

MORAVA V DOBĚ LEDOVÉ

Prostředí posledního glaciálu a metody jeho poznávání

Rudolf Musil

munipress



MORAVA V DOBĚ LEDOVÉ

Prostředí posledního glaciálu a metody jeho poznávání



muni
PRESS

MORAVA V DOBĚ LEDOVÉ

Prostředí posledního glaciálu a metody jeho poznávání

Rudolf Musil

VĚDECKÉ ILUSTRACE

Petr Modlitba

MASARYKOVA UNIVERZITA

BRNO 2014

Knihu recenzoval Prof. Dr. Klaus Dieter Jäger.

KATALOGIZACE – NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Musil, Rudolf

Morava v době ledové : prostředí posledního glaciálu a metody jeho poznávání / [text Rudolf Musil ; ilustrace Petr Modlitba]. – Vyd. 1. – Brno : Masarykova univerzita, 2014. – 228 s.

Anglické resumé

ISBN 978-80-210-6364-8

56:001.891 * 551.791 * 551.793 * 551.58 * 567/569 * 569 * (437.32)

– paleontologický výzkum – Česko

– pleistocén – Česko

– doba ledová – Česko

– klima – Česko

– fosilní obratlovci – Česko

– fosilní savci – Česko

– Morava (Česko)

– monografie

56 – Paleontologie [7]

Citace knihy

MUSIL, Rudolf. *Morava v době ledové. Prostedí posledního glaciálu a metody jeho poznávání*. Ilustrace Petr Modlitba. Vyd. 1. Brno : Masarykova univerzita, 2014. 228 s. ISBN 978-80-210-6364-8.

DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-6364-2014

© 2014 Masarykova univerzita

© 2014 Text: Rudolf Musil

© 2014 Illustrations: Petr Modlitba

© 2014 Translation: Irma Charvátová

© 2014 Layout: Lea Novotná

© 2014 Cover design: Jarmila Marvanová

ISBN 978-80-210-7710-2 (online : pdf)

ISBN 978-80-210-6364-8 (vázaná vazba)

DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-6364-2014

Věnováno mé ženě Libuši

OBSAH

1. ÚVOD	13
1.1 Morava v čase	13
1.2 Současné pracovní metody	14
1.3 Sedimentární záznam	14
1.4 Výjimečné postavení Moravy	15
1.5 Vertikální a horizontální zonace	15
1.6 Podnebí Moravy	16
2. VÝVOJ KLIMATU A KRAJINY. ČASOVÉ ZAŘAZOVÁNÍ NÁLEZŮ A JEJICH PROSTŘEDÍ	17
2.1 Stratigrafie	17
2.2 Historie stratigrafického členění kvartéru (čtvrtohor)	17
2.3 Současné členění kvartéru	18
2.4 Konvenční měření času izotopem uhlíku (^{14}C)	20
2.5 Kalibrace časových údajů	21
2.6 Další metody ke zjištění absolutního stáří	21
2.7 Stabilní izotopy prvků a jejich význam pro poznání prostředí	22
2.8 Stratigrafie na základě remanentního zemského magnetismu (magnetostratigrafie)	23
2.9 Molekulární hodiny	23
2.10 Co je to biostratigrafie	24
2.11 Co vše lze zjistit ze zubů savců	25
2.12 Morfologické změny evoluční, nebo ekologické?	25
2.13 Etologická rekonstrukce na základě izotopů	26
2.14 Správnost interpretací izotopových údajů	26
2.15 Určování věku zvířete	27
2.16 Nejen obratlovci jsou schopni dodat environmentální informace z minulosti	27
2.17 Prostředí	29
2.18 Přístupy k analýze prostředí	31
2.19 Období největšího chladna	31
2.20 Glaciální refugia Moravy	32
2.21 Klimatické oscilace a genetika	32
2.22 Stručná charakteristika dnešních biotů	32
2.23 Rostlinný pokryv posledního glaciálu	33
2.24 Průběh klimatických změn v posledním glaciálu	33
2.25 Záznam dřívějšího podnebí ve stalagmitech	35
2.26 Nové metody zjišťování sezónní migrace zvířat	36
2.27 Dendrochronologie a dendroklimatologie	36
2.28 Sopečná činnost	36

3. VÝJIMEČNOST KRASOVÝCH ÚZEMÍ	37
3.1 Krasová území	37
3.2 Paleontologické výzkumy v Moravském krasu	38
3.3 Druhy jeskyní z hlediska nahromadění kostí	38
3.4 První muzeum Moravského krasu	39
4. METODY STUDIA A JEJICH VÝSLEDKY	43
4.1 Faunistická společenstva	43
4.2 Fosilní nálezy	43
4.3 Tafonomie aneb Co můžeme zjistit z nahromaděných kostí	44
4.4 Fyzická a chemická destrukce kostí	44
4.5 Historický pohled na dřívější způsob práce v jeskyních	45
4.6 Těžko si lze představit tehdejší výzkum	46
4.7 Základní znaky savců	47
4.8 Mozek savců, jeho funkce a encefalizační kvocient	47
4.9 Počítačová tomografie	47
4.10 Poznání jednotlivých druhů obratlovců na základě jejich kostí	49
4.11 Potvrzení správnosti této nové teorie	49
4.12 Praktické určování kostí fosilních zvířat	49
4.13 Ekologické kategorie	51
4.14 Environmentální požadavky savců	51
4.15 Nejstarší zprávy o nálezech kostí v Moravském krasu	53
4.16 První odborné paleontologické publikace z Moravského krasu	53
4.17 První metody určování stáří nacházených kostí	54
4.18 Aktuopaleontologická studia	54
4.19 Dnešní pracovní metody paleontologických výzkumů	55
4.20 První učebnice pracovních metod výzkumu jeskyní	55
4.21 Migrace společenstev vyvolané velkými změnami prostředí	57
4.22 Denní a sezónní migrace zvířat	58
4.23 Hlavní migrační a transportní cesty	58
4.24 Odpověď zvířat na teplotní změny	60
5. POZNATKY O PLEISTOCENNÍCH ZVÍŘATECH	61
5.1 Šelmy (Carnivora)	61
5.1.1 Nejznámější zvířata krasových oblastí – medvědi	62
5.1.1.1 <i>Linie speleoidních medvědů</i>	66
5.1.1.2 <i>Skupina jeskynních medvědů</i>	67
5.1.2 Velké šelmy byly běžnými zvířaty Moravy	83
5.1.3 Krajinou se pohybovaly smečky hyen	90
5.1.4 Vlci a lišky	98
5.2 Hlodavci (Rodentia) a zajícovci (Lagomorpha)	99
5.3 Chobotnatci (Proboscidea) a jejich vývoj	100
5.3.1 Vývoj mamutů v Eurasii	101
5.3.2 Některé historické zprávy o nálezech mamutů	104
5.3.3 Vliv rostlinné potravy na stavbu končetin slonů	105
5.3.4 Etologie mamutů	106

5.3.5 Izotopová analýza srsti mamuta	106
5.3.6 Nahromadění kostí mamutů na Sibiři	106
5.3.7 Zachovaná těla v permafrostu	108
5.3.8 Vzhled mamutů	109
5.3.9 Potravní nároky mamutů a dostupnost potravy	112
5.3.10 Rození mláďat	116
5.3.11 Nejjižnější evropské nálezy mamutů srstnatých	117
5.3.12 Pohyb a migrace mamutů	117
5.3.13 Pokusy o vytvoření nového mamuta	121
5.4 Lichokopytníci (Perissodactyla)	121
5.4.1 Koňovití (Equidae)	122
5.4.1.1 Evoluční trendy koní evropského kvartéru	122
5.4.1.2 Problematika determinace druhových a poddruhových názvů	125
5.4.1.3 V permafrostu zachovaná těla	126
5.4.2 Nosorožcovití (Rhinocerotidae)	126
5.4.2.1 Nosorožec lesní (<i>Stephanorhinus kirchbergensis</i>)	127
5.4.2.2 Rod <i>Coelodonta</i>	127
5.5 Sudokopytníci (Artiodactyla)	132
5.5.1 Hroch obojživelný (<i>Hippopotamus amphibius</i>)	132
5.5.2 Jeleni a srnci (<i>Cervus elaphus</i> a <i>Capreolus capreolus</i>)	134
5.5.3 Jelen obrovský (<i>Megaloceros giganteus</i>)	134
5.5.4 Los evropský (<i>Alces alces</i>)	135
5.5.5 Sob polární (<i>Rangifer tarandus</i>)	135
5.5.6 Pižmoň severní (<i>Ovibos moschatus</i>)	136
5.5.7 Sajga tatarská (<i>Saiga tatarica</i>)	137
5.5.8 Bizon (<i>Bison priscus</i>)	137
5.5.9 Pratur (<i>Bos primigenius</i>)	137

6. BLÍŽÍ SE KONEC POSLEDNÍHO GLACIÁLU 141

6.1 Lovná zvěř paleolitických lidí na konci posledního glaciálu	141
6.2 Globální vymírání ke konci posledního glaciálu	142
6.3 Jsou možná i jiná vysvětlení vymírání?	143
6.4 Model vymírání – mamut	143
6.5 Charakteristika posledního glaciálu	144

