

Geologická činnost větru (a co z ní zbylo v geologickém záznamu)

Současná česká krajina, bez ohledu na velkou geologickou a geomorfologickou diverzitu, umožňuje jen v nepatrné míře sledovat geologickou činnost větru. Prachové závěje, které se tvoří v závětrných místech na orné půdě, zejména na jižní Moravě, málokdy dosahují větší mocnosti než několik centimetrů, maximálně decimetrů. A písčiny byly z naší krajiny téměř beze zbytku odstraněny při proměně řek v napřímená, regulovaná koryta. Zbylo jen několik málo přírodních rezervací a chráněná krajinná oblast Litovelské Pomoraví, kde je udržován volný písčité povrch jako prostor pro ohroženou písčomilnou flóru a faunu. Globálně však patří vítr k významným geologickým činitelům; o tom koneckonců svědčí i fosilní záznam Čech a Moravy.



Vezměme to ale od začátku. Vítr opírající se do povrchu horniny nebo nezpevněné vrstvy minerálního složení je výrazně slabším geologickým činitelem než voda – jakozto fluidum je neporovnatelně řidší. Voda je schopná smísit se s prachem a pískem a vytvořit hustou kaši, která s sebou vezme bloky o hmotnosti mnoha desítek tun. Oproti tomu vítr dokáže i v extrémních situacích typu tornáda pohnout nanejvýš s kameny decimetrových velikostí, a to jen na úzké a poměrně krátké linii. Vítr nad moři však může způsobit anomální, bouřkové vlnění, které dokáže rozhýbat vodu v hloubce stovek metrů. Bouřkové vlnění zvíří sediment na dně a jeho opětovné usazení vytvoří vrstvu s charakteristickými sedimentárními texturami zvanou tempestit. Tempestity nejsou žádnou vzácností, dobře je známe např. z prvohorních vrstev Barrandienu. Stanou se součástí mořských (výjimečně i jezerních) vrstevních sledů usazenin.

1 Částečně zpevněná duna červeného pískovce. Nádrž v pozadí je umělá a je zásobena vodou z řeky Virgin River. Sand Mountain (1 221 m n. m.), Utah, USA

Eolické procesy

Jeden typ hornin usazený větrem znají všichni, i když ho třeba neviděli na vlastní oči – písčité pouštní duny (obr. 1). Právě v suchých prostředích, jako jsou pouště, hrají důležitou roli větrné, odborně eolické procesy. Termín aeolian je odvozen od jména řeckého boha Aiola, strážce větrů (viz také články na str. 221–227). Vítr na povrchu Země nebo v jeho blízkosti může erodovat, přenášet a ukládat materiály (sedimenty) a je účinným geologickým činitelem především v oblastech s řídkou vegetací, nedostatkem půdní vlhkosti a velkým množstvím nezpevněných sedimentů. Na pouště a na vítr je tak vázána dlouhá řada geologických pochodů a výsledných struktur.

V podmínkách současné střední Evropy bývala větrná činnost přeceňována. Již dávno nevěříme, že voštiny v českých skalních městech z hrubozrnného porózního pískovce byly vymodelovány větrem. Avšak vzhledem k mimořádné pestrosti stavby Českého masivu a jeho povrchových útvarů najdeme i v něm řadu dokladů o větrném původu vrstev horniny, textur a také povrchy přímo modelované větrem. V dobách kontinentálního prostředí s řídkou vegetací i u nás vítr erodoval, přenášel a ukládal materiály; velká část této činnosti však nezachovala stopy ve fosilním záznamu.

Eolické děje se ale neomezují pouze na suché podnebí. Jsou dobře patrné také podél pobřeží, podél toků v semiaridním podnebí, v oblastech s dostatkem písku zvětralého ze slabě stmelovaných pískovcových výchozů a v oblastech glaciálních dějů. Spraš představuje specifickou horninu prachové zrnitosti a velké porozity, která je transportována a usazena větrem (bližší na str. 221–224 a Živa 2010, 3 a 4). Jednotlivá zrna pocházejí z obnažovaných morén pevninského ledovce. Dnes vzniká v omezené míře jen podél chladných pouští střední Asie a vzhledem k přesunu klimatických zón v interglaciálu se její závěje (v Číně až 300 m mocné na Sprašovém plató, v údolí Žluté řeky mocné 100 m) nyní nacházejí nejčastěji ve středně vlhkém klimatu. Velká část Severní Ameriky a Evropy je ostrůvkovitě pokryta pískem a spraší pleistocenního věku, pocházejícími z hornin všech druhů, uzavřených a drcených v arktickém kontinentálním ledovci. Závětrná strana říčních údolí v polosuchých oblastech bývá často pokryta pískem a písečnými dunami. V Severní Americe se s nimi setkáme u řeky Platte v Nebrasce, v Arkansasu a Missouri i jinde. V Čechách je dobrým příkladem Labe, s drobnými zbytky písčité krajiny vyznačené geobotanickými rezervacemi od Neratovic k Libici nad Cidlinou, na Moravě řeka Morava v okolí Bzence a menší, ale stále „živé“ písčiny Litovelského Pomoraví.

