

## MORFOGRAFIA A MORFOMETRIA – pre geomorfologické mapovanie

© Jozef Minár, Zora Machová

Samotným vzhl'adom georeliéfu (bez úvah o jeho géneze, veku, či morfodynamických vlastnostiach) sa v rámci geomorfológie zaoberá morfografia a morfometria.

### Morfografia

Morfografia - kvalitatívny opis vzhl'adu georeliéfu - je azda najstaršou disciplínou geomorfológie. Morfografické pojmy už v predvedeckom štádiu poznávania georeliéfu umožňovali ľuďom triediť najvýraznejšie tvary georeliéfu. Väčšina základných morfografických pojmov pochádza z bežného hovorového jazyka. Niektoré najbežnejšie udáva tab. 1, ďalšie definuje obsažnejší slovník (pozri samostatnú kapitolu  $\gg$ ).

Tab. 1 Vybrané najbežnejšie morfografické pojmy

Pojem	Morfografický význam
brázda	pretiahnutá, obojstranne otvorená zníženina
dolina, údolie	pretiahnutá zdola neuzavretá vhl'benina
hrebeň	pretiahnutá ostrá vyvýšenina
chrbát	pretiahnutá zaoblená či plochá vyvýšenina
jaskyňa	rozsiahlejšia dutina pod zemským povrchom
kaňon	hlboká dolina so strmými svahmi
klenba	rozsiahla oblá vyvýšenina
kotlina	veľká zníženina s plochým dnom
kráter	vhl'benina lemovaná vyvýšeným valom
kužeľ	vyvýšenina podobná plášťu kužeľa (resp. len jeho časti)
pahorok	malá oblá vyvýšenina
panva	rozsiahla plytká zníženina
plošina	približne vodorovný plochý povrch
sedlo	zníženina v rámci chrbta alebo hrebeňa
svah	uklonený povrch
terasa	tvorená plošinou a strmým stupňom
zrub	takmer kolmý svah

## Morfometria

Na charakteristiku zložitej plochy, akou je i georeliéf, sa oddávna popri kvalitatívnych (morfografických) termínoch používajú i kvantitatívne (morfometrické) parametre, ktorých hodnotu možno vyjadriť priestorovými mierami a z nich odvodenými parametrami (ako je výška, dĺžka, šírka, plocha, sklon, krivosť a pod.). Morfometrické parametre vyjadrujú vlastne tú istú realitu (tvarové vlastnosti plochy) ako morfografické termíny. Sú pritom presnejšie a dôslednejšie. Preto v geomorfológii nadobúda morfometria prevahu nad morfografickými prístupmi.

**Morfometrické vlastnosti georeliéfu** vyplývajú z jeho geometrickej podstaty – možno ich v podstate priradiť akejkoľvek ploche, v gravitačnom poli Zeme však nadobúdajú i špecifický (morfodynamický) význam. Môžeme rozlíšiť morfometrické charakteristiky **bodové** (ich hodnota môže byť v každom bode georeliéfu iná), **líniové** (charakterizujú významné čiary na georeliéfe) a **plošné** (charakterizujú isté časti georeliéfu – plochy ako celok).

Každým bodom georeliéfu (okrem singulárnych bodov a úplných horizontálnych rovín) možno viesť práve jednu **vrstevnicu** a **spádovú krivku (spádnicu)**, pričom ich znázornenie v mape umožňuje dobrú priestorovú predstavu o priebehu georeliéfu.

## Základné línie (kostra) georeliéfu

**Vrstevnice** (izohypsy, izočiarly nadmorských výšok) sú myslené čiary spájajúce body georeliéfu s rovnakou nadmorskou výškou. Na topografických mapách sú vždy znázornené len vybrané vrstevnice (**základné**) s hodnotou zvyšujúcou sa s pravidelným (v dolnej časti mapy uvedeným) intervalom. Línie sú spravidla hnedé, plné, každá piata vrstevnica je **zosilnená**, hrubšia (napr. pri základnom intervale vrstevníc 5 m je medzi zvýraznenými vrstevnicami výškový rozdiel 25 m). V relatívne plochej časti územia môžu byť medzi základnými vrstevnicami vedené **doplňujúce polovičné** vrstevnice znázornené prerušovanou čiarou, ktoré vyjadrujú strednú hodnotu zo susedných základných vrstevníc.

**Spádnice** (spádové krivky, ortogonálne trajektórie) sú myslené čiary orientované v každom bode v smere maximálneho sklonu povrchu. Možno ju skonštruovať ako krivku, ktorá spája dve susedné vrstevnice tak, že s každou z vrstevníc (respektíve s dotyčnicami k vrstevniciam) zvierá pravý uhol a je pritom najkratšou priestorovou spojnicou týchto vrstevníc na georeliéfe. Spádnice sa pritom nemôžu navzájom pretínať. Vychádzajú z vrcholových bodov alebo diferenciálneho okolia chrbátic a končia v depresných bodoch alebo v diferenciálnom okolí údolnic. Spádnice majú mimoriadny morfodynamický význam. Sú to totiž čiary vyjadrujúce smer gradientu (maximálnej zmeny potenciálu) gravitačného poľa na georeliéfe, čo

podmieňuje, že **po spádniciach prebieha gravitačne podmienený tok látky a energie. Spádnice tak určujú aj smer priebehu veľkej väčšiny geomorfologických procesov.** Priestorové rozloženie spádnic v určitej oblasti potom určuje, či dochádza k rozptyľovaniu alebo sústred'ovaniu toku látky a energie, a teda i masy geomorfologických činiteľov.

