

## Digitální modely terénu

### Obsah

Digitální modely terénu.....	1
Popis a definice.....	1
Datové reprezentace DMT .....	2
Singularity .....	2
Topografické plochy.....	4
Literatura.....	10

### Popis a definice

Digitálním modelem terénu (DMT) se většinou rozumí geometrický popis terénu. Takovýto popis terénu umožňuje ve spojení s polohopisnými informacemi vytvořit prostorový model území. Lze na něm zkoumat různé jevy závislé na výškové členitosti krajiny. Hledat místa s největším sklonem, vrcholy nebo údolnice. Je možné definovat i místa viditelná z určitého místa nebo hledat ideální místo pro rozhlednu.

**Terénní plocha** není ale nikterak jednoduchá plocha, aby ji bylo možno popsat digitálním způsobem bez výrazného zjednodušení. DMT je proto náležitě zjednodušené prostorové vyjádření tvaru skutečného terénu, které vzniká zaměřením nebo projektováním polohy a výšky jednotlivých bodů a hran. Úkolem je, aby tyto body nejlépe charakterizovaly průběh terénu ve skutečnosti.

Na terénní ploše jsou místa, kde je průběh hladký, jinde jsou linie, na kterých je hladkost narušena. Dokonce se lze setkat s terénními stupni, které jsou sice většinou umělé, nicméně k terénu patří. Zvláštní charakter mají také vrcholy, sedla, údolnice a hřbetnice, které mají podélně často hladký průběh, ovšem v kolmém směru se na nich terénní plocha může ostře lámat. Tyto jevy se v terminologii DMT nazývají singularity, jejich matematickou charakteristikou je nespojitost funkce či nespojitost její derivace.

**Modelovaná plocha** může být velmi rozsáhlá, popisovaná značným počtem dat. Na druhé straně vzhledem k rozsáhlosti většinou dosahuje malých převýšení, rozměry ve směru os  $x$  a  $y$  jsou větší než ve směru osy  $z$ . Valnou většinu terénních ploch lze charakterizovat jako funkci polohopisných souřadnic  $x, y$ . Těm lze totiž vždy přiřadit pouze jednu výškovou složku  $z$ . Výjimkou mohou být terénní stupně (zlomy nebo též schody), ve kterých je terénní plocha svislá, někdy dosahuje až charakteru převisu. Tzv. převisy jsou místa, kterými lze vést svislici, protínající povrch ve dvou nebo více bodech. Taková místa se vyskytují velmi zřídka a pro potřeby modelování terénu nemají velký význam. Ovšem v případě jejich zpracování vyvstává velký problém, jakým komerčním produktem převisy řešit, neboť systémů, vhodných pro zpracování rozsáhlých DMT a schopných zohlednit takové detaily, je pomálu.

Problematika zpracování digitálního modelu terénu zasahuje do dvou disciplín - mezi systémy CAD (objemové modelování, zobrazování) a mezi GIS systémy (rozsáhlostí dat a shodným předmětem modelování). Jedná se však o samostatnou problematiku, kterou je nutné chápat izolovaně.

Pro inženýrské úlohy je důležité vybrat správnou kategorii software (CAD, GIS, DMT), z nichž každý může být orientován na stejný předmět (krajinu, terén), ovšem s různými rozlišovacími schopnostmi a nabídkou editačních nástrojů. Při podrobném modelování rodinného domu

použijeme jistě CAD systém (především jeho objemový modelář). Pokud chceme vymodelovat urbanistický celek (vesnici), nezajímají nás již konstrukční detaily každého domu, zato počet domů vzroste. Použijeme program pro DMT, který schematicky zobrazí stavby, k nim přidá terén a vytvoří tak celou krajinnou scénérii. Pokud se budeme zajímat o vyšší územní celky, zajímá nás většinou pouze polohopis (výškopis maximálně schematicky - přes nakreslené vrstevnice) a dále vedení inženýrských sítí, silnice, řeky, hranice, pozemky atd. Použijeme tedy GIS. Vše je otázkou rozlišovací úrovně či stupně generalizace.

