

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: prof. Ing. Tomáš Kvítek, Csc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tvorba DMT využitelného jako podklad projekční činnosti

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Hánek, Ph. D.

Autor: Markéta Bulinová

České Budějovice, duben 2011

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Zemědělská fakulta  
Akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Markéta BULINOVÁ**  
Osobní číslo: **Z08597**  
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**  
Název tématu: **Tvorba DMT využitelného jako podklad projekční činnosti.**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

### Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je vyhotovit digitální model terénu (3D model) a vrstevnicového plánu zájmového území. Součástí zpracování práce je geodetické zaměření zájmové lokality elektronickou tachymetrií.

Změřená data budou sloužit jako podklad pro vyhotovení DMT v programu DMT Atlas.

UNIVERZITA JIHOČESKÁ  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA V  
ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Katedra krajinného  
managementu  
250 02 Budějovice  
tel. 38 531 2111

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 25 - 50 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Manuál programu DMT Atlas

Hánek, P. a kol.: Stavební geodézie. Praha, Česká technika - Vydavatelství ČVUT 2007.

Hánek, P. - Hánek, P. (jr.) - Maršíková, M.: Geodézie pro obor pozemkové úpravy a převody nemovitostí. 2. vydání. České Budějovice, Jihočeská univerzita 2008.

Podhorský I. a kol.: Podrobné mapování. Praha 1980

Mikšovský M., Soukup P.: Kartografická polygrafie a reprografie, Vydavatelství ČVUT, Praha 2009

Pažourek J. a kol.: Mapování. Brno 1992

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Hánek, Ph.D.  
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: 9. března 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2011

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice

prof. Ing. Milošlav Šoch, CSc.  
děkan

L.S.

prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 9. března 2010

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „Tvorba DMT využitelného jako podklad projekční činnosti“, jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 10. dubna 2011

Podpis:

### **Poděkování**

Na tomto místě chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Hánkovi, Ph. D. za veškerou pomoc, konzultace a odborné vedení mé bakalářské práce. Poděkování patří i firmě Geoplan Plzeň za vstřícnost a pomoc s naměřenými daty. V neposlední řadě patří díky i mé rodině a nejbližším.

## **ABSTRACT**

Téma této bakalářské práce je „Tvorba DMT využitelného jako podklad projekční činnosti“. Jejím cílem je vyhotovit digitální model terénu (3D model) a zhotovení vrstevnicového plánu zájmového území. Součástí zpracování práce je geodetické zaměření zájmové lokality elektronickou tachymetrií.

Pro měření byla zvolena lokalita Vejprnice, Plzeň-sever. Nejdříve tedy na celém zadaném území proběhla rekognoskace terénu a stávajícího bodového pole, následně byla lokalita podrobně zaměřena. Jako mapový podklad sloužila katastrální mapa DKM. Měření bylo prováděno metodou elektronické tachymetrie. K měření byly použity přístroje Trimble 3605 DR a GPS Trimble R6. Souřadnice bodů byly určeny v systému S-JTSK a ve výškovém systému Bpv. Připojovací body pro lokalizaci do JTSK a do Bpv byly určeny metodou GPS-RTK (CZEPOS). Výpočty byly provedeny programem Geus 15.5, grafická část dokumentace byla zpracována systémem MicroStation 8.1 a ATLAS DMT. Výsledkem této práce jsou vrstevnicové plány a vizualizace 3D modelu, která je podkladem pro projekční činnost konkrétně pro výstavbu rodinných domů.

**Klíčová slova:** terén, data, digitalizace, vizualizace, krajinná scéna.

## **ABSTRACT**

The theme of this thesis is “Making DMT usable as a base design activity”. Its aim is to prepare digital *terrain* model (3D model) and making the contour plan of the area. The processing work is geodetic electronic tacheometry for location of interest.

To measure the location was chosen Vejprnice, Plzen-north. First, therefore, throughout the given territory the reconnaissance of the terrain and the current point field, then the location detail oriented. Maps serve as the cadastral map of DKM. Measurements were made using electronic tacheometry. The measurement devices were used Trimble 3605 DR and Trimble R6 GPS. The coordinates of points identified in the S-JTSK and the altitude of BPV. Connection points for localization and JTSK Bpv were determined using GPS-RTK (CZEPOS). Calculations were performed Geus 15.5, graphical part of the document was prepared MicroStation 8.1 and ATLAS DMT. The result of this work is the visualization of 3D model and is the basis for design activities specifically for the construction of houses.

**Key words:** field, data, digitization, visualization, landscape scene.

## OBSAH

<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>Teoretická část</b>	
<b>2. Terénní plocha .....</b>	<b>11</b>
2.1 Charakter terénní plochy .....	11
2.2 Terénní reliéf .....	12
2.3 Geometrie složitých objektů .....	12
2.4 Typy terénních modelů .....	13
<b>3. Digitální modely .....</b>	<b>18</b>
3.1 Využití terénního modelu .....	18
3.2 Digitální model krajiny .....	20
<b>4. Datová reprezentace terénního modelu .....</b>	<b>21</b>
4.1 Zdrojová data DMT .....	21
4.2 Formát a rozmístění zdrojových dat .....	24
4.3 Geometrická relace .....	25
4.4 Geometrická operace .....	25
<b>5. Konstrukce terénního modelu .....</b>	<b>27</b>
5.1 Konstrukce nepravidelné trojúhelníkové sítě .....	27
5.2 Konstrukce plátů .....	27
<b>6. Interpolace na terénním modelu .....</b>	<b>29</b>
<b>7. Vizualizace terénu .....</b>	<b>30</b>
7.1 Úvodní poznámky .....	30
7.2 Viditelnost .....	31
7.3 Promítání .....	32
7.3.1 Axonometrie .....	32
7.3.2 Lineární perspektiva .....	32
7.4 Metody vizualizace .....	33
7.4.1 Vrstevnice .....	33
7.4.2 Stínování .....	34
7.4.3 3D vizualizace .....	34



<b>Praktická část</b>	
<b>8. Použité programy pro zhotovení práce .....</b>	<b>36</b>
8.1 Geus .....	36
8.2 Microstation .....	37
8.3 DMT Atlas .....	38
<b>9. Charakteristika lokality .....</b>	<b>41</b>
<b>10. Metodika práce .....</b>	<b>43</b>
<b>11. Vlastní zpracování .....</b>	<b>44</b>
11.1 Geodetické práce v terénu .....	44
11.2 Grafické práce .....	45
<b>12. Závěr .....</b>	<b>48</b>
<b>13. Seznam použité literatury .....</b>	<b>49</b>
<b>14. Seznam použitých zkratek .....</b>	<b>51</b>
<b>15. Přehled obrázků .....</b>	<b>52</b>
<b>16. Seznam příloh .....</b>	<b>53</b>

# 1. Úvod

Pod pojmem „terén“ bývá někdy myšleno víc, než je reliéf zemského povrchu, ale i vodstvo, hranice kultur a správních celků, prostě většina toho, co bývá zobrazeno na topografických mapách. Dále pak se pod digitálním modelem může myslet i jisté programové vybavení pro řešení nějakých úloh v terénu.

Kompetentní disciplínou pro dokumentaci terénního reliéfu je geodézie, jejíž dlouhý vývoj metodických prostředků směřoval k tvorbě grafických dokumentů. První etapa automatizace v šedesátých letech přinesla termín „digitální model“.

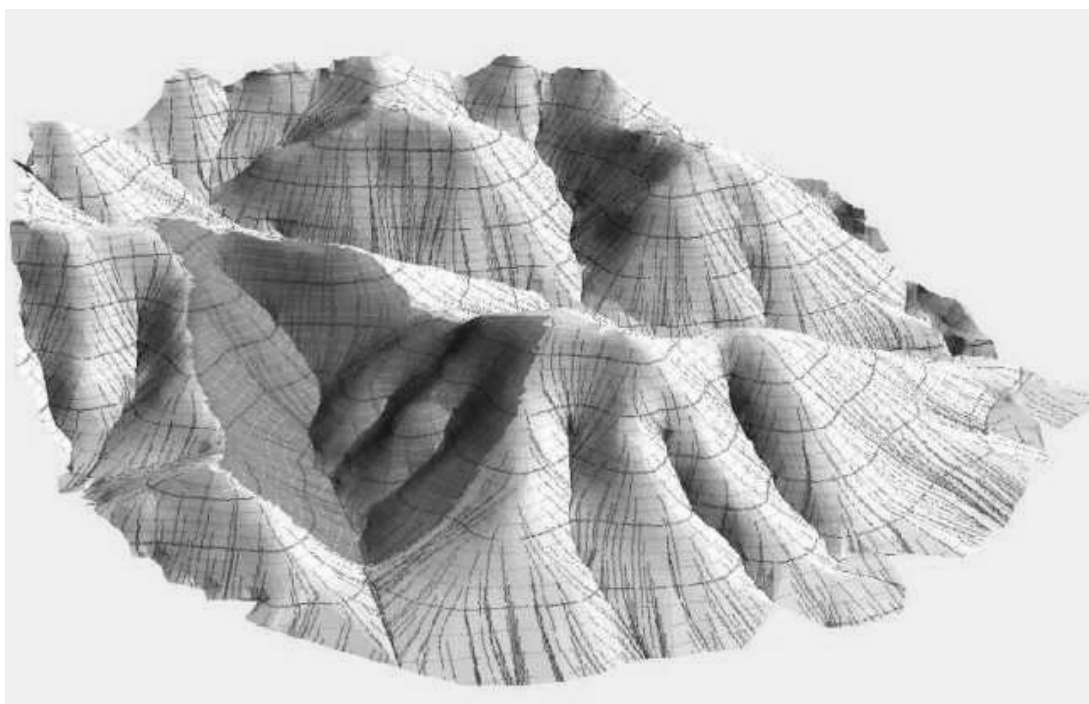
V souvislosti s rozvojem moderní výpočetní a zobrazovací techniky vznikl nový způsob záznamu a vyjádření výsledků měření zemského povrchu (terénní plochy). Na místo tradičního grafického zobrazení v mapě je možno zaznamenávat, uchovávat a zpracovávat soubor číselných (digitálních) údajů o terénu.

Cílem této bakalářské práce je vyhotovení DMT využitelného jako podklad projekční činnosti. Kapitoly jsou psány formou literární rešerže. První část tvoří teoretická část, která je rozdělena na jednotlivé kapitoly a podkapitoly. Součástí práce je také praktická část, kde je DMT použit na část lokality v katastrálním území Vejprnice.

## Teoretická část

### 2. Terénní plocha

#### 2.1 Charakter terénní plochy



*Obr. 1: Terénní model (Manuál programu DMT Atlas, 2011).*

Terénní plocha je velmi nepravidelná. Vykazuje místa, kde je průběh hladký, jinde zas vidíme linie, které prokazují, že je tam hladkost narušena a dokonce se setkáváme s terénními stupni, které jsou sice většinou umělé, nicméně k terénu patří. Jinou zvláštnost představují údolnice a hřbetnice, kde průběh sice může být hladký, ale výjimečnost těchto linií je rovněž evidentní (Mayer, 1995).

Takové zjevy budeme nazývat singularitami a zde si jen uvědomíme, že jsou různého druhu. Matematicky bychom je mohli charakterizovat jako nespojitost derivace, nespojitost funkce a lokální extrém funkce (Urban, 1988).

Na utváření reliéfu terénu se podílí působení vnitřních a vnějších sil. Zde se mohou jmenovat působení vody (tekoucí, stékající, prosakující), vliv změn teploty, působení zamrzání a rozmrzání, a intenzivní lidská činnost.

Většinu terénní plochy 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 (místa, kterými lze vést svislici, protínající povrch ve dvou nebo více bodech).

