



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA GEOMATIKY

název předmětu

ALGORITMY V DIGITÁLNÍ KARTOGRAFII

úloha

U3: DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU A JEHO ANALÝZY

datum

12.1.2021

vypracovali

Bc. Josef Múnzberger, Bc. Martin Hudeček

Úloha č. 3: Digitální model terénu

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

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. navrhnete 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.

Zhodnot'te 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

Obsah

1. Popis a rozbor problému.....	2
1.1. Údaje o bonusových úlohách	2
2. Popis použitých algoritmů	2
2.1. Delaunay triangulace	2
2.1.1. Slovní zápis algoritmu	3
2.2. Konstrukce vrstevnic.....	3
2.2.1. Rozbor a slovní zápis algoritmu	3
2.3. Analýza sklonu	4
2.3.1. Slovní zápis algoritmu	4
2.4. Analýza expozice.....	4
2.4.1. Slovní zápis algoritmu	4
3. Vstupní data	5
4. Výstupní data	5
5. Ukázka aplikace, hodnocení.....	5
6. Technická dokumentace.....	13
6.1. Třída Algorithms	13
6.2. Třída Draw	14
6.3. Edge	14
6.4. QPoint3D	15
6.5. Traingle.....	15
6.6. SortByX.....	16
6.7. Widget.....	16
7. Závěr	16

1. Popis a rozbor problému

Cílem úlohy je tvorba digitálního modelu terénu z importovaných souřadnic bodů (X, Y, Z) , nad kterým je dále realizováno zobrazení vrstevnic, sklon terénu či expozice.

Pokud neuvažujeme rastrové DMT, pro které je hlavním prvkem buňka, základním kamenem digitálních modelů terénu je TIN (*triangulated irregular network*) neboli nepravidelná trojúhelníková síť, k jejíž konstrukci zvané triangulace¹ vede řada metod. Volba triangulace závisí např. na tvaru trojúhelníků nebo lze uvažovat možnost vkládání povinných hran. Dalšími aspekty různých druhů triangulací jsou zahrnutá lokální či globální kritéria. Ty mají geometrický podtext, cílem je tvorba trojúhelníků vhodných tvarů, lokální kritéria se aplikují na jednotlivé trojúhelníky, globální kritéria optimalizují parametry celé trojúhelníkové sítě.

V této práci byla použita Delaunay triangulace, kterou lze považovat za nejčastější řešení, v oblasti GIS se jedná o standard.

Pro pořádek uvedme důležité vlastnosti Delaunay triangulace:

- Uvnitř kružnice k opsané libovolnému trojúhelníku $t_i \in DT$ neleží žádný jiný bod množiny P .
- DT maximalizuje minimální úhel v $\forall t$, avšak DT neminimalizuje maximální úhel v t .
- DT je lokálně i globálně optimální vůči kritériu minimálního úhlu.
- DT je jednoznačná, pokud žádné čtyři body neleží na kružnici.

Analýza sklonu terénu je úloha realizována nad hotovým DMT. Využití nachází např. v hydrologii, návrhu komunikací, výpočtu sesuvů, návrh protierozních opatření atd.

Analýzu expozice (orientace terénu), taktéž prováděna nad DMT, lze využít např. ve stavebnictví či zemědělství.

1.1. Údaje o bonusových úlohách

Mimo hlavní část řešení úlohy bohužel nezbyl čas na řešení bonusových úloh, jelikož se před Vánocemi nakupilo více školních povinností. Každopádně to není známka nezájmu či nesympatií k předmětu ADKI.

2. Popis použitých algoritmů

Jak již bylo zmíněno výše, v úloze byla použita Delaunay triangulace pomocí metody inkrementální konstrukce, která je vhodná pro vstupní množiny do 1 milionu bodů. V případě obsáhlejších množin na vstupu by bylo nutné použít inkrementální vkládání (do 50 milionů bodů) či dokonce metodu Divide & Conquer pro vstupní množiny ještě větší, ale zde se jedná o velmi pokročilou implementaci, co se náročnosti týče.