## **Datové reprezentace DMT**

Pro snadný popis terénu se většinou používá princip rozdělení celé plochy na menší části, které se dají snadněji geometricky popsat. Podle charakteristik těchto plošek se rozlišují následující typy modelů:

**Polyedrický:** Zde jsou elementárními ploškami trojúhelníky, které k sobě přiléhají. Doplníme-li plošky o stěny na obvodu celého modelu (sokl) a o podstavu, získáme mnohostěn, přimykající se k terénu. Vrcholy mnohostěnu jsou body na terénní ploše, souřadnicově určené příslušnými geodetickými metodami. Interpolace plochy se obvykle provádí lineárně po trojúhelnících. Tento přístup je v současné době u komerčních systémů nejrozšířenější. Vrcholy trojúhelníků je vhodné zvolit tak, aby vystihovaly nejen obecně průběh terénu, ale i jeho singularity.

**Plátový:** Tento typ modelu předpokládá, že se povrch rozdělí na nepravidelné, obecně křivé plošky trojúhelníkového nebo čtyřúhelníkového tvaru, přičemž hranice dělení se vedou po singularitách. Pro popis jednotlivých plošek se obvykle používají polynomické funkce. Stupeň těchto funkcí souvisí se stupněm hladkosti navázání jednotlivých plátů. Rozdělení modelu na pláty je velmi výhodné a snadné je rozdělení vést po singularitách charakteristických bodech terénu.

**Rastrový:** Jak název napovídá, model je dán množinou elementárních plošek nad prvky pravidelného rastru. Obvykle jsou to čtyřúhelníky, které je případně možno rozdělit na trojúhelníky, nebo spojit do složitějších ploch. Pro popis jednotlivých plošek pak postačuje funkce, která je součinem dvou lineárních funkcí jedné proměnné.

## **Singularity**

Závažnou sadou problémů, které je obvykle nutné řešit současně se zaoblováním plátů, je ošetření singularit. Singularitou rozumíme místo, kde se terén chová jiným způsobem, než by se dalo usoudit z jeho chování v okolí singularity. Typicky se může jednat například o ostrý horský hřeben, nebo pobřežní linii jezera.

Singularity mohou být různých typů. Na některých hranách například můžeme požadovat spojitost vlastního terénu, ale nikoliv již hladké napojení plátů (spojitost derivací). Příkladem může být horský hřeben. Někdy ani samotný terén chápaný jako funkce dvou proměnných (k polohopisným souřadnicím  $x$  a  $y$  je přiřazena výška  $z$ ) nemusí být spojitý. Terén může obsahovat zlom (tedy kolmý sráz, na kterém na sebe dva pláty nenavazují spojitě), nebo dokonce převis (místo, kde se dva pláty částečně překrývají a terén tedy netvoří funkci). Jelikož singularity těchto druhů (zlom, převis) se vyskytují poměrně zřídka a jejich programové ošetření je dosti náročné, řada programů pro DMT řešení takových singularit obchází. Často je například zlom realizován prudce klesajícím plátem, který je však stále ještě grafem funkce dvou proměnných. Místo kolmého srázu se tedy ve výsledném modelu objeví velmi prudce klesající svah.

Mezi bodové singularity patří vrchol, sedlo a dno vhloubeniny. Většinu singularit ale budeme

považovat za liniové a budeme je tedy vyjadřovat pomocí předurčených hran. K předurčeným hranám musí později přihlížet triangulační algoritmus a musí je zařadit do modelu specifickým způsobem.

