tibava, Seňa a Barca.
Szeletien	40 000 až 38 000 let před současností, na území střední Evropy, nejspíše neandertálská kultura. Název je odvozen z jeskyně Szeleta 12 km západně od centra Miskolce v severním Maďarsku. Další naleziště jsou popsána v Karpatké kotlině, na Slovensku (jeskyně Čertova pec), na Moravě a také v okolí Krakova. Je souběžný s bohunicienem.
Gravettien	je znám z širokého geografického prostoru od Portugalska k Německu, od Belgie k Rusku. Starší období (zhruba 30–25 tisíc let před současností) je podle významné lokality Pavlov na jižní Moravě nazvané pavlovien. Mladší období (přibližně 25–20 tisíc let před současností) se podle nalezišť v Rakousku (Willendorf) a Rusku (Kostěnki) nazývá willendorf-kostěnkien. Převážně se týká lovců mamutů.
Magdalénien	přibližně 17 až 11 tisíc let před současností, kultura západní, střední a jižní Evropy. Moravské lokality jsou na jejím východním okraji. Rozšířena v pozdním glaciálu, zažívala s ním spojené teplotní výkyvy – teplejší období bølling, allerød a chladné období starší dryas a mladší dryas (podrobnosti v dalším textu). V Čechách je významná lokalita Hostim u Berouna. Na Moravě jeskyně Pekárna v Moravském krasu. Loven byl nejčastěji sob polární, kůň či jelen.

Čtvrtohory – chladné období

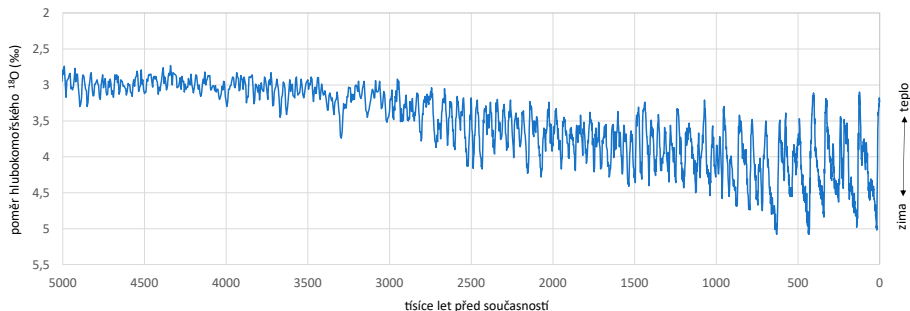
ČTVRTOHORY (KVARTÉR)

Toto období posledních 2,6 milionu let, které je pro naši dnešní přírodu zásadní, je charakterizováno střídavým působením velmi chladného podnebí a relativně teplejšího podnebí. Příčiny celosvětových periodických změn klimatu byly vysvětleny v první polovině 20. století srbským matematikem Milutinem Milankovičem. Jedná se o společné působení několika astronomických faktorů, které společně ovlivňují časové změny v příjmu energie na povrchu naší planety od Slunce. Oběžná dráha Země kolem Slunce má tvar elipsy, přičemž její výstřednost se mění s periodou zhruba 100 000 let. Zemská osa otáčení nemá stálý úklon, mění se mezi mezními hodnotami 22,1–24,5°. Perioda je něco přes 40 000 let. A samotná orientace sklonu osy není stálá. Můžeme si to představit tak, že v čase opisuje tvar kužele. Tato perioda trvá zhruba 24 000 let. Výsledkem těchto astronomických faktorů je střídání celosvětově relativně chladnějších a teplejších období. Rekonstrukce těchto fází pomocí poměrů těžkého a lehkého izotopu

kyslíku ^{18}O : ^{16}O ve schránkách mořských mikroorganismů za posledních 5 milionů let ukázala, že v počátcích kvartéru bylo střídání velmi nepravidelné s chladnými cykly délky zhruba 41 000 let, v posledním milionu let se však postupně ustálilo přibližně pravidelné střídání dlouhých chladných cyklů (doby ledové, glaciály) trvajících zhruba 100 000 let a kratších dob meziledových (interglaciály).



Periodické změny excentricity oběžné dráhy Země kolem Slunce, sklonu zemské osy a precese podmiňují periodické změny globálního klimatu. Nazýváme je Milankovičovými cykly ↑



Křivka poměru hlubokomořského ^{18}O ze schránek dírkoňoščů pro posledních 5 milionů let. Je na ní vidět postupné ochlazení před 2,6 milionu let (začátek kvartéru) a také výrazné střídání glaciálů a interglaciálů v posledních stovkách tisíc let. Upraveno podle Lisiecki a Raymo (2005) ↑



Globální klima

bylo a je závislé na složitém systému mnoha faktorů. Uplatňují se zde různé **zpětné vazby**. Například tající ledovce mohou urychlit oteplení v konkrétní oblasti, protože odkryté horniny nebo moře více pohlcují sluneční záření a tak se rychleji oteplují, zatímco ledová plocha ho odráží zpět do atmosféry. Čím menší tedy bude plocha pokrytá ledovcem, tím méně záření se odráží zpět. To je příklad pozitivní zpětné vazby, která urychluje počáteční trend. Opačným příkladem může být odlamování kusů ledovce nebo přítok chladné vody při tání do moře. Tím dochází k ochlazení mořské vody a může dojít naopak k ochlazení klimatu. Zde hovoříme o negativní zpětné vazbě, která zpomaluje nebo tlumí původní trend. Podobných složitých vazeb fungovalo nebo fungují stovky.

Mořské izotopové stupně

(anglicky Marine Isotope Stages – MIS) jsou používány k rekonstrukci teplotních podmínek v minulosti. Zaznamenávají se jako poměr dvou izotopů kyslíku: izotopu kyslíku ^{16}O a izotopu kyslíku ^{18}O . Jako nosič tohoto záznamu slouží schránky dírkonošců (*Foraminifera*) v hlubokomořských sedimentech, které v jednotlivých vrstvách obsahují právě různé poměry $^{18}\text{O}:$ ^{16}O . Na základě tohoto záznamu sestavily americké oceánografky Lorraine Lisiecki a Maureen Raymo v roce 2005 souvislou křivku poměru $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ a tedy i relativní rekonstrukci teplejších/ chladnějších období sahající až přes 5 milionů let do minulosti. Izotopy kyslíku ^{18}O a ^{16}O jsou uloženy také v ledovcových vrstvách antarktického a grónského ledovcového štítu. Z těchto lokalit jsou však záznamy podstatně kratší a slouží maximálně k upřesnění rekonstrukce klimatických podmínek posledních glaciálů.

Termohalinní výměník

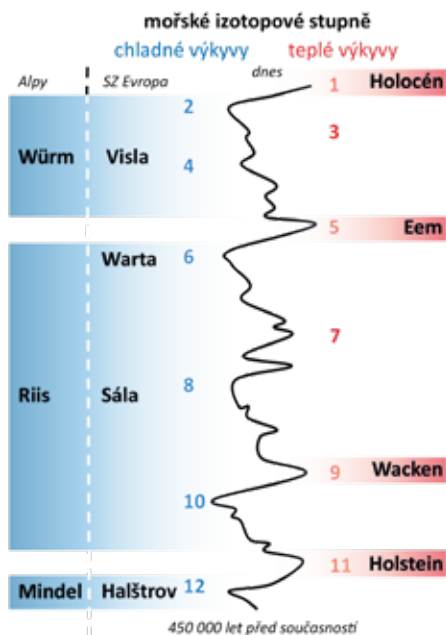
je složitý systém mořských proudů o různé salinitě a teplotě v různých hloubkách oceánu, který zásadně ovlivňuje klima naší planety. **Severoatlantský proud**, který přivádí teplejší vody v rámci Atlantského oceánu na sever a na němž je zásadně závislé klima v Evropě, je jeho nedílnou součástí. Současná konfigurace kontinentů a oceánů, a tedy i mořských proudů, umožňuje fungování Milankovičových cyklů a s tím spojené střídání glaciálů a interglaciálů.



Systém hlubokých chladných a mělkých teplých proudů je rozptřeno napříč oceány a tvoří klíčovou složku fungování klimatu na naší planetě ↗

GLACIÁLY A INTERGLACIÁLY

Naše planeta zažila během kvartéru zhruba 50 dob ledových, ale pouze sedm posledních trvalo zhruba sto tisíc let. Oddělující interglaciály trvají nižší desítky tisíc let a v jednom z nich, holocénu, právě teď žijeme. Jednotlivé glaciály nazýváme různými názvy, které obvykle odrážejí místo maximálního dosahu ledovců, ať už horských, či kontinentálních. V našem prostoru je nejznámější členění z Alp z konce 19. století. Poslední 4 glaciály se nazývají günz, mindel, riss a würm. Podle dosahu fennoskandinávského ledovcového štítu do prostoru dnešního severu Německa a Polska rozlišujeme názvy posledních glaciálů jako halštrovské (Elster), sálské (Saale) a viselské (Weichsel) zalednění. Existuje však celá řada dalších místních označení, například z oblasti východní Evropy nebo Severní Ameriky. Přestože se s těmito názvy můžeme často setkávat v různých populárně-naučných publikacích, častěji se dnes jednoduše používají pro jednotlivé fáze čísla takzvaných mořských izotopových stupňů.



Poslední glaciály a interglaciály a jejich názvosloví vztahené k mořským izotopovým stupňům 12–1 ↑

Poslední doba ledová

Poslední glaciál označovaný jako würmský či viselský, zahrnující MIS 4 a 2, trval zhruba od 115 tisíc let před současností do 11 700 let před současností a následoval po relativně



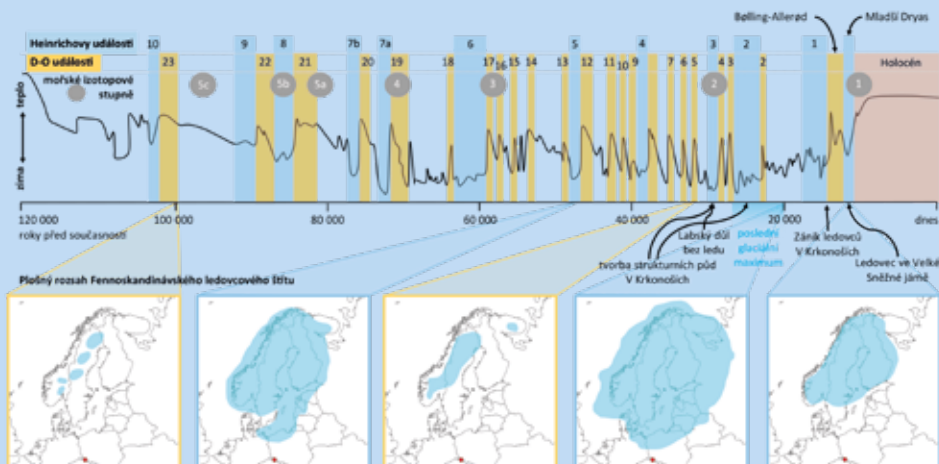
Globální rozsah ledovců v období posledního maxima zalednění, tedy zhruba před 20 tisíci lety; Krkonoše – červený bod ↑

teplém eemském interglaciálu trvajícím zhruba 15 tisíc let. Přestože glaciál trval více než 100 tisíc let, nelze jej vnímat jako klimaticky setrvalé chladné období se stabilními ledovci. Ba naopak! Vrty z grónského i antarktického ledovce jasně ukazují, že teplota byla velmi nestabilní. Suchozemské uložení totiž nezachycují kontinuálně všechny studené a chladné výkyvy. Celkem je známo přes 20 takzvaných Dansgaard-Oeschgerových událostí, což byla výrazná oteplení. Při těch nejteplejších dokonce globální teplota dosahovala téměř dnešních interglaciálních hodnot. Takovým obdobím říkáme interstadiály. Naopak ta nejchladnější období označujeme jako stadiály (často uváděné a číslované také

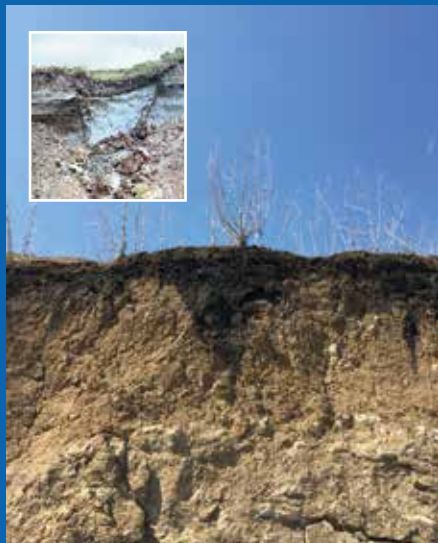
jako Heinrichovy události). To je však řeč pouze o teplotě. Logicky se velice dynamicky měnily i srážky, což mělo spolu s teplotou zásadní vliv na bilanci ledovců.