7. MORAVA PŘED 26 000 LETY 145

7.1 Vzhled a prostředí jižní a střední Moravy	145
7.2 Faunistické společenstvo	146

8. ÚPLNÁ ZMĚNA PROSTŘEDÍ, ROSTLINSTVA A ZVÍŘAT 151

8.1 Vznik současného ekosystému	151
8.2 Změna druhového složení na konci posledního glaciálu a na začátku holocénu	153
8.3 Poslední nálezy glaciálních a první nálezy holocenních druhů	154
8.4 Rekonstrukce prostředí začátku holocénu	156
8.5 Modelový příklad multidisciplinárního studia neolitu	158

9. DOMESTIKACE – NEJDŮLEŽITĚJŠÍ AKT V HISTORII LIDSTVA	159
9.1 Stručně o domestikaci	159
9.2 První domestikovaná zvířata v Evropě	160
9.3 Domestikace vlků v magdalénieniu	160
9.4 Jsou ještě starší nálezy domestikovaných vlků?	162
9.5 Holocenní domestikace ostatních zvířat	162
10. VÝJIMEČNÉ MORAVSKÉ PLEISTOCENNÍ LOKALITY	167
10.1 Mokrá – Západní lom	167
10.2 Lom Malá dohoda (Holštejn)	169
10.3 Stránská skála – lokalita plná překvapení	170
10.3.1 Začátek výzkumů na Stránské skále	171
10.3.2 Stránská skála – profil	172
10.3.3 Vrstva 13 – svědek existence <i>Homo erectus</i>	177
10.4 Červený kopec	177
10.5 Tučín u Přerova	178
10.6 Předmostí	179
10.7 Dolní Věstonice – Pavlov	180
10.8 Sloupská jeskyně	181
10.9 Jeskyně Kůlna	184
10.10 Jeskyně Výpustek	186
10.11 Jeskyně Jáchymka	187
10.12 Jeskyně Švédův stů	187
10.13 Jeskyně Pod Hradem	190
10.14 Jeskyně Balcarova skála	191
10.15 Holubice	192
10.16 Jeskyně Za Hájojnou	192
10.17 Jeskyně Mladečské	192
10.18 Punkevní jeskyně – Masarykův dóm	196
10.19 Výjimečné pleistocenní nálezy na Moravě	196
11. SHRNUÍ	197
11.1 Přehled základních znalostí	197
11.2 Krajina Moravy z konce posledního glaciálu a nastupujícího holocénu	200
11.3 Poslední glaciál – stručný přehled	202
LITERATURA	205
REJSTŘÍKY	217
Rejstřík lokalit	217
Rejstřík českých názvů rostlin a zvířat	219
SUMMARY (Moravia in the Ice Ages. The last glacial period and methods of its research)	223
O KNIZE	226

PODĚKOVÁNÍ

Je milou povinností poděkovat všem, kteří mně byli nápomocni při vydání knihy.

Mnoho díků si zaslouží doc. RNDr. Jaromír Leichmann, Dr., děkan Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity, a doc. RNDr. Josef Zeman, CSc., ředitel Ústavu geologických věd, za pomoc, která uspěla vydání této knihy. Děkuji také paní Libě Plchové, která se podílela na úpravě všech perokreseb, jež se v knize nacházejí. Děkuji všem zahraničním kolegům, kteří mi dovolili použít jejich publikované ilustrace k doplnění textu.

Bez úsilí paní dr. Aleny Mizerové, ředitelky Nakladatelství Masarykovy univerzity, která okamžitě pochopila zajímavost obsahu pro širokou veřejnost a zařadila publikaci do plánu Nakladatelství, by kniha tak rychle nevyšla. Neméně důležitá byla i práce paní dr. Ley Novotné, která citlivě provedla celkovou úpravu této knihy.

Vědecké rekonstrukce pana Petra Modlitby vhodně doplňují text a jsou výsledkem velmi přátelské spolupráce nás obou. Nemohu opomenout ani recenzenta této knihy prof. Dr. Klause Dietera Jägera za jeho cenné rady a návrhy doplňků, jež určitě vylepšily text.

V neposlední řadě musím poděkovat své manželce Ing. Libuši Musilové, která nikdy nepolevila ve své snaze mi obětavě pomáhat a nikdy mě nevytrhovala z práce. Nebýt její lásky, podpory a vytvoření prostředí, v němž bylo radost pracovat, bych tuto knihu těžko dokázal napsat. Ji také toto dílo připisuji.

Všem uvedeným z celého srdce děkuji za pomoc, které se mi při psaní a vydávání této knihy dostalo.

Rudolf Musil

1. Úvod

1.1 Morava v čase

Málokterá země se může pochlubit tak bohatou historií kvartérních výzkumů, především nálezů fauny, flóry a tehdejšího člověka, jako Morava. Patří mezi evropské země s nejstaršími písemnými prameny o kvartérních fosilních obratlovcích. První písemné zprávy sahají hluboko do začátku 17. století, pocházejí z doby asi před 400 lety. Nejprve byl v hledáčku Moravský kras se svými četnými jeskyněmi, které byly světoznámé obrovským množstvím nacházených kostí. Mnohem později k tomu přikročil i výzkum stanic paleolitických lidí, které svou velikostí a množstvím nálezů nemají ve střední Evropě obdobu. Proto má také studium fosilních obratlovců na Moravě bohatou tradici. Poděkovat za tuto příznivou situaci můžeme i tomu, že Morava je přirozeným spojením mezi severem a jihem Evropy. Po celou dobu kvartéru sloužila proto jak rostlinstvu, tak živočichům k sezónním i ke globálním přesunům.

Největší množství nálezů obratlovců pochází z poslední ledové doby. Je tomu tak proto, že sedimenty z této doby jsou nejhojněji zachované. Poslední glaciál je charakteristický vysokou druhovou diverzitou zvířecího společenstva. V následujícím holocénu vzhledem k rostlinné uniformitě tomu tak již není.

Kvartér se svými 2,6 milióny let (přesně 2,588 Ma; Ma = mil. let) je pouze nepatrnou částí celé historie Země. Pro kvartér jsou charakteristické opakující se klimatické výkyvy různé délky a různé intenzity a samozřejmě přítomnost člověka. V historii Země se nejedná o něco neobvyklého, co by tady dříve, samozřejmě mimo člověka, již nebylo. I v minulosti existovala období s ledovými dobami, někdy postihovaly dokonce větší oblasti a byly časově delší než ty kvartérní.

V dnešní době se již nestuduje pouhá determinace nalezených kostí, jak tomu bylo dříve, ale snažíme se z nich vyčíst všechny další informace, a to nejen z nich, ale i z okolního sedimentu. Ten považujeme za něco podobného jako písemný archiv, jde jen o to nalézt klíč, který by tam zakódované informace objevil a rozluštil. Sedimenty jsou zdrojem informací pro studium klimatu a životního prostředí a obvykle obsahují dlouhé a nepřetržité proxy, záznamy o fyzikálních, chemických a biologických parametrech, které mohou být použity k interpretaci rychlosti, velikosti a směru přirozených změn, jakož i vlivu člověka na minulé prostředí. Znamená to, že nález bez znalosti jeho bezprostředního okolí, tj. sedimentů, má omezený význam.

Paleontologické výzkumy si někteří lidé někdy pletou s výzkumy archeologickými. Jedná se však o dva zcela odlišné vědecké obory, pro které je společné pouze to, že svoje nálezy mají v sedimentech a že metody jejich získávání jsou podobné.

Vše na světě se mění. Tato slova starých řeckých filozofů platí stále. Neustále se opakující různé intenzivní změny jsou typické pro celou dobu kvartéru. Mohli bychom se domnívat, že se jedná jen o změny v rostlinách nebo zvířatech, ale není tomu tak. Změny postihují mnohem více oblastí. Krajina nebyla vždy taková, jako je dnes, a také zvířata a rostliny byly jiné. Nebudeme se jistě mýlit, když období kvartéru označíme jako dobu cyklicky se opakujících změn. Zatímco nyní chodíme žleby Moravského krasu po asfaltových silnicích, není to tak dávno, co zde byly pouze úzké klikaté lesní cesty, kde si na některých místech dva koňské povozy sotva vyhnuly. A co ještě dříve? Na tuto otázku by měla odpovědět naše kniha. Chceme v ní ukázat, jak napíná je paleontologická práce, co nových poznatků dnešní doba přinesla, čím vším se zabývají kvartérní studia a jaké dosud neznámé otázky bude nutné v budoucnu řešit.

Tab. 1 Kontinentální zalednění v kvartéru nebylo něco mimořádného. Podobná kontinentální zalednění známe i z minulosti. Tři největší se objevila v průběhu 620 miliónů let, nejdelší trvalo od začátku karbonu do začátku permu (80 Ma let!). Jako možné příčiny se uvádějí změny v rozmístění pevnin a oceánů, změny v průběhu mořských proudů a intenzita slunečního záření. První stopy ochlazení, které však postihlo převážně až kvartér, se objevily již ke konci oligocénu (před 0,365 Ma), a to v Antarktidě. V miocénu známe pak již zalednění na Aljašce a na Islandu. Hlavní plošně největší zalednění bylo omezeno pouze na kvartér.