Předurčenou hranu klasifikujeme podle dvou hledisek:

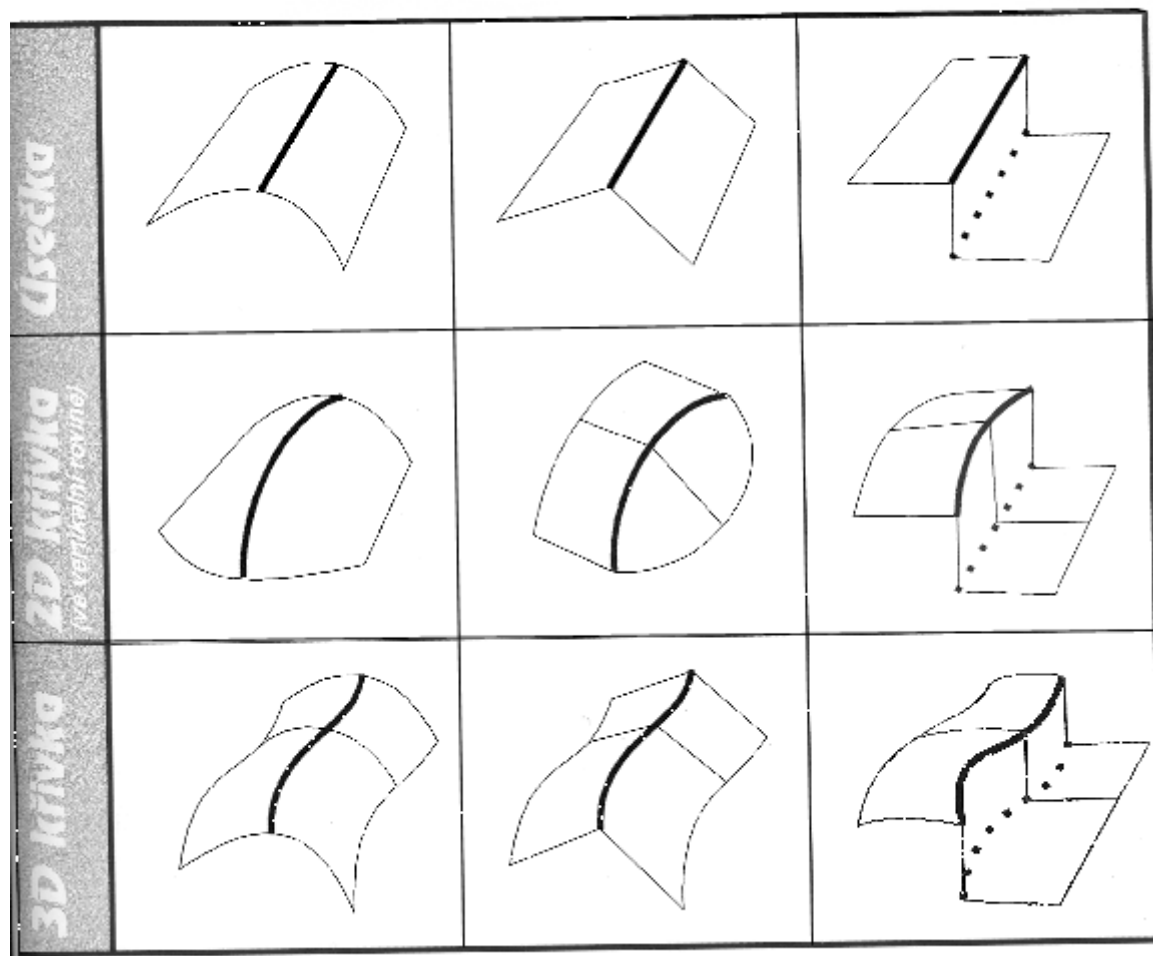
1) Tvar hrany

1. Úsečka
2. Křivka ve vertikální rovině (2D křivka)
3. Obecná křivka (3D křivka)

2) Způsob navázání plátů

1. Hladké navázání (spojitost terénu i jeho první derivace)
2. Ostré navázání (terén spojitý, jeho derivace nespojitá)
3. Zlom (terén nespojitý)

Kombinací výše uvedených klasifikací pak vznikne celkem 9 typů singularit.



Obr 1: Typy singularit

## Topografické plochy

Skutečný fyzický zemský terén povrchu nazýváme **terénní reliéf** nebo jen zkráceně reliéf. Tvar reliéfu je výsledkem působení vnitřních (**endogenních**) a vnějších (**exogenních**) sil, které formovaly zemský povrch do současné podoby.