#### Špecifické línie a body georeliéfu

Len v istých miestach georeliéfu existujú body a línie so špecifickými vlastnosťami, ktoré nemá okolie týchto bodov a línií. Najvýznamnejšími takýmito bodmi sú **vrcholové, depresné a sedlové body**, ktoré sú **singulárnymi bodmi** podľa nadmorských výšok. Najvýznamnejšími špecifickými líniami sú **údolnice, chrbátnice, terénne hrany a úpätnice.**

**Údolnice** sú špecifické spádové krivky, ktoré spájajú najnižšie položené miesta pretiahnutých depresí (údolí, úvalín a pod.). Ich výnimočnosť spočíva v tom, že sa k nim z oboch strán asymptoticky približujú spádnice, čo vedie **k sústred'ovaniu toku látky a energie na údolnici.** Zo všetkých spádových kriviek na dne údolia majú najmenší sklon. Nie sú na topografickej mape priamo zobrazené (v miestach vodných tokov spravidla prebiehajú najhlbšími časťami korýt). Ich priebeh možno zostrojiť na základe priebehu vrstevníc: **údolnica spája najviac zakrivené časti vrstevníc.** Pri jej presnom vykresľovaní je výhodné postupovať zhora nadol (v smere toku látky a energie), pretože v tomto smere platí, že každý ďalší bod údolnice leží na najkratšej spojnici susedných vrstevníc. Na údolniciach k sústred'ovaniu toku látky a energie. Sú zároveň miestom, pod úroveň ktorého sa nemôžu gravitačne podmienenými procesmi znížiť okolité časti georeliéfu s vyššou potenciálnou energiou. Preto sú údolnice spravidla i **miestnou eróznou bázou** pre celé k nim gravitujúce územie (pre územie, z ktorého sa gravitačne premiestňovaná hmota a energia sústreďuje na príslušnej údolnici).

**Chrbátnice** sú špecifickými spádniciami, prechádzajúcimi najvyššími časťami pretiahnutých vyvýšenín (chrbtov a hrebeňov) tak, že na obe strany od chrbátnice sa územie zvažuje. Spádnice sa smerom nahor k chrbátnici asymptoticky približujú, v smere nadol (v smere toku látky) sa od nej vzd'alujú, takže v okolí **chrbátnice dochádza k rozptylu toku látky a energie.** Má zo všetkých spádových kriviek vo svojom okolí najmenší sklon. Chrbátnice možno skonštruovať podobne ako údolnice: **spájajú maximálne zakrivené časti vrstevníc,** avšak na rozdiel od údolníc tvorí chrbátnica najkratšiu spojnicu medzi medzi susednými vrstevnicami len v smere zdola nahor, a preto je výhodné pri identifikácii chrbátnic

postupovať zdola nahor. (Pre rozlíšenie údolnic v dolinách bez vodného toku a chrbátic je dobré si načrtnúť niekoľko spádnic, ktoré sa z okolia chrbátnice rozbiehajú a v okolí údolnice zbiehajú.) Chrbátnice sú spravidla súčasťou rozvodníc (čiar oddeľujúcich jednotlivé povodia – bazény), avšak rozvodnicu môže tvoriť aj obyčajná spádnica, ktorá sa v istom mieste môže stať chrbátnicou. **Na rozdiel od rozvodníc (ale i údolnic) teda chrbátnice nemusia utvárať súvislú sieť čiar.**

**Terénne hrany** (lomy sklonu, zálomy) sú čiary, na ktorých sa náhle výrazne mení sklon georeliéfu. Ak sa sklon v smere spádnice na hrane zväčšuje, môžeme hovoriť o konvexnej (vypuklej) hrane, ak sa naopak zmenšuje, ide o konkávnu (vydutú) hranu. Najvýraznejšie terénne hrany bývajú na topografickej mape znázornené líniovými značkami hnedej (spravidla prirodzené hrany) alebo šedej (umelé – antropogénne hrany) farby, resp. ležia na okraji plošných značiek znázorňujúcich veľmi strmé skalné formy. Menej výrazné terénne hrany možno identifikovať na základe priebehu vrstevníc – prebiehajú miestami, v ktorých sa náhle zmenšuje alebo zväčšuje vzdialenosť medzi vrstevnicami. Môžu pritom sledovať priebeh jednej vrstevnice, ale častejšie pretínajú niekoľko vrstevníc. Povrchy – formy, oddelené terénnou hranou sa spravidla výrazne odlišujú svojou genézou či vlastnosťami litosféry.

**Úpätnice** sú čiary lemujúce spodný okraj väčších vyzdvihnutých foriem georeliéfu (hlavne pohorí). Vedú sa v mieste najväčšej zmeny sklonu na úpätí pohoria. Väčšinou je zmena sklonu náhla a úpätnica predstavuje vlastne konkávnu terénnu hranu. Úpätnica má morfordynamický význam ako iné hrany terénu. Navyše tým, že oddeľuje rozľahlé pozitívne (pohoria) a negatívne formy (nížiny či kotliny), sa často stáva dôležitou fyzickogeografickou hranicou vysokého rangu.

**Vrcholové body** (singulárne pozitívne body) sú vlastne lokálnymi maximami podľa nadmorských výšok, teda v bezprostrednom okolí vrcholového bodu územie na všetky strany od neho klesá. Z vrcholových bodov preto vychádza sieť spádnic, respektíve každá spádnica v smere nahor končí v niektorom vrcholovom bode. Vrcholové body bývajú v topografických mapách často označené kótou s presnou hodnotou nadmorskej výšky. **Nie každá kóta na mape je vrcholový bod a nie každý vrcholový bod je označený kótou!** Neoznačené vrcholové body môžeme znázorniť približne v strede plochy uzavretej vrstevnicou s lokálne najvyššou hodnotou nadmorskej výšky. Vo vrcholových bodoch sa koncentrujú morfordynamické vlastnosti chrbátic (väčšina vrcholových bodov leží na chrbátniciach). Gravitačný tok látky a energie sa v bezprostrednom okolí vrcholového bodu všesmerne rozptyľuje.

**Depresné body** (singulárne negatívne body) sú lokálnymi minimami poľa nadmorských výšok – v ich bezprostrednom okolí územie na všetky strany stúpa. Spádnice smerujú do depresných bodov, ktoré takto utvárajú uzly lokálnych sietí spádnic. V topografických mapách bývajú depresné body označené obdobne ako vrcholové body kótami, ak označenie kótou chýba môžeme depresný bod umiestniť do stredu plochy uzavretej vrstevnicou s lokálne najnižšou hodnotou nadmorskej výšky.