Věk v MA	Délka zalednění	Kontinentální ledovec
0	0,365 Ma	začátek oligocénu
100		
200		
300	350–270 Ma	začátek karbonu
		až začátek permu
400		
	?	pozdní ordovik
500		
600		
625	cca 25 Ma	konec vendu

Naše poznatky o poslední ledové době, tj. o období mezi 117 000 až 12 000 lety (přesně na základě studia ledovce v Grónsku 11 734 calBP (cal = v kalendářních rocích) a následujícím holocénu, se dramaticky změnily. Dříve se předpokládalo, že po celou uvedenou dobu posledního glaciálu byl v severní části střední Evropy rozšířen silný ledovcový pokryv a v jeho předpolí se nacházela pouze tundrová vegetace spojená s výrazně chladným podnebím, tedy krajina velmi jednotvárná. Dnes víme, že situace byla jiná, jak co se týče pevninského zalednění, tak i počtu teplotních a humidních výkyvů. Tomu samozřejmě odpovídaly i změny v tehdejší rostlinstvu a fauně. Reakce zvířat na různě intenzivní a různě dlouhé klimatické oscilace byly u jednotlivých druhů specifitější, než se dříve myslelo. Současná genetická studia vznášejí pak oprávněnou otázku, do jaké míry jsme již vyčerpali všechny možnosti morfometrického studia koster zvířat a z něj vycházejících interpretací.

1.2 Současné pracovní metody

Přírodovědné obory enormně zvyšují v posledních padesáti letech svoje poznatky a s tím souvisejí i nové pracovní metody. Rychlost jejich kvantitativního a samozřejmě i kvalitativního růstu není srovnatelná s žádným minulým obdobím. Ovšemže jsou stále nutné základní popisné práce vycházející ze získaného hmotného materiálu, jedná se však pouze o první stupeň zpracování, který je sice nutný, ale v žádném případě není poslední. Dnešní konečná úroveň je komplexní globální zpracování všech informací, které poskytují nejen vlastní nálezy, ale i sedimenty, v nichž jsou uloženy, a co bych chtěl zdůraznit: především celková interpretace všech získaných poznatků jako jednoho celku, ne tedy pouze souhrn zjištěných poznatků, v lepším případě souhrn interpretací jednotlivých zastoupených oborů.

Vysoká specializace vede k tomu, že dochází k bouřlivému rozvoji všech vědních oborů. Počet nových poznatků jednotlivých oborů rychle roste, což vede na jedné straně ke vzniku úzkých specialistů, případně ke vzniku nových disciplín na hranicích klasických oborů, zároveň i k nutnosti souhrnného zpracování a interpretace jednotlivých poznatků všech disciplín do jednoho celku. Zjistilo se totiž, že všechny informace, které je možné z nejrozličnějších vědních oborů pro řešení projektu získat, jsou mezi sebou v tak úzkém vztahu, že jejich opomenutí vede pouze k dílčím, neúplným a někdy i chybným závěrům. Na základních vědeckých projektech se již nepracuje izolovaně, ale v široké spolupráci nejrozličnějších odborníků, napříč obory a nezávisle na hranicích jednotlivých států nebo kontinentů.

Komplexně vedený výzkum v terénu z hlediska různých zúčastněných disciplín vyžaduje proti dřívějšímu delší čas, zvýšené finanční prostředky a odpovídající odborníky. Je tedy po všech stránkách, především finanční a organizační, mnohem náročnější než výzkumy minulé. Uvedený způsob práce vyžaduje i poněkud jinou strategii výzkumu. Předpokládá vedle vysoce erudovaných odborných pracovníků jednotlivých oborů i vedoucí výzkumu s velkým roz-

hledem, který přesahuje hranice jednoho oboru, kteří jsou schopni organizačně zvládnout oborové odlišnosti. Unik jakýchkoliv informací v terénu, způsobený nesprávným rozhodnutím vedoucího výzkumu, znamená přitom jejich definitivní ztrátu.

Obě cesty, tj. na jedné straně vysoká specializace a na straně druhé komplexní vědecké hodnocení, se dnes ukazují jako nutné. V současné době není již v silách jednotlivce obrovské množství poznatků jednotlivých disciplín do detailů zvládnout. Dávno jsou pryč doby, kdy byl každý badatel schopen zpracovávat nálezy ze všech odborných hledisek. Nejde přitom o nějaký módní, časově omezený výstřelek. S touto metodou se musí počítat i do budoucna. Zastavit tento trend nelze a koneckonců to není ani žádoucí. Výzkumy multidisciplinárního charakteru nabývají stále většího významu. Jednooborové výzkumy řešily pouze problematiku a speciální otázky jednoho oboru, což znamená, že všechny informace ostatních oborů přicházely při takové terénní práci vniveč. Velkou úlohu přitom hrají biogeochemické a izotopové analýzy. Jsou využívány pro celou řadu jiných, dříve zcela nemožných interpretací. Srovnáme-li obsah výzkumu s dřívějším pojetím, vidíme již na první pohled obrovský rozdíl.

1.3 Sedimentární záznam

Sedimenty, tak jako každý jiný objekt, jsou nositeli určitého množství informací. Je to vlastně „kniha“ o velkém počtu stránek, která obsahuje informace nejrozličnějšího druhu. Tyto informace nejsou vyčerpány pouhým popisem sedimentů. Jsou zdrojem poznatků o nejbližším okolí z doby, kdy docházelo k jejich vzniku. Přístup k informacím je do určité míry odlišný u sedimentů venkovních a u sedimentů z krasových oblastí. Vzhledem k tomu, že většina našich krasových oblastí je poznamenána dlouholetou speleologickou činností, jedná se dnes mnohdy o poslední neporušené sedimenty, hlavně co se týče jeskynních vchodů nebo jejich nejbližšího okolí. Tím ovšem vědecká hodnota těch, které jsou ještě zachovány, nesmírně vzrůstá, a je proto nutné s nimi pracovat s co největší opatrností nejmodernějšími pracovními metodami. Dnešní terénní metody jsou již na takové výši, že dovedou vyhodnotit i maličkosti, kterých si běžný člověk, a dokonce ani specialista jiných oborů nemusí vždy všimnout. Vyklizením sedimentů se přitom všechny informace v nich uložené definitivně ztrácejí. Abych to ještě více zdůraznil, biologové prominou, je to mnohem horší, než kdybych zahubil např. všechny netopýry, kteří se v jeskyni nacházejí, poněvadž ti mohou po určité době přilétnout odjinud. Naproti tomu ztráta informací v sedimentech té které lokality je definitivní a nikdy již není možné ji nějakým způsobem nahradit.

Je samozřejmé, že množství informací v sedimentech je různé. Ještě nejméně škod se způsobí při zásahu do sedimentů hluboko v jeskyních, i když ani to se nedá zevšeobecnit. Podstatně jiné je to však u sedimentů poblíž vchodů nebo u sedimentů z komínů. Zde mohou již být vědecké ztráty poměrně velké.

1.4 Výjimečné postavení Moravy

Česká republika sestává ze dvou historických částí. Na západě to jsou Čechy, na východě Morava a menší část Slezska. Morava spolu s částí Slezska má 26 700 km², přičemž zhruba 70 % plochy (přibližně 18 000 km²) je pod výškovou úrovní 500 m. Její zeměpisná šířka je cca 48,6 až 50,3° a zeměpisná délka cca 15,5 až 18,8°. Od jihu na sever měří vzdušnou čarou cca 180 km, od východu na západ cca 155 km. Jedná se tedy o relativně malé území, které je však velmi důležité z hlediska možných migrací flóry a fauny.

Morava má z hlediska střední Evropy výjimečné postavení. Zatímco na všech stranách je obklopena různě vysokými horami (až 1 400 m), otevírá se směrem na jih a na sever. Uvedená morfologie terénu měla samozřejmě vliv i na specifické klima, které je přes poměrně malou plochu odlišné v severní části (kde se otevírá do polských nížin) a části jižní (kde se otevírá do Podunajské nížiny), nemluvě o vertikální zonaci. Morava je tedy ve střední Evropě spojkou mezi severem a jihem a zároveň znamená i určitý klimatický přechod mezi vždy teplejší a také aridnější Pannonskou pávní a Podunajím na jihu a chladnějšími polskými nížinami na severu. Ve střední Evropě představuje jedinou možnou spojovací cestu mezi polskými nížinami a jižními oblastmi, a to jak v obdobích teplých, tak i studených. Všechna okolní pohoří západovýchodního průběhu tvoří totiž určitý filtr ztěžující severojižní nebo jihoseverní pohyb rostlin a zvířat. Z toho důvodu má její území pro studium kvartéru mimořádný význam jak pro periodicky se opakující sezónní migrace, tak pro migrace vyvolané většími klimatickými oscilacemi. Ve spojení s velkým množstvím nalezišť se stává důležitou oblastí pro řešení celé řady problémů.

Život paleolitických lidí byl vždy těsně svázán s lovem zvěře a s jejím množstvím. Ze všech výše uvedených důvodů se proto na území Moravy nachází velký počet paleolitických lokalit nejrozličnějších kultur. K tomu přistupují ještě krasové oblasti s velkým počtem jeskyní, které sloužily zvířatům jako úkryt a lidem jako sídliště. V analýzách přírodního prostředí v širokém slova smyslu můžeme proto vycházet nejen z četných nálezů přírodní provenience, ale i ze studia paleolitických sídlišť.