V našem prostoru hrála nejvýznamnější roli dvě obrovská ledovcová tělesa, a sice fennoskandinávský ledovcový štít na severu a horské zalednění Alp na jihu. Přestože odolnost tak velkých ledových těles vůči změnám klimatu je značná, existují důkazy o tom, že oba ledovce během posledního glaciálu několikrát ustoupily do svých center, a naopak postoupily do násobně větších rozměrů. Důkazem je například datování stárí morén ve Skandinávii, na Britských ostrovech a v Alpách. Rovněž pylové analýzy a analýzy makrozbytků rostlin či kosterní pozůstatky zvířat dokládají jejich měnící se rozšíření. Pro naše území byla důležitá dvě výrazné chladná období: před zhruba 65 000 lety (MIS 4), kdy se poprvé horské skandinávské ledovce změnilly v souvislý kontinentální ledovec, ale ten dosáhl pouze do prostoru dnešního Baltského moře. Druhé období

bylo zhruba před ca 28 000 až 15 000 lety (MIS 2). Předcházelo mu období, kdy byly hory ve Skandinávii pod 1 500 m bez ledu. Poté znovu rychlá změna klimatu vedla ke vzniku rozsáhlého fennoskandinávského ledovce, který postoupil přes Balt až do středoněmeckých a polských nížin, zhruba na úroveň Poznaně. Zalednění Alp při svém maximu sestoupilo zhruba k Mnichovu. V předchozím glaciálu (sálském či risském, MIS 6) dosáhl fennoskandinávský ledovec dokonce úrovně dnešního města Jelení Hory na severním úpatí Krkonoš! Ve frýdlantském výběžku a u Ostravy pronikl i hlouběji na naše území. Prostor Českého masivu v maximech zalednění tak představoval zhruba 300 km široký nezaledněný koridor, v posledním maximu zalednění (MIS 2) zhruba 500 km široký. Není to tak ale doslova. Horské masivy jako Vogézy, Černý les (Schwarzwald), Harz, Šumava či právě Krkonoše hostily v nejchladnějších obdobích také ledovce, byť podstatně menší. Západovýchodní gradient daný zvyšující se kontinentalitou (a tím menším množstvím srážek) zapříčinil, že zatímco



Průběh posledního glaciálu byl velmi dynamický, jak dokazuje křivka dat ^{18}O odpovídající výkyvům teploty na severní polokouli z vrtnu v grónském ledovci. Podobně dynamicky se měnil i plošný rozsah fennoskandinávského ledovcového štítu (Krkonoše – červený bod) ↑



Spraše se u nás ukládaly v chladných a srážkově slabých vrcholech stadiálů. Jsou tvořeny navatým vápniťým jemnozrnným prachem a jsou na nich rovněž vyvinuty neúrodnější černozemní půdy. Mrazové klíny vznikaly v období, kdy byl u nás permafrost. Byly vyplněné ledem a později hlinitým nebo jiným materiálem (fotografie z pískovny u Podbořan). Ve výřezu je dnes aktivní mrazový klín z Aljašky vyplněný ledem. Foto: D. Krause (výřez ccin.ca) ↑

Vogézy a Černý les byly v maximu zalednění pokryty plošným horským ledovcem s dlouhými splazy do údolí, Krkonoše měly pravděpodobně podstatně menší objem ledu v izolovaných karech a údolích. Je důležité zmínit, že vlivem velkého objemu vody v ledovcích byla podstatně níže i hladina oceánu, a to až přes 100 m. Z Krkonoš směrem na západ to bylo k Atlantiku zhruba 1 500 km, zatímco z Vogéz „jen“ 700 km! Není tak těžké si představit, jak srážkově chudé podnebí muselo ve vrcholu posledního glaciálu vládnout ve střední Evropě. I v nejnižších polohách Čech a Moravy byla trvale zmrzlá půda o mocnosti až stovek metrů a dodnes se z té doby dochovaly důkazy pro tehdejší na permafrost vázané fenomény, například mrazové klíny, jejichž aktivní formy můžeme najít v polárních oblastech v severní Kanadě či na Sibiři. Ty vznikly popraskáním půdy vlivem mrazu a vytvořily síť polygonů, které byly vyplněny ledem a později jiným materiálem. Dodnes jsou tyto polygony i u nás pozorovatelné na leteckých snímcích. Dalším význam-



Stopy po polygonech mrazových klínů z doby ledové najdeme v naší krajině dodnes. Na jaře jsou viditelné jejich síť z ptačí perspektivy díky odlišné rychlosti růstu vegetace na sítích a mimo ně. Nejblíže Krkonošim byly mrazové klíny identifikovány u Zálesní Lhoty (jak je vidět na snímku Google Earth). Ve výřezu aktivní síť polygonů mrazových klínů z Aljašky, Foto: C. Zimmerman – USGS.gov ↑

ným fenoménem jsou spráše – mocné jemnozrnné uloženiny, které uložil vítr ve velmi suchých a chladných podmínkách glaciálů. Dokladem intenzivního působení větru v suchém chladném prostředí jsou také hrance – úlomky hornin obroušené větrem hnaným pískem či ledovými krystaly, často nacházené např. v okolí Hradce Králové nebo Jeseníku.

KRKONOŠSKÉ LEDOVCE

V době významných výzkumů ledovců v Alpách působil v Krkonoších rodák ze Sklářské Poruby Josef Partsch, který zde v 90. letech devatenáctého století provedl první systematický popis stop zalednění. Od jeho dob se základní poznání nezměnilo, pouze došlo k řadě upřesnění o rozsahu ledovců, které po sobě v terénu Krkonoš zanechaly stopy. Zásadním faktorem rozmístění ledovců v Krkonoších byly takzvané anemo-orografické systémy (větrohoropisné systémy). Stejně jako dnes i během vlhčích fází glaciálů převažovaly západní směry větru. Krkonoše mají díky své geologické stavbě několik údolí v přibližně západovýchodním směru (např. Mumlava, Bílé Labe) a vrcholové zarovnané povrchy. Západní větry byly a dodnes jsou při povrchu usměrňovány právě výše zmíněnými údolními. V prostoru vrcholových plošin zesilující vítr unáší sněh, který se následně usazuje v závětrných údolních uzávěrech. Dnes tak vznikají v karech převěje, které tvoří základ sněžných lavin, ovšem v glaciálech byl takto transportován sněh do prostorů, kde se měnil v led, a ledovce pak samotné kary vyhloubily. Jelikož byly Krkonoše během posledního glaciálu srážkově chudé (ačkoliv se střídala sušší a vlhčí období), právě činnost větru, díky němuž vznikaly mohutné závěje i při relativně nízkých sněhových srážkách, byla naprosto klíčová pro vznik ledovců.

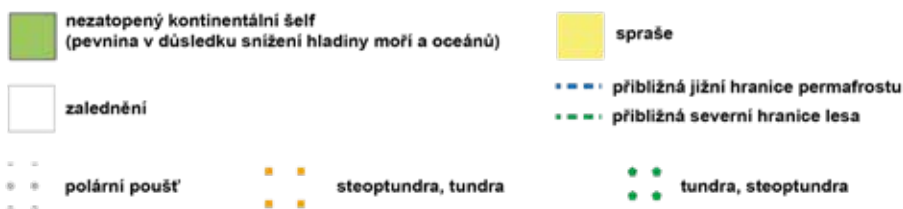
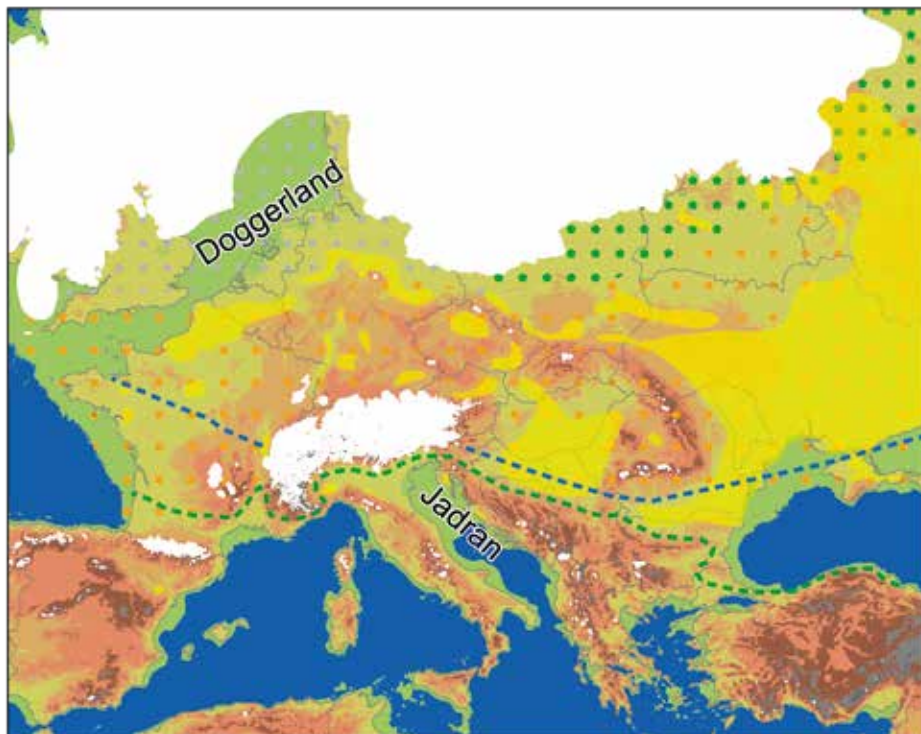


Hrance jsou úlomky hornin (kameny) jejichž tvar, speciálně plochy a hrany jsou výrazně obroušeny vlivem vnějších podmínek. Především větrem unášených (hnaných) zrn písku nebo ledových krystalů. Vznikají v pouštích podmínkách – ať horkého či mrazivého klimatu. Nálezy na našem území jsou dokladem těchto podmínek v minulých geologických obdobích. Z chladných období dob ledových pocházejí jejich nálezy např. z Polabí, kde jsou zachovány váté písky, nebo ze Šluknovského výběžku, Jesenícka, Moravské brány, kam byly do předpolí fennoskandinávského ledovce dopraveny at ledovou masou či tavnými vodami kusy hornin tzv. souvky a následně větrnou činností opracovány do podoby hranců. Některé kusy sem dopravených hornin pocházejí až ze Skandinávie. Na fotografii z výstavy Pouště světa doc. Sekyry v Rokytnici nad Jizerou jsou ukázky dokonale i méně výrazně opracovaných hranců jak z horkých pouští (Sahara), tak z Polabí i Jesenícka.

