

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra matematiky

Bakalářská práce

**Metody znázorňování výškopisu
na mapách**

Prohlášení

Předkládám k posouzení a následné obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na zadané téma zpracoval samostatně, s použitím literatury a zdrojů, uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Mirošově 20. srpna 2006

Václav Monhart

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Karlu Jedličkovi, který mě vedl jak v teoretických, tak praktických otázkách mé práce.

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce bylo sestavení historických i současných metod znázorňování výškopisu na mapách velkého a středního měřítka. Tyto metody jsou řazeny od nejstarších po nejnovější a obsahují též náznak, kam se bude v této oblasti ubírat další vývoj.

V praktické části byl sestaven atlas základních terénních tvarů reliéfu s jejich 3D reprezentací. Spolu s tímto vznikly internetové stránky s možností prohlížení jednotlivých tvarů přímo v internetovém prohlížeči.

V závěru práce jsou popsány softwarové problémy, ke kterým docházelo a jsou shrnuty dosažené výsledky práce.

Klíčová slova

Terén, reliéf, topografická plocha, výškopis, mapa, kopečková metoda, Lehmannovy šrafy, krajinné šrafy, stínování, barevná hypsometrie, kóty, vrstevnice, geomorfologie, elementární plochy, terénní tvary, vyvýšenina, úbočí, úpatí, údolí, ArcGIS, VRML, 3D scéna.

Abstract

The subject of this bachelor's dissertation was comprised of historical and contemporary methods of illustrating hypsography on large and medium scale maps. The methods are categorized from the oldest to the latest, and also contain an indication of where further development in this area will lead to.

In the practical part, an atlas was compiled of basic terrain shapes of relief, including their three-dimensional representation. Together with these, a Website was created with the possibility of browsing individual shapes directly in the Internet browser.

The conclusion of the dissertation includes a description of software problems that occurred, and results of the work are summarized.

Keywords

Terrain, relief, topographic surface, hypsography, map, hillock method, Lehmann hachures, scenic hachures, tone, lady of colour hypsometrie, spot height, contour line, geomorphology, elementary surface, field shapes, elevation, hillslope, foot, valley, ArcGIS, VRML, 3D scene.

Obsah:

1.	Úvod.....	6
2.	Terminologie.....	6
3.	Historické i současné metody znázorňování výškopisu.....	7
3.1	Pohledové metody.....	7
3.2	Tónování.....	10
3.2.1	Šrafování.....	10
3.2.2	Stínování.....	14
3.3	Barevná hypsometrie.....	15
3.4	Kóty.....	17
3.5	Vrstevnice.....	18
3.6	GIS metody - rastry.....	21
3.7	3D průletové mapy.....	22
4.	Rozbor terénního reliéfu.....	23
4.1	Vznik a vývoj Země.....	23
4.2	Rozbor dílčích (elementárních) ploch.....	23
4.3	Rozbor terénních tvarů.....	25
4.3.1	Tvary na vrcholové části vyvýšeniny.....	26
4.3.2	Tvary na úbočí vyvýšeniny.....	31
4.3.3	Tvary na úpatí vyvýšeniny.....	39
4.3.4	Tvary na dně sníženiny.....	40
5.	Postup tvorby atlasu.....	44
6.	Popis atlasu.....	46
7.	Závěr.....	48
	Příloha A	
	Příloha B	

1. Úvod

Již od pradávna mělo lidstvo potřebu zaznamenávat si polohu některých důležitých míst pro život. Naleziště, okolní osady, pěšiny apod., čímž vznikaly první primitivní mapy. To však lidem nestačilo a chtěli zaznamenat i výškové poměry v krajině. Tak se do map začala dostávat jedna z hlavních složek – výškopis. Všechny tyto procesy vedly k vytvoření soustavy věd, které se tímto zabývají a mapy vytvářejí. Dnes již neobsahují pouze životně důležité objekty, ale snaží se zobrazit charakteristické znaky skutečného povrchu Země. Za celou dobu, co se do map zachycovala výškopisná složka, bylo používáno mnoho způsobu, jak toho docílit.

Cílem bakalářské práce, vedle popsání jednotlivých metod znázorňování výškopisu na mapách, je vyhotovení databáze základních terénních tvarů (atlasu) v programu ArcGIS, i s jejich trojrozměrnou vizualizací pomocí formátu VRML, jako pomůcku pro správné chápání vrstevnicových map. Dále ověřit schopnost programu ArcGIS vytvářet digitální model terénu z okótovaných vrstevnic a jeho chování v komplikovaných případech při použití různých metod.

2. Terminologie

Celá bakalářská práce obsahuje velké množství odborných výrazů. Tato kapitola obsahuje pouze výčet základních termínů, které se v textu často opakují více než v jedné kapitole. Ostatní odborné názvy jsou vysvětleny v konkrétní kapitole, která je obsahuje.

Terén (někdy označován jako reliéf, terénní reliéf nebo terénní plocha) je skutečný zemský povrch, vytvořený přírodními silami v závislosti na klimatických a geologických podmínkách, nebo vytvořený umělým zásahem lidí [7]. Více o silách, které působí na vznik a vývoj terénu, je obsaženo v kapitole 4.1.

Terénní plocha je velmi složitá a nedá se přesně zobrazit. Proto se zobrazuje pouze průběh náhradní, generalizované plochy, tzv. **topografické plochy**, kterou se nahrazuje složitá terénní plocha tak, aby se k sobě co nejvíce přibližovaly [2].

Vzájemným seskupením různých topografických ploch (rovných, vypuklých nebo vhloubených) vznikají **terénní tvary** [7], jejichž popisem se zabývá kapitola 4.3.

Vrstevnice jsou svislé průměty průsečnic vodorovných rovin s terénním reliéfem, které mají pravidelný rozestup a všechny body jedné vrstevnice mají stejnou nadmořskou výšku [2, 7].

Výškopis je soubor polohopisně znázorněných vrstevnic a výškových kót terénu (i relativních), doplněný mapovými značkami (vyjadřující podrobnosti, které nelze v měřítku mapy zobrazit ani popsat) a popřípadě doplněný i nějakým druhem plastiky [2]. Plastiky na mapách se dá docílit tónováním, barevnou hypsometrií a dalšími způsoby, o kterých je podrobněji psáno v kapitolách 3.3 a 3.4.

Mapa je zmenšený, generalizovaný obraz Země, převedený do roviny pomocí kartografického zobrazení (kartografické zobrazení je posloupnost matematicky definovaných vztahů), ukazující polohu, stav a vlastnosti objektů a jevů na Zemi, které jsou vyjádřeny znakovým systémem (zpracováno podle [7]).

Měřítko mapy je poměr zmenšení mezi nezkreslenou délkou na mapě a odpovídající délkou ve skutečnosti a označuje se ve tvaru 1:M, kde M je měřítkové číslo [7]. Pro příklad měřítko 1:5000 vyjadřuje, že 1cm na mapě odpovídá 5000cm (50m) ve skutečnosti.

Čáry terénní kostry jsou prostorové čáry, na nichž se stýkají dílčí terénní plochy. Patří mezi ně:

- **hřbetnice** je čára na styku dvou přilehlých svahů jednoho hřebene, spojuje relativně nejvyšší body vypuklé plochy a tvoří tak vodní předěl mezi dvěma úbočími;
- **údolnice** je čára na styku dvou přilehlých svahů dvou hřebenů, spojuje relativně nejnižší body vydaté plochy a určuje tak směr vodního toku;
- **terénní hrana** představuje styk dvou různě svažitéch a různě zakřivených dílčích terénních ploch, existuje ostrá hrana (je-li styk terénních ploch náhlý) a zaoblená hrana (pro styk ploch méně výrazný);
- **tvarová čára** je čárkovaná křivka, ohraničující vodorovnou nebo jen mírně svažitou část některého terénního tvaru, typickou tvarovou čáru má spočinek, sedlo, kupa aj.;
- **spádnice** je čára maximálního spádu, která protíná každou vrstevnici pod pravým úhlem, vybíhá na obě strany ze hřbetnice, nebo vbíhá z obou stran do údolnice;
- **úpatnice** je čára, na které přechází svah do přilehlé roviny;
- **horizontála** je pomocná vodorovná čára, která v polním náčrtu vyznačuje tvary vrstevnic, kreslí se pouze její krátké úseky na hřbetnicích a údolnicích.

Pro správné vyhotovení výškopisné mapy je třeba všechny čáry terénní kostry pečlivě zaznamenat do polního náčrtu, což je nezbytnou součástí celého mapovacího procesu. Kromě terénních hran, které se vyznačují i do mapy, se ostatní tvarové čáry v mapě nezobrazují, slouží pouze ke správné interpretaci terénu.

Všechny čáry terénní kostry jsou převzaty a upraveny podle [2, 7].

GIS je zkratka pro Geografický informační systém, tedy systém, který spojuje klasické vědní obory (geodézie, kartografie atd.) do počítačového systému. Tento systém umožňuje veškerou práci s daty, vyhledávání, analyzování apod.

3. Historické i současné metody znázorňování výškopisu

Za celou historii, co vznikaly mapy se znázorněním třetího rozměru, bylo používáno mnoho způsobů, jak tento rozměr zobrazit na plochý papír. První z nich nebyly vyhotovovány na základě měření, ale jen na odhadování a znázorňovaly se přibližným způsobem kreslením kopečků. Převládala estetická názornost před geometricky přesnou interpretací. Postupně se přecházelo k měření terénu a jeho skutečnému znázornění na mapách, takže se z map dají odměřit skutečné výškové poměry. Mapy již nejsou vykresleny s takovou uměleckou formou jako dříve, zato převládá jasné a přehledné zobrazení.

3.1 Pohledové metody

Kopečkový způsob byl využit již Ptolemaiem v 1. století n.l. [5]. Tato metoda naznačuje velmi schématicky polohu horských pásem a jednotlivých hor. Od tohoto způsobu se již dávno

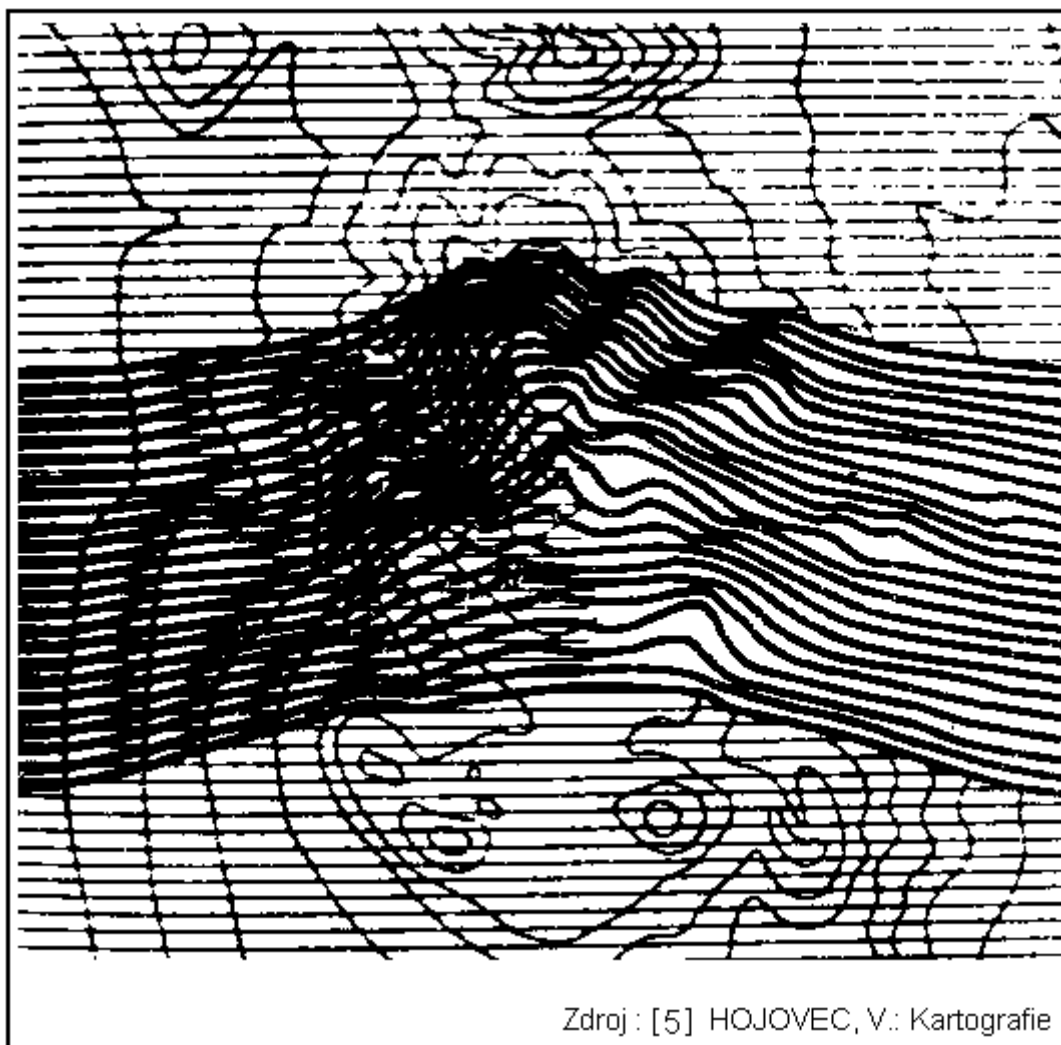
upustilo, protože nevyužívá žádná měření a z dnešního pohledu je pro znázornění výškopisu nepoužitelný.



Zdroj : [5] HOJOVEC, V.: Kartografie

Obr. 1 Kopečková metoda.

Řezy - řada souběžně vedených řezů terénem dává plastický vjem. Tento způsob však velmi zatěžuje ostatní obsah mapy a je náročný na zhotovení. Z těchto důvodů se neuchytil pro masové používání.



Obr. 2 Řezy

Reliéfní mapy vznikají teplotním nalisováním plastové fólie na prostorový model, jehož vytvarování si trvale podrží. Zde samozřejmě měřítko výškopisu převyšuje měřítko polohopisu, aby byly patrné výškové rozdíly. Tato metoda se dnes používá převážně u nástěnných map malého měřítká.

Pohledové metody, včetně rozdělení, byly zpracovány podle [5].

Použití kopečkové metody na mapách

V dřívějších dobách byla tato metoda použita například na následujících mapách: Helwigova mapa Slezska z roku 1561, Fabriciova mapa Moravy z roku 1569, Komenského mapa Moravy z roku 1680, Mapa Moravy Cóvense a Mortiera z roku 1742, Müllerova mapa Čech z roku 1744 a Seutterova mapa Moravy z poloviny 18. století [20].

I v dnešní době se kopečková metoda používá. Ne však jako zdroj výškopisných informací, ale pouze jako schematický náhled na reliéf. V mapách lyžařských středisek se používá pro znázornění sjezdovek, lanovek apod. na turistických mapách či plánech, kde mohou kopečky sloužit k naplánování vhodné trasy, nebo jen k vizualizaci a popisu jednotlivých vrcholů v dané oblasti. Další praktickou ukázkou je turistická mapa z Plzně na Kozel, která je vyhotovována

ručním zákresem kopečků a staveb a následně naskenována. Všechny tyto mapy jsou vyhotoveny jako 3D pohled do zobrazeného území, tudíž nepodávají ani přesný polohový obraz území. Ukázky těchto map jsou uvedeny v příloze B.

Možnost použití kopečkové metody v GIS

Kopečková metoda se dá v GIS určitými způsoby vytvořit. Vyhotoví se DMR (digitální model reliéfu), což je 3D model a na něj se nasadí mapa, čímž vznikne trojrozměrná mapa se zachováním původní polohové informace, která je prohlížitelná ve 3D.

3.2 Tónování

Tónování je způsob znázorňování výškových poměrů krajiny, který využívá různého sklonu osvitů krajiny, takže na různě skloněné plochy dopadne více či méně světelných paprsků a sklon se pak znázorní různou intenzitou výplně. Těmito metodami vzniká plastický vjem mapy.

Tónování se dělí se podle [4] na šrafování a stínování.

3.2.1 Šrafování

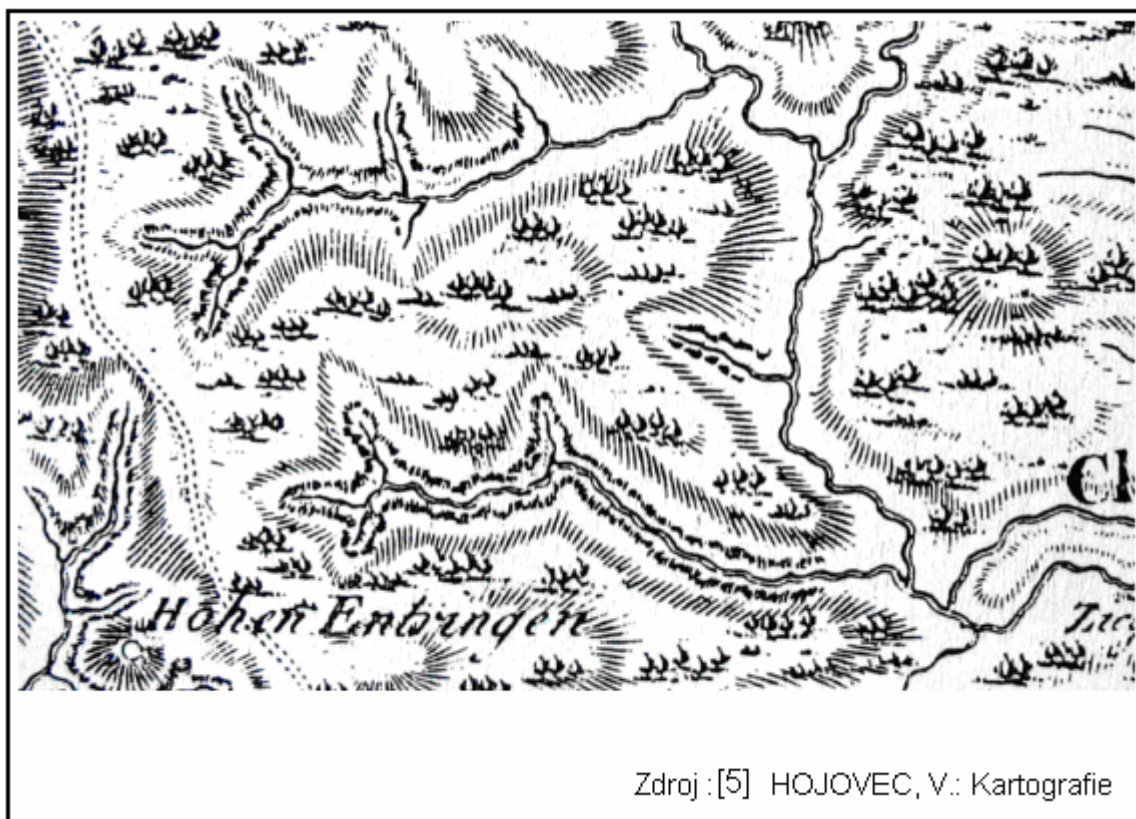
Šrafy jsou krátké úsečky různé délky, tloušťky a hustoty nebo malé geometrické obrazce kreslené hustě vedle sebe. Šrafy mohou mít svůj geometrický význam, jsou vždy kolmé k vrstevnicím, svou polohou označují směr spádu a svou šířkou a rozstupem příkrost sklonu.

Kreslířské šrafy jsou pouze schematické a bez geometrické hodnoty, mají různou délku a zakřivení, na mírných svazích jsou delší a řidší, v místech o větším sklonu jsou kratší, hustší a zkřížené. Proto se jim někdy říká **křížové šrafy**. Nevypovídají nic o skutečných výškových poměrech.



Obr. 3 Kreslířské šrafy z I. vojenského mapování.

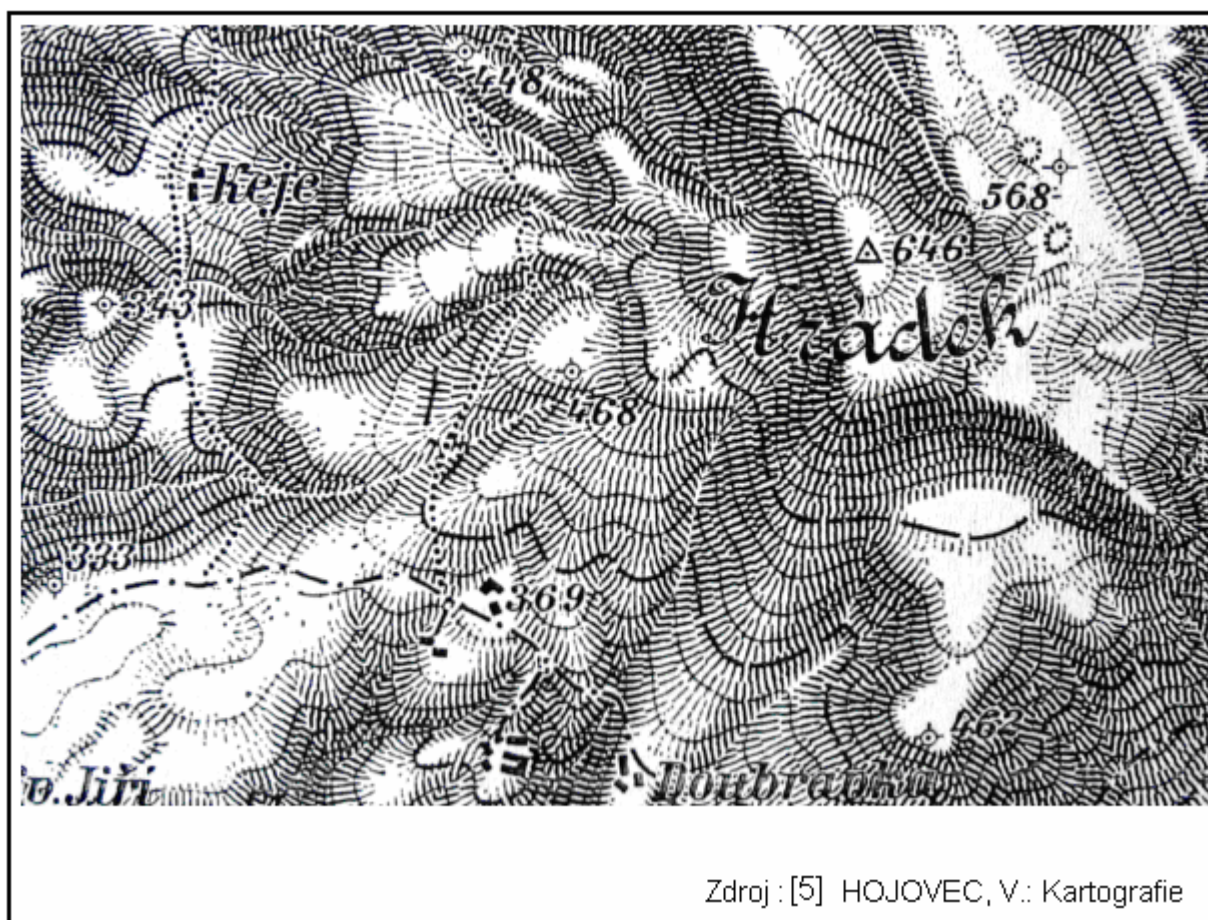
Krajinné šrafy zobrazují jen značně generalizovaný stav terénních tvarů, ale nezatažují ostatní vyjadřovací prostředky mapy.



Obr. 4 Krajinné šrafy.

Sklonové šrafy jsou první šrafy, které mají svůj geometrický význam. Vycházejí z předpokladu svislého osvětlení terénu. Na různě skloněné plochy dopadá různé množství světla. Na svislou plochu nedopadají žádné paprsky, je tedy černá a na vodorovnou plochu dopadne maximum paprsků, je tedy bílá. Určí se stupnice a pro každý stupeň se zvolí určitý tón šedé barvy mezi bílou a černou. Matematickou podstatu dal těmto šrafám saský kartograf Lehmann (1797), proto se jim též říká **Lehmannovy šrafy**. V této tónovací metodě se hřbetnice a jejich vodorovné okolí jeví díky svislému osvětlení jako bílé plochy.

$$\frac{\text{stín}}{\text{světlo}} = \frac{\text{tloušťka šrafy}}{\text{šířka mezery}} = \frac{\alpha^\circ}{45^\circ - \alpha^\circ}$$



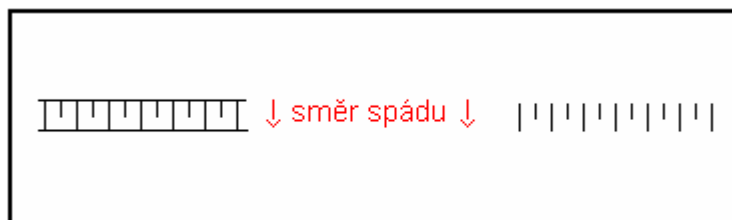
Obr. 5 Lehmannovy šrafy.

Stínované šrafy využívají kombinace sklonových šraf a stínování, kresba šraf se na zastíněných místech ztmavuje a na osvětlených místech zesvětluje.

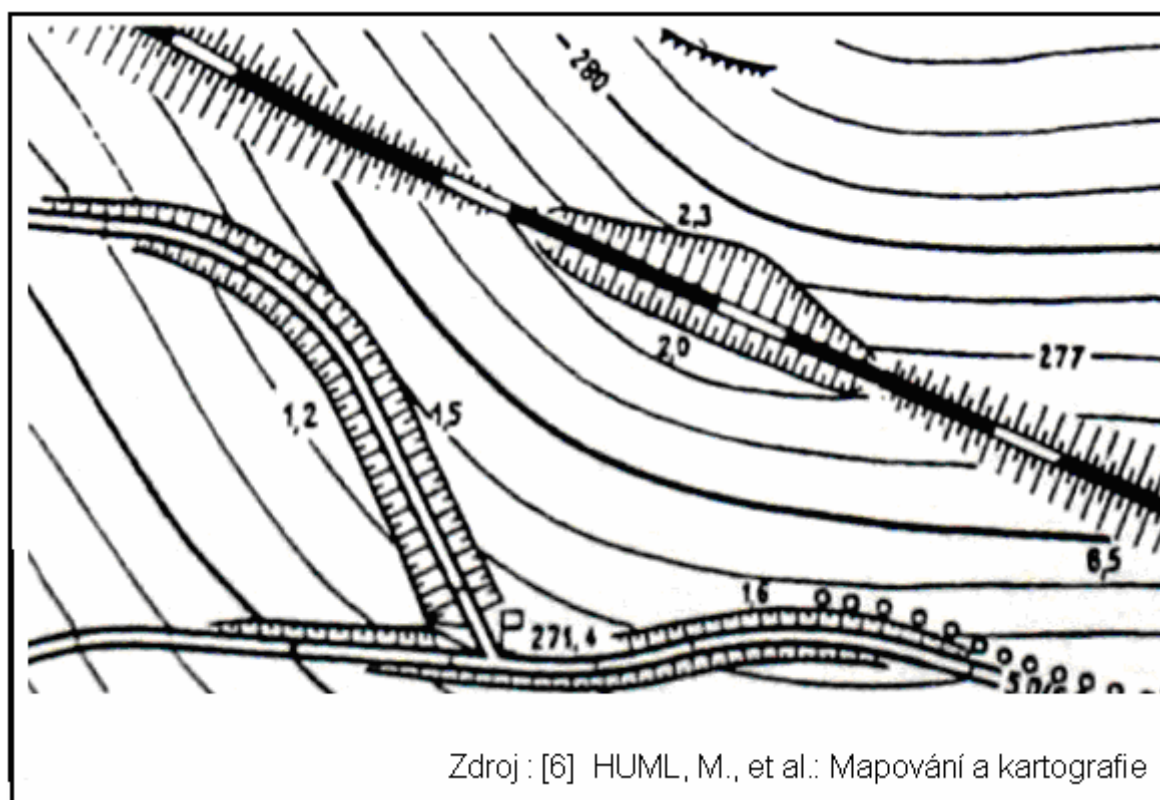
Všechny tyto způsoby šrafování, které byly zpracovány podle [5], jsou náročné na zhotovení, velmi zatěžují mapu a snižují její vyjadřovací schopnost pro ostatní informace, jako jsou polohopis a popis. Proto se již nepoužívají.