## 2.2 Terénní reliéf

Terén se pro vyjádření v mapě rozkládá na dílčí plochy. Charakteristické čáry těchto ploch a hranice těchto ploch tvoří kostru terénu. Rozeznáváme tyto důležité čáry nebo body:

- tvarová čára – ohraničuje mírně sklonitá nebo vodorovná místa terénních tvarů,
- hřbetnice – spojuje relativně nejvýše položená místa terénního tvaru (voda stéká od ní po úbočí na obě strany),
- údolnice – spojuje relativně nejnižší položená místa terénního tvaru, má ze všech spádnic nejnižší sklon,
- body terénní kostry – místa, kde se čáry terénních ploch sbíhají nebo protínají,
- hrany – meze, uměle upravené plochy (Hánek, a kol., 2007).

Reliéf je tvářnost zemského povrchu, jeho obraz patří k nejdůležitějším prvkům obsahu topografických a obecně zeměpisných map (Hojovec, et al., 1987).

## 2.3 Geometrie složitých objektů

Za složitý objekt budeme považovat takový, k jehož matematickému popisu je nutný rozklad na části. Klasická geometrie vyvinula účinný aparát pro popis částí. Moderní metody geometrického modelování tento aparát v mnohém zdokonalily a dále rozvinuly určité partie topologie tak, že s jejich pomocí je možné řešit jakékoli geometrické úlohy nad složitými objekty.

Protože předmětem našeho zájmu bude povrch složitých objektů, budeme uvažovat objekt jako množinu ploch. Plochy jsou ohraničeny sledem hran, který budeme nazývat hraniční smyčkou. Kromě toho může plocha obsahovat otvory, definované vnitřní smyčkou. Plochy mohou být rovinné i křivé (Urban, 1988).

## 2.4 Typy terénních modelů

Zde se zaměříme na takové typy terénních modelů, jejichž společným rysem je rozdělení terénní plochy na elementární plošky. Z našich úvah tedy vylučujeme takové modely, kde je terén reprezentován např. vrstevnicemi v digitální podobě nebo jinými charakteristickými čarami (Urban, 1991).

### Polyedrický model

Elementárními ploškami jsou v tomto případě nepravidelné rovinné trojúhelníky, které k sobě přiléhají a tvoří tak nepravidelný mnohostěn, který se přimyká k terénu. Vrcholy mnohostěnu jsou body na terénní ploše, které mohou být určeny přímým měřením, ať už geodeticky nebo fotogrammetricky, nebo i kartometricky (Maršíková, Maršík, 2006).

Terén je v tomto případě reprezentován trojúhelníky, čili sadou vrcholů (vertex), hran (edges) a plošek (faces).

### Jednoduchá organizace polyedrického modelu

Polyedrický model je v současné době používán především ke konstrukci vrstevnic a řezů. Tento cíl více méně předurčil příslušnou datovou strukturu, která měla především zaručit lineární interpolaci v trojúhelnících.

Model může být reprezentován jednoduchou tabulkou, kde ve třech sloupcích jsou uvedeny vrcholy jednotlivých trojúhelníků v určeném pořadí. Pořadí jednotlivých trojúhelníků může podléhat jakémusi uspořádání, které umožní přímý výběr trojúhelníků z určitého okolí.

Určitým vylepšením uvedené struktury je rozšíření tabulky trojúhelníků o indexy přilehlých trojúhelníků. To umožní podstatně urychlit hledání příslušného trojúhelníka při interpolaci.

V našich úvahách předpokládáme, že vrcholy trojúhelníků jsou identifikovány pouze jejich indexy, podle uložení v operační paměti. Avšak při práci s velkým počtem vrcholů, které není možno umístit najednou do operační paměti, bývají vrcholy a trojúhelníky identifikovány podle jiných pravidel, a tím se věc náramně komplikuje. Model musí být rozdělen do pravidelných bloků a někdy se pro

zajištění návaznosti zavádí jejich překryt.

Taková organizace dat nutně vyžaduje další informace a speciální podpůrné programové prostředky.

Polyedrický model se osvědčil v řadě projektových organizací k řešení již zmíněných úloh (konstrukce vrstevnic a řezů). Avšak i řešení těchto poměrně jednoduchých problémů naráží na problémy, které při naznačené organizaci dat musí zcela zákonitě nastat.

Nedostatky polyedrického modelu můžeme zhruba shrnout takto:

1. Linearita (trojúhelníky jsou rovinné) na úrovni, kde by být neměla.
2. Komplikovaná organizace dat do bloků.
3. Nezpůsobilost datové struktury ke snadnému provádění obecnějších geometrických operací a k interakční práci (Urban, 1988).

Některé systémy, pracující na bázi polyedrického modelu, umí vytvořit hladké vrstevnice, lahodící oku. Obvykle se toho docílí vyhlazením lomené čáry vhodnou interpolační metodou. Avšak takový postup, který nevychází z křivých ploch, nelze obecně doporučit (Urban, 1991).

### **Rastrový model**

Jak název napovídá, model je dán množinou elementárních plošek nad oky pravidelného rastru. Jsou to vlastně zborcené čtyřúhelníky, které je možno rozdělit na trojúhelníky, případně je možné uvažovat i jiné, složitější plochy (Mayer, 1995).

Vrcholy, či spíše uzly pravidelné sítě obvykle nebývají přímo měřené, ale jsou odvozené určitým výpočetním postupem. Pravidelné uspořádání dat v matici představuje oproti trojúhelníkovému modelu značné výhody. Je však zřejmé, že hranice elementárních plošek nemohou sledovat průběh singularit, což může být na závadu přesnosti, není-li rastr dost hustý (Maršíková, Maršík, 2006).

### Datová reprezentace rastrového modelu

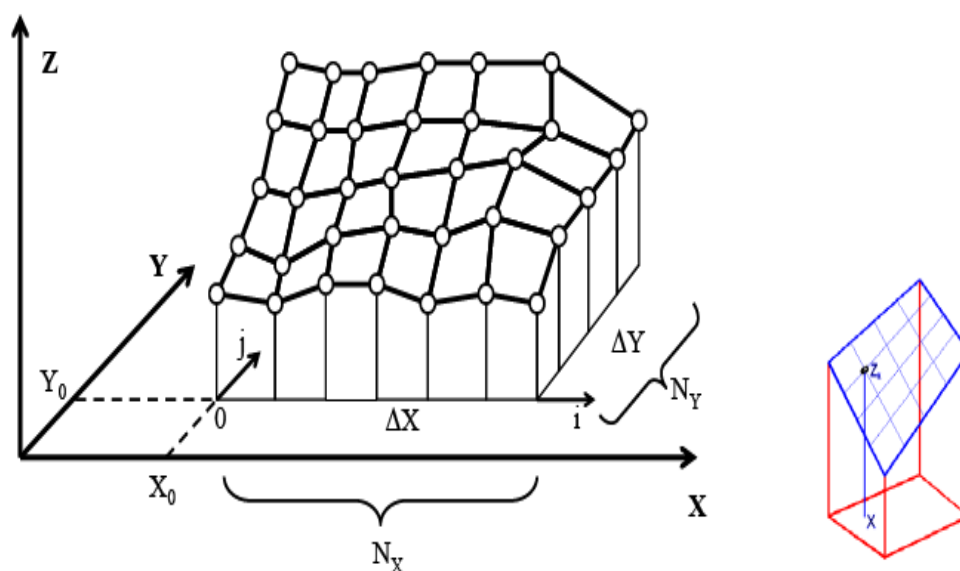
Rastrový model je definován maticí hodnot. Digitální mapové produkty mohou být uloženy v rastrovém nebo vektorovém formátu. Rastrová data lze snadno zobrazovat nebo tisknout, mohou popisovat složité objekty, převod mezi různými

rástrovými formáty je snadný. Nevýhodou rástrových dat je velký objem a ztráta kvality při transformacích typu otočení nebo zmenšení.

Mapy v rástrovém formátu mohou být získány skenováním analogových podkladů, nebo konverzí z vektorového formátu mapy. Druhý způsob se používá v situaci, kdy uživatel nepotřebuje disponovat editovatelnými grafickými daty mapy. Moderní způsob dostupnosti mapových podkladů v rástrovém formátu představují webové mapové služby (WMS), které umožňují vlastníkům a správcům dat nabídnout uživatelům mapy standardizovaným způsobem pomocí internetu (Mikšovský, Soukup, 2009).

Přednosti rástrového modelu jsou nesporné, ale mají význam jen tehdy, pokud přesnost modelu bude vyhovovat požadavkům uživatele. Přesnost rástrového modelu je dána hustotou příslušného rastru a přirozeně i přesností výšek v uzlech. Prostředkem k získání velice jemného rastru a přitom velice přesného, může být jen plátový model, který umožňuje modelovat terén na libovolné úrovni podrobnosti (Urban, 1991).

Pro zobrazení rástrového modelu můžeme tedy uvažovat jen buď jednotlivé řádky, resp. sloupce matice, které pro nás představují řezy s terénem, anebo můžeme uvažovat množinu elementárních plošek nad jednotlivými oky pravidelné sítě.



Obr. 2: Geometrie rástrových modelů (Kraus, 2000).

Generování kresebných elementů musí obvykle probíhat v pořadí, které vyžaduje následný zobrazovací program. Proto se můžeme setkat v této pracovní fázi s dotazy programů na směr projekce, ačkoli se zatím žádné promítání nekoná. Souvisí to s řešením viditelnosti (Urban, 1988).

Jednoduchá organizace dat rastrového modelu umožňuje nejen provádět velice rychle veškeré operace, ale umožňuje snadno napojovat modely, pracovat bez problémů na jejich rozhraní, generovat odvozené modely s hrubším rastrem a vytvářet datovou bázi výšek zcela analogicky, jako je po listech organizován mapový systém (Urban, 1991).

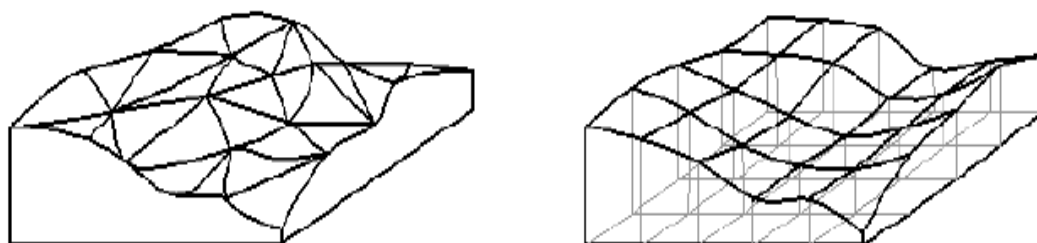
Rastrový model je určen těmito informacemi:

1. maticí hodnot,
2. rozměrem rastru  $d$ ,
3. vektorem translace  $(x_0, y_0, z_0)$ ,
4. případně úhlem natočení  $F$  (Urban, 1988).

### **Plátový model**

Tento typ modelu předpokládá, že se povrch rozdělí na nepravidelné, obecně křivé plošky trojúhelníkového nebo čtyřúhelníkového tvaru, přičemž hranice dělení se vedou po singulárních čarách (lomových hranicích) (Mayer, 1995).

Tento způsob popisu nepravidelných křivých ploch byl prvně použit v průmyslovém desingu, odkud též pochází termín plát. Plátový model může vzniknout „vyhlazením“ trojúhelníkového modelu v rozsahu několika vybraných trojúhelníků (Maršíková, Maršík, 2006).



*Obr. 3: Rozvržení plátového modelu (Urban, 1988).*



Byly a stále ještě jsou vyvíjeny metody pro matematický popis jednotlivých plátů a jejich hladké napojení. Vývoj těchto metod sahá do šedesátých let a je spojen se jmény Ferguson, Coons a Bézier. Některé z nich jsou výhradně orientovány na asistenci konstruktéra, který pomocí vysoce účinných prostředků tvar plátů modifikuje. Pro terén je však třeba, aby definice plátů byla provedena automatizovaně na základě primárních dat a konstruktér provedl jen drobné úpravy na singularitách. Takové úpravy jsou dobře proveditelné pomocí interakčního grafického displeje.