Foto: M. Kociánová ↑

Všechny krkonošské kary jsou proto orientovány k východu, jihovýchodu nebo severovýchodu, žádný k západu. Zejména ty kary, které jsou orientovány k jihovýchodu a jsou tak velmi osluněné, krásně ilustrují klíčovou úlohu větru. Lokality ledovců v Krkonoších tedy jsou: Kotel Szrenice, Kotel (Malá a Velká Kotelní jáma), Labský důl, Malá a Velká Sněžná jáma, Černá Sněžná jáma, Kotel Velkého rybníka a Kotel Malého

Situace ve střední Evropě během posledního maxima zalednění byla úplně odlišná od stavu v dnešní době. Velká část střední Evropy byla pod ledem nebo na permafrostu, krajina vypadala zcela jinak. Podle Lehmkuhl a kol. (2021) ↓



rybníka, Biały Jar, Obří důl, Velká a Malá Studniční jáma, Kotel Lomničky, Vlhký důl, Vlčí jáma, Dvorský kotel a Vasova jáma. Nejdelší splazy (až 5 km) byly v Labském dole a Obřím dole, ostatní ledovce dle dochovaných stop v podobě morén zůstaly v karech nebo měly jen krátké splazy do navazujících údolí. Samostatnou otázkou je zalednění vrcholových zarovnaných povrchů, jako je například Bílá louka nebo okolí Labské boudy.

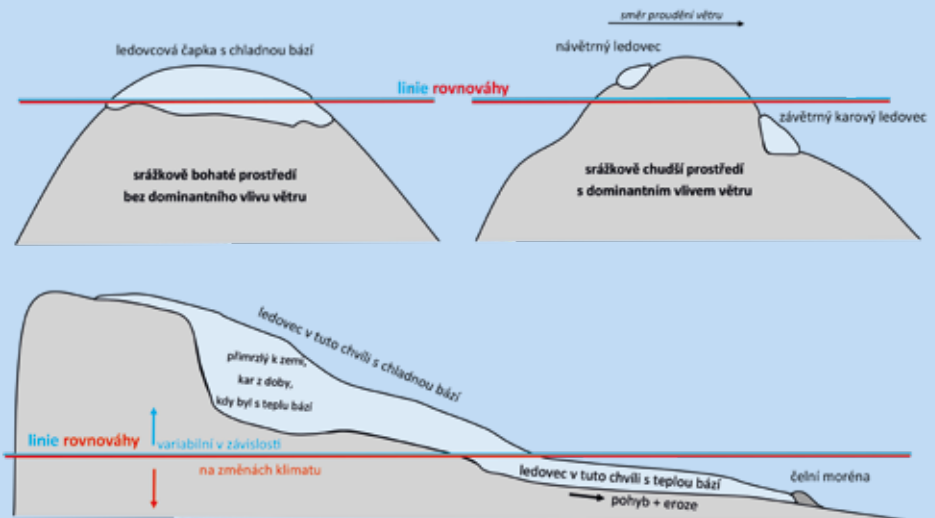
Pro potvrzení existence takových ledovců dodnes nemáme přesvědčivé stopy.

Samotné kary jsou různě hluboké a ukazují tak na různou dobu, kterou v nich ledovec erozně působil. Nejdokonaleji vyvinuté jsou obě Sněžné jámy. Důvodem je mimo jiné i to, že jsou na severním svahu dobře zastíněné. Naopak v jihovýchodně orientovaných Kotelních jámách ledovec



Jak fungují horské ledovce a jaké jsou jejich stopy?

Ledovec vzniká postupným sesedáním akumulovaného sněhu v horských oblastech tam, kde to dovolují klimatické podmínky – tedy tam, kde v létě nedochází k jeho odtání. Dlouho ležící sněh se postupem času mění na firn a posléze ledovcový led. Hmota ledu neustále přibývá nad určitou výškovou úrovní, kterou nazýváme **linie rovnováhy** (mnohdy bývá nepřesně nazývána jako sněžná čára). Ta není stálá v prostoru a čase a relativně dynamicky se vyvíjí se změnami klimatu. Rozlišujeme dva typy ledovců. Ledovce s chladnou bází jsou přimrzlé ke svému podloží, nepohybují se a nepůsobí erozně na své podloží. Ledovce s teplou bází ke svému podloží přimrzlé nejsou, vykonávají pohyb a také významnou erozní činnost. Právě takové vytvářejí **kary**, což jsou amfiteatrální deprese, obvykle v původních údolních uzávěrech, a **trogy**, což jsou ledovcová údolí přemodelovaná z původního příčného profilu ve tvaru písmene V do tvaru písmene U. Pohybující se ledovec odlamuje a unáší balvany a další materiál ze svého podloží. Veškerý transportovaný materiál je ukládán v podobě bočních, spodních a čelních **morén**, tedy valů nevytříděného materiálu, které mohou mít výšku až 100 metrů a na kterých jsou často horninové bloky s průměrem i přes 5 metrů. Tak jak se měnilo klima, ledovce postupovaly, nebo naopak ustupovaly. Proto je situace s morénami velice komplikovaná. Po úplném ústupu ledovců jsou jimi vytvořené tvary také postihovány řadou dalších procesů. Mezi ně patří mury (zemní laviny), skalní říčení nebo sněhové laviny v karech, které erodují stěny karů a transportují materiál na jejich dna. Morény jsou zase erodovány vodními toky a jsou rovněž místně postiženy svahovými procesy, jako jsou sesuvy.

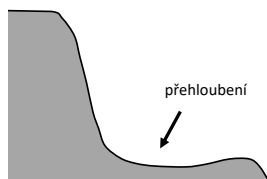


Modelový příklad různého rozmístění a typů horských ledovců ve vztahu k linii rovnováhy. Jedná se o podélné profily ↗



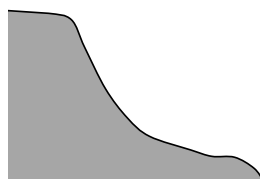
Kar

je amfiteatrální deprese velkých rozměrů, nejčastěji se skalními stěnami a v dokonalé formě s plochým dnem. Výška karové stěny je obvykle 100 a více metrů a zhruba odpovídá mocnosti ledu při největším rozsahu příslušného ledovce. Kary jsou vytvářeny po tisíce let činností ledovce s teplou bází, který zde působí svým tlakem a rotačním pohybem. Klíčová je ve vývoji karu úloha trhlin v ledu, především trhlin mezi ledem a karovou stěnou. Při tání do nich zatéká voda a ta opět zmrzne. Mrazovým zvětřováním je tak dotvářena strmá stěna karu. Podle tvaru rozlišujeme celou řadu stupňů vývoje, které odrážejí délku erozního působení ledovce – od slabě vyvinutých karů po velice dobře vyvinuté kary.



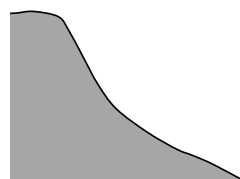
dobře vyvinutý kar

dlouhé trvání ledovce v minulosti



středně vyvinutý kar

středně dlouhé trvání ledovce v minulosti



slabě vyvinutý kar

krátké trvání ledovce v minulosti

Podle toho, jak dlouho ledovec v karu erozně působil, rozlišujeme několik typů karů podle dokonalosti jejich tvaru. Jedná se o podélné profily ↑

Velká a Malá Sněžná jáma na polské straně Krkonoš (vpravo) patří mezi nejdokonaleji vyvinuté kary v Evropě. Černou Sněžnou jámu (vlevo) můžeme označit jako středně vyvinutý kar. Foto: Kamila Antošová





Kryoplanační terasy Lučnické hory snesou srovnání s těmi, které nalezneme ve Skandinávii nebo na Severním Urale. Foto: D. Krause

dodnes – jedná se o putující bloky, soliflukční laloky, nivační deprese nebo malé tříděné kruhy.

Kryoplanační terasy patří zřejmě hned po karech v krajině mezi nejnápadnější stopy po dávno minulém chladném klimatu. Přesný způsob vzniku obřích schodovitých struktur, které jsou v nejdokonalejší formě vyvinuty na svazích Lučnické hory, je stále opředěn otázkami. Vědci na jejich objasnění dnes pracují například na Aljašce. Jisté je, že jejich výskyt je vázán na permafrost a vznikají dlouhodobě za přispění cyklů mrznutí a tání aktivní vrstvy. Materiál je transportován směrem po svahu, roli hraje i mrazové třídění. Kromě Lučnické hory najdeme fosilní kryoplanační terasy na mnoha místech Krkonoše, například na Vysokém kole, Kotli,

ale i v nižších a dnes zalesněných polohách, například na Kapradníku nebo na Šeříně.

Soliflukční laloky, které můžeme najít například na svazích Lučnické či Studnické hory, ale i níže v lese, například na svazích Liščí hory, vznikly zejména v aktivní vrstvě. Proces soliflukce (půdotoku), který je závislý na obsahu vody ve zvětralíně a v půdě, byl v glaciálu aktivní i na relativně málo ukloněných svazích. Některé soliflukční laloky (jazyky) jsou dodnes v pohybu. Není to ale zdaleka rychlý pohyb – maximálně v řádu jednotek centimetrů za rok. Na některých místech se místo relativně úzkých laloků vytvořily i široké soliflukční stupně. Pokud je materiál laloků tvořen většími kameny, hovoříme o **blokových lalocích** – ty můžeme pozorovat například na jižních svazích Vysokého kola.



Jižní svahy Vysokého kola pokrývají plošně suťovité soliflukční laloky. Foto: K. Antošová ↑



Fosilní soliflukční lalok na svahu Liščí hory najdeme dnes v lese. Foto: D. Krause ↑

Tříděné strukturální půdy vznikají takzvaným mrazovým tříděním. Voda při zmrznutí zvětšuje svůj objem o 9 %. Vzniklý led tak vytlačuje okolní úlomky horniny. Jelikož se více vody váže logicky na jemnozemi, jsou časem při opakování promrzání a rozmrzání kameny pěkně vytříděny, a to jak v hloubce, tak na povrchu. V procesu, který stejně jako u kryoplanačních teras trval tisíce let, tak vznikly více či méně pravidelné **polygony, sítě** či **kruhy**. Na svazích přecházejí vlivem soliflukce ve spádnicové **pruhy**. Dnes jsou strukturální půdy často překryté půdou a zarostlé travní a bylinnou vegetací, takže je můžeme pozorovat ve formě kopečků nebo brázd.

