<table>
<tr><td colspan="6">ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ, OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
KATEDRA GEOMATIKY</td></tr>
<tr><td colspan="6">název předmětu
ALGORITMY V DIGITÁLNÍ KARTOGRAFII</td></tr>
<tr><td>číslo úlohy
3</td><td colspan="5">název úlohy
Digitální model terénu</td></tr>
<tr><td>školní rok
2020/2021</td><td>studijní skup.
60</td><td>číslo zadání
U3</td><td>Zpracoval
Usik Svetlana,Vaňková Zuzana</td><td>datum
12. 12. 2020</td><td>klasifikace</td></tr>
</table>

Obsah

1 Zadání

Úloha č. 3: Digitální model terénu

Vstup: množina $P = \{p_1, ..., p_n\}$, $p_i = \{x_i, y_i, z_i\}$.

Výstup: polyedrický DMT nad množinou P představovaný vrstevnicemi doplněný vizualizací sklonu trojúhelníků a jejich expozicí.

Metodou inkrementální konstrukce vytvořte nad množinou P vstupních bodů 2D Delaunay triangulaci. Jako vstupní data použijte existující geodetická data (alespoň 300 bodů) popř. navrhněte algoritmus pro generování syntetických vstupních dat představujících významné terénní tvary (kupa, údolí, spočinek, hřbet, ...).

Vstupní množiny bodů včetně níže uvedených výstupů vhodně vizualizujte. Grafické rozhraní realizujte s využitím frameworku QT. Dynamické datové struktury implementujte s využitím STL.

Nad takto vzniklou triangulací vygenerujte polyedrický digitální model terénu. Dále proveďte tyto analýzy:

- S využitím lineární interpolace vygenerujte vrstevnice se *zadaným krokem* a v *zadaném intervalu*, proveďte jejich vizualizaci s rozlišením zvýrazněných vrstevnic.
- Analyzujte sklon digitálního modelu terénu, jednotlivé trojúhelníky vizualizujte v závislosti na jejich sklonu.
- Analyzujte expozici digitálního modelu terénu, jednotlivé trojúhelníky vizualizujte v závislosti na jejich expozici ke světové straně.

Zhodnoťte výsledný digitální model terénu z kartografického hlediska, zamyslete se nad slabinami algoritmu založeného na 2D Delaunay triangulaci. Ve kterých situacích (různé terénní tvary) nebude dávat vhodné výsledky? Tyto situace graficky znázorněte.

Zhodnocení činnosti algoritmu včetně ukázek proveďte alespoň na **3 strany** formátu A4.

Hodnocení:

Krok	**Hodnocení**
Delaunay triangulace, polyedrický model terénu.	10b
Konstrukce vrstevnic, analýza sklonu a expozice.	10b
Triangulace nekonvexní oblasti zadané polygonem.	*+5b*
Výběr barevných stupnic při vizualizaci sklonu a expozice.	*+3b*
Automatický popis vrstevnic.	*+3b*
Automatický popis vrstevnic respektující kartografické zásady (orientace, vhodné rozložení).	*+10b*
Algoritmus pro automatické generování terénních tvarů (kupa, údolí, spočinek, hřbet, ...).	*+10b*
3D vizualizace terénu s využitím promítání.	*+10b*
Barevná hypsometrie.	*+5b*
Max celkem:	**65b**

Čas zpracování: 4 týdny

1

2 Popis a rozbor problému

Nad vstupní množinou bodů měl být v rámci úlohy vytvořen Delaunayovou triangulací polyedrický DMT. Dále měly být zkonstruovány vrstevnice, měla být provedena analýza sklonu terénu a expozice.

Formulaci problému bychom popsali tak, že nad danou množinou bodů ($P = \{p_1, p_2, ... p_n\}$; $P \in R^2$) hledáme triangulaci T. Tato triangulace je takovým planárním rozdělením, které vytvoří množinu trojúhelníků ($t = \{t_1, t_2, ... t_n\}$) a jejich hran tak, aby platily tyto podmínky:

- libovolné dva různé trojúhelníky, mají nejvýše jednu společnou hranu,
- sjednocení všech trojúhelníků tvoří konvexní obálku množiny bodů,
- uvnitř žádného trojúhelníku neleží žádný další bod.

Vzájemný vztah počtu bodů (n), počtu hran (n_h) a počtu trojúhelníků (n_t) lze popsat těmito rovnicemi:

$$n_h = 3n - 3 - k,$$
$$n_t = 2n - 2 - k,$$

kde k je počet bodů tvořících konvexní obálku.

Využití triangulací je velice široké. V oblastech kartografie, DPZ a GIS, na něž je zaměřeno mnoho předmětů našeho studijního oboru, je triangulace využívána celkem běžně a často. Další možnosti použití jsou například pro zpracování obrazu (segmentace, rozpoznávání vzorků), pro vizualizaci prostorových dat v počítačové grafice. Zajímavá a častá je triangulace v biometrii - telefony, které se odemykají na základě snímání otisku prstů, nebo třeba počítač snímající pro odemčení obličej jsou dnes běžně využívané záležitosti.

Obr. 1 Delaunay triangulation (left) and its dual Voronoi diagram (right) of the input image [2]

Od algoritmu určeného pro triangulaci požadujeme jednoduchost a snadnou implementaci. Také dostačující rychlost pro velké množiny bodů (časový odhad by měl být logaritmický). Dále potřebujeme, aby algoritmus nebyl citlivý na singulární případy, kdy řešení není jednoznačné. Měl by být možnost převodu do vyšších dimenzí, schopnost paralelizace a dávat optimální tvar trojúhelníkové sítě.

Pro výběr triangulace jsou důležité tyto parametry: tvar trojúhelníků, povinné hrany, triangulace nekonvexní části. Tvar trojúhelníků by měl být co nejvíce pravidelný a měl by se blížit rovnostranným trojúhelníkům, což nám zaručí dobré přimknutí sítě k terénu. Povinné hrany (v našem případě kosterní čáry) by měli jít vkládat a tím nám dát možnost ovlivnit tvar terénu. Triangulace by měla být využitelná v nekonvexních oblastech, či oblastech s mezerami, kterém tvoří například vodní plochy, zástavby apod.

[1]

2.1 Údaje o bonusových úlohách

Bonusové úlohy nebyly vypracovány z důvodu dostačujícího počtu bodů za splnění základu úlohy a z důvodu časové zátěže v jiných předmětech.

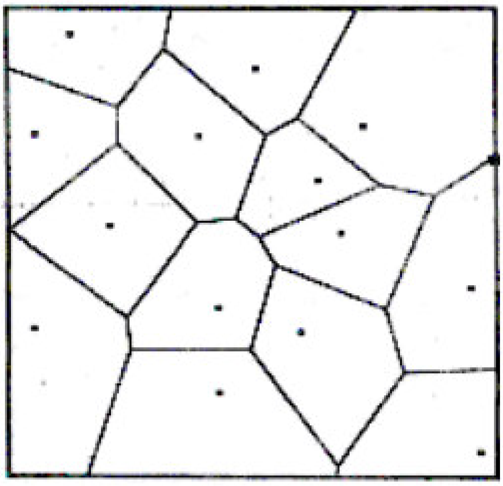
3 Popisy algoritmů

Druhy triangulace podle geometrické konstrukce jsou: Greedy triangulace, Delaunay triangulace, MWT, Constrainded triangulace (s povinnými hranami), Datově závislé triangulace. V rámci této úlohy byla metodou inkrementální konstrukce vytvořena Delaunay triangulace nad množinou bodů.

[1]

3.1 Delaunay triangulace, polyedrický model terénu

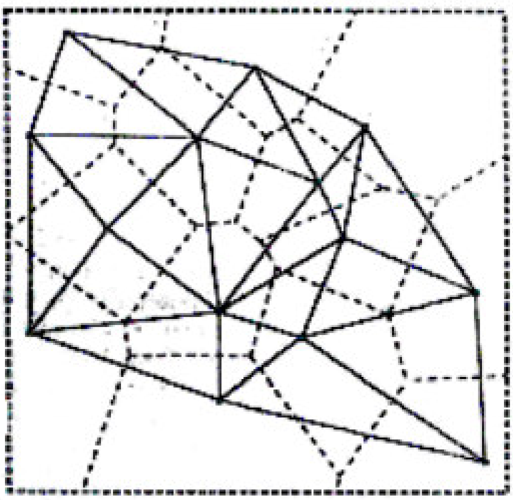
Delaunay triangulace je nejčastěji využívanou triangulací a je standardem v GIS. Je blízce příbuzná k Dirichlet tessellation, která tvoří v množině bodů Thiessonovy (nebo také Voroniovy) polygony. Tyto polygony ohraničí oblast kolem bodu, ve které je vzdálenost k ohrazenému bodu menší než k ostatním bodům.



Obr. 2 Voronoiovy polygony [3]

Zjednodušený popis Delaunay triangulace by zněl takto:

1. vezmeme 3 body -> trojúhelník, jemu opíšeme kružnici,
    1.a) pokud v kružnici leží jiný bod, vezmeme jiné 3 body
    2.b) jinak je trojúhelník zařazen do modelu.



Obr. 3 Delaunay triangulace [3]

Důvodem proč jsou Voronoivy polygony (VP) zmíněny je to, že Delaunay triangulace (DT) je k tomuto grafu grafem duálním. Teda když provedeme následující body, dostaneme DT:

- Do každé stěny VP vložíme jeden vrchol (využijeme již existující body, kdy v každé stěně leží právě jeden) – to jsou vrcholy DT.
- Pro každou hranu VP sestrojíme hranu DT, která spojí ty vrcholy DT, které odpovídají stěnám VP incidentním s danou hranou VP.

