

SBORNÍK

ČESKOSLOVENSKÉ SPOLEČNOSTI ZEMĚPISNÉ

ROČNÍK 1972 • ČÍSLO 4 • SVAZEK 77

VLASTIMIL PILOUS

PĚNOVCOVÉ KONSTRUKTIVNÍ VODOPÁDY

Vodopády vznikají na vodních tocích v místech, kde se sklonová křivka náhle lomí. Proudící voda vodopádu působí destruktivně a denudačně na podloží, což se mimo jiné projevuje i v intenzivní zpětné erozi v tomto místě. I když podle geneze i situování v terénu můžeme rozlišit mnoho vodopádů různého charakteru, v destrukční činnosti proudící vody v linii vodopádu jsou shodné. Přitom není rozhodující, zda jde o vodopády podmíněné strukturálními nebo morfológickými příčinami.

Přesto existují i vodopády s opačnou tendencí, které mají destruktivní účinky proudící vody zcela potlačeny konstruktivní složkou, která ve výslednici výrazně převládá. I u nich může převládnout destrukční účinek vody, ale pouze periodicky, a působí v kratších obdobích než konstrukční fáze. J. V. Daneš (1911) je označil jako *konstruktivní vodopády* a vyčlenil je jako samostatnou skupinu, což je vhodné vzhledem k jejich odlišné genezi. Nejvýznačnějšími představiteli takových vodopádů jsou slapy a kaskády na fluvialních pěnovcových hrázích a stupních, které se vyskytují ponejvíce na tocích v krasových oblastech.

V této práci se přidržím původního Danešova termínu „konstruktivní vodopád“, přesto, že lze uvažovat i o užití názvu „konstruovaný vodopád“. Problém který z obou názvů použít, je dán různými náhledy na genezi těchto vodopádů. Vodopád na pěnovcích způsobuje rozstříkování a okysličování vody, což přímo podmiňuje další tvorbu této horniny, tj. konstrukci pěnovcových útvarů. V tomto smyslu je tedy odůvodněn název konstruktivní vodopád. Na druhé straně se tím vodopád zvětšuje; je tedy konstruován pěnovcem, což zdůvodňuje druhý termín. Nutně tím dochází k problému, který z obou pochodů je primární. Zdánlivě je prvotní konstruování vodopádu pěnovcem, které se uplatňuje alespoň do té doby, než začíná působit faktor rozstříkování vody. Tento argument však padá, když uvážíme, že základní nerovnost v řečišti, která podmíní další růst a genezi pěnovcového tělesa, je dána vesměs cizími tělesy, což jsou nejčastěji kameny a balvany v korytě (obr. 1). Ty jsou nejčastěji z jiných hornin (např. vápenec), nebo i pěnovcové (resp. travertinové), ale volné a fosilní, pocházející ze starších generací ložisek. V mnoha případech se spolu s anorganickými složkami podílí na vzniku základní nerovnosti i biotická složka, reprezentovaná nejčastěji chomáči řas, mechů a jätrovek, ale i trsy vyšších rostlin (J. Kovanda 1971). Vidíme tedy, že z tohoto hlediska jsou oba termíny odůvodněné.

Mimoto název „konstruktivní“ vystihuje lépe účinky proudící vody, které tu stojí v protikladu k destruktivním účinkům vody u ostatních vodopádů. Termín „konstruktivní“ si tedy neklade za cíl označit jednu z vlastností těchto vodopádů,

neboť pak by bylo správnější použít označení „konstruovaný“, ale určuje charakter působení jejich vod na zemský povrch.

Toto pojetí respektuje též J. B. Dinić (1964), který tyto vodopády označuje jako „akumulativní“. Náplň tohoto termínu vyjadřuje jednoznačně stejný smysl působnosti vodopádu, resp. jeho vod na zemský povrch jako název „konstruktivní“.

Úvodem je nutno upřesnit pojem *pěnovce*, stejně jako vymezit další sladkovodní vápence. Dříve byly veškeré vápnité sedimenty sladkých vod označovány jako *travertiny*. Tento název byl nejčastější a nejvíce se vžil, avšak existovala i další označení, jako vápenná pěna, vápenný tuf, sintr či z chorvatštiny přejatý termín *sedra* aj. Uvedené názvy se používaly značně benevolentně a víceméně adekvátně. I když již před 2. světovou válkou rozlišovali někteří autoři *travertiny* vzniklé ze studených, prostých vod na straně jedné a z vod minerálních a prostých, ale temperovaných na straně druhé, činili tak dosti nedůsledně a někdy i nepřesně. Nepřehledný systém sladkovodních vápenců, jak je nejlépe tuto skupinu souhrnně nazývat, byl upřesněn teprve v posledním desetiletí. Zásluhou německého pracovníka K. D. Jäger a (1961a, b, 1965) došlo k přesnému rozdělení. Provedl jej na základě výzkumu německých, ale i dalších středoevropských lokalit, včetně československých. U nás zavedl tento systém do praxe V. Ložek (1963, 1969), který jej přizpůsobil našim podmínkám a vymezil přesně i českou nomenklaturu. Nejkomplexnější přehled systému sladkovodních vápenců je v práci J. Kovandy (1971). Sladkovodní vápence, resp. jejich supraterestricko-subakvatické typy, dříve souhrnně označované jako *travertiny*, se dělí na čtyři základní skupiny. Jsou to *limnické vápence*, které dále dělíme na bažinné (palustrické), kam patří almy, Ca-slatiny a vápnité náslatě, a panevní (lakustrické), kam spadají jezerní křídly a slíny a vápnité gytty. Dále jsou to *potoční (fluviální) vápence*, označované dnes jako *pěnovce*, a *pramenné (fontánální) vápence*, které mají nejbližší k dnešnímu zúženému pojetí *travertinů*. Za *travertiny* dnes považujeme zpevnělé sladkovodní vápence, zvláště pramenity a *pěnovce*, u nichž proběhla diagenese, v tomto případě označovaná jako *travertinizace* (K.-D. Jäger 1961b).