Vývojem zemského povrchu ve vztahu k zemskému nitru se zabývá **geomorfologie**. Popis a třídění terénních tvarů, tvořících v souhrnu reliéf, je úlohou **morfologie**. Znázornování reliéfu je základním úkolem především topografických map a v silně generalizované podobě je reliéf zobrazen na obecně zeměpisných mapách.

Průběh terénu nelze zobrazit se všemi detaily a proto je terén nahrazován tzv. topografickou plochou. Členitost a přesnost topografické plochy je dána účelem, pro který je DMT vytvářen.

**Topografická plocha** se obecně skládá z vyvýšenin a sníženin, spojených úbočími. Jednotlivé terénní útvary, které ji tvoří, mohou mít různou velikost, podobu a spád, z morfologického hlediska však mají stejné charakteristické vlastnosti. Celkovou charakteristiku topografické plochy určuje

soustava bodů a typických linií **terénní kostry**, nazývaná **orografické schéma**. Body a linie terénní kostry jsou ve většině případů místa určitého typu singularity. Body terénní kostry jsou místa, kde se topografické plochy dotýká vodorovná rovina (vrcholy kup, sedel, rozdvojení svahových hřbetů apod.). Čáry terénní kostry charakterizují jednotlivé terénní útvary i místa jejich styku. Jsou to:

- **hřbetnice** – procházející relativně nejvyššími body vypuklé plochy. Styk dvou přilehlých svahů téhož hřbetu nebo hřebene.
- **údolnice** – plynulá čára vedoucí relativně nejnižšími body vhloubených ploch ve směru spádu (má vždy menší spád než přilehlé svahy).
- **hrany** – vymezející rozhraní výrazné změny spádu,
- **tvarové čáry** – ohraničující vodorovné nebo mírně skloněné části v okolí vrcholů.

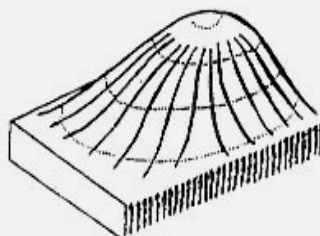
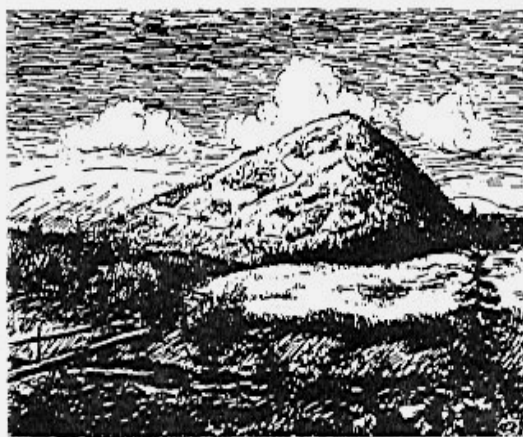
Doplňkové čáry charakterizující průběh topografické plochy jsou:

- **spádnice** – probíhající ve směru nejvyššího sklonu plochy a je kolmá k vrstevnicím. Udává směr volně tekoucí vody.
- **tvarové čáry** – průsečnice jednotlivých dílčích ploch.
- **úpatnice** – čára styku dvou různě skloněných ploch při úpatí tvaru, svírajících spolu zpravidla tupý úhel
- **úpatí** – pás terénu na styku dvou různě skloněných ploch na rozhraní mezi vyšším a nižším územím.

Síť bodů a čar terénní kostry definuje základní schématický průběh topografické plochy, která se skládá z geneticky stejnorodých elementárních ploch. Tyto plochy mohou mít tvar vypuklých, vhloubených nebo rovných ploch. Pro detailní průběh plochy je základní schéma doplněno soustavou bodů, které určují míru vhloubení nebo vyvýšení, šířku kupt apod. Při modelování topografické plochy platí morfologická zákonitost pravidelného střídání vypuklých a vhloubených tvarů.