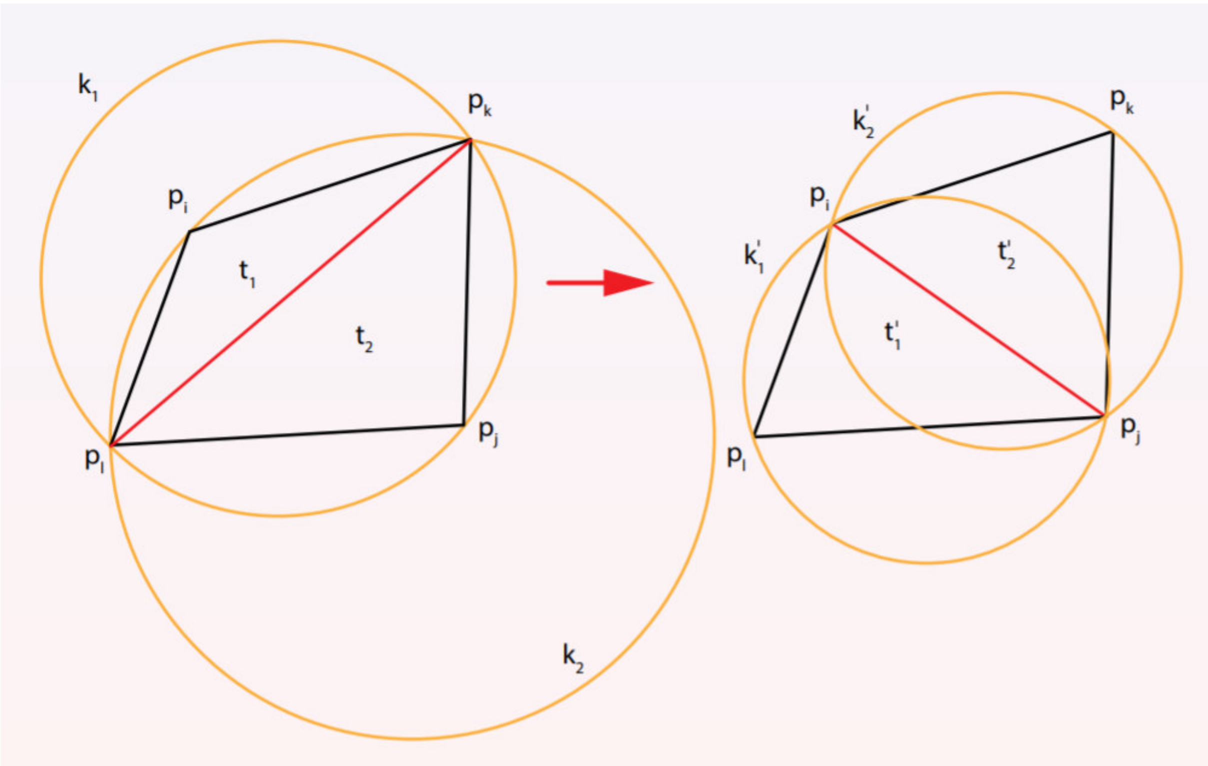
Tato skutečnost je zřejmá z obrázku 3.

Vlastnosti Delaunay triangulace jsou:

- Uvnitř kružnice opsané libovolnému trojúhelníku neleží žádný další bod.
- Maximalizuje minimální úhel avšak neminimalizuje maximální v množině trojúhelníků.
- Je lokálně i globálně optimální vůči kritériu minimálního úhlu.
- Je jednoznačná, pokud žádné 4 body neleží na kružnici.

Ze všech triangulací je výstup Delaunay triangulace nejbližší rovnostranným trojúhelníkům. Při její tvorbě hledáme bod k existující orientované hraně tak, aby opsaná kružnice byla minimální. Zároveň preferujeme řešení, kde kružnice má střed v pravé polorovině (v takovém případě nemusí být poloměr kružnice minimální, pokud kružnice s minimální poloměrem má střed v polorovině levé).

Nad všemi konvexními čtyřúhelníky je opakovaně prováděna legalizace. Pokud je vhodnější druhé řešení, je prohozena diagonála ve čtyřúhelníku. Nejednoznačné je řešení pokud leží 4 body na kružnici.



Obr. 4 Edge Flip, legalizace [1]

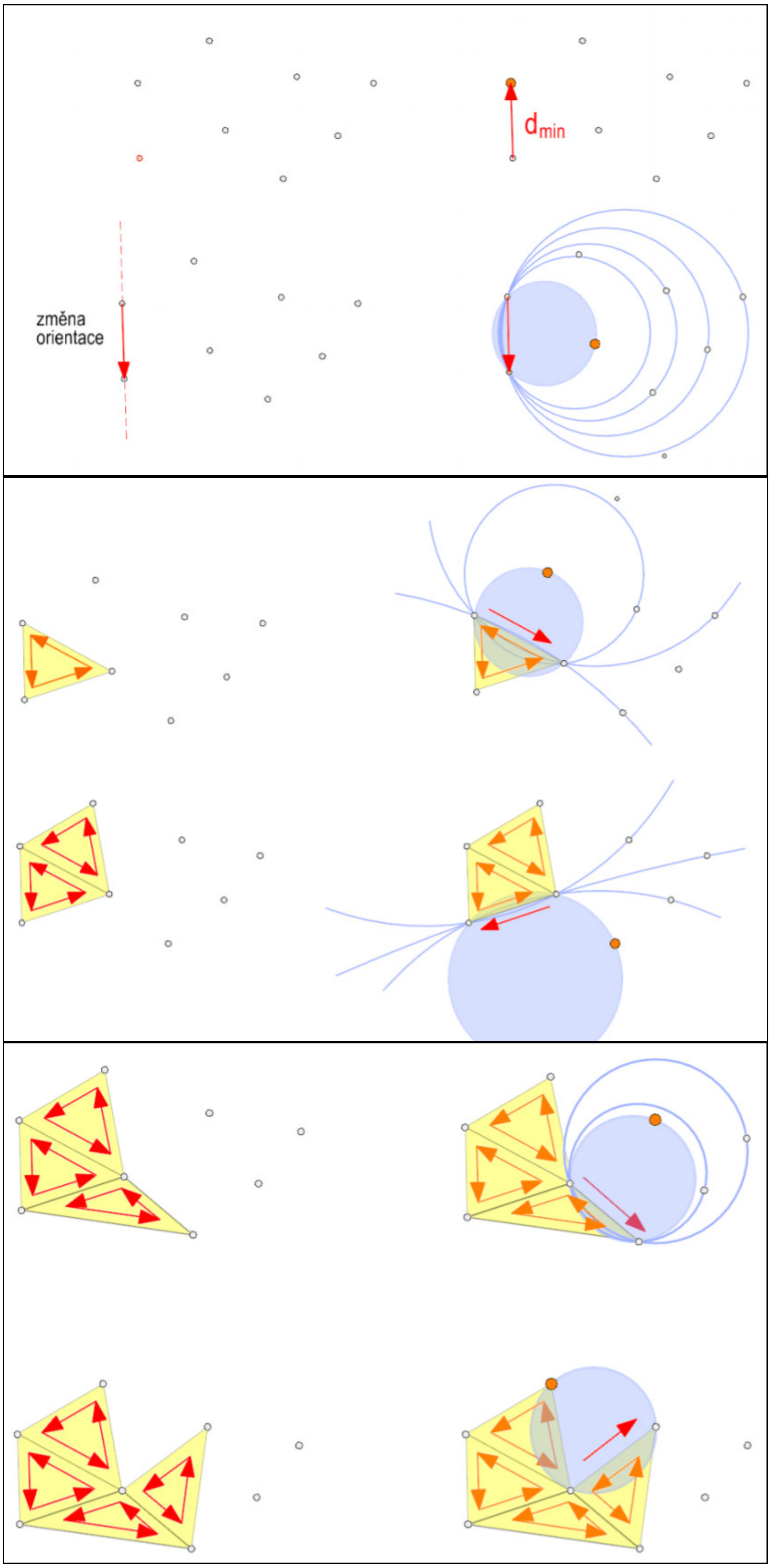
Pomocí metody inkrementální konstrukce získáme algoritmus využitelný ve 2D i 3D. Metoda je založena na postupném přidávání bodů do již vytvořené DT. Nad existující hranou $e = (p_1,p_2)$ je hledán $\underline{p}$, minimalizující poloměr $k_i = (e, p_i)$, $p_i \in \sigma_L(e)$. Hledáme bod p pouze vlevo od orientované hrany. Do DT jsou poté přidány hrany trojúhelníku $(p_1,p_2, \underline{p})$:

$$e_1 = (p_2, \underline{p}),\ e_2 = (\underline{p}, p_1),$$

pakliže hrany $e'_1 = (p_2, \underline{p})$, $e'_2 = (\underline{p}, p_1)$ nejsou v AEL (Active Edge List). Pokud je bod nalezen v pravé polorovině, změníme orientaci hrany e a hledání opakujeme ($p_i \in \sigma_r(e)$). AEL je modifikovaná datová struktura, která obsahuje hrany e ke kterým hledáme body $\underline{p}$, neukládá se topologický model.

Časový odhad algoritmu je exponenciální ($O(n^2)$). Toto lze ovšem vylepšit. Algoritmus je nestabilní.

