

Anemo-orografické systémy v evropských pohorích

Na povrchu horského reliéfu dochází k interakci fyzikálních a biotických procesů, jejichž produktem jsou fungující přírodní celky, obecně zvané ekosystémy nebo biotopy. Ekosystémy a biotopy tvoří funkčně propojenou topografickou mozaiku, jejíž rozmístění odráží dlouhodobé i dynamické vlastnosti životního prostředí (např. teplotu, vlhkost, směr a sílu větru), nepostižitelné jednorázovým pozorováním či krátkodobým měřením. Živé organismy, jako jsou přisedlé lišejníky a mechrosty, zakořeněné druhy cévnatých rostlin nebo zabydlená půdní fauna, jsou přirozeným integrátorem dlouhodobých vlivů a představují jistou formu „vykrytalizovaného prostředí“. Druhová skladba ekosystémů proto může být východiskem pro ekologické modely vysvětlující principiální vazby v horské krajině. Tento metodologický postup byl realizován při hledání příčin mimořádné biodiverzity na vybraných místech v evropských středohořích. Výsledkem srovnávacího empirického výzkumu a teoretického modelování byly tzv. anemo-orografické systémy (dále jen A-O systémy), které před půlstoletím popsal autor tohoto článku (Jeník 1961).

Evropské středohory a jejich biocentra

Hledání geo-ekologických vazeb je pochopitelně snazší v málo členitých pohorích, jakými jsou převážně hercynské středohory. Jejich staré, denudací zaoblené vrcholy jsou převážně kryté jednotvárnými lesy a jen výjimečně vystupují nad hranici stromového růstu. Běžným „učebnicovým“ modelem jejich přírodní podstaty je například výšková vegetační stupňovitost (stupeň dubový, bukovo-dubový, dubovo-bukový, bukový, jedlovo-bukový, smrkový a klečový).

Pro vyšší evropské středohory, jmenovitě Krkonoše, Hrubý Jeseník, Černý les a Vogézy, kde nad oslabeným lesem leží větší „ostrovy“ s bezlesou alpskou tundrou, je výšková zonace jen málo přesným schématem. Existují proto potíže, jak do rámce výškové stupňovitosti zařadit právě fenomény, jejichž charakter je blízký severským krajinám nebo vysokohořím. Dynamické svahové procesy – deflace, eroze, nivace, kryogenní pochody nebo lavinové sesuvy – stejně jako výskyt typických severských či alpských organismů zde nejsou jednoznačně spojené

s určitou nadmořskou výškou. Obzvláště těžkým úkolem je uspokojivě vymezit standardní výškové zóny a do nich zařadit centra biologické rozmanitosti, která pro dotyčná pohorí, příslušné státy i celou Evropu představují nesporný „přírodní poklad“. Východiskem bývá zavedení obecného pojmu „azonalita“, který však neřeší kardinální otázku: „Proč právě tam?“

Výše zmíněná střediska biodiverzity – v češtině „zahrádky“, německy „Gärtchen“ nebo „Sonderstandorte“, anglicky „hot-points“ – jsou „horkými místy“ evropské přírody a současné ochrany přírody. Jejich geografická poloha a mimořádné druhové složení jsou doloženy dlouholetými výzkumy a popsány v mnoha knihách o flóře, zoologických monografiích i na biogeografických mapách. Početné doklady o jejich dlouhodobé existenci jsou uloženy v muzejních sbírkách, herbářích, archivech a na více než stoleté fotodokumentaci.

V západních Krkonoších leží významná biocentra v obvodu deflační náhorní plošiny Pančavské a Labské louky ve výšce cca 1300 m n. m., na něž od západu směřuje

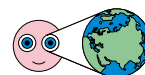
hluboké údolí Mumlavy, které jako trychtýř soustřeďuje západní větry, zvyšuje orografické srážky a v zimě ovlivňuje distribuci sněhu. Převládající západní směr, síla a roční frekvence větrů jsou dokumentované dlouholetým měřením meteorologických stanic např. na Szrenici (PL) a Labské boudě. Na V, SV a JV okraji náhorní plošiny se sněh ukládá v karech (Sněžné jámy, Labské jámy, Kotelní jámy), jejichž závětrné a lavinami brázděné svahy jsou biotopem druhově bohatých ekosystémů. Součástí Labských jam je Pančavská jáma a v ní Schustlerova zahrádka, kde roste jinde nevídaná směs horských i nížinných rostlin. Na polské straně je mezinárodně proslulá lokalita v Malé Sněžné jámě, kde se na východně orientovaném svahu kombinují výhodné mikroklimatické a půdní podmínky pro růst reliktních i endemických organismů.

