

K OTÁZCE EXISTENCE KRASOVÉHO CYKLU

К ВОПРОСУ СУЩЕСТВОВАНИЯ КАРСТОВОГО ЦИКЛА

Вопрос, протекает ли на карстовых территориях геоморфологическое развитие согласно теории геоморфологического цикла, давно является предметом прений. Ученые, которые опровергают существование карстового цикла, представляют себе разные карстовые области без взаимных генетических отношений. Научные работники, принимающие теорию развития по циклам, предлагают рассматривать карстовые территории разной геоморфологической формы как области, которые находятся на разной ступени геоморфологического развития карста.

На территории Моравского карста можно наблюдать ряд явлений, на основании которых можно судить, что и в карсте протекает геоморфологическое развитие согласно теории о геоморфологических циклах. Это прежде всего следующие формы и явления: 1. Пенеплен, пересекающий слои девонских известняков, из которых переходит приподнято на той же высоте и брненской интрузии на западе и к кульмским горным породам на востоке. 2. Явные формы двух эпициклов в долинах, которые врезаются в пенеплен Моравского карста и в прилегающие неизвестняковые области. 3. Непрерывный переход циклических форм долин из неизвестняковых областей в Моравский карст. 4. Существование местного карстового базиса эрозии.

Отázka, zdali v krasových územích probíhá geomorfologický vývoj tak, že jej lze označit názvem krasový cyklus, je otázka důležitá. Důležitá především proto, že z odpovědi na ni plyne závěr týkající se klasifikace krasových oblastí. Jestliže přijmeme existenci krasového cyklu, pak v jednotlivých konkrétních krasových územích, lišících se různým množstvím, různou velikostí a různými druhy povrchových a podzemních krasových jevů, můžeme vidět jen jednotlivá více nebo méně pokročilá stadia geomorfologického vývoje krasu. Jestliže odmítneme krasový cyklus, pak musíme v různých, navzájem se lišících krasových územích spatřovat samostatné typy, které nejsou ve vzájemném genetickém vztahu.

Odpovědi na otázku o existenci krasového cyklu se dosud rozcházejí. Přitom zpravidla zjišťujeme, že badatelé, kteří přijímají teorii geomorfologických cyklů jako teoretické pracovní schéma, jsou přesvědčeni o existenci krasového cyklu, a liší se někdy pouze v mínění, zda krasový cyklus je úplně samostatný druh geomorfologického vývoje, jako například cyklus humidní, aridní apod., nebo zdali je jen varietou cyklu humidního. Naproti tomu autoři, kteří odmítají schéma erosií cyklů, odmítají zpravidla též cyklus krasový.

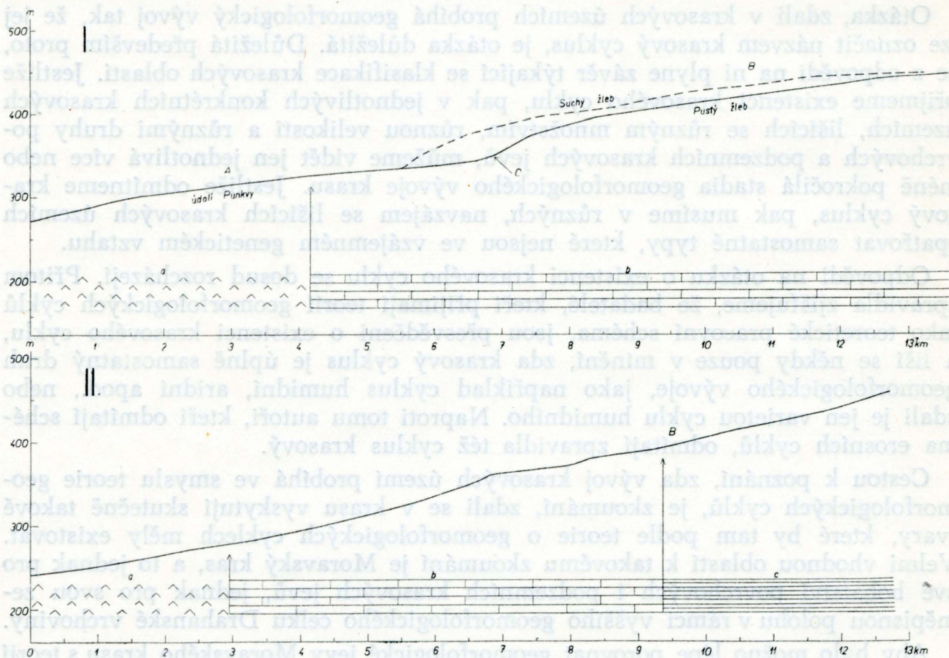
Cestou k poznání, zda vývoj krasových území probíhá ve smyslu teorie geomorfologických cyklů, je zkoumání, zdali se v krasu vyskytují skutečně takové tvary, které by tam podle teorie o geomorfologických cyklech měly existovat. Velmi vhodnou oblastí k takovému zkoumání je Moravský kras, a to jednak pro své bohatství povrchových i podzemních krasových jevů, jednak pro svou zeměpisnou polohu v rámci vyššího geomorfologického celku Dražanské vrchoviny.

Aby bylo možno lépe porovnat geomorfologické jevy Moravského krasu s teorií geomorfologického cyklu, uvedu nejprve stručný nástin jednotlivých stadií krasového cyklu.

Vývoj krasu neboli krasový geomorfologický cyklus začíná buď na prvotním strukturním povrchu, např. na tabuli, klenbě apod., složeném z vápenců nebo dolomitů, nebo na nějakém erosiím povrchu rázu paroviny vytvořeném v horninách podléhajících zkrasování. V prvním případě jde o první geomorfologický cyklus vůbec v dotyčné oblasti. V druhém případě nastup krasového cyklu znamená zmlazení oblasti. V obou případech však krasové tvary v průběhu krasového cyklu vznikající i jejich genetický sled jsou v podstatě shodné.