Technické šrafy jsou tvořeny střídavě krátkou a delší čárkou ve směru spádu a vyznačují protáhlé terénní útvary strmého spádu (hráze, strže, rokliny, příkopy atd.), používají se v mapách velkých a středních měřítek. Podle [1] se dělí na spojené a nespojené technické šrafy:

- **spojené** jsou spojeny hranou (horní, někdy i dolní) a značí ostrou hranu strmého spádu, je možno přidat okótování hrany nebo jen relativní převýšení terénního stupně;
- **nespojené** nejsou spojeny žádnou hranou a značí zaoblenou a tím nevýraznou hranu.



Obr. 6 Spojené (vlevo) a nespojené technické šrafy.



Obr. 7 Praktická ukázka technických šraf.

Technické šrafy se dnes používají jako doplňující způsob znázorňování strmých protáhlých svahů, kde by vrstevnicové vyjádření bylo nepraktické a nepřehledné.

Použití šraf na mapách

Kreslířské šrafy byly použity na mapách I. vojenského mapování. Pomocí sklonových šraf se výškopis znázorňoval na mapách II. a III. vojenského mapování. Technické šrafy se používají hlavně v dnešních mapách jako jsou např. SMO5 (Státní mapa 1:5000), ZM10 (Základní mapa ČR 1:10000), TMM (Technická mapa města).

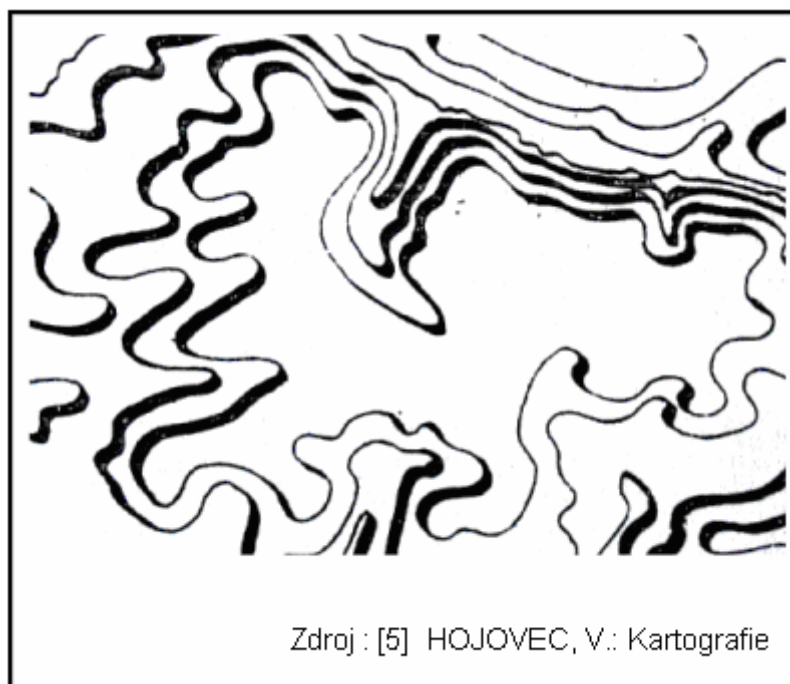
Možnost použití šrafování v GIS

V současné době tato výškopisná metoda nejde na počítačích vytvářet. Ale vyvíjejí se již některé způsoby vyhotovování šraf právě pomocí počítačů, nejsou však ve stádiu, kdy se o nich dá zmiňovat jako o fungujících.

3.2.2 Stínování

Stínování, někdy označováno jako těrkování, je založeno na šikmém osvětlení terénu. Úhel osvětlujících paprsků se volí 45° (na rozdíl od šrafování, kde se předpokládá svislý osvit), takže výsledná mapa vypadá jako plastická. Dříve se provádělo tuhou, křídou, vodovými barvami nebo ředěnou tuší, podle sklonu terénu různou stupnicí odstínů. Tato metoda se používala pro vojenské mapování, byla velmi pracná, ale výsledek vytvářel plastický dojem. Díky šikmému osvětlení jsou hřbetnice dobře viditelné jako zlom bílé (osvětlené) a tmavé (neosvětlené) plochy.

Stínování se může použít pro doplnění vrstevnic a vzniknou tzv. stínované vrstevnice, které vytvářejí plastický vjem terénu.

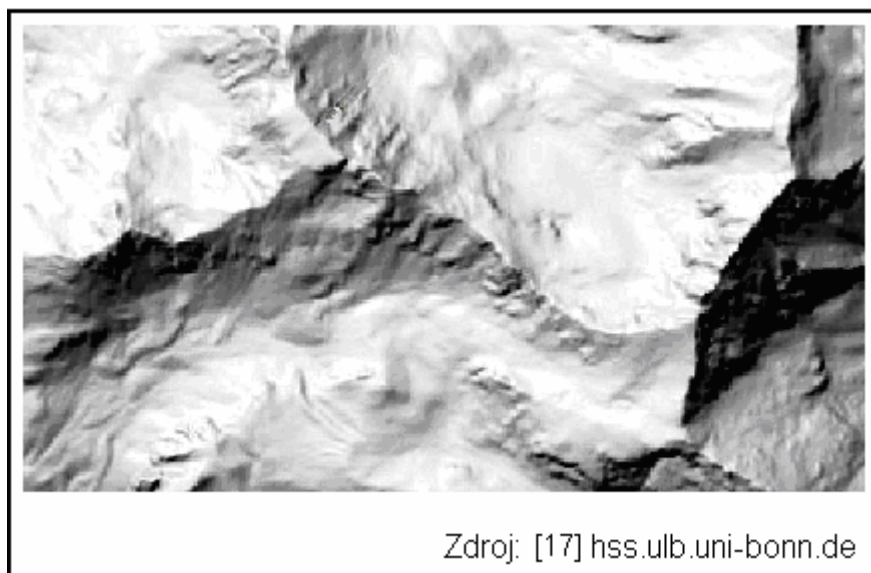


Obr. 8 Stínované vrstevnice.

Stínování, jako ruční nebo mechanická metoda, je pracné a náročné na objektivnost, proto se v této podobě již nevyužívá.

Možnost použití stínování v GIS

V dnešní době se stínování používá v počítačové kartografii, kde počítačový program dokáže sám provést šikmé osvětlení na digitálním modelu terénu. Toto umožňuje program ArcGIS [25], který byl použit pro praktickou část bakalářské práce, nebo např. nekomerční program GRASS [10, 23].



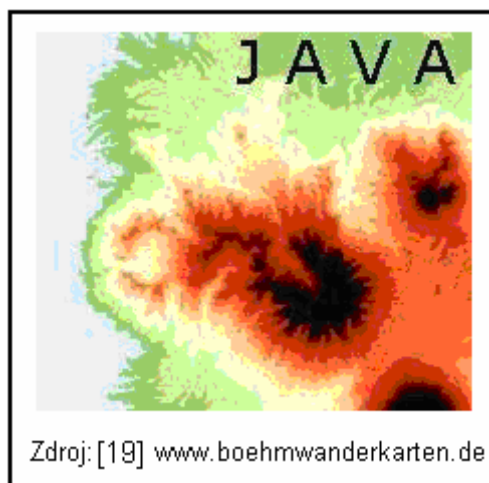
Obr. 9 Počítačové stínování.

3.3 Barevná hypsometrie

Princip barevné hypsometrie spočívá ve vykřívání pruhů ohraničených zvolenými vrstevnicemi podle vhodné barevné stupnice. Intervaly hraničních vrstevnic nejsou stejné, závisejí na měřítku a účelu mapy a hlavně na výškové členitosti zobrazovaného území [5]. Je používána převážně v atlasových a na nástěnných mapách pro střední a hlavně malá měřítká, kde se zobrazuje velké území a není možné použít konstantní interval pro vrstevnice (v horách by byly příliš blízko sebe a v údolích zase příliš daleko od sebe). Proto se volí proměnný interval $i < 0,0003 \times M \times \beta_{\max}$, takže volbou například 10ti sklonů terénu β_{\max} dostaneme 10 různých intervalů (10 různých vrstevnic) a plochy mezi nimi vybarvíme podle určité barevné stupnice. Tato metoda se může kombinovat se stínováním.

Různé stupnice barev:

Hauslab (1864) ctil zásadu „čím vyšší, tím tmavší“ pro dosažení 3D efektu.



Obr. 10 Ukázka barevné stupnice podle Hauslaba.

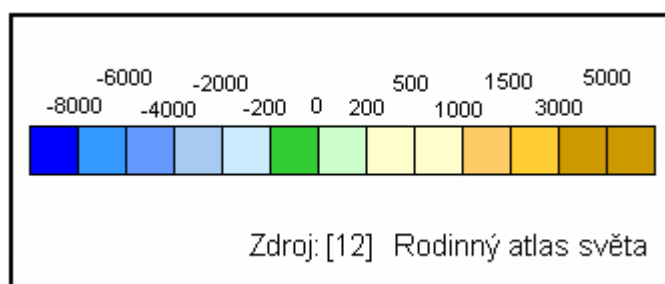
Sydow (součástník Hauslaba) navrhl stupnici barev, které převládají v přírodě (tzv. švýcarská manýra).

Nadmoř. výška	Barva	Krajinný typ
0 - 200	zelená	nížiny
200 - 500	žlutá	pahorkatiny, vrchoviny
500 - 1000	hnědá	hornatiny
nad 1000	tmavohnědá až červenohnědá	hory, velehory

Tab. 1 Barevná stupnice podle Sydowa.

Peucker (1898) vytvořil teorii plastických barev s využitím světelného spektra, kromě okrajových barev (červené a fialové), které se výrazně odlišují od přírodních barev. Peuckerova teorie je založena na trojrozměrném vjemu spektrální řady barev v důsledku změny vlnové délky. Nejnížší místa mají barvu blízké fialové a se vzrůstající výškou barva přechází k opačné straně světelného spektra. Při svislém pohledu na terén se vyšší místa (blíže k pozorovateli) jeví jasněji, proto i v mapě mají zvýšený jas oproti barvám, použitých pro údolí, kde byla k méně sytým barvám ještě přidávána šed'.
 Obrázek barevné hypsometrie podle Peuckera se nepodařilo z dostupných zdrojů získat.

V současné době se volí modré barvy pro moře (čím hlubší, tím tmavší), zelené barvy pro níže položené pevninské oblasti, s přechodem přes žlutou, hnědou až červenohnědou pro výše položená a neplodná území.



Obr. 11 Hloubkové a výškové stupně v metrech pro současné použití.

Volba intervalů hraničních vrstevnic se volí podle četnosti jednotlivých výšek v zobrazovaném území. Výška -200 metrů se musí volit vždy, protože označuje pevninský šelf v mořích.

Barevné stupnice byly zpracovány a doplněny podle [5].

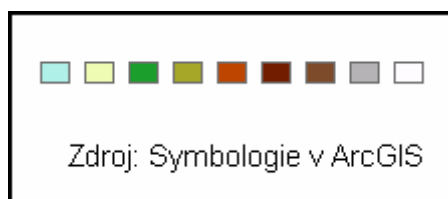
Použití barevné hypsometrie na mapách

V historii se tato metoda použila např. u mapy Moravy z roku 1888 podle Schobera. Dnes se používá převážně v atlasech a na nástěnných mapách malého měřítká.

Možnost použití barevné hypsometrie v GIS

Toto je v GIS jednoduše řešitelný způsob, kdy stačí pouze obarvit DMR pomocí různé stupnice barev na různém počtu intervalů. Intervaly se mohou volit ručně (např. po 10m), nebo je převzít z některého atributu.

V praktické části bakalářské práce byla v programu ArcGIS použita barevná hypsometrie, která se nejvíce podobá Peuckerově stupnici. Má 9 barevných pásů, které připomínají skutečné výškové rozložení v krajině. Od světle modré (jako vodní plochy) přes zelenou (nížiny) a hnědou (hory) až po šedou a bílou (sněhová pokrývka nejvyšších vrcholů).



Obr. 12 Hypsometrie v ArcGIS.

Absolutní stupnice byla zvolena i přesto, že výšky jednotlivých terénních tvarů jsou relativní, protože každý tvar je tvořen různým počtem vrstevnic. Hlavním důvodem byla vhodnost použití společné barevné stupnice pro všechny tvary pro lepší výškovou orientaci. Z toho důvodu chybí údaje o výšce u jednotlivých pásů.

3.4 Kóty

Kóty jsou číselným vyjádřením výšky / hloubky bodů, vrstevnic, převýšení nebo vodních ploch vůči zvolené hladinové ploše.

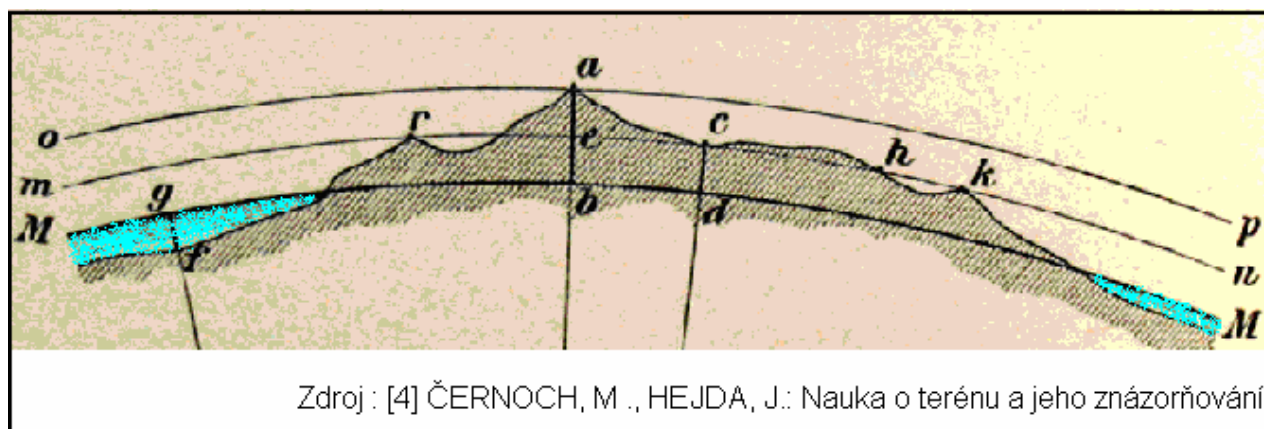
Několik důležitých definic na úvod.

Nulový horizont je zvolená *nulová hladinová plocha*, která je určena jako střední (průměrná) výška mořské hladiny [13].

Skutečným horizontem určitého bodu rozumíme kulovou plochu, jejíž střed splýnul se středem nulové hladinové plochy a která prochází zvoleným bodem. Je to tedy kulová plocha soustředná s nulovou hladinovou plochou, zvanou nulový horizont [13].

Kóty se dělí podle [6] na absolutní a relativní:

- **absolutní** - jsou vztaženy k nulové (základní) hladinové ploše a vyjadřují svislou odlehlost skutečného horizontu od nulového horizontu bodu, označují body geodetických sítí, vrcholy kopců, rozcestí, výšky mostů, kostelů, hlavní vrstevnice, vodní plochy atd. a říká se jim *nadmořské výšky bodů*;
- **relativní** - vyjadřují svislou vzdálenost skutečných horizontů dvou bodů a získají se jako rozdíl absolutních výšek těchto bodů, označují terénní stupně, výšky hrází, příkopů, násypů / výkopů, břehů atd. nad resp. pod okolním terénem a říká se jim *převýšení*.



Zdroj : [4] ČERNOCH, M ., HEJDA, J.: Nauka o terénu a jeho znázorňování

Obr. 13 Absolutní a relativní výšky.

Horizont *MM* označuje mořskou hladinu (nulový horizont), horizont *mn* a *op* označují skutečné horizonty bodů *r*, *a*, *c*, *h*, *k*, *ab* a *cd* označují absolutní (nadmořskou) výšku bodů *a* a *c*, *ae* označuje relativní výšku bodu *a* vzhledem k bodům *r*, *c*, *h* a *k*, které leží všechny na jednom horizontu *mn* a mají tudíž stejnou nadmořskou výšku.

Kóta je nejpřesnější způsob popisu výšky jednotlivých bodů, popř. linií. Toto přesné zachycení se však vždy vztahuje pouze k určitému bodu (resp. linii) a nevypovídá nic o výškových poměrech v okolí daného bodu (resp. linie).

Použití kót na mapách

V současné době se kóty používají u většiny map jako doplňující informace k vrstevnicím pro přesné označení výšek vrcholů, vrstevnic a bodů bodových polí. Byly použity již v mapách II. a III. vojenského mapování a dnes se využívají ve všech mapách zobrazující výškopis: SMO5 (Státní mapa 1:5000), ZM10 (Základní mapa ČR 1:10000), TMM (Technická mapa města).

Možnost použití kót v GIS

Kóty, neboli výškové údaje, se v GIS reprezentují velmi jednoduše. U bodové vrstvy (např. vrstvy bodových polí) se jednoduše přiřadí daná výška do atributové tabulky jednotlivých bodů. Výška vrstevnic se zaznamená stejným způsobem a následný popis vrstevnic se již může provést automatizovaně.

3.5 Vrstevnice

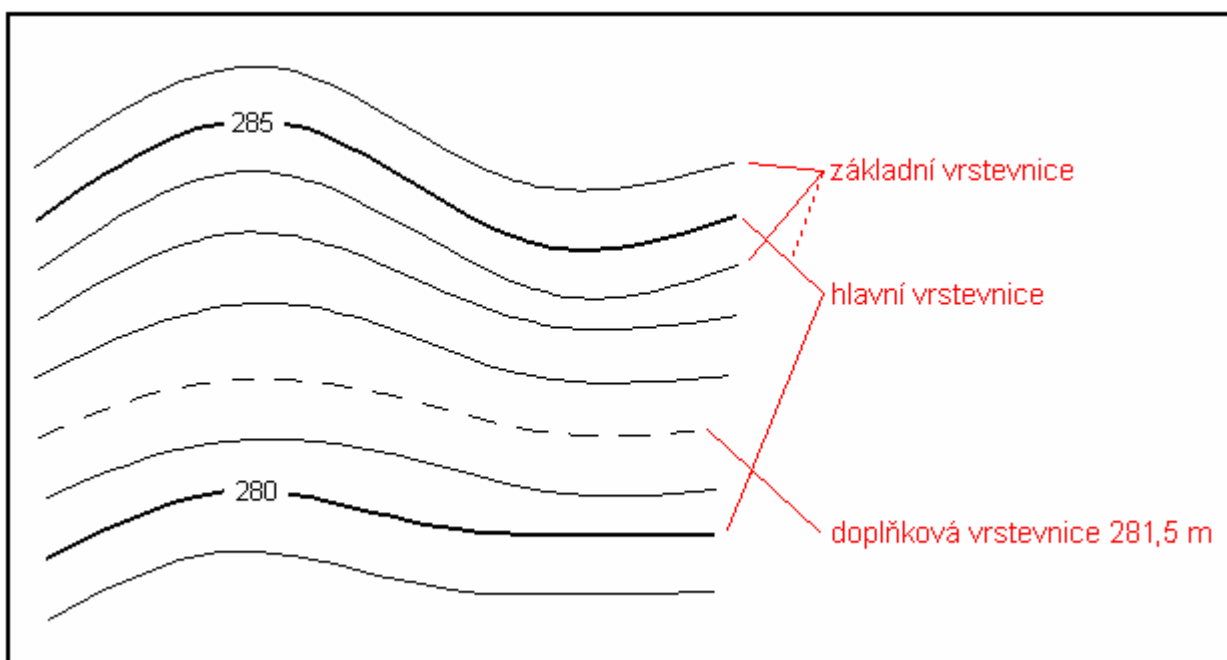
Vrstevnice jsou svislé průměty průsečnic terénního reliéfu s vodorovnými rovinami, které mají pravidelný rozestup od nulové nadmořské výšky [6]. Jednoduše řečeno to jsou křivky ležící na terénu, spojující body o stejné nadmořské výšce.

Vodorovné roviny mají zpravidla jednotný rozestup (interval vrstevnic), který určuje tzv. základní vrstevnice. V některých případech je zapotřebí interval poloviční nebo dokonce čtvrté, tím vzniknou doplňkové vrstevnice, které se vykreslí čárkovaně. Interval vrstevnic je tedy výškový rozestup jednotlivých hladinových ploch, které protínají terén. Je volen jako $M/5000$, kde M je měřítkové číslo. Např. pro mapu 1:10000 je $i = 10000/5000 = 2\text{m}$. Pro určení intervalu v horských

oblastech se používá vztah $i = n \times \log(n) \times \text{tg } \beta_{\text{max}}$, kde $n = 0,1 \times M^{1/2}$ a β_{max} je maximální úhel sklonu terénu [5].

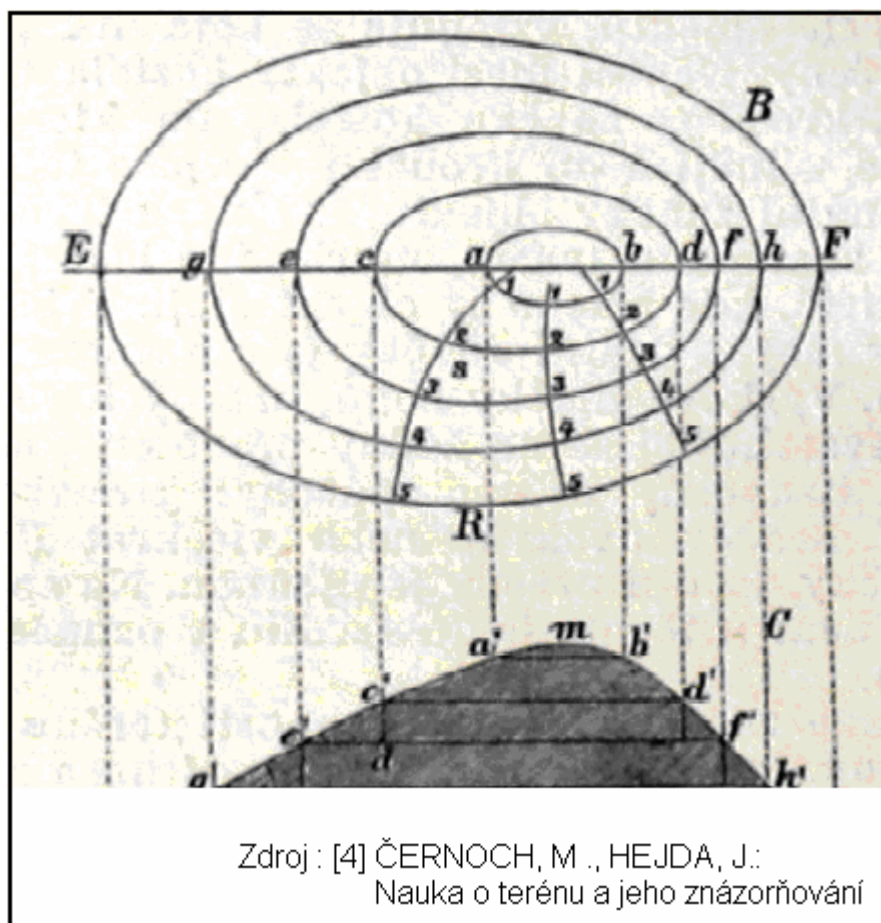
Vrstevnice se dělí na:

- základní - jejich výška je dělitelná intervalem a jsou kresleny slabou plnou čarou;
- hlavní - jejich výška je k-násobkem intervalu, kde k je většinou voleno 5, tedy každá pátá vrstevnice je hlavní a v mapě je vykreslena plnou zesílenou čarou a je většinou okótována;
- doplňkové, pomocné - jsou vrstevnice, které se používají v rovinnatých oblastech a mají poloviční resp. čtvrtěční interval, jsou vyznačeny čárkovaně resp. čerchovaně;
- horizontály - jsou vrstevnice o libovolné výšce, ohraničují vodorovné plochy jako stojaté vodní plochy, specifické plochy terénních tvarů apod., jsou vyznačovány čárkovaně.



Obr. 14 Rozdělení vrstevnic.

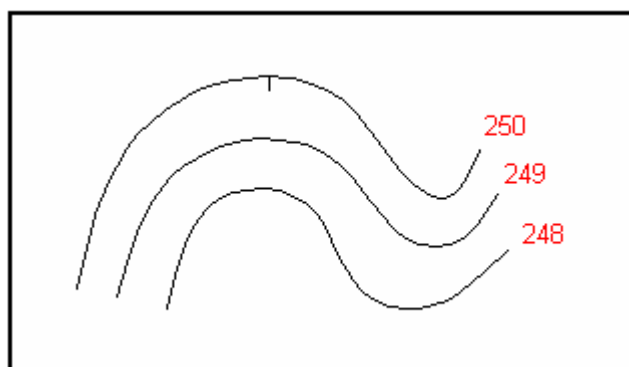
U ploch s větším sklonem terénu jsou vrstevnice blíže k sobě než u ploch méně svažitéch. Znázornění zvyšujícího se sklonu se provádí přibližováním vrstevnic.



Obr. 15 Přibližování vrstevnic.

Pro dobrou čitelnost mapy by však měl být minimální rozestup jednotlivých vrstevnic v mapě 0,2 - 0,3 mm. Pokud by byly blíže, již by opticky splývaly. Pak se musí zvolit jiný interval, nebo pokud je to jen lokální problém, některou vrstevnici v daném místě vypustit. Naopak maximální rozestup je 10 cm. Jestliže by vrstevnice měly být od sebe vzdáleny ještě více, musí se vykreslit doplňková vrstevnice.

Pro snadné určení směru spádu se používá spádovka. Je to krátká čárka, kolmá na vrstevnici.



Obr. 16 Spádovka.

Použití vrstevnic na mapách

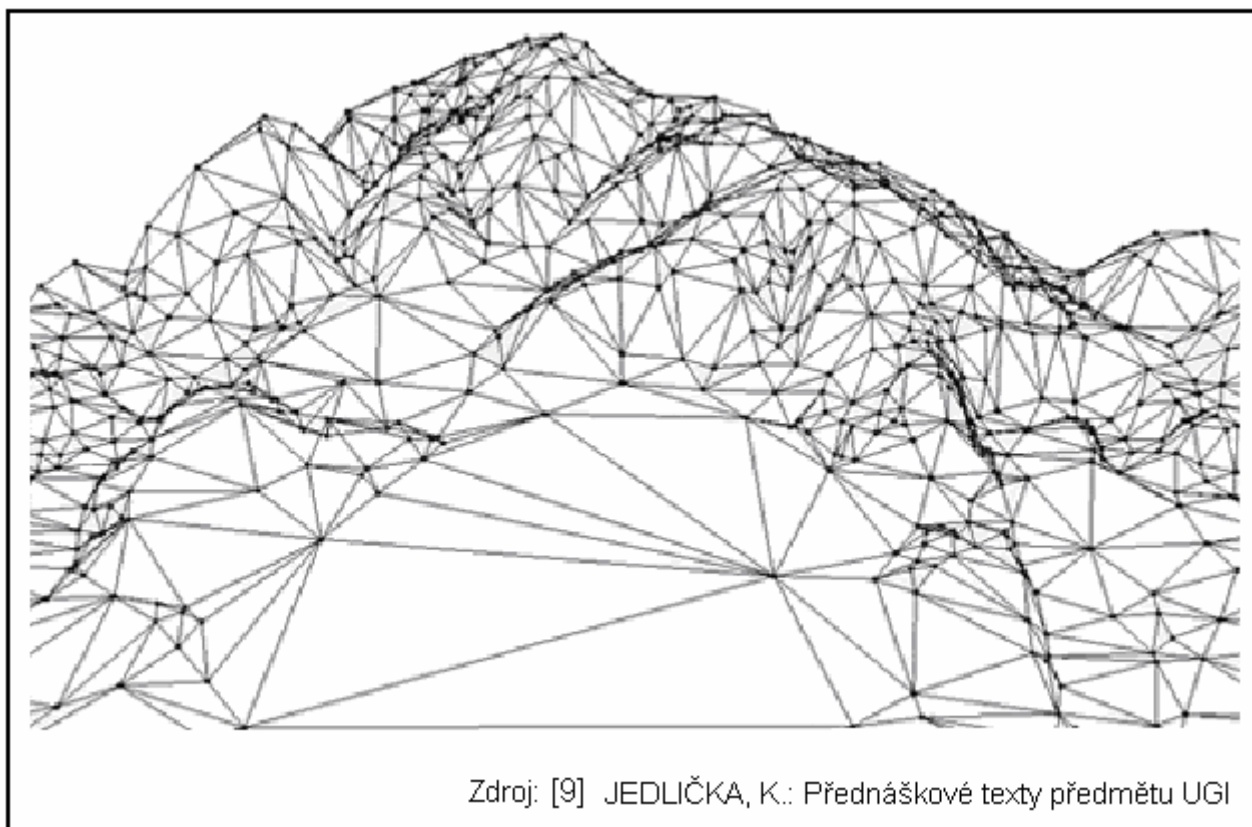
Vrstevnice jsou v dnešní době nejčastěji používaným způsobem pro znázornění třetího rozměru na mapách. Jsou to např. SMO5 (Státní mapa 1:5000), ZM10 – ZM200 (Základní mapa ČR 1:10000 – 1:200000), TMM (Technická mapa města), ZABAGED (Základní báze geografických dat).