Ve východních Krkonoších jsou druhově nejbohatší místa v jamách Rybníků, kotli Lomničky, Úpské jámě, Čertových roklích a Studničních jamách. Jsou to lokality na SV, V a JV okraji staré náhorní planiny (Bílá louka, Plán pod Sněžkou a Čertova louka), položené ve výšce 1400 m n. m. Již stoleté měření na Sněžce (1602 m n. m.) ukazuje, že tato oblast je vystavená deflačnímu vlivu silných větrů vanoucích od západu ze Sedmidolí a dolu Bílého Labe. Úpská jáma, ležící přímo v ose převládajících větrů, je obrovským rezervoárem sněhu, který občasnými lavinami a tavnými vodami ovlivňuje svahové procesy a sukcesi ekosystémů s množstvím druhů horských i nížinných rostlin (např. 200 druhů cévnatých rostlin, 400 druhů mechrostů), obratlovců a bezobratlých živočichů. Na výchozech porfyrů v Čertových roklích, v nadmořské výšce pouhých 1050 m n. m., existuje rostlinné společenstvo blíže příbuzné severským ekosystémům, ale v blízkosti nechybějí ani druhy teplomilné.

Je zajímavé, že na východní straně Sněžky a přilehlém hřebeni Krkonoš chybí stopy po zalednění (výrazný ledovcový kar a morény) i biocentra s druhově bohatými ekosystémy. Nejvyšší hora středoevropských hercynid se proto některým biologům jeví jako jednotvárná „hromada balvanů“, jak se o Sněžce vyjádřil v roce 1918 profesor Schustler, přední znalec květeny a navrhovatel Krkonošského národního parku.



Obr. 1.: Masiv Feldbergu ve Schwarzwald, v Německu; na snímku je svah jménem Osterrain s jarními zbytky sněhu a druhově bohatými ekosystémy v návazném údolí. Foto: H. & K. Rasbach a G. Hügin