Stadium mládí začíná vývojem normálních povrchových vodních toků, které svou erodí vytvářejí síť normálních údolí. To je způsobeno tím, že pukliny a mezivrstevní spáry ve vápencích nebo dolomitech jsou v tomto počátečním stadiu v malých hloubkách pod povrchem ještě těsně sevřeny, takže podzemní vody se drží blízko povrchu území. Avšak rozpouštěním hornin se pukliny a mezivrstevní spáry poměrně rychle rozšiřují a prohlubují a podzemní vody se stahují do hlubších poloh. Na povrchu území vznikají škrapy a závrtý, nejprve řídkce rozmístěné, a povrchové vodní toky se začínají ztrácet v ponorech. Začínají se vyvíjet jeskyně, které však v tomto stadiu mají jen malé rozměry a vyskytují se v malém počtu.

Stadium mládí pozvolna přechází do stadia zralosti. Stadium zralosti se vyznačuje těmito znaky: Povrchové vodní toky se již v krasu nevyskytují s výjimkou krátkých úseků poblíže hranice krasu s nekrasovým územím. Tyto krátké povrchové toky vnikají do podzemí ve slepých nebo poloslepých údolích. V podzemí se vyvinuly rozlehlé jeskynní soustavy a podzemní krasové vodní toky. Na povrchu jsou četné závrtý, z nichž pronikají do hloubky komínové propasti typu aven. V pokročilém stadiu zralosti začíná krasový fenomen poznenáhlu zanikat. Sousedící závrtý splývají v uvaly. Stropy nejvíce vyvinutých jeskyň se



I. Podélný profil údolí Punkvy, Pustého a Suchého žlebu. A — mladé údolí vzniklé v druhém epicyklu; B — zralá údolí vzniklá v prvním epicyklu; C — pramen Punkvy; a — žula; b — devonské vápence. I. Long profile of the valley of the Punkva River, of Pustý žleb and Suchý žleb. A — young gorge developed in the second epicycle; B — mature valleys developed in the first epicycle; C — spring of the Punkva River; a — granit; b — Devonian limestones.

II. Podélný profil Křtinského potoka. A — mladé údolí vzniklé v druhém epicyklu; B — zralé údolí vzniklé v prvním epicyklu; a — žula; b — devonské vápence; c — kulmské písčovce a droby. II. Long profile of the Křtinský potok. A — young gorge developed in the second epicycle; B — mature valley developed in the first epicycle; a — granit; b — Devonian limestones; c — Culmian shales and sandstones.

probořují, vznikají otevřené propasti typu jama, na jejichž dně se objevují úseky ponorných vodních toků.

Pokročilé stadium zralosti přechází znenáhla do stadia stáří. V tomto období vývoje zbývají z krasu jen trosky. Větší a vyšší korosí ušetřené zbytky vápencového nebo dolomitového útvaru tvoří izolované pahorky zvané humy, které se tu a tam tyčí nad znivelovaný, mírně zvlněný povrch. Objevují se opět povrchové toky, a celá dříve zkrasovělá oblast je opět odvodňována povrchovými normálními údolními.

Geomorfologický vývoj krasu se děje ve vztahu k tzv. krasové erosi základně. Touto erosi základnou mohou být nepropustné horniny v podloží krasového útvaru, jestliže tyto nepropustné horniny neleží příliš hluboko pod povrchem terénu. Funkce nepropustných podložních hornin jako erosi krasové základny se obecně uznává. Není však jednoty v názorech, pokud jde o erosi základnu v mohutných vápencových masivech, jejichž nepropustné podložní horniny, nepodléhající zkrasovění, leží velmi hluboko. V tomto případě otázka krasové erosi základny souvisí s problémem tzv. hladiny podzemních krasových vod. Dlouhé spory o povahu této hladiny vedly nakonec k zamítnutí Grundova názoru o existenci souvislé hladiny podzemních krasových vod, obdobné hladině v prūlničitých sedimentech. Dnes mnoho badatelů uznává platnost Cvijičova dělení krasu na tři nad sebou ležící hydrografická pásma, z nichž spodní se vyznačuje tím, že všechny pukliny a mezivrstevní spáry jsou stále zaplněny vodou až do té hloubky, v níž pukliny a mezivrstevní spáry jsou těsně sevřeny, takže hlubší polohy vápencového (nebo dolomitového) masivu mají povahu nepropustných hornin. Cvijičovu pojetí krasové hydrologie se velmi blíží názor G. A. Maximoviče, jenž rozeznává v krasu čtyři hydrografická pásma, z nichž třetí a čtvrté společně přibližně odpovídají spodnímu pásmu Cvijičovu.

Poněvadž pukliny a mezivrstevní spáry se navzájem protínají, jsou vody, které je ve spodním hydrografickém pásmu vyplňují, zpravidla ve vzájemném styku a závislosti. V jednotlivých puklinách a mezivrstevních spárách sahá voda sice různě vysoko, ale výškové rozdíly polohy hladiny v jednotlivých dutinách nejsou veliké a zmenšují se během vývoje s rozšiřováním příčného řezu krasových dutin. Nelze tedy v krasu sice mluvit o souvislé hladině podzemních vod, obdobné hladině v pórovitých sedimentech, lze však předpokládat jistou svrchní úroveň podzemních vod, jejíž výšková poloha se mění v závislosti na změnách přítoku a průsaku s povrchu krasového území. Je-li tato úroveň protnuta topografickým povrchem, vytékají krasové vody z krasového podzemí jako krasové neboli vaclusní prameny, které napojují krasové vody na povrchové toky, vázané na své erosi základny v nekrasových oblastech. V úrovni podzemních krasových vod spatřují proto mnozí badatelé erosi základnu pro vývoj krasu.