2.1. Delaunay triangulace

Tato metoda pro tvorbu TIN hledá k vytvořené orientované hraně nejvhodnější třetí bod takový, který se nachází v její levé polorovině, a dále splňuje podmínku, aby opsaná kružnice tomuto bodu a bodům hrany byla minimální a zároveň uvnitř této kružnice neležel žádný jiný bod. Pokud takový bod nalezneme, změníme orientaci hrany a hledání pokračuje pro nově orientovanou hranu. Algoritmus pracuje se seznamem aktivních hran (*Active Edge List, AEL*), který obsahuje takové orientované hrany, ke kterým ještě nebyl nalezen třetí bod. Při nalezení nové hrany je zároveň nutné kontrolovat, zda hrana s opačnou orientací již není obsažena

¹ Triangulace však v dnešní době dávno překonala horizonty kartografie a GIS, její využití najdeme např. v biometrii (detekce otisku prstů).

v seznamu AEL. V případě nalezení vhodného třetího bodu k nové hraně je nutné danou hranu ze seznamu aktivních hran odstranit. Jakmile bude tento seznam prázdný, byla vytvořena celá trojúhelníková síť a celý algoritmus skončí.

2.1.1. Slovní zápis algoritmu

- Nalezení pivota q (bod s nejmenší souřadnicí X)
- Hledání nejbližšího bodu p_1 k pivotovi
- Vytvoření první hrany e_1 jakožto spojnice p_1 a q
- Hledání Delaunay bodu (*)
 - $p = \operatorname{argmin}_{p_i \in \sigma_L(e)} r'(k_i)$
 - $k_i = (a, b, p_i)$
 - $a, b \dots$ obecné body hrany e , ke které hledáme Delaunay bod
 - V případě nalezení bodu:
 - Vytvoření nových hran trojúhelníka $e_2 = (p_1, p)$, $e_3 = (p, q)$
 - V případě nenalezení bodu:
 - Změň orientaci hrany a vrať se do části (*)
- Přidání hran e_1, e_2, e_3 do DT
- Přidání hran e_1, e_2, e_3 do AEL
- Dokud není seznam AEL prázdný:
 - Hledej Delaunay bod k hraně z AEL
 - Pokud takový bod existuje, vytvoř k němu zbývající hrany trojúhelníku
 - Pokud některá hrana (s opačnou orientací) není v AEL , přidej ji do seznamu

2.2. Konstrukce vrstevnic

Vrstevnice jsou definovány jako křivky spojující body o stejné nadmořské výšce. K jejich tvorbě je opět možné přistupovat více způsoby, v této úloze bylo využito interpolace. V rámci interpolace rozlišujeme dva hlavní proudy; lineární interpolační algoritmy, které uvažují spád mezi dvěma body za konstantní (výsledné vrstevnice mají mezi dvěma body konstantní rozestup, což jistě nevystihuje realitu, leč je výpočetně jednoduché), a nelineární interpolační algoritmy, jenž předpokládají plynulou změnu sklonu terénu, výsledkem jsou vrstevnice s nekonstantním rozestupem a vhodnější zobrazení skutečného tvaru terénu. Tento postup je však značně složitý, v programu byla použita interpolace lineární

2.2.1. Rozbor a slovní zápis algoritmu

Pro všechny hrany trojúhelníku t hledáme průsečíky roviny a hrany. V praxi může nastat několik různých případů, proto jsou nejprve níže rozepsány jednotlivé varianty analýzy vzájemné polohy roviny a trojúhelníku v trojrozměrném prostoru s návazností na vykonávaný postup.

- Rovina vrstevnice a trojúhelník nemají žádný společný bod: neřešíme.
- Rovina vrstevnice a trojúhelník mají právě jeden společný bod (vrchol trojúhelníku): neřešíme.
- Trojúhelník leží celý v rovině vrstevnice: neřešíme.
- Jedna hrana trojúhelníku náleží rovině vrstevnice: vrstevnice se vykreslí přímo v dané hraně.
- Trojúhelník protíná rovinu, průsečnice je úsečka: nutno spočítat průsečíky a poté vykreslit vrstevnici.

