Práce vody od sněhové vločky po kapku v moři

Voda při svém putování z nejvyšších hor až ke světovému oceánu zanechává v reliéfu výrazné stopy. Obraz krajiny na značné části kontinentů, vyjma pouští, je odrazem neustálého geomorfologického působení vody. Článek nastiňuje různé geomorfologické procesy a tvary reliéfu na příkladu imaginárního povodí, které se rozprostírá od vysokých hor až k moři. U vybraných procesů a tvarů jsou představeny příklady ze světa i ze střední Evropy.

Voda a reliéf

Voda je základní složkou životního prostředí naší planety podmiňující a ovlivňující nejen samotný život, ale mimo jiné i většinu povrchu kontinentů. Reliéf Země je průběžně utvářen endogenními a exogenními procesy. Endogenní procesy (například vulkanismus, zemětřesení nebo vrásnění) působí z nitra planety a utváří tak základní podobu horninového prostředí. To je na povrchu ovlivňováno procesy exogenními (například působením tekoucí vody, mrazu či svahovými procesy), jež jsou ovlivněny zejména klimatickými vlivy a činností organismů (Demek 1987). Při působení naprosté většiny exogenních procesů hraje hlavní roli voda v kapalném či pevném skupenství. Tvary reliéfu jsou tak obvykle ve větší či menší míře ovlivněny geomorfologickým působením vody jak na kontinentech, tak v oceánech. Pojďme si na příkladu povodí řeky tekoucí z vysokých hor až k moři ukázat vybrané geomorfologické procesy a tvary, které voda na pevnině podmiňuje.

Mrazivá síla

V nejvyšších pohořích světa, ale například i u nás, v nižších pohořích střední Evropy, hraje důležitou roli voda v pevném skupenství, tedy ve formě sněhu a ledu. Zatímco v oblastech ležících nad sněžnou čarou (nejedná se o pomyslnou čáru, nad níž se nachází sníh, nýbrž o výškovou úroveň, na které je příbytek a úbytek vody v pevném skupenství vyrovnaný) sníh a led působí víceméně celoročně, níže položené partie ovlivňuje pouze během zimního období. Srážky bývají vysoké zejména na návětrných stranách pohoří. Zde dochází ke kondenzaci vodních par v důsledku nuceného výstupu vzduchu podél zdvihajícího se zemského povrchu. Rozložení sněhu je však významně ovlivněno působením větru, který sníh dále transportuje do závětrných poloh. V oblastech, kde se hromadí velké množství sněhu na strmých svazích (cca 30° a více), pak dochází k odtrhům sněhových lavin. Podstatný vliv na reliéf mají především laviny základové, při kterých dochází k pohybu celé sněhové masy včetně příměsi materiálu z jejího podloží (obr. 1). Místa, kde padají laviny periodicky, nazýváme lavinovými drahami. Na nich najdeme specifické tvary reliéfu jako lavinová koryta a podélné hřbety. V dolních částech drah se laviny v důsledku nižšího sklonu svahu zastavují a vytvářejí zde konvexní kužely budované transportovaným materiálem. V závětrných prostorech, kde sníh vydrží delší dobu, dochází tlakem nadložního sněhu a periodického natávání k postupné kompakci sněhové pokrývky a vzniku firnu, jehož hustota přesahuje 400 kg/m³. Sněhová pole (sněžníky) tvořená tímto typem sněhu proto působí značným tlakem na své podloží a v kombinaci s opakovaným mrznutím a táním i vodou z tajícího sněhu postupně způsobují jeho destrukci a vývoj svahových sníženin. Zmíněný proces nazýváme nivací a tvary, které vytváří, označujeme jako nivační deprese (Uxa 2014). Hromadí-li se sněhová pokrývka na tomtéž místě v dostatečné mocnosti po více sezón, může časem docházet až k přeměně sněhu (firnu/firnového ledu) na ledovcový led, který přesahuje hustotu 830 kg/m³ (Engel 2014). Tak vzniká horské zalednění. Jeho činností se může původní nivační deprese postupně vyvinout až do podoby karu, který má velice ostré ohraničení karovou stěnou (obr. 2). Rozsah horského zalednění závisí na topografických poměrech a především pak na dotaci sněhu ze srážek. Kromě přímých srážek bývá zdrojová část ledovce často dotována také