Zahloubí-li se vodní toky v nekrasovém území vlivem poklesu (relativního nebo absolutního) své erosi základny, sledují je v tomto zahloubení i jejich úseky a přítoky v krasové oblasti. Toto zahloubení vodních toků v krasu způsobuje snížení úrovně krasových podzemních vod, a to nejprve v úsecích přilehlých k povrchovým vodním tokům, odkud se šíří zpětně proti proudu. Tak se postupně snižuje krasová erosi základna a zkrasovění proniká do větších hloubek ve vztahu k nové poloze krasové erosi základny.

Poněvadž zahlubování povrchových vodních toků i snižování krasové erosi základny postupuje zpětně proti proudu, mohou se v jedné a téže krasové oblasti vyskytnout vedle sebe úseky, které jsou v různém stadiu vývoje krasového cyklu a pozvolna do sebe přecházejí, např. úsek ve stadiu mládí přechází do úseku ve stadiu zralosti apod.

Jestliže přijmeme, jak praví Emm. de Martonne, teoretický sled vývoje krasových oblastí, jak jej podává teorie geomorfologického cyklu, pak mnoho rozdílů a často i zdánlivých protikladů v jednotlivých krasových územích se jednoduše vysvětlí různě pokročilým geomorfologickým vývojem těchto oblastí. Je ovšem nutno při tom přihlídnout i ke klimamorfogenetickým podmínkám.

Porovnejme nyní teorii krasového cyklu s fakty, které lze zjistit v Moravském krasu. Názvem Moravský kras se označuje poměrně úzký a cca 25 km dlouhý pruh devonských vápenců, k nimž v jejich podloží přistupují ještě jiné, nevápencové sedimenty devonského stáří. Moravský kras se táhne směrem zhruba od jihu k severu od Brna ke Sloupu. Největší šířky, necelých 8 km, dosahuje při svém jižním konci. Většinou se však šířka pruhu devonských vápenců pohybuje kolem 4 km. Na západě se devonské horniny přikládají na předdevonský masiv brněnské vyvěřeliny, na severu, východě a jihu jsou lemovány kulmskými vrstvami, na jihozápadě končí srázným svahem nad Brnem. Devonské vrstvy mají převážně směr NNE - SSW a většinou se sklánějí k ESE. O geologické stavbě Moravského krasu existují různé názory. Podle názoru akademika Kettnera má devon Moravského krasu přikrovovou stavbu. Moravský kras netvoří samostatnou orografickou jednotku, nýbrž je součástí vyššího geomorfologického celku, Drahanské vrchoviny.

Jedním ze základních tvarových rysů Moravského krasu je parovina, která ve výškách kolem 450—500 m n. m. seče vápencové vrstvy a přechází na všech stranách vápencového masivu do okolních hornin. Tato parovina, která se vyvinula složitým vývojem a existovala již nejméně před calloviem, se stala výchozím tvarem pro nynější krasový jev. Máme zde tedy, jako v četných jiných případech krasových oblastí, např. u francouzských Causses aj., parovinu zmlazenou krasovým vývojem. Přítomnost této paroviny svědčí o tom, že vápencový útvar Moravského krasu prodělal před vznikem nynějšího krasu nejméně jeden úplný geomorfologický cyklus. Zdali se v průběhu složitěho vývoje, který skončil vznikem paroviny, uplatnil i cyklus krasový, nemůžeme bezpečně tvrdit. Jasně však vidíme, že ve vápencích, které podléhají za vhodných klimatických podmínek zkrasovění, čili v horninách krasových podle terminologie prof. Kunskeho, probíhá erosi geomorfologický cyklus až do konečného svého stadia. Přítomnost paroviny, pod kterou vápencové vrstvy dále pokračují do velikých hloubek, nám též ukazuje, že se geomorfologický cyklus ve vápencích vyvíjel ve vztahu k erosi základně, která nebyla tvořena nevápencovým podložím, nýbrž byla vázána na vápencové vrstvy.

Do paroviny Moravského krasu ve všech jeho částech, severní, střední i jižní, jsou zahlabena údolí. Jak známo, jsou tam vyvinuty různé typy krasových údolí, údolí slepá, údolí poloslepá, suchá i protékaná povrchovými vodními toky. Jestliže tato údolí pozorně studujeme, vidíme, že nejsou v celé své délce vyvinuta stejnoměrně. Především v hlavních údolích, v Pustém a Suchém žlebu, v údolí Jedovnického a Křtinského potoka a v údolí Řičky se v nich velmi nápadně odlišují dva úseky různého geomorfologického vzhledu, na něž upozornil již Machatschek. Vyšší úseky jsou jen poměrně málo zahlabeny do paroviny, mají značně mírnější podélný spád a značně rozevřený příčný údolní profil, neboli mají zralý ráz. Nižší úseky jsou typické hluboké úzké kaňony se sráznými stěnami a značným podélným spádem dna. Směrem dále po proudu se spád dna i sklon stěn těchto kaňonovitých úseků zmírňuje, avšak kaňonovitý ráz si podržují i tam, kde jsou zahlabeny do nevápencových hornin brněnské vyvěřeliny a kulmu.

Odlišný geomorfologický vzhled těchto údolí v různých jejich částech není možno vysvětlit vlivem nestejně odolnosti hornin, neboť úseky odlišného rázu se vyskytují nezávisle na horninách. Tak např. kaňonovitě i zralé úseky Pustého a Suchého žlebu jsou vyvinuty jak ve světlých vápencích frasnieniu, tak v amfiporových vápencích givétieniu. Kaňonovitý úsek údolí Punkvy a Křtinského potoka přechází z vápenců do brněnské vyvřeliny a zralý úsek údolí Řičky východně od Ochozu přechází nepřerušeně z kulmských hornin do vápenců, v nichž pak níže po proudu nastupuje úsek kaňonovitý. Takových příkladů bychom mohli uvést ještě řadu.