Rozebraná situace lze zapsat do algoritmu například takto:

- Pro všechny hrany e trojúhelníka t hledej průsečíky roviny a hrany.
- Pokud $(z - z_i)(z - z_{i+1}) = 0$, vykresli vrstevnici přímo v dané hraně

- Pokud $(z - z_i)(z - z_{i+1}) < 0$, spočti průsečíky:
 - $x = \frac{(x_2 - x_1)}{(z_2 - z_1)}(z - z_1) + x_1$
 - $y = \frac{(y_2 - y_1)}{(z_2 - z_1)}(z - z_1) + y_1$
 - Na základě průsečíků vytvoř vrstevnicovou hranu.

2.3. Analýza sklonu

Podle analýzy sklonu DMT poznáme, jak se vstupní terén chová (klesá, stoupá, nemění se). Sклон můžeme definovat jako odchylku φ rovin ρ a π . Pokud normálový vektor roviny π zavedeme $n = (0,0,1)$, pak je výpočet úhlu poměrně snadný (viz 2.3.1). Vizualizace sklonu trojúhelníku je dále provedeno vyplnění barvou ve stupních šedi na základě hodnoty φ . Barva je v RGB definována pomocí tří kanálů a o barvách ve stupních šedi platí, že všechny tři kanály mají stejnou hodnotu. Bylo ovšem potřeba úhel φ upravit tak, aby zohledňoval všech 256 možných hodnot RGB, jelikož maximální hodnota sklonu může nabývat 180° a nelze tedy uvažovat zápis RGB $(\varphi, \varphi, \varphi)$. Proto byl zaveden koeficient $k = 255/180$, s jehož pomocí již bylo docíleno správného řešení.

2.3.1. Slovní zápis algoritmu

- Pro všechny trojúhelníky triangluace $t_i \in DT$:
- Vypočti normálový vektor roviny trojúhelníku:
 - $u_x = x_2 - x_1$
 - $u_y = y_2 - y_1$
 - $u_z = z_2 - z_1$
 - $v_x = x_2 - x_3$
 - $v_y = y_2 - y_3$
 - $v_z = z_2 - z_3$
 - $n_t = (u_y v_z - u_z v_y)^2 - (u_x v_z - u_z v_x)^2 + (u_x v_y - u_y v_x)^2$
- Vypočti sklon $\varphi = \arccos \frac{n_z}{|n_t|}$

2.4. Analýza expozice

Expozici chápeme orientaci terénu vzhledem ke slunci, pomáhá vizualizovat stinné či exponované plochy terénu. Pro výpočet lze použít základ z předchozí analýzy sklonu (výpočet normálových vektorů trojúhelníků). Azimut průmětu takového normálového vektoru do roviny x, y definuje expozici terénu.

2.4.1. Slovní zápis algoritmu

- Pro všechny trojúhelníky triangulace $t_i \in DT$:
- Vypočti normálový vektor roviny trojúhelníku:
 - $u_x = x_2 - x_1$
 - $u_y = y_2 - y_1$
 - $u_z = z_2 - z_1$
 - $v_x = x_2 - x_3$
 - $v_y = y_2 - y_3$
 - $v_z = z_2 - z_3$
 - $n_x = (u_y v_z - u_z v_y)$
 - $n_y = (u_z v_x - u_x v_z)$
- Vypočti sklon $A = \text{atan2} \frac{n_x}{n_y}$

3. Vstupní data

Do programu vstupuje množina bodů pomocí tlačítka pro import, podporovaným formát vstupního souboru je *.txt* obsahující strukturalizované souřadnice ve sloupcích *X, Y, Z*.