Pouze na několika dodnes vyfoukávaných místech (kde je hodně sněhu, zem opakovaně nepromrzá) v oblasti Modrého sedla a Luční hory mrazové třídění stále probíhá a vznikají malé tříděné kruhy. Velké sítě tříděných polygonů vznikly dle zjištění geomorfologů z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v posledním glaciálním maximu.



Putující blok na Čertově louce. V pozadí jsou vidět další.
Foto: D. Krause ↑

Putující bloky jsou velké balvany ve svahu, které se velice pomalým tempem (milimetry za rok) pohybují po spádnici. Svou práci odvádí takzvaný jehlový led, který vzniká zejména na jaře při častém promrzání a rozmrzání půdy. Takový led je schopen blok lehce nadzvednout. Zároveň se blok snadno posune po vodou nasycené půdě při tání. Putující bloky před sebou hrnou malý val, za sebou vytvářejí brázdu. Vyskytují se ve vrcholovém bezlesí Krkonoš na mnoha místech – největší množství je na Čertově louce.

Tříděné polygony na Luční hoře. Foto: D. Krause





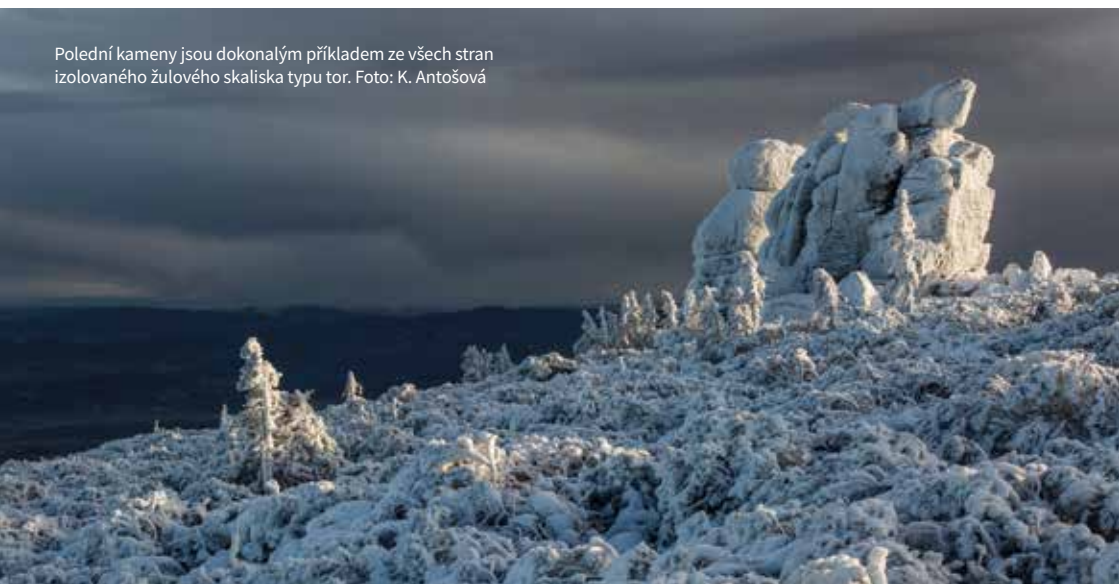
Nivační deprese na severním svahu Luční hory je jedním z míst, kde v Krkonoších vydrží sníh až do léta. Foto: D. Krause ↗

Nivační deprese nebo **výklenky** jsou relativně malé amfiteatrální formy v závětrných místech, kde se ukládá sníh transportovaný větrem. Ten na podloží působí jak svou hmotností, tak zejména vlivem tavné vody v období tání. Drobné nivační deprese (na příklad pod Luční boudou na březích Bílého Labe) se neustále vyvíjejí, větší (jako například na svazích Luční hory) jsou fosilní.

Mrazové sruby jsou skalní výchozy ve svazích, které byly formovány intenziv-

ním mrazovým zvětráváním v glaciálu. Voda zatékající do puklin má při promrznání schopnost skalní masiv rozrušovat. V malé míře probíhá mrazové zvětrávání i v dnešních klimatických podmínkách. Setkáme se s nimi prakticky všude v Krkonoších, a to jak na žule, tak na ostatních krystalických horninách. Speciální kategorií jsou takzvané **tory**, což jsou skaliska izolovaná ze všech stran, obvykle ve vrcholové poloze. Nejvíce jich nalezneme v žule, například Mužské a Dívčí kameny na Slezském hřbetu.

Polední kameny jsou dokonalým příkladem ze všech stran izolovaného žulového skaliska typu tor. Foto: K. Antošová



Vývoj přírody v glaciálu v souvislostech

O konkrétní podobě Krkonoš a jejich okolí v období vrcholného zalednění toho moc nevíme – nedochoval se prakticky žádný sedimentární záznam. Je zřejmé, že ledovce nepokrývaly celé pohoří. Tundrová vegetace musela připomínat prostředí dnešní Subarktidy až Arktidy.

Drastické změny klimatu během glaciálů a interglaciálů vedou k oprávněné spekulaci, jak a kde přežívaly teplomilné organismy během studených období a stejně tak chladnomilné druhy během teplých dob meziledových. Takzvaná refugia a migrační cesty, kterými cestovaly rostliny a živočichové po odeznění pro ně nepříznivých podmínek, měly podstatný vliv na složení a formování holocenní fauny. Refugia nebyla situována pouze ve střední a jižní Evropě (zejména Pyrenejský, Apeninský a Balkánský poloostrov), ale také ostrůvkovitě

v samotné zaledněné Skandinávii. Zejména časoprostorové uspořádání lesních porostů a bezlesí je často předmětem diskusí. Naznačenou problematikou se zabývá řada odborníků. Během glaciálů ustupovala teplomilná květena na jihozápad, východ a jihovýchod Evropy, přičemž v místě svého původního výskytu byla obvykle nahrazena alpskou a arktickou květenou. V nezaledněných oblastech vznikaly studené kontinentální stepi nebo tundra, kde také přežívaly některé odolné dřeviny jako bříza nebo borovice. Rostlinné a živočišné taxony se lišily v rychlosti a směru svých migrací do refugií během glaciálů a následně zpět při otepleních. Během zpětné kolonizace docházelo mezi druhy často ke konkurenci o nově obsazované biotopy. V průběhu migrací se stýkaly příbuzné druhy, které byly dříve odděleny v prostoru, což vedlo k vzájemným hybridizacím mezi druhy.



Předpokládané nunatky (nezaledněné vrcholy hor, respektive ostrovy v ledovci) při maximálním zalednění fennoskandinávským ledovcovým štítem v oblasti dnešního města Tromsø a okolí v Norsku mohly představovat drobná refugia (červeně). Podle Sveian (2004) ↑

OBDOBÍ PŘED MAXIMEM POSLEDNÍHO ZALEDNĚNÍ (115–27 TISÍC LET PŘED SOUČASNOSTÍ)

Krajina Evropy

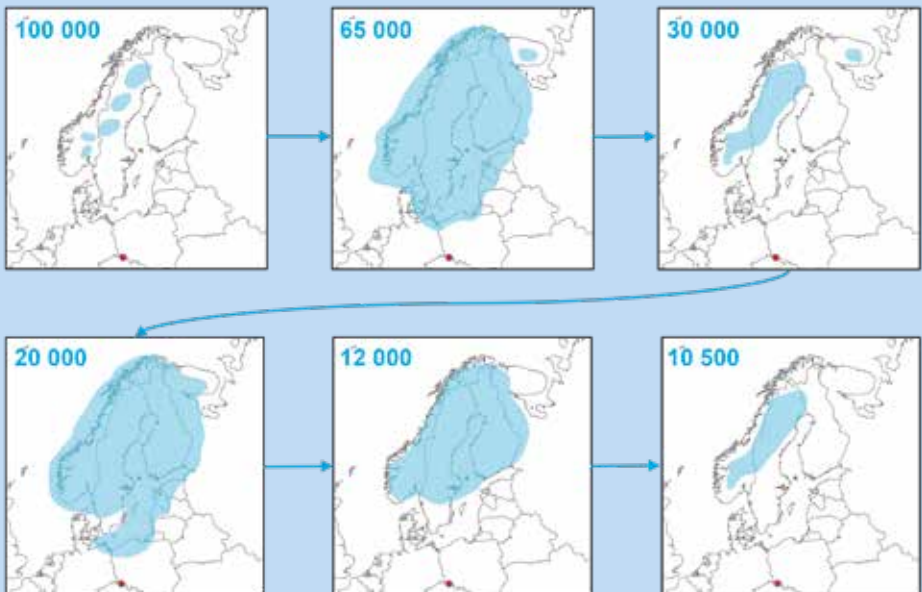
Začátek posledního glaciálu do ca 73 tisíc let před současností je popisován jako poměrně mírný a studený s teplejšími a chladnějšími výkyvy (již výše popsané chladné Heinrichovy a teplé Dansgaard-Oeschgerovy události).

Pro severoněmeckou nížinu jsou uváděné roční průměrné teploty vzduchu od -1 do -5 °C a krajina měla mít charakter keřové tundry s převládající břízou a vrbami. V závislosti na klimatu se měnil její rozsah, opětovně se šířila otevřená nebo polootevřená krajina, která v nejchladnějších úsecích nabývala

rázu sprašové stepi. Rozsah zalednění Skandinávie na základě datování stop činnosti ledovců velmi kolísal. Největší podle nich nastalo před ca 65 tisíci a 44 tisíci lety, kdy se horské zalednění změnilo v souvislý ledovcový štít zasahující na úroveň jižního okraje dnešního Baltského moře.

V závislosti na výkyvech klimatu a rozsahu zalednění se měnil i rozsah permafrostu od souvislého po sporadický, případně šlo jen o hluboké sezonní promrzání.

To se týkalo i našeho území. Rychlé teplotní výkyvy potvrzují jak izotopová data ^{18}O z grónského ledovce, tak i např. rozšíření fauny, konkrétně dvou nejvýznamnějších velkých savců té doby – mamutů a srstnatých nosorožců, typických obyvatel tzv. „mamutích stepí“.



Fennoskandinávský ledovcový štít během posledního glaciálu výrazně opakovaně rozšiřoval a redukoval svůj rozsah i objem; čísla odpovídají přibližně rokům před současností. Krkonoše – červený bod. Podle Olsena (2013) ↑



Výskyt mamuta v období zhruba před 44 000 lety (modře) a v teplejším období zhruba před 38–28 tisíci lety (oranžově). V teplejším období se mamut vyskytoval i ve Skandinávii, kam v chladnějších obdobích nemohl kvůli ledovcovému štítu (jeho maximální rozsah v daném období je vyznačen přerušovanou bílou čarou).
Podle Markova a kol. (2013) ↑

Krajina Čech, Moravy a Slovenska

V chladných výkyvech se na příhodných místech tvořily mrazové klíny, projevovalo se mrazové zvětrávání hornin, mrazové stékání půdy, působila větrná eroze. V periodách teplejšího a vlhčího podnebí se v suchých teplých oblastech tvořily černozemní stepi, zatímco ve vlhčích oblastech (například v Moravském krasu) tajgové lesní formace, kde mohly přežívat



i odolnější lesní prvky. Pověštinu času má krajina mozaikovitý ráz. Pylové analýzy paleoekoložky Vlasty Jankovské z moravských lokalit u obce Jablůnka (mezi Vsetínem a Valašským Meziříčím), z Týnu nad Bečvou a slovenské Šafárky u Spišské Nové Vsi poskytly obraz vývoje vegetace od více jak 55 000 let před současností do současnosti. Východní část Moravy měla obdobný vegetační charakter jako slovenské Karpaty. Před zmíněnými 55 000 lety zde panovalo chladné kontinentální klima, otevřená krajina s porosty modřinu, borovice limby, příměsí borovice lesní a stromových bříz. Obdobou je dle vlastních terénních výzkumů Vlasty Jankovské současná krajina lesotundry západní Sibíře na polární hranici lesa nebo na alpské hranici lesa Polárního Uralu. Při mírném klimatickém zlepšení se v porostu více objevovaly stromové břízy.