[1][3] [4][5]



Obr. 5, 6, 7 Ilustrace inkrementální konstrukce [1]

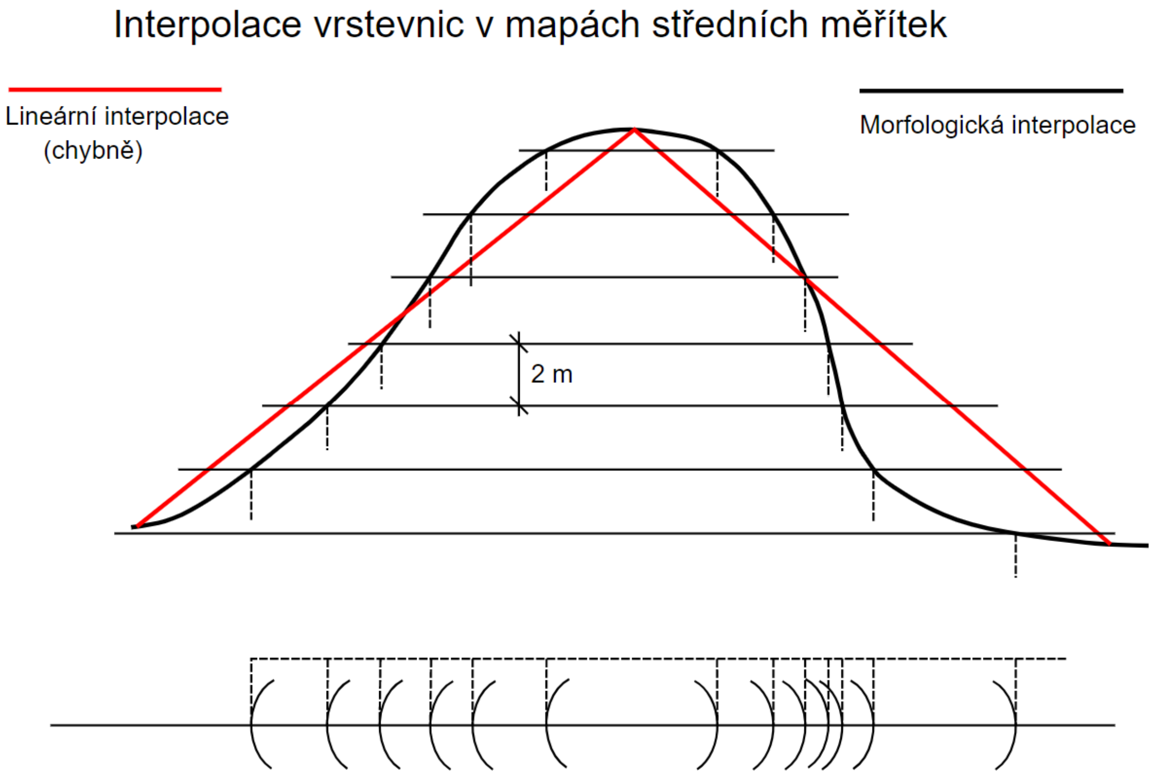
3.2 Konstrukce vrstevnic

Vrstevnice je linie v mapě, která spojuje body o stejné nadmořské výšce.

Interpolace vrstevnic je kartografická úlohy, která spočívá ve vyhotovení vrstevnic v daném území na základě bodů terénu.

Vrstevnice lze konstruovat lineárně či nelineárně (morfologicky). Při lineární konstrukci předpokládáme konstantní spád mezi 2 body, mezi nimiž je interpolace prováděna. Rozestup vrstevnic je konstantní. Tato metoda je snadná, ale nedává dobrý popis reálného terénu, protože například skutečný kopec nemá v realitě konstantní spád. Lineární interpolace je využívána v mapách velkých měřítek (1 : 500 a 1 : 1 000).

Oproti tomu nelineární interpolační algoritmy předpokládají plynulou změnu sklonu terénu (geomorfologická interpolace). Rozestup vrstevnic mezi dvěma body není konstantní a je zohledňován skutečný tvar terénu (sklon okolních plošek). Sice nám dává reálnější informaci o skutečném tvaru, ale nelze použít jednoduchý postup a těžko se algoritmizuje. Používá se pro menší měřítka (1 : 5 000, 1 : 10 000, příp. menší), protože je redukován počet zaměřených bodů kvůli velikosti oblasti a je využito zákonitostí terénních tvarů k nelineární interpolaci.



Obr. 8 Lineární vs morfologická interpolace [6]

V našem řešení byla použita lineární interpolace. Její algoritmus spočívá v hledání průsečnice vodorovné roviny v dané výšce h s rovinou určenou trojúhelníkem z DT. Mohou nastat tyto varianty:

- nemají společný bod = neřešíme,
- průsečnice tvoří 1 bod = neřešíme,
- průsečnice je úsečka.

Musíme dále testovat, zda vodorovná rovina ρ : z=h neprotíná stranu (p_i, p_{i+1}) trojúhelníku:

$$(z - z_i)(z - z_{i+1}) < 0.$$

Pokud rovina protíná hranu, bude jedna ze závorek záporná a druhá kladná, protože jeden bod bude nad a druhý pod úrovní roviny a obě závorky budou nenulové. Tedy nerovnost bude platit a vrstevnice bude vykreslena mezi průsečíky. Souřadnice koncových bodů hrany spočteme jako:

$$x_A = ((x_2 - x_1)/(z_2 - z_1))(z - z_1)+x_1,$$
$$y_A = ((y_2 - y_1)/(z_2 - z_1))(z - z_1)+y_1.$$

Pokud by byl průsečík v hraně, tak bude výše zmíněná nerovnost rovna nule a vrstevnice se vykreslí v hraně trojúhelníku.

Ještě by mohla nastat situace, kdy bude celý trojúhelník ležet v dané vodorovné rovině. Pak se hrana nevykreslí.

[1][6]

3.2 Analýza sklonu terénu

Jedná se o analytickou úlohu realizovanou nad DMT. Využívá se pro analýzu hydrologických poměrů, sesuvů, lavin, návrhy komunikací, … . Zprostředkující hodnotou je gradient (vektor maximálního spádu).

Výpočet je prováděn nad každým trojúhelníkem. Algoritmus nejprve vypočte normálu pro rovinu trojúhelníku (n_1 = (a, b, c)). Vektor vodorovné roviny je n_2 = (0, 0, 1).

Sklon poté určíme z rovnice:

$$\phi = \arccos \left| (n1.n2)/ \|n1\| \, \|n2\| \right|, \quad \phi \in <0; \pi/2>.$$

[1]

3.2 Analýza orientace terénu (expozice)

Tato analýza je využívána například ve stavebnictví, zemědělství, hydrologii. Můžeme pomocí ní zjistit, kam dopadá sluneční svit, který ovlivňuje například množství tepla, růst plodin, nebo třeba hydrologické poměry.

Orientace v bodě je azimut průmětu gradientu do roviny. Výpočet je prováděn nad každým trojúhelníkem DMT. Vypočteme vektor v = (a, b, 0), který je hledaným průmětem gradientu do roviny. Azimut vypočteme jako A = octan (b/a), A $\in$ <0; 2π>.

[1]

4 Data

4.1 Vstupní data

Vstupní data je možno načíst ve formátu .TXT. Načítání je upraveno pro S-JTSK souřadnice. V souboru musí být uvedeny s tímto formátováním: Y*mezera*X*mezera*Z *(1 bod na jeden řádek)*. Oddělovač desetinných míst je desetinná tečka. Tedy například tímto způsobem:

800300.09 1020222.26 245.54
800345.25 1020290.26 256.49
800410.16 1020280.26 260.98
…

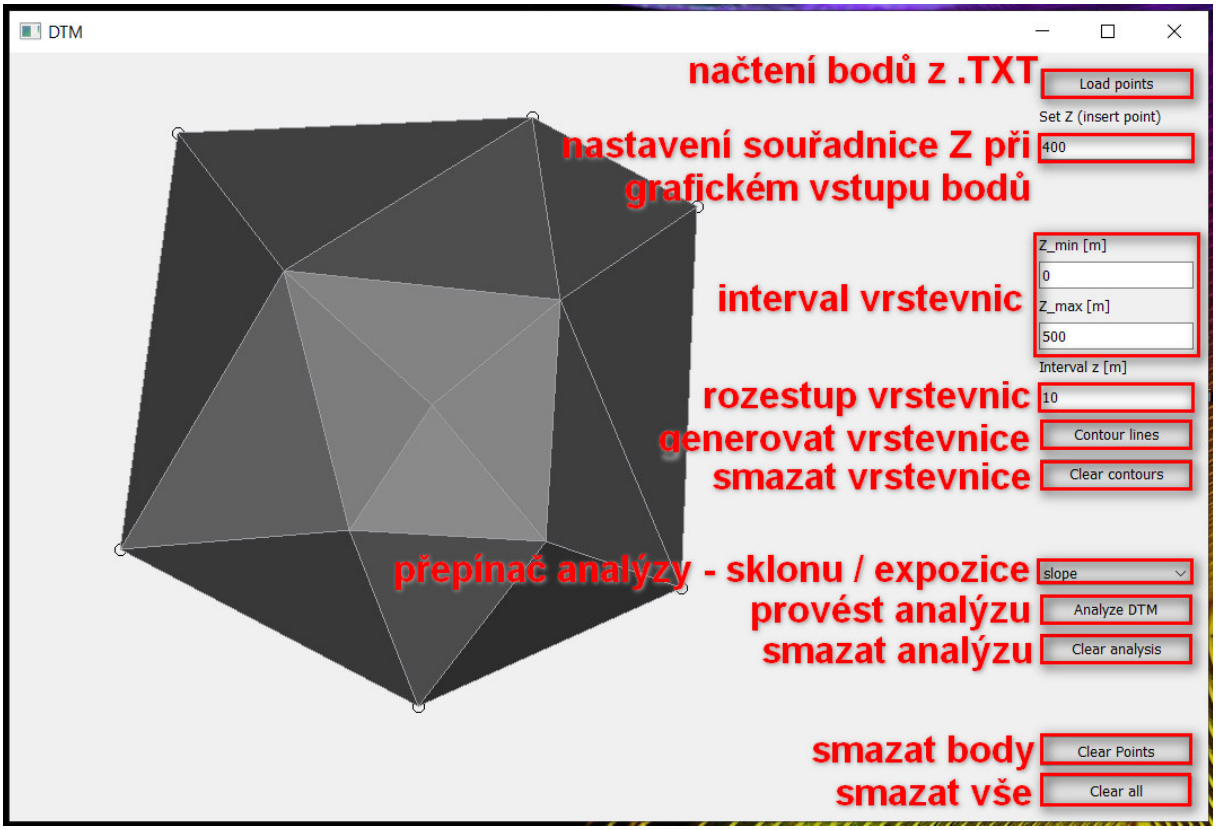
Dále je umožněn grafický vstup bodů kliknutím myší, kde souřadnice x a y jsou přebrány z aktuální pozice kurzoru a výška z je numericky zadána.

4.2 Výstupní data

Výstup této aplikace je realizován grafickým znázorněním triangulační sítě, analýzy (sklonu, nebo expozice) a také vrstevnic se zadaným krokem v zadaném intervalu.