Mladá soutěska na dolním úseku Suchého žlebu, vzniklá ve vápencích v druhém epicyklu. Young gorge of the lower segment of Suchý žleb developed in limestones in the second epicycle.

Foto J. Krejčí

Není-li možno tyto různé úseky vysvětlit nestejnou odolností hornin, je nutno o vyšších úsecích s rozevřenějším příčným profilem a mírnějším spádem dna předpokládat, že jejich svahy byly delší dobu modelovány svahovou modelací než svahy kaňonů. To znamená, že vyšší úseky jsou starší než kaňony, neboli že byly založeny ve starším epicyklu, jenž se vyvíjel ve vztahu k jiné, vyšší (relativně nebo absolutně) erodní basi než úseky kaňonovitě, které odpovídají dalšímu, mladšímu epicyklu.

Důležité poučení nám po této stránce poskytují též pobočná údolí ústící do hlavních údolí Moravského krasu. V těchto pobočných údolích jsou rovněž velmi výrazně vyvinuty, nezávisle na horninách, dva úseky rozdílného stupně geomorfologického vývoje. Horní úsek je v příčném řezu značně rozevřený a má poměrně mírný sklon dna v podélném směru. Má tedy příznačné rysy údolí ve stadiu zralosti humidního geomorfologického cyklu. Dolní úsek je ostrý zářez

tvary V s příkrými stěnami a prudkým spádem dna, jehož podélný profil je nevyrovnaný, takže místy na něm potoky tvoří přeje i nízké, ale typické vodopády. Má tedy typické znaky stadia mládí geomorfologického cyklu. V místech styku obou těchto údolních úseků rozdílného geomorfologického vzhledu pokračuje rozřezané dno zralého úseku podél mladého zářezu ve formě teras. Pobočná údolí tedy prodělala a prodělávají stejný geomorfologický vývoj jako jejich údolí hlavní.



Mladý zářez druhého epicyklu prořezávající zralé údolní tvary prvního epicyklu. Pobočné údolí ve vápencové oblasti jihozápadně od Habrůvky. Young steep slopes of the second epicycle encroaching on mature valley forms of the first epicycle. A tributary valley in the limestone area.

Foto J. Krejčí

Z toho plyne, že hlavní údolí i tam, kde jsou dnes suchá, byla kdysi místní erosní základnou pro pobočné toky. Dnes mají tuto funkci pouze ty části hlavních údolí, které jsou protékány povrchovými vodními toky. Z toho proto plyne dále, že dnes suché údolní úseky byly kdysi rovněž protékány povrchovými vodními toky. O tom též svědčí i detailní tvary dnes suchých údolí i nánosy v nich uložené. Vidíme tedy, že v Moravském krasu se vyvíjela hlavní i pobočná údolí ve vztahu k hlavní i k místním erosním základnám a že tvarové změny probíhaly kdysi z největší části tak, jak to odpovídá teorii o erosním cyklu v humidním podnebí.

Skutečnost, že dnes suchá údolí Moravského krasu byla vytvořena a protékána povrchovými vodními toky, svědčí též o tom, že úroveň podzemních vod ležela kdysi dlouho v úrovni údolního dna, tak jako leží dnes v úrovni dna kaňonů tam, kde jsou protékány povrchovými vodními toky, Punkvou, Křtinským potokem pod Býčí skálou a Říčkou. Dnes suché údolní úseky byly opuštěny

povrchovými vodními toky tehdy, když úroveň podzemních vod klesla do větších hloubek. Tehdy se povrchové vodní toky změnilly na toky ponorné a nastala hlavní fáze zkrasování.

Moravský kras nám podává též doklady o tom, že v krasových oblastech je určitá úroveň krasových podzemních vod, které tvoří krasovou erosi základnu, jež se snižuje tehdy, když hlavní toky se vlivem poklesu své erosi základny ležící mimo krasovou oblast zařiznou pod úroveň krasových podzemních vod. V povodí Punkvy leží dnes úroveň krasových podzemních vod v úrovni dna úseku kaňonu, který je protékán povrchovým tokem Punkvy. Do této nynější polohy se úroveň krasových vod dostala vlivem zahloubení Punkvy v tomto úseku, a to nejprve v blízkosti řečiště Punkvy. Odtud se snížení úrovně krasových podzemních vod šířilo jednak bočně, jednak směrem proti toku Punkvy. O bočním šíření snížení úrovně krasových vod svědčí to, že celá kaňonitá část Suchého žlebu je suchá, ač byla vytvořena erosi povrchového vodního toku, a ač sousední kaňonovitý úsek v pokračování Pustého žlebu je protékán Punkvou. Suchý žleb se stal suchým zřejmě proto, že jeho dno má větší spád, leží tedy v určité vzdálenosti od spojení s údolím Punkvy ve vyšší poloze než dno údolí Punkvy, a proto se dostalo při poklesu úrovně podzemních vod, způsobeném erosi Punkvy, z jejich dosahu.

Dokladem o šíření snížení úrovně krasových podzemních vod směrem proti jejich proudu je jejich hluboká poloha v prostoru Sloupsko-šošůvských jeskyň, kde je voda 80 m pod dnem údolí, dále u Holštýnského propadání a u Rudického propadání (asi 85 m). Malý spád krasových vod od míst pod propadáními u Sloupu a Rudic k výtokům Punkvy a Jedovnických vod u Býčí skály — spád mnohem menší než je spád suchých údolí — svědčí pro to, že tu jde skutečně o určitou úroveň krasových podzemních vod, které tvoří krasovou erosi základnu.

Poměry v Moravském krasu tedy ukazují,

1. že existuje krasová erosi základna daná úrovní krasových podzemních vod;
2. že vývoj vápencových oblastí probíhá ve smyslu teorie o erosičních cyklech, přičemž krasový cyklus je varietou cyklu humidního podmíněnou povahou hornin a poklesem úrovně podzemních vod do větších hloubek.