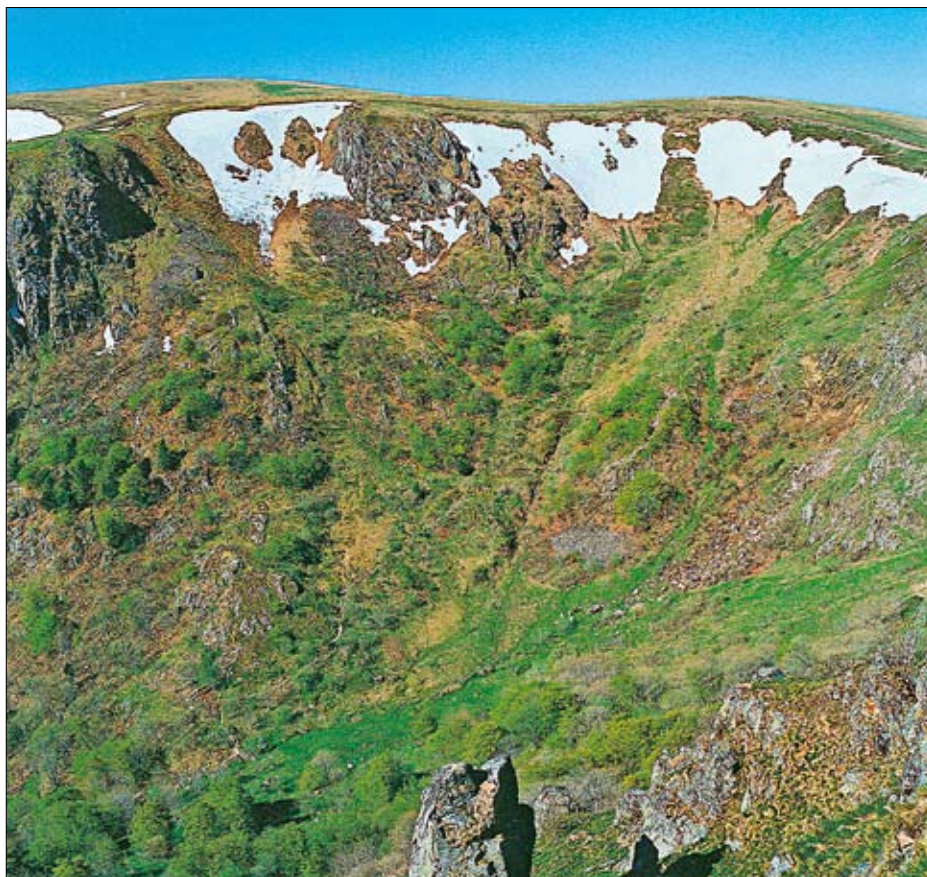
V ZORNÉM POLI GEOGRAFŮ

V Hrubém Jeseníku jsou nesporně druhově nejbohatšími místy Velká kotlina a Malá kotlina. Obě tyto deprese leží na východním svahu širokého hřbetu mezi Vysokou holí (1463 m n. m.) a Velkým Májem (1384 m n. m.), v závětrí křižujících se větrů z údolí Bílé Desné a Merty. Vysoké sněhové závěje, laviny a reliktní rostliny a živočichové svědčí o extrémních podmínkách v celém postglaciálu. Podle počtu zjištěných druhů rostlin a živočichů je Velká kotlina absolutně nejbohatším místem ve všech evropských středohorách. Oproti tomu nedaleká nejvyšší hora Hrubého Jeseníku Praděd (1491 m n. m.) není v botanice ani v zoologii spojena s mimořádnou pestrostí životních forem.

V relativně nízkých Krušných horách je vedle subalpínsky laděných mokřadů jen jediné suchozemské místo se subalpínsky laděnou biotou. Je to závěr údolí jménem Zechengrund, který leží na východním okraji náhorního plató kolem Božího Daru, přímo v ose západních větrů usměrněných táhlým údolím bystřiny Černé/Schwarzwasser do sedlovité sníženiny mezi Fichtelbergem (1214 m n. m.) a Klínovcem (1244 m n. m.). Při vánicích i druhotném převívání se v Zechengrundu hromadí sněhové spousty a ve výšce kolem 1000 m n. m. je rozrušován zápoj lesa; tím vznikly a dlouhodobě se udržely podmínky pro populace horských a subalpínských rostlin.

Na Šumavě jsou nejbohatším místem kary Černého a Čertova jezera na východním okraji deflační plošiny Jezerní hory (1343 m n. m.), která sama leží v ose orografických větrů, táhnoucích se podél horního toku Bílé Řezné. V návaznosti na zalednění vznikly na české straně výrazné kary, jež jsou vyplněné hlubokými jezery (nejhlubšími na Šumavě) a obklopené strmými „stěnami“, na nichž je les prostoupený lavinovými drahami, skalami a prameništi s vybranou a různorodou květenou a faunou. Celý krajinný komplex kolem Černého jezera, cizorodě vložený do souvislého horského lesa, je nejen přírodní rezervací, ale i českou národní památkou, která inspirovala desítky spisovatelů, výtvarníků i hudebních skladatelů.

Černý les (Schwarzwald) má hlavní hřbetnici protaženou od severu k jihu a vzhledem k makroklimatu s převahou západních větrů jsou jeho hřebeny rozdělené na svahy exponované/vystavené vzdušným proudům, a svahy ležící v závětrí. Geo-ekologicky nejvýznamnější biocentra jsou kolem masivu Feldbergu (1493 m n. m.) a Seebucku (1448 m n. m.). Bohatá květena a fauna je na lokalitách jménem Osterrain, Zastler Loch, Baldenweger Buck, Seebuckabsturz a Taurinne, které se nacházejí právě v závětrí orografických větrů, vanoucích z návětrných údolí řek Wiese a Brugga. V závětrí masivu Feldberg-Seebuck, kde se protíná vliv uvedených větrů, leží hluboké



Obr. 2.: Východní svah masivu Hohnack ve Vogézách (Francie) s ledovcovým údolím Wormspelkar, v němž je naleziště mimořádně bohaté flóry a fauny. Foto: H. & K. Rasbach a G. Hügin

karové jezero a lokality kolem něho hostí mnoho biogeografických zvláštností včetně reliktních druhů.