Deflace a abraze

Vítr eroduje zemský povrch deflací (odstraněním uvolněných jemnozrnných částic turbulentním působením větru) a abrazí (opotrebováním povrchů broušením a pískováním částicemi unášenými větrem; viz obr. 7). Jakmile jsou částice ve vzduchu, srážky mezi nimi je dále rozbíjejí.

● **Deflace** je zvedání a odstraňování sypkého materiálu z povrchu větrnou turbulencí. Probíhá třemi mechanismy: tahem (trakcí) neboli povrchovým tečením, saltací a pohybem v suspenzi. Trakce neboli povrchové tečení je pohyb větších zrn po povrchu. Saltací se rozumí proces, kdy částice poskakují po povrchu na krátkou vzdálenost. Suspendované částice jsou unášeny větrem na velké vzdálenosti, a mohou tak být přeneseny o mnoho tisíc kilometrů (pro zajímavost, na Marsu, kde je nižší gravitace než na Zemi, mohou prachové částice zdvižené větrem několikrát obletět celou planetu). Příkladem je v Čechách a na Moravě zvyšující se četnost prudkých jižních větrů, které přinášejí prach ze Sahary. Při slabším dešti pak padá z atmosféry kalná voda. Saltace tvoří přibližně 50–70 % z celkové deflace, transport v suspenzi 30–40 % a povrchové tečení se podílí z 5–25 %.



- 2 Jedna z nejdokonaleji zachovaných sedimentárních sekvencí uložených větrem. Navažský pískovec, Utah, USA
 3 Pásmo dun vyvátých z písečných pláží u Dueodde, ostrov Bornholm, Dánsko
 4 Typický vzhled stop tetrapoda při pohybu po šikmém svahu. Bornholm

Oblasti, které jsou vystaveny intenzivní a trvalé erozi, se nazývají deflační zóny. Většina eolických deflačních zón se skládá z pouštního chodníku – plochého povrchu kamenných úlomků, který zůstává poté, co vítr a voda odstranily jemné částice. Skalní plášť v pouštních chodnících chrání podkladový materiál před další deflací.

Oblasti pouštního chodníku tvoří kamenité pouště Sahary. Dále se dělí na skalnaté oblasti zvané hamady (hamada, hamadas) a oblasti malých kamenů a šterku zvané seriry (serir, serirs). Dlažba pouště je nejběžnější podobou pouštního povrchu – zahrnuje více než polovinu současných pouští a není žádný důvod předpokládat, že v geologické minulosti od doby nedávné až někam po devon by tomu mělo být jinak. Devon jmenuji proto, že je pokládán za první geologickou epochu se souvislou vegetací na vhodných místech krajiny. O souši před devonem toho víme poměrně málo.

Deflace také vytváří prohlubně – větrné jámy (blowouts). Nejmenší z nich jsou pouhé důlky 3 m v průměru a 0,3 m hluboké. Mezi největší patří větrné jámy Mongolska, které mohou být 8 km široké a 60–100 m

hluboké. Big Hollow ve Wyomingu v USA má půdorys $14 \times 9,7$ km a hloubku až 90 m.

● **Abraze** (někdy také nazývaná koraze) je proces, při kterém větrem poháněná zrna narážejí na pevné materiály. Kdysi byla považována za hlavního přispěvatele k pouštní erozi, ale v polovině 20. století už byla pokládána za mnohem méně důležitou. Vítr může obvykle zvedat písek jen na krátkou vzdálenost, přičemž většina větrem neseného písku zůstává do 50 cm od povrchu a prakticky žádný se standardně nenese nad 2 m. Mnoho prvků pouštní geomorfologie, které byly kdysi připisovány oděru větrem, včetně větrných jeskyní, skalních hřibů a vzniku důlkovitých povrchů zvaných tafoni, je nyní přičítáno deflaci spíše než abrazi nebo jiným procesům. Jardangy jsou jedním druhem pouštního prvku, který je nadále přisuzován oděru větrem. Jde o skalní hřebeny, vysoké až desítky metrů a dlouhé kilometry, které byly usměrněny pouštními větry. Charakteristicky vykazují protáhlé brázdy nebo rýhy zarovnané s převládajícím větrem. Tvoří se většinou v měkkých materiálech, jako jsou prachovce.