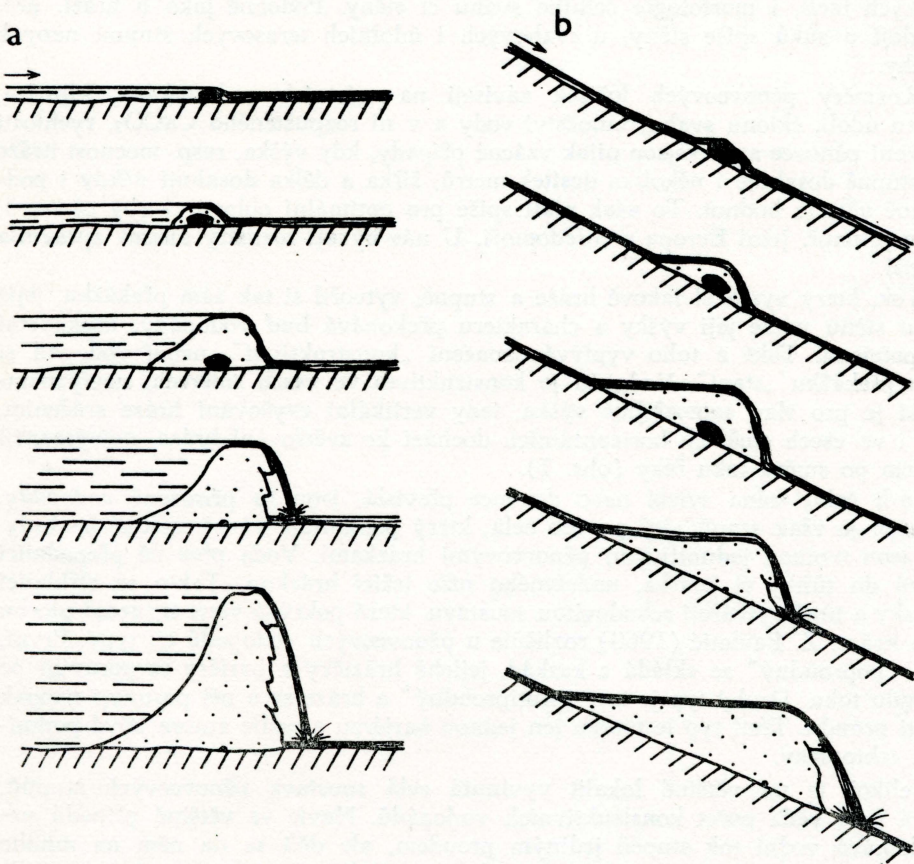
Pro vznik konstruktivních vodopádů mají rozhodující význam fluviální vápence neboli *pěnovce*. Z ostatních skupin se nepřilíš často uplatňují pramenity, usazené v odtokových partiích minerálních pramenů, které sintrují a které jsou někdy dosti vzdáleny od zřídél. Je příznačné, že tyto minerální vody jsou již často silně smíšeny s prostými vodami *potočními*.

Otázkou tvorby *pěnovcových hrází* a *stupňů*, jak *svahových*, tak *údolních*, na které jsou převážně konstruktivní vodopády vázány, se zabývali mnozí autoři. Nejvíce diskutovaný byl podíl fyzikálně chemických pochodů a podíl rostlin, zvláště nižších, na tvorbě *pěnovců*. Je zřejmé, že tyto *pěnovce* jsou vázány na potoky a řeky napájené převážně krasovými vyvěračkami, jejichž vody mají relativně vysoký obsah rozpuštěného CaCO₂. Proto jsou nejčastěji v územích budovaných krasovými horninami, nebo alespoň horninami s vyšším obsahem uhličitánu vápenatého (slínovce, opuky, vápnité pískovce aj.).

F. Němec (1927) popisuje vznik *pěnovcových kaskád* a *hrází*, při čemž předpokládá, že tu zásadní podíl mají vodou unášené nečistoty, zvláště listí a srážení *pěnovce* rostlinami, ponejvíce mechy a řasami. Podle pozorování Z. Rotha (1948), který uvádí adekvátní útvary z jeskyně Domnice, lze soudit, že rozhodující pro tvorbu *pěnovců* mohou být i fyzikálně chemické pochody. Skutečnost je taková, že obě složky se spoluúčastní na tvorbě *pěnovcových hrází* a *kaskád*, při čemž lokálně, podle podnebí a dalších faktorů převládá první či

druhá. Neustálým srážením pěnovce z tekoucí vody se nejdříve vystylá koryto toku. Posléze se na kamenech, nečistotě a nerovnostech v řečišti začnou vytvářet pěnovcové shluky a výstupky, nejčastěji bobulovitého nebo deskovitého tvaru. Z. Pavletić (1960) je označuje jako T-prahy podle podobnosti jejich příčného průřezu velkému písmenu T. Postupně s vysráženým pěnovcem vyplní mezery mezi nimi a vznikají souvislé zprohýbané linie, tzv. hrázičky, které jsou nejružnějšího směru, nejčastěji však zhruba kolmé na směr toku. Vznikne tak nerovnost ve sklonové křivce toku (obr. 1). Za hrázičkou se vytvoří tůň či jezírko nadržené vody. Dalším zvyšováním, srůstáním, překrýváním a spojováním hráziček vznikají v údolí, popř. i na svazích mohutná ložiska pěnovců, jejichž čelní partie mohou mít vzhled kolmých stěn, kaskád i drobných hrázdíčkových terás. Čelní části ložisek jsou tvořeny nespočetnými, na sobě spočívajícími generacemi drobných hráziček.