Mapa lokalit, kde byly provedeny paleoekologické analýzy V. Jankovské zasahující až do období před posledním glaciálním maximem ↑



Současná krajina Polárního Uralu s porosty modřinu na horní i polární hranici lesa přibližně odpovídá představě o krajině v Karpatech v popisovaném období. Foto: V. Jankovská ↑

Fauna

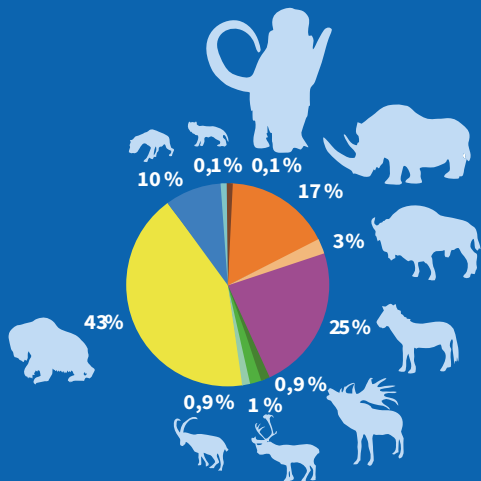
V nejchladnějších obdobích dominovala fauna tajgy, stepi a tundry – lumík norský, svišť horský, lev jeskynní, medvěd hnědý, pratur, divoký kůň, bizon pravěký, pižmonh severní, sob polární, mamut srstnatý, nosorožec srstnatý, jelen obrovský nebo medvěd jeskynní.

O složení fauny v období posledního glaciálu vydávají svědectví zbytky mikrofauny (např. hmyzu, měkkýšů) a kosti malých i velkých obratlovců, zachovalých ve vrstvách spraší či sedimentu v jeskyních. Tak byla například provedena rekonstrukce fauny z oblasti z Českého krasu.

Faunu teplejšího období tohoto glaciálu před ca 31 000 lety v oblasti Litovelského Pomoraví přibližují nálezy z Mladečských jeskyní. Žil tam pratur, zubr, sob polární, medvěd jeskynní, lev jeskynní, liška polární, mamut, nosorožec srstnatý, divoký

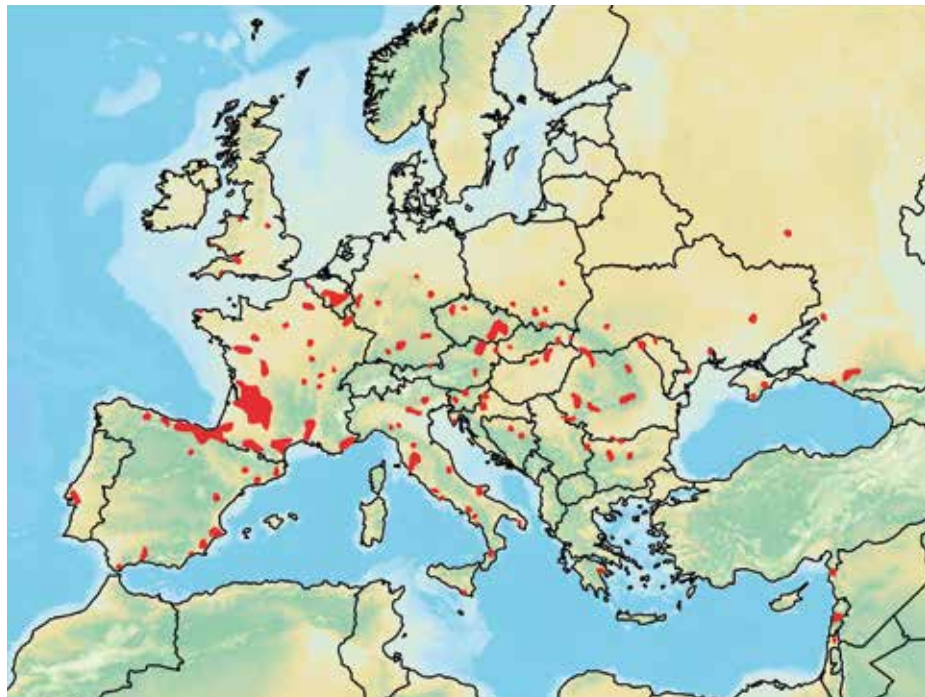
kůň (později domestikovaný), a to spolu s druhy vyskytujícími se na našem území i dnes (jezevec, bobr, vlk, krtek, netopýr ušatý a pestrý či různé druhy hadů). Faunu severovýchodní části sudetské soustavy dokládají nálezy z Medvědí jeskyně u obce Kletno na polské straně masivu Králického Sněžníku. Podobný potenciál byl vkládán do nálezů kostí medvěda v Medvědí jeskyni ve Svobodě nad Úpou. Později se však ukázalo, že nešlo o kosti medvěda jeskynního z glaciálu, ale mnohem mladší ostatky medvěda hnědého. V teplých obdobích sobi nemigrovali, tak jak se to děje dnes například na Aljašce. U mamutů byla částečná migrace, kdy samice s malými mláďaty zůstávaly na místě a část stáda migrovala směrem k jihu. V tomto období již také docházelo k prvním pokusům o domestikaci psa, na našem území například na lokalitě Přerov-Předmostí, dokladem je též sedm koster psovitých šelem pohřbených záměrně na lokalitě Pavlov.

Využití kostního materiálu ke zjištění potravního řetězce



Složení megafauny (dle Diedricha a Žáka, 2006). Kruhový diagram se zastoupením pleistocenní fauny v potravě hyeny jeskynní v dnes již zaniklé Svatoprokopské jeskyni v pražském Prokopském údolí.

43 % medvěd jeskynní
25 % kůň Převalského
17 % nosorožec srstnatý
10 % hyena skvrnitá jeskynní
3 % bizon pravěký
1 % jelen evropský
0,9 % veledaněk
0,9 % kozorožec horský
0,1 % lev jeskynní
0,1 % mamut srstnatý



Osídlení Evropy v čase kultury aurignacií, zhruba před 30 000 lety . Podle Sveian (2004) ↑

Osídlení

Stopy po výskytu člověka nalézáme v tomto období převážně v jižní a střední části Evropy. Doložena je odtud existence z lovecko-sběračských kultur, jejichž obživa spočívala v lovu divokých zvířat a sběru planých rostlin. Převažující kultura té doby je označována jako aurignacií. DNA studie kosterních pozůstatků člověka z jeskyní na Altaji, ve Španělsku a Chorvatsku publikované v roce 2016 dokládají, že k „promíchání“ genů neandertálců a moderního člověka došlo již před 100 000 lety. Dosud uváděné období příchodu moderního člověka do Evropy před ca 45 000 lety se tak posouvá mnohem hlouběji do minulosti. Nejstarší důkaz přítomnosti neandertálců ve střední Evropě je založen na datování části kostí nalezených v jeskyních Hohlenstein-Stadel v Německu a Scladina v Belgii

a odpovídá době zhruba před 80 000 lety. Nejstarší skalní malby nalezené v jeskyni La Roche-Cotard 240 km jihozápadně od Paříže byly nedávno datovány zhruba na 75 000 let před současností. Na našem území je doloženo působení neandertálců dle nálezů například v jeskyních Švédův stůl a Kůlna v Moravském krasu (zhruba před 90 000 lety), Jislově jeskyni u Malé Skály v Českém ráji (před ca 50 000 lety) nebo Zlatý kůň v Českém krasu (45 000 let před současností).

Přítomnost moderního člověka je doložena z Mladečských jeskyní v Moravském krasu (31 000 let před současností) a v jeskyni Šípka u Štramberku (32 000 let před současností). Počet obyvatel Evropy v době před 30 000 lety je odhadován na ca 330 000.



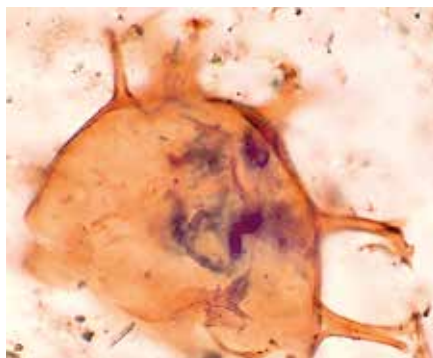
Meandry na dně Labského dolu v místě, kde po ústupu ledovce rozprostíralo jezero. Foto: K. Antošová



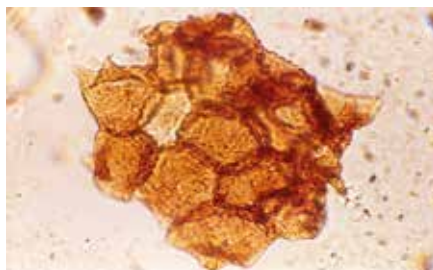
V roce 2004 byl v závěru **Labského dolu** geografi z Univerzity Karlovy (Zbyněk Engel, Marek Křížek, Václav Tremel) nalezen a spolu s paleoekoložkou Vlastou Jankovskou vyhodnocen profil hluboký 15 m, jehož báze je stará zhruba 30 000 let před současností. Analýzy opracování zrn písku z této báze (15 cm mocná vrstva písků, nad nimiž je 24 cm jezerních sedimentů) prokázaly, že v této době (na konci období MIS 3) nebyl Labský důl zaledněn. To odpovídá i rozsahu fennoskandinávského ledovcového štítu, který tehdy pokrýval pouze hory Skandinávie. K postupnému zalednění došlo až na začátku MIS 2, což dokládá přes 2 metry mocná vrstva ledovcových uloženin – diamiktu. Pylové analýzy z tohoto období ukazují na výskyt borovice a břízy. Podstatně méně je zastoupena olše, vrba, lípa, bříza trpasličí, pelyněk nebo pylu šáchorovitých a merlíkovitých. Jezerní prostředí dokládají řasy, zvláště *Pediastrum kawraiskýi*. Popis tehdejšího prostředí (včetně doby ukládání diamiktu) ovšem komplikuje přítomnost pylu třetíhorních rostlin a mořských mikroskopických organismů – obrněnek (*Dinoflagellata*) – v celých 260 centimetrech odebraných vrstev. Pravděpodobné vysvětlení jejich výskytu podal geomorfolog Josef Sekyra: materiál byl pravděpodobně vyvát větrem z třetíhorních uloženin na polském území, neboť tam v třetíhorách zasahovalo moře. V Labském dole se mohl uložit už v některé z epizod, kdy Labský důl nebyl zaledněn, ale především v období zalednění, kdy byl navát na ledovec a s tavnou vodou se následně uložil. Vysvětlení podporují i téměř shodné pylové analýzy z profilu u obce Węglina v SZ Polsku vzdálené 130 km od Labského dolu. Sediment s prvky třetíhorního stáří „promíchaný“ erozní činností související s ústupem skandinávského ledovce se v oblasti Węglina uložil/byl navát v době tání „mrtvého ledu“ před 16 835–15 630 lety.