Morava se v glaciálech nacházela mezi dvěma zaledněnými oblastmi, tj. mezi Alpami a mezi kontinentálním zaledněním severní Evropy. Dnes víme, že kontinentální ledovec v severní části Evropy neexistoval po celý poslední glaciál, to znamená po celých 110 000 let, ale v časově omezenou poměrně krátkou dobu. Ve zbylém období posledního glaciálu byl kontinentální ledovec redukován pouze na horské ledovce ve skandinávských horách. Uváděné skutečnosti se musely podstatně odrazit i v klimatu Moravy, v jejím tehdejší rostlinstvu a fauně.

Srovnání živočišných společenstev jednotlivých oblastí severní, střední a jihovýchodní Evropy v posledním glaciálu ukazuje, že se ve stejné době někdy i dost podstatně lišila (Musil, 2003a; 2003b). Morava pak zaujímalá přechodnou oblast. Klimaticky podobný celek jižní Moravy a Dolního Rakouska se odlišoval od severní části Moravy a jižního

Polska. Střední část Moravy byla víceméně mezi uvedenými oblastmi intermediární.

Na Moravě se nacházejí i mimořádně mohutné sprašové pokryvy s fosilními půdami, které v sobě zahrnují velkou část pleistocénu. Dobře vyvinuté říční terasy poskytují jedinečnou příležitost pro vzájemná stratigrafická srovnání. Krasové oblasti jsou unikátními místy se sedimenty ze středního a svrchního pleistocénu s výjimečně bohatými paleontologickými nálezy. Mimořádně hojně nacházíme na Moravě i větší paleolitická sídliště. Předmostí, Dolní Věstonice, Pavlov, Milovice byly mezi 30 000 až 22 000 lety významnými kulturními centry celé tehdejší střední Evropy a jejich význam přesáhl daleko za hranice našeho státu. Bohaté paleoantropologické nálezy staví Moravu na jedno z předních evropských míst.

Zpracovávání kvartéru z hlediska nejrozličnějších vědních disciplín má na Moravě velmi bohatou tradici sahající hluboko do předminulého století. Má význam nejen pro zúčastněné disciplíny, ale i pro řešení současných ekologických problémů.

1.5 Vertikální a horizontální zonace

Reliéf Moravy je velmi rozmanitý a na krátké vzdálenosti se střídají nížiny, pahorkatiny a vyšší pohoří. Údolní říční niva řeky Moravy je obklopena různě vysokými pohořími a horami (Hrubý Jeseník cca 1 500 m n. m., Karpaty a Beskydy cca 1 300 m n. m.). Prostředí bylo ve stejnou dobu na poměrně krátké vzdálenosti velmi odlišné, což samozřejmě ovlivňovalo i složení rostlinného pokryvu a fauny. V posledním glaciálu můžeme z hlediska flóry a fauny rozlišit tyto hlavní typy prostředí:

1. Aluviální nivy kolem větších vodních toků. Souvislé jehličnaté porosty, ojediněle na příznivých místech i teplo-milné listnaté stromy.

2. Nižší polohy pahorkatin rozprostírající se podél údolních niv, výškově zhruba do 300 m. Plošná velikost je různá, rostlinný pokryv byl závislý na geologickém podloží, na množství srážek (srážkově je podstatný rozdíl mezi jižní a severní Moravou) a u svahů na zeměpisné orientaci. Severní a jižní části Moravy a také krasové oblasti s hlubokými chladnými žleby se mohou velmi lišit. V těchto oblastech převládá parková krajina, otevřené travnaté plochy s ojedinělými stromy a keři, na optimálních místech i menší lesíky. Pravděpodobně se jedná o největší plochy tehdejších biotopů s největším počtem zvířat.

3. Vyšší nadmořské výšky pahorkatin (cca do 500 m), kde se převážně nacházel pouze travnatý pokryv. Místa, kam migrovali sobi v letních měsících a kde žila mimo zimní měsíce i stáda větších býložravců. Složení faunistických společenstev v letních měsících, kdy byla tráva suchá, však bylo podstatně chudší.

4. Vrcholové části pahorkatin již kolem 600 m a hory. Nejvyšší polohy bez travnatého porostu. Deflační oblasti, odkud pocházela spraš, která sedimentovala západními větry v akumulčních oblastech nižších výšek.

Hranice jednotlivých biotopů se v průběhu teplotních a srážkových oscilací mohly měnit. Změny velikosti jednotlivých biotopů nebyly pravděpodobně v této době způsobovány ani tak teplotními oscilacemi jako spíše různým množstvím srážek a jejich rozdělením v průběhu roku.

1.6 Podnebí Moravy

Analýza podnebí Moravy je velmi komplikovaná. Pomineme-li okolní pohoří, je její severo-jihní prodloužení jakousi křížovatkou různých vlivů. Na severu podléhá výrazně chladnému a vlhčímu podnebí, které je typické pro oblasti Polska,

na jihu pak spíše teplejšímu a aridnějšímu podnebí Panonské nížiny. Střední Morava pak vykazuje oscilace různě silných výkyvů obou výše uvedených oblastí. Co se týče směru větrů, ze všech dosavadních studií víme, že v chladných obdobích, kdy docházelo k akumulaci spraší, byl převážně západní. Do tohoto synoptického pohledu na klima je nutné ještě začlenit pohled regionální a lokální, který se může od globálního dosti odlišovat. To vše ukazuje na to, že klima celého území Moravy bude v průběhu posledního glaciálu silně diferencované. Klimatické změny jsou v přímém vztahu k biodiverzitě (rostliny, zvířata), k velikosti jejich populací. Příznivé pro pobyt vedou ke zvyšování jeho počtu a k větší diverzitě společenstva, nepříznivé pak k opaku.

2. VÝVOJ KLIMATU A KRAJINY. ČASOVÉ ZAŘAZOVÁNÍ NÁLEZŮ A JEJICH PROSTŘEDÍ

2.1 Stratigrafie

Jedná se o větší počet metod, které nebudeme podrobně probírat, podáváme jen jejich výčet:

Chronostratigrafie (metoda časové korelace geologických jednotek z různých míst na Zemi).

Litostratigrafie (stratigrafické rozdělení vrstev na základě hornin).

Biostratigrafie (určování stáří sedimentů na základě fosílií).

Tephrostratigrafie (vychází ze studia opakujících se výskytů sopečné aktivity).

Magnetostratigrafie (časová škála sestavená na základě změn magnetického pole Země).

Geochronologie (k určení absolutního stáří se používá rozpad radioaktivních prvků).

Chemostratigrafie (založená na chemických změnách vrstev sedimentů).

Klimatostratigrafie (relativní časové zařazení vrstev na základě klimatických změn).

Aminostratigrafie (založená na aminové skupině kyselin obsažených ve fosilních kostech).

Izotopová stratigrafie (založená na izotopech kyslíku ve vápnitých schránkách mořských živočichů).

Sekvenční stratigrafie (stanovuje jednotky sedimentárních vrstev na základě zjištěných diskordancí).

Pedostratigrafie (založená na chemických a mikromorfologických analýzách fosilních půd).

Morfostratigrafie (v kvartéru založená především na korelaci říčních teras a glacienních sedimentů).

Dendrochronologie (založená na počítání letokruhů stromů a na jejich změnách vlivem podnebí).

Všechny nálezy z minulosti, jakkoliv hojné, by byly k ničemu, kdybychom je nedovedli časově zařadit. Teprve potom, když známe, z jaké doby pocházejí, můžeme je navzájem srovnávat a zjišťovat všechny změny, ke kterým došlo. Geologická stratigrafická škála je stejná jak pro mořské sedimenty, tak i pro sedimenty na pevninách. Je závazná pro všechny odborníky (geology, paleontology, archeology).

2.2 Historie stratigrafického členění kvartéru (čtvrtohor)

Termín kvartér se objevil velmi brzo. Byl poprvé použit na začátku 18. století, a to italským báňským inženýrem Giovannim Arduinem (1714–1796), který navrhl rozdělit celou historii Země do čtyř geologických období: prvohory, druhohory, třetihory a čtvrtohory. Dnes již nepoužívané

názvy, poprvé použité v roce 1823 Jamsem Bucklandem na základě tehdy panující teorie o světové potopě, byly diluvium (doba starších náplavů) a aluvium (doba mladších náplavů). V roce 1829 francouzský učenec Desmoyers navrhl termín kvartér pro všechny sedimenty ležící v nadloží mořských třetihorních sedimentů v Pařížské pánvi. Termín pleistocén zavedl do literatury Ch. Lyell v roce 1832. Definoval pleistocén podle zastoupení vymřelých a žijících měkkýšů. V roce 1833 byl použit termín kvartér i pro sedimenty mořské, v tomto případě Středozemního moře. Pokud obsahovaly mořské sedimenty více než 70 % dnes žijících měkkýšů, jednalo se o kvartér. Termíny kvartér, pleistocén a holocén se však neprosazovaly nijak snadno. Ještě v roce 1846 F. Forbes doporučil používat termín pleistocén pouze jako synonymum glaciálu a holocén pak označit jako recent.