David Krause
Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie; david.krause@natur.cuni.cz

Tomáš Uxa
Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie; Akademie věd ČR, Geofyzikální ústav, v. v. i.; tomas.uxa@natur.cuni.cz

Abstract

Water from a snowflake to a drop in the sea. Water is involved in most geomorphic processes on Earth and its action is noticeable almost everywhere across the land surface. The example of a river basin spreading from high mountains to the sea, we introduce selected processes and landforms associated with the water action in the mountain, floodplain and river mouth environments.

OBR. 1 V Krkonoších spadne přibližně 50 lavin ročně (Kociánová a kol. 2013). Typickou lavinovou lokalitou je Obří důl (vlevo). V Hrubém Jeseníku padají laviny sporadicky, i zde však formují reliéf. Typickým znakem lavinových drah je koryto, zde ve spodní části dráhy v jesenické Sněžné kotlině (vpravo). Foto: Marek Křížek a David Krause.

větrem unášeným sněhem a sněhovými lavinami. Vlivem gravitace se ledovcové masy mohou dát do pohybu a utvořit údolní ledovce. Pohybující se led významně erozně působí na své okolí ve formě brázdění, ohlazování, odlamování a rozvolňování. Těmito procesy jsou horská údolí přetvářena do podoby trogů (ledovcových údolí) s typickým příčným profilem ve tvaru písmene U. Uvolněný materiál transportovaný ledovcem se nazývá till. Tam, kde unášecí schopnost ledovce klesá, dochází k uložení tillu ve formě morén. Ty se nevytvářejí jen na čele ledovce; rozlišujeme mimo jiné také morény spodní a boční. Podle pozice či orientace karů, ledovcových ohlazů a morén je možné rekonstruovat zalednění a s ním spojené klima během dob ledových naší nejmladší geologické historie. Dozvídáme se tak, že například i Šumava, Krkonoše nebo Hrubý Jeseník byly v minulosti zaledněná pohoří ležící nad sněžnou čarou (Uxa, Mida 2013). Kromě povrchového sněhu a ledu hraje významnou roli i voda voda mrznoucí pod povrchem. Objem vody po zmrznutí se zvyšuje o 9 % a tím roste tlak rozvolňující horninové bloky. Tento jev se nazývá mrazové zvětrávání a postupně v průběhu staletí na horách vytváří takové tvary, jako jsou skaliska typu tor nebo kamenná moře. Periodickými fázovými změnami vody dochází také ke vzniku strukturních půd (více Křížek 2015).

V zajetí svahů

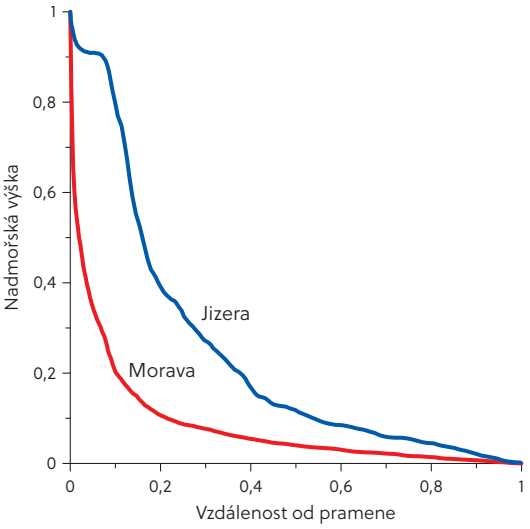
Postupujeme-li údolím níže, převládá působení vody v kapalném skupenství. Vlivem gravitace voda odtéká do níže položených míst, přičemž narušuje své podloží. Vodní eroze může být plošná nebo soustředěná do rýh, stružek, koryt a vodních toků. Vznik a podoba údolí jsou tak především odrazem činnosti vody, zpravidla ovšem odrážejí také geologické podmínky, a to zejména rozdílnou odolnost hornin či průběh zlomových linií, na nichž se často nacházejí vodopády. Stupně na profilu však vznikají také v místech přítoků náhle zvyšujících erozní schopnost toku. Dna horských údolí jsou velmi úzká a sklon vodního toku je výrazně vyšší než posléze v nižších polohách (obr. 3), protože nejdříve převažují erozní procesy nad akumulačními, ale to se po směru toku průběžně mění. Horská údolí formovaná činností tekoucí vody mají příčný profil ve tvaru písmene V a jsou obklopena strmými svahy se sklonem v desítkách stupňů. Tato místa proto představují ideální prostředí pro působení svahových procesů, na jejichž činnosti se voda z velké části také přímo podílí. Mezi nejvýznamnější z nich patří sesuvy a mury (blokovobahenní proudy), které se aktivují při nasycení zeminy či podloží vodou z tání sněhu nebo při vydatných srážkách. Sesuvy jsou středně rychlé pohyby (nejčastěji metry za hodinu či za den) relativně kompaktní hmoty podle smykové plochy, zatímco mury jsou rychlé pohyby (obvykle v řádu desítek kilometrů za hodinu) nezpevněného materiálu s vysokým obsahem vody. Sesuv bývá v terénu rozpoznatelný podle své odlučné hrany a samotného sesuvového tělesa, které je posunuté vůči své původní poloze a může nabývat různých velikostí. V murových drahách nalezneme i několik metrů hluboká koryta, na jejichž okrajích