Ve Vogézách najdeme střediska biodiverzity na východní straně hercynského hřebene, který je rovněž protažený od severu k jihu. Druhově bohatá centra biodiverzity se proto vyskytují na východní straně hřebene, jmenovitě v karech Schwalbennest, Wormspel a Frankental, které leží na východ od deflačního plató kolem vrcholů Kastelberg (1350 m n. m.) a Hohnack (1364 m n. m.). Pleistocenní zalednění v těchto údolních závěrech je prokázáno a také současný výskyt sněhových převějí, závějí a lavin svědčí o geohistoricky výhodné poloze pro hromadění sněhu, nivaci a svahové procesy. Skladba květeny a fauny ve jmenovaných karech udivuje nejen četností druhů, ale též extrémním sousedstvím horských a nížinných druhů. Je významné, že na západně orientovaných svazích celého hřebene Vogéz se srovnatelně bohatá biocentra nevyskytují.

Příčiny vzniku center biodiverzity

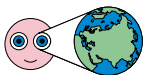
Pokusy vysvětlit existenci biocenter byly mnohé. Nejčastěji se poukazuje na maximální nadmořskou výšku (v rámci středohor), výhodnou orientaci svahů k oslunění a zastínění nebo izolované výskyty hornin příznivých pro tvorbu půdy.

Argumentum, že jde o mimořádně chladné mikroklima protířeči sousedství s po-

pulacemi teplotně náročnějšími. Ojedinelé výchozy bazických hornin sice lokálně podporují uchycení a přežívání malých populací, ale nevysvětlují ekosystémové komplexitu situované na převážně silikátových (živinami chudých) horninách. Proto vznikla potřeba širšího geo-ekologického řešení na srovnávacím podkladě.

Centra biodiverzity v evropských středohorách se vyskytují převážně: 1. v poloze na východ od větší náhorní planiny nebo plochého sedla nesoucího znaky zvýšené deflace; 2. v poloze protilehlé k velkému údolí nebo několika údolím, z nichž na náhorní planinu směřují orograficky dominantní západní větry; 3. na svazích orientovaných převážně do východního kvadrantu (V, SV a JV); 4. v místech, kde se ukládá mimořádné množství sněhu, leží dlouhotající sněžníky a často sjiždějí sněhové laviny; 5. v obvodu karů či nivačně přemodelovaných údolních uzávěrech; 6. v prostoru současných aktivních svahových procesů a velké rozmanitosti půd; 7. v blízkosti horní hranice lesa, a nikoli uprostřed bezlesé tundry; 8. v areálu druhů rostlin a živočichů, které mají často protikladné nároky na prostředí; 9. v obvodě, kde vedle sebe přežívají populace druhů arko-alpínských a druhů podhorských až nížinných; 10. v místě zvaném „locus classicus“, odkud jsou pro světovou vědu popisované dříve neznámé druhy, poddruhy nebo variety organismů.

Uvedené společné vlastnosti v první řadě



ukazují, že existence biologických center je spojená s utvářením horského reliéfu (orografii) a dominantními větry (anemos = vítr); evidentní vlastnosti lze tedy označit termínem „anemo-orografické“. Reliéf ve středním a velkém měřítku lze snadno postihnout podle vrstevnicové mapy; směry i síla větru v přízemní vrstvě atmosféry jsou identifikovatelné podle nesčetných stop na povrchu terénu (eolické a deflační formy sněhu, půdy, vlnkové formy stromů), podle pozorování aktuálního pohybu hydrometeorů (oblačnost, mlha, vánice, druhotně převívaný sníh) a podle přímého měření na stálých či ambulancích meteorologických stanicích.