Ledovcový diamikt: materiál, který byl v profilu v Labském dole uložen ledovcem – jedná se směs jemnozrnné žulové drti, písku a jílu. Foto: Z. Engel ↑



Cysty velkých mořských obrněnek (*Dinoflagellata*), které mají patrně svůj původ až v období třetihor a do Labského dolu byly zaváté větrem ↑



Řasa *Pediatrion kawraiskyi*, jejíž nález v Labském dole potvrzuje někdejší existenci chladného oligotrofního jezera. Obě mikroskopické fotografie: V. Jankovská ↑



Předledovcové jezero Leirpullan ve středním Norsku v NP Dovrefjell je napájeno vodou z jednoho ze splazů ledovce hory Snøhetta. Přibližně podobně mohlo vypadat dno závěru Labského nebo Obřího dolu v dobách jejich částečného zalednění. Foto: M. Kociánová ↑

POSLEDNÍ GLACIÁLNÍ MAXIMUM (27 000–19 000 LET PŘED SOUČASNOSTÍ)

Klima a krajina

Jedná se o nejchladnější úsek posledního zalednění s vrcholem u nás kolem 22 000 let před současností. Pro území dnešní České republiky je odhadována ve vrcholné fázi průměrná roční teplota vzduchu až $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, v nejvyšších polohách Krkonoš až $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dnes mezi $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejvyšší polohy Krkonoš přibližně $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Teplejší podmínky byly na jižní Moravě, kde se průměrné roční teploty pohybovaly okolo $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průměrné zimní teploty dosahovaly hodnot okolo $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, v lednu a únoru až kolem $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dnes leden $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejvyšší polohy Krkonoš $-4,7$ až $-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), letní teploty například pro polské nížiny jsou odhadovány kolem $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Roční průměr srážek byl pravděpodobně velmi nízký, pouhých 100 až 200 mm a spíše v letním období, v horských oblastech 500–700 mm. Sněhová pokrývka i vlivem silných větrů tedy byla velmi nízká. Nad 1 000 m n. m. se proto uvažuje o polární/arktické, subarktické poušti (takový ráz

krajiny přibližují fotografie Josefa Sekyry z Antarktidy). Nad 400–500 m n. m. se rozkládala kamenitá tundra. Permafrost na našem území dosahoval mocnosti od 50 m do ca 200 m, obsah ledu v něm byl v průměru 30 až 40 %, v maximum až 70 %. V suchém (aridním) mrazivém periglaciálním klimatu na příhodných místech po téměř celém území dnešní České republiky mrazové trhliny v půdě vytvářely sítě tundrových polygonů a mrazových klínů vyplněných ledem, později často se sekundární výplní vátých písků. Stopy po nich jsou dodnes viditelné na leteckých snímcích nebo v profilech lomů či pískoven.

Vegetace

Ačkoli se jedná o nejchladnější období poslední doby ledové, rozmanitost naší krajiny a řada relativně krátkodobých klimatických výkyvů umožnila existenci chladných pouští, tundry, stepotundry, stepí, na chráněných místech i stromové vegetace. Výzkumy glaciologů v pobřežních horských oblastech severního Norska ukazují, že vrcholky Skand vyčnívaly nad ledovou masu a mohly představovat refugia pro nižší organismy. Podobně tomu bylo i v Alpách.



Extrémní mrazivé klima v kontinentálních částech Antarktidy je jednou z příčin mrazového zvětrávání hornin a vzniku kamenitých sutí na svazích z ledu vyčnívajících vrcholů antarktických pohoří. Podobným podmínkám byly pravděpodobně vystaveny i nezaledněné části Krkonoš v době posledního glaciálního maxima. Foto: Josef Sekyra, geolog a geomorfolog, účastník geologického mapování horských systémů kontinentální Antarktidy se sovětskou a následně americkou expedicí v sezónách 1967/68 a 1969/70. ↑



Osídlení Evropy během posledního maxima zalednění
(ledovce bílou barvou; podle Svein, 2004 a Ehlers a Gibbard, 2004) ↑

Fauna

V posledním glaciálním maximu byla fauna tajgy, stepi a tundry střední Evropy opět charakterizována druhy typickými pro nejchladnější období glaciálu, jako byli lumík norský, svišť horský, lev jeskynní, medvěd hnědý, pratur, divoký kůň, bizon pravěký, pižmoň severní, sob polární, mamut srstnatý, nosorožec srstnatý, jelen obrovský nebo medvěd jeskynní. U řady z nich se ale populace oproti předchozímu, klimaticky příznivějšímu podnebí výrazně zmenšila. Některé druhy, jako hyena jeskynní a medvěd jeskynní, zcela vymizely. Sobi a mamuti změnilí své chování a začali migrovat mezi předhůřím Alp a Moravou.

Osídlení

Pro období zhruba mezi 30 000 až 19 000 lety, vyznačující se aktivitou lovců mamutů, kteří mamuty lovili na jejich tažných

trasách, byl zaveden souhrnný název gravettien. V rámci něho jsou pak podle lokalit vyčleňovány další fáze osídlení (např. pavlovien, nejmladší willendorf-kostěnkien). Lokality na jižní Moravě – Dolní Věstonice, Pavlov, Petříkovice v severní části Moravské brány – a přilehlé oblasti Rakouska a Polska jsou považovány za centrum tehdy nejrozvinutějších loveckých kultur. Známo je přes 70 lokalit osídlení. Čechy byly ve srovnání s Moravou „na periferii“. Známých je pouze zhruba 20 lokalit. Jedním z důvodů je pravděpodobně i odlišná krajina a klima, které neposkytovaly tak velké množství zvěře jako k jihu i severu otevřená krajina Moravy.

V období 21 713–17 245 let před současností se objevuje kultura epigravettien. Lokality na Moravě jsou soustředěné především v okolí dnešního Brna. Sídliště se přesouvají do chráněných údolí.



Když se klima před zhruba 14,7 tisíci let začalo prudce oteplovat, vypadalo to na konec doby ledové a začátek interglaciálu. Ledovce mizely a příroda se začala postupně adaptovat na teplejší klima, i když to nebylo nikterak stabilní a relativně často se střídala chladnější a teplejší období. Pak ale přišel **mladší dryas** – období mezi 12,9 a 11,7 tisíci let před současností, které se svými klimatickými podmínkami vrátilo zpět do vrcholného glaciálu. Ve Velké Sněžné jámě se dokonce vytvořil znovu malý ledovec. Byl to poslední celosvětový záchvěv doby ledové, který byl zřejmě způsoben selháním Severoatlantského proudu z důvodu přílivu obrovského množství chladné sladké vody do oceánu. To bylo zaviněno kolapsem předledovcového jezera laurentinského ledovcového štítu v Severní Americe. Období je pojmenované po drobné květině dryádce osmiplátečné (*Dryas octopetala*). Ta se v Krkonoších nevyskytuje, ale jako glaciální relikty se vyskytuje v alpském stupni Alp a Tater.

POZDNÍ GLACIÁL (14,7–11,7 TISÍCE LET PŘED SOUČASNOSTÍ)

Klima a krajina

Pozdní glaciál je samotným závěrem celého glaciálního cyklu a celkově nese náznaky prvního zásadního oteplení klimatu. Je charakterizován několika výraznými klimatickými výkyvy, které navázaly na relativně stabilní chladné klima doznívajícího posledního glaciálního maxima. Období začíná výrazným oteplením před 14 690 lety, tedy na začátku epochy nazvané podle dánské jezerní lokality bølling. Na našem území v nižších polohách stoupla průměrná roční teplota vzduchu na ca 2 °C, v lednu na -10 °C a v červenci až na +13 °C. Pro představu

to je asi jako nyní v nejvyšších polohách Krkonoš. S tím souviselo ukončení hlavní fáze ukládání spraš a vátých písků, divočící toky se proměňovaly v meandrující, keřová tundra se měnila na podhorský les s borovicí, vrbou, březou, lískou a osikou. Bezprostředně poté se začalo klima opět ochlazovat, až kolem 14 000 let před současností nastalo krátké období nazývané jako starší dryas. Následovalo opět oteplení, i když nikoliv tak razantní jako na začátku bøllingu. Tato druhá teplá fáze, opět s názvem dánské lokality allerød, definitivně skončila před 12 890 lety příchodem razantního ochlazení známého jako mladší dryas. Tehdejší teploty se na krátkých tisíci let vrátily prakticky na úroveň konce posledního glaciálního maxima, aby se později před 11 700 lety oteplilo již definitivně.

Vegetace

Od počátku pozdního glaciálu lze v nejvyšších partiích Krkonoš počítat pouze s rostlinným sortimentem mechů, lišejníků a řas. V mikro- a mezoklimaticky příznivějších situacích a v nižších polohách lze spekulovat o přítomnosti bylinné, případně keříčkové vegetace (lomikámen vstřícnicolístý, vrba bylinná a některé další glaciální relikty). Vegetace výrazné horské tundry přecházela na úpatích a v údolích Krkonoš v řídkou keřovou tundru s břízou pýřitou svalcovou, břízou trpasličí, jalovcem, různými druhy vrb a borovicí klečí.

Hydrologicky příznivé poměry na dně údolí i svazích horských hřebenů umožňovaly existenci bohaté flóry různých typů mokřadů.

V nově se tvořícím biotopu přiledovcového jezera v Labském dole rostla v mělké vodě šidlatka. Stejně tomu bylo i na polské straně

Krkonoš (Mały a Wielki Staw). Další vodní rostliny, pokud zde vůbec rostly (například zevar vzpřímený nebo rdest vzplývavý), zachyceny nebyly (což může být dáno jejich malou produkcí pylu). Hojná v jezerech však byla populace zelených kokálních řas a rozsivek. Bližší podrobnosti k vegetaci Krkonoš pro období pozdního glaciálu bohužel chybí. Zatím se nepodařilo nalézt další profil tohoto stáří. Teoreticky je pravděpodobné, že se na některých lokalitách Krkonoš v pozdním glaciálu materiál vhodný k pylovým analýzám tvořil. Byl však buď oderodován, anebo je dosud neobjeven.