Údolní pěnovcová ložiska můžeme rozdělit na dva základní podtypy: kaskádové (hrázové) a terasové stupně. U prvního podtypu se vytvořila pouze čelní hráz z homogenních, strukturních pěnovců, která je ve smyslu podélné osy údolí většinou tenká, přitom však může být i desítky metrů vysoká (obr. 1a). Poměr



1. Schéma vzniku pěnovcového ložiska s konstruktivním vodopádem na čelní stěně: a) na údolním toku, b) na svahu. Cizorodé těleso, tvořící základ při tvorbě pěnovce je vyznačeno černě. Pěnovec označen tečkovaně.

výšky a tloušťky hráze tedy bývá dosti vyrovnaný. Pánvovitá deprese za hrází je vyplněna jezerem, jehož hloubka je ovšem velmi rozdílná. Pokud je malá, jde již prakticky o následující podtyp. U terasových stupňů je ze strukturních pěnoveců pouze čelní partie, proto vlastní čelo má stejný charakter jako u hrázových stupňů, ale deprese za hrází je vyplněna, nejčastěji sekundárně, vysráženými písčitymi pěnovci nebo lakustricko-palustrickými sladkovodními vápenci. Litofaciální řada je zde tedy podstatně složitější. Tyto sedimenty vyplní téměř nebo zcela depresi a pěnovcové ložisko pozbývá hrázovitého charakteru a mění se v terasový stupeň s plochou horní částí. Je tedy ve většině případů hrázový podtyp stupňů vývojově starší, jsou však i případy, kdy facie za hrází vznikají zcela souběžně s tvorbou hráze. Na existenci konstruktivních vodopádů nemá toto dělení podstatnější vliv, neboť čelní stěny i svahy bývají v obou případech příkré, i když v druhém případě je častější mírnější svah. Oba podtypy se mohou střídat i na jedné lokalitě, pokud je zde celá soustava stupňů.

Obdobu tvoří i dva podtypy svahových pěnovcových ložisek. Prvnímu podtypu odpovídají zhruba svahové suky, druhému svahové terasové stupně. Vzhledem k jejich svahové poloze však odpadá problém deprese za hrází, která tu nebyla vyvinuta (obr. 1b). Obdobná je však jejich vnitřní stavba, zvláště sled litologických facií, i morfologie čelního svahu či stěny. Podobně jako u hrází, převládají u suků spíše stěny, u svahových i údolních terasových stupňů naopak svahy.

Rozměry pěnovcových ložisek závisí na místních podmínkách, klimatu, tvaru údolí, sklonu svahu, množství vody a v ní rozpuštěného CaCO_3 , rychlosti srážení pěnovce atd. Nejsou nijak vzácné případy, kdy výška, resp. mocnost hráze či stupně dosahuje i několika desítek metrů; šířka a délka dosahují někdy i podstatně větších hodnot. To však platí spíše pro optimální oblasti tvorby pěnoveců, jako je např. jižní Evropa a Středomoří. U nás bývají rozměry ložisek zpravidla menší.

Tok, který vysrážel takové hráze a stupně, vytvořil si tak sám překážku, jejíž čelní stěnu podle její výšky a charakteru překonává buď vodopády, kaskádami či peřejemi. Také z toho vyplývá označení „konstruktivní“, neboť vodopád si sám překážku „staví“. Vodopád je konstruktivní ve všech směrech; nejvýznamnější je pro slap samozřejmě výška, tedy vertikální zvyšování hráze srážením, ale i ve všech směrech horizontálních dochází ke zvětšování hráze, nejvýrazněji ovšem po směru toku řeky (obr. 1).

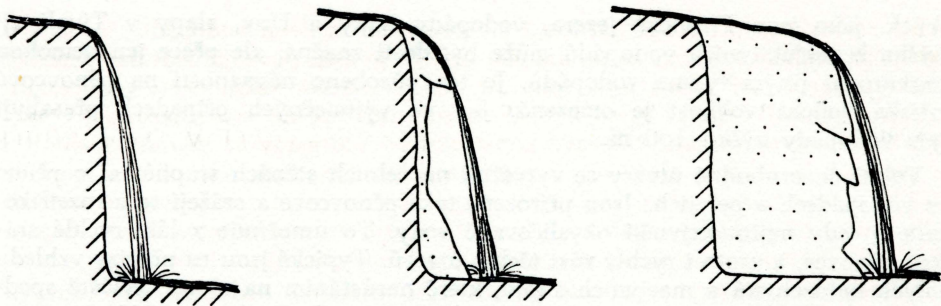
Je-li čelní stěna svislá nebo dokonce převislá, jsou tu přirozeně *vodopády*, častější je však stupňovitý povrch čela, který podmiňuje různě vysoké *kaskády*. Ty jsou tvořeny jednotlivými pěnovcovými hrázkami. Voda přes ně přepadající stéká do tůňky či jezírka, nadržенého níže ležící hrázkou. Takto se střídající hrázky a tůně vytvářejí schodovitou soustavu, která pokrývá větší či menší plochu čela hráze. Z. Pavletić (1960) rozlišuje u pěnovcových vodopádů tři typy. První, tzv. „poproudňý“ se skládá z kaskád, jejichž hrázičky a bariéry se posunují po proudu toku. Druhý typ je tzv. „protiproudňý“ a hráze se u něj posunují naopak proti proudu. Třetí typ je tvořen jen jednou bariérou a podle autora bývá podmíněn tektonicky.

Jelikož je na většině lokalit vyvinutá celá soustava pěnovcových stupňů, bývá tu i větší počet konstruktivních vodopádů. Navíc ve většině případů nepřekonává vodní tok stupeň jediným proudem, ale dělí se na něm na mnoho ramen, což je způsobeno právě oním horizontálním členěním systému terásek, hrázdíček a jezírek. Proto je někdy i na jediném stupni více vodopádů, velmi často i nestejně výšky. To lze velmi dobře pozorovat na klasických lokalitách jihoevrop-