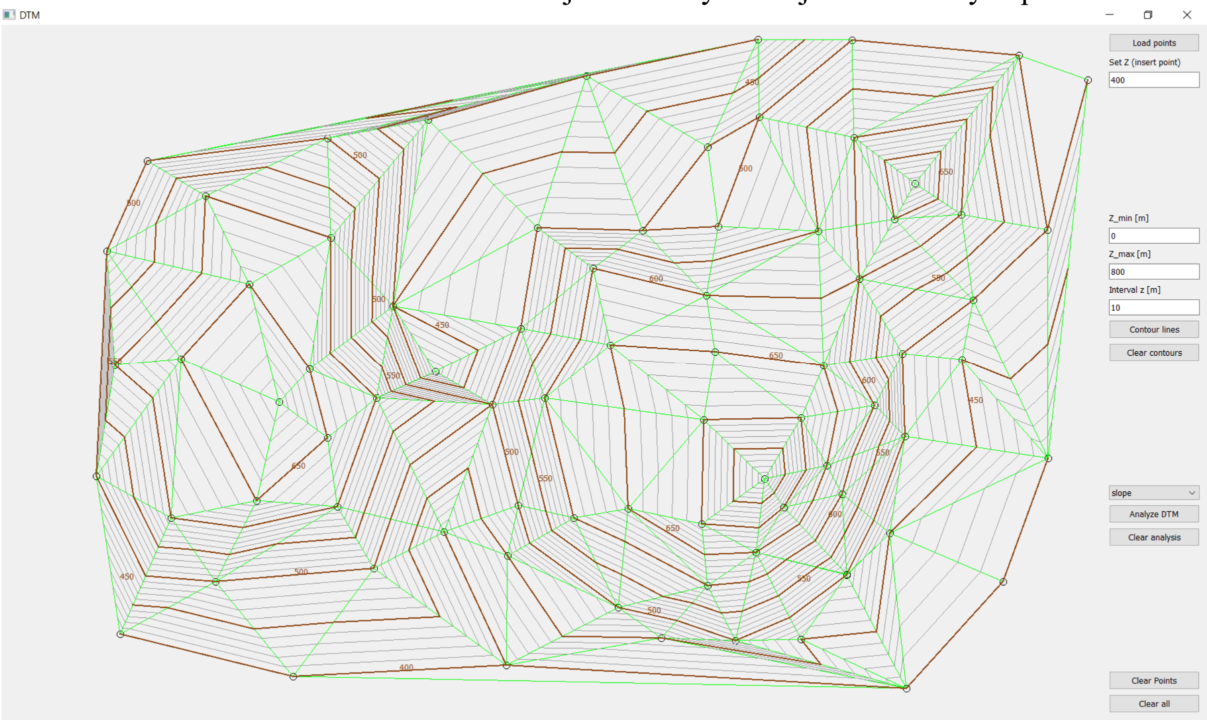
5 Printscreen vytvořené aplikace + zhodnocení

Funkce aplikace jsou popsané na následujícím obrázku.

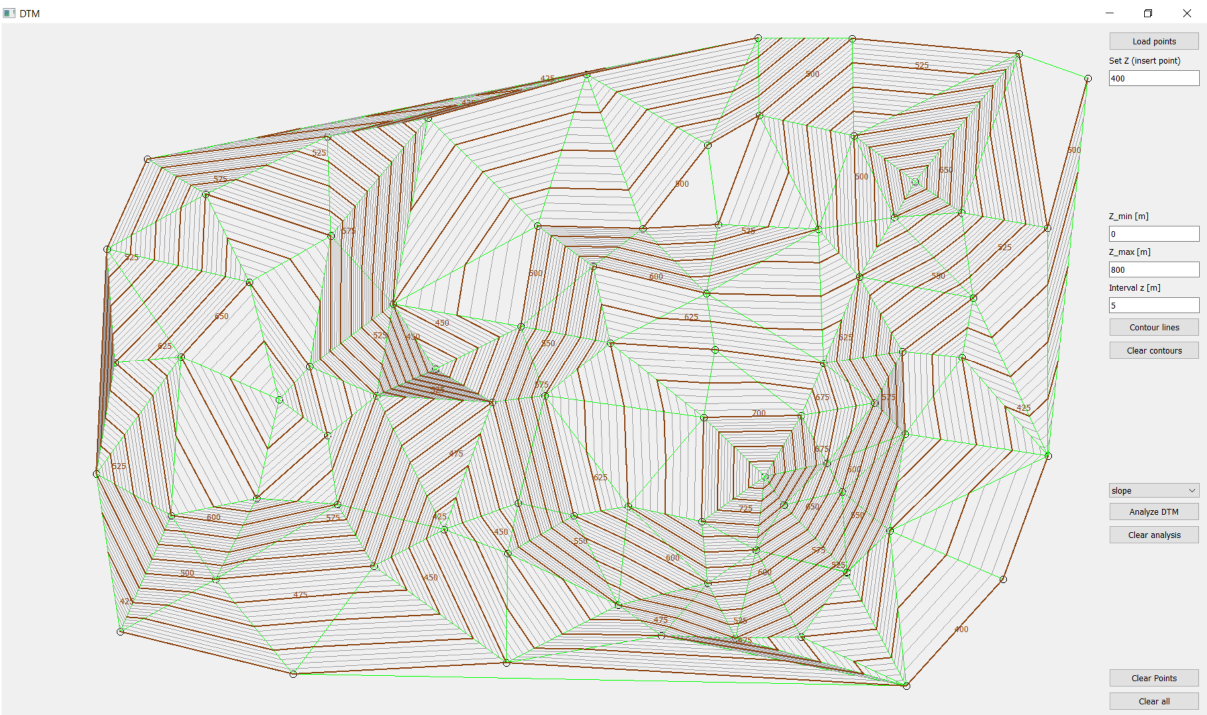


Obr. 9 Popis aplikace

Vrstevnice generujeme tak, že nejprve zadáme interval, poté požadovaný rozestup a následně klikneme na tlačítko Contour lines. Následující obrázky ukazují možnosti výstupu.