PROBLEM OF THE EXISTENCE OF THE KARST CYCLE

A very important problem exists whether the geomorphologic development going on in the karst areas may be specified as a karst cycle or not. Solving this problem will solve at the same time the problem of the classification of the karst areas. If we accept the theory of the existence of a karst cycle, the individual karst areas — differing in quantity, size and variety of kinds of the surface and underground karst phenomena — present the individual, more or less advanced stages of the geomorphologic development of the karst. If, however, we dismiss the idea of the existence of a karst cycle we have to regard the individual karst areas — so differing from one another — as units of their own without any genetic correlation.

So far no satisfactory solution has been found to this problem. As a rule, those who would admit the existence of geomorphologic cycles, would also approve of the existence of a karst cycle. Their opinions differ only as to whether the karst cycle in itself is a special process of the geomorphologic development, as for instance the humid or arid cycle, or if it is just a variation of the former. On the other hand, those rejecting the idea of erosion cycles, decline also the existence of a karst cycle.

If the development of the karst areas really proceeds in accordance with the theory of the geomorphologic cycles, the areas should abound in phenomena that would justify such theory. A very proper area in which to carry out investigations of this kind is the Moravian Karst because of its riches in surface as well as underground karst phenomena, as well as its most convenient position in the geomorphologic unit of the Dražanská vrchovina (Drahaný Upland).

To make easier the comparison of the geomorphologic phenomena of the Moravian Karst with the theory of the geomorphologic cycle, we shall start with a brief outline of the individual stages of the karst cycle.

The development of the karst, or the karst geomorphologic cycle begins either on a primary structural surface, e. g. on a plateau, dome, etc. composed of limestones or dolomites, or on an erosion surface of a peneplane character built of rocks which are easily subject to the karst development. In the former case, the geomorphologic cycle is the first of its kind to take place in the area. In the latter the beginning of a karst cycle brings rejuvenation of the area. In both instances, however, the karst phenomena produced in the process of the karst development are but identical in character as well as genetic succession.

The stage of youth starts with a system of normal surface streams cutting down their valleys. In this initial stage the joints and bedding plane openings in the limestones or dolomites are at a moderate depth under the surface of the ground tightly closed and therefore the ground-water level is near the surface. But as joints and bedding plane openings gradually widen through solution, the ground-water descends to greater depths. Lapiés and sinkholes appear here and there on the surface, and the surface streams start losing their water in sinks. In the underground caverns begin to form.

The stage of youth is succeeded by the stage of maturity. The surface drainage gives way almost entirely to subterranean channels, except for streams which appear aboveground for short distances in the area where the karst borders on its non-karst neighbourhood. These short surface streams lose their water to the underground in blind or half-blind valleys. Cavern networks and cavern streams are characteristic of this stage. Sinkholes have increased greatly in number, many of them extending down-wards in chimney shaped chasms of the aven type. In the advanced stage of maturity the karst phenomena begin to decline. Sinkholes often join to form uvalas, and gaping abysses of the "jama" type come into being through the collapse of cave ceilings. On their floors, streams may for a short distance flow at the surface, emerging from caves and again entering caves.

The stage of maturity passes gradually into the stage of old age. Only small remnants remain from the karst phenomena. Occasional isolated hills of limestone or dolomite called hums rise above the peneplaned, gently undulated surface. Old age shows a normal system of surface streams in possession of the land, and the drainage in the whole previously karstified area flows through normal valleys again.

The geomorphologic development of the karst is closely dependent from the so-called karst base level of erosion which may be formed by impermeable rock floor of the karst formation, when this is not situated too deep under the surface. Generally, there is no doubt that the impermeable rock floor functions as the karst base level. Opinions differ only as far as the base level in limestone masses is concerned when the impermeable rock floor — not subject to karst development — is situated at comparatively great depths. In this case, the question of the karst base level is closely connected with the problem of the karst ground water-table. Disputes were held as to the character of this water-table, and resulted finally in complete refusal of Grund's theory defending the existence of continuous water-table similar to the one in porous sediments. Nowadays, many scientists have adopted Cvijić's division of the karst into three horizontal hydrographical zones. Cvijić believes that all joints and bedding plane openings in the lowest-situated zone are permanently saturated with water as low as their deepest reaches where they become tightly closed. In this way the underlying limestone or dolomite strata have preserved the character of impermeable rocks. Similar to this Cvijić's theory of the karst hydrology is the opinion of G. A. Maximović. He distinguishes four hydrographical zones in the karst, the third and fourth of which would approximately correspond to the lowest zone of Cvijić.

Since fissures and joints intersect one another, the water, flooding them in the lower hydrographical zone, can move freely between them. The elevation of its top in individual joints is slightly different, but the differences get diminished with the widening of transverse sections of the karst cavities. In the karst we cannot speak of a continuous level of the ground-water — as is the case with porous sediments — but, nevertheless, we may presume that there is a certain upper level of the ground-water the height of which depends directly upon the volume of inflow and seepage from the surface. In case this level gets intersected by a topographic surface, the karst waters flow out in the form of karst springs in the surface streams which are bound to their bases level in non-karst areas. Therefore, many scientist consider the level of the karst ground-water to be the base level of erosion for the development of the karst.

If streams in non-karst areas cut down as a consequence of the subsidence (relative or absolute) of their base level their sections and tributaries in the karst areas adapt the same

altitude. The cutting down of streams in karst areas causes the lowering of the level of the karst ground-water which takes place first of all in areas closest to the surface streams from where it proceeds upstream. In this way the karst base level gets gradually lowered and the process of karst development affects always lower levels in accordance with the new position of the karst base level.