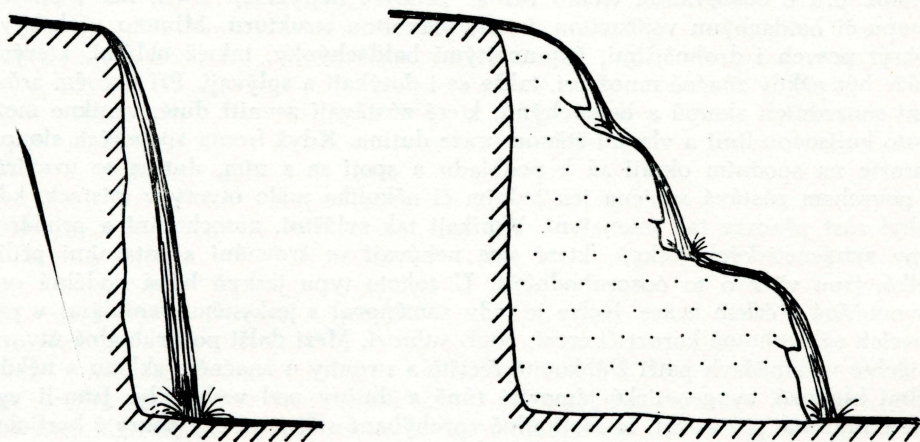
ských, jako jsou Plitvická jezera, vodopády Krky a Uny, slapy v Tivoli aj. Výška konstruktivních vodopádů může být dosti značná, ale přece jen nemohou konkurovat jiným typům vodopádů. Je to způsobeno návazností na pěnovecová ložiska, jejichž velikost je omezená. Jen ve výjimečných případech přesahují tyto vodopády výšku 100 m.

Velmi pozoruhodné útvary se vytvářejí na čelních stěnách stupňů, a to přímo ve vodopádech a přejích. Jsou přirozeně také pěnovecové a srážejí se z rozstříkané a tedy nejintenzivněji okysličované vody. To umožňuje zvláště rychlé srážení pěnovce, a proto i rychlý růst těchto útvarů. Typické jsou tu převisy vzhledu oblých baldachýnů a masivních šupin, které narůstáním na okraji, zvláště spodním, dostávají pyglovitý nebo sloupovitý charakter. Z. Pavletič (1960) je označuje jako „brady“ a „kužely“. Po jejich povrchu stéká voda, která způsobuje, že vlákna řasy *Vaucheria*, která je povláká, jsou vějířovitě usměrněna po proudu. Jelikož právě obalováním těchto řas se pěnovec nejrychleji sráží, má i povrch sloupu či baldachýnu vějířovitou, jemně vláknitou strukturu. Mimoto však bývá pokryt povrch i drobnějšími, šupinovitými baldachýnkami, taktéž oblými, kterých může být někdy značné množství, takže se i dotýkají a splývají. Při bočním srůstání sousedních sloupů a baldachýnů, které zůstávají zevnitř duté, vznikne mezi touto kulisovou linií a vlastní stěnou hráze dutina. Když fronta spojených sloupů doroste na spodním okraji až k podkladu a spojí se s ním, dutina se uzavírá. S povrchem zůstává spojena jen jedním či několika málo otvory v místech, kde nebyl růst pěnovce tak intenzivní. Vznikají tak zvláštní, autochtonní a primární typy syngenetických jeskyň, které sice nebývají ve srovnání s ostatními příliš velké, jsou však o to pozoruhodnější. U tohoto typu jeskyň bývá podélná osa rovnoběžná s čelem hráze. Nelze je tedy zaměňovat s jeskyněmi vzniklými v pěnovecích až druhotně korozi či erozi, popř. subrozi. Mezi další pozoruhodné útvary v těchto vodopádech patří žlábkovitá řečiště a strouhy o značném sklonu a někdy velmi hluboké, syngenetické jámovité tůně a dutiny pod vodopády. Jsou-li vyschlé, můžeme pozorovat, že mají silně zprohýbané stěny, někdy pokryté karfiolovými útvary.

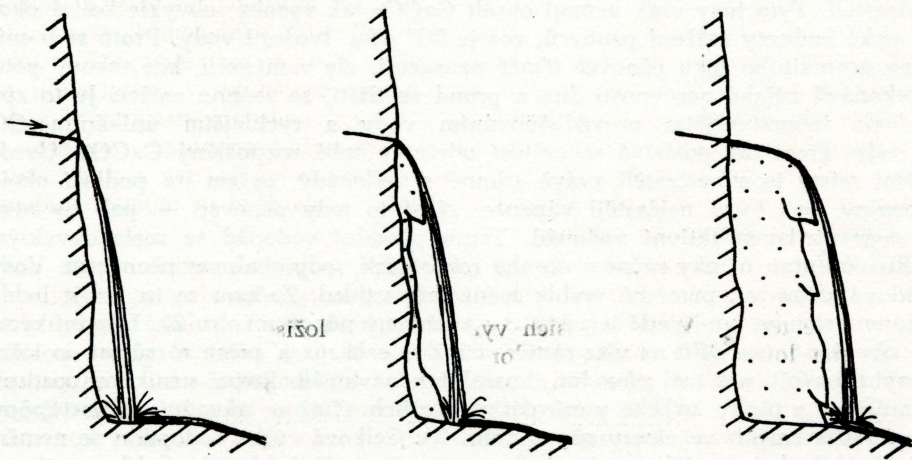
Kromě skutečných konstruktivních slapů na pěnovecových hrázech existují též nepravé konstruktivní vodopády. Vytvářejí se též nejčastěji na tocích v krasových oblastech. Tyto toky však nemají obsah CaCO_3 tak vysoký; obvykle kolísá okolo kritické hodnoty srážení pěnovců, což je 20° něm. tvrdosti vody. Proto se v místech normálního toku pěnovce téměř neusazují, ale v místech, kde takový potok překonává nějaké nerovnosti dna a proud se tříští, se začnou srážet. Je to způsobeno intenzivnějším provzdušňováním vody a rychlejším unikáním CO_2 z vody, která tak pozbývá schopnost udržet v sobě rozpuštěný CaCO_3 . Uvedenými místy jsou nejčastěji právě stupně s vodopády, ovšem na podloží okolní horniny, což bývá nejčastěji vápenec. Není to tedy pěnovec — pak by nešlo o nepravý konstruktivní vodopád. Tento původní vodopád se zcela obvyklými destruktivními účinky začne v dosahu rozprášené vody obalovat pěnovcem. Vodopádová stěna tak poměrně rychle mění svůj vzhled. Začnou se tu tvořit baldachýny i sloupy, popřípadě jen povlaky a záclony pěnovce (obr. 2). I vodní proud se obvykle začne dělit na více ramen, čímž se celá masa začne rozrůstat do šířky, mnohem větší, než měl původní, destruktivní vodopád. Stejně vzniknou postupně i hrázičky a tůňky, zvláště v mírnějších partiích, čímž se původně jednostupňový slap může změnit ve vícestupňový (obr. 3). Celková výška vodopádu se nemění, zůstává shodná s výškou původního, v čemž spočívá hlavní rozdíl oproti pravým konstruktivním vodopádům. V konstruktivním smyslu nastávají změny pouze v horizontálním směru, a to jak podélném, po toku, tak příčném. Značně