Kvartér, co se týče stupně prozkoumanosti, je jedním z nejdětalněji prostudovaných časových úseků geologické minulosti. Již dlouho neplatí známá stratigrafická škála, kterou na základě studia dřívějších ledovců a jejich morén v Alpách publikovali v letech 1901–1909 Albrecht Penck a Eduard Brückner (*Die Alpen im Eiszeitalter*). V tehdejší době se jednalo o základní publikaci stratigrafického rozdělení pleistocénu. Rozdělili celý pleistocén do čtyř ledových dob (glaciálů), které nazvali podle vodních toků tekoucích z Alp jako günz, mindel, riss a würm. Výrazně teplé období mezi nimi pak bylo nazváno meziledovou dobou (interglaciálem). Schéma čtyř ledových dob bylo založeno na morénových sedimentech (přesněji na glaciofluvialních akumulacích) v údolích severních Alp. Na svou dobu se jednalo o revoluční poznatky, ne všichni s nimi ze začátku souhlasili. Do jejich doby se totiž předpokládalo pouze jediné zalednění (monoglacialisté), v lepším případě pouze dvě (biglacialisté). Pevninské zalednění severní Evropy dostalo svoje vlastní pojmenování, a to elster, saale a visla. Nejstarší alpské zalednění günz v severní a střední Evropě chybí. Uvedené schéma přežilo až do druhé světové války. Dnes na základě výzkumů mořských sedimentů, ledovců a spraší víme, že oscilace klimatu byly mnohem složitější a bylo jich mnohem více, než se dříve předpokládalo. Ne všechna chladná období se vyznačovala vznikem pevninského ledovce.

Rozdělení pleistocénu do tří časových úseků – spodního, středního a svrchního – pochází až z roku 1932. Bylo dohodnuto na mezinárodním kongresu INQUA (International Association of Quaternary Research) konaném v Rusku. Spodní hranice kvartéru byla tehdy stanovena na 1,8 miliónů let. Tato hranice se udržela skoro až do dnešní doby. Teprve nyní byl přiřazen do kvartéru i dřívější pliocenní (konec třetihor) stupeň gelasien, takže spodní hranice kvartéru začíná již před 2,6 miliónů let (přesně 2,588 miliónů let).

2.3 Současné členění kvartéru

Kvartér neboli čtvrtohory jsou (geologicky posuzováno) relativně krátkým časovým obdobím. Dělí se na starší a delší pleistocén (délka cca 2,6 Ma) a na mladší a podstatně kratší holocén, který začíná před 11 734 calBP. Hranice 2,6 Ma je zároveň paleomagnetickou hranicí chronu gauss/matuyama. V té době začíná nejen ochlazování, ale především výraznější teplotní oscilace. Pro celé období kvartéru je typický větší počet velkých (interglaciálních a glaciálních) a menších (interstadiálních a stadiálních) teplotních oscilací. Teplotní oscilace jsou nejdetailněji zachyceny v mořských sedimentech ve vápnitých schránkách dírkovců a v ledovcích Grónska a Antarktidy. Terestrické suchozemské sedimenty nezaznamenávají všechny teplé a studené výkyvy. Dřívější klasické stratigrafické dělení na principu rozšíření horských ledovců Alp nebo na základě kontinentálního zalednění Evropy nevystihuje plně tehdejší dobu. Jen studených období bylo v posledním glaciálu mnohem více, než se původně myslelo (čtyři), dnes jich známe celkem 26. Během celého pleistocénu bylo zjištěno nejméně 24 výrazně teplých výkyvů, tedy interglaciálů (meziledových dob), a ne pouze tři nebo čtyři, jak se donedávna tvrdilo. Přes velký počet chladných období došlo v Evropě během

celého pleistocénu pouze třikrát k rozšíření kontinentálního ledovce ze skandinávských hor na jih do střední Evropy (zalednění elster, saale, visla). Znamená to, že ne v každém chladném období vzniklo i zalednění většího kontinentálního rozsahu. Z hlediska historie Země je kvartér relativně krátké období, pro které jsou charakteristické teplotní a srážkové výkyvy různé délky a různé intenzity. Znamená to, že jednotlivé druhy zvířat a jejich společenstva neměla nikdy delší čas na nepřetržitý vývoj, nikdy nedošlo ke stabilizaci jejich životních podmínek na delší dobu.

Přehledná stratigrafická tabulka kvartéru vypadá takto:

Gelasien (2,6–1,8 Ma)

Na bázi se nachází paleomagnetická hranice gauss/matuyama. Z této doby pochází např. líšeňská terasa řeky Svitavy nalezená v prostoru sídliště Nové Líšně (Brno). Nachází se 92 m nad dnešní řekou. V kontinentálních evropských sedimentech jsou pro toto časové období užívány termíny pretegelen a tegelen.

Spodní pleistocén (1,8 Ma až 780 000)

Eburon. Glaciál, 1,8–1,38 Ma, pravděpodobně s větším počtem teplotních výkyvů. Severní Německo a Polsko nejsou v této době zaledněny. Ledovec ze skandinávských hor sahá nejvýše k severnímu pobřeží Baltického moře. V Nizozemsku chladná stepní fauna, ze střední Evropy známe druhy vyžadující teplé podnebí. Z Moravy nemáme žádné paleontologicky dokázané sedimenty tohoto stáří.

Waal. Interglaciál, 1,38–1,18 Ma. Z této doby pravděpodobně pochází faunistické společenstvo velkých a malých zvířat nalezené v puklině vyplněné sedimentem červené barvy, terra rossou, v lomu Malá dohoda. Lom se nachází poblíž obce Sloup v Moravském krasu.

Menap. Glaciál, délka trvání 1,8 Ma až 780 000. Skandinávský ledovec se nerozšířil do oblastí jižně od Baltského moře. Sedimenty tohoto stáří s nálezy fauny jsou známe ze Stránské skály v Brně (paleomagnetické období (0,99–1,07 Ma). Sprá z této doby je známá z většího počtu lokalit v Brně a jeho okolí. Skončení sopečné činnosti v Nížkém Jeseníku (Velký Roudný, 800 000 BP).

Střední pleistocén (780 000–127 000)

Cromer. Komplex interglaciálů dělených chladnějšími obdobími. Na bázi se nachází paleomagnetická hranice chronu brunhes/matuyama. Typickou cromerskou lokalitou s velkým množstvím nálezů je na Moravě Stránská skála, a – co se týče komplexů půd a spraší v superpozici na jednom místě – Červený kopec v Brně.

Kvartér					
oddělení: pleistocén					
Severní Evropa stupeň	podstupeň	Alpy stupeň	mořská izotopová stratigrafie	polarita eventy	věk v milionech let
pozdní glaciál	mladší dryas * allerd střední dryas * bölling starší dryas *	pozdní glaciál	2		18 252
visla *	stadiál * denekamp stadiál * hengelo stadiál * moershoofd stadiál * odderade stadiál * brörup stadiál * amersfoort stadiál *	würm *	3 4 5	M a b c d BRUNHES	
	eem	niss/würm	5e	B	127 000
	saale s.l.	warthe * reinsdorf	6 7a 7b 7c 8		320 000
	holstein	dömnitz holstein s. str.	9 10 11	L	450 000
	elster *	mindel *	12 13 14 15		
	cromer	IV glaciál * III glaciál * II glaciál * I glaciál *	16 17 18 19 20		0,780
	bavel	leerdam glaciál * bavel s. str.	21 22 23 24 25		
	menap *	günz *	26 27 28	J Co	
	waal	C B A	29		1,8 Ma
	eburon *	donau *	30	O R	
tegelien	C B A				2,6 Ma
pretegelen *		biber *			

* chladné nebo stepní období

Obr. 1 Stratigrafická tabulka pleistocénu. V levé části jsou jednotlivé stratigrafické stupně a podstupeň severní a střední Evropy, vpravo od nich pak horského zalednění Alp (alpské stratigrafické stupně). Modrou barvou jsou značena chladná období (glaciály a stadiály), okrovou barvou teplá období (interglaciály a interstadiály). Obě stratigrafické škály jsou srovnány s mořskou izotopovou stratigií (OIS, MIS, číselné údaje od holocénu dolů) a s paleomagnetickou stratigrafickou škálou. Černě je na ní značena dnešní polarita (brunhes), bíle reverzní polarita (matuyama). Začátek středního pleistocénu se nachází na paleomagnetické hranici brunhes/matuyama. Stratigrafické zařazení interglaciálu reinsdorf do sálského zalednění neodpovídá dnešním názorům. Tabulka zhotovena z většího počtu podkladů.

Elster (severní a střední Evropa), **mindel** (alpská oblast). Glaciál. První pevninské zalednění střední Evropy. Pevninský ledovec zasahoval až do severních částí naší republiky. Till na severní Moravě (nevytříděný ledovcový sediment od jílu až po balvany o velikosti několika metrů) obsahuje velké množství hornin skandinávského původu.