Since the cutting down of the surface streams as well as the lowering of the karst base level proceed upstream, it sometimes happens that in a karst region we find two adjoining areas, which have reached different stages of geomorphologic development and gradually pass into each other. For instance an area in the stage of youth may pass into another which is in the stage of maturity, etc.

Emmanuel de Martonne says that, if we admit the theoretical succession of the development of the karst areas according to the theory of the geomorphologic cycle, many differences and often apparent contradictions in various karst regions may easily be explained by the fact that these karst regions have reached different stages of the geomorphologic cycle. Of course, also the climamorphogenetic conditions must be taken into account.

We shall now compare the theory of the karst cycle to facts ascertained in the Moravian Karst. The Moravian Karst is a comparatively narrow and approximately 25 km long zone consisting of Devonian limestones which are underlain by Devonian rocks other than limestone (arkoses, conglomerates, shales). The Moravian Karst extends from Brno in the south to Sloup in the north. It reaches its greatest width — approx. 8 km — on its southern end. But mostly the breadth of the zone of the Devonian limestones does not vary greatly around 4 km. In the west, Devonian rocks are in contact with the pre-Devonian Brno Intrusive Mass. In the north, east and south they are bordered by Culm strata and end in the south-west in an abrupt slope above Brno. Devonian strata strike predominantly NNE — SSW and dip ESE. There is diversity of opinion as to the structure of the Moravian Karst. In the opinion of the Academician R. Kettner the Devonian of the Moravian Karst has a decken structure. The Moravian Karst is no independent orographic unit standing alone, being part of a larger geomorphologic whole, called Drahanská vrchovina (Drahany Upland).

One of the dominant relief features of the Moravian Karst is a peneplain which at an altitude of 450—500 m truncates the limestone strata and extends on all sides from the limestone area on the adjacent rocks. This peneplain, that most probably had existed as early as before the Callovian and had been formed through a complicated development, was the initial topographic form from which the present karst features started to develop. As in many other karst regions (for instance in the French Causses), we see also here an example of a peneplain rejuvenated by the karst development. The presence of this peneplain suggests that the limestone formation of the Moravian Karst had passed through at least one complete geomorphologic cycle before the present karst development has been initiated. We have no evidence as to whether the karst cycle participated in the complicated process of development, the final form of which was the peneplain, or not. But we clearly see that in limestones, which in proper conditions are subject to karst development — i. e. in the karst rocks according to J. Kůnský — the geomorphologic cycle runs its course to its penultimate stage.

The existence of the peneplain beneath which the limestone strata extend to great depth, suggests that the base level of erosion toward which the geomorphologic cycle was developing, was not formed by the impervious rock underlying the limestone formation, but that it was confined to limestones.

The peneplain of the Moravian Karst in its northern, central as well as southern part is dissected by valleys. There are different types of valleys: blind, half-blind and dry valleys as well as valleys drained by surface streams. Closer studies have disclosed the fact that the development of the valleys had not been uniform along their whole course. The main valleys — Pustý and Suchý žleb, the valley of the Jedovnický and Křtinský potok (Jedovnice Brook and Křtiny Brook) and the valley of the Řička — exhibit two portions with marked geomorphologic differences. The upstream portions are shallow, wide open valleys with forms of maturity. The downstream parts are deep canyons with very steep sides. The longitudinal profile of the valleys between these two differing stretches is marked by abrupt changes in slope.

The different geomorphologic aspect of these valleys in their various parts cannot be explained by uneven resistance of the rocks, since portions of varied character occur independently of the rock structure. Thus for instance, the canyons as well as the mature parts of the Pustý and Suchý žleb have developed both in the light Frasnian limestones and the Amphipora limestones of the Givetian. The canyon part of the valley of the Punkva and the Křtiny Brook extends from the limestones into the Brno Intrusive Mass. The mature part of the valley of the Řička east of Ochoz passes without any change in the shape of its cross profile from

the Culm rocks into the limestones, in which farther downstream the canyon portion begins. Many other examples could be cited in this place.

As these geomorphologic differences are not explainable in terms of varying rock resistance we are to conclude that the mature upstream portions of the valleys had been exposed to degradation for a much longer period of time than the steep sides of the canyons.

From this statement it follows that the upstream portions of the valleys are older than the canyons and that therefore they had been produced during a partial cycle (epicycle) of erosion preceding the present epicycle, during which the canyons develop.

Analogous character have the tributary valleys of the main valleys. They, too, exhibit two sections with marked geomorphologic differences which are not related to more or less resistant rocks. The upstream portion is shallow and wide open valley of maturity. The downstream part is youthful. It has V-shaped cross profile and interrupted long profile. Some of these downstream portions are marked by rapids or waterfalls. Along their valley sides remnants of the mature valley are marked by benches above the present valley floors.

The geomorphologic features described in the preceding paragraph indicate that the tributary valleys passed through the same geomorphologic development as did the main valleys. From this it follows that the main valleys even there, where today they are dry, acted in the geologic past as local base levels of erosion for tributary streams. Today act as local base levels only those portions of the main valleys which are occupied by surface streams. From this we may conclude that the valley portions which are now dry were in the geologic past occupied by surface streams. Other arguments for the validity of the preceding statement are the erosional and depositional features in the dry valleys.

It is therefore obvious that the main valleys as well as the tributary valleys of the Moravian Karst have developed toward the general and local base levels of erosion and that the land-forms have experienced the successive stages of evolution postulated by the concept of the geomorphologic cycle in a humid climate.

The fact that the now dry valleys of the Moravian Karst were cut and drained by surface streams, indicates that the ground-water table lay for a long period of time at the level of their floor, similarly as it lies today at the level of the floors of the canyons drained by surface streams Punkva, Křtiny Brook and Říčka. The now dry portions of valleys have been abandoned by the surface streams at that time when the ground-water table has been lowered to greater depths and consequently the surface streams have been diverted to underground routes. That was the beginning of maximum karst development.