Možnost použití vrstevnic v GIS

Jak je vidět z praktické části bakalářské práce, vrstevnice se v GIS dělají dnes již běžně. A to buď digitalizací naskenované vrstevnicové mapy, ručním kreslením v programu nebo automatizovaným způsobem. Toto automatické vyhodnocení vrstevnic z leteckých snímků dokáže např. sada nástrojů Leica Photogrammetry Suite [22].

3.6 GIS metody - rastry

Rastrem se označuje taková datová struktura, která je složena z buněk různých vlastností. Tvar je čtvercový, trojúhelníkový či hexagonální a dále rozdělení buněk může být pravidelné a nepravidelné. Pro popis terénu je nejvhodnější použít rastr trojúhelníkový a nepravidelný. V něm je každému vrcholu o souřadnicích x, y přiřazena funkční hodnota z - výška. Jednotlivé trojúhelníky pak implicitně obsahují údaje o svém sklonu a směru tohoto sklonu. Takovýto rastr se označuje TIN (Triangulated Irregular Network – nepravidelná trojúhelníková síť). Výhodou tohoto typu rastru je mnohem lepší reprezentace nehomogenního zemského povrchu. Na úkor tomu je však algoritmická a výpočtová náročnost při jejich zpracování. Tento způsob znázornění výškopisu byl použit i v praktické části práce k trojrozměrnému zobrazení terénních tvarů. Převzato z [9].

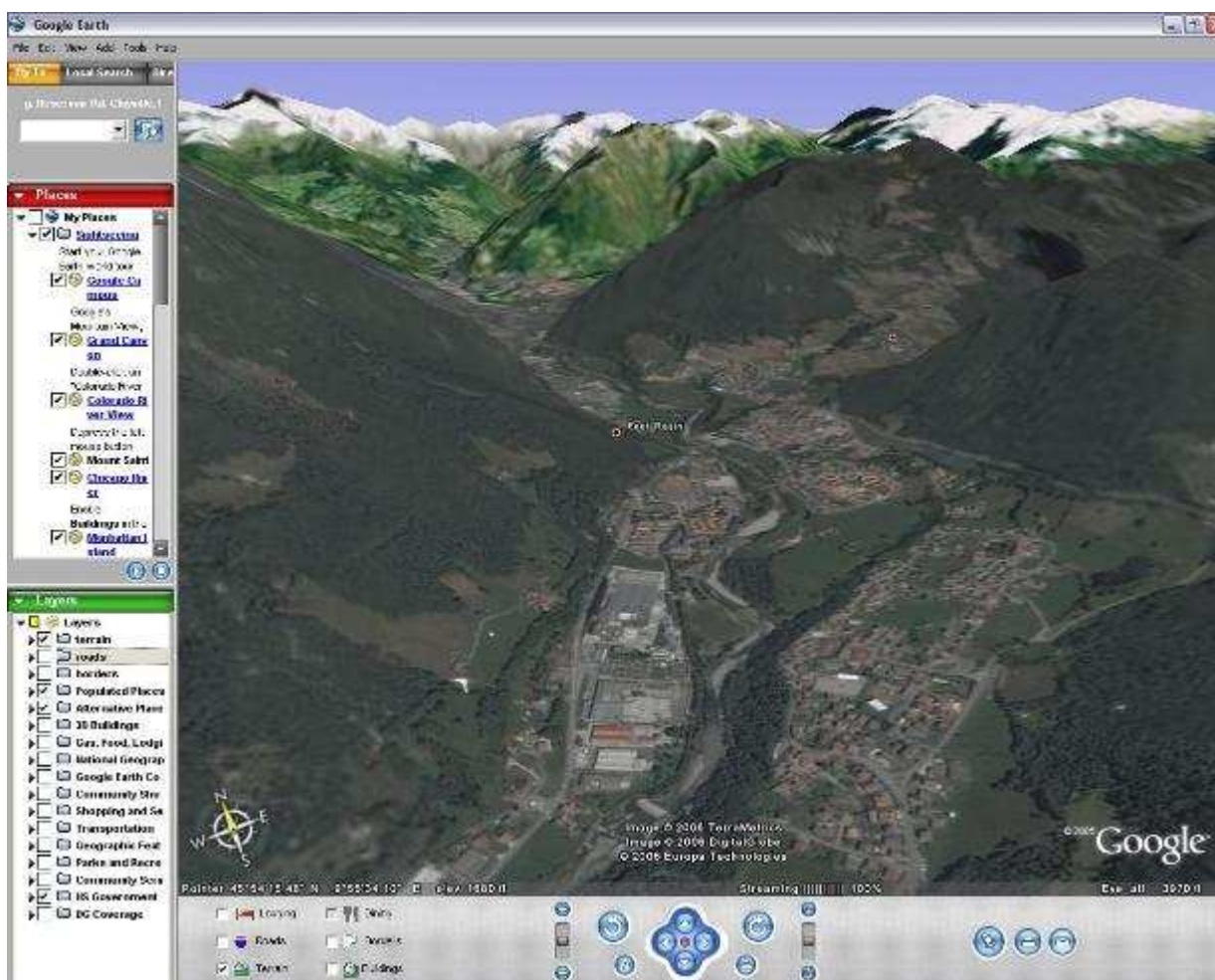


Zdroj: [9] JEDLIČKA, K.: Přednáškové texty předmětu UGI

Obr. 17 Zobrazení TIN ve 3D.

3.7 3D průletové mapy

Tyto mapy patří mezi nejmodernější způsob znázornění výškopisu, který maximální měrou využívá moderní technologie jako GPS (družicový systém), internetové prohlížení aj. Jedná se o vizualizaci rastrových map. Jedním z představitelů těchto map je **Google Earth** [21]. Jde o glóbus Země s možností libovolné manipulace, zapínání mnoha různých vrstev (správní hranice, vodstvo, popis, 3D budovy, terén, odkazy na internetové stránky a mnoho dalších), prolétávání libovolného území jakoby z letadla, vyhledávání měst, států či jiných území nebo míst, apod.



Obr. 18 Náhled v programu Google Earth na oblast v Severní Americe.

Možnost použití 3D průletových map v GIS

Samotné průletové mapy již mají některé GIS funkce. Jsou ale konstruovány pouze k prohlížení, ne však k doplňování a správě dat, tak jako u plnohodnotných GIS programů. Přesto je to nejmodernější způsob vyhotovování a zobrazování map, který umožňuje propojení mnoha dalších nemapových informací do jednoho celku.

4. Rozbor terénního reliéfu

4.1 Vznik a vývoj Země

Než se začne terénní reliéf zkoumat a popisovat, je třeba si uvědomit, jak vlastně vznikl a jak se vyvíjel až do dnešní podoby. Touto oblastí se zabývá nauka zvaná **geomorfologie**, která patří do skupiny věd fyzické geografie. Geomorfologie je věda, která studuje vznik a vývoj tvarů zemského povrchu (reliéfu) jako složky fyzickogeografické sféry [8]. Faktory, které působily a stále působí na utváření celého zemského povrchu, se dělí na dvě základní skupiny – endogenní a exogenní procesy.

Endogenní (vnitřní) procesy mají svůj původ v nitru Země. Tyto síly vytvářely hlavní tvary povrchu horotvornými a pevninotvornými pohyby, sopečnou činností a zemětřesnými jevy. Takto vznikala velká a hrubá kostra s různorodým složením. Procesy spojené s vnějšími silami mohou být dlouhodobého působení (např. vyzdvižení pohoří apod.), nebo působení rychlého (např. výbuch sopky, zemětřesné sesuvy půdy atd.). Při těchto procesech vznikají tzv. morfostruktury.

Exogenní (vnější) procesy se projevují modelováním tvarů, vzniklých vnitřními silami. Vznikají tak z hlediska topografie tvary ustálené (výsledné). Patří sem vliv Slunce, gravitace (např. sesouvání materiálu po svazích dolů apod.), mechanické a chemické zvětrávání (rozpad hornin a následný transport), činnost vody, větru a ledovců. Tyto síly mají charakter rušivý (eroze různého původu), přenosový (transport) a tvořivý (akumulace - usazování).

Endogenní a exogenní procesy byly zpracovány podle [8, 3].

4.2 Rozbor dílčích (elementárních) ploch

Rozdělení elementárních ploch bylo převzato z [1].

Dílčí plochou se rozumí část povrchu omezená ve svislém směru dvěma horizontálami a ve směru vodorovném dvěma spádovými čarami. Tyto křivky se volí tak, aby se průběh vzniklých ploch dal jednoznačně popsat.

Dílčí plochy se posuzují ve směru:

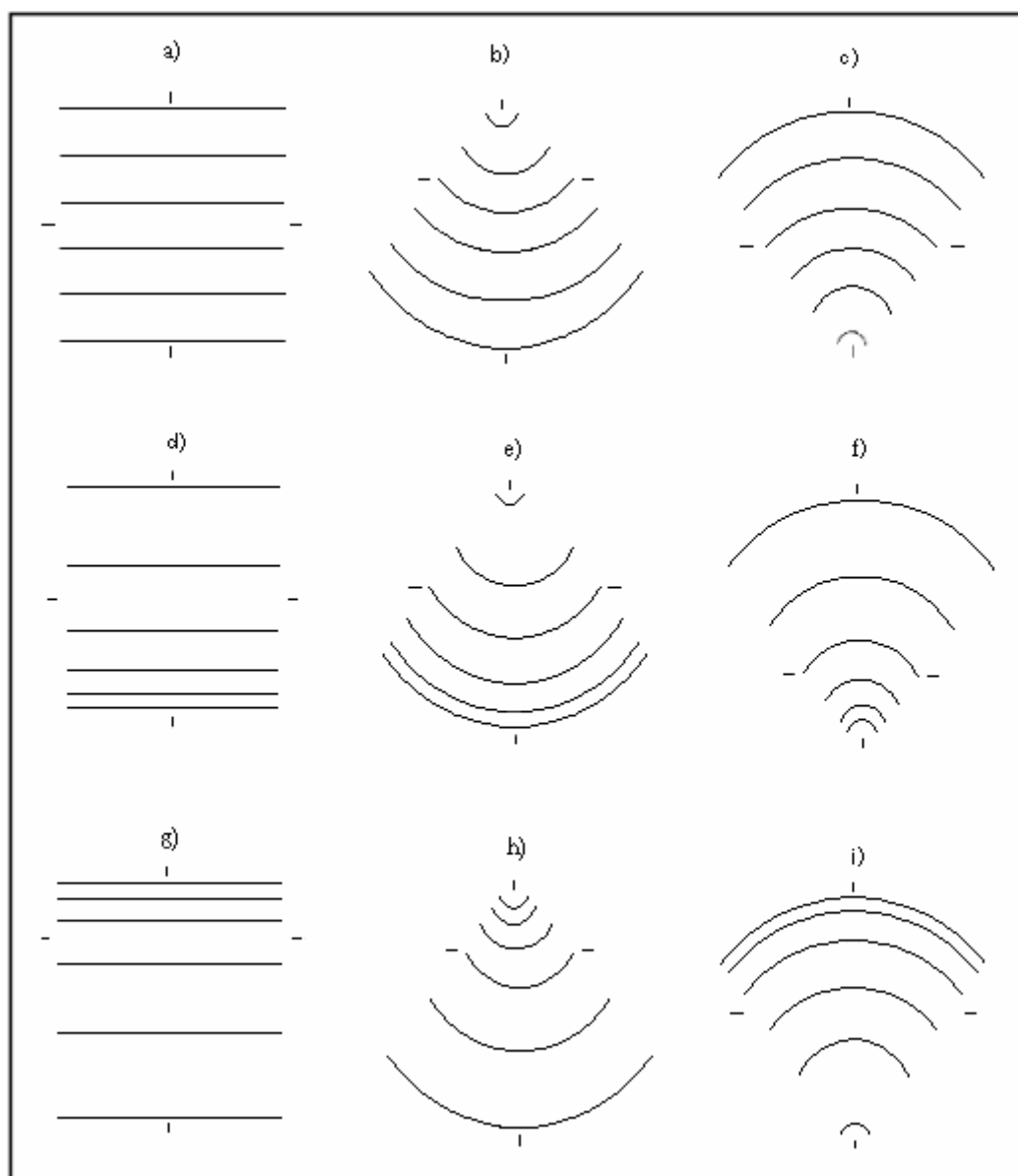
svislém (podél spádnic) - průběh plochy v tomto směru je se sklonem:

- stejnoměrným - rozestup vrstevnice je stejný;
- přibývajícím - rozestup vrstevnic se ve směru spádu plynule zmenšuje (vrstevnice se navzájem přibližují);
- ubývajícím - rozestup vrstevnic se ve směru spádu plynule zvětšuje (vrstevnice se navzájem oddalují);

vodorovném (podél vrstevnic) - průběh plochy v tomto směru je:

- rovný - vrstevnice jsou přímé;
- vypuklý - vrstevnice jsou vybíhající ve směru spádu;
- vhloubený - vrstevnice jsou vbíhající ve směru spádu.

Výsledné elementární plochy jsou pak kombinací výše uvedených způsobů:



Obr. 19 a) – 19 i) Přehled elementárních ploch.

Plocha rovná stejnoměrného sklonu - vrstevnice jsou přímé a jejich rozstup stejný. Viz obr. 12 a)

Plocha vypuklá stejnoměrného sklonu - vrstevnice vybíhají ve směru spádu a jejich rozstup je stejný. Viz obr. 17 b)

Plocha vhloubená stejnoměrného sklonu - vrstevnice vbíhají ve směru spádu a jejich rozstup je stejný. Viz obr. 17 c)

Plocha rovná přibývajícího sklonu - vrstevnice jsou přímé a jejich rozstup se ve směru spádu plynule zmenšuje. Viz obr. 17 d)

Plocha vypuklá přibývajícího sklonu - vrstevnice vybíhají ve směru spádu a jejich rozstup se ve směru spádu plynule zmenšuje. Viz obr. 17 e)

Plocha vhloubená přibývajícího sklonu - vrstevnice vbíhají ve směru spádu a jejich rozestup se ve směru spádu plynule zmenšuje. Viz obr. 17 f)

Plocha rovná ubývajícího sklonu – vrstevnice jsou přímé a jejich rozestup se ve směru spádu plynule zvětšuje. Viz obr. 17 g)

Plocha vypuklá ubývajícího sklonu – vrstevnice vybíhají ve směru spádu a jejich rozestup se ve směru spádu plynule zvětšuje. Viz obr. 17 h)

Plocha vhloubená ubývajícího sklonu - vrstevnice vbíhají ve směru spádu a jejich rozestup se ve směru spádu plynule zvětšuje. Viz obr. 17 i)

Podrobné obrázky včetně řezů a 3D náhledů jsou přiloženy v příloze A.

Ve všech předchozích případech byl u každé plochy sklon stejný pro všechny spádnice, (kdyby se každá plocha proložila nekonečným množstvím spádnic, všechny řezy v nich by se rovnaly). V terénu se však mnohem častěji vyskytují plochy, kde se sklon ve směru vrstevnic mění. Předchozí pravidla stále platí, ale sklon (řez) na jedné konkrétní ploše je pro různé spádnice různý, stále však stejnoměrný, přibývající či ubývající. Těmto plochám se říká **přechodové plochy** mezi jednotlivými elementárními plochami:

- pro stejnoměrný sklon stále platí konstantní rozestupy, ale tyto rozestupy jsou nyní různé pro různé spádnice (takovéto plochy se vyskytují jako přechody mezi dvěma plochami stejnoměrného sklonu, avšak navzájem sklonu rozdílného – pro představu: vezmou-li se dva listy papíru jako plochy rovné stejnoměrného sklonu a každá se jinak naklopí, vznikne mezi nimi právě tato přechodová plocha);
- pro přibývající sklon se vrstevnice stále směrem po spádnici přibližují, ale nyní s tím rozdílem, že po každé spádové křivce je toto přibližování jinak rychlé (tyto plochy se vyskytují jako přechody mezi dvěma plochami přibývajícího sklonu, avšak navzájem sklonu rozdílného);
- pro ubývající sklon je to podobné, jen s tím, že vrstevnice se po různých spádnicích různě oddalují (tyto plochy se vyskytují jako přechody mezi dvěma plochami ubývajícího sklonu, avšak navzájem sklonu rozdílného).

Stykem těchto ploch, převážně nestejnoměrného sklonu a vypuklého či vhloubeného průběhu, vznikají různorodé ucelené tvary. Pojmem terénní tvary se označují takové tvary, které se v přírodě vyskytují častěji a je proto dobré je určitým způsobem popsat. Tímto popisem se zabývá kapitola 4.3.

4.3 Rozbor terénních tvarů

Rozdělení i popis všech terénních tvarů včetně obrázků byl zpracován podle [1] a [6] a doplněn o autorovy poznámky.

Na každém terénním tvaru se dají pozorovat určité čáry (křivky), které oddělují jednotlivé dílčí plochy. Jsou to tvarové čáry a čáry terénní kostry, které jsou podrobně popsány v kapitole 2.

Znalost těchto křivek je velmi důležitá při mnoha činnostech. Již při měření v terénu hrají důležitou roli při volbě podrobných bodů (z důvodu správné interpretace terénu), při tvorbě polního měřického náčrtu, tak i pro vlastní vyhotovení vrstevnicové mapy.

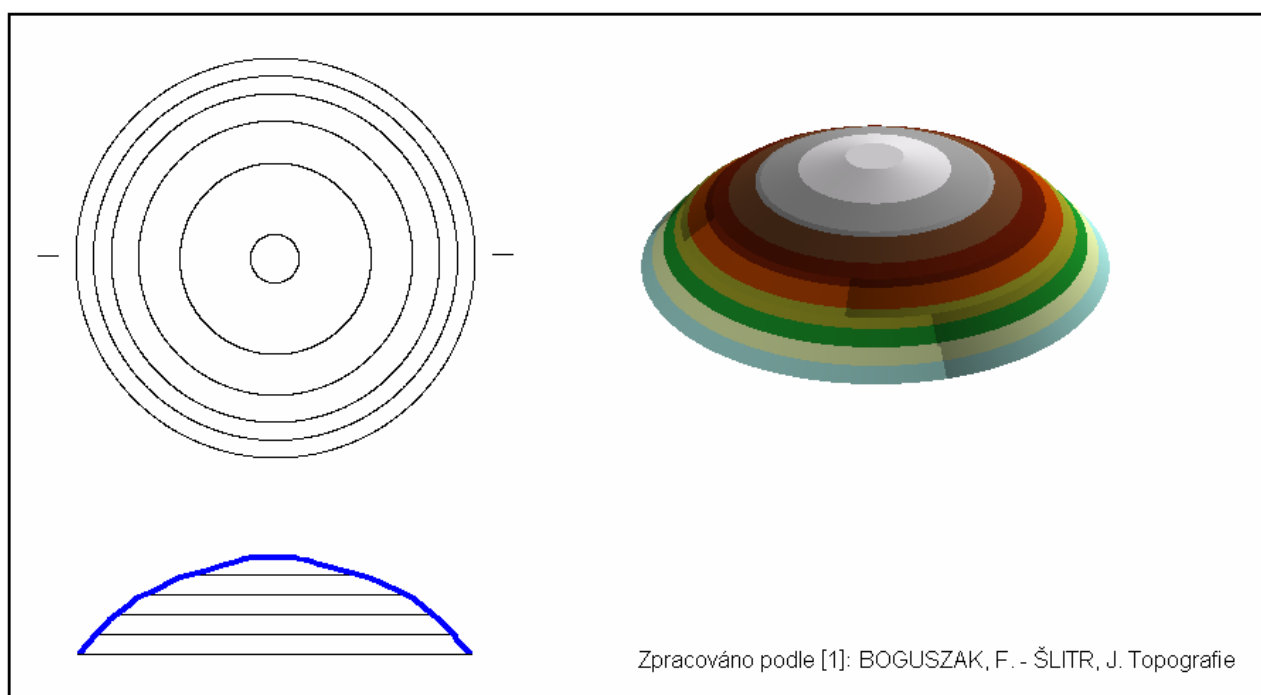
Všechny terénní tvary se rozdělují do dvou skupin, na tvary vyvýšené a vhloubené (snížené). Podle jejich umístění se dále rozeznávají tvary na vrcholové části, na úbočí a úpatí vyvýšeniny a tvary údolní [6].

4.3.1 Tvary na vrcholové části vyvýšeniny

Vrcholová část vyvýšeniny je nejvyšší část vyvýšeniny a její nejvyšší bod se označuje jako vrchol [4].

Kupa

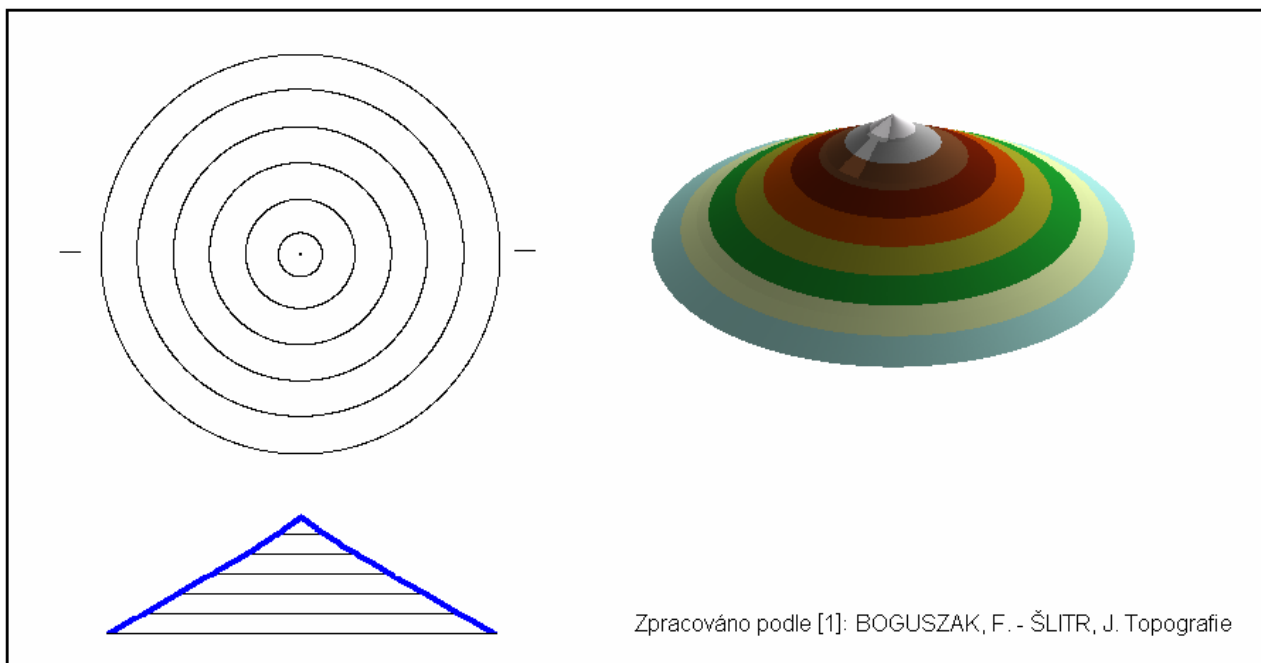
je zaoblený tvar, který je zpravidla zakončen bodem terénní kostry, tzv. vrcholem kupy, nebo malou vodorovnou ploškou. Vrchol kupy se v některých případech (dominantní nebo jinak důležitý bod okolní krajiny) doplňuje výškovou kótou. Pokud jsou přilehlá úbočí různě svažitá, je vrchol kupy vždy blíže k příkřejšímu z obou úbočí. Temeno kupy je ploška mírně skloněná nebo dokonce vodorovná, která se nachází v okolí vrcholu kupy. Toto temeno je ohraničeno tvarovou čarou ve tvaru kruhu, elipsy, nebo je tato čára nepravidelná. Okolí vrcholu se ještě může doplnit doplňkovou (čárkovanou) vrstevnicí, která slouží k lepšímu rozlišení vrcholového tvaru kupy. Kupa je ve většině případů složena z dílčích ploch s přibývajícím sklonem ve směru spádu, z toho plyne, že se vrstevnice směrem od vrcholu plynule přibližují.



Obr. 20 Kupa.

Kužel

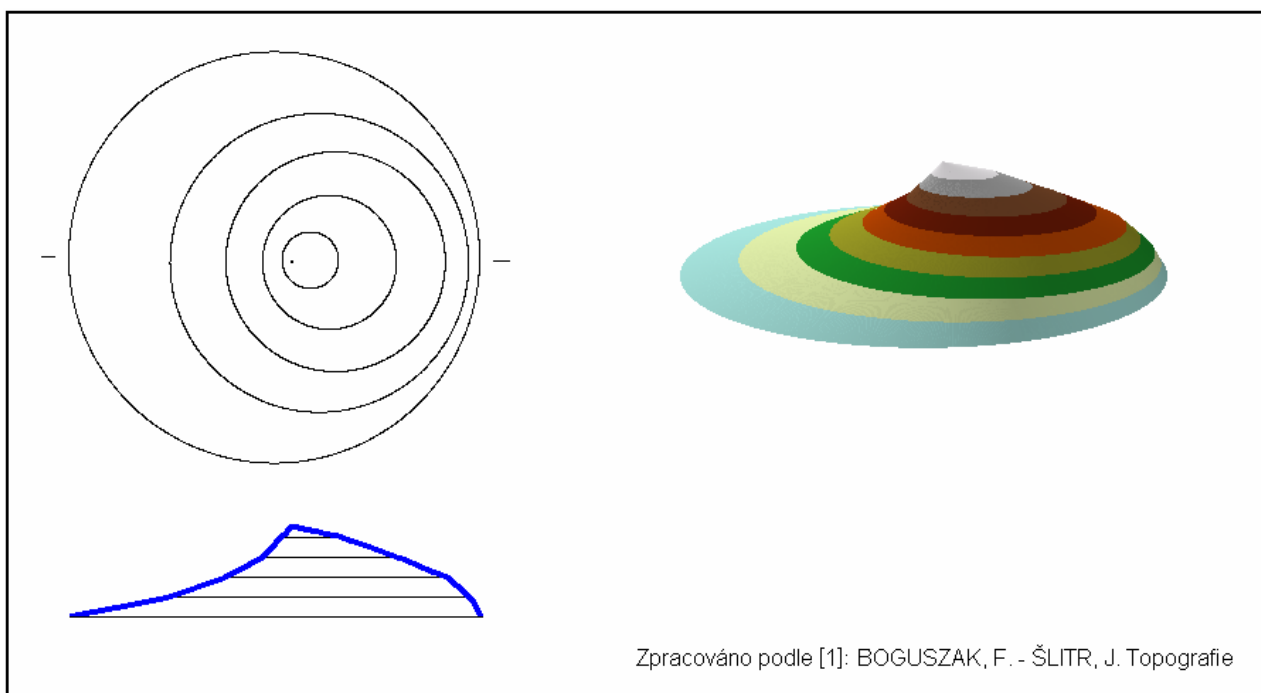
je špičatý tvar, vždy zakončen vrcholovým bodem. Kužel je složen z dílčích ploch stejnoměrného spádu (vrstevnice jsou konstantního rozestupu po celém obvodu kužele) nebo spádu ubývajícího (zde se vrstevnice směrem od vrcholu oddalují). Tento tvar jako přírodní se v naší krajině příliš často nevyskytuje, častěji se vyskytuje jako tvar antropogenní (to jsou tvary umělé, vytvořené činností člověka).