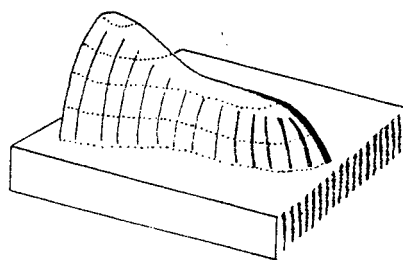
Při tvorbě topografické plochy rozeznáváme řadu povrchových tvarů dle průběhu čar terénní kostry a polohy, zda leží na svršku, svahu (úbočí), úpatí nebo v údolí. **Vypuklé** (konvexní) **tvary** na svršku dělíme na:

- **kupa** – ploše zaoblená vyvýšenina (pahorek, kopec, vrch, hora) s půdorysem kruhovitým, eliptickým i mírně nepravidelným. Rozestup vrstevnic je ve vrcholové části a na úpatí větší nežli ve střední části kupy, kde je největší spád.



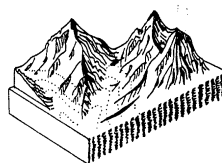
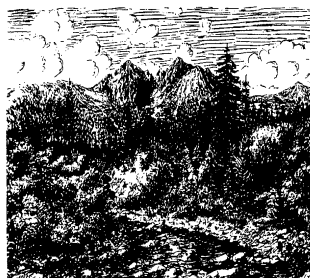
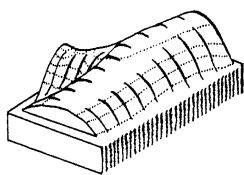
Obr. 10.1.  
Kupa s tvarovou čarou eliptickou

- **kužel** – vyvýšenina (kopec, vrch, hora) podobající se geometrickému kuželi. Vrchol bývá ostrý nebo jen s malou plošinou na vrcholu. Rozestup vrstevnic je téměř konstantní od úpatí k vrcholu.
- **pahorek** – vypuklý tvar georeliéfu malých rozměrů málo výrazným úpatím a s mírnými svahy. Je charakteristickým povrchovým tvarem pahorkatin a má relativní výšku do 150m,
- **vrch** – vypuklý tvar georeliéfu větších rozměrů a zpravidla s relativní výškou 150-300m.
- **hora** – výrazná vyvýšenina v okolním reliéfu, často osamocená, kupovitého nebo tabulovitého tvaru, někdy ve formě krátkého, výrazného hřebtu s relativní výškou 300-600 m, s výraznými sklonky svahů, s výrazným úpatím a poměrně malou základnou vzhledem k relativní výšce.
- **velehora** – mohutná vyvýšenina s velkou relativní výškou a širokou základnou ve velehornatině.
- **temeno** – nejvyšší místo vrcholu, podle jehož tvaru se rozlišují tři základní vrcholové tvary: kupa, vrcholový hřbet a plošina.
- **spočinek** – část hřebtu, kde hřbetnice přechází do značně mírnějšího sklonu (do 2°), hřbetnice má vždy před a po ukončení spočinku větší spád.



Obr. 10.8. Spočinek

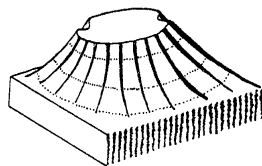
- **hřbet** – protáhlá vyvýšenina, jejíž délka přesahuje šířku s různě ukloněnými svahy, s plochou zaoblenou vrcholovou částí. Variantami je štít a hřeben.

Obr. 10.7.  
Vrcholový (vodorovný) hřbet klenutý

Obr. 10.3. Štít

- **štít** – vrchol velehory tvořený skalními stěnami a skalními útvary.
- **hřeben** – protáhlá vyvýšenina s ostrou hranou, jejíž délka značně přesahuje šířku a která má často skalnatou vrcholovou část.

- **plošina** – temeno tvoří rovina nebo mírně zvlněný povrch či mírně skloněná plocha. Tvarová čára je obecná uzavřená křivka. Ve vyšších nadmořských výškách se zpravidla hovoří o planině.