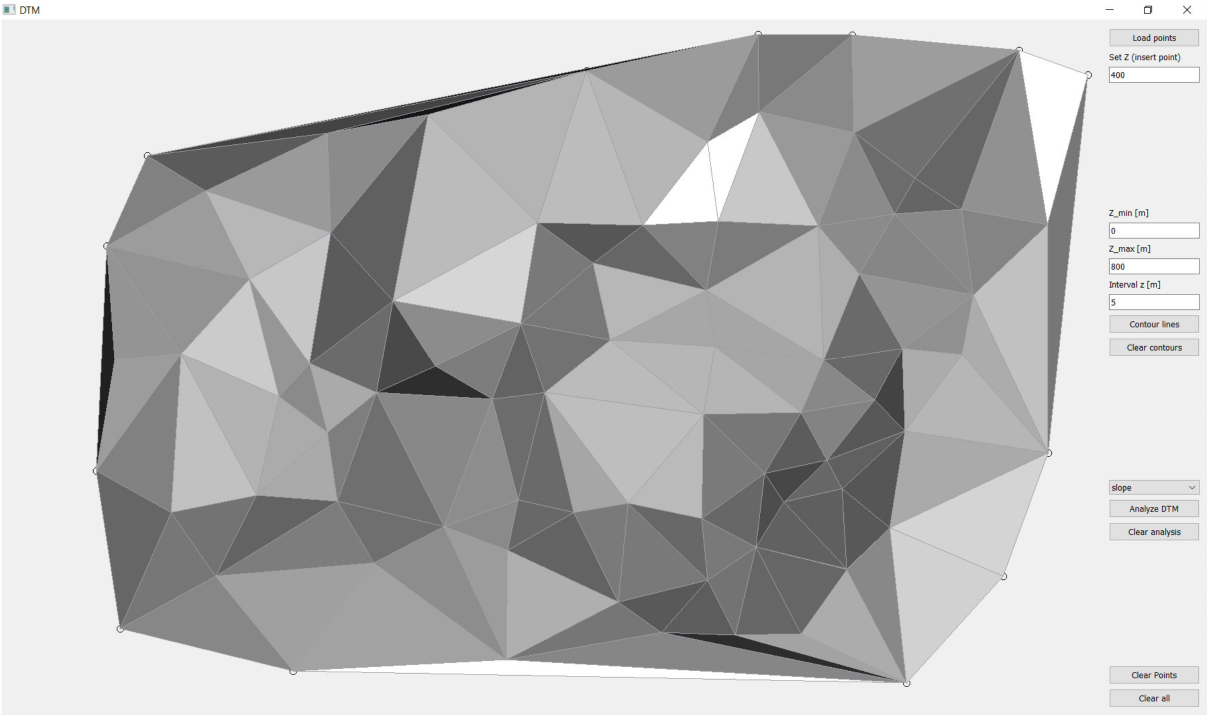


Obr. 10 Ukázka generování vrstevnic nad ručně vloženými body s krokem 10



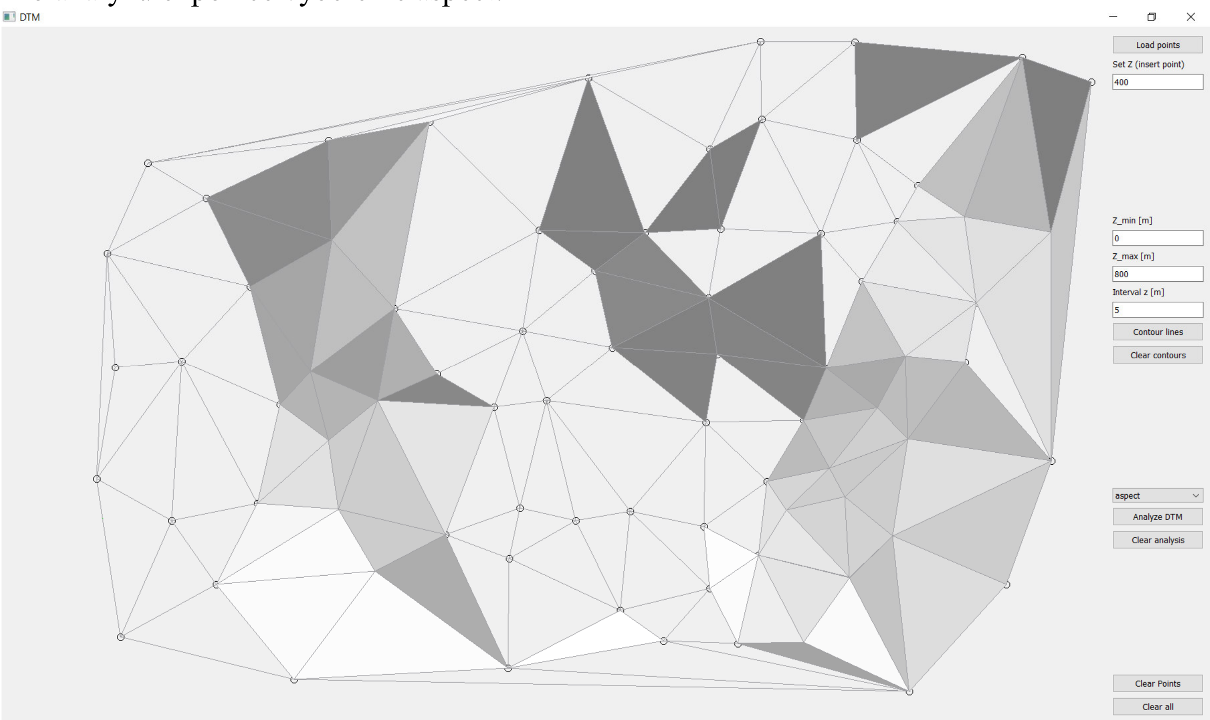
Obr. 11 Ukázka generování vrstevnic nad ručně vloženými body s krokem 5

Analýzu sklonu provedeme vybráním slope a kliknutím na Analyze DMT.



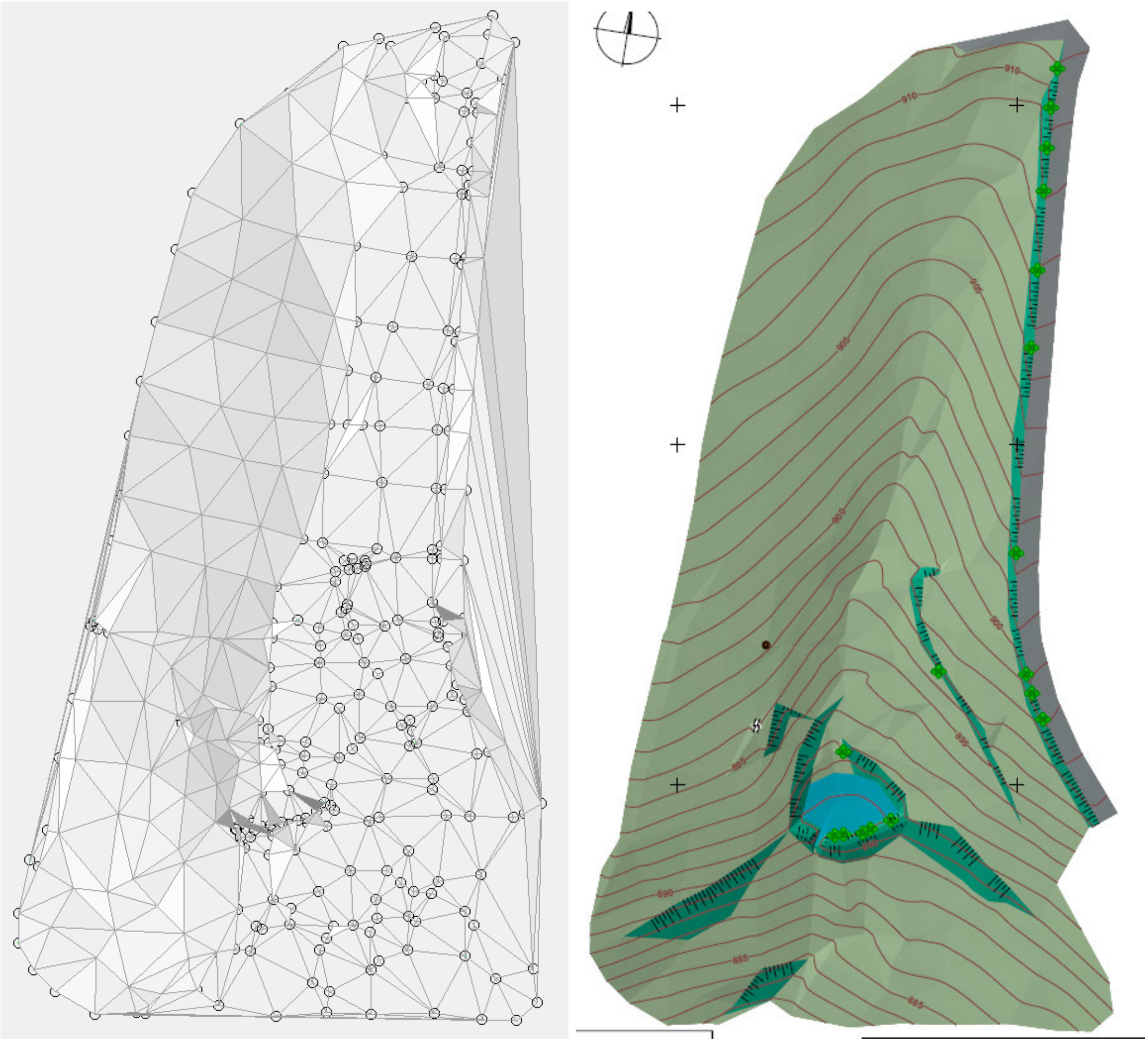
Obr. 12 Ukázka analýzy sklonu

Pro analýzu expozice vybereme aspect.



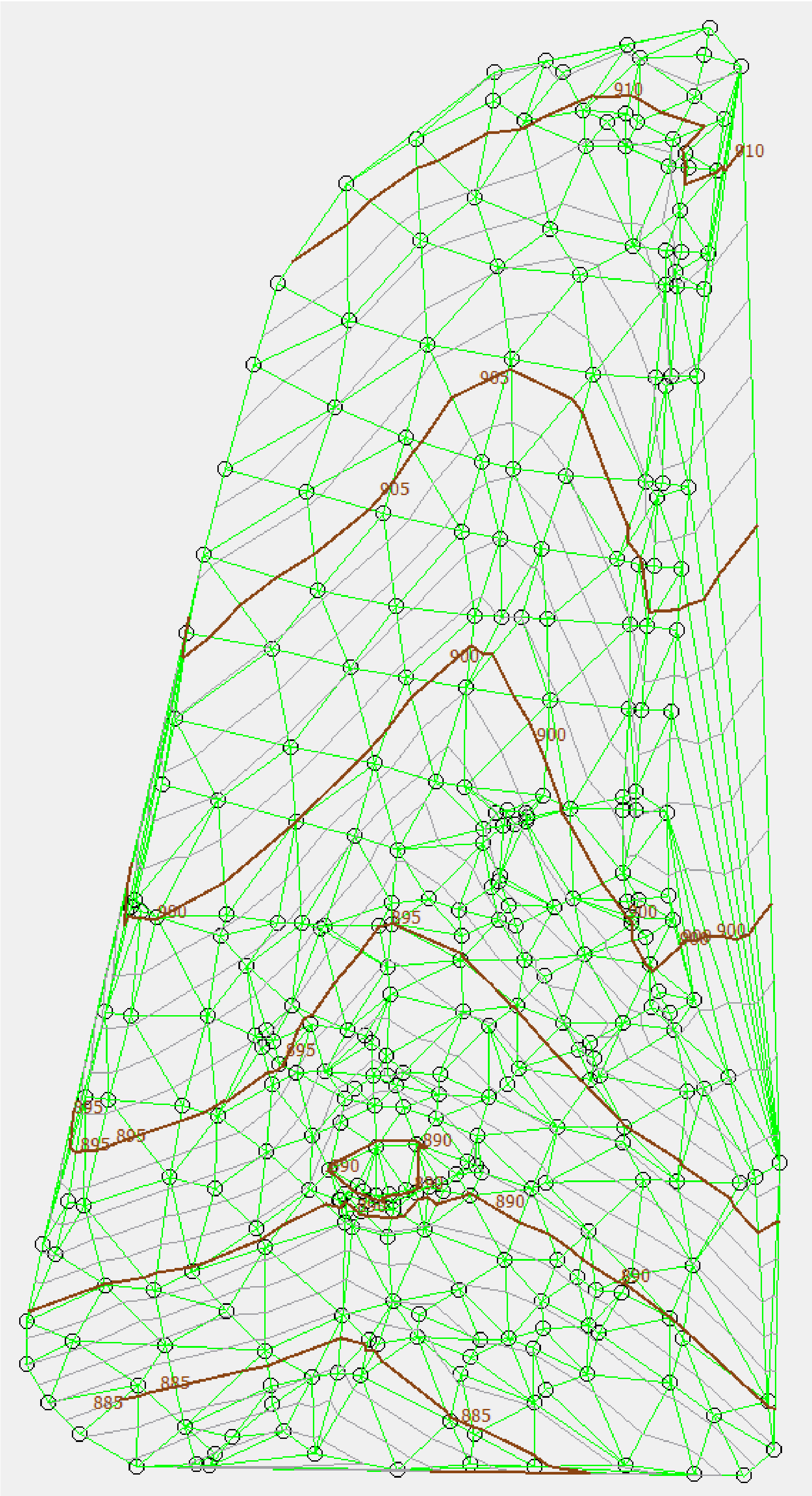
Obr. 13 Ukázka analýzy expozice

Pro nahrání souboru s body vybereme Load points a najdeme cestu k souboru. Jako testovací soubor bodů je přiložen soubor body.TXT, obsahující skutečně měřené body v lokalitě Mariánská u Karlových Varů.