Pro terénní model se zdá být nejvýhodnější Coonsova metoda definice plátu, která jej definuje pomocí hraničních křivek. Jestliže jedna z tvořících křivek degraduje, dostáváme vyjádření pro trojúhelník. Další zjednodušení se může týkat tvaru křivek. Je možné se omezit jen na rovinné křivky a na jeden druh. Například kubickou křivku, jejíž schopnost inflexe je mimořádně důležitá.

Plátový model umožňuje popsat terén s vysokou přesností bez nároků na zvýšený objem primárních dat, ovšem za cenu jisté výpočetní složitosti. Z plátového modelu je možno vytvořit interpolací rastrový model vysoké hustoty a vysoké přesnosti (Urban, 1988).

### 3. Digitální modely

DTM – digital terrain model (DMT – digitální model terénu) digitální reprezentace zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů (VÚGTK)

DSM – digital surface model (DMP – digitální model povrchu) zvláštní případ digitálního modelu reliéfu konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků (např. obrazové korelace ve fotogrametrii) tak, že zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (střechy, koruny stromů apod.)

DEM – digital elevation model (DVM – digitální výškový model) digitální model reliéfu pracující výhradně s nadmořskými výškami bodů (Terminologický slovník, 2011).

#### 3.1 Využití terénního modelu

Možnosti využití terénního modelu jsou mnohem širší, ale nejsou bez problémů. Práce s terénem má totiž určitá specifika, kterými se podstatně odlišuje od jiných vědeckovýzkumných výpočtů. Především je to velké kvantum dat, které vstupuje do zpracování a zároveň i značný objem výpočtů. Ostatní úlohy technické praxe mají obvykle buď jedno nebo druhé. Snad zde je třeba hledat příčiny všech obtíží, které překážejí většímu rozvoji automatizace v této oblasti. Zdá se však, že současný prudký vývoj technických a metodických prostředků vytváří předpoklady pro odstranění stávajících bariér. Je vhodné si uvědomit, že dnes není problém umístit do operační paměti matici s milionem prvků. Zvýšená rychlost procesoru umožňuje provádět i velice komplikované výpočty v reálném čase. Podpora interakční grafiky umožňuje lepší způsob komunikace a dovolí odstranit komplikovanou identifikaci geometrických prvků pomocí různých identifikačních čísel, což je pozůstatkem z minulého vývoje.

Delikátnost situace kolem terénního modelu je navíc umocněna tím, že je tu mnoho kategorií uživatelů se značně odlišnými požadavky. Tak tu máme uživatele,

kteří terén a tedy i model mění, jiní nikoli. Jedni pracují ve vymezené lokalitě, působnost druhých se dynamicky přesouvá. Pracuje se v měřítku, kde mohou hrát roli centimetry, u jiných aplikací nezáleží na metrech. Tyto problémy průmyslový desing nezná. Nicméně stávající překážky nejsou tak silným důvodem, aby aspirace v tomto oboru nemohly sahat tak daleko, jako je tomu v průmyslovém desingu (Urban, 1991).

Z hlavních oblastí aplikace DMT je možno rozlišit tyto:

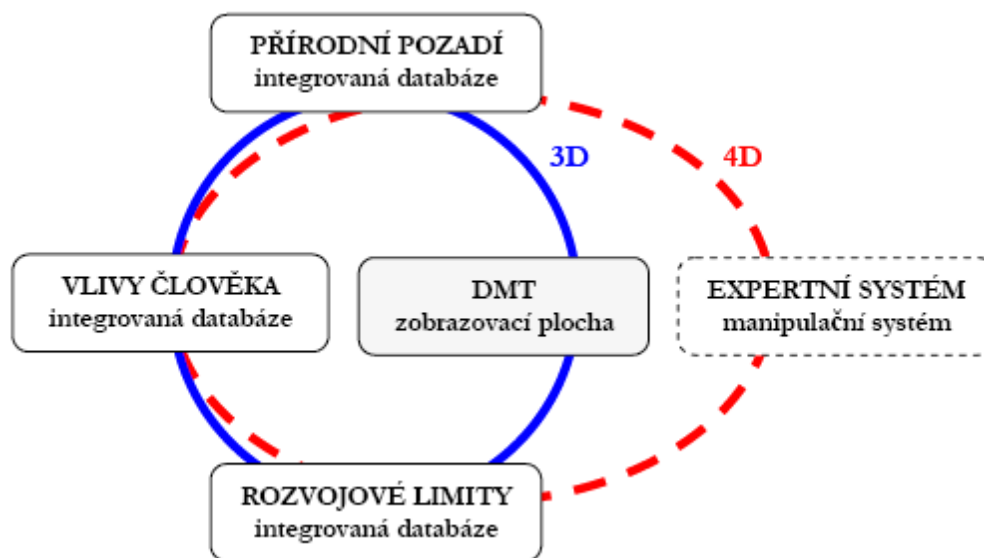
- 1) Geoinformační technologie – v oborech jako je geodézie, GIS a DPZ je základním požadavkem přesnost DMT, protože jsou na něm založeny další operace s obrazovými daty.
- 2) Stavební inženýrství – je typickým uživatelem DMT, jak v oblasti projektování, tak v oblasti vizualizace výsledků této činnosti v krajině.
- 3) Hospodaření s přírodními zdroji – jedná se o značně širokou oblast v oborech jako jsou: zemědělství, lesnictví, těžební činnost, meteorologie atd. Tyto obory kladou důraz zejména na analytické možnosti DMT (odhad potenciální půdní eroze, modelování klimatických veličin) a samozřejmě také na vizualizaci.
- 4) Přírodní vědy – tato oblast se týká zejména oborů jako jsou: geologie, pedologie, geomorfologie, hydrologie a ekologie. Zabývá se především modelováním přírodních procesů a jejich interpretací (půdní charakteristiky, modelování odtoku, šíření znečištění apod.).
- 5) Vojenské účely – terén je prakticky nejdůležitější charakteristikou ve vojenství a je tedy v této oblasti kladen důraz jak na pořizování vstupních dat (v globálním i lokálním měřítku), tak na jeho analýzy (logistická podpora, fotorealistická vizualizace bojiště apod.).

### 3.2 Digitální model krajiny

Digitálním modelem krajiny je minimálně čtyřrozměrné, počítačem generované schéma vybraného segmentu krajinné sféry Země zachycující ve zjednodušené podobě jeho strukturní a dynamické rysy. První tři rozměry modelu (prostorové souřadnice) popisují strukturní aspekt modelu, zatímco čtvrtý rozměr zachycuje aspekt časový jako produkt modelovaného procesu nebo jako sekvenci stavů procesu (Pelikánová, Kolečka, 2000).

Standartní databáze DMK je z prostorového pohledu tvořena třemi základními vrstvami dat:

1. nadpovrchová data – reprezentují vzájemně integrované údaje o složkách přírodního geosystému a jeho antropogenní nadstavbě: klima, vodstvo, vegetace, aktuální či historické využití ploch,
2. povrchová data – představují informace o reliéfu (v podstatě DMT),
3. podpovrchová data – zastoupená informací o půdním pokryvu, zvětralinovém a sedimentárním plášti (o zeminách) a o geologické struktuře (o horninách).



Obr. 4: Schéma digitálního modelu krajiny (Pelikánová, Kolečka, 2000).

Všechna tato data jsou navzájem integrována, jak ve vrstvách, tak i mezi vrstvami navzájem, obdobně jak je tomu v reálné krajině, nikoliv tedy jen na sobě mechanicky naskládána (Pelikánová, Kolečka, 2000).

## 4. Datová reprezentace terénního modelu

V této kapitole se zaměříme na problematiku uspořádání „číselných informací o terénním reliéfu“ v paměti počítače. Dávno pominula doba, kdy se pouze žádalo, aby terénní model umožnil automatizovanou kresbu vrstevnicových plánů. Dnes už je jasné, že terénní model bude sloužit k řešení geometrických úloh v projektování, územním plánování, geologii, geofyzice, zemědělství, archeologii, atd.

V poslední době došlo nejen k bouřlivému vývoji metodických prostředků, ale i prostředků technických, což má pro náš problém mimořádný význam. V metodice geometrického modelování byly objeveny technologie, které dovolují provádět nejrůznější operace s geometrickými objekty, o kterých před několika lety nebylo potuchy. Značného pokroku bylo dosaženo též v oblasti modelování křivých ploch. Co se týče strojového vybavení, můžeme dobře počítat s kapacitou operační paměti několika megabajtů a rychlostí procesoru k milionu operací za vteřinu, o interakční grafické komunikaci ani nemluvě. Budeme-li čerpat z poznatků, získaných v průmyslovém designu, nesmíme pustit ze zřetele některá specifika, kterými se terén podstatně odlišuje. Jednak je to problematika různých měřítek, tedy generalizace, s čímž se v CAD nesetkáváme, dále pak problém obrovského množství dat a jejich organizace do samostatných celků (Urban, 1991).

### 4.1 Zdrojová data DMT

Digitální vyjádření výškopisné složky map velkých měřítek je založeno na principu, že všechny výškové údaje o terénu (ať regulární či singulární body), určené geodetickými, fotogrammetrickými či kartometrickými metodami jsou zpracovávány v digitálním tvaru. Jejich vyjádření, uspořádání a ukládání je organizováno tak, by mohly být přímo zpracovány počítačem při řešení různých aplikačních úloh. Kdyby se mělo využít těchto údajů pouze pro účely automatizované tvorby vrstevnic, byla by celá záležitost velmi neefektivní. Úloha vrstevnic při digitálním vyjádření výškopisu tkví pouze v jejich významu pro vizuální představu uživatele mapy o průběhu terénu, pro řešení úloh nemechanizovaným způsobem a pro získání různých doplňkových informací.

Ve všech případech získávání údajů nutných ke tvorbě DMT může jít buď o body morfologicky rozložené (zejména při mapování geodetickými metodami), dále o body čtvercových sítí a na profilech či přímo body vrstevnic (zejména při fotogrammetrickém vyhodnocení leteckých snímků nebo při kartometrickém snímání souřadnic stávajících map) (Podhorský, a kol., 1980).

## **Metody získání zdrojových dat**

### **A) Pozemní měření**

- a) geodetická měření – elektronická tachymetrie
- b) globální navigační satelitové systémy (GNSS) – metoda GPS-RTK

### **B) Dálkový průzkum země**

- a) fotogrammetrická analýza
- b) radarové snímání
- c) laserové snímání (LiDAR)

### **C) Existující digitální a analogová data**

- a) Základní báze geografických dat (ZABAGED)
- b) Kartometrické metody

## **Primární data**

Zde se nebudeme zabývat problematikou získávání primárních dat pro tvorbu terénního modelu. Primární data mohou pocházet ze značně rozdílných zdrojů (fotogrammetrie, kartometrie, tachymetr a jiné), a že v zásadě musí obsahovat prostorové souřadnice  $x,y,z$  zaměřených bodů a mohou obsahovat informace o tzv. předurčených hranách na singularitách. V řeči uživatele počítače to znamená, že bude existovat nějaký datový soubor, kde budou po řadě zaznamenány souřadnice daných bodů, třeba i s jejich identifikačními čísly, která ovšem pro práci na počítači nejsou nezbytná.

## Digitalizace map

Terénní model může být získán z výškových údajů na mapách. Můžeme si představit řadu technologií, jak převést výškové údaje z mapy do digitální podoby, a jak posléze vytvořit model.

Můžeme například snímat souřadnice jednotlivých bodů po vrstevnicích, což má tu výhodu, že pro celou množinu bodů je souřadnice z konstantní a tudíž se nemusí u každého bodu zadávat.