2. Schéma vzniku nepravého konstruktivního vodopádu na vodním toku. Tečkovaně vyznačen pěnovec.



3. Změna původně jednostupňového vodopádu ve vícešupňový nepravý konstruktivní vodopád. Tečkovaně značen pěnovec.



4. Schéma vzniku nepravého konstruktivního vodopádu pod krasovou vyvěračkou ve skalní stěně. Tečkovaně značen pěnovec.

rychlé změny tím přirozeně nastávají i v celkovém vzhladu vodopádu. Ve směru podélném dochází k tomu, že po určitém období je slap posunut masami pěnovce o několik metrů po směru toku (obr. 2). To je značný rozdíl proti vodopádům s destruktivními účinky, které naopak působením zpětné eroze postupují proti toku a přitom se snižují. Nepravé konstruktivní vodopády se nemusí tvořit jen na potocích a řekách, ale i těsně pod prameny. Nejčastěji jde opět o krasové vývěry, ovšem takové, které vytékají v různé výšce ze skalních stěn a nedosahují tudíž erozní báze. Por tyt pak ani obvykle neplatí snížený obsah CaCO_3 . Skalní stěna pod pramenem se stejným způsobem potáhne pěnovcem (obr. 4).

Problém konstruktivní či destruktivní fáze proudící vody na pěnovcových vodopádech je komplikovaný i z hlediska klimatických změn v kvartéru, zvláště holocénu. Označení „konstruktivní vodopády“ lze použít jen pro ty, v nichž srážení pěnovců probíhá i v současnosti. Podle K. D. J ä g e r a a V. L o ů k a (1967) jsou rozhodujícími klimatickými faktory pro tvorbu pěnovců dostatečná letní průměrná teplota a vysoké srážky. V oblastech klimaticky příznivějších pro vznik pěnovců, jako je např. Balkánský a Apeninský poloostrov, probíhá sedimentace víceméně po celý holocén až dodnes. Proto jsou zdejší ložiska podstatně rozsáhlejší a mohutnější a tudíž i jejich vodopády větší a vyšší. To jsou zcela typické konstruktivní slapy, jejichž růst pokračuje i v současnosti. Složitější jsou poměry v územích méně klimaticky příznivých, mezi něž patří i Československo. Konstruktivní vodopády byly časté na našich pěnovcových ložiskách v době jejich hlavní tvorby v boreálu, atlantiku a epiatlantiku. Narůstání pěnovců však ustává v subboreálu a starším subatlantiku. Od mladšího subatlantiku až do současnosti však toky, které usadily pěnovcová ložiska, nejen přestaly téměř nebo zcela srážet pěnovec, ale začaly zpětnou erozí ložiska rozrušovat. Tělesa jsou však rozrušována nejen povrchovou erozí, ale i podzemní tzv. subrozí. Tou vznikají dutiny a jeskyně, do nichž se potok často ztrácí. Na povrchu je ložisko rozrušováno hlubokými zářezy a stržemi, v nichž vznikají zpětnou erozí vodopády a peryje. Ty jsou sice též na pěnovcovém podkladu, ale na rozdíl od předešlých působí jejich vody výlučně destruktivně. K tomuto typu patří velká většina u nás existujících vodopádů na pěnovcích. Nutno však dodat, že přes převládající erozi se někdy lokálně v těchto slapech i nadále sráží nepřilíš intenzívně pěnovec. Tvoří dokonce i výše uváděné morfologické jevy a útvary, i když v mnohem menším počtu a zvláště velikosti. Vzhledem k převažující erozi nemívají dlouhého trvání, avšak po zničení se opět začínají vytvářet nové. Je tedy zřejmé, že se střídáním fází karbonátové dynamiky v postglaciálu na pěnovcových tělesech se střídá periodicky i ve vodopádech konstruktivní a destruktivní fáze proudící vody, přiroznee s nezbytnými obdobími stagnace. Je pravděpodobné, že na změnu fází při genezi pěnovcových ložisek a tím i vodopádů nemají vliv jen základní klimatické období kvartéru, ať již teplá či studená, ale i drobnější klimatické oscilace.

Pro úplnost je třeba uvést, že na pěnovcích, popř. travertinech jsou dosti časté i vodopády umělé. Pro výborné vlastnosti jsou tyto horniny velmi oblíbeny a intenzívně těženy. Většina našich významnějších ložisek, zvláště slovenských, je narušena lomy! Při rozšiřování lomů dojde často k přetnutí koryta potoka, který ložisko usadil a jeho vody pak překonávají lomovou stěnu vodopádem. Existují i případy, kdy se začal pěnovec usazovat i na takovém slapu (Evetěš ve Slovenském krasu), který pak můžeme označit jako umělý, nepravý konstruktivní vodopád.

Pěnovcová ložiska a s nimi související konstruktivní vodopády mají velmi rozsáhlé rozšíření po celém světě. Je samozřejmé, že při úzké návaznosti pěnovců

na území budovaná karbonátovými horninami a na příznivé klimatické podmínky jsou velké oblasti bez pěnvců, jinde jsou zase území s hojným výskytem. Přesnějšímu zhodnocení rozšíření brání nedostatečný stav detailního výzkumu sladkovodních vápenců v rozsáhlých oblastech světa.