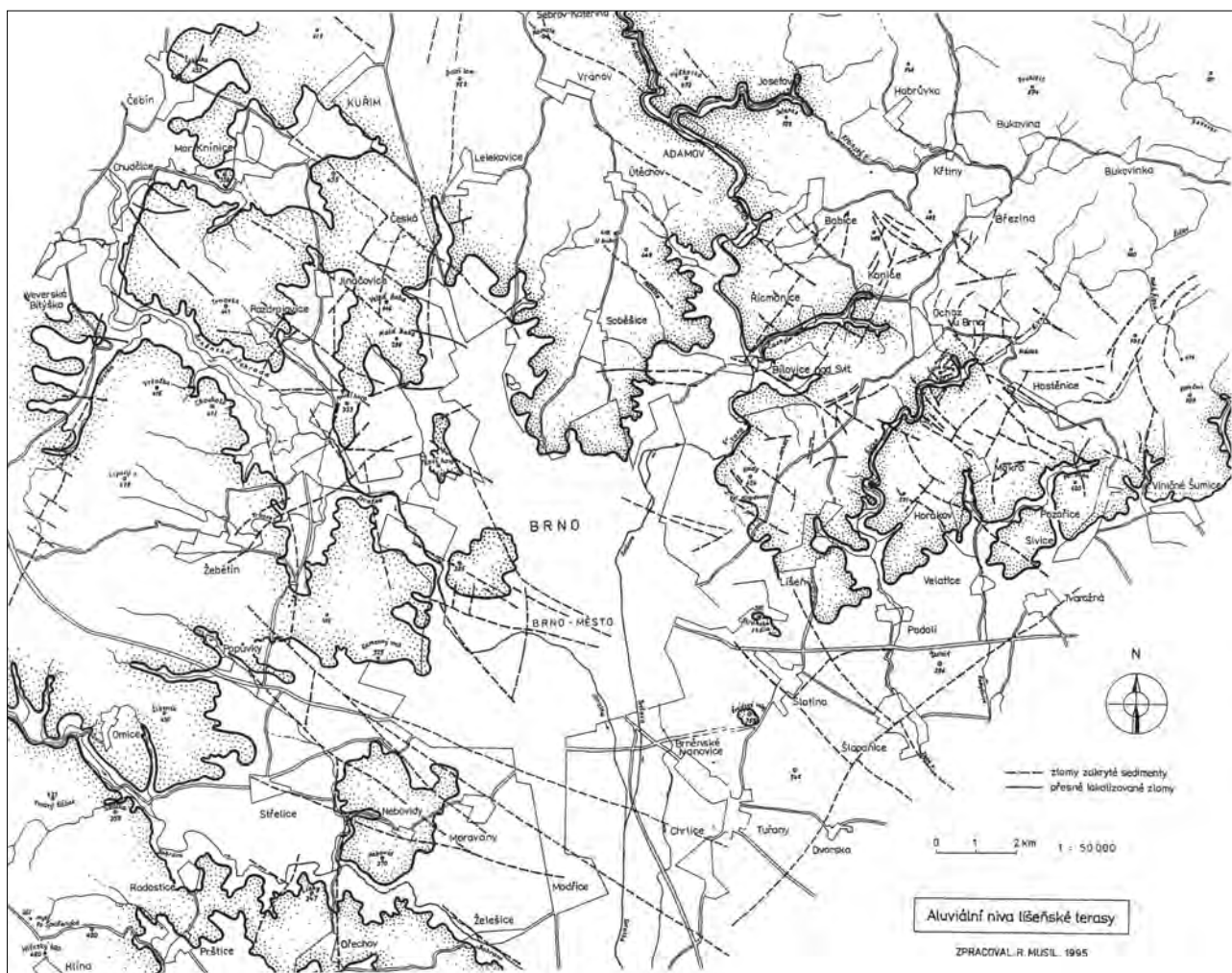
Holstein. Interglaciál, celková délka trvání 15 000–16 000 let (s. str.). Pravděpodobně se nejednalo o jedno teplé období. Z této doby jsou známy nálezy medvědů (*Ursus deningeri*) z Medvědí jeskyně na Stránské skále, z jeskyně Za Hájojnou v Javoříčském krasu a z Mladečských jeskyní (severní Morava). Na severní Moravě v prostoru mezi Havířovem, Dolní a Horní Suchou a Albrechticemi se v této době rozkládalo tzv. Stonavské jezero. Maximální mocnost jezerních sedimentů byla kolem 15 m. Bohaté paleobotanické nálezy podávají výjimečně dobrý obraz o rostlinstvu této doby na Ostravsku. Poslední sopečná činnost zaznamenaná v západních Čechách (Železná Hůrka, 519 000 BP).

Saale (severní a střední Evropa), **riss** (alpská oblast). Glaciál. Začíná studenou fází bez vzniku pevninského ledovce, která trvala pravděpodobně delší dobu a byla přerušena zřejmě jedním interglaciálem a větším počtem interstadiálů. Je to poslední pevninské zalednění, které zasáhlo i severní část České republiky.

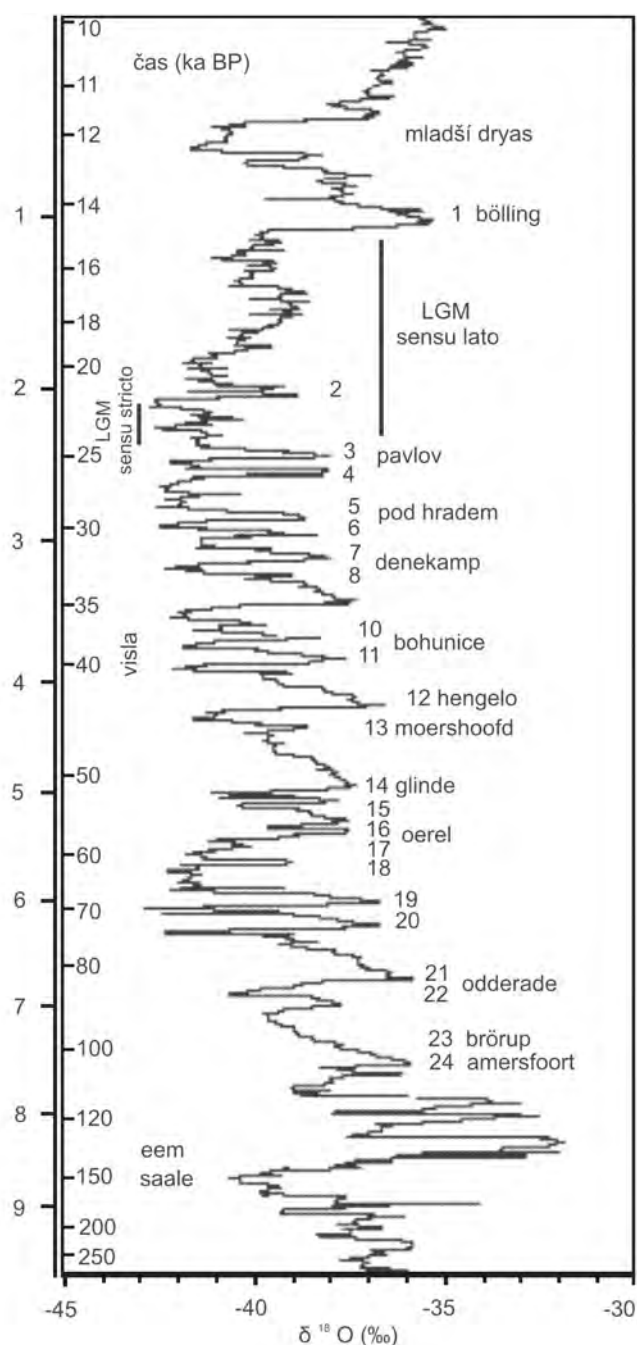
Svrchní pleistocén (127 000–11 734)

Eem. Interglaciál. Dřívější názory na délku eemu se velmi lišily od dnešních. Tehdy se zařazovala do posledního glaciálu ještě první teplá období, která jsou klimaticky eemu značně podobná a dnes jsou řazena již do posledního glaciálu. Jeho trvání bylo proto dříve delší, a to 117 000–75 000 BP. I dnes někteří odborníci tuto délku eemu uznávají. Nyní je rozsah eemu většinou udáván od 117 000–105 000 BP.

Visla (severní a střední Evropa), **würm** (alpská oblast). K rozšíření pevninského ledovce do střední Evropy došlo dvakrát, zhruba v polovině a ke konci tohoto glaciálu. Tento



Obr. 2 Akumulační terasy řek Svratky a Svitavy v Brněnské kotlině jsou poměrně dobře známy. Na obrázku je znázorněn plošný rozsah Líšeňské terasy řeky Svitavy a Svratky (bílé pole). Jedná se o nejstarší datovanou říční akumulaci terasu v prostoru Brna. Její báze je 92 m nad dnešní řekou. Paleomagneticky datované stáří nadložních sedimentů je více než 2,5 miliónů let, tedy začátek kvartéru. Relikty jejich sedimentů nacházíme dnes především východně od města v sídlišti Líšeň a Vinohrady. Aluviální niva byla velmi široká a zasahovala hluboko do všech údolí Moravského krasu. To je nutné brát na zřetel při jakékoliv práci týkající se stratigrafie vodních toků Moravského krasu a s tím spojených jeskyní. Všechny vchody níže položených jeskyní jižní a střední části Moravského krasu musely být v této době zakryté sedimenty. Totéž se týká i dnešních kopců v Brně. Údolní niva zdůrazňuje tvar jednotlivých depresí v pliocénu, jejich orientaci a ukazuje zároveň velikost eroze, která proběhla do dnešní doby. Za dobu 2,5 mil. let bylo z Brněnské kotliny odklizeny cca 90 m sedimentů.