Abraze vytváří leštění a důlkovou korozi, drážkování, tvarování a fasetování exponovaných povrchů. Ty jsou obecně rozšířeny v suchých prostředích, ale geologicky zůstávají spíše nevýznamné. Leštění nebo fasetované povrchy jsou vzácné, pro svůj vznik vyžadují hojný písek, silné větry a nedostatek vegetace. V částech Antarktidy větrem naváté sněhové vločky, které technicky

představují sedimenty, také způsobily otěr obnažených hornin.

Výsledkem abraze jsou dále hrance, běžně přítomné i na odkryvech teras Vltavy v Praze a okolí. Jde o valouny s ostrými hranami a nejméně dvěma, častěji třemi rovnými plochami vzniklými obroušením pískem (viz obr. na webu Živy).

● **Otěr** je opotřebení působené nárazy částic unášených v pohyblivém se fluidu – v našem případě ve větru. Je účinný při zaoblování pískových zrn a dodává jim výraznou matnou povrchovou strukturu. Srážky mezi částicemi přenášenými větrem jsou hlavním zdrojem prachu o velikosti 2–5 μm .

Tvary pískových těles

Písek odnesený deflací se musí někde poměrně rychle usadit (jiné je to s prachem, ale o něm později).

Pískový stín je nahromadění písku na závětrné straně překážky, jako třeba balvanu nebo izolovaného ostrůvku vegetace. Zde se písek hromadí až do syného úhlu (maximálního stabilního úhlu sklonu), asi 34° , a poté začne klouzat po kluzné ploše. Krajínám tvořeným takřka výhradně synkým pískem se říká písečná moře (ergy) a jejich dílčími jednotkami jsou duny. Velmi často se ale transportovaný písek snese na své budoucí místo rovnoměrně, a vzniknou pískové desky – ploché nebo mírně zvlněné písčité nánosy, běžné hlavně na okrajích dunových polí, i když se vyskytují také v ergech. Podmínky, které upřednostňují tvorbu písčných vrstev namísto dun, mohou zahrnovat cementaci povrchu, vysokou hladinu podzemní vody, účinky vegetace, periodické záplavy nebo sedimenty bohaté na zrna příliš hrubá pro účinnou saltaci.

Duna vzniká nahromaděním sedimentu, zpravidla písčné zrnitosti, který vítr navahe do kopce nebo hřebene. Od zmíněných písčných stínů nebo závějů se liší tím, že jsou nezávislé na jakékoli topografické překážce. Mají mírné svahy na návětrné straně. Část duny po větru, závětrný svah, je obvyklejše strmý lavinový svah označovaný jako skluz. Duny mohou mít více než jeden skluz. Větrm navátý písek se pohybuje po mírné návětrné straně saltacemi nebo plížením. Písek se hromadí na okraji, v horní části skluzu. Když nahromadění překročí úhel klidu, malá lavina zrn sklouzne dolů. Zrnko po zrnku se duna pohybuje po větru.





U dun rozlišujeme tři obecné formy. Lineární, rovněž nazývané podélné duny nebo sejfy, jsou zarovnány ve směru převládajících větrů. Příčné duny, které zahrnují srpkovité barchany, jsou zarovnány kolmo k převládajícím větrům. Složitější duny, např. hvězdovité, se tvoří tam, kde se často mění směr větru. Další typy vyvstávají z různých druhů topografických sil, jako jsou izolované kopce nebo srázy. Duny, zejména barchany, se často vytvoří na nevelké zářazce typu keře. Délka barchanů může být až několik kilometrů, u hvězdovitých dun stovky metrů. Mocnost vrstvy písku z (momentálního) vrcholu duny k její bázi dosahuje zpravidla vyšších desítek metrů.

Když opustíme pouště, na druhém místě, pokud jde o objem volného písku, jsou plážové systémy. Ty pokračují často jako kilometry široké pásmo dun (obr. 3).

Hlavní globální eolické systémy

Během popsaného vznosu a následného usazení dochází k různým dějům – abrazi, třídění (bimodálnímu rozdělení velikosti zrn, zrna jsou „otlučená“, nemají lesklý povrch, tak je lze určit i z malého vzorku). Větší celky není snadné identifikovat, dnes už ale existuje delší řada oblastí, o kterých je shoda, že mají pouštní původ. Jde o architekturu těles, sklon lamin kolem 40°, důležitě jsou stopy živočichů, pokud se najdou.