Podle principů ekologické (environmentální) aerodynamiky můžeme širší obvod biocenter považovat za „nepohyblivý povrch obtékaný vzdušným proudem“, v němž se rozlišují dva základní typy proudění – laminární (ustálené) a turbulentní (vířivé). Proudění se obecně řídí fyzikálními principy dynamiky plynů a tekutin (Bernoulliho rovnice, Reynoldsovo číslo, Froudeho čís-

lo), pomocí nichž lze ve vzdušném proudu popsat vzájemné působení setrvačných, gravitačních a vazkých sil při různých rychlostech a s různým obsahem aerosolů. Se zvyšující se rychlostí proudu dochází ke změně poměru mezi statickým a dynamickým tlakem a za terénním zlomem (např. za strmou překážkou, na hraně terénu nebo nad náhlou prohlubní) dochází k přechodu laminárního proudění do proudění turbulentního. S tím souvisí další pochody: mění se atmosférický tlak proudu, jeho teplota a unášivá síla pro částice aerosolu (např. pro vodní kapky, ledové krystaly, prach, pyl či semena rostlin). Čím rychlejší je laminární proudění nad hladkým povrchem v návětrí (např. nad bezlesou tundrou), tím náhlejší je přechod do závětrného turbulentního prostoru (např. v karu), kde se pak mění meteorologické parametry a dochází k ukládání aerosolů; viditelným svědectvím aerodynamických změn jsou sněhové závěje nebo nánosy půdy či organických částic na povrchu sněhu a půdy. Všechny aktuální aerodynamické procesy se v průběhu času promítají do vět-

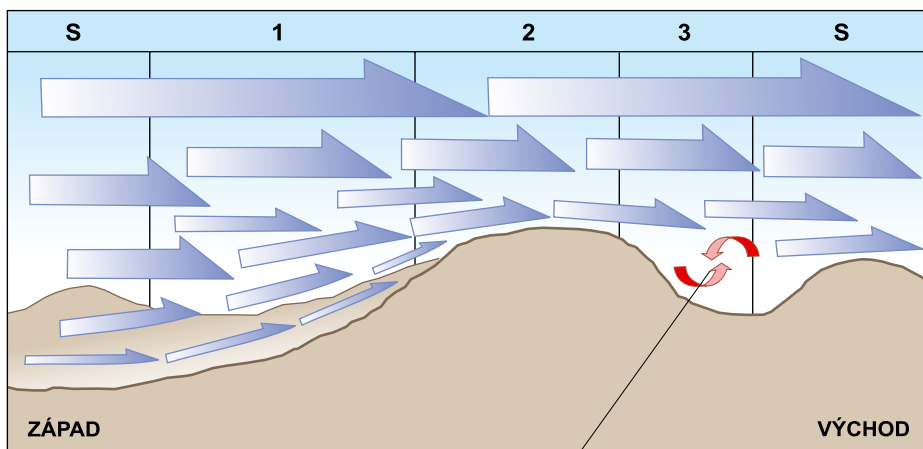
šiny exogeodynamických a ekologických procesů.

S ohledem na popsanou polohu biocenter v dlouhodobém závětrí na hřebenech středohor lze tedy rozlišovat tři aerodynamicky významné situace: 1. vodící návětrné údolí, v němž se vzdušné proudy směrově sjednocují; 2. zrychlující vrcholová část, ve které vzdušné proudy dosahují nadstandardní síly; 3. turbulentní závětrný prostor, kde poklesá rychlost větru a ve vířivém a zpomaleném proudění dochází k sedimentaci pevných částic. Ve spojitosti lze tyto tři návazné části považovat za anemo-orografický systém (obr. 3 a 4).