Obr. 3 Poslední glaciál a jeho teplotní výkyvy. Studium grónského ledovce ukázalo, že větších teplotních výkyvů různé délky a intenzity bylo v posledním glaciálu minimálně 24. Pouze zvlášť intenzivní teplotní výkyvy, které jsou dokumentovány i v kontinentálních sedimentech, mají však svá pojmenování. Výkyvy pavlov, pod hradem a bohunice jsou vytvořeny na základě našich lokalit.

Délka posledního glaciálního maxima viselského glaciálu (LGM sensu lato) na základě vrtnu v ledovci GISP 2 se nachází mezi cca 27 až 15 ka calBP, a trvá tedy cca 12 000 let. Největší chladno a jeho kulminace jsou označeny jako LGM sensu stricto (vrcholy cca 27 000 až 24 000 calBP), trvá tedy pouze 3 000 let. Kulminace chladného podnebí v LGM s.s. byla přitom na začátku tohoto nejchladnějšího období. Zhruba před 15 000 BP začíná postupný ústup kontinentálního ledovce ze severního Německa a Polska. Období LGM bylo nejchladnější dobou v průběhu celého posledního glaciálu, který trval cca 110 000 let.

ledovec nezasáhl naše území. V Polsku se dostal nejjižněji do oblasti 50 km jižně od Poznaň. Datování termoluminiscencí tohoto nejjižnějšího postupu ukázalo dobu 15–20 ka BP, radiokarbonové datování 14,5–20 ka BP. Nejrozsáhlejší zalednění Alp se odehrálo v době 24–21,5 ka BP. K podstatnému zmenšení pevninského ledovce došlo velmi rychle, před 17 500 BP. Většina sedimentů v jeskyních Moravského krasu s paleontologickými nálezy pochází z posledního glaciálu.

Pozdní glaciál (15 000–11 700 BP, 18 252–11 734 calBP)

Starší dryas (15 000–12 750 BP, 18 252–15 201 calBP). Chladné období, nízké srážky, zvětšení horských ledovců.

Bölling (12 750–14 500 BP, 15 201–11 821 calBP). Teplé a vlhké období. Vzestup teplot o 5–10 °C (Böttger, 2000). Hladina moře se zvýšila o 100 m.

Střední dryas (12 500–12 000 BP, 14 821–13 971 calBP). Chladné a suché období.

Alleröd (cca 12 000–11 000 BP, 13 971–12 910 calBP). Výrazné oteplení, větší počet srážek. Průměrná teplota o 4 °C vyšší než v současnosti.

Mladší dryas (11 600 /11 650–10 200 calBP, ?12 910–11 734 calBP). Výrazné krátkodobé ochlazení. Velmi aridní klima. Pokles teplot o 3–6 °C (Böttger, 2000). Z této a z pozdější doby pochází většina rašelinišť na území Českomoravské vysočiny.

Holocén (11 000 BP – současnost, 11 734 calBP – současnost) se dělí na: spodní holocén (11 734–7 800 calBP); střední holocén (7 800–4 500 calBP); pozdní holocén (4 500 calBP – současnost).

Detailní rozdělení:

Preboreál (10 000–9 000 BP, 11 734–10 203 calBP). Příznivé klimatické podmínky. Oteplování a zvlhčování podnebí. Vzestup teplot o 4–8 °C (Böttger, 2000). Tvorba černozemí.

Boreál (9 000–8 000 BP, 10 203–8 900 calBP). Průměrná teplota a srážky převyšují dnešní. Smíšené doubravy, teplomilné listnaté dřeviny. Z této doby pochází např. jezírko u Rejvízu v Hrubém Jeseníku.

Spodní atlantik (7 900–7 050 BP). Zvyšuje se počet teplomilných druhů.

Svrchní atlantik (7 050–4 950 BP). Výrazné oteplení. Větší počet rašelinišť v Beskydech.

Subboreál (4 950–2 750 BP).

Spodní subatlantik (2 750–920 BP). Travertiny v Bílých Karpatech.

Svrchní subatlantik (920–0 BP).

2.4 Konvenční měření času izotopem uhlíku (¹⁴C)

Chceme-li zrekonstruovat historii fauny kvartéru, nestačí nám pouze relativní časové srovnávání, ale potřebujeme i absolutní údaje. K tomu nám, pokud se jedná o poslední glaciál, slouží izotop uhlíku (¹⁴C). Pravděpodobně nejdůležitější průlom v datování byl učiněn americkými fyziky (Martin Kamen a Sam Ruben) již v roce 1940. Objevili, že uhlík obsažený v ovzduší v oxidu uhličitým (CO₂) a ostřelovaný kosmickými paprsky, které bombardují nepetržitě Zemi, se mění na izotopy uhlíku ¹²C, ¹³C a v nepatrném

množství ^{14}C . Z těchto informací vyšel v roce 1946 americký chemik Willard F. Libby, který objevil možnost jejich využití pro datování. Za tento objev obdržel F. Libby v roce 1960 Nobelovu cenu. Zjistil, že izotop uhlíku (^{14}C) se deštěm dostává na zemský povrch, reaguje s kyslíkem na oxid uhličitý a vstupuje asimilací rostlin do biosféry. Jeho příjem končí zánikem rostliny, kdy nastává jeho rozpad. V tu chvíli dochází k jeho postupnému zmenšování. Dobu, kdy začíná jeho rozpad, je tedy možné zjistit na základě přítomného množství izotopu uhlíku ^{14}C . Platí to nejen pro rostliny, ale i pro zvířata. Ta samozřejmě nepřijímají izotop uhlíku jako rostliny, ale buď přímo jako potravu (býložravci), nebo nepřímo z těl býložravců (masožravci). Jako výchozí materiál pro tato datování je proto možné použít jak uhlíky dřevin, tak i zachované části zvířecích těl (kosti, zuby).

Vzhledem k poločas rozpadu tohoto izotopu ($5\,730 \pm 40$) je dosah této metody pouze do $45\,000$ – $50\,000$ let, tedy zhruba od střední části posledního glaciálu. Zjištěné údaje jsou označovány zkratkou BP (before present, před dneškem) a jako dnešek se bere rok 1950. Vedle tohoto údaje je přidána i možná chyba před a po tomto časovém údaji (příklad $26\,750 \pm 750$ BP).

2.5 Kalibrace časových údajů

Časové údaje prováděné na základě poměru izotopů $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ nedávají kalendářní roky, jak se původně myslelo, ale pouze logaritmický koeficient. Ukázalo se totiž, že produkce izotopů uhlíku v atmosféře není konstantní. Variace v jeho výskytu jsou způsobovány změnou intenzity magnetického pole Země a změnami v intenzitě dopadu kosmických paprsků na Zemi. Dendrologické srovnávání časových údajů, dále varvy a mořské korály datované metodou

U/T upozornily na rozdíly. U všech naprosto na sobě nezávislých metod se ukázala vždy tatáž chyba. Známé údaje ve spojení s těmito údaji byly použity ke kalibraci údajů z radioaktivního uhlíku. Tímto způsobem byla sestrojena kalibrační křivka, a to nejprve do $10\,050$ let. Pouze tato udávala přesně údaje v kalendářních rocích. Další časové prodloužení bylo umožněno až novým technickým vybavením, a to přístrojem Accelerator Mass Spectrometry. Výhodou tohoto zařízení bylo i to, že nutné množství potřebného uhlíku je menší než u dřívější metody (u vzorků místo gramů pouze miligramy). Také čas nutný ke zjištění časových údajů je kratší, a to méně než jedna hodina. Kalibrovaná data, tedy údaje v kalendářních rocích, se v textu poznají podle použité zkratky cal (příklad $26\,750 \pm 750$ calBP). Kalibrace je proveditelná pouze do doby $50\,000$ BP (Cook, van Plicht, 2007). V odborných publikacích se vyskytují nekalibrované i kalibrované časové údaje.

2.6 Další metody ke zjištění absolutního stáří

Jakmile je jednou objevena nová cesta, netrvá většinou dlouho, kdy se najdou další možnosti využití. V tomto případě se jedná o datování na základě vzájemných vztahů izotopů draslíku a argonu ($^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$). Tato metoda byla objevena v roce 1948 a poprvé použita pro datování kvartérních hornin v roce 1950. Podobná další metoda využila pro datování pouze dva izotopy draslíku (^{40}K a ^{39}K). Uvedené dvě metody jsou většinou spojovány s paleomagnetickým datováním sedimentů.

Nežůstalo však jen u těchto dvou metod. Sopečný materiál vzniklý při výbuchu sopky obsahuje mimo jiné i vulkanické sklo a malá zrnka zirkonu a apatitu. Ta jsou vhodná pro další metodu datování, a to pomocí v nich zachovaných

Tab. 2 Vztah mezi časovými údaji kalibrovanými (calBP) a nekalibrovanými (BP) v rozmezí $4\,000$ až $50\,000$ let. Byla použita kalibrační křivka CalPal 2007 HULU o rozpětí hodnot 68% .