Obr. 21 Kužel.

Roh

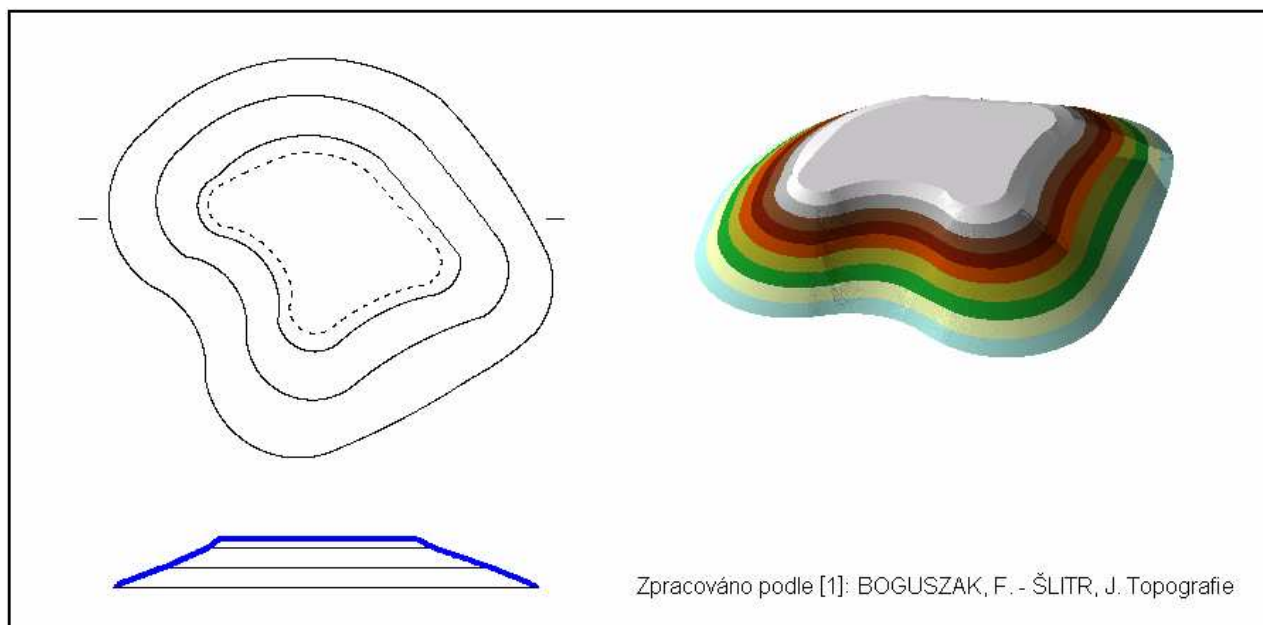
je speciální případ kužele, který je tvořen na jedné straně plochou se sklonem ubývajícím a na protilehlé straně plochou se sklonem přibývajícím (vrstevnice se tedy zákonitě na jednu stranu od vrcholu oddalují a na stranu druhou přibližují).



Obr. 22 Roh.

Plošina

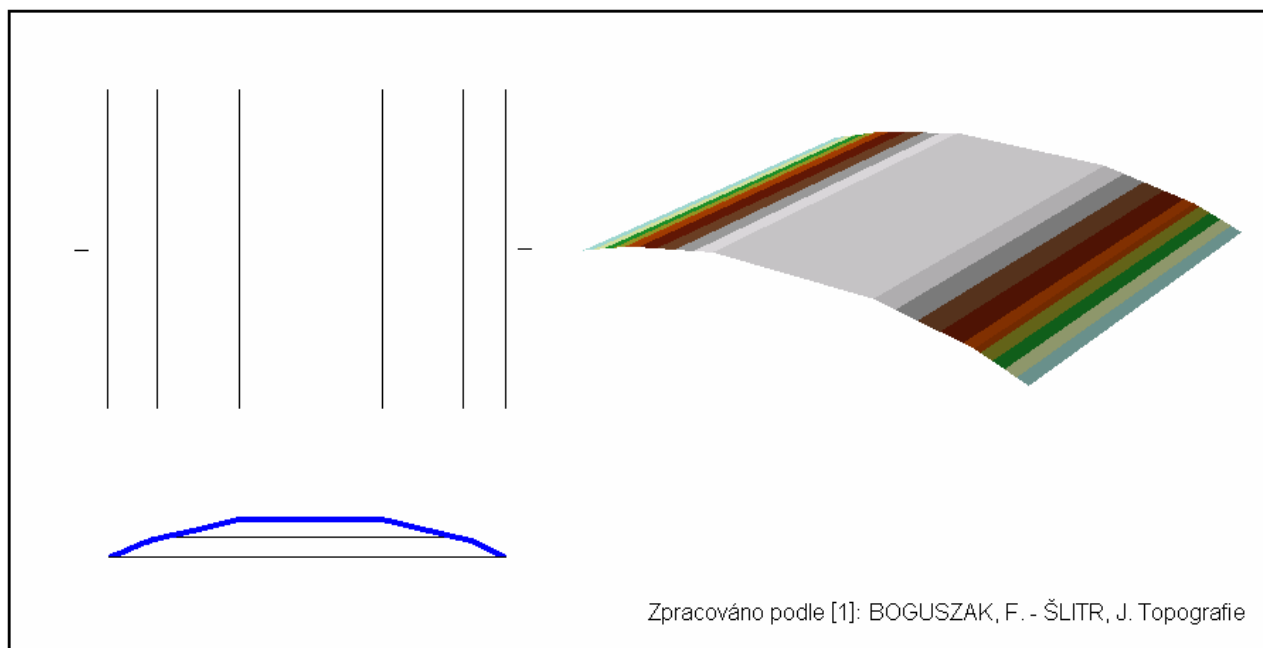
je vystouplý tvar s vodorovným nebo téměř vodorovným temenem rozsáhlejších rozměrů. Tvarová čára vyznačující toto temeno je uzavřená křivka libovolného tvaru, která svým tvarem naznačuje průběh dílčích ploch (rovné, vypuklé, vhloubené), které tvoří úbočí plošiny. Přechod z plošiny do úbočí je převážně náhlý a to buď na hraně ostré nebo zaoblené. Případné nerovnosti na plošině, které jsou menší než základní interval vrstevnic, se vyjádří pomocí doplňkových vrstevnic nebo kótami.



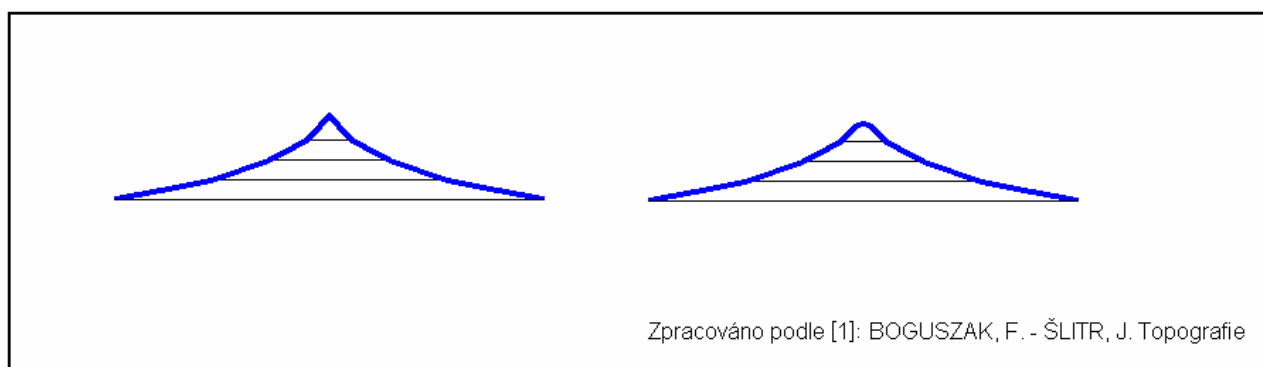
Obr. 23 Plošina.

Vodorovný hřbet

je vyvýšený útvar, protáhlý ve směru hřbetnice. V případě **klenutého** vodorovného hřbetu se na hřbetní čáře stýkají plochy s přibývajícím sklonem, vrstevnice se směrem od hřbetnice přibližují. Tvarovou čáru mírně skloněné plochy kolem hřbetnice reálně tvoří uzavřená křivka (v ukázkovém případě tato křivka není uzavřená, protože se jedná pouze o výřez skutečného vodorovného hřbetu), z jejíhož průběhu lze snadno vyčíst průběh okolních vrstevnic a tím i přilehlých dílčích ploch (rovné, vypuklé, vhloubené), v ukázkovém případě je to průběh rovný. Uzavřenost tvarové čáry na obrázku není patrná, jedná se totiž jen o výřez z celého tvaru. V případě **ostrého** vodorovného hřbetu se stýkají plochy s ubývajícím sklonem, vrstevnice se proto směrem od hřbetnice oddalují. Tvarová čára v tomto případě neohraničuje žádnou plochu, protože hřeben hřbetu je zde ostře vystupující. Pro **tupý** vodorovný hřbet platí to samé jako pro ostrý hřbet, jen hřbetní hrana není ostrá, ale mírně zaoblená.



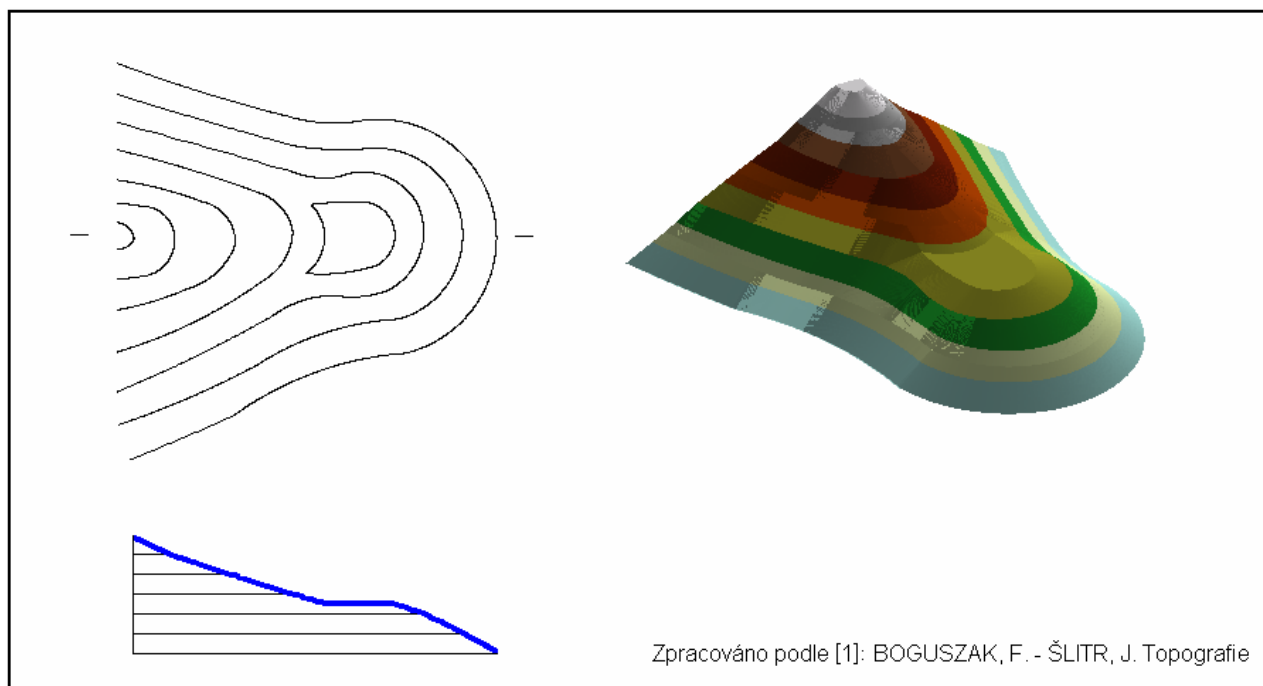
Obr. 24 Vodorovný hřbet – klenutý.



Obr. 25 Řez vodorovného hřbetu: vlevo ostrého, vpravo tupého.

Spočinek

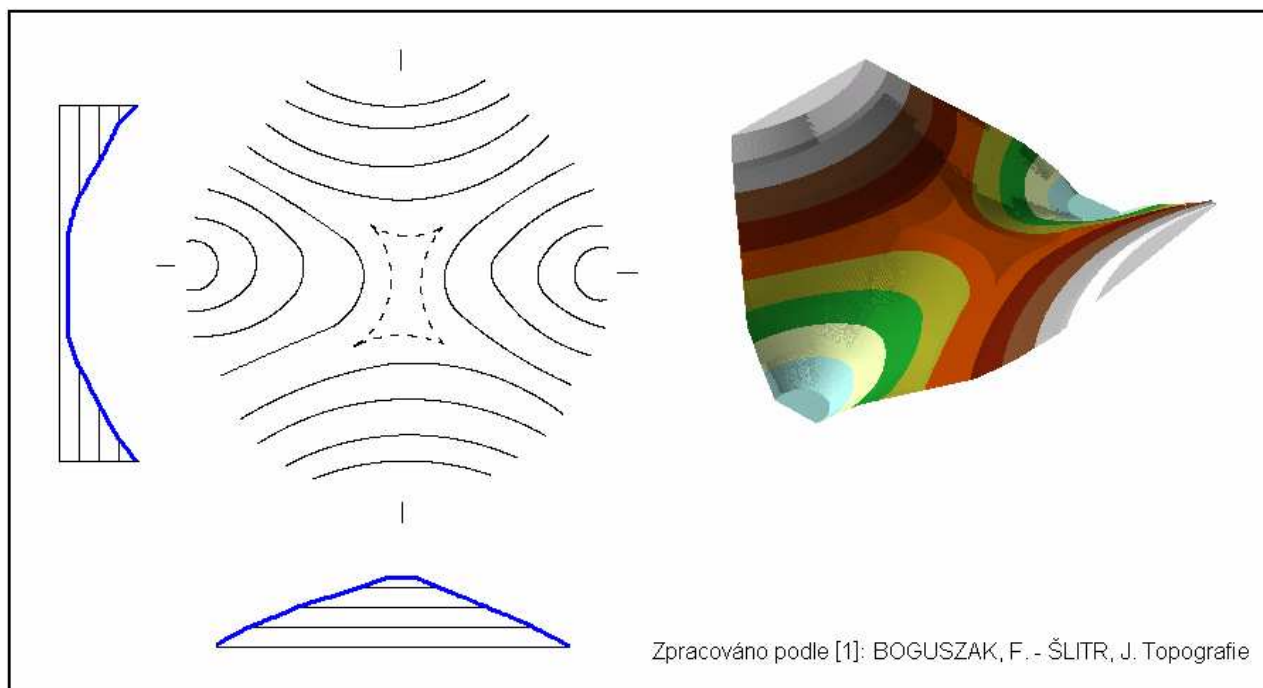
je tvar vodorovný nebo jen málo skloněný, který přerušuje okolní hřbet. Vrstevnice se v tomto místě rozestoupí, před a po ukončení spočinku jsou v pravidelných rozestupech. Přejít ze spočinku do okolí je zpravidla pozvolný a mírný, jen ve výjimečných případech je zaoblený až ostrý. Tvarová čára typická pro spočinek je složena ze dvou křivek, ve směru spádu vypuklých, první část naznačuje vbíhání předcházejícího hřbetu a druhá vybíhání hřbetu následujícího podél hřbetnice, po obou stranách spočinku je tvarová čára většinou vhloubená, takže pak z boků spočinku vybíhají do přilehlých svahů dvě mírná údolí.



Obr. 26 Spočinek.

Sedlo

je prohloubený útvar na hřbetu mezi dvěma svršky vyvýšeniny, ve směru hřbetnice má vhloubený profil, v příčném směru profil vypuklý (vypadá jako koňské sedlo). Z přilehlých vyvýšenin vbíhají do sedla vypuklé plochy a ze sedla vybíhají (přibližně kolmo na hřbetnici) plochy vhloubené – údolí. Tvarovou čarou je čtyřúhelník, který ohraničuje mírně skloněné dno sedla. Podle tvaru tvarové čáry se dělí sedla na pravidelné (podélné - protažené ve směru hřbetnice nebo příčné - protažené ve směru kolmém na hřbetnici) a nepravidelné. Dalším bodem terénní kostry je vrchol sedla, nejnižší místo sedla, které se může doplnit kótou. U pravidelného sedla (podélného i příčného) vybíhají z vrcholu vždy jen dvě vhloubené plochy, které tvoří boční údolí, u nepravidelného sedla může být počet vhloubených ploch libovolný, ale vždy je mezi každými takovými dvěma plochami jedna plocha vypuklá. Tvarovou čáru u pravidelného sedla tvoří pravidelný čtyřúhelník s oblouky vhloubenými od vrcholu sedla. V nestejnorodém území mají plochy uzavírající sedlo nestejný sklon, takže nejhlubší bod není ve středu, ale je posunut k příkřejší, vedlejší ploše. Vrstevnice se ve směru spádu podél hřbetnice oddalují (ze svahů klesá terén do vodorovného dna) a kolmo na hřbetnici (podél vybíhajících údolnic) se vrstevnice přibližují. Okolí vrcholu se vždy upřesňuje dvěma úseky doplňkové vrstevnice.



Obr. 27 Sedlo – pravidelné.

4.3.2 Tvary na úbočí vyvýšeniny

Úbočí vyvýšeniny je část vyvýšeniny, která leží mezi jejím svrškem a úpatím. Tvary, které se nacházejí v této části rozčleňují terénní plochu buď ve směru vodorovném, nebo ve směru spádnic [1].

- **Horizontální členění svahů**

Tvary patřící do této skupiny jsou specifické tím, že je určuje tvar vrstevnic, ne jejich rozestup. Tato skupina se může dále dělit na tvary vyvýšené a snížené.

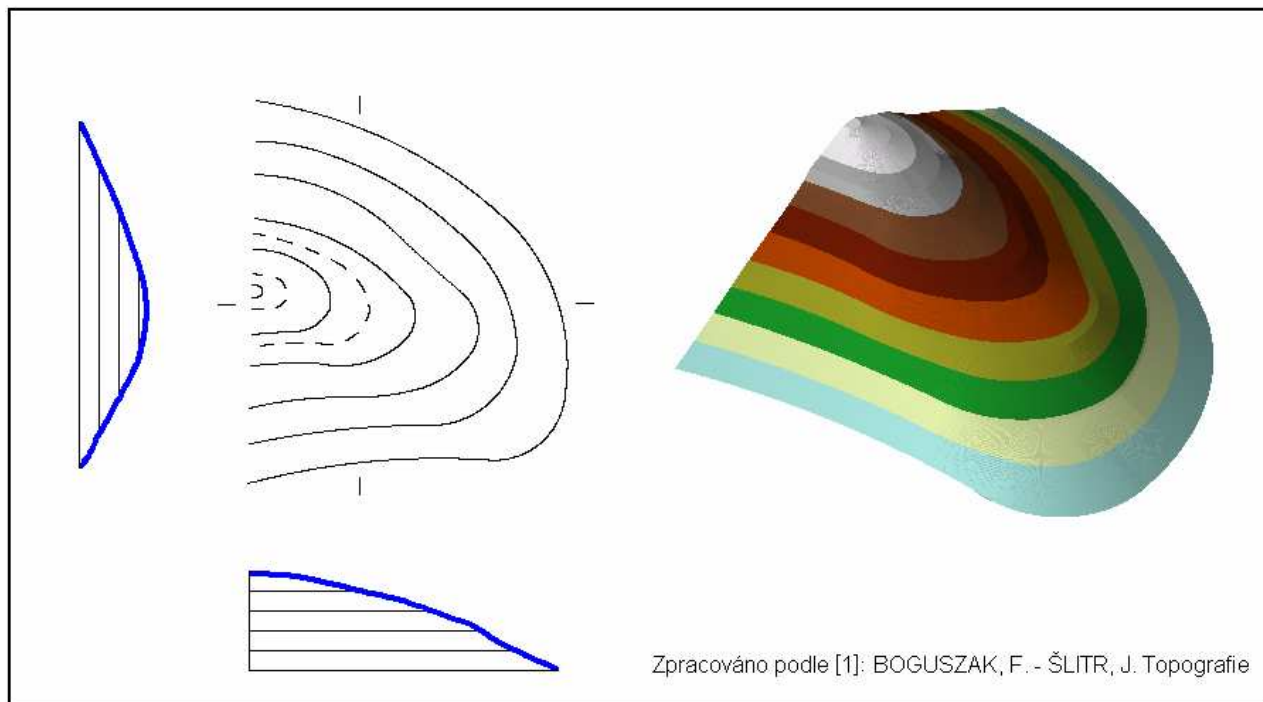
Svahový hřbet

patří mezi tvary vyvýšené. Je tvaru protaženého ve směru spádu podél hřbetnice a leží mezi dvěma údolími. Hřbetnice spojuje nevyšší místa svahového hřbetu a tvoří proto vodní předěl, má ze všech spádnic na této ploše nejmenší sklon a ostatní spádnice se od ní na obě strany rozbíhají. Tento hřbet vzniká stykem dvou ploch a podle tvaru tohoto styku se rozeznávají jednotlivé typy hřbetů:

- **široký** - vrstevnice se na hřbetnici jen zvolna ohýbají, a proto je tato čára v terén téměř neznatelná;
- **normální** - průběh hřbetnice je již lépe rozeznatelný, vrstevnice se na ní již více ohýbají;
- **úzký** - průběh hřbetnice je velmi dobře patrný, vrstevnice se náhle ohýbají a přilehlé svahy jsou skloněny mnohem více, než je sklon hřbetnice;
- **ostrý** - vrstevnice se lomí a vytváří tak zřetelný a ostrý hřbet.

Průběh hřbetní čáry může být přímý (pak jsou vrstevnice po obou stranách hřbetu symetrické), častěji se však vyskytuje zakřivený (pak na jedné straně hřbetu plocha vypuklá

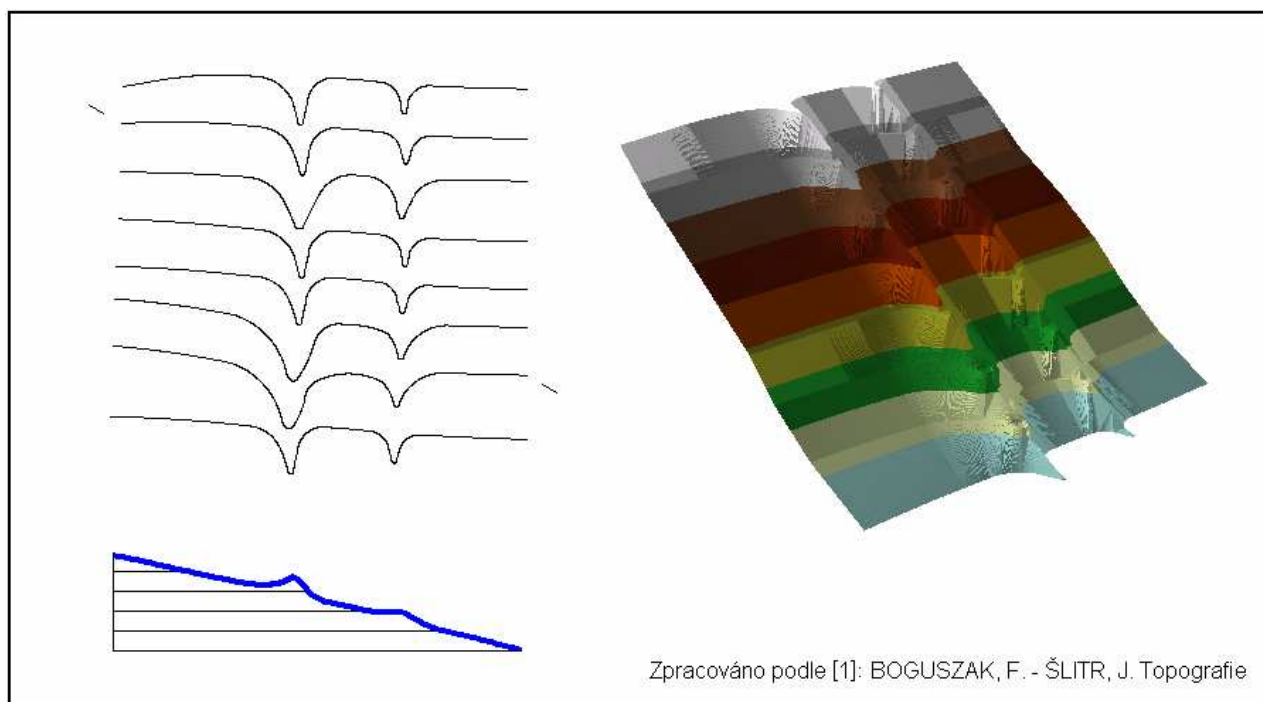
odpovídá ploše vhloubené na straně druhé). Pokud jsou úbočí různě skloněna, leží hřbetní čára blíže k příkřejšímu z nich.



Obr. 28 Svahový hřbet – normální.

Žebro

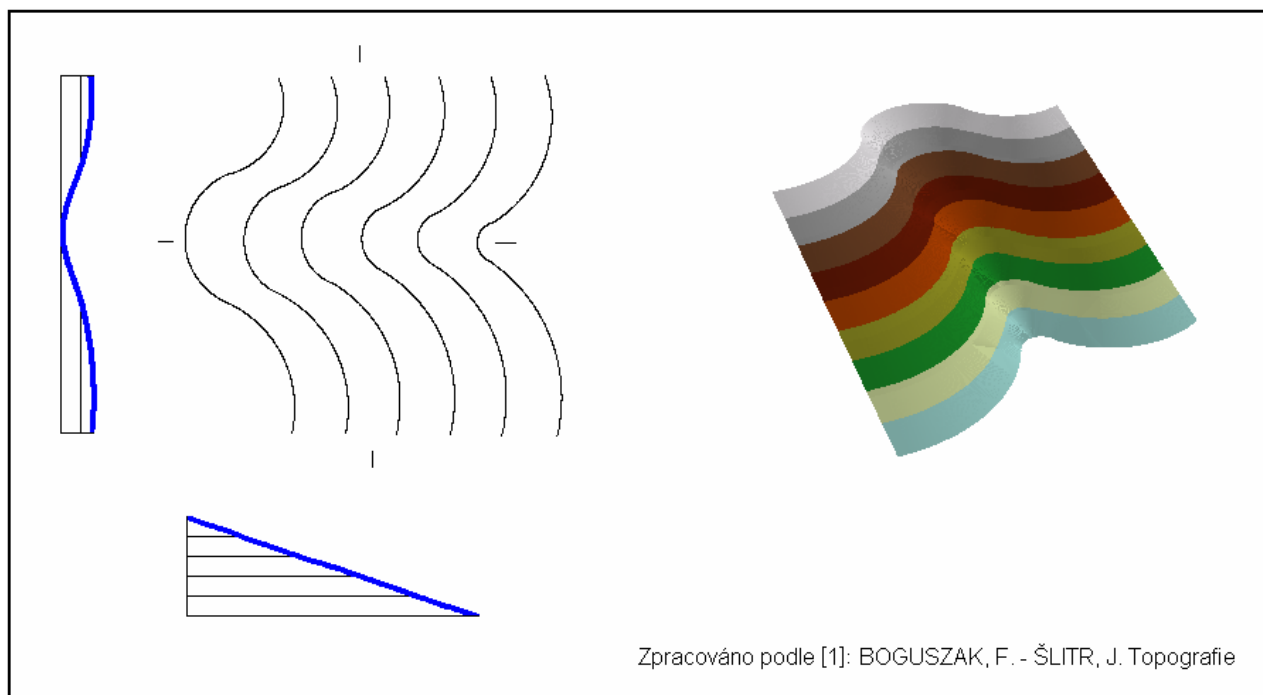
patří mezi tvary vyvýšené. Je to nevysoký výstupek, ve který přechází okolní svah zaoblenou, nebo ostrou hranou a stejně tak ostré je i spojení jeho vlastních úbočí. Je-li žebro tak malé, že se nedá správně znázornit vrstevnicemi, použijí se pro jeho vykreslení mapové značky technických šraf.