OBR. 2 Ledovce se vyskytují hlavně ve velehorských a polárních oblastech, které leží nad sněžnou čarou. Čelní moréna ledovce Ragnarbreen (vlevo) v souostroví Svalbard (Špicberky) vyznačuje, kam ledovec zasahoval v tzv. malé době ledové. O zalednění v minulosti svědčí Velká Sněžná jáma (vpravo) v polských Krkonoších, která je nejlépe vyvinutým ledovcovým karem v Českém masívu. Foto: Tomáš Uxa.

se přenášený materiál často usazuje ve formě valů (obr. 4). V místech, kde se snižuje sklon svahu, se nacházejí murové akumulace ve formě valů zeminy s různě poskládanými úlomky hornin. Ty jsou dále odnášeny vodním tokem. Materiál ve vodním toku je přepravován ve formě suspenze (nejmenší částice), plavenin (jemný materiál pohybující se ve vodním proudu) a splavenin (materiál vlečený proudem po dně). V divokých, úzkých korytech horských řek působí nesený materiál kruhovým vymíláním, nazývaným evorze. Vytváří například tzv. obří hrnce nebo do tvaru kruhu vymleté skalní stěny soutěsek. Objem přenášeného materiálu není po celý rok konstantní, neboť při větší vodnosti (například vlivem tání sněhu nebo vysokých úhrnů srážek) se zvyšuje jak erozní, tak transportní schopnost vodního toku. V místech, kde se údolí rozšiřuje a klesá jeho sklon, se ukládá velké množství hrubého materiálu. Na vzniklých akumulacích může také docházet k rozvětvování vodního toku do více koryt, která se navíc při vyšších průtocích často mění. V takovém případě hovoříme o divočícím vodním toku. Zde naše řeka opouští hory.

Nivní krajina

Rovinu, která obklopuje řeku na dně údolí, nazýváme nivou. Jelikož je sklon vodního toku i celého údolí v nivě již nízký, převládá zde sedimentace nad erozí a mocnost sedimentů dosahuje mnohdy i desítek metrů. Šířka nivy se po směru toku obvykle zvětšuje, ale vlivem geologických poměrů se může měnit. Ploché dno údolní nivy je z obou stran obvykle omezeno výraznou hranou (obr. 5), která pokračuje svahem nebo navazuje na výše položenou říční terasu (Křížek 2012). Tak jako kary nebo morény mohou svědčit o dávném vývoji krajiny, protože indikují přítomnost ledovce v minulosti, říční terasy referují o původní pozici nivy před mnoha tisíci let. Příčinou vzniku teras jsou změny ve vodnosti toku v důsledku střídání dob ledových a meziledových v řádech desítek tisíců let. Důležitým nivním fenoménem jsou povodně. Ty jednak přinášejí velké množství materiálu, který se v nivě ukládá (povodňové hlíny), často se při nich ale také mění tvar koryta a mnohdy dochází v rámci nivy i k jeho překládání do jiných míst. Povodně po sobě přímo v korytech zanechávají lavice, jež jsou tvořeny písčitým až štěrkovým materiálem. Vystupují nad hladinu řeky a tvoří ostrovy, jindy jsou spojené s břehem. Kromě toho dochází k akumulaci i mimo koryto, kde vznikají nivní lavice nebo písečné klíny. Při vyšších průtocích a povodních však bývá také zintenzivněna eroze a to vede ke vzniku břehových nátrží a průrv, kterými proniká voda z koryta do nivy. V té případně dochází také k prohloubení stávajících či ke vzniku nových povodňových koryt, která jsou zaplavována jen v průběhu povodní. Jak už bylo uvedeno, nivy mívají nízký sklon. Proto zde