V naší republice, jak již řečeno, se v současné době uplatňuje na pěnvcových vodopádech vesměs destruktivní fáze. Výjimku tvoří jen odtok pramene stékačického po čelní stěně svahového suku v Tajově u Banské Bystrice a drobné partie peřejí a kaskád v Sološnické dolině v Malých Karpatech. Přitom jiné partie této poslední soustavy se nalézají v destruktivní fázi. Více je u nás nepracujících konstruktivních vodopádů, tj. na podloží jiné horniny. Ani ty však nejsou příliš početné. Nalézají se např. v údolí Plakánek v Českém ráji, u obce Myšina u Turnova, v Kláštorické dolině i dalších roklích Slovenského ráje aj. Téměř všechny význačnější pěnvcové slapy u nás jsou v Karpatech, což odpovídá i vyššímu počtu větších pěnvcových ložisek v této části. Ze známějších vodopádů na pěnvcích, které se nalézají v destruktivní fázi, jsou dva v Bielom Potoku u Ružomberoka a jeden v Teplé dolině ve Velké Fatře. Na rozhraní tohoto pohorí a Nízkých Tater jsou slapy v Motyčkách a Jelenci, patřící k jedné soustavě pěnvcových stupňů. Východněji jsou v závěru Uhliarské doliny u Moštenice. V Považském Inovci sem patří kaskády v dolině Striebornice. Také větší skoků v Hájské dolině ve Slovenském krasu je tohoto původu. V Lúčkách a Madočanech v Liptovské kotlině a v Nižných Ružbachách ve Spišské Maguře jsou též slapy a peřeje v destruktivní fázi, které však vznikly na travertinech, vsrážených z minerálních vod, smíšených s prostými vodami potočnými.

Jak již řečeno, vyskytují se na pěnvcích i umělé vodopády. U nás jsou např. v Blatnici u Pružiny, Hrhově a Jablonově nad Turnou (mlýn Eveteš).

Nejvíce konstruktivních pěnvcových vodopádů je známo z Balkánu, zvláště z Dinarského krasu. Tu vyniká povodí řeky Kupy v Chorvatsku. Několik desítek jich nalezneme v soustavě Plitvických jezer na řece Koraně (J. V. Daneš 1911; I. Pevallek 1935; J. Roglič 1951) i jejich zdrojnicích Matici a Rječici, stejně jako na Slunjci (J. V. Daneš 1911), přítoku Korany ve Slunji. Další jsou na řekách Dobra a Mrežnica, západnějších přítocích Kupy; jižněji je vodopád Gacko (Švica) u Otočace (I. Matoničkin — Z. Pavletić 1959). Několik slapů a množství peřejí je i na sousední řece Uně (J. V. Daneš 1911; R. Bošnjak 1938; J. Roglič 1951; I. Matoničkin — Z. Pavletić 1959). Největší jsou u Martin Brodu (20 m) u soutoku s Unacem, kataraktový vodopád Štrbački buk (12 m), Ripač (4 m) a Kostola. U posledně jmenovaného slapu nedaleko od Bihače je v bočním svahovém údolí Uny 15 m vysoký pěnvcový svahový suk s vodopádem. Mnoho je jich i na dalmatských řekách. První je u Obrovace na řece Zrmanje. Na sousední Krce (J. V. Daneš 1911; I. Pevallek 1953) tvoří pěnvcové hráze celou soustavu vodopádů a jezer, které patří k největším tohoto druhu na světě. Velkých slapů je tu osm a provázejí řeku od vývěru u Kninu až téměř po ústí do moře. Pěnovce tu dosahují mocnosti mnoha desítek metrů. Od pramene po sobě následují vodopády takto: Krkić u Topolje, Bilušić (16 m), Čorić (20 m), největší Manojlovac (62 m), Sandovjel (12 m), Miljačka, Roški slap (15 m) a nejvodnější Skardinski bud (44 m). I na sousední Cetině jsou pěnvcové peřeje, z nichž největší je Malá Gubavica (7 m). Několik je jich na Trebižatu, právě přítoku Neretvy. V jeho pramenné oblasti jsou u Tihajne, na říčce Mlade u Klobuka (7 m) a též na říčkách Zlorica, Jakšenina a Nezdravica (J. V. Daneš 1905—1906). Níže u Ljubuški jsou na Trebižatu velmi pěkné konstruktivní vodopády Kravica (15 m) a Malá Kravica (6 m). V jižním cípu Dalmácie je nalezneme v Mlinech u Dubrovníku.

Několik vodopádů tu spadá od krasové vyvěračky vysoko ve svazích přímo do moře. Pěnovce vysrážené z vody tu vytvářejí velmi pozoruhodné morfologické útvary. V bosenském vnitrozemí je konstruktivní vodopád v Jajcích na Plivě (J. V. D a n e š 1911) a několik dalších výše proti jejímu toku až k obci Jezero.

V ostatních částech Jugoslávie již není tolik konstruktivních vodopádů v pěnovcích, roztroušeně se však vyskytují i jinde. Tak např. v Srbsku v povodí řeky Timok jsou konstruktivní slapy Bigar, Slap na Solečke reke (J. B. D i n i ć 1964), Velká a Malá Ripaljka u Soko Banje (K. K u j u n d ž i ć — P o p o v i ć 1960). V Řecku jsou známé z východních svahů vápencového pohoří Vermio, u měst Edessa (Voden), Nausa a Verroia (J. V. D a n e š 1911). V Bulharsku je takový vodopád v Bačkovo u Asenovgradu v Rodopech. Nalezeme je však i v sousedním Maďarsku ze Szalajky a Lillafüredu (S. F r i s n y á k 1961) v pohoří Bükk, stejně jako z Melegmány a Melegvölgy (J. P. S z a b ó 1958) v Mecseku, kde jsou však drobné, spíše přejevitého rázu. V rumunském Banátu je jich několik v přírodní rezervaci Beusnita u města Sasca Montana (A. B o r z a 1958).