Obr. 29 Žebro.

Úžlabí

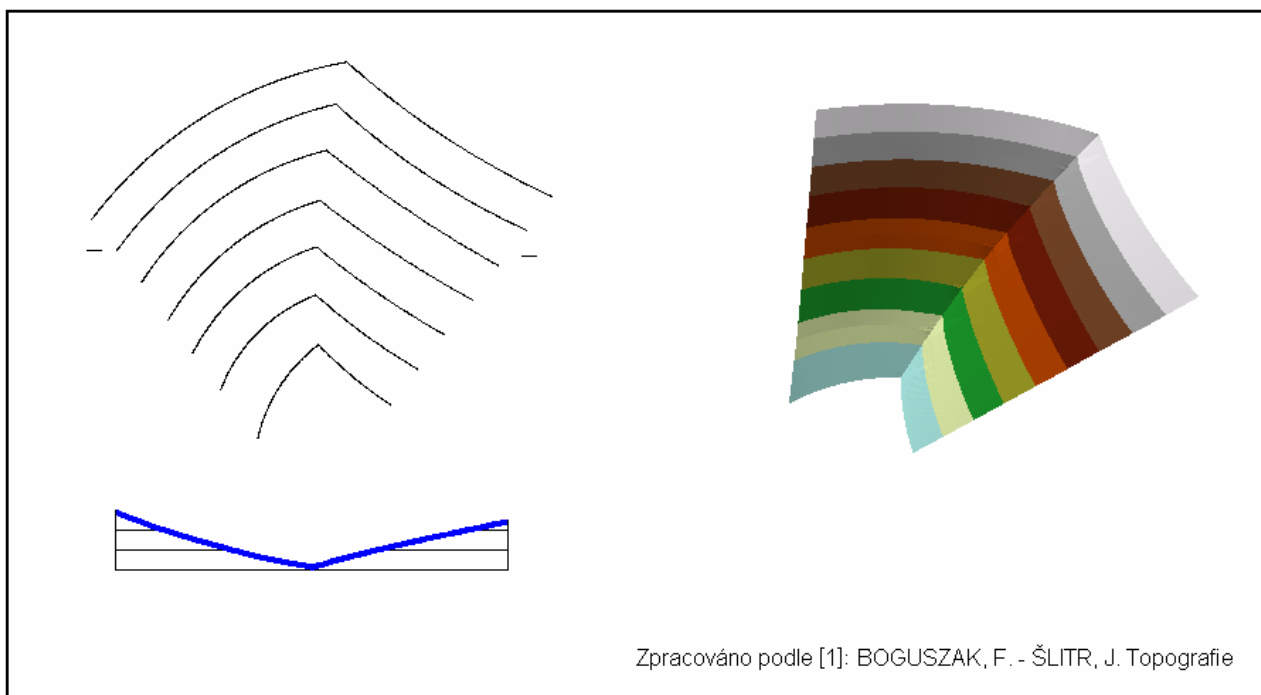
patří mezi tvary snížené. Je to prohlubenina, ležící mezi dvěma vypuklými nebo rovnými plochami. Nejnižšími body úžlabí prochází údolnice, která je menšího spádu než okolní plochy. Na údolnici se plynule stýkají vhloubené dílčí plochy a podle tohoto styku se rozlišuje úžlabí mělké, normální a úzké. Platí zde podobná pravidla jako u svahového hřbetu, což může snadno vést k záměně těchto tvarů, je proto potřeba důkladně prostudovat okolní vrstevnice, hlavně jejich výškové kóty, podle kterých se pozná, zda vrstevnice klesají (úžlabí), nebo stoupají (hřbet). Tvar údolnice (stejně jako hřbetnice u hřbetu) může být přímý nebo zakřivený.



Obr. 30 Úžlabí – normální.

Rýha a zářez

patří mezi tvary snížené. Úbočí těchto nevelkých prohlubenin se stýkají na údolnici v ostré nebo tupé hraně. U rýhy je údolnice v terénu méně patrná, kdežto u zářezu velmi zřetelná. Rýha vzniká na málo svažitéch svazích, a proto je její hloubka jen několik desítek centimetrů. Zářez se dá najít na strmějších svazích, je proto hlubší než rýha (způsobeno tekoucí vodou, sesuvy půdy, apod.).



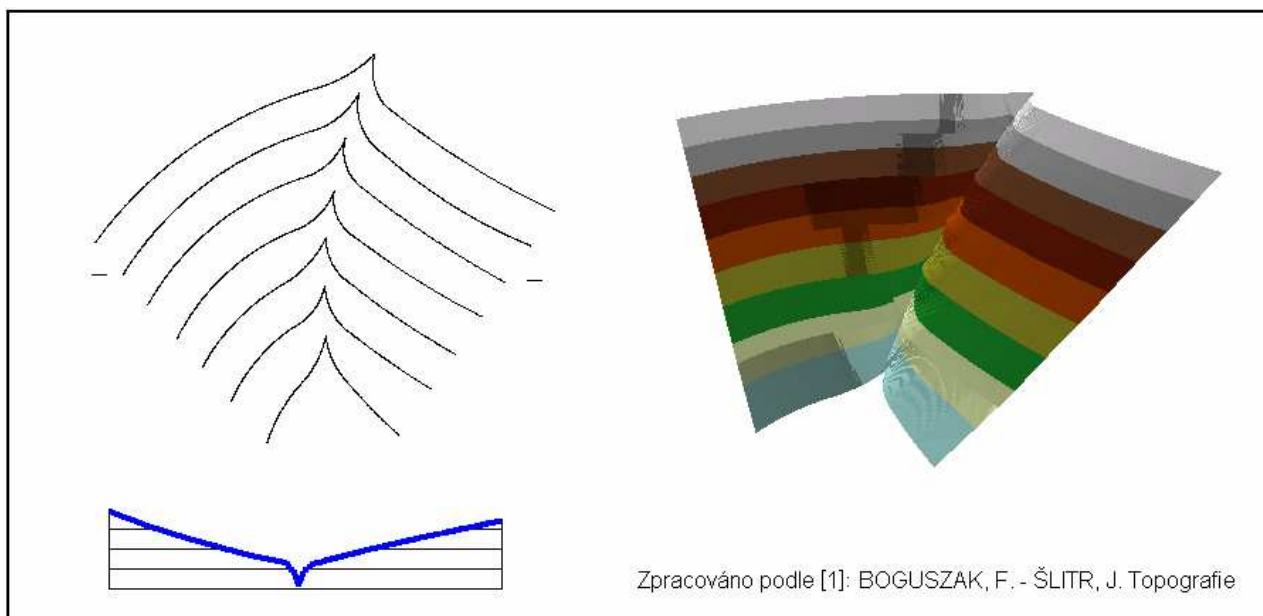
Obr. 31 Zářez.

Výmol

patří mezi tvary snížené. Je vlastně vymletý příkop, jehož hrany jsou ostré a jdou kolmo na vrstevnice. Je-li tak úzký, že by se nedal vykreslit vrstevnicemi, zakreslí se pouze jedna čára v jeho ose (pro výmol užší než 3 m) nebo dvojčára (pro případ širšího výmolu než jsou 3 m) a doplní se zlomkem šířka/hloubka. Obrázek je podobný tvaru žebra, jen vrstevnicové výstupky jsou při zachování směru spádu na druhou stranu, tzn. proti svahu.

Strž

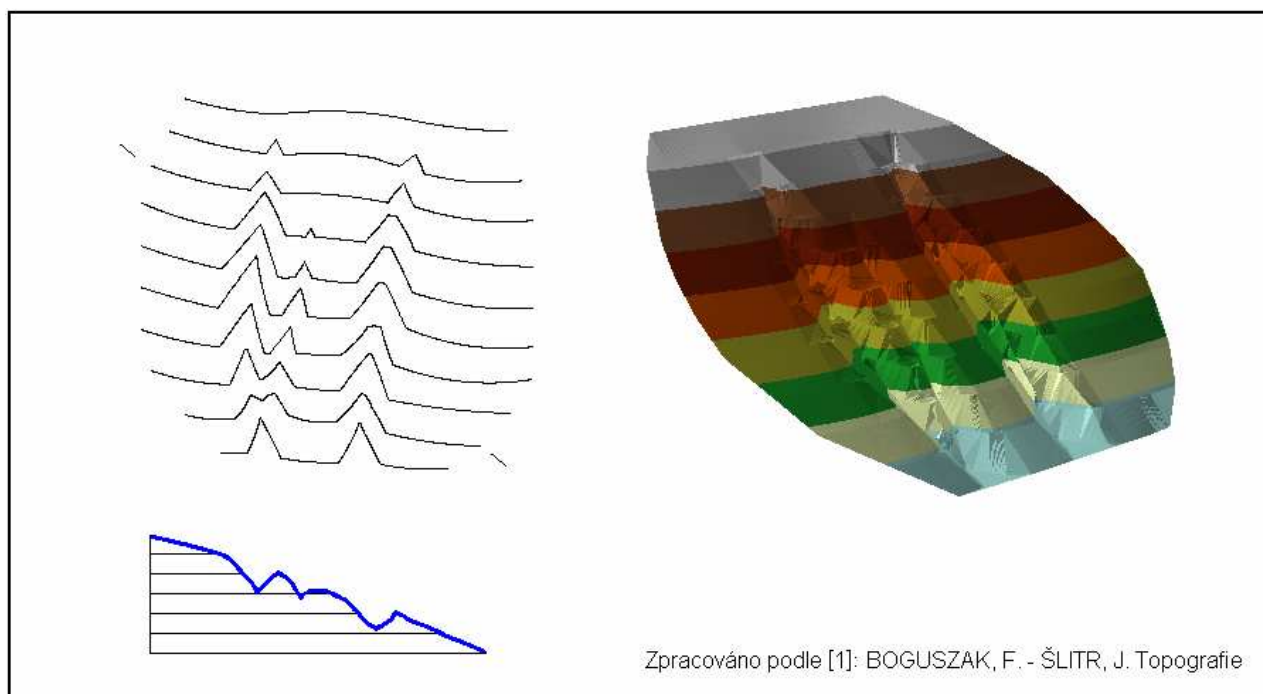
patří mezi tvary snížené. Je nehluboká, ale velmi strmá prohlubenina, vznikající na dnech zářezů a úžlabí. Znárodnuje se pomocí technických šraf, které jsou proti sobě na dně zářezu.



Obr. 32 Strž.

Rokle

patří mezi tvary snížené. Je to několik metrů hluboká prohlubenina, která nemusí být protáhlá ve směru spádu jako předchozí, ale může být dokonce rovnoběžná s vrstevnicemi. Bývají tvořeny více rameny, které se spojují do jednoho hlavního.



Obr. 33 Rokle.

Ve všech případech libovolné prohlubeniny platí pravidlo, že pokud je vhloubený tvar takových rozměrů, že nelze dostatečně přesně a zřetelně zakreslit, použijí se jiné metody než vrstevnice, a to technické šrafy nebo jiné mapové značky.

- **Tvary výrazněji se projevující ve směru spádnic**

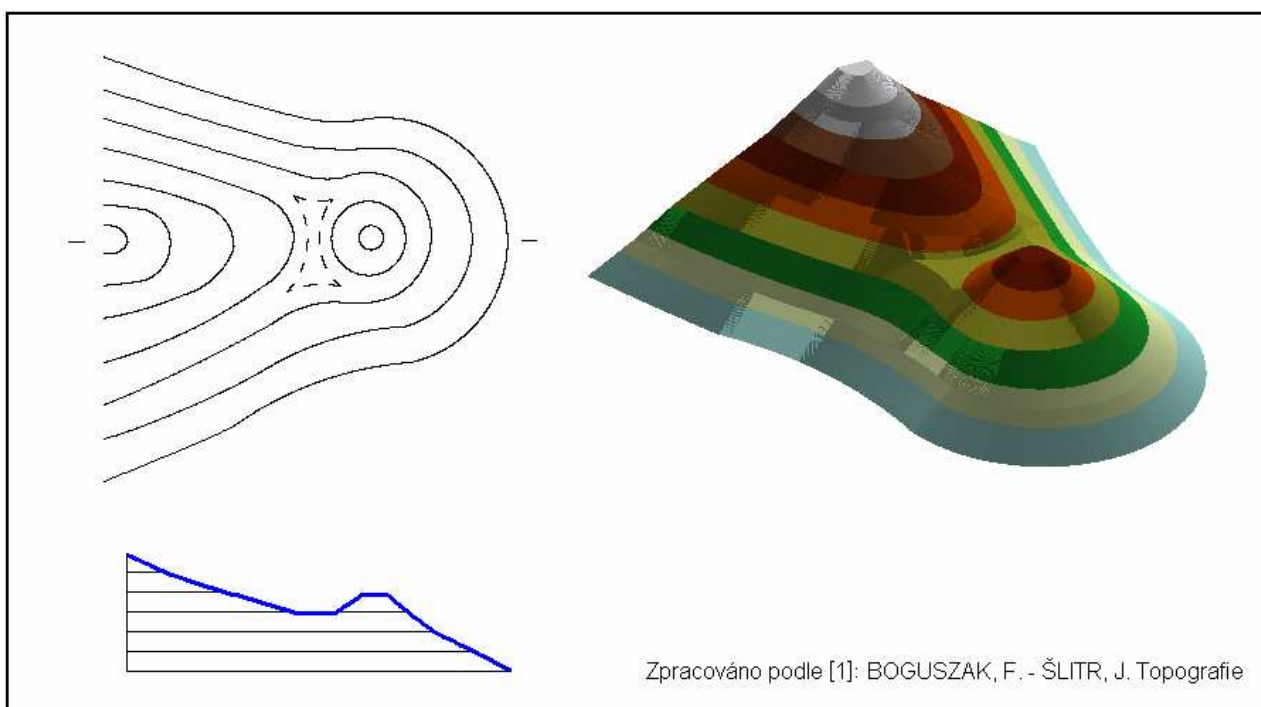
Do této skupiny patří tvary, které se projevují výrazným rozestupem vrstevnic ve směru spádu.

Spočinek

se tvarově shoduje se spočinkem na vrcholové části vyvýšeniny, protože se však vyskytuje v terénu i na úbočí vyvýšenin, je do tohoto oddílu též zařazen.

Sedlo se svahovou kupou

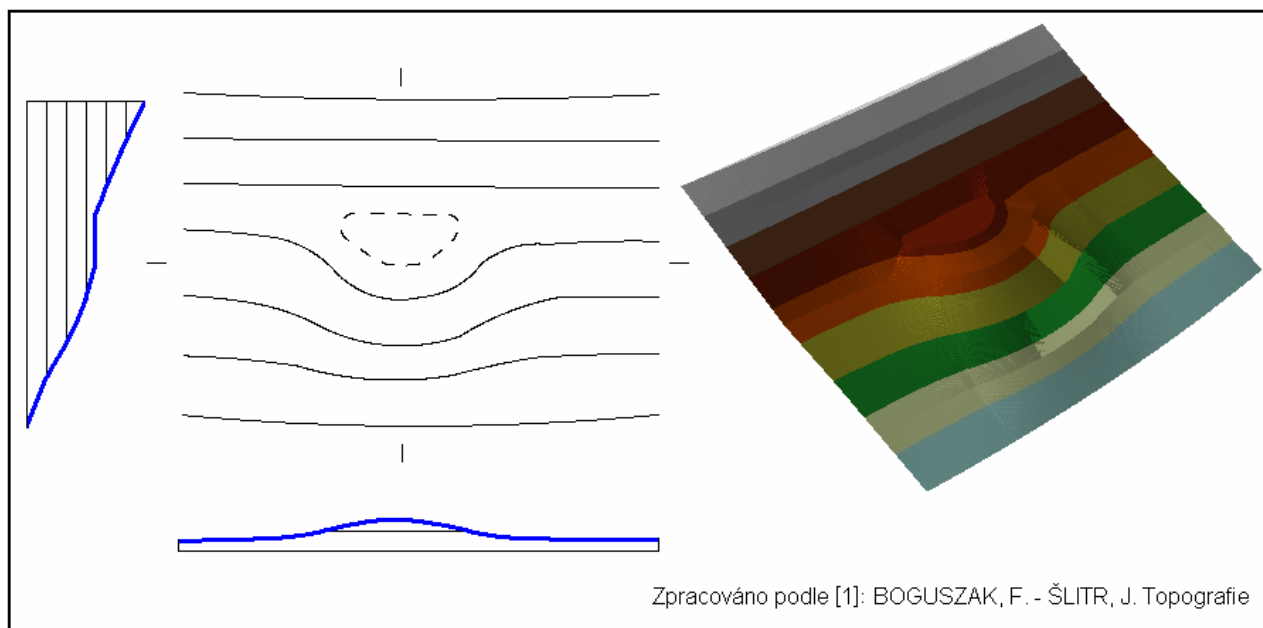
Opět se tvarově shodují s poznatky uvedenými v kapitole o vrcholové části vyvýšenin. Patří sem však jen takové svahové kupy, oddělené od svahu nad kupou sedlem, které svým charakterem výrazně nenarušují celkový ráz stále klesajícího svahu.



Obr.34 Svahová kupa oddělená sedlem.

Výčnělek

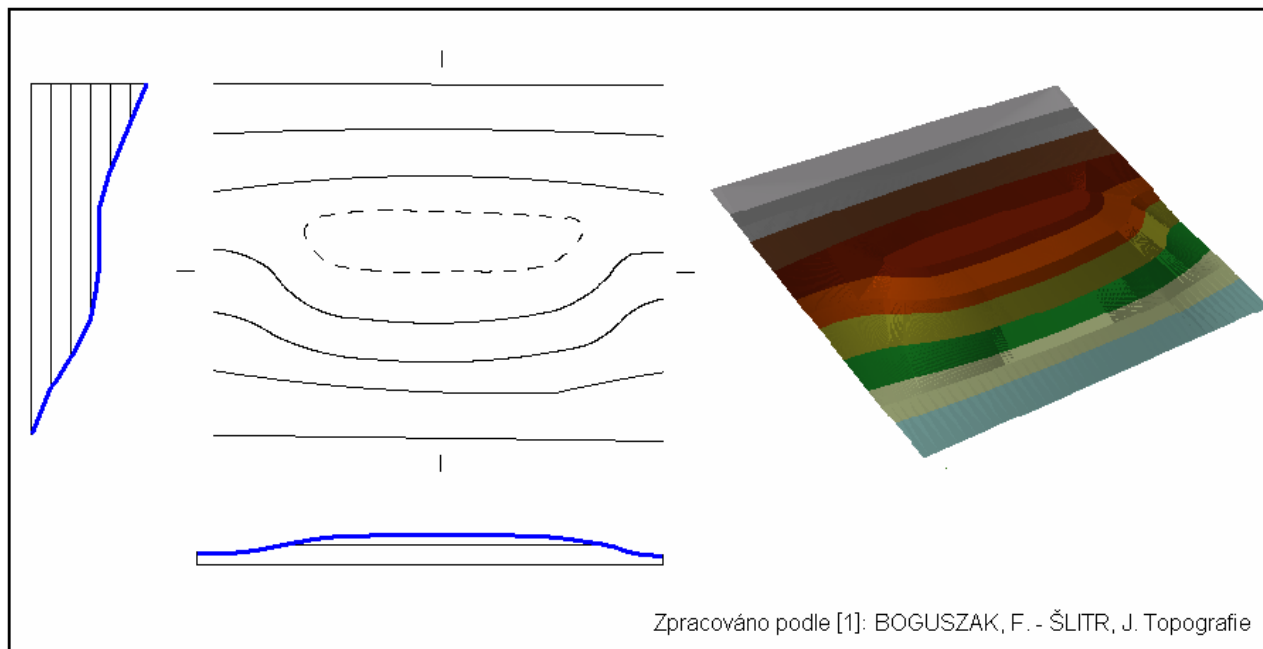
je podobný spočinku, ale nenachází se na hřbetnici, nýbrž na obecném svahu. Je vodorovný, nebo mírně skloněný, takže se na něm vrstevnice rozestoupí. V horní (vodorovné) plošce je výčnělek ohraničen tvarovou čarou, která udává tvar přilehlých vrstevnic, v dolní části přechází do okolního úbočí pozvolna nebo náhle. Plochá část se může pro zpřesnění doplnit doplňkovou vrstevnicí. Z vodorovné plošky vybíhají ve směru spádu jedna hřbetnice a dvě údolnice.



Obr. 35 Výčnělek.

Terasa

je tvar podobný výčnělku, ale je rozsáhlejší a více protažený podél vrstevnic. Platí stejné zásady jako u výčnělku, jen z ní díky své velikosti nemusejí vybíhat jedna hřbetnice a k ní dvě údolnice, ale může být hřbetnic a tím i údolnic více.



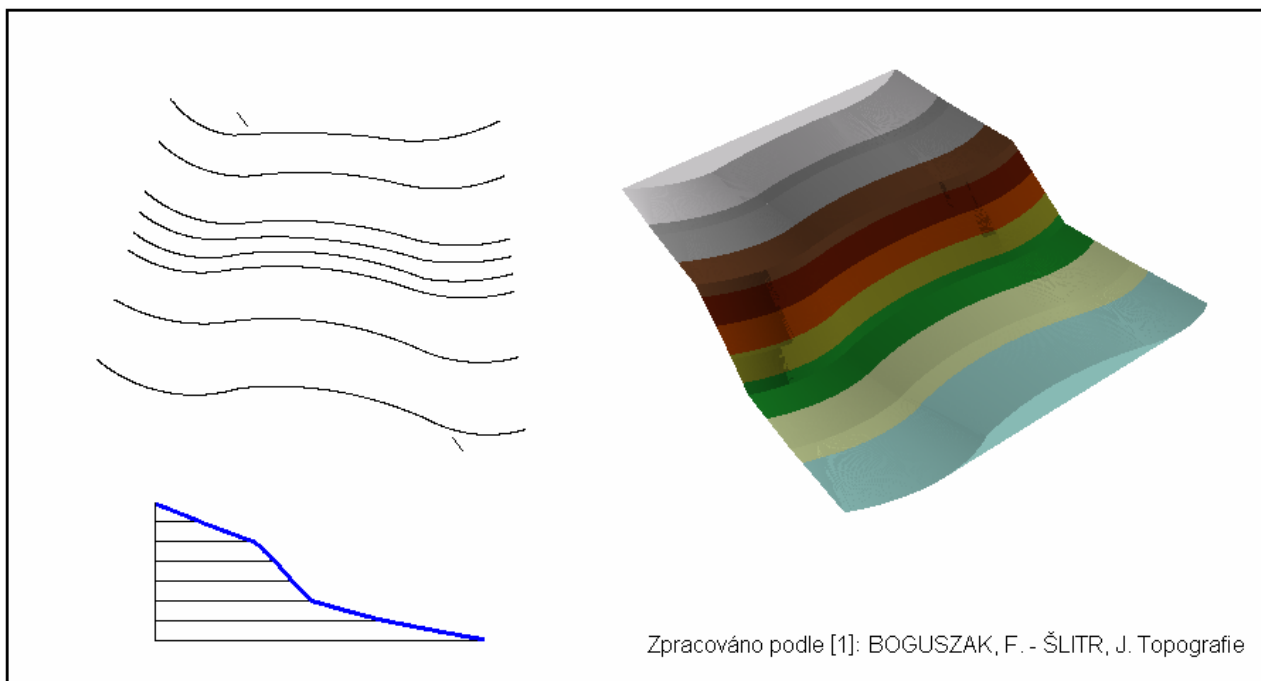
Obr. 36 Terasa.

Sráz

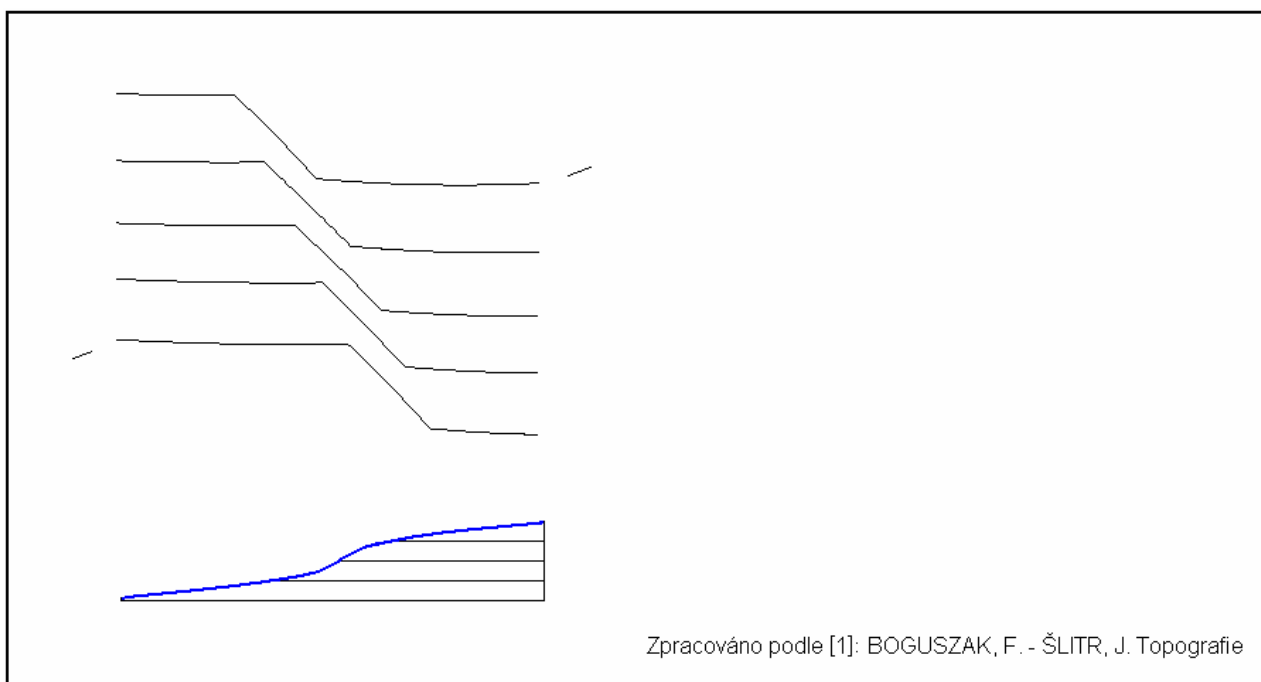
je taková část úbočí, která je od okolních výrazně strmější, vrstevnice se tedy v místě srázu přibližují více k sobě než nad a pod srázem. Jedná se vlastně o styk elementárních ploch

různého sklonu, které do sebe přecházejí na zaoblených, někdy i ostrých hranách. Srázy se dělí na:

- **vodorovné** - jejich průběh je podél vrstevnic, vyskytují se uzavřené (např. na kupě) nebo rozvětující se, v tomto případě se přibližují celé nebo části vrstevnic;
- **šikmé** - nevedou rovnoběžně s vrstevnicemi, ale šikmo, proto se vrstevnice na hraně srázu ohýbají nebo lomí a tvoří ve vrstevnicovém zákresu jakousi vlnu.