Též je možné snímat body po charakteristických liniích terénu (údolnicích a hřbetnicích) a využívat příslušných zákonitostí. Konečně je myslitelné i snímání bodů v pravidelném rastru. Takto získaná data mohou přímo představovat terénní model.

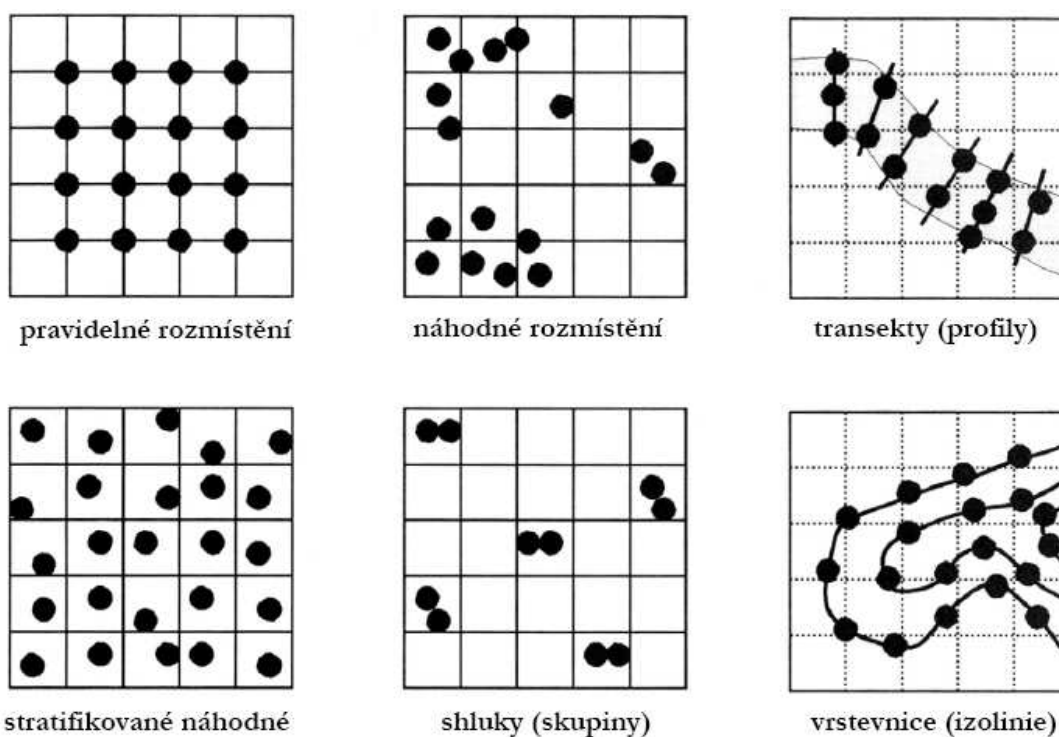
Většinou ale nemůžeme pracovat přímo se souřadnicemi, které produkuje digitalizátor, nýbrž je nutné převést je do souřadnicového systému mapy. K tomu slouží různé transformace, které přicházejí v úvahu nejen při tvorbě terénního modelu, ale při převodu jakékoli informace prostorové povahy.

Pro výpočet koeficientů v transformačních rovnicích je nutné znát souřadnice několika tzv. Identických bodů v obou soustavách. V souřadné soustavě digitizéru a současné soustavě mapy. Pro afinní transformaci je zapotřebí minimálně tři takových bodů, pro transformaci podobnostní postačí dva. Pokud by souřadný systém mapy byl opačně orientovaný, než systém digitalizátoru, je v níže uvedených vzorcích nutné zaměnit  $x$  za  $y$  a  $y$  za  $x$  (Urban, 1988).

## 4.2 Formát a rozmístění zdrojových dat

Z velké části je dáno metodou sběru dat. Formátem dat rozumíme jejich datovou strukturu, popsanou ve formě vektorové nebo rastrové reprezentace. Pro následné využití ke konstrukci DMT se nejčastěji užívá matice hodnot a bodového či liniového vektorového formátu. Matice hodnot je datový zápis bodového vektorového souboru, kde každému atributu (nadmořské výšce) jsou přiřazeny hodnoty polohových souřadnic.

Rozmístění vstupních dat je důležitým kritériem při volbě vhodné interpolační metody.



Obr. 5: Rozmístění vstupních dat (Mayer, 1995).

Jako vhodný kompromis mezi pravidelným a náhodným rozmístěním je možné použít stratifikované náhodné rozmístění, kdy je zajištěno pokrytí celé zájmové oblasti (rozdělené v pravidelném rastru). Shluky (skupiny) se nejčastěji využívají při analýze prostorové variability.



### 4.3 Geometrická relace

Uspořádání číselných informací o terénním reliéfu může být všelijaké, a proto se seznámíme s některými novějšími poznatky, ke kterým na tomto poli dospěla počítačová geometrie. Pro práci s modelem jsou rozhodující tyto vlastnosti:

- přesnost popisu terénní plochy
- rychlost operací a jejich uskutečnitelnost
- objem dat

Jak již bylo řečeno, kromě čistě geometrických dat určujících tvar, je nezbytné model obohatit i o data topologického charakteru, která popisují vztahy mezi vrcholy, hranami a plochami. Kdyby těchto informací v modelu nebylo, trvalo by řešení některých operací příliš dlouho a jiné by vůbec nebyly řešitelné. Souvisí to nepochybně s pamětí počítače, která mapuje trojrozměrnou realitu jiným způsobem, než ji vnímá člověk. Pokud se tedy hovoří o datové struktuře modelu, máme především na mysli skladbu topologických informací o vrcholech, hranách a plochách.

### 4.4 Geometrická operace

Manipulace s objekty vyžaduje, aby součástí programového vybavení byly speciální procedury, provádějící geometrické operace. Můžeme je rozdělit například takto:

#### **Lokální operace**

Týkající se jednotlivých vrcholů, hran a ploch a můžeme je dále dělit na topologické a geometrické.

#### **Topologické operace**

Topologické operace mění topologii modelu, a proto bývají též nazývány Eulerovskými operacemi. Jako příklad takových operací poslouží tyto:

- vytvoř hranu

- zruš hranu
- vytvoř vrchol a hranu
- zruš vrchol a hranu
- atd.

### **Geometrické operace**

Geometrické operace mění model tak, že jeho topologie zůstává nezměněna.

Například to mohou být operace:

- translace vrcholu
- změna hrany z úsečky na křivku
- změna úsečky na křivku
- změna tvaru křivé hrany

### **Globální operace**

Globální operace se, na rozdíl od lokálních, týkají objektu jako celku. Sem se řadí tyto operace:

- translace objektu
- rotace objektu
- množinové operace
- negace objektu
- dekompozice objektu na části (Urban, 1991).

## 5. Konstrukce terénního modelu

Konstrukce terénního modelu je „problematika“, která se podotýká s neustáleností vývoje. Technika zpracování jde neustále vpřed a tudíž si v následujícím textu popíšeme pouze dvě základní technologie a to konstrukci nepravidelné trojúhelníkové sítě a konstrukci plátů.

### 5.1 Konstrukce nepravidelné trojúhelníkové sítě

Konstrukce nepravidelné trojúhelníkové sítě je klíčovým problémem při tvorbě polyedrického modelu a je možno jej formulovat takto:

Je dána množina bodů  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  svými souřadnicemi  $x, y, z$ . Body se mají pospojovat tak, aby vznikla množina trojúhelníků, které k sobě přiléhají a neprotínají se (Urban, 1991).

Přirozeným požadavkem je, aby generované spojnice byly co nejkratší, neboť pak vznikají trojúhelníky s minimální plochou, které se nejlépe přimykají k aproximované ploše.

Příslušný algoritmus lze zhruba charakterizovat tak, že z množiny všech možných spojnic vyloučí ty, které svojí délkou přesahují povolenou mez nebo přetínají spojnice kratší, anebo tzv. předurčené spojnice, deklarované uživatelem. Tato kombinatorická úloha není těžká, ale časově značně náročná, pokud bychom postupovali tak, jak pro jednoduchost naznačeno. Rafinovaným uspořádáním dat, podle jejich rozložení v prostoru lze apriori vyloučit vyšetřování incidencí některých spojnic, a tak proces značně urychlit.

Výsledkem naznačeného procesu je tedy množina spojnic (úseček). Další krok pak sleduje určité uspořádání získaných dat (Urban, 1991).

### 5.2 Konstrukce plátů

Konstrukcí plátů se zde míní získání souřadnic řídicích bodů plátu. Bézierova metoda konstrukce plátu byla původně vyvinuta pro interakční konstrukci, kdy konstruktér za asistence výpočetní a zobrazovací techniky postupně volí polohy

řídících bodů, a tak cestou pokusu-omylu dospěje k žádoucímu tvaru plátu. Takový postup je pro terén nemyslitelný.

Dále uvedený postup vychází z polyedrického modelu, tvořeného nepravidelnými rovinnými trojúhelníky, které se postupně zaoblí a případně se zruší některé hrany, takže vznikne plátový model, tvořený křivými trojúhelníky a čtyřúhelníky.

Při zaoblování polyedru se v každém vrcholu určí společná tečná rovina nějakou vhodnou metodou. Je například možné určit průměrný normálový vektor z normál všech rovin, které s vrcholem incidují. Zvolíme-li pak řídicí body v příslušných tečných rovinách, je hladkost napojení plátů zaručena. Aby byl popis terénu podán věrně, nesmí být zaoblení provedeno tam, kde je nežádoucí. V té příčině je třeba rozlišovat vrcholy takto:

- a) Regulární vrchol je takový, v němž existuje právě jedna tečná rovina, tedy v tomto bodě žádáme hladké napojení všech plátů.
- b) Singulární vrchol typu hrot je takový, v němž neexistuje společná tečná rovina. Hrany polyedru zůstanou na tomto vrcholu nezaobleny.
- c) Singulární bod typu zlom je takový, kde můžeme uvažovat 2 tečné roviny. Takové body jsou na okrajích terénních stupňů. Zde se požaduje, aby některé pláty byly napojeny hladce, jiné nikoli.

Přirozeně vyvstává otázka, zda by nebylo lepší používat jen křivé trojúhelníky. Pro zavedení čtyřúhelníků svědčí tyto důvody:

1. Určení řídicích bodů pro čtyřúhelníky je snažší. Každý totiž může patřit do nějaké tečné roviny.
2. Zavedení čtyřúhelníků vlastně znamená zrušení některých hran sítě, a to představuje nemalou úsporu dat.
3. Četné přírodní útvary lze přirozeně popsat právě čtyřúhelníkem. Pomocné dělení na trojúhelníky je sice možné, ale nepřirozené.
4. Je třeba počítat s rozšířením popisu i na stavební objekty, kde dělení čtyřúhelníků na trojúhelníky by bylo nesmyslné, a proto se zdá neudržitelná představa homogenní trojúhelníkové struktury (Urban, 1991).

## 6. Interpolace na terénním modelu

Interpolace je jedna z nejdůležitějších operací na terénním modelu, a proto jí musí být věnována zvláštní pozornost. Určit výšku bodu, když jsou známy jeho rovinné souřadnice  $x$ ,  $y$  je úloha, kterou můžeme očekávat téměř ve všech aplikacích. Při řešení tohoto problému musíme mít na zřeteli především přesnost a rychlost, kteréžto vlastnosti působí v jistém smyslu protichůdně.

Způsob interpolace se úzce váže k datové struktuře modelu a je možno říci, že struktura modelu bývá mnohdy právě podřízena potřebám interpolace. Uplatní se různá hlediska:

- a) plošné elementy mohou být křivé či rovinné
- b) plochy mohou být rozloženy pravidelně nebo nepravidelně
- c) struktura dat jednotlivých ploch je pravidelná nebo nepravidelná.