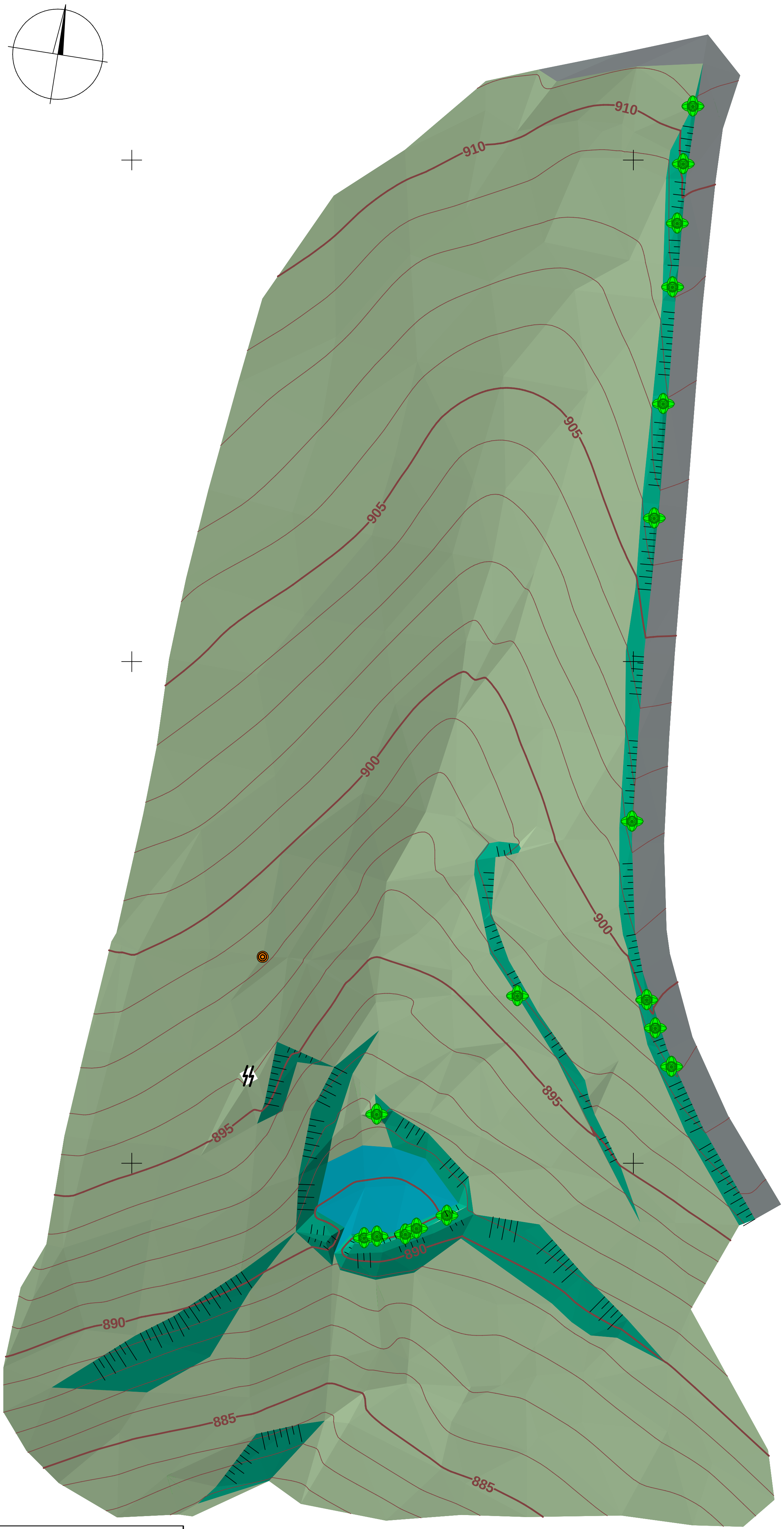


Obr. 14 Porovnání výstupu této úlohy (vlevo) s výstupem z SW Atlas DMT

Vygenerované vrstevnice nad stejnou množinou bodů jsou vizualizovány na následujícím obrázku. Na další stránce je pak přiložen výstup ze SW Atlas DMT.



Obr. 15 Vygenerované vrstevnice

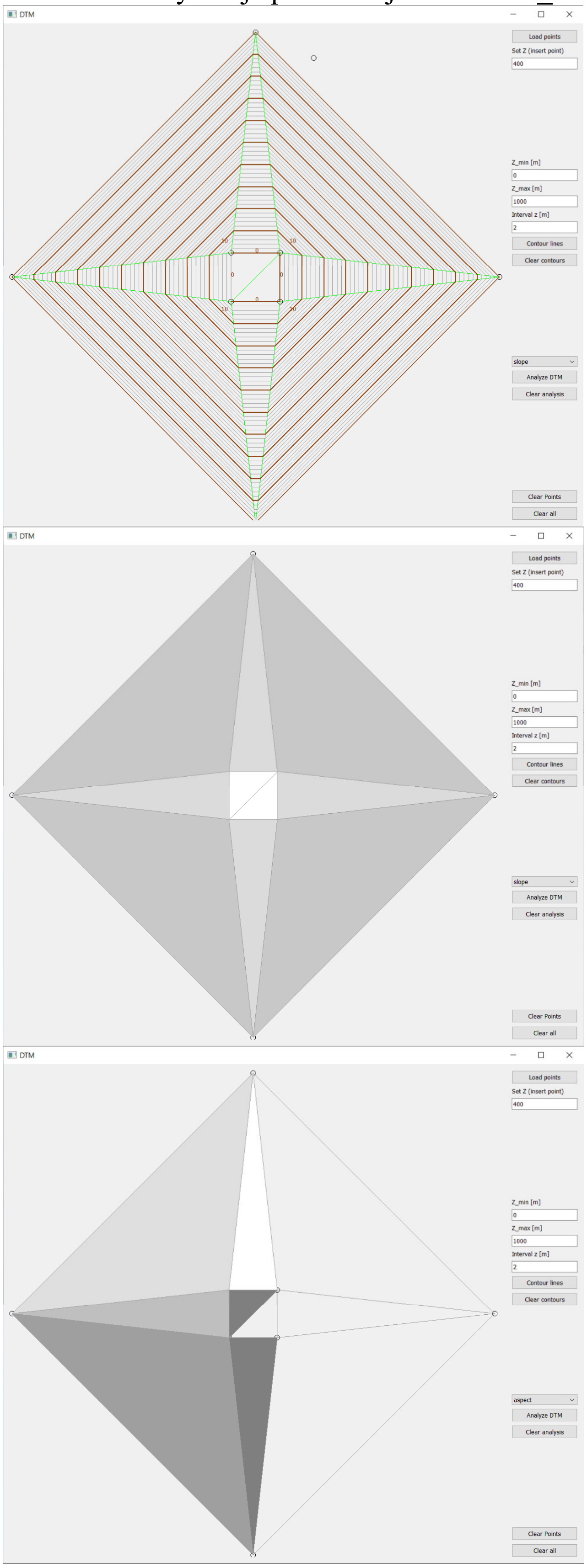


Legenda

ϟϟ	Sloup vysokého napětí
✿	Strom
◎	Tyč

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE VÝUKA V TERÉNU Z GEODÉZIE 3, 4	
ÚLOHA: DMT-digitální model terénu	
Souřadnicový / výškový systém: S-JTSK / Bpv	Měřítko: 1:1000
Vypracovala: Vaňková Zuzana	Lokalita: Mariánská u Karlových Varů
Datum: 8.9.2017 Skupina: 5	

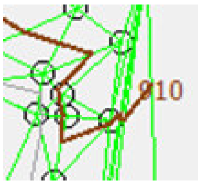
Vzhledem k tomu, že se blíží Vánoce, byla vytvořena vánoční testovací množina bodů ve tvaru hvězdičky. Ta je přiložena jako vanocni_body.TXT.



Obr. 16 Vánoční množina bodů (vrstevnice a analýzy)

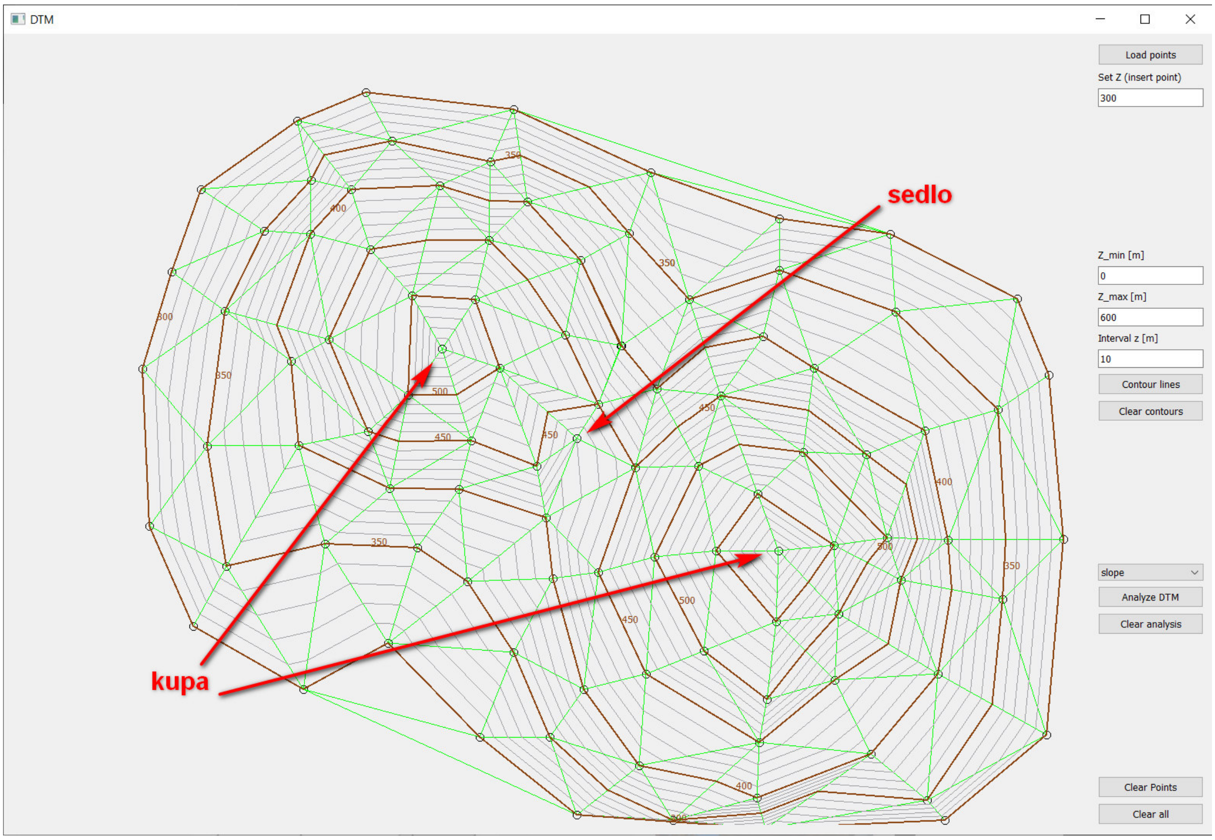
Vzhledem k tomu, že nejsou zohledněny povinné hrany, nelze algoritmus použít pro složitější terén. Například na obrázku 15 lze nedostatky dobře vidět. Když jej porovnáme s výstupem z Atlas DMT (na straně 17), ve kterém byly vybrány povinné hrany, tak se model v místech povinných hran značně liší.