Z početných konstruktivních vodopádů v Appeninách dosáhly největší proslulosti dva největší. Marmore na řece Velino je vysoký 180 m, dnes je však bohužel zachycen pro hydroelektrárnu. Sestává ze tří stupňů a je patrně nejvyšším konstruktivním vodopádem vůbec. Druhý, zvaný Teverone je v Tivoli (F. C o h n 1864) a dosahuje výšky 108 m. Patří ke klasickým lokalitám, která jako jedna z prvních upoutala zájem badatelů. Dostatek jich nalezneme i ve Španělsku. Mezi neznámější patří vodopády ve Valdecabras a Uña v provincii Cuenca. Tento výčet není zdaleka úplný. Nalezeme je přirozeně i v dalších zemích, jako Francii, NSR aj. V mimoevropských zemích jsou neznámější vodopády na hrázích Bandi Amirských jezer v Afgánistánu a slapy v některých státech USA. Vynikají tu zvláště Kentucky, Indiana, Michigan a Oklahoma (Turner Falls). Konstruktivní vodopády na pramenitech jsou též v Yellowstone National Parku.

Zhruba ve stejných zemích se vyskytují i nepravé konstruktivní vodopády. Ze známějších je možno uvést San Miguel del Fay u Barcelony (120 m) a Poble-Desfiladero de Collegats (35 m) v provincii Lérida, oba ve Španělsku. V NSR sem patří Urach Wasserfall (E. Schürmann 1918) a Gütersteinerké vodopády (A. Stirn 1964) ve Švábské Albě. Mnoho jich přirozeně nalezneme i na Balkáně.

Literatura

- BORZA A. (1958): Vegetația rezervației Beușnița. *Ocotirea Naturii* 3:117—127. Bucuresti.
BOŠNJAK R. (1938): Dolina Une. *Glasnik Geografskog društva* 24:24. Beograd.
COHN F. (1864): Über die Entstehung des Travertin in den Wasserfällen von Tivoli. *Neues Jahrb. f. Min. usw.* 1864, 1—580 p., Stuttgart.
CORBEL J. (1959): Érosion en terrain calcaire [Vitesse d'érosion et morphologie]. *Annales de géographie* 68:97—120. Paris.
DANEŠ J. V. (1905—1906): Údolí dolní Neretvy. *Sborník ČSZ* 11:161—174, 193—203, 225—243. 12:1—17, 33—50, 64—77, 107—114. Praha.
DANEŠ J. V. (1911): Plitvičká jezera a Západní Bosna. *Sborník ČSZ* 17:294—295. Praha. Ref.
DINIĆ J. B. (1964): Prirodne retkosti u slivu Belog Timoka. *Zaštita prirode* 27—28: 285—291. Beograd.
FRISNYÁK S. (1968) Lillafüred vedett természeti kincze: A Forrásmésztufabarlang. *Elét és Tudomány* 23:51:2432—2435. Budapest.
GAMS I. (1967): Sur la nature des eaux qui conduisent à la formation de tufs calcaires dans le Nord-Ouest du Karst Dinarique. *Spelaion Carso* 5:9—14. Arcueil.

- JÄGER K.-D. (1961a): Beiträge der Holozänforschung zur Ur- und Frühgeschichte Mittelddeutschland. Ausgrabungen und Funde 6:6:277—289. Berlin.
- JÄGER K.-D. (1961b): Vorschläge zu einer genetischen Nomenklatur für die Kalksedimente aus Binnenwässern. MS Dtsch. Akad. Wiss. Berlin.
- JÄGER K.-D. (1965): Holozäne Binnenwässerkalke und ihre Aussage für die nacheiszeitliche Klima- und Landschaftsgeschichte in südlichen Mitteleuropa. MS dis. práce, F. Schiller Univ., Geogr. Inst. Jena.
- JÄGER K.-D. — LOŽEK V. (1968): Beobachtungen zur Geschichte der Karbonatdynamik in der holozänen Warmzeit. Československý kras 19:5—20. Praha.
- KANAET T. (1968): Sedra a nekim rijekama. Cvijićevo zbornik u spomen 100. godišnjice njegovog rođenja, 117—129, Beograd.
- KOVANDA J. (1971): Kvartérní vápence Československa. Sborník geologických věd — Antropozoolikum 7:1—236. Praha.
- KUJUNDŽIĆ-POPOVIĆ Z. (1960): Problem zaštite i održavanja proglašenih prirodnih retkosti. Zaštita prirode 18—19:31—36. Beograd.
- LOŽEK V. (1963): Pěnovec — nový název pro sypké a polopevné travertiny. Československý kras 14:113—114. Praha.
- LOŽEK V. (1969): Pokroky ve výzkumu kontinentálního holocénu ve střední Evropě (z exkurze subkomise INQUA). Věstník ÚÚG 44:5:311—324. Praha.
- MATONIČKIN I. — PAVLETIĆ Z. (1959): Živote zajednice na sedrenim slapovima rijeke Une i u brzicama pritoke Unca. Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium 6:4:77—99. Skopje.
- NĚMEJC F. (1927): Vznik různých útvarů vápencových sinterů v oblasti Československa, Maďarska a Polska. Věda přírodní 8:302—313. Praha.
- PAVLETIĆ Z. (1960): Sedrení slapovi rijeke Krke i njihov postanak. Krš Jugoslavije 2:71—98. Zagreb.
- PAVLETIĆ Z. (1969): Važnost sedrenih bariera za održavanje prirodnih akumulacija površnih voda u kršu. Krš Jugoslavije 6:443—448. Zagreb.
- PEVALEK I. (1935): Der Travertin und die Plitvice-Seen. Verhandl. d. Internat. Vereinig. f. Limnologie 7:165—181. Beograd.
- PEVALEK I. (1953): Krka i problemi njenine zaštite. 31 p, Zagreb.
- PILOUS V. (1971): Morfologie slovenských pramenitů a pěnoveců. MS rig. práce, Př. f. UK. Praha.
- ROGLIĆ J. (1951): Unsko — koranska zavevan i Plitvička jezera — Geomorfološka proumatranja. Geografski glasnik 13:49—66. Zagreb.
- ROTH Z. (1948): Některé formy sintrované výzdoby z jeskyně Domica a jejich vznik. Sborník Stát. geol. úst. ČSR 15:65—88. Praha.
- SCHÜRMAN E. (1918): Die chemisch-geologischen Vorgänge bei der Bildung des Uracher Wasserfalls. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg 74:58—68. Stuttgart.
- STIRN A. (1964): Kalktuffvorkommen und Kalktufftypen der Schwäbischen Alb. Abhandlungen zur Karst- und Höhlenkunde. Reihe E, Heft 1, 1—92 p., München.
- SZABÓ P. Z. (1958): Kras v jižním Maďarsku. Československý kras 11:145—156. Praha.