Zatímco v masivu Krkonoš byla v pozdním glaciálu v nejvyšších polohách formace horské extrémní tundry a níže keřové tundry, lze v podhůří předpokládat řídké parkové porosty s borovicí lesní a břízou pýřitou. Podobnou skladbu vegetace dokládají další profily z území Čech – např. z Jizer-

Nápadná obloukovitá moréna ledovce z mladšího dryasu ve Velké Sněžné jámě je zároveň nejdokonalejší ukázkou obloukovité čelní morény v Krkonoších. Foto: D. Krause ↓





Současná krajina s tajícím nesouvislým permafrostem v Subarktidě (fotografie z Abiska) naznačuje, jak mohla vypadat krajina na úpatích Krkonoš v pozdím glaciálu.
Foto: M. Kociánová

ských hor z lokality Rybí loučky, z Adršpachu či z Krušných hor (lokality Fláje). Pozdně glaciální vegetační situace je také velmi dobře zachycena v polabské nížině v jezerních i terestrických uloženinách. Dřeviny zde reprezentuje v podstatě jen borovice, bříza, vrba a jalovec. Bylinnou složku však lze charakterizovat jako „tundrostep“ s pelyňkem, devatěříkem a bohatým spektrem pylu dalších bylin. V této chladné periglaciální

oblasti byla řada jezer, podobně jako v podhůřích ostatních horských území (například Komořanské jezero pod Krušnými horami). Pozdně glaciální vegetace v mokřadních částech Čech, například v Třeboňské pánvi, měla charakter tundry a keřové tundry. Plešné jezero v karu ustoupivšího ledovce na východní Šumavě s limnickým vývojem od konce glaciálu do současnosti má svým vývojem blízko alpským jezerům.



Ledovcové jezero Velký rybník (Wielki Staw) je jedním z míst, odkud byla také získána data pro paleoekologické analýzy. Foto: K. Antořová



Pohled na fjord Lysefjorden na jihu Norska
Foto: L. Martin (CC BY 3.0)



Ledovcový štít v glaciálním maximu měl ve Skandinávii mocnost místy i více než 3 kilometry. Jeho hmotnost znamenala lokálně zatlačení zemské kůry do hloubky o několik stovek metrů nižší, než je současný stav. Při odtávání ledovcové masy docházelo logicky naopak k **výzdvihu zemské kůry**, který například v prostoru Botnického zálivu trvá dodnes. Ustupující ledovcové splazy zahlubily známé **fjordy**, tedy ledovcová údolí, jejichž spodní úroveň je dnes nižší než hladina moře. Jedná se o charakteristické **trogy** zatopené na dně mořskými zálivy. Zajímavostí je, že morény se při jejich ústích do moře nacházejí pod vodou. Stává se tak, že moře je mělčí při ústích fjordů než v nich.



Přibližná podoba Baltského jezera a fennoskandinávského ledovcového štítu před 14 500 lety; Krkonoše – červený bod ↑

Na sever od nás v polských nížinách roztával po ústupu skandinávského ledovce mrtvý led a ve vznikajících jezerech se ukládala organický materiál. Ukládaly se říční písky i vyvátý materiál v duny. V důsledku zmenšování objemu, a tudíž odlehčování ledu, se zemská kůra Skandinávie postupně za vzniku zemětřešení vyzvedávala (takzvaná glaciostatická tektonika). Na místě Baltského moře ale stále zůstávalo, respektive se zvětšovalo přiledovcové Baltské jezero plnící se tavnou vodou ze zbytku ledovcového štítu. Brakická (poměrně málo slaná) voda Baltu je výsledkem smíchání tavných vod skandinávského ledovce a Severního moře. Před zhruba 12 300 lety se mořská voda dostala opět průlivem mezi Dánskem a Švédskem do takzvané izostatické deprese (hladina jezera byla o 27 m níže než hladina Severního moře) a vyplnila ji jako takzvané moře Yoldia. Brakická voda (smíchaná mořská s tavnou z ledovce) vydržela zhruba 350 let – do 11 000 let před současností, kdy došlo pokračujícím výzdvihem k izolaci a postupnému vývoji v jezero zvané Ancylus (názvy jsou odvozeny od jmen mlžů a plžů převládajících v jednotlivých vývojových stádiích Baltu). Dnešní podobu získalo Baltské moře zhruba před 8 500 lety. V oblasti Jadrana bylo zvyšování hladiny na dnešní úroveň ukončeno rovněž zhruba před 8 000 lety. S tím souvisel i zánik dočasné suchozemské vegetace na několik tisíc let obnaženém mořském dně.

Fauna

Na naše území, zvláště na území Moravy a Slovenska, začaly pronikat nové faunisticke prvky, které charakterizují klimatickou změnu. Vedle druhů žijících během předchozího mrazivého období se ojediněle objevují druhy zvířat, které jsou typičtější spíše pro holocén (např. pratur, jelen evropský, zubr evropský). Podobný ráz má i malakofauna. Druhové společenstvo bylo bohatší než společenstva v holocénu. Během chladných výkyvů (starší, střední a mladší dryas) dominovaly stepní druhy. V interstadiálech (bølling a allerød) převládaly druhy teplomilnější, obývající lesní a luční prostředí. Jeskynní prostory poskytovaly výhodné podmínky pro faunu, hlavně netopýry. Charakteristické druhy drobných savců jsou např. netopýr černý, pobřežní, velký a rezavý, rejsek horský, obecný, bělozubka bělobřichá, zajíc běláč, hryzec vodní, kočka divoká, rys divoký, z megafauny stále ještě lev jeskynní, hyena jeskynní, nosorožec srstnatý, mamut srstna-

tý, sajga tatarská, los evropský, sob polární. Jak je patrné z výčtu, ve fauně jsou zastoupeny i druhy, které v této době již mizí, zřejmě se jedná o poslední přežívající kusy anebo o migrace ze severních částí Evropy.

Osídlení

Oteplení klimatu znamenalo změnu přírodních podmínek ve smyslu ústupu stepí ze střední Evropy dále na východ do prostoru dnešní Ukrajiny a do Ruska. S tím souvisel i odchod velkých stád mamutů či vymizení některých druhů zvířat. Centra osídlení se také změnila – posunula se na východ na Ukrajinu a do jižní Francie. Odtud pochází název kultury rozšířené v teplém období bøllingu – magdalenien – kultura lovců sobů a koní. Do Čech a na Moravu se dostala až ke konci pozdního glaciálu. Prudká změna klimatu – razantní ochlazení v mladším dryasu a rychlé oteplení na začátku holocénu – ovlivnila nejen ráz krajiny, složení vegetace a fauny, ale také prakticky rozpad kultury



Osídlení Evropy zhruba před 13 000 lety ↗

magdalenieny na řadu lokálních kultur – dordogne ve Francii, epigravettien převážně v Itálii, ale zasahující i na Moravu, v severní části střední Evropy hamburgian, feder-messer, v Dánsku a severní části Německa například bromme, ahrensburg.

Zánik krkonošských ledovců a tání permafrostu

Ledovce v Krkonoších, které postupně ustupovaly, nevydržely zásadní oteplení v bøllingu a kolem 14 tisíc let před současností zanikly. Ve Velké Sněžné jámě malý ledovec opět vznikl během mladšího dryasu (12,9–11,7 tisíce let před současností). Tato lokalita je příhodná mimo jiné svojí severní expozicí, a tedy značným zastíněním. Jedná se o jedinou dokumentovanou lokalitu horského zalednění v mladším dryasu na sever od Alp a na jih od Skandinávie. Teoreticky mohly malé ledovečky na čas opětovně vzniknout i v jiných polohách Krkonoš, ale dosud pro to neexistují důkazy. Postup-

ně roztával i permafrost, ovšem přesnou časovou představu o jeho vymizení nemáme. Je pravděpodobné, že permafrost zmizel již před obdobím mladšího dryasu v interstadiálu bølling–allerød. Datování krápníků v několika jeskyních, které proběhlo nedávno v rámci projektu inventarizace krkonošského krasu, zařazuje jejich tvorbu i do

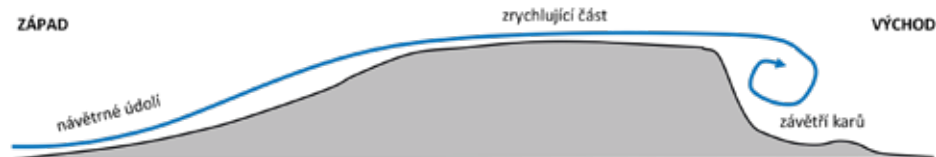


Čelo odtávajícího ledovce v oblasti norské Hardangerviddy. Podobně to vypadalo v pozdním glaciálu v Krkonoších. Existence podobného náhorního ledovce v oblasti Bílé Louky je stále předmětem výzkumu. Foto: Jan Vaněk ↑



Anemo-orografické systémy, které popsal profesor geobotaniky Jan Jeník v Krkonoších v roce 1961, jsou zásadním přirozeným faktorem formujícím klima a všechny závislé přírodní složky Krkonoš. V kapitole o ledovcích již byla zmíněna jejich role v převívání sněhu, a tedy samotném rozmístění ledovců. Stejný efekt ovlivňuje stanovištní podmínky i v holocénu. V závětrných prostorech díky němu sjíždějí **sněžové laviny** a vítr rovněž do závětrných prostor karů přináší i další materiál, jako jsou pylová zrna rostlin nebo drobní živočichové.

Geologický vývoj a nejmladší geomorfologické pochody zapříčinily ideální uspořádání reliéfu, tedy **vodicích údolí, zarovnaných vrcholových povrchů a závětrných karových prostor**. Převážně západní větrné proudění se již postaralo o to další. Anemo-orografické systémy byly po celý holocén **zásadním faktorem krkonošské přírody** a jsou jí i dnes.



Jednoduché schéma anemo-orografického systému ↑

období maximálního zalednění nebo jeho těsné blízkosti. Přitom krápníky by nemohly vzniknout, pokud by v jeskyních nebyla voda v kapalném skupenství. Tyto výsledky napovídají tomu, že dynamika permafrostu v čase a prostoru musela být velmi rychlá,

podobně jako tomu bylo u ledovců. Zároveň je pravděpodobné, že při tání permafrostu došlo k destabilizaci svahů, a tak vznikla v Krkonoších řada sesuvů, které se ve fosilní podobě dochovaly na svazích dodnes. Obvykle jsou v lesním porostu velmi nenápadné.