Je zřejmé, že generování vrstevnic není takto úplně ideální. Vrstevnice nejsou plynulé, ale přesně kopírují lomený tvar modelu. Tedy není respektováno to, že tečna k vrstevnici by měla být kolmá ke kosterním čarám, které model nebere v potaz. A také jsou vytvořené lineární interpolací, která nezohledňuje proměnlivý spád terénu. Takže nahuštění vrstevnic v požadovaných místech, nebo naopak jejich rozředění není realizováno. Pro některé terénní tvary dostáváme také zjevně špatný výsledek, například pro kupu nebo sedlo, jak je patrné z obrázku 10 a 11. Příklad chybného generování vrstevnic z důvodu chybějící povinné spojnice:



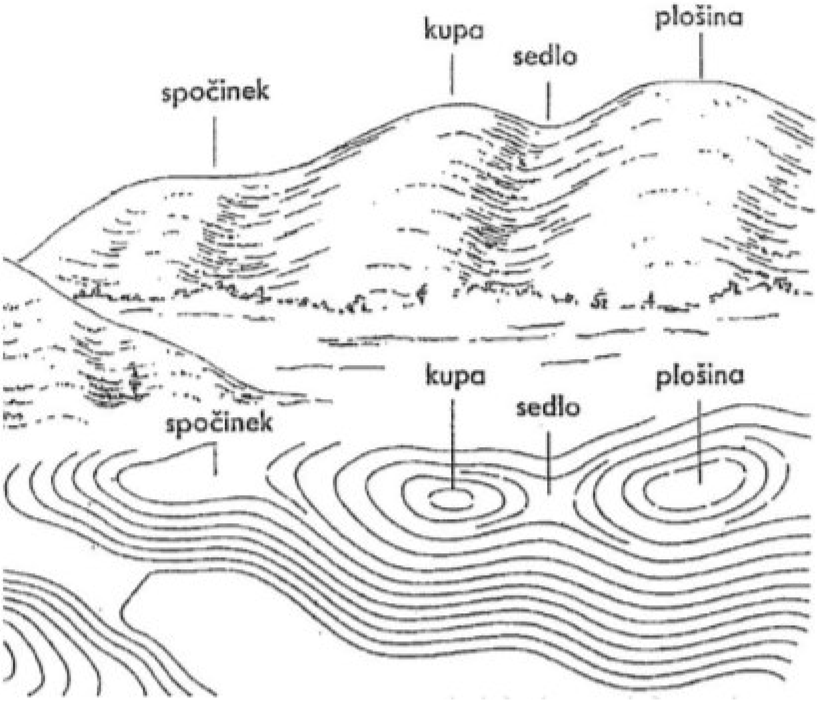
Obr. 17 Chybná vrstevnice

Zjevně chybně vykreslené kupy a sedlo je vidět na následujícím obrázku:



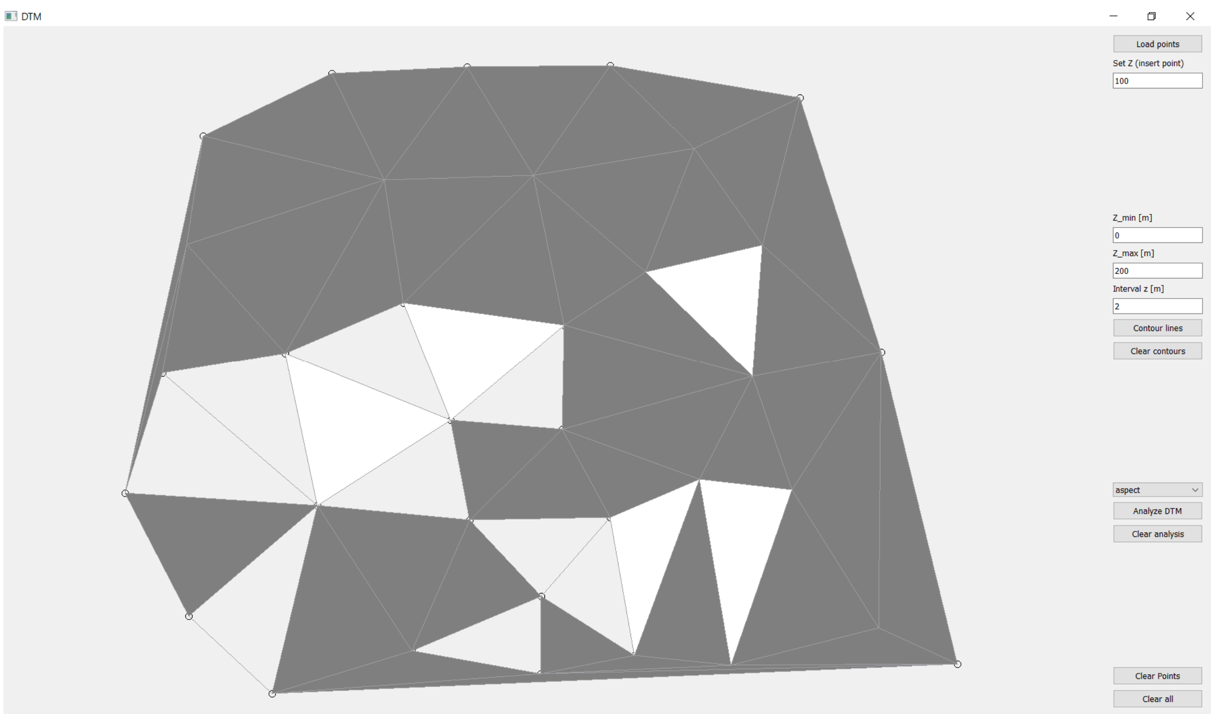
Obr. 18 Chybné kupy a sedlo

Správně vykreslené terénní tvary jsou zobrazeny na následujícím obrázku:



Obr. 19 Tvary na vrcholové části vyvýšeniny [7]

Algoritmus pro určení expozice zjevně selhává na rovných plochách, viz obrázek 16, kde vnitřní 4 body leží ve vodorovné rovině a tudíž by plocha měla být osvětlena stejně, což značí problémy v rovinatém území. Byl proveden pokus – byl analyzován sklon na bodech ve stejné výšce s tímto výsledkem:



Obr. 17 Chybná analýza sklonu v rovině (všechny body mají stejnou výšku)

Co se týče vstupního souboru s body (vstup ve formátu S-JTSK – Y, X, Z), tak ten je pro potřeby zobrazení upraven tak, aby se body zobrazili v mapovém okně. Vhodnější by bylo vyřešit možnost posunu pohledu na dané souřadnice a případně i zoomování v okně a odečet souřadnic jako tomu je v běžných programech pro obdobnou činnost. Takto vlastně data ztrácí reálné souřadnice polohy a je zachován pouze poměr mezi x a y. Tedy souřadnice jsou změněny pomocí měřítka a redukovány tak, aby se všechna data vykreslila.

6 Dokumentace

Dokumentace obsahuje třídy, které obsahují metody a jsou popsány níže.

6.1 Algorithms

int getPointLinePosition(QPoint3D &q, QPoint3D &p1, QPoint3D &p2)

Tato metoda určuje polohu bodu q vůči přímce dané 2 body. Principem je výpočet determinantu, který když je >0 tak bod je v levé polorovině a je vrácena hodnota 1, když je <0 tak bod je v pravé polorovině a vracíme hodnotu 0. Pokud jsou body kolineární je vrácena hodnota -1.

void circleCenterAndRadius(QPoint3D &p1, QPoint3D &p2, QPoint3D &p3, double &r, QPoint3D &s)

Metoda nastavující poloměr a střed kružnice opsané 3 bodům.

int findDelaunayPoint(QPoint3D &pi, QPoint3D &pj, std::vector<QPoint3D> &points)

Metoda sloužící k nalezení pořadí bodu k zařazení do Delaunay triangulace podle stanovených kritérií.

double dist(QPoint3D &p1, QPoint3D &p2)

Metoda vracející euklidovskou vzdálenost mezi dvěma body.

int getNearestpoint(QPoint3D &p, std::vector<QPoint3D> &points)

Metoda sloužící k nalezení pořadí nejbližšího bodu z points k bodu p.

std::vector<Edge> DT(std::vector<QPoint3D> &points)

Metoda vracející triangulaci.

void updateAEL(Edge &e, std::list<Edge> &ael)

Metoda sloužící k updatu Active Edge List.