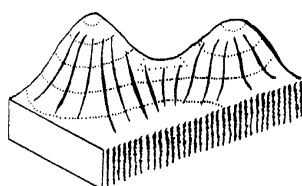


Obr. 10.6.  
Vrcholová plošina

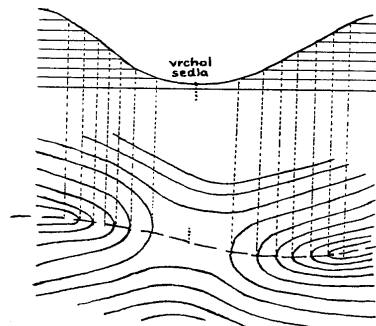
- dále je možné podrobněji dělit na: špičku, homole, věže, jehlany a stoly.

Vhloubeným útvarem na svršku je:

- **sedlo** – vhloubený útvar na hřbetu vyvýšeniny mezi dvěma svršky. Nejnižším bodem je vrchol sedla, v němž se stýkají dvě hřbetnice a dvě údolnice. Sedla rozeznáváme podélná, příčná a nepravidelná. Tvarové čáry vytvářejí čtyřúhelníky poduškovitého tvaru. (Proluka s nevýraznými svahy, soutěska se strmými svahy).



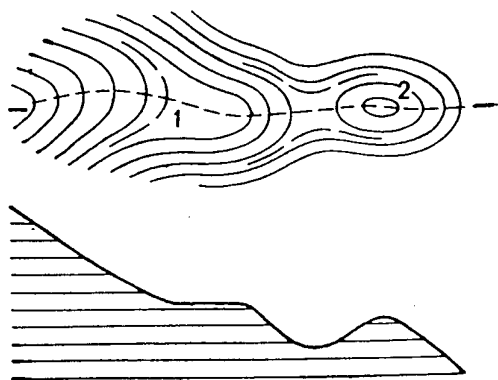
Obr. 10.10.  
Pravidelné sedlo podélné



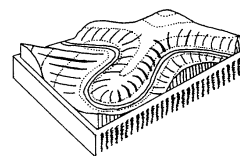
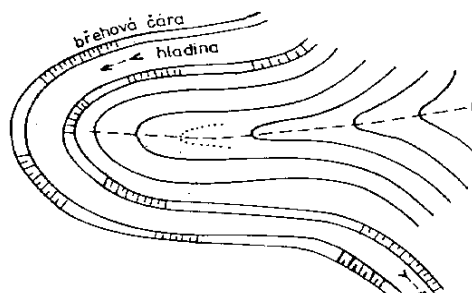
Obr. 10.9.  
Tvar průsečnic povrchu sedla s vodorovnými rovinami

Vypuklá tvary na úbočí vyvýšeniny:

- **svahový hřbet** – podle tvaru hřbetní plochy je dělen na široký, normální, úzký nebo ostrý.

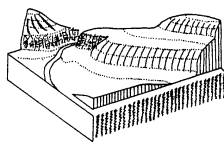


Obr. 10.17.  
Svahový hřbet přerušovaný spočinkem (1)  
a svahovou kupou (2)

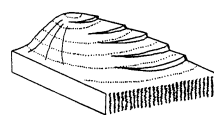


Obr. 10.19. Ostroh

- **svahová kupa a spočinek** – průběh hřbetu je přerušen pozvolnějším průběhem sklonu hřbetnice případně nízkou svahovou kupou. Charakter hřbetu ale není narušen.
- **ostroh** – výrazný úzký svahový hřbet, který vybíhá napříč do údolí. Pokud se jedná o nevysoký výčnělek ve směru sklonu úbočí, je označen zjako žebro.



Obr. 10.21. Terasy

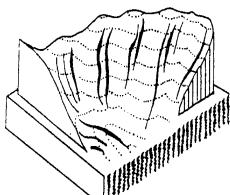
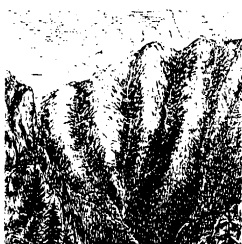


Obr. 10.22. Terénní stupně

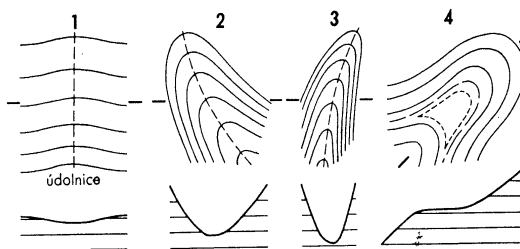
Dalšími vypuklými tvary na úbočí jsou: výčnělky, terasy, terénní stupně a srázy.