Zvláštny charakter majú **sedlové body** (singulárne dvojné body). Ako dvojné body sa označujú preto, že na dve protiľahlé strany od nich reliéf stúpa (sú lokálnymi minimami v tomto smere) a medzitým na druhé dve protiľahlé strany povrch klesá (majú tak charakter lokálnych maxím). V smere nadol vychádza takto zo sedlových bodov dvojica spádových kriviek, spravidla údolníc, v smere nahor druhá dvojica spádových kriviek, spravidla chrbátic. Aj sedlové body môžu byť v topografickej mape označené kótou, väčšinou ich však treba hľadať na základe charakteristického priebehu dvoch dvojíc proti sebe umiestnených vrstevníc, pričom proti sebe ležiace vrstevnice majú rovnakú hodnotu nadmorskej výšky. Sedlové body majú dvojný charakter i z hľadiska morfordynamiky. Pozdĺž chrbátic môže v nich dochádzať k akumulácii materiálu (táto tendencia je však oslabená rozptylovým charakterom v bezprostrednom okolí chrbátic), pozdĺž údolníc dochádza k odnosu materiálu, ktorý spravidla celkovo prevláda a dochádza tak k prehĺbovaniu sedla.

#### **Bodové morfometrické parametre georeliéfu**

Sú to také morfometrické (geometrické) vlastnosti, ktoré možno priradiť ľubovoľnému bodu na georeliéfe.

**Nadmorská (absolútna) výška** (výška v metroch nad strednou hladinou svetového oceánu [m n. m.]) je základnou morfometrickou veličinou. Z priestorového rozšírenia nadmorských výšok možno odvodiť (určiť) hodnoty všetkých ostatných (odvođených) morfometrických parametrov. Nadmorskú výšku bodu na vrstevnici určuje číselná hodnota vrstevnice. Výšku neoznačených vrstevníc zistíme pomocou najbližšej označenej vrstevnice a základného intervalu vrstevníc uvedeného na dolnom okraji mapy. Vrstevnice sú pritom označované tak, že nad číslom nadmorská výška stúpa a pod číslom klesá.

V gravitačnom poli Zeme určuje nadmorská výška potenciálnu (polohovú) energiu horninových častíc na zemskom povrchu. Polohová energia sa určuje vo vzťahu k určitej hladine s nulovou polohovou energiou. V bežnom živote sa za túto hladinu považuje spravidla práve zemský povrch, na ktorý dopadajú všetky nadeň vyzdvihnuté telesá (spravidla nemôžu dopadnúť pod tento povrch). V geomorfológii možno za takúto hladinu s nulovou

potenciálnou energiou považovať **eróznou bázou** – úroveň, pod ktorú sa v daných podmienkach nemôžu vplyvom odnosových geomorfologických procesov znížiť časti georeliéfu prináležiace k tejto eróznej báze. **Hlavnou eróznou bázou** pre väčšinu suchozemského georeliéfu je **hladina svetového oceánu**. Potenciálna gravitačná energia sa v rôznych exogénnych geomorfologických procesoch mení na pohybovú (kinetickú) energiu hornín, vody, snehu či ľadu. Pomocou tejto energie je vodou, snehom, ľadom a pod. prenášaný povrchový materiál do nižších polôh, pričom sa povrch postupne znižuje až na úroveň hlavnej eróznej bázy – hladiny mora. Vzniká plochý zarovnaný povrch, ktorého reliéf sa bez vplyvu endogénnych geomorfologických procesov už podstatne nemení. **Miestnou eróznou bázou** je pre väčšinu svahov dno údolia (údolnica) alebo úpätie (úpätnica). Pod úroveň týchto línií nemôžu svahové procesy znížiť povrch priľahlého svahu. Celková potenciálna gravitačná energia je v geomorfologických procesoch zužitkovaná často až za veľmi dlhé obdobie vývoja georeliéfu (milióny rokov). Pre recentné (v súčasnosti fungujúce) procesy je k dispozícii len časť tejto energie určená **relatívnou výškou bodu georeliéfu nad miestnou eróznou bázou**.

**Sklon georeliéfu v smere spádnice** je kľúčovým morfometrickým parametrom určujúcim okamžitú intenzitu gravitačne podmienených geomorfologických procesov. Od jeho hodnoty závisí normálová sila, pritláčajúca hmotnú časticu (balvan, sneh...) k povrchu svahu a tým zvyšujúca silu trenia pri jej pohybe po ňom (so zväčšovaním sa sklonu svahu sa znižuje), ako i sila, pôsobiaca v smere sklonu svahu proti stabilite častice a indukujúca jej pohyb nadol (zväčšuje sa so zväčšeným sklonom). Sklon georeliéfu v topografickej mape je vyjadrený vzdialenosťou susedných vrstevníc. V plochách s konštantnou nadmorskou výškou (bez vrstevníc) a vo všetkých singulárnych bodoch je sklon georeliéfu nulový. Jednoduchý kvalitatívny odhad sklonitosti územia môžeme urobiť už pohľadom na topografickú mapu – v oblastiach s najhustejšími vrstevnicami sú sklony maximálne, v minimálne sklonených oblastiach sú vrstevnice najďalej od seba.

**Orientácia (expozícia) georeliéfu voči svetovým stranám** má veľký význam z hľadiska pôsobenia usmernených procesov v krajine. Hlavne príjem priameho slnečného žiarenia (bezprostredne ovplyvňuje napr. rýchlosť procesov zvetrávania) a pôsobenie prevládajúcich vetrov sú silne ovplyvnené orientáciou georeliéfu voči svetovým stranám ako i sklonom georeliéfu. Význam orientácie pritom zväčša stúpa so zväčšovaním sklonu georeliéfu. Hodnotu orientácie georeliéfu voči svetovým stranám možno v ľubovoľnom bode topografickej mapy určiť tak, že daným bodom vedieme spádnicu, ku ktorej v tomto bode zostrojíme (krátku) dotyčnicu. Uhol, ktorý táto dotyčnica zvierá so severným smerom, je numerickým vyjadrením orientácie. Približnú hodnotu orientácie môžeme vyjadriť priradením

nadol (t. j. v smere spádu) orientovanej dotyčnice ku spádnici k jednej z podrobne rozlíšených 16 svetových strán – S, SSV, SV, VSV, V, VJV, JV, JJV, J, atď. Medzinárodné označenie svetových strán využíva iniciálky anglických termínov: N, E, S (juh!) a W. Vzhľadom na to, že v singulárnych bodoch sa zbieha viacero spádových kriviek, nedá sa v týchto bodoch určiť orientácia georeliéfu voči svetovým stranám. Podobne ako singulárne body ani horizontálne (vodorovné) roviny nie sú orientované na žiadnu svetovú stranu. Vravíme, že v týchto prípadoch orientácia georeliéfu voči svetovým stranám nie je definovaná.