Aerodynamika se v pohorích uplatňuje v mnoha měřítkách a s krátkodobými i dlouhodobými důsledky. Ve složitých poměrech vápencových velehor nejsou A-O systémy v mezotopografickém měřítku postižitelné. Naopak ve středohorských rozměrech Krkonoš lze identifikovat klíčovou geografickou souvislost topografie, jednostranného západního proudění a výskytu ekosystémů určitého složení. Souvislé zalesnění v holocénu oslabilo nebo zahladilo stopy po výrazných ekosystémech například na Šumavě nebo v Jizerských horách. Je pravděpodobné, že v chladných dobách postglaciálu fungovaly A-O systémy s návaznými biocentry i v nižších středohorách, ale invaze stinných lesů v průběhu klimatického optima postupně pohltila glaciální reliktu i všechny návazné projevy periglaciální tundry. Podle primárního rozložení sněhu, jeho druhotného přemísťování a postupného odbourávání lze ve středohorách vymezit množství menších, geo-ekologicky nevýznamných A-O systémů, spojených se soliterními skalisky, skupinami stromů, jednotlivými keři a nerovnostmi terénního povrchu.

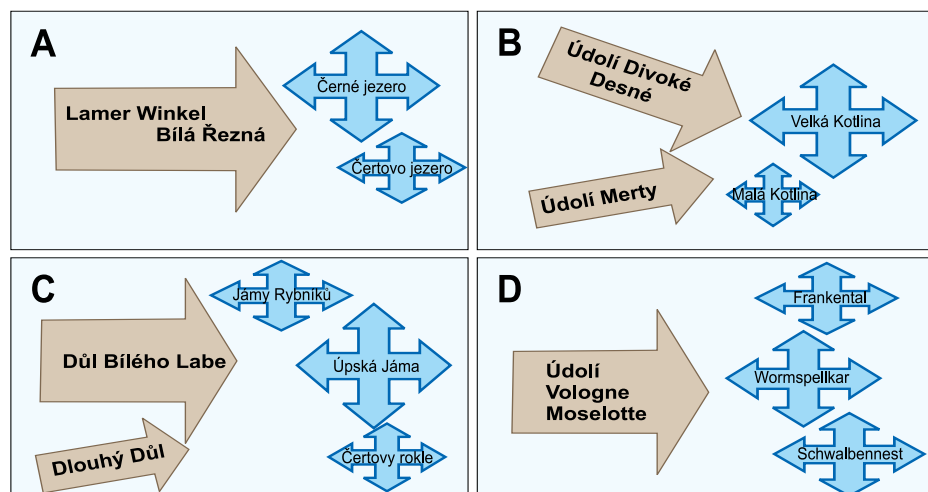
Geo-ekologické souvislosti v rámci A-O systémů

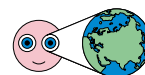
Pro vysvětlení vývoje biocenter jsme z výše uvedených deseti znaků zatím využili jen polovinu společných vlastností. Do (mezo)topografického a s ním souvisejícího aerodynamického rámce je nutné promítnout množství návazných hydrometeorologických, půdotvorných a biologických procesů, které po dlouhou dobu registrují různé přírodovědné obory. Například podle meteorologů se v rámci A-O systémů realizuje tzv. Venturiho efekt jako důsledek složitě kombinace mechanické turbulence a termické turbulence. Na vývoj mikroklimatu v závětrí biocenter má vliv také tvarování a insolace vnitřního i okolního mezoreliéfu. Důležité je například zaclonění jižního horizontu v zahloubených karech či vystouplé skalní rozsochy nebo kulisy stromů, které výrazně diferencují teplé a chladné ostrůvky. To může být zdrojem ekologických kontrastů a výskytu biot velmi odlišných vlastností v blízkém sousedství.



Obr. 3.: Model anemo-orografického systému fungujícího v rámci standardního reliéfu (S) v hřebenevé oblasti středohor při dominantním západním větru; v pořadí od západu k východu na sebe navazují tři sektory – vodící návětrné údolí (1), zrychlující vrcholová část (2) a turbulentní závětrný prostor (3); modré šipky značí převahu laminárního proudění, růžové šipky ukazují závětrí s turbulentním prouděním. Zdroj: J. Jeník