Ukázka několika prvních řádků textového souboru s použitými vstupními daty (z výuky v terénu během bakalářského studia):

845772.043	997260.491	889.781
845773.227	997269.073	888.446
845780.873	997272.923	887.014
845797.548	997269.441	886.283
845811.071	997268.255	885.836
845828.537	997266.637	884.617
845838.825	997265.270	884.249
845847.261	997265.012	883.201
845854.438	997265.577	882.700
845860.630	997266.744	881.877

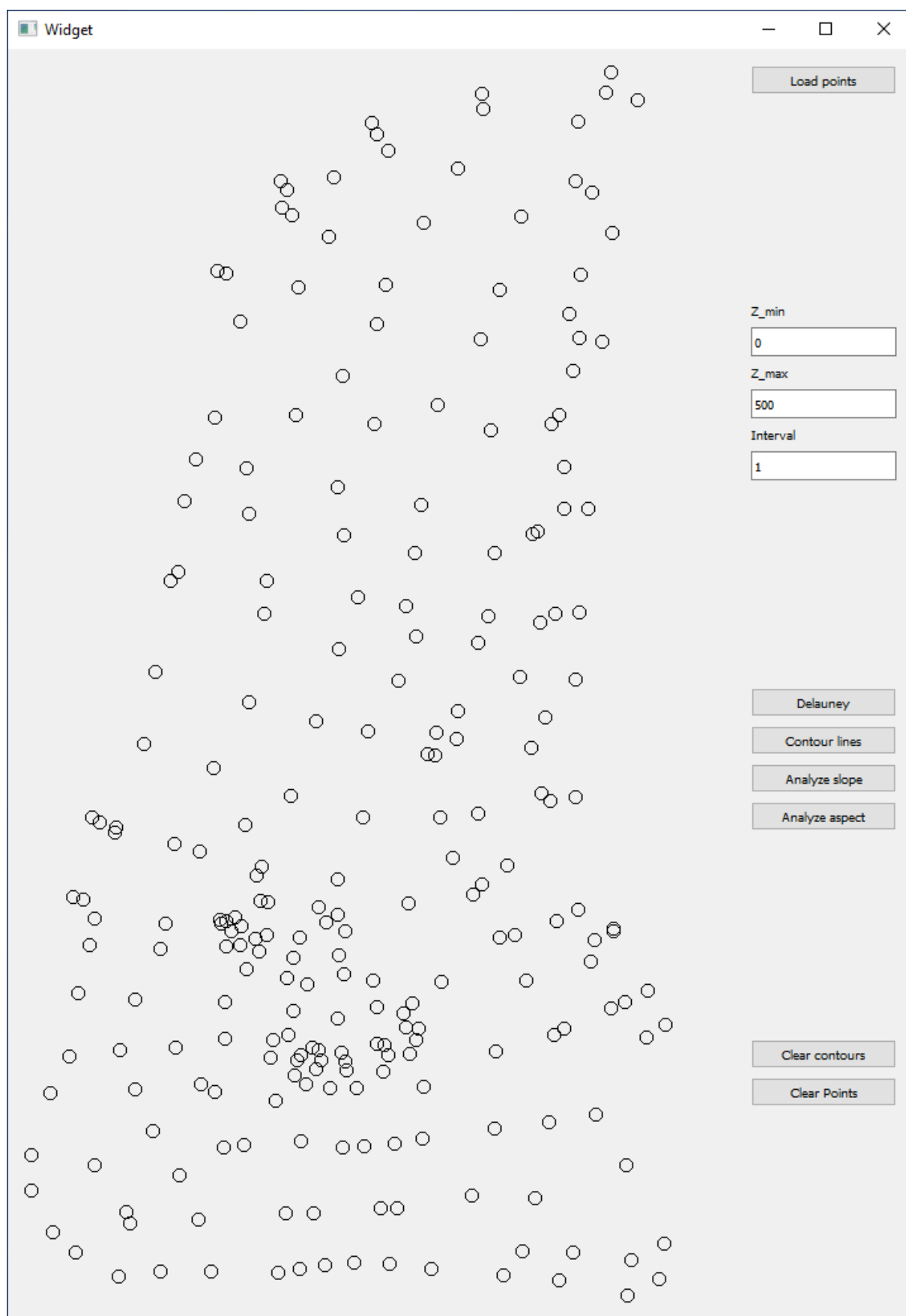
Další možnosti vstupu bodů je přímo klikáním do canvasu. Bod se umístí po kliknutí do místa kurzoru a jeho souřadnice *Z* je vypočtena náhodně.