**Krivosť vrstevníc (horizontálna krivosť) – vrstevnicové geometrické formy.** Ak je vrstevnica priama (lineárna), znamená to, že všetky body na nej majú rovnakú orientáciu georeliéfu. Zakrivenie vrstevnice vyjadruje zmenu orientácie georeliéfu v smere vrstevnice, a teda i zmenu smeru toku látky a energie na georeliéfe. Na **lineárnych** vrstevniciach (lineárnych vrstevnicových formách georeliéfu) je tento tok paralelný (spádnicová sieť je paralelná). Lineárnymi vrstevnicovými formami sú najčastejšie rovné (lineárne, priame) svahy. **Ukonkávnych** vrstevníc (konkávnych vrstevnicových foriem georeliéfu – sú to hlavne doliny a iné depresné formy) s koncentrickou sieťou spádnic sa **tok látky a energie v smere spádu sústreďuje a konvexné** vrstevnicové formy (predovšetkým chrbty a iné vyvýšeniny) s excentrickou spádnicovou sieťou tento **tok v smere spádu rozptyľujú**.

Absolútna hodnota krivosti vrstevnice v bode X je bezrozmerné číslo vyjadrujúce prevrátenú hodnotu polomeru kružnice zakrivenej rovnako ako vrstevnica v bezprostrednom (diferenciálne malom) okolí bodu X. Táto hodnota sa dá z topografickej mapy získať len dosť zložitým postupom.) Relatívne jednoducho však možno na vrstevnici určiť **nulovú hodnotu krivosti**, ktorá definuje **lineárne** a oddeľuje **konvexné** (majú kladné hodnoty krivosti) a **konkávne** (so zápornými hodnotami krivosti) vrstevnicové formy. S využitím pravítka môžeme na vrstevnici nájsť **inflexný bod**, v ktorom dotyčnica k vrstevnici prechádza z jednej strany vrstevnice na druhú. Inflexný bod potom oddeľuje konkávnu a konvexnú časť vrstevnice. (V konkávnej časti sa nám spádnice v smere nadol zbiehajú a v konvexnej rozchádzajú). Ak časť vrstevnice splýva s pravítkom (t. z. je priama), môžeme ju na tomto úseku pokladať za lineárnu (t. j. jej krivosť je nulová). V bode, v ktorom sa vrstevnica začína od pravítka odchyľovať, je hranica lineárnej a konvexnej, respektíve lineárnej a konkávnej časti vrstevnice. Pospájaním týchto hraničných bodov na susedných vrstevniciach vlastne vyhraničíme v priestore jednotlivé vrstevnicové formy georeliéfu.

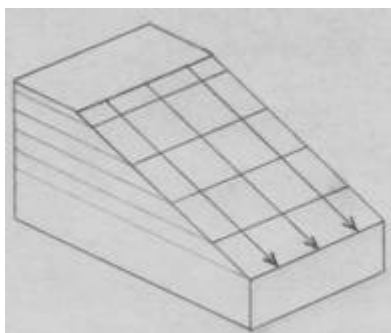
**Normálová krivosť spádnic – spádnicové geometrické formy.** Spádnica je na rozdiel od vrstevnice priestorová krivka a nemusí byť preto zakrivená iba v jednom smere. Z hľadiska procesov prebiehajúcich v krajine má najväčší význam krivosť spádnice v rovine normály

(kolmice na zemský povrch), ktorú nazveme **normálová krivosť spádnice**. Hodnoty normálovej krivosti spádnic možno definovať obdobne ako hodnoty krivosti vrstevníc. Ak je spádnica v rovine normály **lineárna** (nezakrivená, priama) majú všetky body na nej rovnaký sklon, a teda geomorfologický proces je v každom z bodov spádnice dotovaný rovnakou gravitačnou silou a lineárna spádnicová forma preto väčšinu geomorfologických **procesov ani nezrýchľuje ani nespomaľuje**. Ak je však spádnica v rovine normály **konvexná**, sklon v smere nadol sa neustále zväčšuje, zväčšuje sa teda i gravitačná sila a následne **sa zrýchľuje a zintenzívňuje väčšina geomorfologických procesov**. Na **konkávnej** spádnici, respektíve konkávnej spádnicovej forme georeliéfu sa naopak v smere nadol sklon znižuje, **znižuje sa** i veľkosť gravitačnej sily, a teda i **rýchlosť a intenzita geomorfologických procesov**.

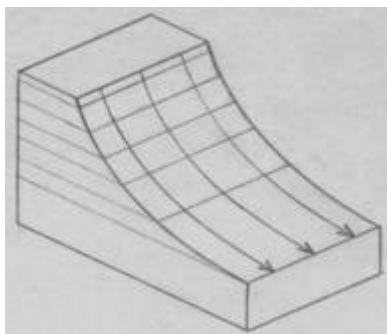
Konvexné, konkávne a lineárne časti spádnice môžeme rozlíšiť rovnakým spôsobom ako u vrstevníc, ak si na základe mapy zobrazíme profil spádnice. Môžeme ich však rozlíšiť aj priamo v topografickej mape. Ak má mať **lineárna** spádnica (spádnicová forma) konštantný sklon, musí byť na tomto úseku spádnice rovnaká vzdialenosť medzi vrstevnicami. Pre **konvexnú** spádnicovú formu bude potom charakteristické postupné znižovanie vzdialenosti medzi vrstevnicami v smere nadol, pre **konkávnu** spádnicovú formu naopak zväčšovanie tejto vzdialenosti. Rozhranie (inflexný bod) medzi hornou konvexnou a dolnou konkávnu spádnicovou formou bude potom v mieste maximálneho sklonu (kde sú vrstevnice najhustejšie) a rozhranie medzi hornou konkávnu a dolnou konvexnou formou zas v mieste minimálneho sklonu (s najväčšou vzájomnou vzdialenosťou vrstevníc).