OBR. 3 V průběhu toku převládá zprvu eroze, poté začíná převažovat akumulace. Proto má podélný profil tvar negativní exponenciály. Většina řek se však ideálnímu profilu pouze přibližuje. Kupříkladu v horní části profilu Jizery je patrný plochý stupeň, který vyznačuje, kam až zasáhla zpětná eroze po vyzdvižení Jizerských hor při třetihorních tektonických pohybech. Zobrazené profily jsou převedeny do relativní škály.

řeka teče pomalu a hledá si nejvýhodnější cestu, často zatáčí a vytváří charakteristické zákruty a meandry (obr. 5). Vnitřní stranu těchto ohbí, kde dochází k sedimentaci materiálu, nazýváme jesepem. Protější strana, kde je břeh koryta naopak erodován, se nazývá výsep. Meandry, které jsou oproti prostým zákrutům více křivolaké (středový úhel oblouku je větší než 180°), se postupem času uzavírají a koryto se v daném místě napřímí (vzniká tzv. šíjové koryto). Z původního meandru se tak stává meandr odškrcený. Tímto způsobem řeka postupně překládá své koryto v rámci nivy. Reliktem původního koryta poté zůstávají oddělené tůně nebo odškrcené meandry.

Na dohled ústí

V blízkosti svého konce již řeka protéká velmi plochou krajinou s nepatrným sklonem. Rychlost

OBR. 4 Murová dráha v Mengusovské dolině ve Vysokých Tatrách (vlevo) leží vysoko nad přirozenou hranicí lesa. Nová dráha v masívu Králického Sněžníku (vpravo) se vytvořila po odlesnění velké části svahu. Sanace dráhy bude náročná, protože při vysokých srážkách bude voda murové koryto nadále prohlubovat. Podobných stálých murových drah je v českých horách několik desítek. Foto: David Krause.

OBR. 5 Řeka Ploučnice tvoří nedaleko Mimoně meandry. Na stínovaném zobrazení modelu reliéfu (vpravo) je kromě koryta řeky jasně vidět i ohraničení údolní nivy vůči okolnímu terénu. Uprostřed snímku je možné si všimnout odškrceného meandru, který je patrný zejména v podobě starého koryta na modelu reliéfu. Zdroj: https://geoportal.cuzk.cz.