Obr. 37 Sráz – vodorovný.



Obr. 38 Sráz – šikmý.

3D náhled u šikmého srázu chybí z důvodu špatného vytvoření, který by nepodal žádnou pomocnou informaci pro pochopení vrstevnic.

Některé z výše uvedené terénních tvarů se mohou vyskytovat nejen na úbočích vyvýšenin, ale také např. v krasových oblastech, na písčinych nánosoch, v nížinách a jinde. Uvedená pravidla jejich zobrazení však platí stále stejná.

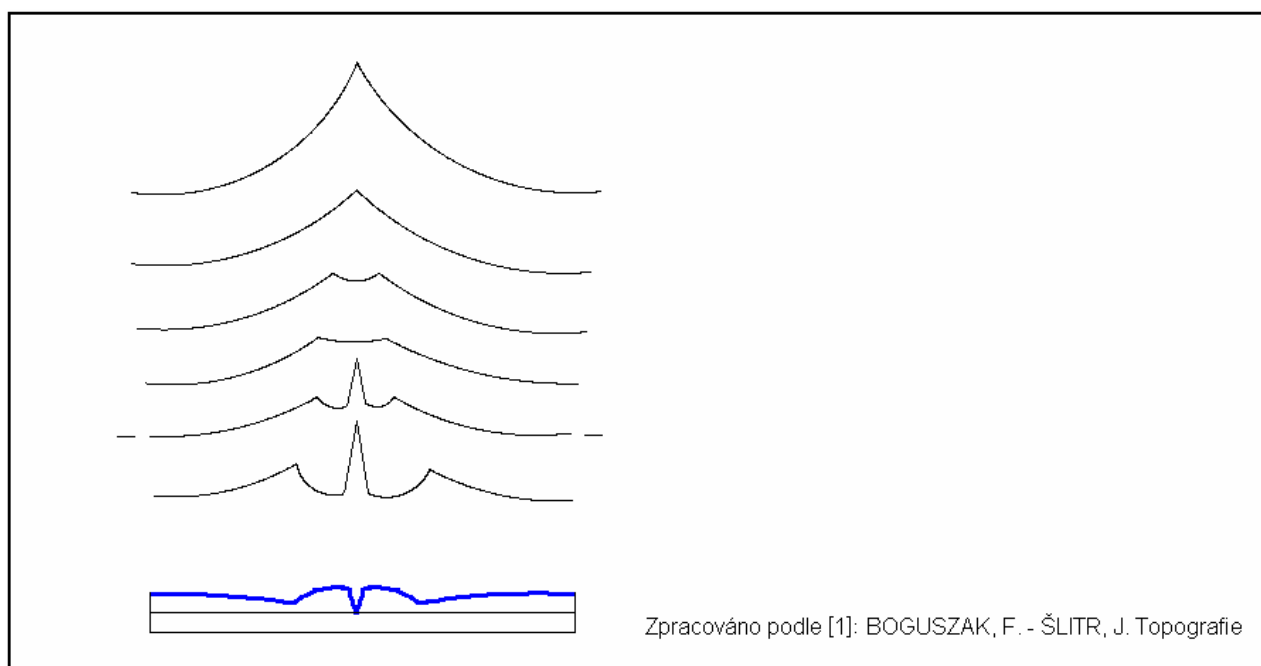
4.3.3 Tvary na úpatí vyvýšeniny

Úpatí vyvýšeniny je část vyvýšeniny, kde se stýká přilehlý svah s údolím [4].

Nánosový kužel

vzniká na upatí usazováním materiálu, který je snášen ze svahu k úpatí vodní nebo větrnou erozí. Tvar vrstevnic nápadně připomíná kužel, který se tvoří v nejnižším místě zářezu nebo strže. Pokud se nánosový kužel stále tvoří, nebo je mladý, vrstevnice se na styku úbočí s kuželovou plochou lomí a jejich průběh po kuželové ploše je vypuklý. V případě starých nánosových kuželů již jejich typický kuželový tvar mizí a jejich okraje přestávají být tak výrazné jako u mladých nánosových kuželů.

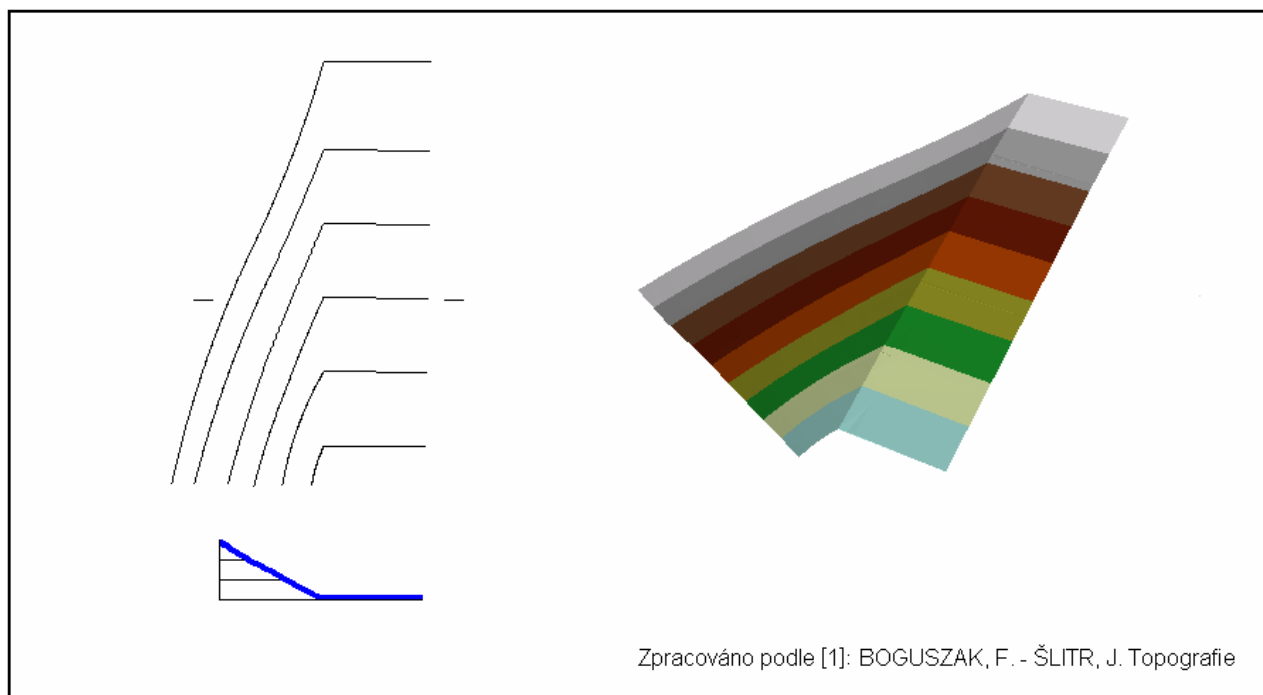
3D náhled opět chybí z důvodu špatného vytvoření a nepodal by žádnou pomocnou informaci pro pochopení vrstevnic. Podrobný popis tohoto problému je řešen v samostatné kapitole 5.



Obr. 39 Nánosový kužel.

Úpatnice

tvoří přechod mezi úbočím vyvýšeniny a k ní přilehlou rovinou nebo údolím. Na úpatnici se vrstevnice lomí nebo prudce ohýbají (v případě tvrdé horniny) nebo je přechod pozvolný, vrstevnice mění směr jen lehce a úpatnice je téměř neznatelná (v případě měkké horniny). V některých případech se vyskytuje vodorovná úpatnice, která je rovnoběžná s vrstevnicemi, to znamená, že úbočí přechází do roviny najednou po celé délce vodorovné úpatnice.



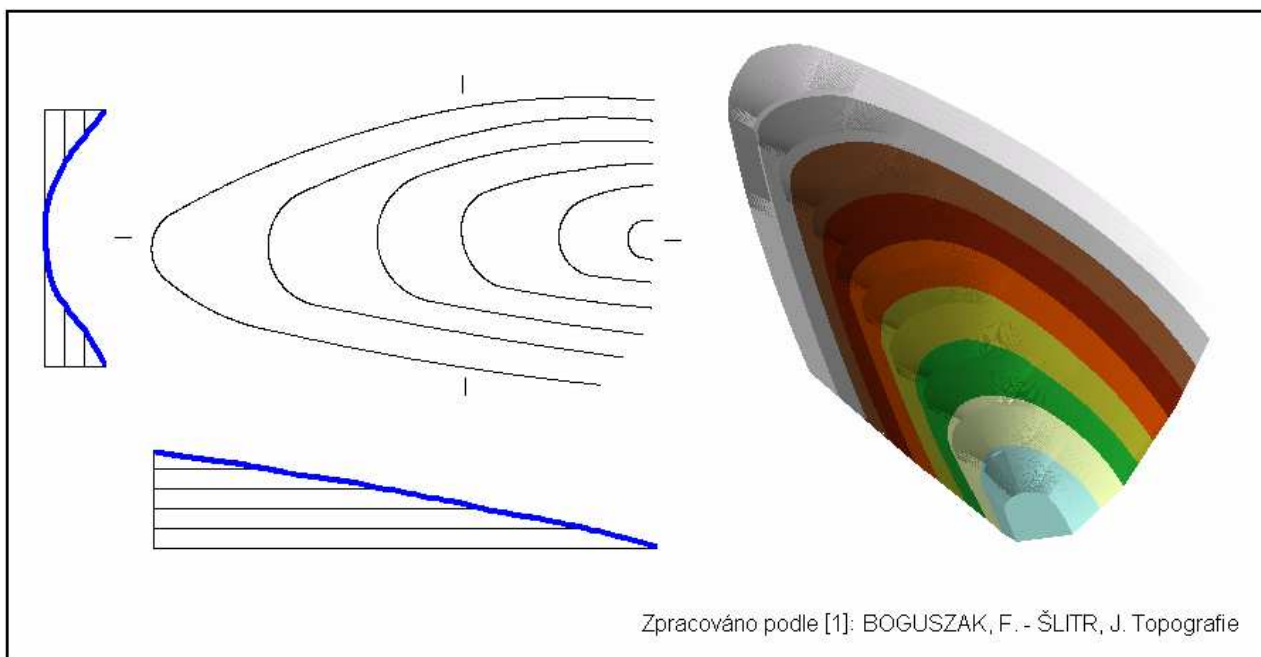
Obr. 40 Ostrý úpatnicový přechod.

4.3.4 Tvary na dně sníženiny

Dno sníženiny (údolí) je vydutá část terénu, která tvoří okolí údolních čar (údolnic) [4].

Úžlabina

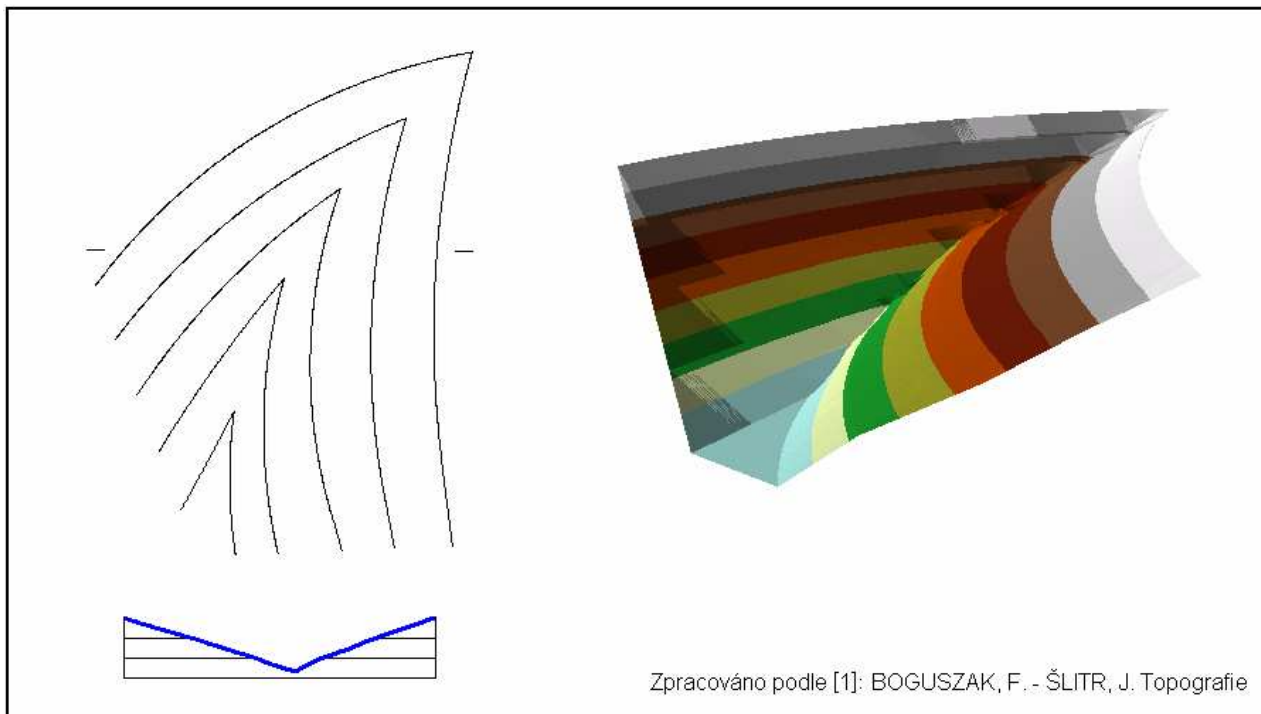
je podobná úžlabí (to se vyskytuje na úbočí vyvýšeniny) jen s tím rozdílem, že podél údolnice jsou vrstevnice v úžlabině více vzdáleny od sebe než na přilehlých svazích. Na údolnici se vrstevnice ohýbají .



Obr. 41 Úžlabina.

Údolní zářez

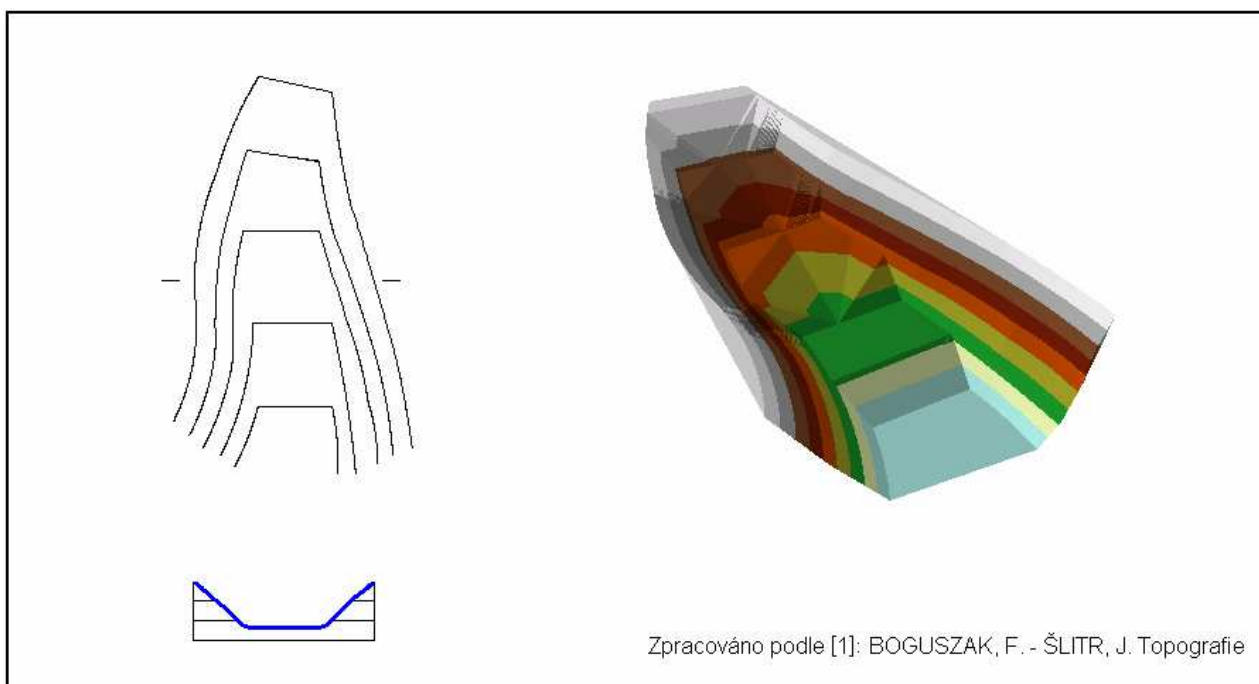
je podobný zářezu (ten se vyskytuje na úbočí vyvýšeniny viz str. 32) jen s tím rozdílem, že podél údolnice jsou vrstevnice v údolním zářezu více vzdáleny od sebe než přilehlých svazích. Na údolnici se vrstevnice lomí a tvoří ostrý zářez.



Obr. 42 Údolní zářez.

Údolí s rovným dnem

je tvořeno na dně rovnými vrstevnicemi, které do přilehlého úbočí přecházejí na ostré úpatnici, kde se vrstevnice lomí nebo prudce ohýbají. Dno údolí může ještě obsahovat rýhu, která se vykreslí vrstevnicemi nebo technickými šrafy.

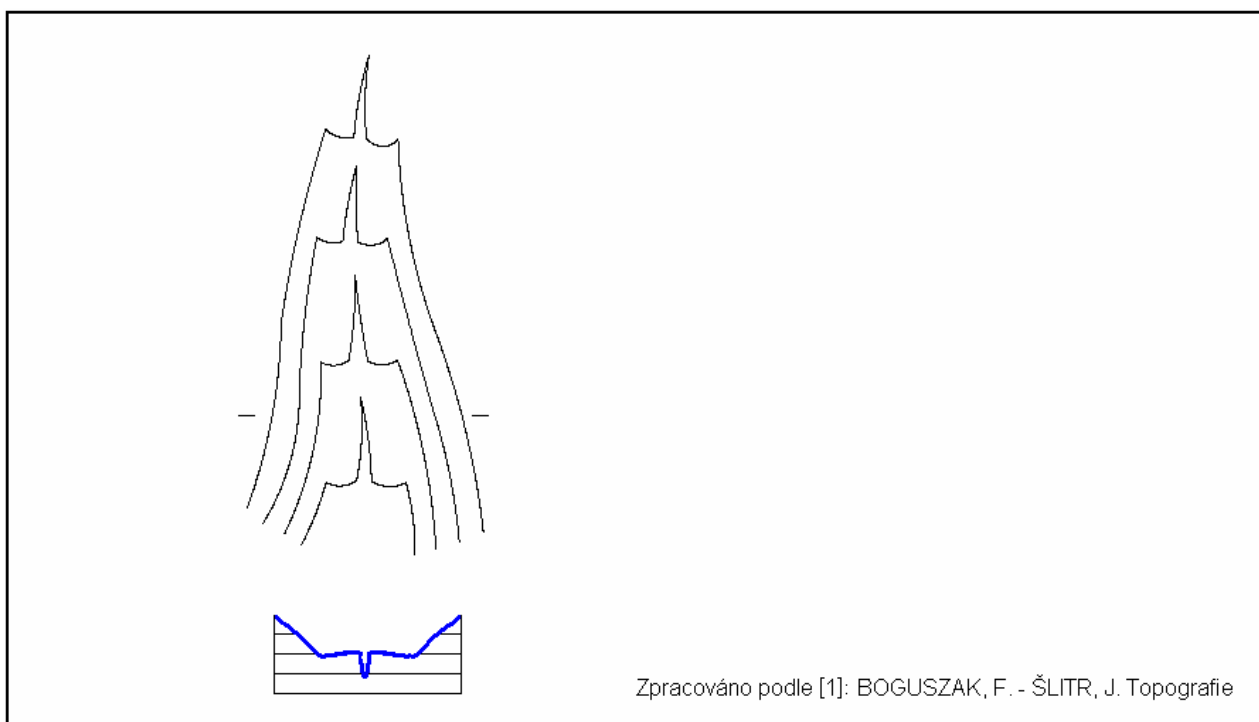


Obr. 43 Údolí s rovným dnem.

Údolí jazykovité

má stejné vlastnosti jako údolí s rovným dnem, jen s rozdílem, že jeho dno je tvořeno ve směru spádu vypuklými vrstevnicemi.

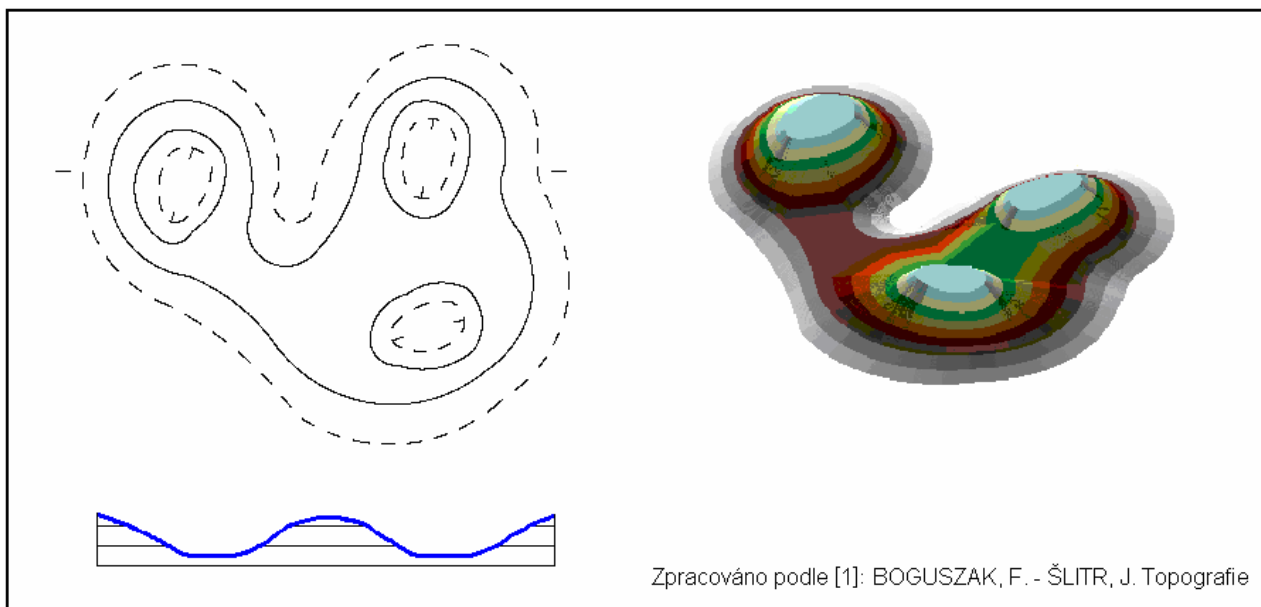
3D náhled opět kvůli špatnému vytvoření není přiložen.



Obr. 44 Jazykovité údolí.

Terénní vlny

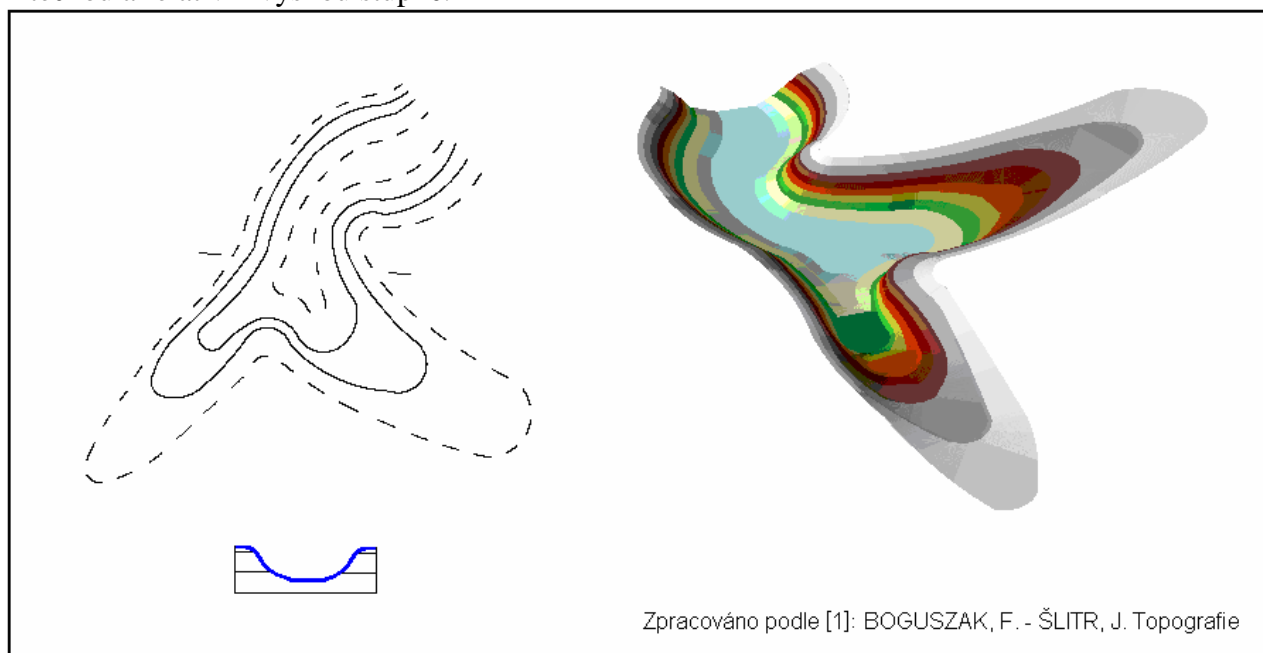
jsou drobné, zaoblené prohlubeniny, pro jejichž zákres se musí často volit doplňkové vrstevnice s polovičním nebo čtvrtěčným intervalem, důležitou součástí jsou i spádovky, pro jednoznačnou orientaci snížených tvarů. Pokud je měřítko mapy takové, že nedovolí tyto drobné tvary znázornit vrstevnicemi, použijí se nespojené technické šrafy (bez zákresu horní a spodní hrany).



Obr. 45 Terénní vlny.

Raveny

jsou většinou břehy bývalých řečišť. Tvoří je nízké srázy s ostrými hranami, které mohou vytvářet rozsáhlé sítě. Při použití spojených technických šraf se vhodná místa doplní tečkou a relativní výškou stupně.



Obr. 46 Raveny.

Soutěska

je zvláštním případem předchozích typů údolí, představuje úzké a značně hluboké údolí se strmými stěnami. Obrázek není nutný uvádět, byl by totiž podobný jako údolní zářez, jen vrstevnice by se více přibližovaly (ne vsak na údolnici) a řez by byl užší a hlubší.

Kaňon

je zaříznuté koryto vodního toku, které se může vyskytovat na dně soutěsky. Obrázek opět není nutný, jde vlastně jen o pojmenování konkrétní soutěsky, ve které proudí vodní tok.