**Geometrické formy georeliéfu.** Kombinácia vrstevnicovej a spádnicovej normálovej krivosti výstižne opisuje základný geometrický charakter foriem georeliéfu v priestore. Morfodynamická interpretácia konvexných, konkávnych a lineárnych vrstevnicových a spádnicových foriem získava v ich vzájomných kombináciách novú kvalitu (napr. na formách konvexných v smere spádnice a konkávnych v smere vrstevnice sa dosahuje maximálny odnosový efekt činiteľa, pretože v smere nadol rastie ako dotácia gravitačnou energiou, tak i množstvo činiteľa). Takýchto kombinácií **geometrických foriem georeliéfu** môže byť deväť. Zvyknú sa označovať na prvom mieste spádnicovou a na druhom mieste vrstevnicovou formou: lineár-lineárna forma (LL), konkáv-lineárna forma (KL), konvex-konvexná forma (XX), konkáv-konkávna forma (KK), konkáv-konvexná forma (KX), konvex-konkávna forma (XK) atď. (obr. 1). Na vodorovnej rovine nie sú vyššie spomenuté krivosti definované.

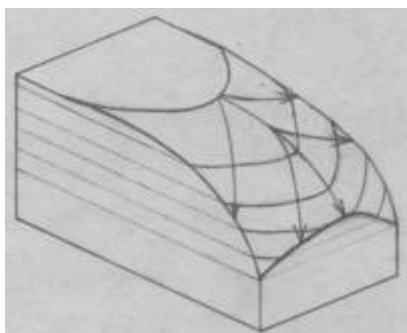




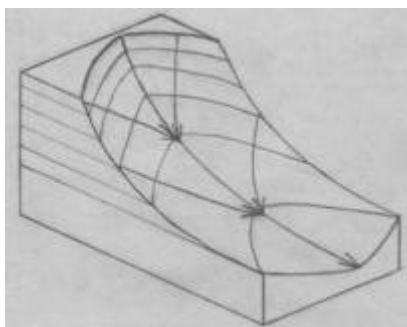
Obr. 1a Lineár-lineárna (LL) forma



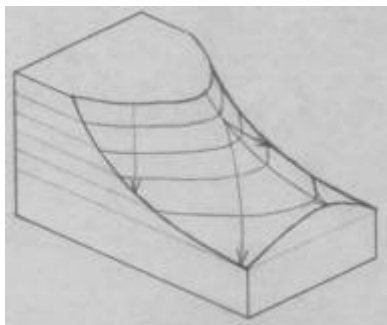
Obr. 1b Konkáv-lineárna (KL) forma



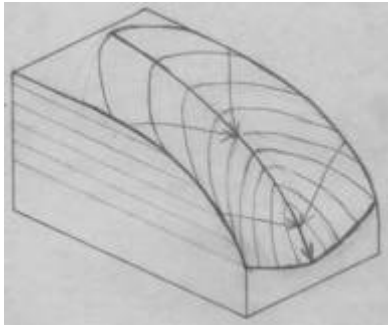
Obr. 1c Konvex-konvexná (XX) forma



Obr. 1d Konkáv-konkávna (KK) forma



Obr. 1e Konkáv-konvexná (KX) forma



Obr. 1f Konvex-konkávna (XK) forma

#### **Plošné morfometrické parametre georeliéfu**

Niektoré morfometrické parametre charakterizujú väčšiu časť georeliéfu ako celok. Za takéto plošné morfometrické parametre môžeme považovať **veľkosť plochy (rozlohu) časti georeliéfu**, jej **priemerný sklon**, **priemernú nadmorskú** či **relatívnu výšku**, patria sem však aj významné parametre členitosti georeliéfu, charakterizujúce hĺbku (tzv. **vertikálna členitosť georeliéfu**) a hustotu (tzv. **horizontálna členitosť georeliéfu**) rozčlenenia georeliéfu.

**Vertikálna členitosť georeliéfu.** Georeliéf sa skladá z vypuklých (konvexných) a vpadnutých (konkávnych) foriem rôznej veľkosti. Profil reliéfom nejakej oblasti môžeme schematicky znázorniť krivkou, na ktorej sa striedajú výškové maximá a minimá. Rozdiel nadmorských výšok najvyššieho bodu konvexnej a najnižšieho bodu susednej konkávnej formy (spravidla ho možno označiť ako lokálne maximálnu relatívnu výšku) nazývame **amplitúdou georeliéfu** alebo **vertikálnou členitosťou georeliéfu**. Určuje maximálne množstvo potenciálnej gravitačnej energie, ktorá sa môže v nejakej lokalite v súčasnosti využiť v geomorfologických procesoch. Preto sa niekedy pre vertikálnu členitosť používa i označenie **energia georeliéfu**, čo však nie je najšťastnejšie vzhľadom na fyzikálny rozmer tejto veličiny (vertikálna členitosť sa meria v *metroch*, zatiaľ čo energia v *jouloch*). Vertikálna členitosť georeliéfu silne ovplyvňuje väčšinu procesov v krajine. S jej rastom spravidla stúpa energetická náročnosť rôznych transportných procesov (napríklad preprava osôb, tovaru ale i informácií). V dôsledku toho intenzita týchto procesov s rastúcou amplitúdou georeliéfu klesá. Tento prejav georeliéfu ako bariéry tmiacej tok látky, energie a informácií môžeme označiť ako **bariérny efekt georeliéfu**.

Najjednoduchšie možno vertikálnu členitosť georeliéfu určiť z topografickej mapy tak, že územie rozdelíme na pravidelné geometrické plochy (napr. štvorce, kruhy ap.) a v každej z plôch vypočítame hodnotu amplitúdy georeliéfu.