Programový mechanismus musí především nalézt v množině všech ploch příslušný plošný element, a pak v něm provést vlastní interpolaci. Terénní model musí být organizován po částech v blocích, listech umístitelných vcelku do operační paměti. Musí být zajištěno automatické natahování příslušných bloků z vnější paměti do paměti operační.

Návaznost jednotlivých částí je opět bez problémů u rastrového modelu. Komplikace shledáváme u nepravidelně utvářených modelů (polyedrického, plátového). Jisté řešení tohoto problému spočívá ve vytvoření překrytu u jednotlivých částí. To ovšem znamená značnou redundanci v datech a nutnost identifikovat složitým způsobem vrcholy nepravidelné sítě (Urban, 1988).

## 7. Vizualizace terénu

### 7.1 Úvodní poznámky

Zobrazení krajiny má za sebou dlouhý vývoj. Nepatří sem jen mapy, které jsou hlavním předmětem našeho zájmu, ale i veduty, blokdiagramy, krajinomalba a v neposlední řadě i fotografie. Geodézie si osvojila takový způsob zobrazení zemského povrchu, z kterého lze nejnáze získat přesné údaje, a který je zároveň snadno sestrojitelný.

Počítačové řešení problému nemusí nutně sledovat trend, nastoupený kdysi geodézií. Může se inspirovat z nejrůznějších zdrojů. Zvláště lákavá je fotografie, ale svoje přednosti má i veduta, jejíž součástí bývají kromě terénu i stavební objekty. V takovém případě máme před sebou celek, tvořený jednak terénní plochou, jednak stavebními objekty, přičemž obě tyto části mohou mít dosti odlišné geometrické vlastnosti. A to zejména tehdy, když se k jejich popisu použije nevhodný geometrický aparát.

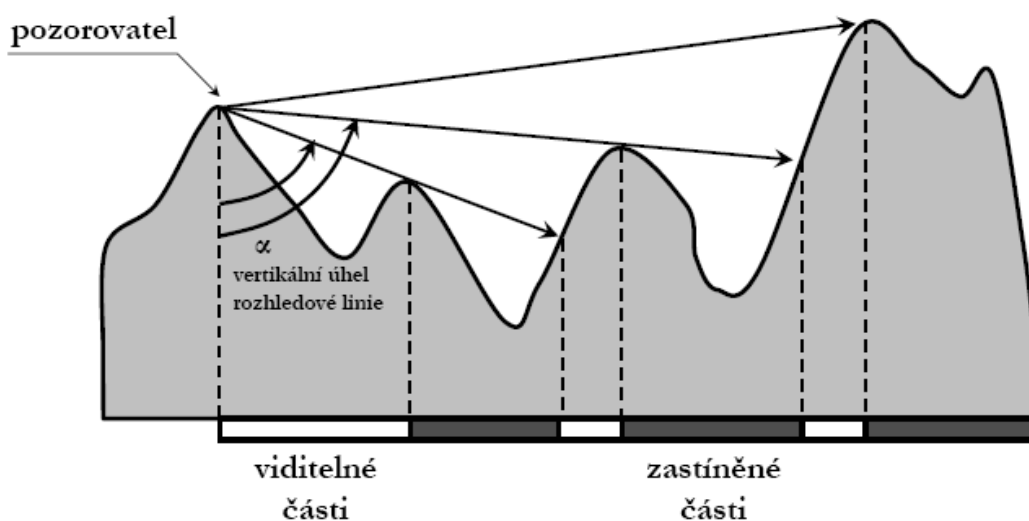
Pro vyjádření terénních tvarů lze použít nejrůznějších kresebních technik. Při čárové kresbě to kromě vrstevnic mohou být libovolné jiné linie, jejichž zařazení je poněkud obtížné, nicméně k vyjádření terénního reliéfu mohou sloužit. K tomu je třeba si uvědomit, že jednotlivé kresebné techniky lze různě kombinovat.

Kromě bohatých možností v technice kresby, přichází neméně pestrý výběr projekčních metod. Sice nejsou nic nového, ale běžně se pro svou pracnost nemohly používat. Výpočetní technika si ovšem s takovými těžkostmi snadno poradí, a tak můžeme uvažovat různé druhy rovnoběžného a středového promítání. Ze zmíněných pracných projekčních metod bude pro terénní záležitosti zvláště zajímavá perspektiva cylindrická a kónická (Urban, 1991).

## 7.2 Viditelnost

Umožňuje zjistit plochy, které jsou ze stanovených míst viditelné (nebo je vidět nelze). Do této analýzy se kromě dat DMT někdy začleňují i další data, jako je výška stromů nebo budov, výška pozorovatele nad terénem, případně dohlednost či horizontální nebo vertikální úhly pohledu. Typem svého algoritmu se modelování viditelnosti řadí ke konektivním procedurám. Výsledkem je nejčastěji booleovský obraz, kde jsou identifikována viditelná místa ze zadaného bodu (hodnota 1) a místa, která viditelná nejsou (hodnota 0). V případě, že bodů rozhledu je více, je také možné hodnotit viditelnost proporcionalně – pixely výsledného obrazu nabývají hodnot 0 až 1 v závislosti na počtu bodů v rozhledu a viditelnosti z těchto jednotlivých míst.

Určování viditelnosti je ve své podstatě i modelováním osvětlených a zastíněných částí terénu, jen s tím rozdílem, že pozorovací bod se nachází uvnitř modelu.



Obr. 6: Zjednodušený princip určování viditelnosti v terénu (Pelikánová, Kolejka, 2000).

## 7.3 Promítání

Základním problémem při zobrazování prostorových objektů je převod jejich prostorového popisu (geometrie) do roviny (převod 3D na 2D), tedy promítání. Pro řešení této úlohy se používá jako promítací aparát jednak soustava promítacích paprsků a potom průmětna (nemusí být vždy rovina) (Mayer, 1995).

Existují dva základní druhy projekce:

- paralelní (rovnoběžné, axonometrické) promítání - zdroj promítacích paprsků je v nekonečnu a paprsky jsou vzájemné,
- středové (perspektivní) promítání – paprsky vycházejí z jednoho bodu, často blízkého předmětu (Urban, 1991).

Všem bodům prostorové scény, které leží na stejném promítacím paprsku, se promítáním přiřazuje tentýž bod na průmětně. Při řešení problému viditelnosti nestačí znát jen souřadnice  $x', y'$  bodu v průmětně, ale též vzdálenost promítaného bodu od průmětny. A tak vlastně rovinný souřadný systém průmětny rozšiřujeme o třetí rozměr.

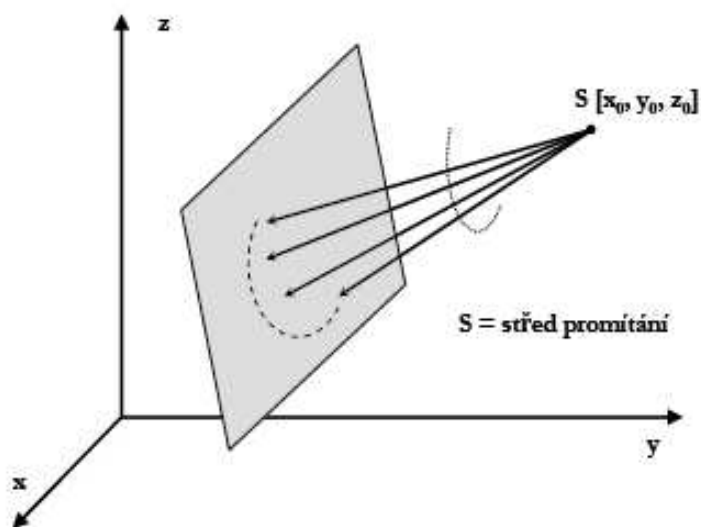
### 7.3.1 Axonometrie

Podstatou axonometrie je rovnoběžné promítání, kdy paprsky promítání mají stejný směr.

### 7.3.2 Lineární perspektiva

Pro zobrazování velkých objektů je vhodné středové promítání, které je blízké lidskému vidění. Promítací paprsky procházejí společným bodem  $S$  (střed promítání). Lineární perspektiva má za průmětnu rovinu. Zobrazovaná část se vymezuje zorným jehlanem. Oproti axonometrii je při výpočtech nutné znát ještě pozici středu promítání  $S$ , tedy jeho souřadnice  $x_0, y_0, z_0$  (Mayer, 1995).





Obr. 7: Lineární perspektiva (Mayer, 1995).

## 7.4 Metody vizualizace

### 7.4.1 Vrstevnice

Tento starý a dobrý způsob vyjádření terénního reliéfu naprosto neztrácí na své důležitosti ani s novými možnostmi, vyjádřit terén jinak (Urban, 1991).

Po vykreslení polohopisu se čísla podrobných bodů nahradí výškovými kótami, které se umísťují tak, aby vpich označující polohu bodu byl zároveň desetinnou tečkou. U stanovisek se uvádí výška celým údajem s přesností na centimetry, u podrobných bodů se zapisují jen desítky metrů, metry a decimetry. Výjimkou jsou body upravených ploch (např. Asfaltová komunikace, betonové plochy apod.), kde se výšky uvádí také na centimetry.

Dalším krokem je lineární interpolace vrstevnic. Interpolují se body vrstevnic, u map velkých měřítek obvykle v intervalu 1m.

Po interpolaci se spojí body o stejných výškách, spojnice vyjadřují přibližný průběh vrstevnic. S přihlédnutím k náčrtu se přikročí ke konečné úpravě a výtahu vrstevnic. Musí se dbát na to, aby vrstevnice tvořily plynulé křivky bez náhlých zlomů a neopodstatněných změn. K ostrému zlomu může dojít jen na hranách situačně vyznačených, úzké silně svažené plochy se vyznačí vytažením hran a

technickými šrafami. V rovinatých prostorech, kde vrstevnice se základním intervalem dobře nevystihují průběh terénní plochy, se volí pomocné vrstevnice, zpravidla v polovině základního intervalu. Upravené vrstevnice se popíší ve směru stoupání terénu, popisy rovnoměrně umístěné po celé ploše. Zásadně se nepopisují v pruhu nad sebou (Hánek, a kol., 2007).

#### **7.4.2 Stínování**

Na mnohých mapách bývá vrstevnicová kresba podpořena ještě stínováním. I tato záležitost je velmi dobře řešitelná počítačem, ale akceptovatelné výsledky mohou poskytnout jen rastrová zařízení určité kvality. Nicméně problém je velmi jednoduchý a můžeme jej chápat jako speciální případ metody RAY TRACING, kdy odpadá řešení viditelnosti a svazek promítacích paprsků je rovnoběžný. Zbývá jen rozhodnout o tónu, případně barvě pixelu na základě zvoleného směru osvětlení a směru normály plochy. Konečně můžeme danou problematiku řešit pro větší plošný element, než je pixel (Urban, 1991).

Analytické stínování je technologie zvýraznění reliéfu terénu zobrazením ploch osvětlených a zastíněných uvažovaným zdrojem světla. Definuje se azimut (úhel odkud je terén nasvětlen v rozmezí 0-360°) a výška nad obzorem (elevace v rozmezí 0-90°). Pro tento účel se standardně v kartografii uvažuje azimut 315° a elevace 30°. Základní technologickou komponentou pro zobrazování pomocí analytického stínování jsou výpočty reflektance (odrazivosti) povrchu.

Stínování umožňuje rovněž zvýraznit obrazovou interpretaci rastrových dat. Princip spočívá v přímém zakomponování analytického stínování do obrazů, ke kterým máme k dispozici odpovídající DMT.

#### **7.4.3 3D Vizualizace**

Současná výkonná výpočetní technika a stále dostupnější programové vybavení umožňuje poměrně jednoduchou, rychlou a finančně nenáročnou tvorbu 3D modelů s prostorovým vnímáním výšky.

Nejjednodušším postupem je v tomto směru příprava modelu pomocí jazyka VRML (Virtual Modeling Language), který je standardizován obdobně jako například jazyky HTML nebo XML.