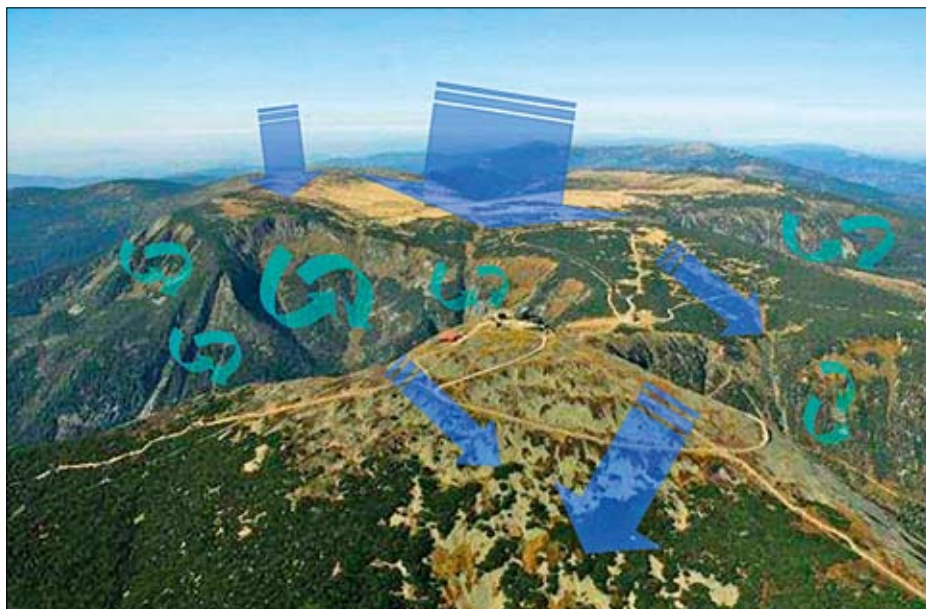
Obr. 4.: Schéma mezotopografické situace vybraných anemo-orografických systémů na Šumavě (A), v Hrubém Jeseníku (B), Krkonoších (C) a Vogézách (D); modré šipky představují zesílené západní proudění ze jmenovaných údolí, světle modré kříže jsou v místech závětrných turbulentních prostorů, kde jsou významná centra biodiverzity. Orig. J. Jeník.





Důležitým projevem A-O systému je na jedné straně zesílená deflace, ochuzování půdy a mechanické rozrušování vegetace, na druhé straně pak ukládání aerosolů minerální i organické povahy. Ve vrcholovém segmentu silný vítr odklízí všechny neupevněné produkty zvětrávání a rostlinné sukcese, odkrývá substrát pro kryogenní procesy, fyziologicky oslabuje stromový růst a podporuje vznik alpského bezlesí. Závětrné prostory jsou sice chráněny před odnosem a destrukcí větrem, ale všechny exogeodynamické procesy jsou podstatně aktivovány sněhovými závějemi, sněhovými lavinami, nivací kolem sněžníků a v dobách významného ochlazení karovými ledovci; táním sněhových převějí jsou ovlivněny hydrologické i půdotvorné procesy, čímž se jednak zrychlují, jednak rozrůžňují svahové procesy a obnažují výchozy různých hornin. Výsledkem je členitý povrch karů a nivačně přemodelovaných údolních uzávěrů a půdy s odlišným chemismem a vlhkostí atd.

Rozdílné interakce mezi fyzikálními a biotickými faktory vedou v jednotlivých částech A-O systému k odlišné prostorové a druhové skladbě ekosystémů. V deflační vrcholové části je mozaika lesních či tundrových ekosystémů jednodušší, kdežto v závětrném prostoru existuje příležitost pro koexistenci velkého množství společenstev a druhů. Velkou roli v tom má omezení konkurence trsnatých travin a stinných dřevin, zejména smrku a borovice-klleče. Na frekventovaných lavinových drahách je proto více příležitosti k uchycení a přežívání světlomilných populací rostlin i živočichů. K nahromadění genetické informace v závětrí A-O systému přispívá také jeho role jako „smetiště“ spor, semen, plodů a zárodků, které vítr přináší i ze značné vzdálenosti. V prostředí narušovaném lavinami, erozí a gravitačními procesy je tedy příležitost k uchycení a přežívání i malých populací rozmanitého původu. Část bioty v závětrném období je reliktem z postglaciálního období, část je reliktem z doby klimatického optima, část je důsledkem současných změn antropogenního původu. Do kontaktu se tak dostávají cizorodé dědičné základy, což vede k mikroevolučním procesům a vzniku nových druhů či kříženců. Tak například vznikly dvě desítky endemických druhů krkonošských jestřábů (*Hiera-*