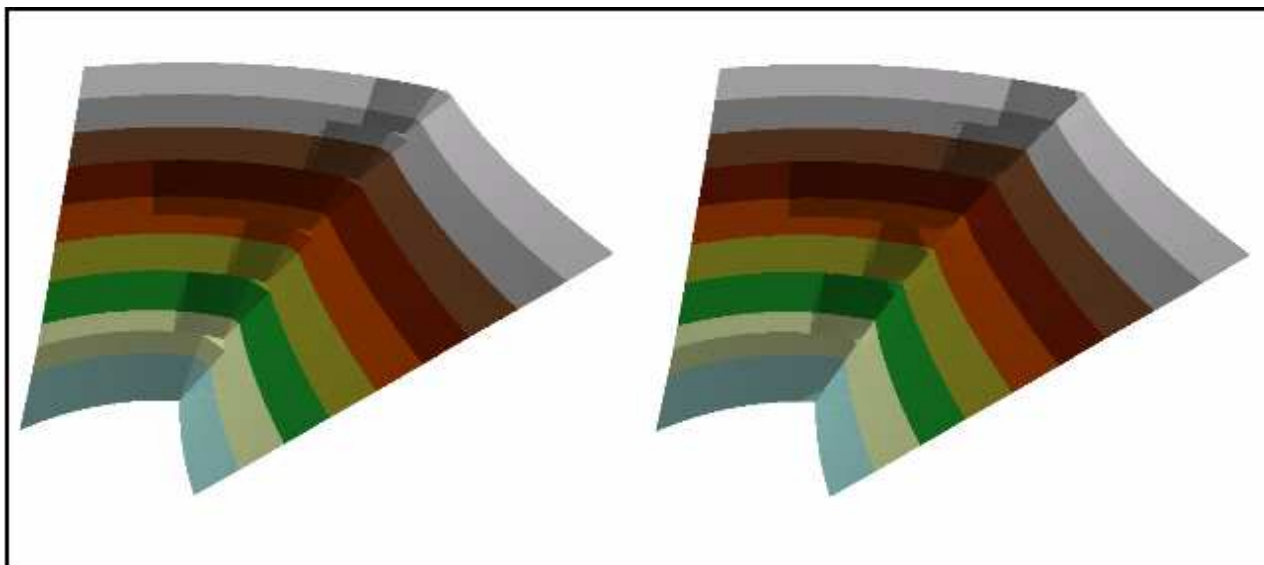
5. Postup tvorby atlasu

Všechny terénní tvary byly vyhotovovány podle obrázků nebo jen textů v [1]. Všechny vrstevnice byly kresleny v programu ArcGIS použitím linií, oblouků a kružnic.

Při tvorbě vrstevnic je velkým omezením použitého programu nemožnost používat kreslicí nástroj, který by umožňoval kresbu křivky o více než třech bodech, například spline křivky. Proto se musí veškeré linie tvarovat pouze s použitím oblouku definovaného třemi body. Každého zde asi napadne, že tímto způsobem se dají jen těžko vytvořit hladné linie, kterými by ve výsledku vrstevnice měly být. Možným řešením je použití jiného programu (AutoCAD, Kokeš apod.), ve kterém by toto bylo řešitelné a vrstevnice poté do ArcGIS převést. Toho však nebylo využito jednak z důvodu složitosti použití více programů, jednak pro ověření schopnosti použitého programu toto řešit. Ve výsledku byla většina křivek vykreslena uspokojivě i nevhodným tříbodovým obloukem.

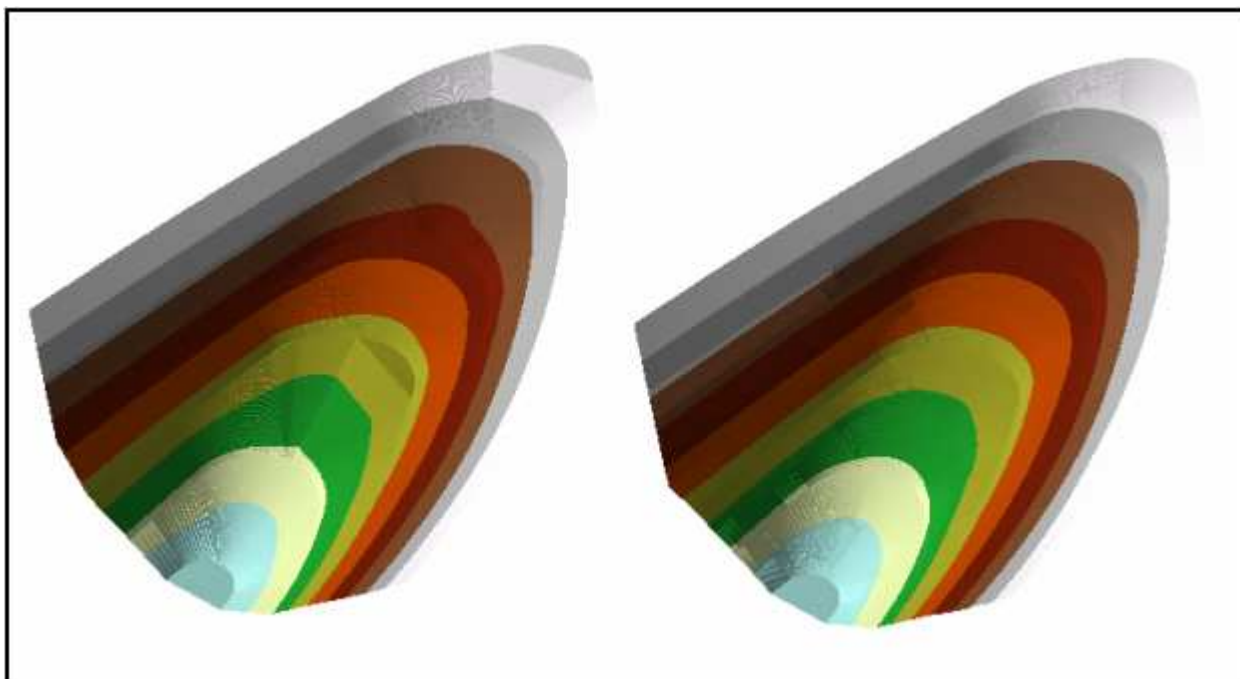
V případech, kde byly vrstevnice jen lehce zakřivené a nebyly příliš velké rozdíly v jejich rozestupech podél hřbetnic (resp. údolnic) a ve směrech k nim kolmým, byla TIN reprezentace (trojúhelníková síť) vygenerována správně a trojrozměrná vizualizace byla uspokojivá.

Problém nastává v případech, kde se vrstevnice lomí (viz. rokle, zářez atd.). V těchto případech nedokáže sám program správně vrstevnice zpracovat a dochází podél hřbetnic (resp. údolnic) k nepřírozeným trojúhelníkovým vodorovným ploškám. Tomu se dá zabránit proložením 3D křivky do místa lámání vrstevnic. Tuto křivku je potřeba vytvořit v místě správně vygenerovaného TIN a poté přesunout na místo zlomu. Takto připravená křivka dokáže při opětovném výpočtu TIN problémové oblasti opravit.



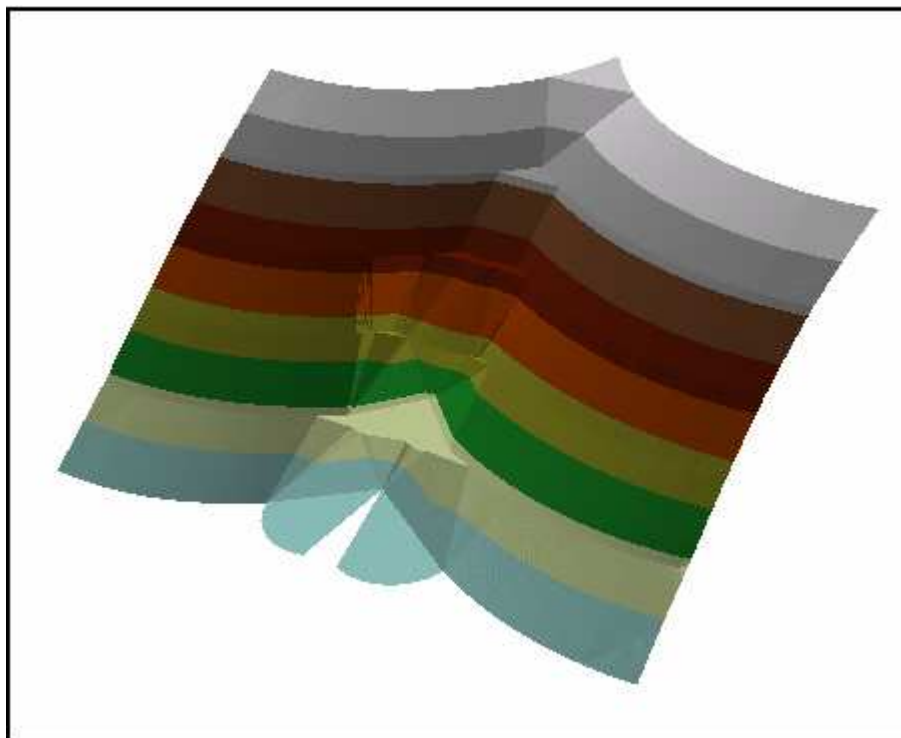
Obr. 47 Zářez – vlevo chybně, vpravo s použitím 3D údolnice.

Další problém je v místech, kde se vrstevnice v jednom směru od sebe výrazně oddalují (viz. např. úžlabina) a program dělá stejnou chybu jako u lomených vrstevnic. Zde však postačí proložit částmi pomocných vrstevnic s polovičním nebo čtvrtěčným intervalem.



Obr. 48 Úžlabina – vlevo chybně, vpravo s použitím pomocných vrstevnic.

Poslední a nejvážnější problém je u velmi složitých nebo specifických tvarů, kde se kombinují výše uvedené problémy (viz. nánosový kužel, údolí s rovným dnem a jazykovité údolí) a v rámci této práce se je nepodařilo odstranit. V těchto nejsložitějších případech byl použit převod liniové vrstvy na bodovou a z ní následně různými způsoby generován 3D rastr. Byla odzkoušena také funkce TopoToRastr, ale výsledek byl až na malé detaily ve všech pokusech stejný jako při tvorbě TIN.



Obr. 49 Chybně generovaný nánosový kužel.

Při tvorbě VRML souboru je jediný problém ve velikosti souboru. Ta se dá pravděpodobně zmenšit převodem souboru do binárního tvaru, jehož velikost by byla mnohonásobně menší a tím by umožnila i uživatelům s pomalým připojením na internet prohlížet tyto 3D obrázky, to se však nepovedlo ověřit nalezením žádného prostředku, jak tento formát vytvořit.

Následníkem formátu VRML je formát X3D, který na stávající formát VRML navazuje, ale dovoluje přidání nových vlastností a funkcí. Umožňuje popis 2D i 3D multimediálních aplikací, dovede tedy pracovat s grafickými, zvukovým i animovanými objekty. Pro procházení těchto objektů (scén) se používá speciální prohlížeč Simple X3D Viewer. Více informací ve zdroji [24].

6. Popis atlasu

Atlas, který slouží k vizualizaci jednotlivých elementárních ploch a terénních tvarů, se skládá ze dvou částí, které byly obě vytvořeny v programu ArcGIS.

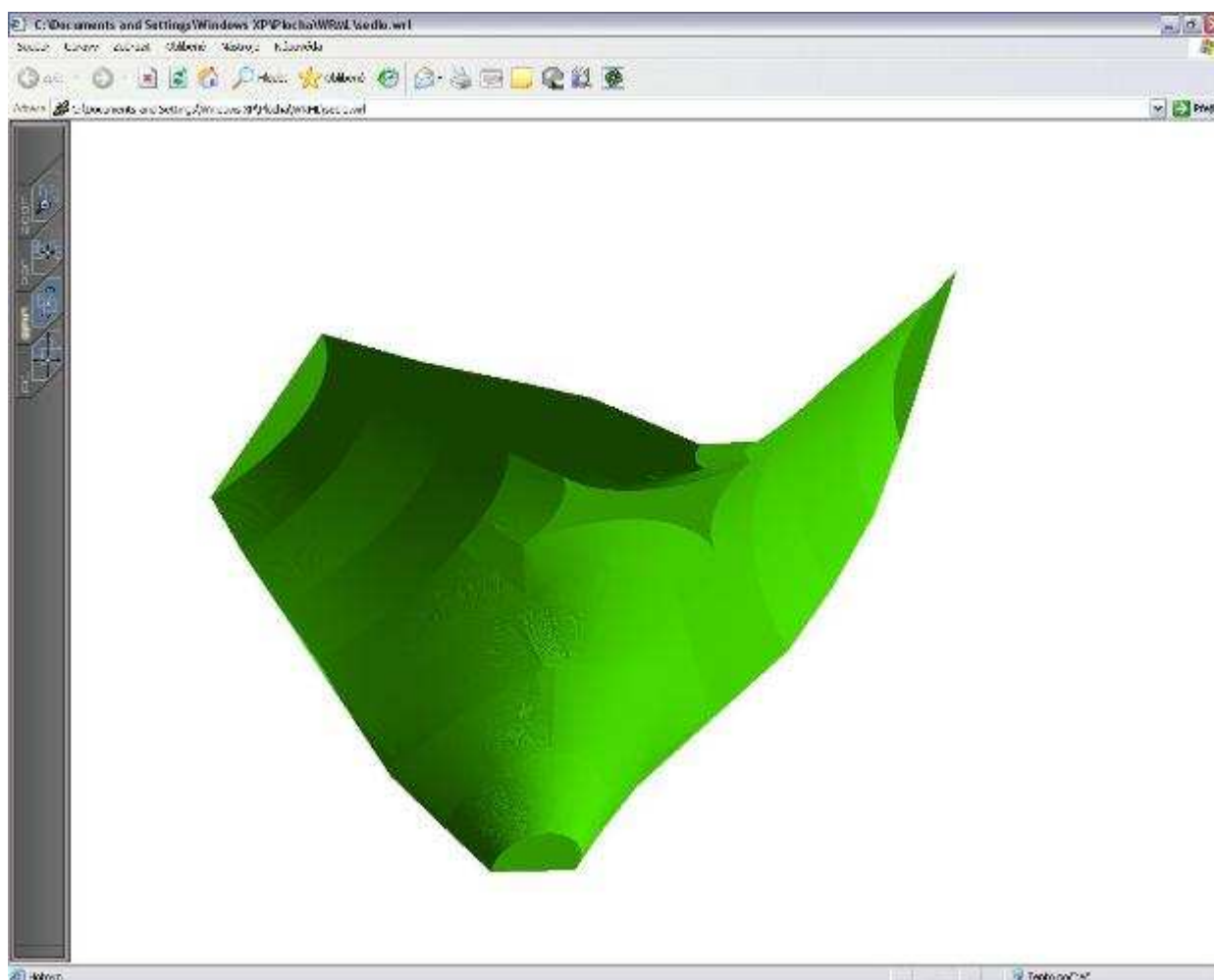
První část, soubor atlas.mxd, zobrazuje všechny plochy ve vrstevnicovém vyjádření. Vrstevnice jsou načítány z databáze atlas.mdb, do které byly převedeny ze souborů SHP, jež vznikaly ručně v programu ArcMap (viz kapitola 5). U tvarů, kde jsou použity kromě základních vrstevnic i doplňkové vrstevnice, byl přidán do atributové tabulky sloupec *vrstevnice* a jeho atributy voleny 0 pro základní a 1 pro doplňkové vrstevnice. Následně se použitím symbologie přiřadila k atributu 0 plná čára a k atributu 1 čárkovaná. Tím vznikl vrstevnicový obraz. Výběr atributu pro rozlišení základní a doplňkové vrstevnice bylo možné řešit pomocí doménové tabulky, díky níž by byly při vyplňování atributu automaticky nabízeny pouze 2 možnosti. V tomto jednoduchém případě by to však nevedlo k žádné výhodě, a proto tato možnost nebyla využita.

Druhá část, soubor atlas.sxd, již zobrazuje vymodelované tvary, které slouží ke správnému pochopení vrstevnicového vyjádření. Nakreslené a okótované vrstevnice se převedly na TIN (trojúhelníková reprezentace tvarů), které se zobrazí v programu ArcScene. Pro lepší trojrozměrnou představitelost byly všechny soubory obarveny pomocí symbologie na 9 barevných pásů (viz. kapitola 3.3), které připomínají skutečné výškové rozložení v krajině. Od světle modré (jako vodní plochy) přes zelenou (nížiny) a hnědou (hory) až po šedou a bílou (jako sněhová pokrývka nejvyšších vrcholů).

Celá bakalářská práce (mimo atlasu, který je přiložen samostatně) byla navíc převedena do formátu html stránek. Ne každý má k dispozici program ArcGIS a nemohl by si atlas prohlížet. Proto jsou do internetové verze kromě obrázků z písemné části připojeny i soubory VRML, které si může v běžném prohlížeči prohlédnout každý uživatel internetu. Formát HTML byl vytvořen v programu FrontPage. V levé části je pevný navigační panel pro možnost procházení jednotlivých kapitol bakalářské práce.

Soubory s 3D scénou ve formátu VRML byly vyexportovány z programu ArcScene a následně ručně zredukovány na přibližně poloviční velikost. Je to totiž textový soubor, který obsahuje obrovské množství bodů s přesností na několik desetinných míst. Počet bodů v textovém souboru je tak obrovský, že při zobrazení celého terénního tvaru nedojde ke snížení kvality, ani když se všechna desetinná místa u bodů umažou. Tím dojde ke zmenšení velikosti souboru přibližně na polovinu. Pro možnost prohlížení těchto souborů je zapotřebí mít nainstalován modul, který umožní v běžném internetovém prohlížeči zobrazit VRML scénu. Jeden z několika modulů se jmenuje Cortona VRML Client a zdarma se může stáhnout na <http://www.parallelgraphics.com/products/cortona/download/other/>

Ovládání tohoto modulu je velmi jednoduché. Při odkliknutí rastrového obrázku, který má propojení s VRML souborem, se tento soubor otevře v novém okně prohlížeče již v programu Cortona. Pro nejpříjemnější prohlížení a natáčení terénních tvarů je potřeba mít zaškrtnuté možnosti vlevo obrazovky *study* a *turn*. V dolní části obrazovky se používají jen položky *restore* k nastavení výchozího pohledu a položka *fit* k zobrazení maximálně zvětšeného objektu při zachování ručního nastavení. Změna rychlosti posunu a rotací se provede následovně: v menu pod pravým klikátkem myši se vybere položka *speed* a v ní je několik možností. Dalším zajímavým nastavením je přepnutí celého okna do CAD skinu. Z menu pod pravým klikátkem se vybere *Preferences ...* a v záložce *Skin* se potvrdí položka *CAD-like*. Nyní jsou k dispozici plně postačující 4 položky. *Zoom* ke změně zvětšení, *Pan* k posouvání, *Spin* k rotování a *Fit* opěť k maximalizaci konkrétního otočení terénního tvaru.



Obr. 50 Náhled na VRML soubor sedla v internetovém prohlížeči.

7. Závěr

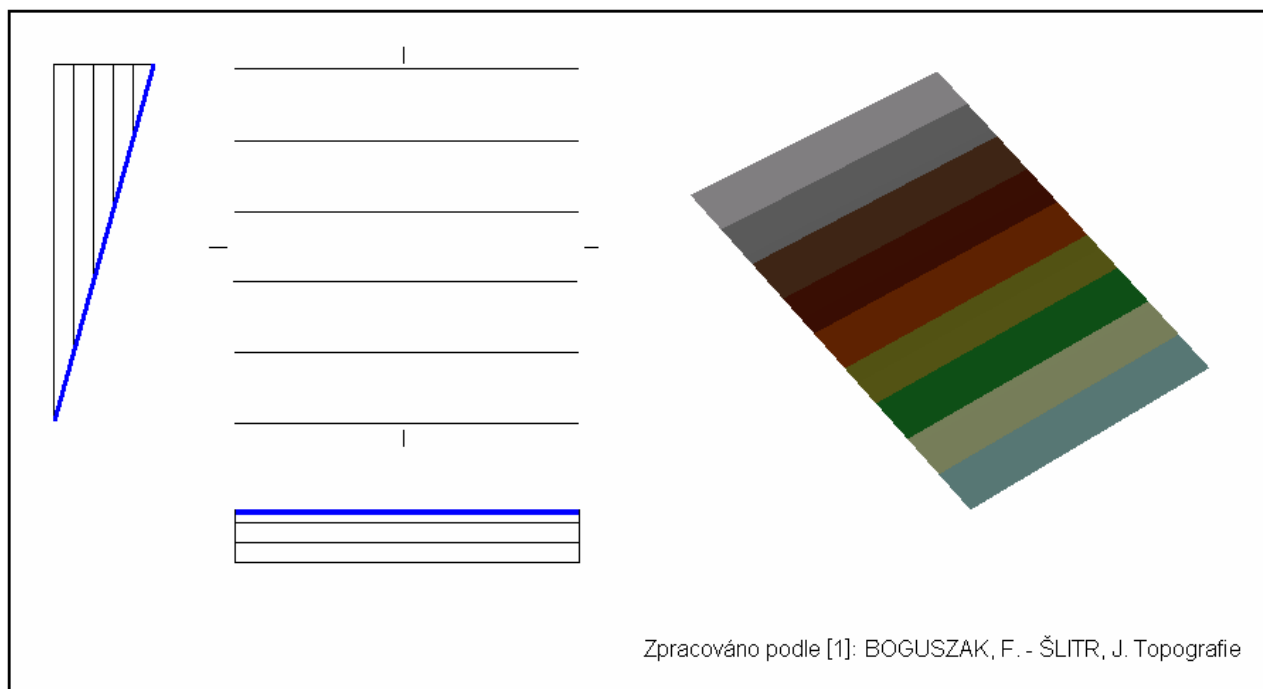
Lidé se vždy snaží zaznamenat do map to, co je pro ně důležité. V dnešní moderní době je těchto věcí samozřejmě více, než v minulosti. I výškových údajů se zaznamenává do map stále více a proto se postupně přechází od papírové podoby map k digitálním formám, kde si každý uživatel zobrazí přesně ty informace, které potřebuje. A jde-li konkrétně o výškopis, jsou v této práci uvedeny všechny základní metody jeho znázorňování i s přihlédnutím k možnosti využití v moderních technologiích. Pro snadné pochopení dnes nejpoužívanějšího vrstevnicového vyjádření byl vyhotoven atlas terénních tvarů, kde vedle vrstevnic je i 3D náhled na daný terénní prvek. Při tvorbě atlasu došlo k několika problémům, které jsou blíže popsány v kapitole 5. I přes tyto problémy se dá říct, že soupis byl až na drobnosti zhotoven úspěšně a čtenáři podá ucelený přehled jak teoretických, tak praktických informací o metodách znázorňování výškopisu na mapách.

Seznam použitých zdrojů

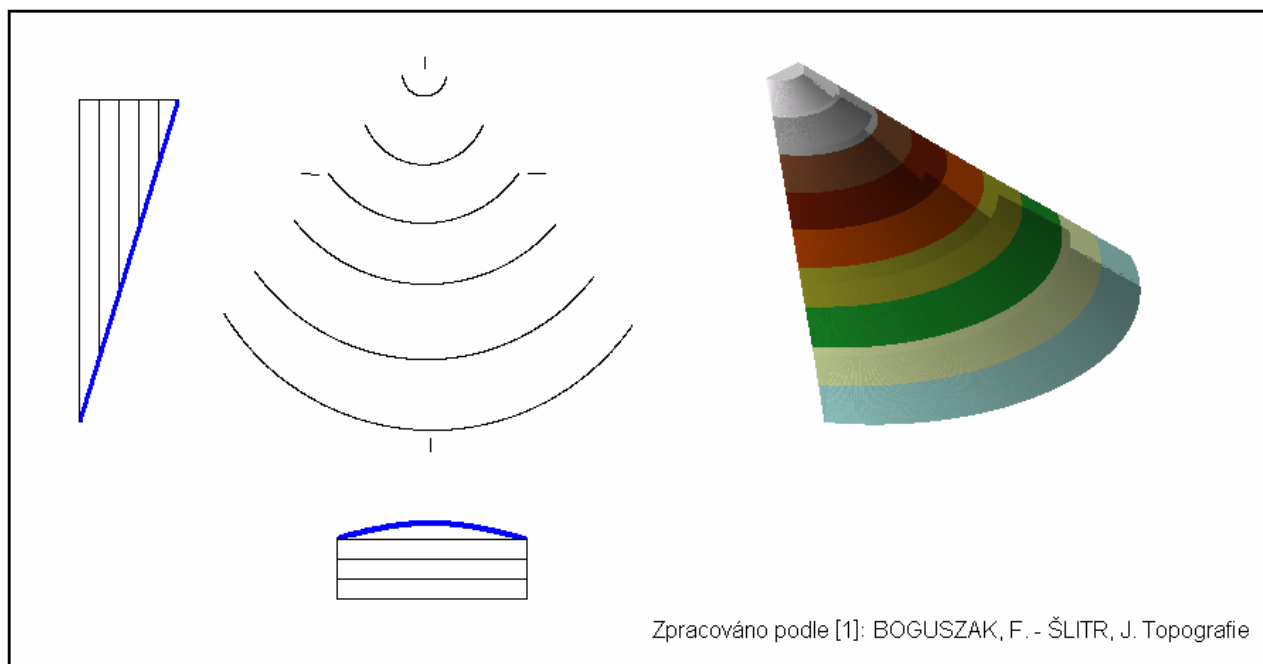
- [1] BOGUSZAK, F., ŠLITR, J.: Topografie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [2] CÍSAŘ, J., et al.: Mapování. Praha: Kartografické nakladatelství, 1970.
- [3] ČERBA, O.: Přednáškové texty předmětu DBG1. Plzeň: ZČU.
- [4] ČERNOCH, M., HEJDA, J.: Nauka o terénu a jeho znázorňování. Praha: Čsl. vědecký ústav, 1927.
- [5] HOJOVEC, V., et al.: Kartografie. Praha: Geodetický a kartografický podnik, 1987.
- [6] HUML, M., et al.: Mapování a kartografie. Praha: ČVUT, 2003.
- [7] HUML, M., MICHAL, J.: Mapování 10. Praha: ČVUT, 2000.
- [8] CHÁBERA, S.: Geomorfologie. České Budějovice: Jihočeská univerzita České Budějovice, 1996.
- [9] JEDLIČKA, K.: Přednáškové texty předmětu UGI. Plzeň: ZČU.
- [10] PACINA, J.: Popis principů fungování vybraných prostorových analýz a jejich implementace v nekomerčním GIS GRASS pro názornou výuku. Plzeň, 2005. Diplomová práce
- [11] PYŠEK, J.: Kartografie a topografie – II. topografie. Plzeň: ZČU, 1993.
- [12] ŠÁRA, P.: Rodinný atlas světa. Praha: Kartografie Praha, 2001.
- [13] ŠVEC, R., TICHÝ, O.: Matematický zeměpis a kartografie. Praha 1: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1961.
- [14] VEVERKA, B.: Topografická a tématická kartografie 10. Praha: ČVUT, 2001.
- [15] URL: <http://www.bilyujezd.cz/spolecne/I_vojenske_mapovani.html> [cit. 2006-06-15].
- [16] URL: <<http://www.promabyt.cz/zima/mapa/panorama-wi1.jpg>> [cit. 2006-06-15].
- [17] URL: <http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2003/rasemann_stefan/teil11.pdf> [cit. 2006-06-15].
- [18] URL: <<http://www.atlasltd.cz/prof.php?p=1>> [cit. 2006-06-15].
- [19] URL: <http://www.boehmwanderkarten.de/kartographie/shading/ib_shading_krakatau.html> [cit. 2006-06-15].
- [20] URL: <<http://mujweb.atlas.cz/www/mapy/index.htm>> [cit. 2006-06-18].