**Horizontálna členitosť georeliéfu.** Rôzne časti georeliéfu môžu mať síce rovnakú vertikálnu členitosť, pritom sú však rôzne husto rozčlenené konvexnými, resp. konkávnymi formami, t. z. majú rôznu **horizontálnu členitosť**. Je pritom prirodzené, že väčšia hustota rozčlenenia georeliéfu pri jeho rovnakej amplitúde zvyšuje energetickú náročnosť procesu (pri zväčšujúcej sa horizontálnej členitosti sa hmota na jednotkovej vzdialenosti musí viackrát presunúť hore a dole), a tým sa zvyšuje i bariérny efekt georeliéfu.

Horizontálna členitosť georeliéfu sa číselne vyjadruje ako sumárna dĺžka depresných foriem georeliéfu, reprezentovaných spravidla údolnicami, pripadajúca na určitú plochu. Má fyzikálny rozmer [ $m^{-1}$ ], ale najčastejšie sa vyjadruje v [ $km.km^{-2}$ ]. Pre ľubovoľnú časť topografickej mapy ju možno určiť tak, že si v nej vykreslíme všetky údolnice a krivkomerom (alebo približne pravítkom) zmeriame ich dĺžku.

## NEKARTOGRAFICKÉ ZNÁZORŇOVANIE GEORELIÉFU

© *Jozef Minár*

Topografická mapa je základným a najdôležitejším modelom znázorňujúcim priestorové vlastnosti georeliéfu predovšetkým prostredníctvom vrstevníc a kót. Niektoré geometrické vlastnosti georeliéfu však možno názornejšie vyjadriť pomocou konštrukcie rôznych **profilov** formami a **vyjadrením zastúpenia jednotlivých hodnôt morfometrického parametra** v určitej ploche (prostredníctvom **histogramov** či **frekvenčných kriviek** a prostredníctvom **sumačných kriviek**).

### Profily formami georeliéfu

Profil formou georeliéfu je vlastne grafickým zobrazením rezu touto formou vo vertikálnej rovine (kolmej na zobrazovaciu rovinu – rovinu mapy) vedený po ľubovoľnej línii na georeliéfe. Ak vrstevnice vyjadrujú akýsi pohľad „zhora“ na georeliéf (vyjadrujú, ako sa georeliéf premieta do zobrazovacej roviny mapy pri pohľade zhora), profil vyjadruje pohľad „zboku“ na prierez formou, ktorý je pre nás prirodzenejší (častejšie takto vnímame v bežnom živote formu), a teda i názornejší.

Profily sa najčastejšie tvoria s využitím topografickej mapy, do ktorej sa nakreslí línia na georeliéfe, ktorú chceme profilom zobraziť, tzv. **profilová čiara**. Profilovú čiaru potom zobrazíme ako profil vo vertikálnej rovine, kde horizontálna os reprezentuje dĺžku profilovej čiary v mape a na vertikálnu os sa nanášajú hodnoty nadmorskej výšky zobrazovaných vhodne zvolených **bodov profilovej čiary**.

Profil, podobne ako mapa, znázorňuje zmenšený obraz georeliéfu. Zmenšenie vzdialeností (**horizontálna mierka**) sa najčastejšie volí súhlasne s mierkou mapy (umožňuje to nanášať pri konštrukcii profilu vzdialenosti odmerané z mapy priamo bez ďalšieho prepočtu). Ak použijeme rovnaké zmenšenie aj pre nadmorské výšky (teda pri **vertikálnej mierke**), predstavuje utvorený profil neskreslený (iba zmenšený) obraz znázorňovaného rezu. Je to výhodné hlavne preto, že sa

zachovávajú reálne proporcie medzi výškou a dĺžkou, a teda i sklon profilovej čiary zodpovedá reálnemu sklonu. Vo väčšine prípadov je však takýto profil veľmi nevýrazný – plochý, čo sťažuje jeho analýzu a interpretáciu. Preto sa vertikálna mierka volí spravidla väčšia ako horizontálna (t. j. zmenšenie nadmorských výšok je menšie ako zmenšenie dĺžok). Pomer horizontálnej a vertikálnej mierky udáva, koľkokrát je zmenšenie dĺžok väčšie ako zmenšenie výšok a nazýva sa **prevýšenie profilu**.

**Zostrojenie profilu** môžeme rozdeliť do nasledovných krokov:

a) *Vyznačenie profilovej čiary v topografickej mape.* Voľba profilovej čiary závisí od účelu, pre ktorý zostrojujeme profil. Najčastejšie sa ako profilové čiary volia spádové krivky (údolnice, chrbátnice a obyčajné spádnice). Ak prebieha profilová čiara približne kolmo na os formy, vznikajú **priečne profily** (dolinou, chrbtom a pod.). Ak je profilovou čiarou údolnica alebo chrbátnica, vzniká **pozdĺžny profil** (dolinou, chrbtom). Pri priečnom profile dolinou dbáme, aby profilová čiara končila na rozvodí alebo až za rozvodím doliny. Určíme najskôr bod na údolnici, ktorým bude profilová čiara prechádzať. Profilovou čiarou potom môže byť dvojica spádnic, ktoré sa v tomto bode približujú k údolnici z opačných strán (vedieme ich až po rozvodnici doliny) alebo kolmica na dotyčnicu k údolnici v tomto bode presahujúca obe rozvodia. V pozdĺžnom profile dolinou spravidla zobrazujeme celú údolnicu od úst'ového bodu až po sedlový bod, z ktorého vychádza (ak údolnica nevychádza na rozvodie, ale končí vo svahu, môžeme profilovú čiaru ďalej viesť po spádnici, ktorá nadväzuje na najvyšší bod údolnice až po rozvodie). Pozor, údolnica spravidla nekončí pri prameni toku!

b) *Tvorba súradnicovej sústavy profilu.* Súradnicovú sústavu profilu tvorí dvojica navzájom kolmých osí, kde na horizontálnej osi sa znázorňujú vzdialenosti bodov profilovej čiary v mape a na vertikálnej osi ich nadmorské výšky. Obe osi je potrebné označiť a podľa zvolenej horizontálnej a vertikálnej mierky na nich znázorniť dĺžkovú a výškovú škálu. Dĺžková škála bude mať hodnoty od 0 po  $d$  metrov ( $d$  je celková dĺžka profilu), počiatok výškovej škály musí byť  $H_{\min}$  ( $H_{\min}$  je minimálna nadmorská výška na profilovej čiare). Z hľadiska dobrej geomorfologickej interpretovateľnosti najmä priečných a pozdĺžnych profilov dolinou je vhodné voliť prevýšenie profilu tak, aby sa výsledný pomer dĺžky a výšky profilu pohyboval v rozpätí 5 : 1 až 2 : 1.