Uživateli potom stačí pouze textový editor, který patří ke standardnímu softwarovému vybavení a samozřejmě znalost programových skriptů jazyka. VRML umožňuje, kromě vytváření modelu pro vizualizaci, také interakční komunikaci s uživatelem a dovoluje vkládat i multimediální prvky.

Nezbytnou složkou této technologie jsou uživatelské programy pro následné prohlížení a manipulaci s modelem.

## Praktická část

### 8. Použité programy pro zhotovení práce

#### 8.1 Geus

Program existuje ve verzi DOS i pro Windows s tím, že DOS verze již není v současné době dále vyvíjena.

Program obsahuje všechny základní výpočty pro zpracování geometrických plánů (ortogonální a polární metoda včetně volného stanoviska, protínání ze směrů, délek a zpět, kontrolní oměrné, výměry, konstrukční oměrné, spuštění kolmice z bodu k přímce...) a výpočty základních typů polygonových pořadů.

Dále umožňuje digitalizaci pomocí většiny existujících digitizérů včetně X-Planu. Veškeré výpočty jsou dokumentovány výpočetním protokolem s možností kontroly mezními odchylkami. Výpočetní protokol lze v průběhu výpočtu editovat. Veškeré body dotčené výpočtem se ihned zaznamenávají i do grafické části programu, do které se lze přepnout v libovolném místě programu.

Největší výhodou Geusu je přímá specializace na oblast tvorby map od úplného základu.

Program obsahuje téměř všechny značky dle mapového klíče původní ČSN. Kresbu lze dělit až do 64 vrstev. Kresbu lze exportovat do formátů DXF (např. AutoCAD, MicroStation, AutoSketch...), VTX + STX (KOKEŠ, Geoplot ...). Import kresby je možný z formátu DXF: import umožňuje přenos linií, textů. Pomocí převodních tabulek lze definovat i převod vrstev, barev, typů čar a také značek. Lze tedy importovat i DKM (digitální katastrální mapa) z formátu VKM nebo DXF.

## 8.2 Microstation

MicroStation je základem řešení pro architekturu, stavební inženýrství, dopravu, zpracovatelský průmysl, výrobní zařízení, státní správu a samosprávu a inženýrské a telekomunikační sítě.

Tento program je lehce ovladatelný a přitom zajišťuje velmi komplexní a výkonné 2D/3D modelování a vizualizace. Tyto modely a jejich jednotlivé části jsou elektronickou simulací reálných objektů a obsahují všechny informace o jejich parametrech.

Microstation pracuje s formátem známým jako DGN. Tento formát neobsahuje žádná omezení přesnosti, počtu vrstev či velikosti výkresu nebo buněk. Program umí také pracovat s formáty DWG, tedy výkresy vytvořenými v programech AutoCAD. Pokud se při práci s DGN souborem umístí v MicroStationu V8 do výkresu nový prvek, stane se tento prvek součástí modelu, který je uložen uvnitř souboru.

Pomocí referenčních výkresů lze snadno prohlížet změny, které byly provedeny v jednotlivých výkresech, které dohromady tvoří projekt. K oceňovaným funkcím patří například možnost připojit výkres sám k sobě jako referenční či v připojených výkresech pracovat s jednotlivými grafickými prvky.

Díky pružným nájezdům se automaticky vyhledávají klíčové body prvků, které se nacházejí v blízkosti kurzoru. Funkce SmartLine zase dovoluje jednoduše kreslit různé objekty, jako jsou úsečky, lomené čáry, řetězce prvků, útvary a uzavřené řetězce.

Program dovoluje zobrazení vrstev a tím v jednom okně určit, které vrstvy se mají zobrazit a které ne, zjistit které vrstvy obsahují prvky a které jsou prázdné, které jsou zamknuty pouze pro čtení, zjistit jejich vzhled a množství dalších informací.

## 8.3 DMT ATLAS

### Vstupní data

Vstupními daty jsou obvykle textové soubory pořízené geodetickými zápisníky anebo z výkresu ve formátech DXF nebo Kokeš/MISYS.

DMT, základ programového systému Atlas, umožňuje zpracovávat výškopisná data- textové soubory z geodetických zápisníků (totálních stanic), fotogrammetrie, Kokeše nebo z formátu Hydroinform. Další rozšířený vstupní formát je DXF (prostorové body, čáry, křivky nebo plošky - např. digitalizované vrstevnice).

### Nabídka systému Atlas je členěna podle tří hledisek:

#### 1. Podle počtu najednou (v jednom modelu) zpracovávaných bodů:

- do 100 000 bodů (STANDARD). Vyhoví většině zadání. Obsáhne plochu přibližně o rozloze okresního města.
- do 10 000 000 bodů (MAX). Pro zpracování velkých území najednou. Lze pomocí ní zpracovat území o rozloze okresu až kraje.

#### 2. Podle možností zpracování a zobrazení DMT:

Systém Atlas nabízí varianty DMT a Plan. Varianta Plan je určena pro práci s polygony - zaměřenými trasami.

- Plan. Je schopen DMT pouze zobrazit (nikoli vytvořit), a provádět některé operace s již vytvořenými profily a řezy. Je vhodný pro projektanty liniových staveb.
- DMT. Generace a editace DMT a jeho základní zpracování - vrstevnice, popisy bodů, barevné znázornění ploch. Vhodný pro zpracování mapových podkladů.

#### 3. Podle vazby na další programy:

- ATLAS DMT - Základní provedení, určené pro samostatnou práci. Systém obsahuje vlastní kreslicí program (grafický editor). Umí tisknout výkresy, případně je exportovat do formátů DXF, WMF, BMP.
- ATLAS MAP 3D - Aplikace pro AutoCAD 2000-2002. Počítá a zobrazuje vrstevnice a plochu.
- ATLAS PRO LT- Aplikace pro AutoCAD LT 98-2005. Počítá a zobrazuje vrstevnice a plochu, Generuje profily a řezy.

## **Rozšiřující moduly**

Design - Umožňuje zpracování DMT po částech - vyjmutí zpracování a opětné vložení, nebo vložení projektu nebo nového zaměření DMT do původního stavu.

Řezy - Podle polygonu zadaného v situaci nebo z textového souboru za zaměření odvodí profil nebo příčné řezy. Řezy i profily jsou dynamicky propojené s polygonem - při změně jeho vedení se řezy automaticky přepočítají.

Objem - Počítá kubatury mezi dvěma plochami (DMT), typicky mezi zaměřením starého a nového stavu nebo zaměřením a projektem.

3D VIZUALIZACE DMT - vizualizační modul. DMT pomocí technologie OGL zobrazí v prostorovém pohledu. Výstupem je rastrový obrázek modelu nebo AVI sledující definované polohy kamery a cíle nebo dráhu kamery (Manuál programu DMT Atlas, 2011).

### 3D rastr a 3D objekty

- Slouží k zobrazování DMT, volitelně s pokrytím texturou nebo kombinací textur.
- Osvětlení, mlha, popisy, objekty.
- Stafáž (porosty, postavy, vozidla) je možné umístit jednotlivě nebo hromadně podél nebo uvnitř oblasti vymezené linií (háj, alej). Lze nastavit rozptyl polohy i velikosti. Stafáž je tvořena rastrovými obrázky, které se při změně směru pohledu natáčejí k pozorovateli.
- Budovy. Jsou definovány uzavřenými polygony - segmenty stěn a střech. Jednotlivé segmenty je možné pokrýt texturou (např. fotografií nebo návrhem fasády). Střechy lze pokrýt např. ortofotem.
- Podél linie nebo interpolací mezi polohami pozorovatele je možné vytvořit "průlet" do AVI souboru.
- Propojen s informačním systémem MISYS firmy Gepro.

## **Výstupy z DMT Atlas**

### Vrstevnice

- Normální, hlavní, doplňkové ve zvolené oblasti.
- Jednobarevné nebo barva podle výšky (hypsometrické).
- Popisy vrstevnic.
- Volitelný stupeň vyhlazení, kontrola polohy, vypuštění vrstevnic ve sklonu nad zvolenou hranicí, oblast bez vrstevnic.

### Barevné výplně

- Hypsometrie - volitelná barevná škála podle výšky terénu.
- Expozice – barevná výplň podle orientace terénu ke světovým stranám.
- Osvětlení – pod zadaným vertikálním i horizontálním úhlem.
- Hypsometrii i sklonitost lze kombinovat s osvětlením.
- U všech výplní je možné nastavit jejich průhlednost a kombinovat je s jinými rastry.

### Pohledové mapy

- Perspektivní pohled na terén.
- Pokrytí terénu rastrem nebo kombinací rastrů.
- Mlha, osvětlení, pozadí.
- Popisy, značky, objekty (Manuál programu DMT Atlas, 2011).