The Moravian Karst gives also arguments for the validity of the opinion, (1) that in the karst regions exists a ground-water level which acts as local base level of erosion for the karst area, (2) that the incision of the surface streams, following the reduction of general base level outside the karst region, lowers the ground-water level in the karst area. In the karst portion of the drainage basin of the Punkva the ground-water table lies today at the level of the floor of the canyon occupied by the surface course of the Punkva and at the level of the cave streams. The ground-water table in the karst area has attained its present-day position following the incision of the surface course of the Punkva. The lowering of the karst ground-water table has been accomplished first in the zone immediately adjacent to the surface course of the Punkva, and then has been extended laterally and upstream. Evidence of the lateral extension of the lowering of the karst ground-water table is given by the fact that the whole canyon part of the Suchý žleb is now dry, while the canyon in the down-valley portion of the Pustý žleb is occupied by the surface course of the Punkva. Suchý žleb has been abandoned by the surface stream obviously therefore, because owing to its steeper gradient its floor in a certain distance upstream from its junction with the canyon of the Punkva lies at a higher elevation above sea than the corresponding stretch of the canyon of the Punkva. Consequently the lowering of the ground-water table caused by the incision of the Punkva has diverted the surface stream of the Suchý žleb to underground routes.

The fact that the lowering of the ground-water table following the incision of surface streams extends upstream, is evidenced by the deep position of the ground-water table in the area of the Sloup-Šošůvka Caves, where it lies about 80 m below the floor of the dry valley, and in the areas of the swallow holes of Holštýn and of Rudice, where it lies about 85 m below the valley floor. The very low gradient of the underground streams, much lower than is the gradient of the floors of the dry valleys, indicates that in the Moravian Karst really exists a ground-water level acting as local base level of erosion for the karst region.

From the geomorphologic and hydrologic features in the Moravian Karst we may conclude, (1)

that there exists a karst base level of erosion formed by the ground-water table, (2) that the geomorphologic development in karst regions is a variety of the geomorphologic cycle in humid climates.

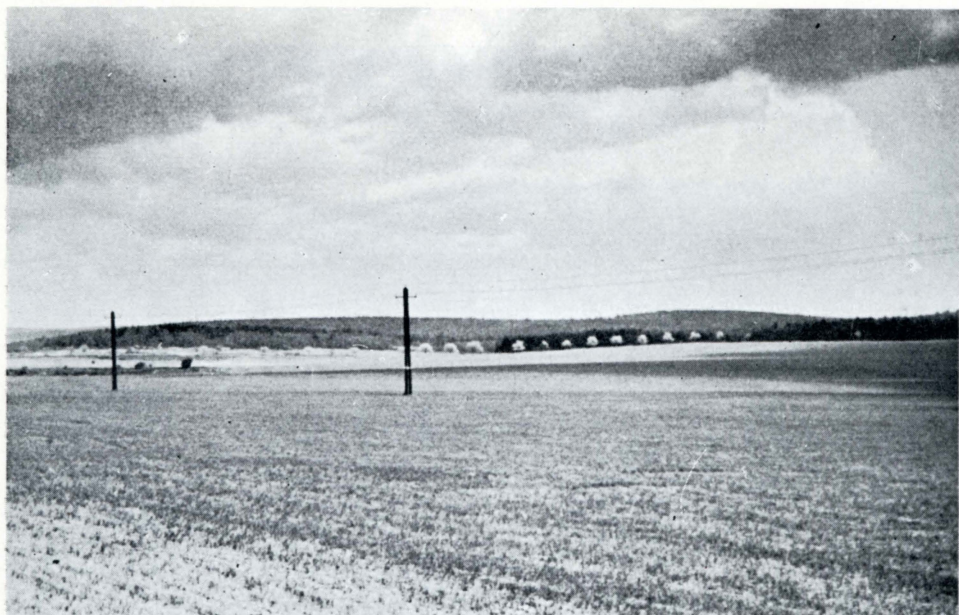
Literatura

1. BIROT P.: Problèmes de morphologie karstique. *Annales de Géographie*. Paris 1954, 63.
2. BURKHARDT R.: Hydrografie Jedovnického potoka v Moravském krasu. *Československý kras*. Brno 1953, 6.
3. JARKA J.: Geologie jižní části Moravského krasu mezi Křtinami a Mokrou. *Rozpravy II. tř. České akademie věd*. Praha 1950, 58.
4. KETTNER R.: Všeobecná geologie III. Praha 1948.
5. KETTNER R.: Geologická stavba severní části Moravského krasu a oblastí přilehlých. *Rozpravy II. tř. České akademie věd*. Praha 1950, 59.
6. KETTNER R.: Stavba Moravského krasu. *Sborník Čs. spol. zeměpisné*. Praha 1953, 58.
7. KUNSKÝ J.: Kras a jeskyně. Praha 1950.
8. LEHMANN H.: La terminologie classique du karst sous l'aspect critique de la morphologie climatique moderne. *Revue de géographie de Lyon*. Lyon 1960, 35.
9. LEHMANN O.: Die Hydrographie des Karstes. Leipzig und Wien 1932.
10. MACHATSCHEK F.: Landeskunde der Sudeten- und Westkarpathenländer. Stuttgart 1927.
11. MACHATSCHEK F.: Das Relief der Erde I. Berlin 1938.
12. DE MARTONNE Emm.: *Traité de géographie physique* I., II. Paris 1948.
13. MAXIMOVIČ G. A.: Podruslovyje pustoty i voprosy koreljacii rečnych terras i gorizontálnych karstovych pešcer. *Učenyje zapiski Molotovskogo gosud. universitěta*. Perm 1957.
14. RYŠAVÝ P.: Suchý žleb a jeho jeskyně. *Československý kras*. Praha 1955—56, 8—9.
15. THORBURY W. D.: Principles of Geomorphology. New York, London 1956.
16. VITÁSEK F.: Fysický zeměpis II. Praha 1958.
17. ZAPLETAL K.: Geotektonická stavba Moravského krasu. *Časopis Moravského zem. musea*. Brno 1922—23.
18. ZAPLETAL K.: Geologie a petrografie Země Moravskoslezské. Brno 1931—32.