Zrna se při nárazech štěpí a vzniká při tom velejemný prach. V průměru 132 milionů tun prachu ze Sahary (především ze Sahelu a z prolákliny Bodélé) je každoročně transportováno přes Atlantický oceán. Harmattanské zimní prachové bouře v západní Africe foukají prach do oceánu. Asijský prach pochází z pouště Gobi a dostává se do Koreje, Japonska a Tchaj-wanu. Indické prachové bouře v r. 2018 přenesly prach z pouště Thar do Dillí, Uttarpradéše a Indoganžské nížiny. Vítr Shamal v červnu a červenci přenáší prach od severu k jihu v Saúdské Arábii, Íránu, Iráku, Spojených arabských emirátech a částech Pákistánu. Prachové bouře Haboob v Súdánu a jejich obdoba v Austrálii a Arizoně jsou spojené s monzunou. Khamsinský prach z Libye, Egypta a Levanty přichází na jaře a je spojený s mimotropickými cyklony. Ve Spojených státech amerických silné prachové bouře (Dust Bowl) transportovaly jemný materiál na východ a v současnosti bývá ročně uloženo 5 500 tun prachu v oblasti



Chicaga. Písečné větry ze Sahary nazývané Sirocco vanou na sever do jižní Evropy a stále častěji i přes Alpy do Evropy střední. Poušť Kalahari fouká písek a prach na východ přes jižní Afriku směrem k Indickému oceánu.

V minulosti se z takto přenášeného materiálu tvořily spraše. V chladných pouštích typu Gobi mají původ čínské spraše. Evropské spraše byly vyváté z morén po ústupu posledního kontinentálního ledovce. Proto je zhruba 5–10 % objemu spraší původem z vápenců – je to jejich podíl v morénách. Ze stejného důvodu vznikají na závějích spraší v krajině chudé na živiny (křemenné pískovce, křemence, křemenné slepence, silicity) ostrůvky náročnější vegetace.

Eolické procesy lze rozeznat v geologických záznamech již v prekambriu. Eolické formace jsou výrazné v prvohorách a druhohorách na západě USA. Pro střední Evropu je významná facie Rotliegendes (trias), permský spodní červený písekovec Británie, permsko-triasový písekovec Corrie a Hopeman Sandstone ze Skotska a proterozoické pískovce Indie a severozápadní Afriky. Snad nejlepšími příklady jsou jurské ergy na západě USA. Patří mezi ně Wingate Sandstone, Navajo Sandstone (viz obr. 2) a Page Sandstone.

Eolické usazeniny v naší přírodě

Na konci karbonu (Rotliegendes) a v Podkrkonošské pánvi i v permu lze najít příznaky větrného transportu, i když poslední slovo mohla mít opět voda: bimodální roz-

5 Typické zachování zvířecích stop v sypkém písku. Lom Devět Křížů u Červeného Kostelce, trias

6 Písečný přesyp u Vlkova, Třeboňsko

7 Větrná eroze – abraze na starověké zdi z písčitého vápence u Sakkáry, Egypt. Snímky R. Mikuláše

dělení velikosti zrn a důlkované povrchy zrn. Jasně je to v našem jediném triasovém stratigrafickém členu, v devítikřížském pískovci. V posledních desetiletích se stal populárním díky nálezům fosilních stop, hlavně dinosauromorfních, ale i stop drobných čtvernožců (tetrapod) a bezobratlých. Devítikřížský písekovec leží v nadloží permského tzv. bohdašínského souvrství, které je tvořeno zejména fluviatilními (řekami uloženými) červenými pískovci. I devítikřížské pískovce byly z velké části uloženy ve vodním prostředí (vysychajícím jezeru), ale některé desky pískovce (s neporušenými bahenními sítvkami a velmi strmě ukloněnými laminami) jsou evidentně eolické. Celý vrstevní sled v oblasti Červeného Kostelce je tedy odrazem postupného vysychání (aridizace) krajiny (obr. 5).

Díváme-li se na mapu chráněných území v ČR, určité malé, ale nepřehlédnutelné procento připadá na přesypy, váté písky apod. (obr. 6). Vhodný písek vytřídily během povodňové řeky a ty byly v nivách usazovány jako duny, nic z toho však už s výjimkou Litovelského Pomoraví neexistuje. Vše bylo stabilizováno zalesněním a řeky byly regulovány. Je to největší rána pestrosti české přírody.

I u nás existuje modelace povrchů větrem – větrné fasety má Salesiova výšina u Oseka, Velká skála v Praze-Bohnicích, hrance na terasách velkých řek. V těchto případech k obrušování pevných kamenů (křemencové hrance) docházelo v plochém terénu.

Geologická činnost větru ve střední Evropě má potenciál zesílit. Ukazuje to úbytek srážek v některých oblastech (jižní Morava) a nárůst počtu a hlavně síly tornád (viz také str. 214–217). Navíc žijeme v době střídání ledových a meziledových dob a sprašové závěje se mohou v geologické budoucnosti dočkat dalšího přírůstu prachu ze zatím neexistujících morén.

Článek vznikl s podporou výzkumného záměru AV0Z 30130516.