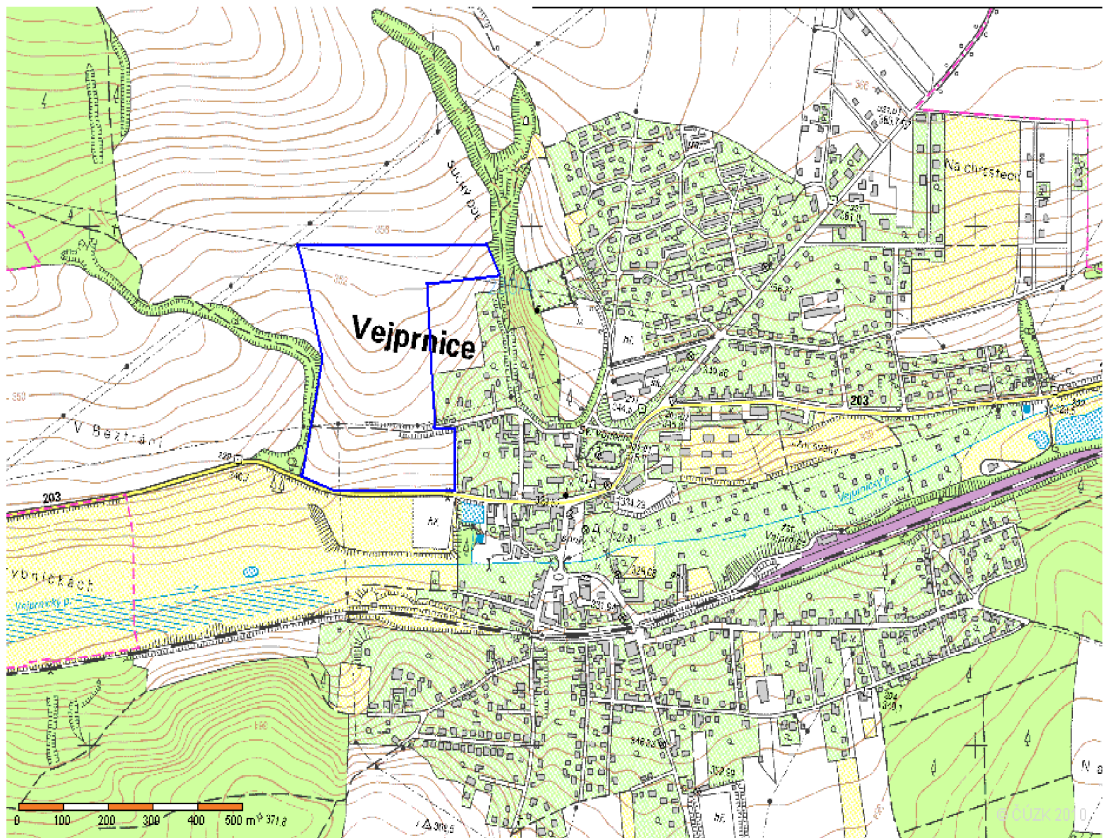
## 9. Charakteristika lokality



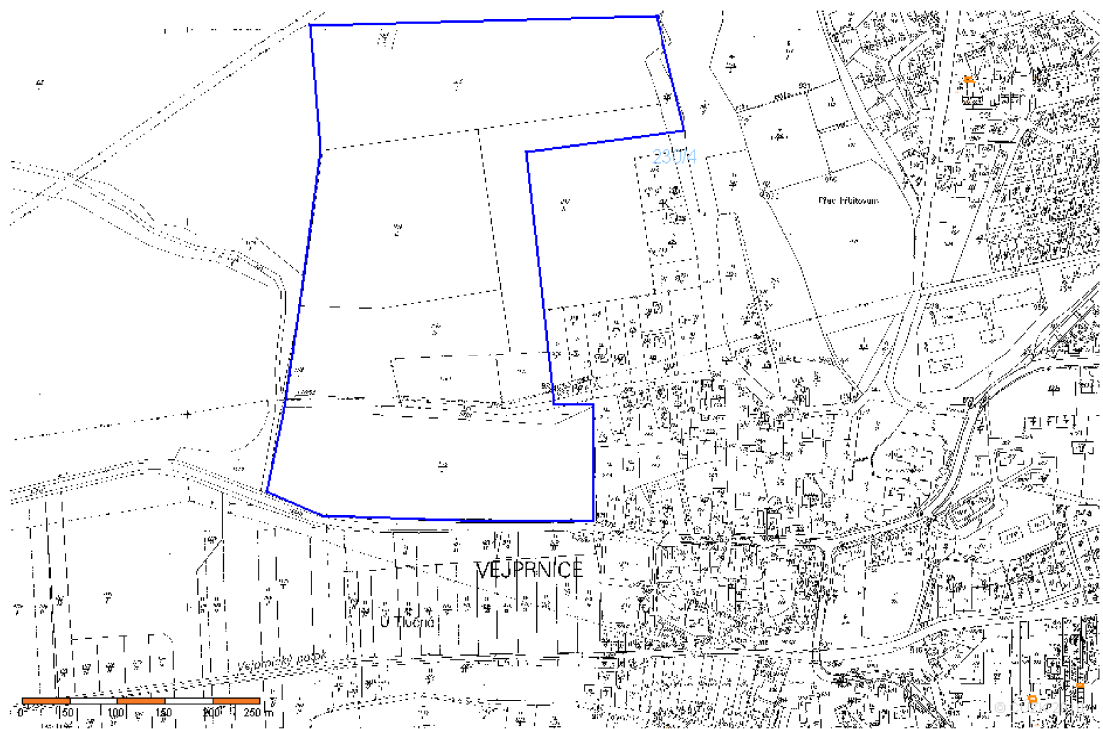
Obr. 8: Vejprnice ([www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz), 2011)

Zájmová lokalita, část katastrálního území Vejprnice (kód k. ú. 777552) se nachází v bývalém okrese Plzeň – sever. Leží přibližně 9 km od Plzně. Vejprnice se rozkládají po obou březích Vejpnického potoka, v průměrné nadmořské výšce 325 m. n. m. V obci je přibližně 3594 obyvatel. Celková plocha katastrálního území je 1029 ha. Sousedí na východní straně s velmi dominantním katastrálním územím Plzně, dále ze severu a severozápadu s územím Vochova, ze západu sousedí s Tlučnou a z jihu má dlouhou společnou hranici s katastrálním územím Líně.

Mapovaná lokalita se nachází na okraji obce. Převážnou část mapované lokality tvoří orná půda o výměře cca 11,3 ha.



Obr. 9: Obvod mapovaného území ([www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz), 2011).



Obr. 10: Obvod mapovaného území ([www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz), 2011).

## **10. Metodika práce**

### **Sběr dostupných podkladů**

Na úplném počátku byly shromážděny všechny nutné a potřebné podklady o daném území. Prvním úkonem tedy bylo získání technických podkladů pro seznámení se s lokalitou z dostupných mapových podkladů. Všechny potřebné podklady byly získány z webových stránek Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Místopisy a geodetické údaje k bodům stávajícího bodového pole byly převzaty z databáze bodových polí. Dalším podkladem byla digitální katastrální mapa Vejprnic dané lokality.

### **Rekognoskace terénu a stávajícího bodového pole**

Rekognoskace byla provedena na základě předem připravených mapových podkladů a místopisů. Rekognoskace terénu je pochůzka lokalitou. Cílem této pochůzky bylo zvolení obvodu měřeného území a zakreslení jej do mapy, porovnání skutečného stavu se stavem v mapě a vyhledání bodů polohového pole dle místopisů. Dále se předběžně určila poloha stanovisek, potřebných k měření.

### **Měřické přístroje a metody**

Pro zaměření dané lokality byla zvolena metoda elektronické tachymetrie, tedy polární metoda s trigonometrickým určením výšek. K vlastnímu tachymetrickému měření byla použita totální stanice Trimble 3605 DR a k získání souřadnic pomocných bodů GPS Trimble R6. Mezi další pomůcky patřil stativ, odrazný hranol s výtyčkou, samonavíjecí metr, dřevěné kolíky, kladivo, signalizační barva ve spreji.

### **Výpočetní práce, grafické zpracování**

Pro výpočet souřadnic a výšek podrobných bodů a stanovisek bylo využito programu Geus. Programy Microstation a Atlas sloužily ke grafickému zpracování polohopisných a výškopisných prvků a k modelaci digitálního modelu.

# 11. Vlastní zpracování

## 11.1 Geodetické práce v terénu

Během rekognoskace byla předběžně určena poloha stanovisek. Body byly v terénu následně stabilizovány dřevěnými kolíky a signalizovány barvou. Takto označená stanoviiska byla zaměřena pomocí metody RTK GNSS přístrojem GPS Trimble R6. Vlastní měření se provádělo pomocí totální stanice Trimble 3605 DR. Naměřená data se ukládala do vytvořené zakázky v paměti přístroje.

Na každém měřickém stanovisku byly provedeny tyto úkony:

- centrace a horizontace přístroje a změření výšky přístroje
- orientace na známé body
- zaměření podrobných bodů

Při zaměřování podrobných bodů je měřený vodorovný směr a zenitový úhel a šikmá vzdálenost. Výška odrazného hranolu je editovatelná v paměti totální stanice. Zaměřování zájmové lokality probíhalo ve dvoučlené skupině. Já jsem měla na starosti obsluhu měřického stroje a můj kolega vedl měřický náčrt a volil body vhodné k zaměření. Měřičský náčrt byl zakreslen tužkou, zakreslovala se do něho situace lokality a čísla měřených bodů. Podrobné body byly číslovány od 1 a čísla stanovisek od 4001. Po změření několika bodů, cca. 20-ti, se zkontrolovalo, zda souhlasí číslo bodu v přístroji s číslem bodu v náčrtu. Celá lokalita byla zaměřena formou čtvercové sítě. Strany čtverce byly krokovány. Dále byly zaměřeny další prvky, které vypovídají o členitosti terénu tzn. lomové body. Celkem se tímto způsobem zaměřilo 858 bodů, charakterizujících danou lokalitu. Během měření nebyly vedeny žádné zápisníky, vše se ukládalo do paměti totální stanice. Veden byl jen měřický náčrt. Data z totální stanice se exportovala pomocí USB kabelu do počítače, kde byla posléze zpracována vhodnými softwary. Úkolem výpočetních prací bylo určení souřadnic podrobných bodů a pomocných bodů. Výpočty se prováděly v programu Geus. Souřadnice byly určeny v systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. V programu Microstation jsem vytvořila vrstevnicový plán a v programu DMT Atlas taktéž vrstevnicový plán a digitální model terénu.

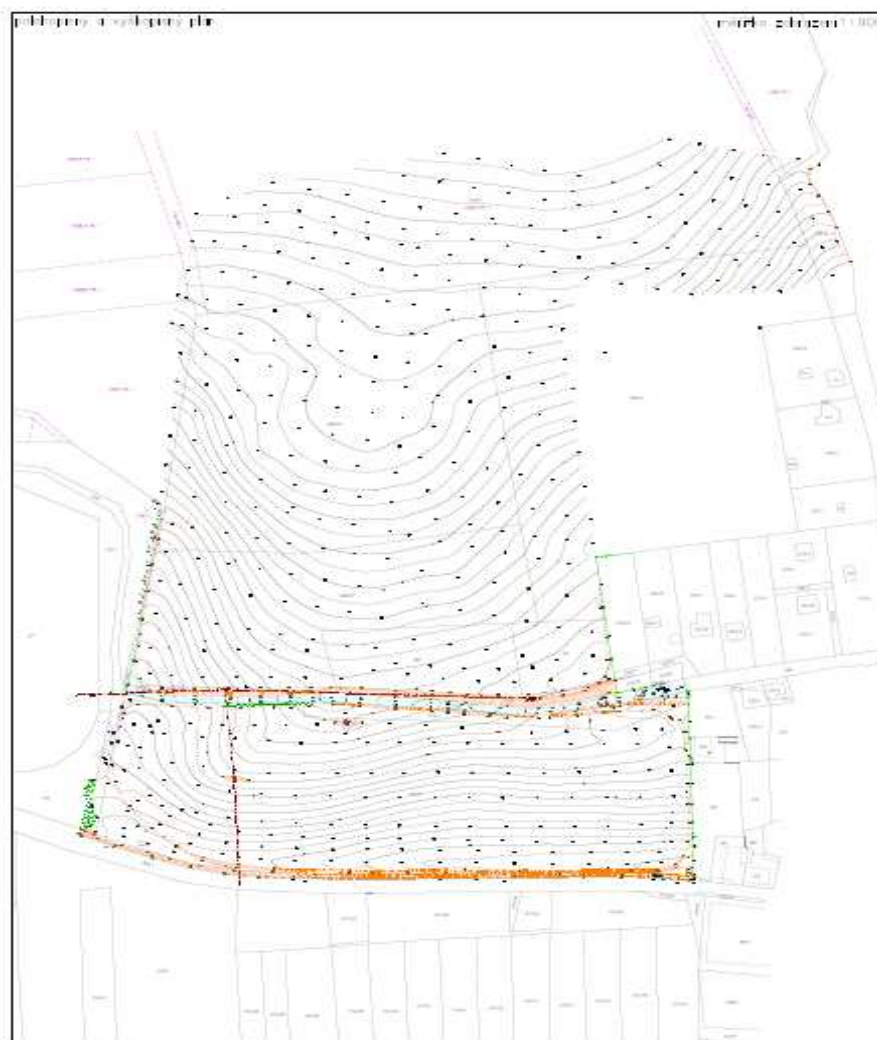


## 11.2 Grafické práce

Mapa byla vyhotovena na základě vypočítaných souřadnic x, y, h podrobných bodů v programu Geus. K vytvoření polohopisného a výškopisného plánu byl použit program Microstation, program Atlas sloužil k výškovému vyjádření pomocí vrstevnic a vizualizaci DMT.