c) *Výber zobrazovaných bodov na profilovej čiare.* V ideálnom prípade zobrazujeme v súradnicovej sústave profilu všetky priesečníky profilovej čiary s vrstevnicami. Ak sú vrstevnice príliš husté, môžeme niektoré priesečníky vynechať, avšak len v prípade, že sa na danom úseku nemení sklon profilovej čiary (t. j. vzdialenosti medzi vrstevnicami sú približne konštantné). Pri nedodržaní tohto pravidla dochádza ku skresleniu výsledného profilu a znižuje sa jeho výpovedná hodnota!

d) *Zobrazenie profilovej čiary*. Predtým ako začneme vynášať body profilovej čiary do profilu, je potrebné určiť počiatočnú profilu. (V prípade pozdĺžneho profilu dolinou je ním najvyšší bod profilu, v prípade priečného profilu dolinou je to prvý bod zľava, ak je pozorovateľ umiestnený poniže profilu.) Nadmorskú výšku každého bodu profilu potom určuje hodnota vrstevnice, ktorá ním prechádza, a vzdialenosť bodu sa meria od počiatku profilu. Keď spojíme takto zobrazené body profilovej čiary, získame výsledný profil.

Každý profil je napokon potrebné doplniť názvom obsahujúcim okrem konkretizácie typu profilu tiež jeho lokalizáciu a menom autora. Vhodné je uviesť tiež vertikálnu a horizontálnu mierku a orientáciu profilu voči svetovým stranám.

Konstruktúra profilov je v podstate dosť jednoduchá grafická (geometrická) úloha. Hlbšie geomorfologické poznatky však vyžadujú správnu interpretáciu utvorených profilov, ktorá je vlastne cieľom ich tvorby. Výpovednú hodnotu profilov možno dokumentovať na nasledujúcom príklade priečného a pozdĺžneho profilu dolinou.

**Priečný profil** dolinou charakterizuje predovšetkým svahy doliny a ich vzťah ku dnu doliny. Väčšiu výpovednú hodnotu má **sériový priečný profil** (znázornenie viacerých priečných profilov jednej doliny zostrojených v niekoľkých bodoch údolnice za sebou), ktorý umožňuje sledovať priestorové zmeny vlastností doliny. Hlavnými interpretovateľnými charakteristikami priečného profilu sú:

1. **Tvar svahov doliny** (môže byť lineárny, konvexný a konkávny, prípadne zložený z viacerých tvarov), respektíve **celkový tvar profilu**.

2. **Asymetria svahov doliny**, a to:

- **výšková** (jedno rozvodie je vyššie ako druhé),
- **sklonová** (svahy doliny majú rôzny priemerný sklon),
- **tvarová** (svahy doliny majú rôzny geometrický tvar).

3. **Zmiernené časti profilu** – úseky profilovej čiary, na ktorých sa jej sklon znižuje.

4. **Plocha profilu** - jej zmena v sériovom priečnom profile je ekvivalentná zmene objemu doliny, a teda i odnosového efektu činiteľa, ktorý ju tvoril.

**Pozdĺžny profil** dolinou odráža predovšetkým činnosť dominantného geomorfologického činiteľa (zväčša vodného toku, ale niekedy i ľadovca či snehových lavín) na dne doliny. Popri jednoduchom pozdĺžnom profile možno zostrojiť i **pozdĺžny profil dolinnou sieťou bazénu (povodia)**, v ktorom sa prejavujú vzájomné vzťahy viacerých dolín. Na pozdĺžnom profile možno dobre interpretovať hlavne tieto jeho charakteristiky:

1. **Celkový tvar pozdĺžneho profilu** môže byť lineárny či rôzne zakrivený - najčastejšie v tvare konkávnej exponenciálnej krivky.

2. **Základy** - výraznejšie zmeny sklonu na profile.

3. **Vzťah empirického** (vyššie opísaným spôsobom utvoreného) **a teoreticky rovnovážneho profilu**.

4. **Tvar a poloha profilu hlavnej doliny v porovnaní s bočnými dolinami**, ktoré možno vyhodnotiť v pozdĺžnom profile dolinnou sieťou bazénu.

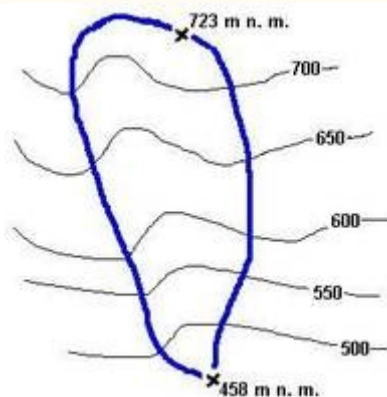
### Vyjadrenie plošného zastúpenia hodnôt morfometrického parametra

Priemerná hodnota morfometrického parametra (nadmorskej výšky, sklonu a pod.) je plošnou morfometrickou charakteristikou, ktorá v sebe stiera skutočnú diferenciaciu hodnôt tohoto parametra. Napríklad priemerná nadmorská výška Slovenska a Českej republiky je veľmi podobná – okolo 500 m n. m., ale zatiaľ čo na Slovensku presahuje celková amplitúda reliéfu 2 500 m, v Českej republike to nie je ani 1 500 m. (Ešte výraznejšie sa tento rozdiel prejavuje v zastúpení jednotlivých hodnôt nadmorských výšok na Slovensku a v Českej republike.) Vnútorňú diferenciaciu hodnôt morfometrických parametrov v určitom území môžeme názornejšie ako tabuľkou vyjadriť graficky.