-
- [21] URL: <<http://earth.google.com/>> [cit. 2006-06-19].
 - [22] URL:<<http://www.arcdata.cz/software/leica-geosystems/lps>> [cit. 2006-08-06].
 - [23] URL:<<http://grass.itc.it/>> [cit. 2006-08-10].
 - [24] URL:< <http://www.cgg.cvut.cz/~apg/apg-tutorials01/ch03s20.html>> [cit. 2006-08-10].
 - [25] ArcGIS Desktop Help

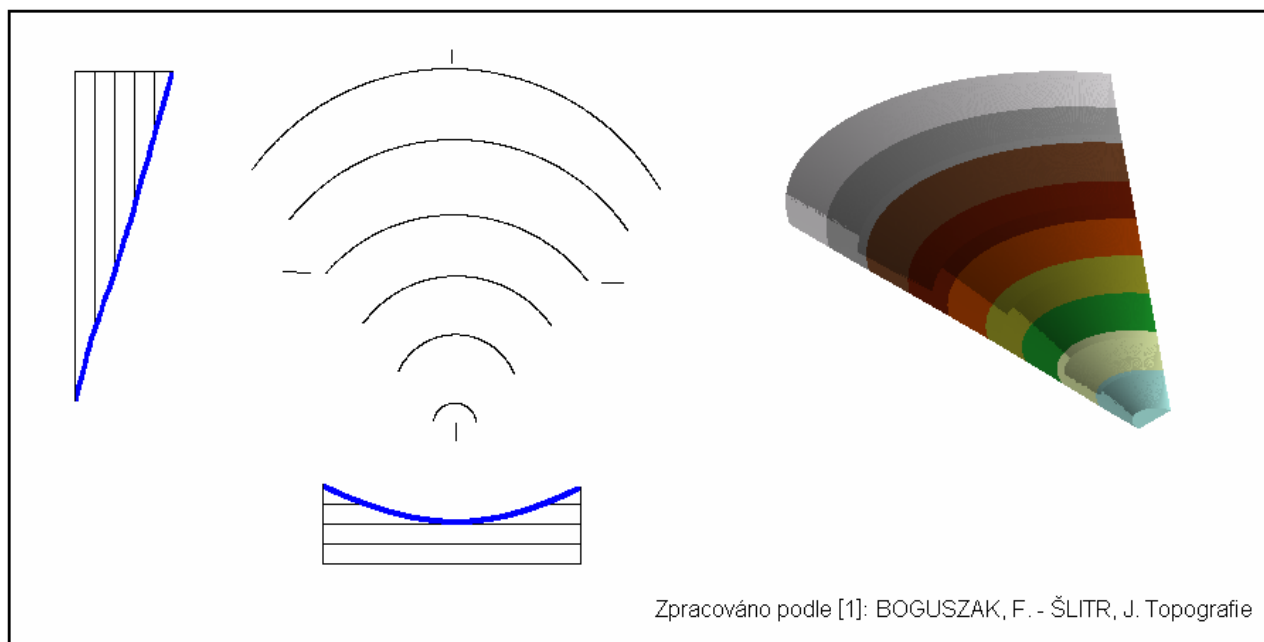
Příloha A - obrázky elementárních ploch



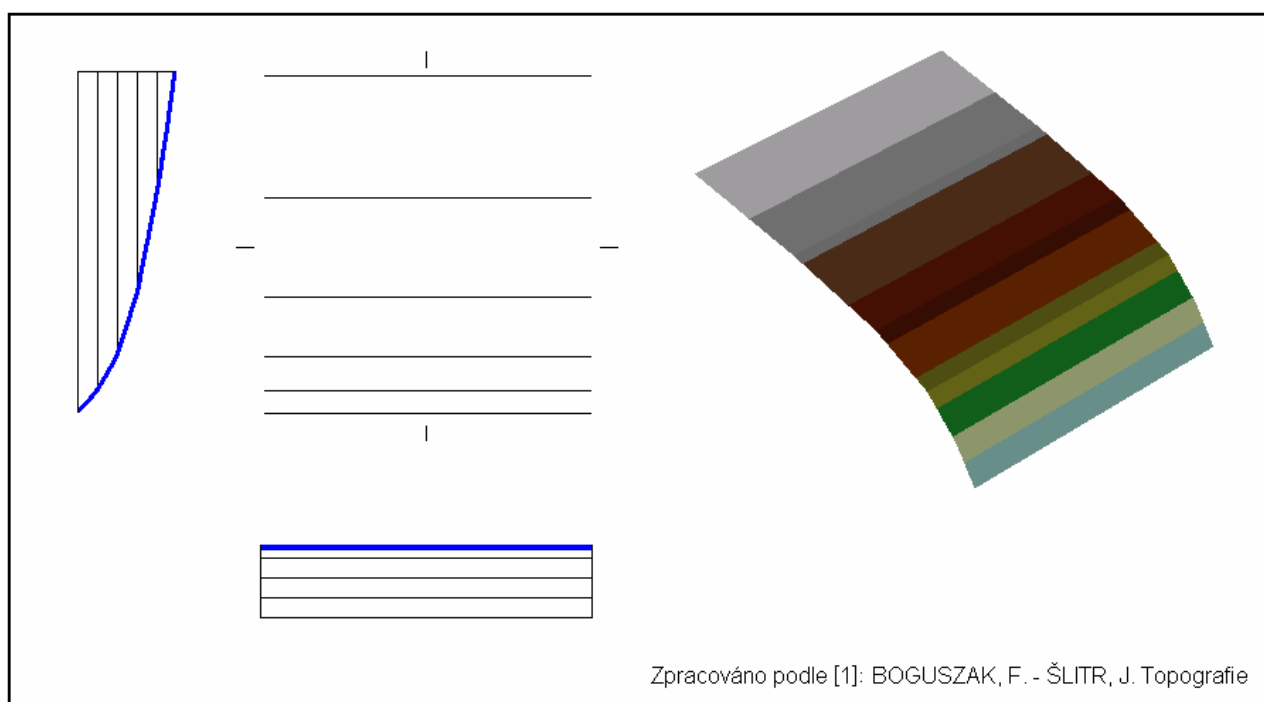
Obr. 51 Plocha rovná stejnoměrného sklonu.



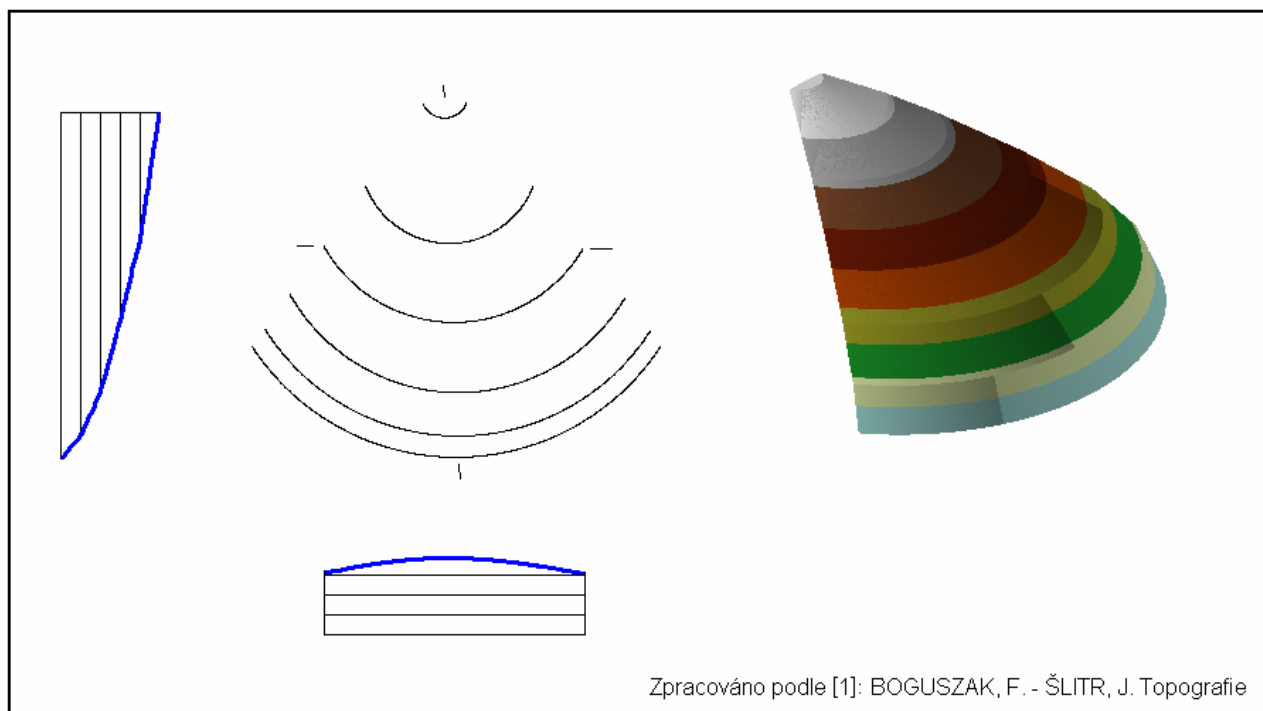
Obr. 52 Plocha vypuklá stejnoměrného sklonu.



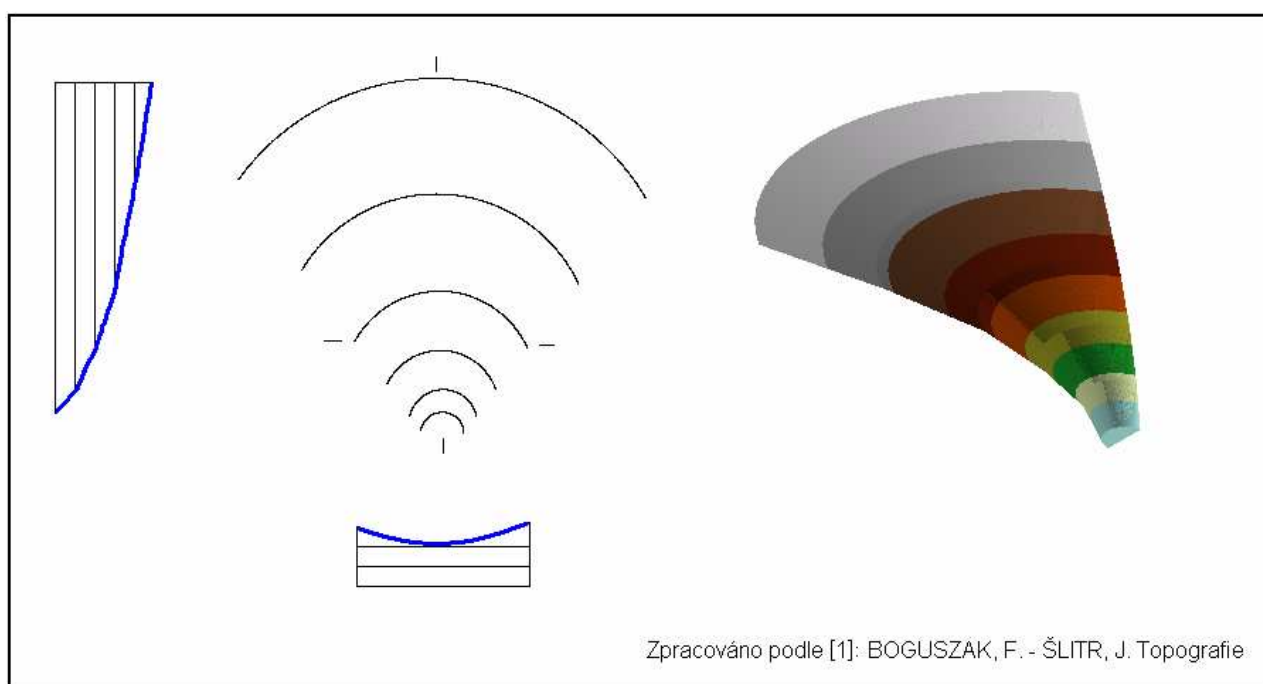
Obr. 53 Plocha vhloubená stejnoměrného sklonu.



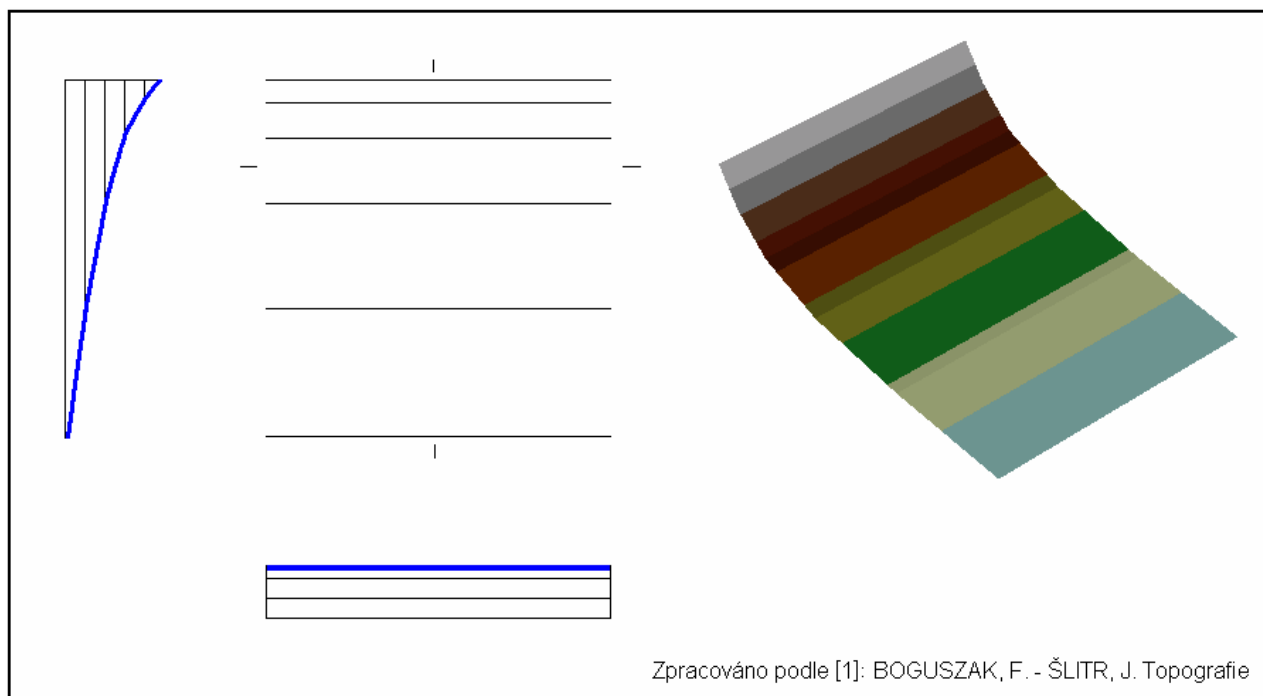
Obr. 54 Plocha rovná přibývajícího sklonu.



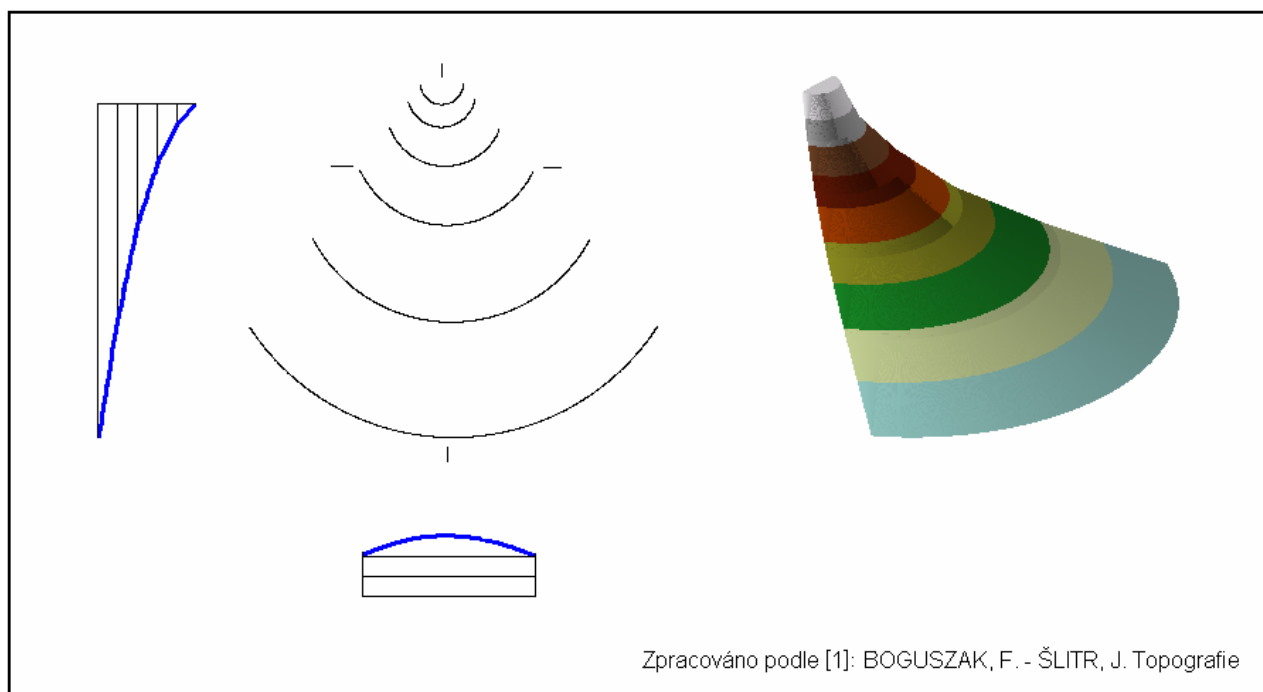
Obr. 55 Plocha vypuklá přibývajícím sklonu.



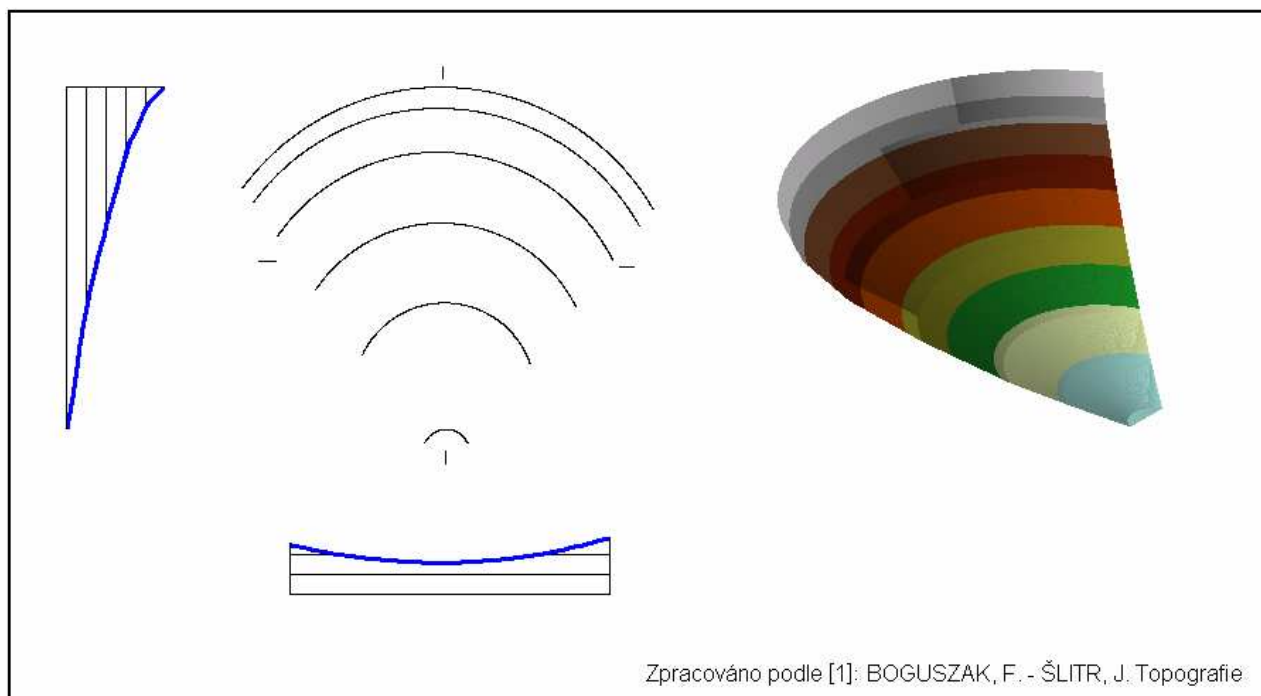
Obr. 56 Plocha vhloubená přibývajícím sklonu.



Obr. 57 Plocha rovná ubývajícího sklonu.



Obr. 58 Plocha vypuklá ubývajícího sklonu.



Obr. 59 Plocha vhloubená ubývajícího sklonu.

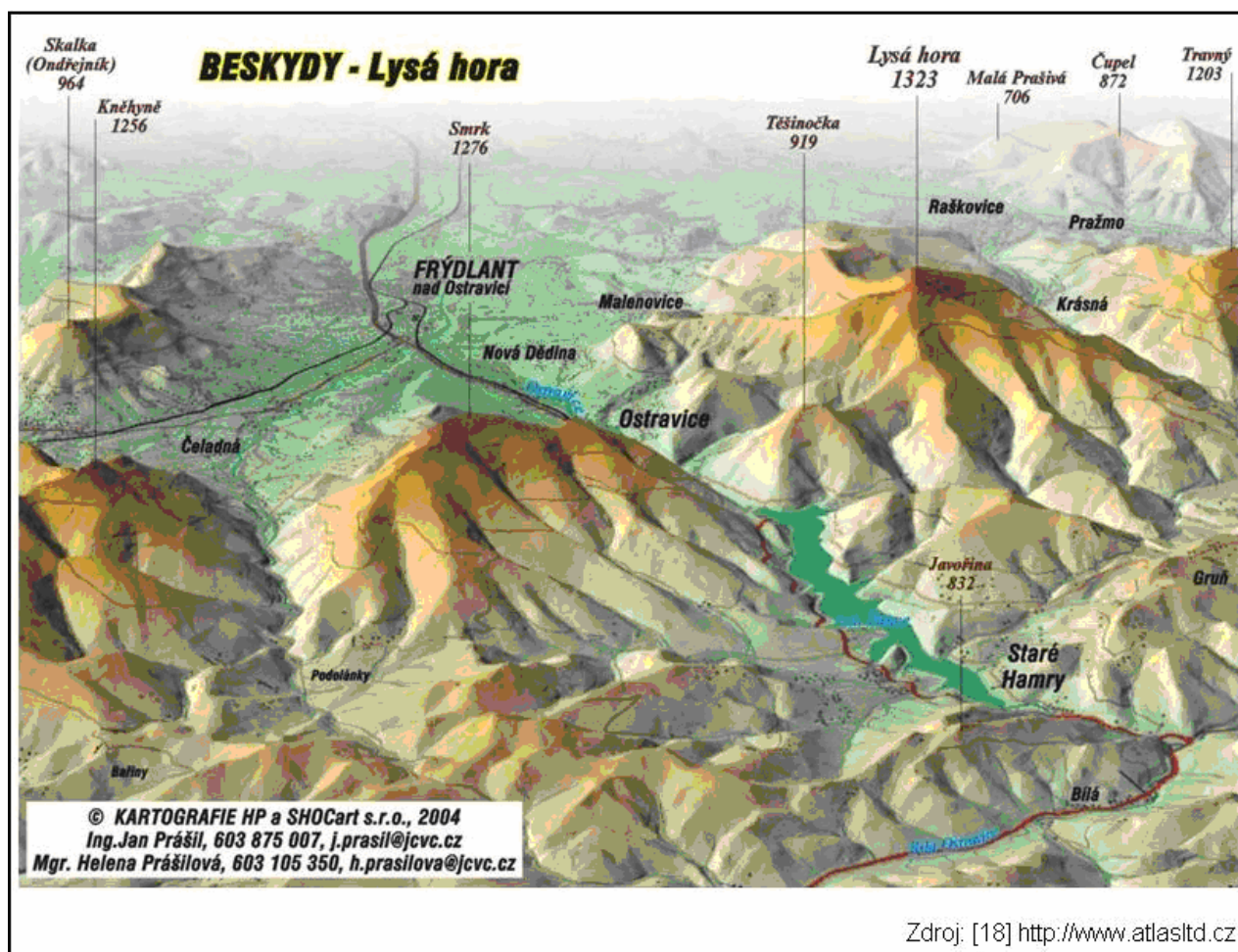
V řezech ve směru vrstevnic je vidět vodorovný průběh ploch a v řezech k nim kolmých je patrný svislý průběh.

Příloha B - Použití kopečkové metody v současnosti

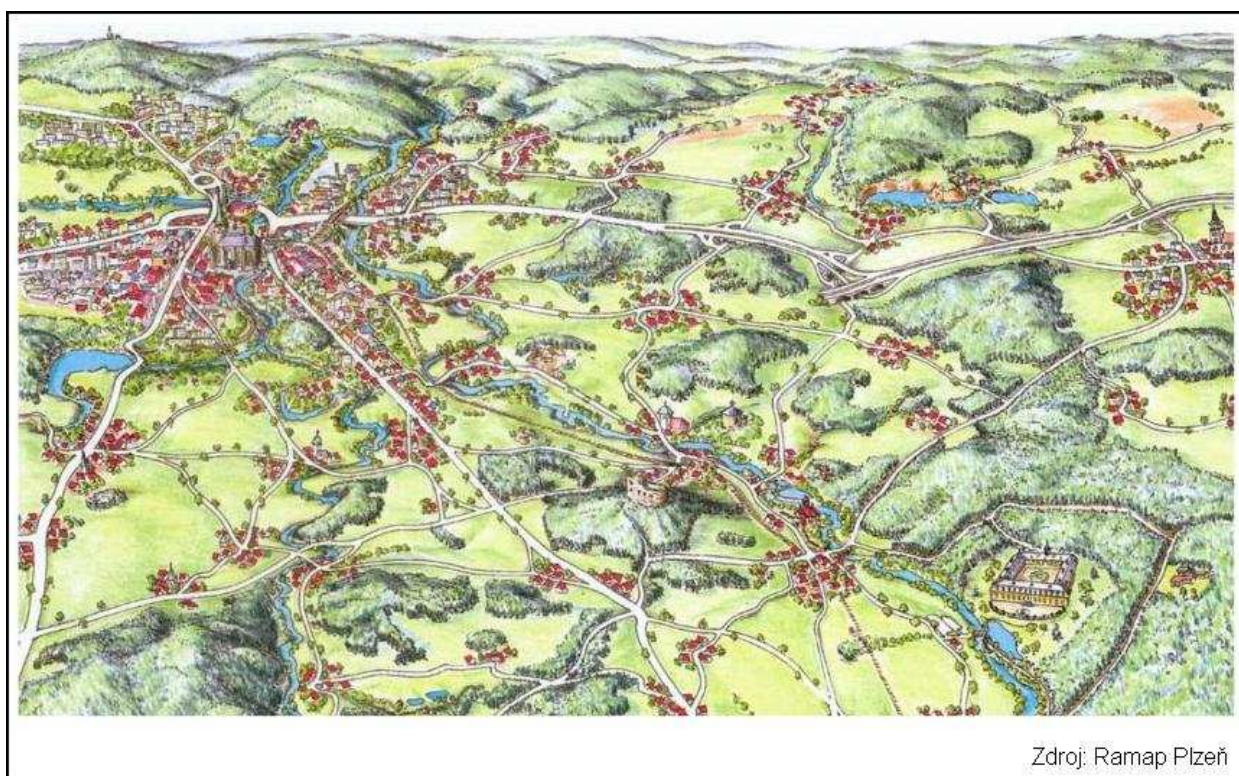


Zdroj:[16] www.promabyt.cz

Obr. 60 Kopečková metoda na lyžařské mapě.












Obr. 61 Kopečková metoda na turistické mapě Beskyd.



Obr. 62 Mapa trasy Plzeň - Kozel (kopečky dokresleny do mapy ručně).

Adresářová struktura na CD:

 [HTML]	
 [SHP]	
 [TIN]	
 Atlas	mdb
 Atlas	mxd
 Atlas	sxd
 cortvrml	exe
 Metody znázorňování výškopisu na mapách	doc
 Metody znázorňování výškopisu na mapách	pdf

adresář HTML – obsahuje internetové stránky se spouštějícím souborem index.html

adresář SHP – obsahuje soubory formátu *.SHP (vrstevnicové vyjádření terénních tvarů)

adresář TIN – obsahuje soubory formátu *.TIN (3D vyjádření terénních tvarů)

soubor atlas.mdb – databáze obsahující SHP soubory

soubor atlas.mxd – soubor pro spuštění vrstevnicového atlasu v programu ArcMap

soubor atlas.sxd – soubor pro spuštění 3D atlasu v programu ArcScene

soubor cortvrml.exe – instalační soubor VRML klienta pro prohlížení VRML souborů
v HTML verzi práce

soubor Metody znázorňování výškopisu na mapách.doc – samotný text práce (MS Word)

soubor Metody znázorňování výškopisu na mapách.pdf – samotný text práce (Acrobat Reader)