KONSTRUKTIVE DAUCHWASSERFÄLLE

Auf der Erdoberfläche existieren viele Typen von Wasserfällen, die sich durch ihre Genesis unterscheiden; jedoch fast alle haben eine destruktive Wirkung auf die Erdoberfläche gemeinsam. Es existieren aber auch Ausnahmen, was die Wasserfälle auf Dauchlagern, welche konstruktive Wirkung haben, betrifft. Der Dauch gehört den quartären Süßwasserkalken an und setzt sich aus kalten, fließenden Gewässern, die reich an gelöstem CaCO_3 sind, an. Solche Gewässer sind am häufigsten in den Karstgebieten. Früher wurde der Dauch als Travertin oder Kalktuff bezeichnet. Die anwachsenden Dauchmassen bilden im Talgrund Kaskaden und Dämme. Der Bach oder Fluss überwindet sie dann durch Wasserfälle und Wasserschwalle. Darin entstehen sehr beachtenswerte morphologische Gestaltungen, wie Überlaufschnauzen, autochthone primäre Höhlen u. a.

Ausserdem unterscheidet man auch unechte konstruktive Wasserfälle. Sie entstanden in Fällen, wo der ursprüngliche, destruktive Wasserfall auf einem anderen Liegendgestein sich mit Dauch zu umhüllen und weiter zu wachsen begann. Er veränderte sich so in einen konstruktiven Wasserfall. Diese Wasserfälle sind am häufigsten in Fällen, wo der Gehalt des im Wasser gelösten CaCO_3 um die kritischen Werte der Sedimentation des Dauches schwankt oder unter Karstquellen in Felswänden.

Das Problem der konstruktiven Wasserfälle ist komplizierter auch vom Standpunkt der klimatischen Veränderungen im Holozän. Die Sedimentation des Dauches ist von den günstigen klimatischen Einflüssen, besonders von den hohen Jahresniederschlägen und den Sommertemperaturen, abhängig. Falls diese Bedingungen nicht erfüllt sind, hört die Sedimentation des Dauches auf und die Erosion, welche das Lager zerstört, gewinnt Oberhand. Mit dem Wechsel der klimatischen Phasen der Karbonatdynamik, die sich in der Konstruktion, Destruktion oder der Stockung der Wasserfälle bemerkbar machen. Im Gebiet der Tschechoslowakei sind gegenwärtig ungünstige klimatische Bedingungen und deswegen überwiegt in den Dauchlagern die Erosion. Auf dem Balkan, im Mittelmeergebiet u. a. dauerte jedoch die Sedimentation des Dauches im ganzen Postglacial bis heute, darum finden wir hier die typischsten und grössten Wasserfälle.

Texte zu den Abbildungen:

1. Das Schema der Entstehung des Daucheslagers mit einem konstruktiven Wasserfall auf der Vorderwand: a) auf dem Fluss im Talgrund, b) auf dem Abhang. Der fremdartige Körper, der den Grund der Sedimentation bildet, ist schwarz bezeichnet. Der Dauch ist punktiert bezeichnet.
2. Das Schema der Entstehung eines unechten konstruktiven Wasserfalls auf dem Fluss. Der Dauch ist punktiert bezeichnet.
3. Die Veränderung des ursprünglichen einstufigen Wasserfalls in den vielstufigen unechten konstruktiven Wasserfall. Der Dauch ist punktiert bezeichnet.
4. Das Schema der Entstehung eines unechten konstruktiven Wasserfalls unter der Karstquelle aus der Felswand. Der Dauch ist punktiert bezeichnet.

Texte zu den Aufnahmen (auf den Kreidetafeln):

1. Das obere Teil des Wasserfalls Skradinski buk auf dem Fluss Krka in Dalmatien.
2. Konstruktiver Wasserfall eines Katarakt Charakter. Štrbački buk auf dem Fluss Una auf der Grenze zwischen Kroatien und Bosnien.
3. Das untere trockene Teil des Wasserfalls Skradinski buk. Im Vordergrund die grubenartige Vertiefung unter dem Wasserfall, im Hintergrund eine Dauchüberlaufschnauze mit kleinen, schuppenartigen Überlaufschnauzen auf der Oberfläche.
4. Der Wasserfall Kravica auf dem Fluss Trebižat in Hercegovina.
5. Die Vorderwand des Hangklotzes bei Bihač im Bosnien. Sehr typisch sind die Dauchüberhänge und Überlaufschnauzen. Im Hintergrund ist ein wasserarmer Wasserfall.

(Photo: V. Pilous)



1. Horní část vodopádu Skradinski buk na řece Krka v Dalmácii.

2. Konstruktivní vodopád kataraktového charakteru. Štrbački buk na řece Una na hranici Chorvatska a Bosny.





3. Spodní, suchá část vodopádu Skradinski buk. V popředí jámovitá prohlubeň pod vodopádem, v pozadí pěnovcový baldachýn s drobnými, šupinovitými baldachýnky na povrchu.



4. Vodopád Kravica na řece Trebižat v Hercegovině.

5. Čelní stěna svahového suku u Bihače v Bosně. Velmi typické jsou pěnovcové převisy a baldachýny. V pozadí je málo vodný vodopád. *(Snímky: V. Pilous)*