**Histogram** (stĺpcový diagram) graficky zobrazuje zastúpenie jednotlivých intervalových hodnôt morfometrického parametra v danom území tak, že na horizontálnej osi sú nanášané stredné hodnoty intervalov morfometrického parametra, pre ktoré sa zisťovalo ich plošné zastúpenie v území, a na vertikálnu os početnosť (počet základných plošných jednotiek, ktoré majú danú intervalovú hodnotu parametra). Ak miesto stĺpcového vyjadrenia zvolíme pospájanie vrcholov stĺpcov do plynulej krivky vytvoríme tzv. **frekvenčnú krivku**.

Plošné zastúpenie intervalových hodnôt ľubovoľného morfometrického parametra môžeme graficky vyjadriť aj pomocou o niečo zložitejších **sumačných kriviek**, ktoré majú oproti frekvenčným krivkám a histogramom niektoré interpretačné prednosti. Od frekvenčných kriviek sa sumačné krivky líšia len tým, že na vertikálnu os nie je nanášaná početnosť (plošné alebo percentuálne zastúpenie) parametra len v danom intervale, ale jeho sumárna početnosť (plocha) od maximálnych hodnôt po dolnú hranicu daného intervalu.

V geomorfológii sa najčastejšie využíva sumačná krivka nadmorských výšok, ktorú nazývame **hypsografická krivka**, a sumačná krivka sklonov – **klinografická krivka**. Postup pri tvorbe a interpretácii sumačných kriviek si zosumarizujeme na príklade najpoužívanejšej, hypsografickej, krivky (ostatné sumačné krivky sa tvoria a interpretujú analogickým spôsobom).



Obr. 1 Hypsometrická mapa

**Konštrukciu hypsografickej krivky** môžeme zhrnúť do nasledovných bodov:

a) *Výber intervalových hodnôt nadmorských výšok.* Intervalové hodnoty nemusia byť volené pravidelne, pre málo zastúpené nadmorské výšky môžu byť intervaly väčšie. Okrem krajných hodnôt (maxima a minima) je pre jednoduchšie následné zisťovanie plochy výškových stupňov vhodné voliť hranice intervalov totožné s hodnotou niektorých vrstevníc.

b) *Tvorba hypsometrickej mapy (mapy výškových stupňov).* Hypsometrickú mapu utvoríme zvýraznením vrstevníc, ktoré zodpovedajú horným a dolným hraniciam vybraných intervalových hodnôt nadmorských výšok (obr. 1). Plochy medzi vrstevnicami môžeme pre lepšiu názornosť odlišiť vyfarbením alebo šrafážou.

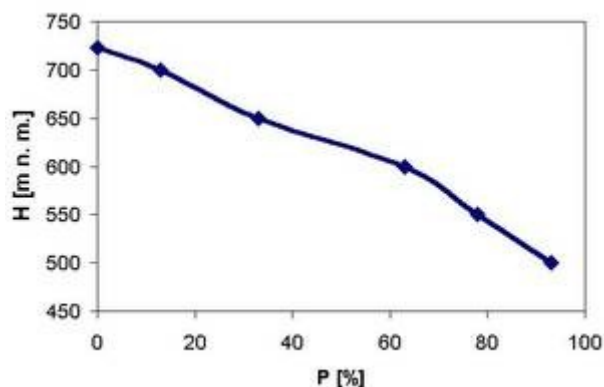
$\Delta H$ [m n. m.]	P [km <sup>2</sup> ]	P [%]	$\Sigma P$ [%]
701 – 723	2,6	13	13
651 – 700	4,0	20	33
601 – 650	6,0	30	63
551 – 600	3,0	15	78
501 – 550	3,0	15	93
<b>458 – 500</b>	1,4	7	100
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>20,0</b>	<b>100</b>	

Obr. 2 Podkladová tabuľka

c) *Zisťovanie plochy jednotlivých výškových stupňov.* Plochu jednotlivých intervalov nadmorských výšok možno určiť buď naložením hypsometrickej mapy (vykreslenej na priesvitke) na milimetrový (štvorcový) papier a odčítaním plošných jednotiek (štvorcokov) alebo s využitím mechanických či digitálnych planimetrov.

d) *Zostavenie podkladovej tabuľky.* V tabuľke (obr. 2) sú uvedené zvolené intervalové hranice, ich zistené plošné zastúpenie (v absolútnych jednotkách alebo percentách) a kumulatívne súčty plôch. Tabuľka vždy začína od *najvyšších* hodnôt.

e) *Vlastná tvorba hypsometrickej krivky.* Hypsometrická krivka (obr. 3) vzniká v súradnicovej sústave, kde na horizontálnu os vynášame absolútne alebo relatívne plošné zastúpenie a na vertikálnu os nadmorské výšky. Body hypsografickej krivky v tejto sústave určujú *dolné* hranice výškových intervalov a v tabuľke zodpovedajúci kumulatívny súčet plôch. Prvý bod krivky má nulové plošné zastúpenie a maximálnu nadmorskú výšku vyskytujúcu sa v území.



Obr. 3 Hypsografická krivka

Hypsografická krivka poskytuje niekoľko zaujímavých informácií o reliéfe spracovaného územia. Dobre interpretovateľné sú najmä jej nasledovné charakteristiky:

1. **Celkový tvar krivky** charakterizuje mieru homogenity výškového poľa v zobrazenom území. Výrazné pravidelnosti v usporiadaní nadmorských výšok sa prejavujú v tvare hypsografickej krivky, ktorý býva charakteristický pre rôzne vývojové štádiá georeliéfu či jednotlivé formy.
2. **Plocha ohraničená krivkou** môže byť podkladom pre výpočet priemernej nadmorskej výšky a objemu zobrazenej formy (územia).
3. **Zmiernené časti krivky** predstavujú nadmorské výšky s najvyšším plošným zastúpením, **strmé časti krivky** zodpovedajú nadmorským výškam s malým plošným zastúpením.

---

### Ďalšia literatúra

LACIKA, J.: *Geomorfológia. Návod na cvičenia*. Zvolen : Kat. aplik. ekol. FEaE TU, 1999. S. 45-49. - Skriptá.

ZAŤKO, M. et al.: *Cvičenia z fyzickej geografie*. Bratislava : PRIF UK, 1986. S. 5-53. - Skriptá.