Hodnota BP	Hodnota calBP rozpětí 68 %	Hodnota BP	Hodnota calBP rozpětí 68 %	Hodnota BP	Hodnota calBP rozpětí 68 %
4 000	4 443–4 508	20 000	23 617–24 233	36 000	41 131–41 579
5 000	5 689–5 740	21 000	24 784–25 491	37 000	41 563–42 144
6 000	6 810–6 869	22 000	26 091–26 727	38 000	42 117–42 731
7 000	7 830–7 863	23 000	27 156–28 012	39 000	42 700–43 811
8 000	8 811–8 984	24 000	28 462–29 200	40 000	43 163–44 312
9 000	10 156–10 211	25 000	29 747–30 221	41 000	43 895–45 200
10 000	11 361–11 605	26 000	30 961–31 286	42 000	44 650–46 111
11 000	18 814–13 085	27 000	31 665–31 889	43 000	45 117–48 147
12 000	13 781–14 163	28 000	32 198–32 738	44 000	45 919–48 957
13 000	15 464–16 240	29 000	33 220–33 810	45 000	46 721–49 770
14 000	17 039–17 452	30 000	34 154–34 419	46 000	47 515–50 980
15 000	18 017–18 485	31 000	34 717–35 358	47 000	48 777–52 375
16 000	19 932–19 356	32 000	35 783–36 243	48 000	50 160–53 614
17 000	19 974–20 571	33 000	36 912–38 098	49 000	51 162–54 907
18 000	21 374–22 051	34 000	38 670–40 551	50 000	52 281–56 573
19 000	22 575–23 155	35 000	39 269–40 900		

stop po štěpení izotopu uranu (^{238}U), jehož poločas rozpadu je $8,2 \times 10^{15}$.

Další metody datování jsou již komplikovanější a dovolují určit mnohem starší sedimenty. Uvádíme jenom jejich názvy, a to ještě pouze ty, které jsou hojněji používány:

Termoluminiscence (TL) od roku 1960, opticky stimulovaná luminiscence (OSL, 1985), elektronová spinová rezonance (ESR), používaná od roku 1975 při datování speleothémů (sintrů, krápníků), křemene, skloviny zubů, dále radioaktivní rozpady uranu (^{238}U a ^{235}U) a thoria (^{232}Th nebo ^{230}Th) pro datování krápníků a jezerních karbonátů do 350 ka BP, kosmogenické nuklidové datování známé od roku 1990 a používané pro ledovcové sedimenty, amino acid racemizace (AAR) pro datování kostí, schránek plžů a vajíček ptáků (chemické datování změn aminových kyselin – aminostratigrafie). Počínaje rokem 1980 došlo k dalšímu podstatnému rozšíření možností datování, a to na základě terestrických kosmogenických nuklidů (izotopy vzniklé jadernou reakcí kosmickým zářením). K datování jsou využívány tyto izotopy: ^3H z olivínu, pyroxenu, Fe/Ti oxidy z minerálů a granát, ^{21}Ne z křemene, olivínu, pyroxenu a sanidinu, ^{38}Ar z vápníku, ^{10}Be z křemene, vápníku a sanidinu, ^{26}Al z křemene, ^{14}C z křemene a olivínu, ^{36}Cl ze všech hornin a ze živce, ^{210}Pb , ^{32}Si , ^{85}Kr , ^{81}Kr , ^{10}Be , ^{238}U z ledovců.

Již z tohoto stručného přehledu je patrné, jak široká je dnes škála nových možností na základě izotopů nejrozličnějších prvků. Negativní je, že jejich použití je závislé na poměrně značných financích, na moderním technickém vybavení laboratorů a na široké mezinárodní spolupráci.

2.7 Stablní izotopy prvků a jejich význam pro poznání prostředí

Následující text dokládá, jak důležitou úlohu v nových objevch hraje někdy náhoda. Málokterý objev vyvolal takovou diskusi jako objev zjišťování teploty dřívější mořské vody. Tato zcela nová metoda měla dopad na celou řadu kvartérních disciplín a zcela změnila nazírání na některé naše znalosti. Jednalo se o průlomový objev, který skokem posunul dosavadní vědomosti. Co ještě včera platilo jako stoprocentní pravda, po tomto objevu bylo mnohdy úplně jinak.

Toto nečekané zhroucení dřívějších názorů způsobily izotopy kyslíku přítomné ve vápnitých schránkách mořských dírkovců a dnes již víme, že ve vápnitých schránkách všech mořských živočichů jakéhokoli věku. Je úplně jedno, zda se jedná o fosilie staré několik stovek let, nebo několik stamiliónů roků. Na začátku byla náhoda, jak už to u mnoha nových zásadních objevů bývá. Psal se prosinec roku 1946, kdy měl chemik Harold C. Urey z univerzity v Chicagu přednášku o izotopech pro studenty Vysoké školy technické v Curychu. V ní mimo jiné uváděl, že když se vypařuje ze sklenice voda, v ní přítomné tři izotopy kyslíku (^{16}O , ^{17}O a ^{18}O) neodcházejí ve stejnou dobu. V poměrně krátké době je vypařováním voda zbavena nejprve izotopů ^{17}O a ^{18}O a dále v ní zůstává izotop ^{16}O . Urey to pouze konstatoval, aniž by vyvozoval nějaké důsledky. Teprve nastala studentská diskuse se k tomuto problému vrátila a rozšířila jej. Závěr diskuse byl, že mořská a sladká voda musí mít různý poměr uváděných izotopů. Izotopická analýza karbonátů

může proto zjistit, zda se jedná o karbonáty mořské, nebo sladkovodní.

Prof. Urey na tento závěr nezapomněl. Když se vrátil zpět do své laboratoře v Chicagu, snažil se najít velikost izotopového rozdílu mezi oběma karbonáty. Přitom zjistil, že relativní množství jednotlivých izotopů kyslíku je závislé na teplotě mořské vody, a to z doby, kdy karbonát vznikl. Vápnité schránky mořských živočichů by tedy bylo možné využít ke zjištění teploty mořské vody. A nový objev byl na světě. Urey si uvědomil, že právě objevil teploměr, kterým je možné změřit teplotu vody v jakémkoliv časovém období geologické minulosti.

Něco jiného je ovšem najít nové řešení a něco jiného dodat dostatečné množství důkazů o jeho správnosti. Tehdejší přístroje nebyly schopné měřit potřebné minimální množství. Trvalo to více než čtyři roky, než mohl prohlásit, že poměr izotopu ^{18}O ku ^{16}O v karbonátech je schopen informovat o teplotě tehdejší vody. To bylo bohužel vše, tehdy se jednalo pouze o rozpětí 10 °C. Takový údaj byl však k ničemu, nerozlišovalo to ani průměrné teploty mezi mírným a arktickým klimatem.

Takže přišla další únavná práce. Pro své nové pokusy si zaopatřil dnešní mořské mlže. I když u nich narazil na celou řadu problémů, neodradilo ho to od další práce. Takže na podzim roku 1950 mohl vědecké veřejnosti oznámit, že jeho laborať je schopná změřit z vápnitých schránek všech mořských živočichů (jakkoliv starých) přesnou teplotu tehdejší mořské vody. Pokud má schránka koncentrické roční přírůstky, pak je možné změřit kolísání teploty dokonce v jednotlivých rocích.

Před jeho objevem se v pleistocénu rozeznávaly na základě morén alpských ledovců pouze čtyři ledové doby (glaciály). Na základě této nové metody bylo zjištěno, že jich je mnohem více. Snad by bylo dobré podotknout, že jednou z opor pro jeho zcela nové a jistě odvážné tvrzení, které zcela změnilo tehdejší názory, byl i profil sprašových sedimentů nacházejících se na Červeném kopci v Brně. Dnes se tyto teplotní oscilace označují zkratkami OIS (oxygen isotopic stages) nebo MIS (marine isotopic stages). Jejich označování arabskými čísly začíná holocémem (MIS 1). Lichá čísla značí období s teplým klimatem, sudá čísla s klimatem chladným. V současné době dosáhla tato metoda takové dokonalosti, že je schopna rozlišovat teploty na desetinu stupně. Stala se základem pro detailní klimatickou stratigrafii kvartéru, kterou v této detailnosti nemůžeme nikdy zjistit z terestrických sedimentů.

Později se zjistilo, že by bylo možné tuto metodu použít i u vápnitých schránek živočichů žijících na pevnině, a to jak u vodních, tak suchozemských. Vápnité schránky suchozemských plžů zobrazují rovněž teplotu prostředí při jejich uložení. U vodních plžů, mlžů a u otolitů (sluchových kůstek) ryb se nejedná o uhličitán vápenatý, ale o anorganický uhlík, který nás informuje o roční sezonalitě a u ryb o teplotě jejich krve, o metabolické aktivitě a tím i o aktivitě dotyčné ryby.

Nezůstalo však jen u těchto metod. Pro interpretaci prostředí se používají především prvky s malou atomovou hmotností (kyslík, vodík, uhlík, dusík). Pro zjištění dřívější salinity a teploty mořské vody je možné použít i vzájemné vztahy prvků manganu (Mg) a vápníku (Ca) ze schránek dírkovců a ostrakodů a prvků stroncia (Sr) a vápníku (Ca) u korálů.