QPoint3D getContourPoint(QPoint3D &p1, QPoint3D &p2, double z)

Metoda k získání bodů vrstevnic. Je vypočten průsečík hrany trojúhelníku a dané vodorovné roviny.

std::vector<Edge> contourLines(std::vector<Edge> &dt, double z_min, double z_max, double dz, std::vector<int> &contour_heights)

Metoda vracející vrstevnice. Dle zadaných parametrů jsou vytvořeny nad triangulací a vráceny.

double getSlope(QPoint3D &p1, QPoint3D &p2, QPoint3D &p3)

Metoda k vypočtení sklonu trojúhelníku.

double getAspect(QPoint3D &p1, QPoint3D &p2, QPoint3D &p3)

Metoda k vypočtení orientace trojúhelníku.

std::vector<Triangle> analyzeDTM(std::vector<Edge> &dt)
Metoda sloužící k vypočtení analýzy nad triangulací. Volá metody getSlope a getAspect.

6.2 Draw
Jde o třídu která dědí od třídy Widget a její metody slouží k vykreslení požadovaného výstupu.

void *paintEvent*(QPaintEvent *event)
Metoda sloužící k vykreslení všech požadovaných výstupů.

void *mousePressEvent*(QMouseEvent *event)
Metoda sloužící ke grafickému vstupu bodů. Souřadnice x a y jsou převzaty z pozice kurzoru a z pak dle zadané hodnoty.

void setPoints(std::vector<QPoint3D> &points_)
Setter pro nastavení hodnoty bodů (proměnná points).

std::vector<QPoint3D> & getPoints()
Getter vracející hodnotu bodů (proměnná points).

void setDT(std::vector<Edge> &dt_)
Setter pro nastavení hodnoty proměnné dt.

std::vector<Edge> & getDT()
Getter vracející hodnotu proměnné dt.

void setContours(std::vector<Edge> &contours_)
Setter pro nastavení hodnoty proměnné vrstevnic - contours.

void setBoldContours(std::vector<Edge> &contours_, std::vector<int> &contours_z_)
Setter pro nastavení proměnných pro hlavní vrstevnice.

std::vector<Edge> & getContours()
Getter vracející proměnnou contours – vrstevnice.

std::vector<Edge> & getBoldContours()
Getter vracející proměnnou bold_contours – hlavní vrstevnice.

void setDTM(std::vector<Triangle> &dtm_)
Setter pro nastavení trojúhelníků (uložení informací o sklonu, expozici, pozici).

std::vector<Triangle> & getDTM()
Getter vracející informace o trojúhelnících.

void importData(std::string &path, std::vector<QPoint3D> &points, QSizeF &canvas_size, double &min_z, double &max_z)

Metoda sloužící k importu bodů z .TXT souboru. Body jsou nahrány do vektoru points se souřadnicemi upravenými do vhodného měřítka a vhodně redukovanými tak, aby se zobrazili v mapovém okně.

void setSlope(bool &slope_){slope = slope_;}// Flags to indicate type of analysis

Metoda sloužící k nastavení TRUE/FALSE podle toho, zda bylo nebo nebylo v aplikaci zvoleno vykreslení sklonu.

void setAspect(bool &aspect_)

Metoda sloužící k nastavení TRUE/FALSE podle toho, zda bylo nebo nebylo v aplikaci zvoleno vykreslení expozice.

void setZClicked(double z)

Metoda, pro získání souřadnice z z grafického vstupu (použita ve třídě Widget), která nastaví hodnotu privátní proměnné z_clicked třídy Draw.

double getZClicked()

Metoda vrací hodnotu z pro grafický vstup.

6.3 Edge

Edge(QPoint3D &s_, QPoint3D &e_)

Třída, která slouží k uložení hrany a obsahuje 2 body – počáteční a koncový bod hrany.

void setStart(QPoint3D &s_)

Setter počátečního bodu hrany.

void setEnd(QPoint3D &e_)

Setter koncového bodu hrany.

QPoint3D & getStart()

Getter k vrácení počátečního bodu hrany.

QPoint3D & getEnd()

Getter k vrácení koncového bodu hrany.

void changeOrientation()

Metoda, která sloţí ke změně orientace hrany (prohodí počáteční a koncový bod.

6.4 QPoint3D

QPoint3D(double x, double y, double z_)

Třída, odvozená od QPointF. Umožňuje ukládat výškovou souřadnici.

double getZ()
Getter třídy, který vrací souřadnici z.

void setZ(double z_)
Setter třídy, který nastavuje souřadnici z.

6.5 sortByX
Třída, která je metodami volána k setřídění bodů podle souřadnice x.

6.6 Triangle

Triangle(QPoint3D &p1_, QPoint3D &p2_, QPoint3D &p3_, double slope_, double aspect_)
Třída sloužící k uložení trojúhelníku, jeho sklonu a orientace.

QPoint3D getP1()
Getter, který vrací hodnotu prvního bodu trojúhelníku.

QPoint3D getP2()
Getter, který vrací hodnotu druhého bodu trojúhelníku.

QPoint3D getP3()
Getter, který vrací hodnotu třetího bodu trojúhelníku.

double getSlope()
Getter, který vrací hodnotu sklonu trojúhelníku.

double getAspect()
Getter, který vrací hodnotu orientace trojúhelníku.

void setP1(QPoint3D &P1)
Setter, který nastavuje hodnotu prvního bodu trojúhelníku.

void setP2(QPoint3D &P2)
Setter, který nastavuje hodnotu druhého bodu trojúhelníku.

void setP3(QPoint3D &P3)
Setter, který nastavuje hodnotu třetího bodu trojúhelníku.

void setSlope(double &slope_)
Setter, který nastavuje hodnotu sklonu trojúhelníku.

void setAspect(double &aspect_)
Setter, který nastavuje hodnotu orientace trojúhelníku.

6.7 Widget

void on_lineEdit_editingFinished()

Metoda, která po ukončení editace v grafickém okně nastaví minimální hodnotu pro vykreslení vrstevnic.

void on_lineEdit_2_editingFinished()

Metoda, která po ukončení editace v grafickém okně nastaví maximální hodnotu pro vykreslení vrstevnic.

void on_lineEdit_3_editingFinished()

Metoda, která po ukončení editace v grafickém okně nastaví krok pro vykreslení vrstevnic.

void on_loadPoints_clicked()

Metoda sloužící k importu polygonů.

void on_analyzeDTM_clicked()

Po stisknutí tlačítka tato metoda volá metodu třídy Algorithms – analyzeDMT a je provedena analýza podle zadaného požadavku v combo boxu.

void on_createContour_clicked()

Metoda volá metodu contourLines třídy Algorithms. Tím jsou vykresleny vrstevnice se stanovenými parametry.

void on_clearContour_clicked()

Metoda slouží k vymazání stávajících vrstevnic.

void on_analysisClear_clicked()

Metoda slouží k vymazání stávající analýzy.

void on_clearPoints_clicked()

Metoda slouží k vymazání stávajících bodů.

void on_clearAll_clicked()

Metoda slouží k vymazání všech výstupů.

void on_lineEdit_4_cursorPositionChanged(int arg1, int arg2)

Metoda, sloužící k zadání hodnoty souřadnice z při grafickém vstupu. Metoda volá metodu setZClicked třídy Draw, čímž předává hodnotu třídě Draw pro další použití. Hodnota je aktualizována po posunutí kurzoru myši, protože jak bylo zjištěno tak editingFinished hodnotu načte až po kliknutí na jinou funkci, proto bylo zvoleno toto řešení, aby bylo jisté, že hodnota je při vstupu bodu aktuální.

7 Závěr

Byla vytvořena grafická aplikace, kde metodou inkrementální konstrukce byla naprogramována Delaunay triangulace. Nad triangulací je generován polyedrický model terénu a provedeny analýzy sklonu a expozice. Také bylo naprogramováno generování vrstevnic. Aplikace umožňuje vstup bodů z textového souboru, ale i grafický vstup s možností nastavení výšky. Bonusové úlohy nebyly vypracovány.

8 Přílohy

Elektronicky:

body.TXT – Vstupní testovací množina bodů
vanocni_body.TXT – vánoční testovací množina bodů
Soubory aplikace

9 Seznam literatury

[1] BAYER, Tomáš. *Rovinné triangulace a jejich využití: Greedy Triangulation. Delaunay Triangulation. Constrained Delaunay Triangulation. Data Dependent Triangulation. DMT.* [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://web.natur.cuni.cz/~bayertom/images/courses/Adk/adk5.pdf

[2] MOENNING, Carsten. *Computational Geometry for Computer Vision* [online]. Dec 20, 2018 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://medium.com/datadriveninvestor/computational-geometry-for-computer-vision-f140fab91c76

[3] *1. Delaunayho triangulace: Kapitola 8. Triangulace* [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://kgm.zcu.cz/studium/ugi/cviceni/ch08s01.html

[4] *Fortunův algoritmus a jeho implementace* [online]. 8. 3. 2011 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://ivankuckir.blogspot.com/2011/03/fortunuv-algoritmus-jeho-implementace.html?fbclid=IwAR1fEBzRvVKWgAJdSU19GBMFKccIxt_6OM3ygJMeHprYLCH7wnsfwKwnNT4

[5] DEMEL, Jiří. *Grafy a jejich aplikace* [online]. Vyd. 2., (Vlastním nákladem 1.). Libčice nad Vltavou: J. Demel, 2015 [cit. 2020-12-20]. ISBN 978-80-260-7684-1. Dostupné z: https://kix.fsv.cvut.cz/~demel/grafy/gr.pdf?fbclid=IwAR2czX3GiyBiWpKutHap3vj_Jl6fcOK0BFvbljIBYTjZ6Ytmu8ytl7ndqwc

[6] Interpolace vrstevnic. *Mapování* [online]. Praha: Katedra geomatiky, Fakulta stavební ČVUT v Praze., © 2015 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: https://pepa.fsv.cvut.cz/~mapovani/web/vyskopis/interpolace.html

[7] VICHROVÁ, Martina. *Topografické mapování: Morfologie terénních tvarů* [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: http://old.gis.zcu.cz/projekty/Geomatika_multimedialne/TOMA/Morfologie%20terennich%20tvaru_T.pdf

V Praze dne 20. 12. 2020 Usik, Vaňková