Obr. 5.: Pohled od východu a schéma aerodynamiky v širším obvodu náhorní planiny východních Krkonoš, okolních karů a Sněžky (vpředu); tmavě modré šipky naznačují směr laminárního proudění od západu, světle modré šipky představují závětrný prostor s turbulentním prouděním. Podkladové foto: P. Toman

cium) a památný jeřáb krkonošský (*Sorbus sudetica*).

Aplikace modelu A-O systému

Modely a příslušná teorie A-O systému byly původně odvozeny z geo-ekologických vlastností Krkonoš, kde se v sevření dvou paralelních hřebenů a ve spojitosti se dvěma náhorními plošinami dvakrát za sebou opakuje podobné uspořádání fyzikálních a biotických fenoménů. Použití těchto modelů v ostatních masivech Vysokých Sudet a dalších evropských středohor se ukázala schůdná. Ve východních Alpách (např. v Koralpe nebo Nízkých Taurách) jsou A-O systémy zřetelné. Významnou roli aerodynamiky v A-O systémech se podařilo ověřit i ve skotských horách (Ben Lawers), Skandinávii (pohoří Abisko) a také v Apalačských horách Severní Ameriky (pohoří White Mts. s masivem Mount Washington). Důsledný geo-ekologický výklad vzniku biocenter vedl tedy i k poznání podrobností ve svahových procesech a v genezi významných tvarů horského reliéfu. Ve všech těchto otázkách platí do značné míry princip aktualismu, že studovaný systém se v minulosti choval podobně jako dnes. Protože základní reliéf hercynských středohor je několik milionů let starý a paleoklimatické rekonstruk-

ce počítají v Evropě s trvale převládajícími západními větry, lze předpokládat, že hlavní zvětrávací mechanismy na deflačním platě a svahové procesy probíhající v závětrných prostorech působily podobným způsobem ve všech preglaciálních i postglaciálních epochách čtvrtohor, kdy podle paleobotaniků v horských ekosystémech měly klíčovou roli životní formy (stromy, keře, traviny, byliny) podobné těm, které známe ze současnosti.

Závěrem lze ve stručnosti shrnout, že modely A-O systému ve středohorách:

1. vysvětlují ve středním i podrobném geografickém měřítku současnou klíčovou úlohu reliéfu a dominantních větrů a návazné interakce exogeodynamických a biologických procesů;
2. umožňují rekonstrukci minulých geo-ekologických procesů, které v postglaciálu vedly ke vzniku současných středisek geobiodiverzity, jež patří k nejvzácnějším přírodním památkám celé Evropy;
3. dovolují přiměřeně předvídat potenciální vývoj středisek geobiodiverzity vystavených globálním změnám klimatu a vlivu lidské civilizace.

Jan Jeník,
emer. profesor PřF UK v Praze
jenik@natur.cuni.cz

SLOVNÍČEK:

Deflace – unášení volných částic hornin nebo jiného materiálu (sněhu) větrem.

Denuďace – proces vedoucí k plošnému snížení zemského povrchu.

Kolinní stupeň – biogeografická jednotka ve výškové členitosti krajiny odpovídající pahorkatinám.

Kryogenní pochody – specifický soubor geomorfologických procesů, které jsou vyvolány fázovými přechody vody do pevného skupenství.

Montánní stupeň – horský biogeografický stupeň.

Nivace – v nejširším slova smyslu činnost sněhu, který působí na okolní reliéf; nivací vznikají například nivací výklenky a nivací valy.

LITERATURA:

BARRY, R., G. (1992): Mountain Weather and Climate, 2nd ed.. – Routledge, London & New, York, 402 s.

JENÍK, J. (1961): Alpská vegetace [Vysokých Sudet]: teorie anemo-orografických systémů. – Nákladem ČSAV, Praha, 409 s.

SCORER, R., S. (1987): Environmental Aerodynamics. – Ellis Horwood Pub., New York, 488 s.