Holocén – vývoj přírody v době poledové

11 700 LET PŘED SOUČASNOSTÍ–DNES

Relativně teplé období holocénu, ve kterém dnes žijeme, začalo před 11,7 tisíci let. Tehdy se začalo klima na celé planetě oteplovat. Z geologického pohledu tak po konci mladšího dryasu, posledního záchvěvu glaciálu, začal další interglaciál – doba meziledová. Ledovce v Evropě rychle ustoupily do nejvyšších poloh Alp a Skandinávie, kde

jejich drobné zbytky stále existují. Příroda středu Evropy se začala rapidně rychle měnit a vyvíjet. Podstatnou roli v holocénu však nehrála již pouze příroda, ale také člověk. Tím se náš interglaciál liší od těch předchozích, kdy zde lidská civilizace neexistovala. Oproti glaciálu není holocén tak klimaticky dramatický. Přestože nedocházelo k obrovským výkyvům, jsou rozlišována jednotlivá období, která se od sebe liší jak klimaticky, tak vegetačně.

období <small>trvání (roky před současností)</small>	podhůří	střední polohy	vrcholové polohy Krkonoš
mladší subatlantikum 800—současnost včetně malé doby ledové	postupné osídlení člověkem: těžba hornin, dřeva – odlesnění, budní hospodářství, změna vegetace a fauny včetně nejvyšších poloh Krkonoš		
starší subatlantikum 2 500—800 chladno i teplejší výkyvy	listnaté a smíšené lesy, podhorské louky	les: smíšené doubravy, sestup smrků do nižších poloh	poslední období přirozených vegetačních stupňů před zásahy člověka 2x sestup tundry níže (před 2 800—2 237 lety)
subboreál 5 700—2 500 přechod k chladnějšímu klimatu	les: jedle, buk, nástup habru	les: smrk v max. rozšíření, buk, nástup jedle, ústup borovice lesní	kleč, tundra, max. rozsah rašeliniště, horské louky druhově bohatší než dnes horské louky
mladší atlantikum 7 000—5 700 chladnější kolísavé klima	les - smíšené doubravy: dub, jilm, javor, jasan, lípa	les: převaha smrku, na mokřadech olše, líska až na horní hranici lesa, buk	rašeliniště, zmenšení rozsahu tundry, více kleče
starší atlantikum 8 900—7 000 <small>o 400=7 700 klimatické optimum</small> tepleji až o 3 °C než dnes	les - smíšené doubravy: max. rozšíření dubu, jilm, javor, jasan, lípa	les: převaha smrku, na mokřadech olše, líska až na horní hranici lesa, místy bříza trpasličí a chvojník dvoulasý, nástup buku	rašeliniště, zmenšení rozsahu tundry, více kleče
boreál 10 200—8 900 tepleji o 2 °C než dnes	les: borovice lesní, bříza pýřitá, líska, nástup dubu, javoru, jasanu a lípy	lesotundra až les: bříza pýřitá, borovice lesní, místy bříza trpasličí, nástup lísky a jilmu	různé typy tundry, kleč prameniště, zvýšená vlhkost
preboreál 11 700—10 200 chladnější o 5 °C než dnes <small>koniec glaciálu – začátek holocénu</small>	stepotundra: bříza pýřitá, jilm, nástup borovice lesní	keřová tundra až lesotundra: bříza pýřitá, bříza trpasličí, vrby, kleč	tundra nesouvislý permafrost firnová pole
mladší dryas 12 900—11 700 nížiny: průměr -3°C	parkové porosty: borovice lesní a bříza	periglaciální podmínky: Ústup borovice lesní, nárůst keřů (bříza trpasličí, chvojník dvoulasý)	arkto-alpínská poušť permafrost malé ledovce trvalá firnová pole



Stáří profilů západních a východních Krkonoš, barevně odpovídá předcházející tabulce. Foto: K. Antoňová ↕



Podklady a vybraná literatura k tématu

- Czudek, T. (2006). Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru. Moravské zemské muzeum.
- Diedrich, C. G., & Zák, K. (2006). Prey deposits and den sites of the Upper Pleistocene hyena *Crocota crocuta spelaea* (Goldfuss, 1823) in horizontal and vertical caves of the Bohemian Karst (Czech Republic). *Bulletin of Geosciences*, 81(4), 237-276.
- Ehlers, J., & Gibbard, P. L. (2004). Quaternary glaciations-extent and chronology: part I: Europe. Elsevier.
- Engel, Z., Braucher, R., Traczyk, A., & Laetitia, L. (2014). ^{10}Be exposure age chronology of the last glaciation in the Krkonoše Mountains, Central Europe. *Geomorphology*, 206, 107–121.
- Engel, Z., Křížek, M., Braucher, R., Uxa, T., Krause, D., & AsterTeam. (2021). ^{10}Be exposure age for sorted polygons in the Sudetes Mountains. *Permafrost and Periglacial Processes*, 32(1), 154–168.
- Engel, Z., Nývlt, D., Křížek, M., Treml, V., Jankovská, V., & Lisá, L. (2010). Sedimentary evidence of landscape and climate history since the end of MIS 3 in the Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Quaternary Science Reviews*, 29(7–8), 913–927.
- Engel, Z., Traczyk, A., Braucher, R., Woronko, B., & Krizek, M. (2011). Use of ^{10}Be exposure ages and Schmidt hammer data for correlation of moraines in the Krkonose Mountains, Poland/Czech Republic. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 55(2), 175.
- Hüttemann, H., & Bortenschlager, S. (1987). Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols VI: Riesengebirge, Hohe Tatra–Zillertal, Kühltai. *Berichte des naturwissenschaftlichen-medicinischen Verein Innsbruck*, 74, 81–112.
- Chlupáč, I. (2002). Geologická minulost České republiky. *Academia*.
- Jankovská, V. (2007). Giant Mountains and pollen analytical research: New results and interesting palaeobotanical findings / Krkonoše a pyloanalytický výzkum: nové výsledky a zajímavé paleobotanické nálezy. *Opera Corcontica*, (44), 227.
- Jeník, J. (1961). Alpínská vegetace Krkonoš, Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku – teorie anemo-orografických systémů. ČSAV, Praha.
- Kindler, P., Guillevic, M., Baumgartner, M., Schwander, J., Landais, A., & Leuenberger, M. (2014). Temperature reconstruction from 10 to 120 kyr b2k from the NGRIP ice core. *Climate of the Past*, 10(2), 887–902.
- Krause, D. (2021). Nové poznatky k erozním účinkům a rozsahu pleistocenního ledovce Labského dolu v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 58.
- Křížek, M., Krause, D., Uxa, T., Engel, Z., Treml, V., & Traczyk, A. (2019). Patterned ground above the alpine timberline in the High Sudetes, Central Europe. *Journal of Maps*, 15(2), 563–569.
- Kuneš, P., Pelánková, B., Chytrý, M., Jankovská, V., Pokorný, P., & Petr, L. (2008). Interpretation of the last-glacial vegetation of eastern-central Europe using modern analogues from southern Siberia. *Journal of biogeography*, 35(12), 2223–2236.
- Lehmkuhl, F., Nett, J. J., Pötter, S., Schulte, P., Sprafke, T., Jary, Z., ... & Hambach, U. (2021). Loess landscapes of Europe—Mapping, geomorphology, and zonal differentiation. *Earth-Science Reviews*, 215, 103496.
- Malkiewicz, M., Waroszewski, J., Bojko, O., Egli, M., & Kabala, C. (2016). Holocene vegetation history and soil development reflected in the lake sediments of the Karkonosze Mountains (Poland). *The Holocene*, 26(6), 890–905.

- Markova, A. K., Puzachenko, A. Y., Van Kolschooten, T., Van der Plicht, J., & Ponomarev, D. V. (2013). New data on changes in the European distribution of the mammoth and the woolly rhinoceros during the second half of the Late Pleistocene and the early Holocene. *Quaternary International*, 292, 4–14.
- Pilous, V. (2019). Zalednění české strany Krkonoš – jiné pohledy na starý problém. *Opera Corcontica*, (56), 5–20.
- Olsen, L., Sveian, H., Bergström, B., Ottesen, D., & Rise, L. (2013). Quaternary glaciations and their variations in Norway and on the Norwegian continental shelf. *Quaternary geology of Norway*, 13, 27–78.
- Pokorný, P., Jankovská, V., & Horáček, I. (2015). České Hercynikum versus Západní Karpaty: Klíčové biogeografické rozhraní Evropy v posledním glaciálu. *Zprávy České botanické společnosti*, 50(2), 165–180.
- Opera Corcontica* 47, 2010
- Scotese, C. R. (2021). An atlas of Phanerozoic paleogeographic maps: the seas come in and the seas go out. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 49, 679–728.
- Seguinot, J., Ivy-Ochs, S., Juvet, G., Huss, M., Funk, M., & Preusser, F. (2018). Modelling last glacial cycle ice dynamics in the Alps. *The Cryosphere*, 12(10), 3265–3285.
- Stroeven, A. P., Hättestrand, C., Kleman, J., Heyman, J., Fabel, D., Fredin, O., ... & Jansson, K. N. (2016). Deglaciation of Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews*, 147, 91–121.
- Sveian, H. (2004). Isen kom – og forsvant. I Dahl, R. og Sveian, H. (red.): „Ka dokker mein førr stein!”, 24–33. *Norges geologiske undersøkelse*, 154 pp. Trondheim
- Svitavská, H. (2004). Vývoj vegetace na Úpském rašeliništi v holocénu / Development of the vegetation on Úpské rašeliniště Mire in the Holocene. *Opera Corcontica*, (41), 124.
- Tallavaara, M., Luoto, M., Korhonen, N., Järvinen, H., & Seppä, H. (2015). Human population dynamics in Europe over the Last Glacial Maximum. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(27), 8232–8237.
- Tásler, R., Bosák, P., Fediuk, F., Hercman, H., Pruner, P., & Štastný, M. (2021). Krakonošova jeskyně v Horních Albeřicích v Krkonoších / Krakonošova jeskyně Cave in Horní Albeřice in the Krkonoše Mts. *Opera Corcontica*, 58.
- Tremil, V., Jankovská, V., & Petr, L. (2008). Holocene dynamics of the alpine timberline in the High Sudetes. *Biologia*, 63(1), 73–80.
- Výsledky projektu POPFK 115V16700 – 1157 „Vývoj vegetace a mezo/mikroreliefu Krkonoš v průběhu holocénu a počátky jeho ovlivnění člověkem“ (abecedně: Eva Holá, Vlasta Jankovská, Stanislava Kliegrová, Milena Kociánová, Miriám Nývltová Fišáková, Vlastimil Pilous, Sandra Sázelová, Pavel Šamonil, Jiří Šebesta, Petr Šída, Irena Špatenková, Táňa Štěchová, Martin Valtera, Jan Vaněk, Eliška VichEROVÁ, Magda Zmrhalová)
- Výsledky projektu CZ.05.4.27/0.0/0.0/19_120/0010 037 „Podrobná inventarizace geomorfologických forem na území Krkonošského národního parku a jeho ochranného pásma“ (abecedně: Paul Bierman, Ashley Corbett, Vlasta Jankovská, Milena Kociánová, David Krause, Vlastimil Pilous, Axel Steinhof)
- Pro tvorbu map v publikaci byly použity volně dostupné mapové podklady OpenStreetMap (CC BY-SA 2.0; openstreetmap.org/copyright) a digitálního modelu reliéfu EU-DEM (land.compernicus.eu; data financována Evropskou unií).

Další zajímavé informace o Krkonošském národním parku se dozvíte na akcích Správy KRNPAP (www.krnapp.cz).



Krkonoše v době ledové

Vydala Správa Krkonošského národního parku v roce 2023

Text: © Milena Kociánová, David Krause

Mapové podklady: © David Krause

Foto: © Kamila Antošová, Přemysl Bobek, Jiří Dvořák, Zbyněk Engel, Miroslav Hájek, Ludmila Harčariková, Vlasta Jankovská, Milena Kociánová, David Krause, Luis Martin, Zdeněk Patzelt, Sandra Sázelová, Josef Sekyra, Petr Šída, Anna Tichá, Jan Vaněk

© 2023, Správa Krkonošského národního parku,
Dobrovského 3, 543 01 Vrchlabí

ISBN: 978-80-7535-164-7

KOCIÁNOVÁ, Milena a KRAUSE, David. *Krkonoše v době ledové*. 1. Vrchlabí: Správa KRNPAP, 2023. ISBN 978-80-7535-164-7.

NEPRODEJNÉ.



SOS



HASIČI



LÉKAŘ



POLICIE



602 448 338 nebo 1210



(+48) 985 nebo 601 100 300

HORSKÁ SLUŽBA (CZ) / GOPR (PL)