V pozadí nad Brnem je jižní konec Moravského krasu. Zdvížená parovina seče zvrásněné vápencové vrstvy. In the distance, above the City of Brno, the southern end of the Moravian karst. The uplifted peneplain levels the folded limestone strata.

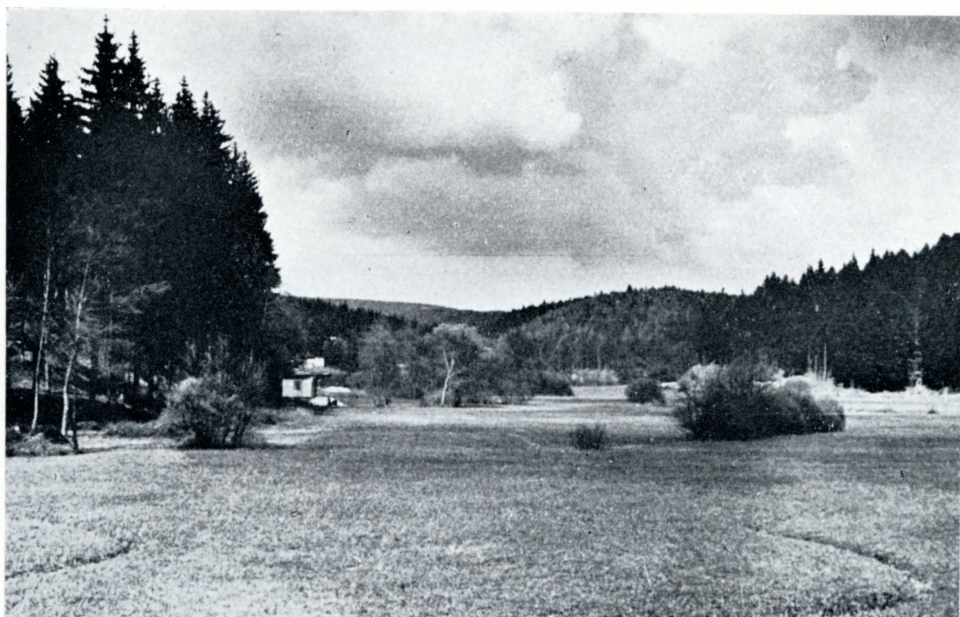
Foto Orbis



Parovina Moravského krasu přecházející ve stejné celkové úrovni z vápenců v popředí do kulmských slepenců v pozadí. Nadmořská výška, odkud byl vzat snímek, je asi 410 m. Nejvyšší body kulmského území v pozadí dosahují 430 m n. m. The peneplain of the Moravian karst passing in the same general level from the limestone area (in the foreground) in the area of Culmian conglomerates (in the distance). The height of the point from which this photograph was taken, is about 410 m above sea level, the highest points in the Culmian area behind reach 430 m above sea level.

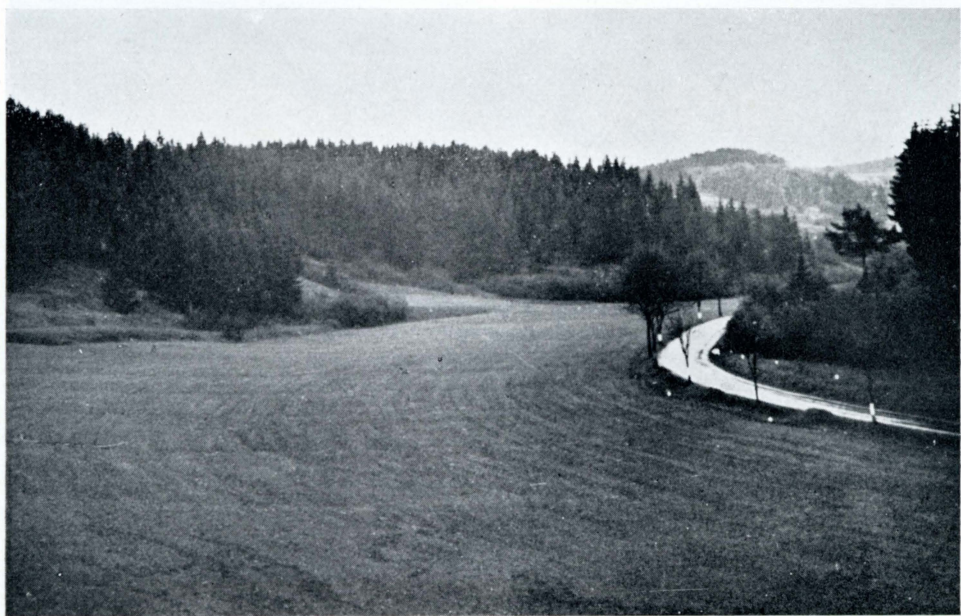
Foto J. Krejčí

(Příloha ke článku: J. Krejčí: K otázce existence krasového cyklu.)



Horní zralý úsek údolí Říčky vytvořený v prvním epicyklu a zahloubený do paroviny v území kulmských pískovců. The upper mature segment of the valley of the stream Říčka surviving from the first epicycle cut in the peneplain in the area of Culmian sandstones.

Foto J. Krejčí



Horní zralý úsek Suchého žlebu vytvořený v prvním epicyklu a zahloubený do paroviny ve vápencovém území. The upper mature segment of the valley Suchý žleb surviving from the first epicycle cut in the peneplain in the limestone area.

Foto J. Krejčí