### Microstation

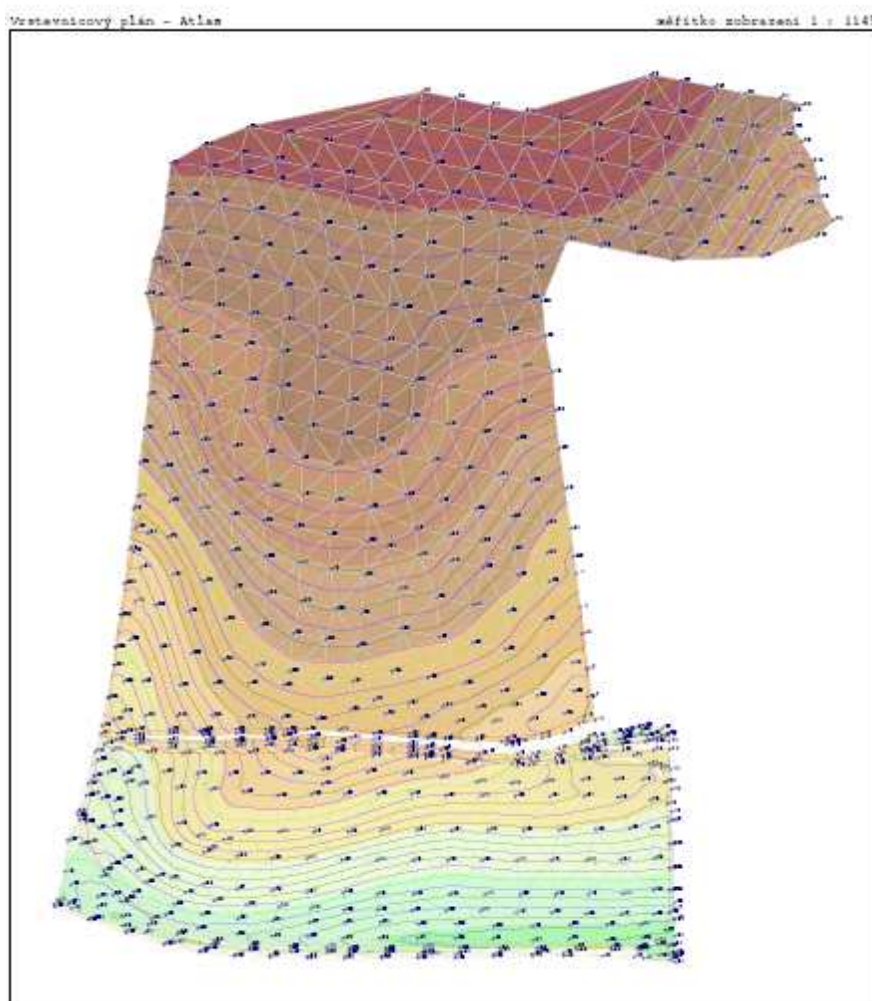
Nejprve byl v programu založen nový výkres a nastaveny pracovní jednotky. Jako hlavní jednotka byl metr, vedlejší pracovní jednotky byly milimetry. Rozlišení bylo 1000 mm na m a 1 základní jednotku na mm.



Obr.11 : Polohopisný a výškopisný plán v programu Microstation

Podkladem byla digitální katastrální mapa Vejprnic. Poté se importoval seznam souřadnic naměřených bodů. Spojování bodů bylo provedeno pomocí funkce umístit úsečku. Díky funkci nájezdy se dochycovaly linie na bod. Mapovými značkami se dokončil polohopis. Výškopis je zobrazen pomocí interpolace vrstevnic. Jedná se o spojení bodů stejných nadmořských výšek. Vrstevnice se nezobrazují jako lomené čáry, ale jako křivky. To se provedlo přes menu nástroje – B-spline křivky – vytvořit křivku. Po zaoblení vrstevnic byl proveden jejich popis pomocí nástroje hlavní – text – umístit textový prvek. Základní interval vrstevnic je po 1 m, mezi těmito vrstevnicemi jsou ještě pomocné vrstevnice. Každá pátá vrstevnice je zesílena.

### DMT Atlas



Obr.12 : Vrstevnicový plán v programu DMT Atlas

V programu byl založen nový dokument. Tento program pracuje se souřadnicemi v textovém souboru, souřadnice byly tedy do takového souboru převedeny. U nově založeného projektu se nastavily vlastnosti listu dokumentu. Dále se pokračovalo přes menu DMT – úlohy nad DMT – operace s modelem – generace modelu terénu. Takto se docílí vygenerování modelu terénu. Jde o vytvoření datové struktury digitálního modelu. V části vstupní data je nutné vložit soubor se souřadnicemi a výškami bodů. Po stisknutí tlačítka start se zahájil výpočet vlastní úlohy. Po spočtení úlohy se DMT umístil a to přes menu DMT – vložit model terénu – založit i s půdorysem. Zde program vyžaduje nastavení listu a také souřadnicovou soustavu. Vyběhly pracovní souřadnice, které bylo nutno umístit. Dalším krokem je samotná interpolace vrstevnic v menu DMT – vrstevnice – výpočet vrstevnic. Interval vrstevnic je jako v předchozím případě 1 m. Následuje zobrazení vypočtených vrstevnic přes DMT – vrstevnice – zobrazit vypočtené vrstevnice. Nakonec jsem pro lepší zobrazení udělala barevnou hypsometrii, aby vynikly výškové rozdíly lokality. Úpravu modelu jsem prováděla přes vestavěný program pOGLedy. V menu DMT – Úlohy nad DMT – 3D pohledy – otevře se okno Pohledy na model terénu, kde se zvolí otevřít pohled – vyběhne okno Spuštění programu Pohledy, kde se zvolí použít stejnojmenný projekt s dokumentem Kresu – způsob kresby modelu – zobrazení výškové intervaly – hypsometrie ostrá – uložit. Pro zvýraznění modelu jsem ještě zvolila nabídku Podstavec. Tímto se dokončil digitální model terénu.

## 12. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vyhotovit DMT terénu jako podklad pro projekční činnost. Práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou část.

Mapované území se nachází v k. ú. Vejprnice nedaleko Plzně. Tato oblast se mapovala za účelem výstavby rodinných domů. Bylo tedy provedeno kompletní výškopisné a polohopisné měření. Na základě těchto dat, vypočtených v programu Geus, byl vyhotoven vrstevnicový plán v programu Microstation, který je přílohou č. 1, a v programu DMT Atlas, příloha č. 2, na závěr byl vyhotoven digitální model terénu, který je znázorněn v příloze č. 3 a příloze č. 4.

Vrstevnicový plán jsem dělala jak v programu Microstation, tak v programu DMT Atlas. Jelikož v programu Microstation jsem již několikrát pracovala, práce s vrstevnicemi se mi zde jevila snazší. Jedná se ale samozřejmě o zvyklost. Pokud mám porovnat oba programy, bezesporu se jedná o perfektní programy v oblasti projekce a vizualizace.

Pokud mám shrnout svoji bakalářskou práci, jsem ráda za toto téma, poněvadž jsem se ocitla jak v terénu, kde jsem prováděla sběr dat, a naopak na opačné straně geodetické profese – v kanceláři, kde jsem data vyhodnocovala a pracovala s nimi. Myslím, že takováto činnost je v souvislosti s mým oborem Pozemkové úpravy a převody nemovitostí velice užitečná.



### 13. Seznam použité literatury

1. DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita, 1998. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.
2. HÁNEK, P., et al. *Stavební geodézie*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. 133 s. ISBN 978-80-01-03707-2.
3. HÁNEK, P., HÁNEK, P. (jr.), MARŠÍKOVÁ, M. *Geodézie pro obor pozemkové úpravy a převody nemovitostí, 2. vydání*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008. 88 s. ISBN 978-80-7394-086-7.
4. HOJOVEC, V., et al. *Kartografie, 1. vydání*. Praha: Geodetický a kartografický podnik, 1987. 660 s.
5. HUML, M., MICHAL, J. *Mapování 10*. Praha: ČVUT, 2005. 319 s. ISBN 80-01-03166-7.
6. KOLEJKA, J., TEJKAL, M. *Nejrychlejší pohled na svět. Přesný 3D model z laserového snímání*. GEODIS News, roč. I, č. 1, 2002. s. 9-11.
7. KRAUS, K. *Photogrammetrie Band 3. Topographische Informationssysteme*. First Edition. Köln, Germany: Dümmler Verlag, 2000.
8. Manuál programu DMT Atlas. Dostupný z WWW: <<http://www.atlasltd.cz/>>. 2011
9. MARŠÍKOVÁ, M., MARŠÍK, Z. *Kartografie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2006. 113 s. ISBN 80-7040-841-3.
10. MARŠÍKOVÁ, M., MARŠÍK, Z. *Speciální a vyšší geodézie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2005. s. 72-73. ISBN 80-7040-768-9.
11. MAYER, P. *Počítačové modelování krajiny*. Praha: ČVUT, 1995. 110 s. ISBN 80-01-01389-8.
12. MIKŠOVSKÝ, M., SOUKUP, P. *Kartografická polygrafie a reprografie*. Praha: ČVUT v Praze, 2009. 150 s. ISBN 978-80-01-04354-7
13. PELIKÁNOVÁ, D., KOLEJKA, J. *Digitální model krajiny a jeho využití k identifikaci erozních rizik v povodí*. GEOinfo: roč. VII, č. 5, 2000. s. 11-14. ISSN 1212-4311.

14. PODHORSKÝ, I., et al. *Podrobné mapování*. Praha: ČVUT v Praze, 1980. 257 s.
15. RAPANT, P. *Družicové polohové systémy*. 1.vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2002. 200 s. ISBN 80-248-0124-8.
16. URBAN, J. *Digitální model terénu*. Praha: ČVUT v Praze, 1991. 60 s. ISBN 80-01-00553-4
17. URBAN, J. *Projekt II- Práce s grafickou informací: Digitální model terénu*. Praha: ČVUT v Praze, 1988. 46 s.
18. Státní správa zeměměřictví a katastru [online]. Copyright © 2007 [cit. 2011-04-05]. Nahlížení do katastru. Dostupné z WWW: <<http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/>>.
19. Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí. Dostupný na WWW: <<http://www.vugtk.cz/slovník/>>. 2011.
20. ŽIDEK, V. *Geoinformační systémy (10). DMT a topografické modelování*. Prezentace k přednáškám v předmětu Geografické informační systémy [CD-ROM]. Brno: LDF MZLU, 2004.

## 14. Seznam použitých zkratk

Bpv	Výškový systém baltský – po vyrovnání
CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované projektování
CZEPOS	Sít' aktivních permanentních stanic určených technologií GNSS, rovnoměrně rozmístěných na území ČR
ČR	Česká republika
DKM	Digitální katastrální mapa
DMK	Digitální model krajiny
DMT	Digitální model terénu
DPZ	Dálkový průzkum Země
GIS	Geografický informační systém
GLONASS	Global Navigation Satellite systém - Globální navigační družicový systém
GNSS	Globální navigační družicový systém
GPS	Globální poziční systém
k. ú.	Katastrální území
LIDAR	Light Detection and Ranging - detekce a určování vzdáleností pomocí laseru
MISYS	Informační systém o území pro města a obce
NAVSTAR	Navigation System with Time and Ranging - Navigační systém pomocí určování času a vzdáleností
PBPP	Podrobné bodové polohové pole
RTK	Real Time Kinematic - Měření GNSS v reálném čase
Sb.	Sbírka zákonů České republiky
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
USB	Universal Serial Bus
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
ZABAGED	Základní báze geografických dat (České republiky)
ZhB	Zhušťovací bod
ZPBP	Základní polohové bodové pole

## 15. Přehled obrázků

*Obr. 1: Terénní model (str. 11)*

*Obr. 2: Geometrie rastrových modelů (str. 15)*

*Obr. 3: Rozvržení plátového modelu (str. 16)*

*Obr. 4: Schéma digitálního modelu krajiny (str. 20)*

*Obr. 5: Rozmístění vstupních dat (str. 24)*

*Obr. 6: Zjednodušený princip určování viditelnosti v terénu (str. 32)*

*Obr. 7: Lineární perspektiva (str. 34)*

*Obr. 8: Vejprnice (str. 41)*

*Obr. 9: Obvod mapovaného území (str. 42)*

*Obr. 10: Obvod mapovaného území (str. 42)*

*Obr. 11 : Polohopisný a výškopisný plán v programu Microstation (str. 45)*

*Obr. 12 : Vrstevnicový plán v programu DMT Atlas (str. 46 )*

## **16. Seznam příloh**

Příloha 1: Polohopisný a výškopisný plán (Microstation)

Příloha 2: Vrstevnicový plán (DMT Atlas)

Příloha 3: Digitální model terénu (DMT Atlas)

Příloha 4: Digitální model terénu – pohled II (DMT Atlas)