proudící vody je tudíž natolik nízká, že řece dovolí transportovat prakticky jen ten nejjemnější materiál rozptýlený ve vodě v podobě suspenze, zatímco hrubších plavenin a splavenin je unášeno nepoměrně méně. Údolní niva však může být v této části toku široká až několik desítek kilometrů a i šířku samotné řeky zde již můžeme měřit v kilometrech. Celkové množství unášeného materiálu je proto i na dolním toku velmi vysoké. To lze pozorovat především v okolí ústí, kde se naše řeka vlévá do moře. Právě zde totiž dochází ke zvýšenému ukládání sedimentů v důsledku téměř nulového spádu vodního toku a z velké části protichůdně působících pohybů říční a mořské vody (vlnění, mořské proudy, dmutí). Výsledkem je vytváření plochých akumulací při ústí řek, které jsou podle svého přibližně trojúhelníkovitého tvaru označovány jako říční delty (Demek 1987). Jejich velikost je přímo úměrná množství přinášeného materiálu. Zároveň však platí, že ty nejrozsáhlejší delty se vytvářejí v místech, kde má mořské dno mírný sklon do velké vzdálenosti od pobřeží – typicky na kontinentálním šelfu. Pro většinu delt je charakteristické větvení hlavního toku do více samostatných ramen (obr. 6), které je způsobeno do značné míry chaotickým ukládáním materiálu v dynamickém prostředí na styku říčních a mořských vod. Pokud jsou však tyto pohyby příliš silné, je ukládaný materiál ve velké míře opět rozplavován a k vývoji delty nedochází. V takových případech se vytvářejí například estuária, která mají charakteristický nálevkovitý tvar. Na jejich vzniku se nejčastěji podílejí silné přílivo-odlivové proudy, odplavující říční sedimenty dále do moře. Často se vyskytují též v subsidenčních (tektonicky poklesávajících) oblastech, v nichž dochází k zatápění někdejších říčních údolí, přesahuje-li rychlost poklesu rychlost akumulace vodního toku. Specifickým typem jsou ústí limanová, pro která je typický pouze úzký výtok řeky do moře, zatímco zbývající část koryta je hrazena valem sedimentů, často v podobě kos vznikajících činností pobřežních proudů.

OBR. 6 Delta řeky Mississippi (vlevo) je jedním z netypičtějších příkladů tohoto typu ústí. Mělký šelf Mexického zálivu umožňuje rozšiřování jejích prstovitých výběžků i více než 100 km od okolní břehové linie. Nálevkovité ústí Labe (vpravo) má délku přibližně 100 km a na svém konci je široké přes 15 km. Zdroj: https://zoom.earth/.

Závěr

Voda se podílí na značném množství geomorfologických procesů na Zemi. Kromě pevniny se přirozeně uplatňuje i při vývoji dna světového oceánu, který tvoří většinu povrchu naší planety. Popsané procesy a tvary proto představují pouze zlomek veškerých pochodů a forem reliéfu, které voda podmiňuje. Jde však o charakteristické fenomény, s jejichž většinou se dennodenně setkáváme i u nás. Je třeba si uvědomit, že voda působí v krajině plošně nevyrovnaně a prostřednictvím rozmanitých a různě intenzivních procesů, které se navíc uplatňují v různých časových měřítcích. Krátkodobé (například několikahodinová povodeň nebo několikavteřinový pád mury) a dlouhodobé (například střídání ledových a meziledových dob v řádech desítek tisíců let) působení geomorfologických procesů tak dává vzniknout pestrému souboru tvarů reliéfu, jež propůjčují krajině její specifický ráz.

Literatura a zdroje dat

DEMEK, J. (1987): Obecná geomorfologie. Academia, Praha.

ENGEL, Z. (2014): Vznik ledovcového ledu. Geografické rozhledy, 23(3), 4–5.

KOCIÁNOVÁ, M., KOŘÍZEK, V., SPUSTA, V., BRZEZIŃSKI, A. (2013): Laviny v Krkonoších. KRNAP, Vrchlabí.

KŘÍŽEK, M. (2012): Údolní niva – její vymezení a vývoj. Geografické rozhledy, 21(5), 2–5.

KŘÍŽEK, M. (2015): Strukturní půdy. Geografické rozhledy, 25(2), 32.

UXA, T., MIDA, P. (2013): Reliéf horských oblastí střední Evropy jako archiv chladných období kvartéru. Geografické rozhledy, 23(1), 4–5.

UXA, T. (2014): Geomorfologická činnost sněhu – co dokáže sníh? Geografické rozhledy, 23(3), 6–7.

Geoportál ČÚZK. https://geoportal.cuzk.cz (29. 7. 2017).

Zoom Earth, New satellite images every day. https://zoom.earth/ (29. 7. 2017).

Tento soubor (článek) je vlastnictvím časopisu Geografické rozhledy a podléhá právní ochraně. ▪ Vydavatel i nakladatel časopisu si vyhrazují právo článek zveřejňovat na webových stránkách a sociálních sítích časopisu za účelem propagace časopisu. ▪ Dílo není určeno ke komerčnímu využití. Smí se šířit, pokud jsou korektně uvedeny údaje o autorovi, článku a jako zdroj citován časopis Geografické rozhledy.