Vhloubené tvary na úbočí pravidelně střídají vypuklé a lze je klasifikovat do následujících skupin:

- **úžlabí** – mušlovitá prohlubeň mezi dvěma svahovými hřbet. Kosterní čarou je údolnice, na níž jsou vrstevnice nejvíce zakřiveny.

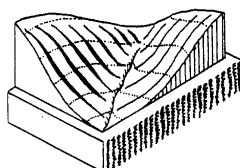


Obr. 10.23. Úžlabí

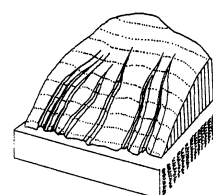


Obr. 10.24. Druhy úžlabí

- **zářez** – úbočí se stýkají na hraně a dno je velmi úzké. Vrstevnice se na údolnici lomí.
- **rýha** – vhloubený, protáhlý tvar na mírně skloněných úbočích. Na rozdíl od zářezu má malou hloubku. Strž a rokle jsou podobnými útvary, kdy ale dno je vyryté a hlubší.



Obr. 10.25. Zářez



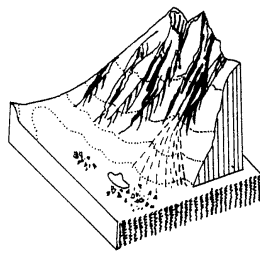
Obr. 10.26. Rýhy

- **výmoyy** -

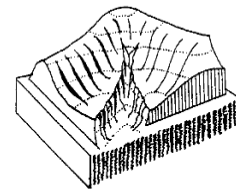
Tvary na úpatí vyvýšeniny:

- **suťový kužel** – vzniká usazováním kamenů, písku a zeminy. Tvar je blízký pláští kužele.





Obr. 10.28. Suťový kužel

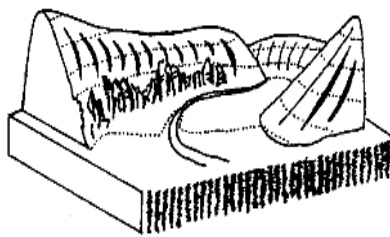


Obr. 10.29. Rokle

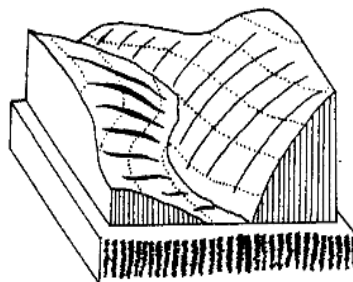
- **rokle, strž** – obdoba tvarů na úbočí. Rokle bývá hluboká a široce rozvětvená

Tvary údolí:

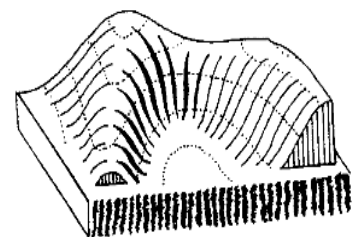
- **údolí s rovným dnem** – vrstevnice dna jsou přímé a lámou se na úpatí. Podélný profil dna může být stejnoměrný, nestejnomořný nebo stupňovitý.
- **úžlabina** – vhloubený protáhlý tvar o přibližně stejné šířce dna.
- **údolní zářez** – údolí s úzkým dnem (tvar podobný zářezu na úbočí)



Obr. 10.32.  
Údolí s rovným dnem



Obr. 10.34  
Údolní zářez



Obr. 10.33. Úžlabina

### ***Literatura***

Demek, Jaromír: Obecná geomorfologie. (str. 50-58)

Hojovec, Vladimír: Kartografie. (str. 69-83)

Huml, Michal: Mapování 10. (Přednášky v PPT - obrázky)