4. Výstupní data

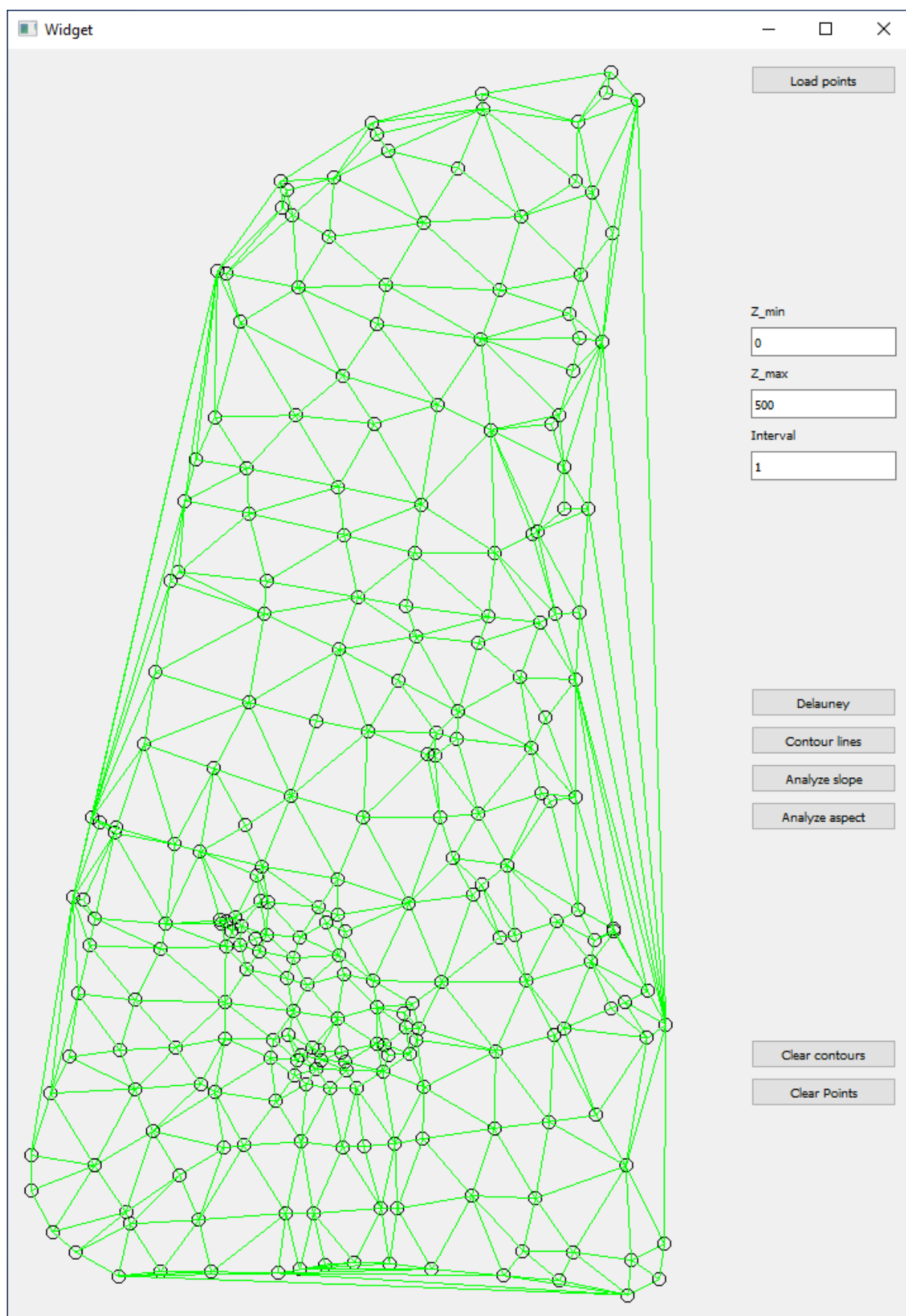
Výstupem programu je grafická aplikace, která na základě vstupních dat vytvoří TIN metodou Delaunay triangulace. Nad výsledným DMT umožňuje dále vykreslit vrstevnice a vykonávat analýzu sklonu či expozice terénu.

5. Ukázka aplikace, hodnocení

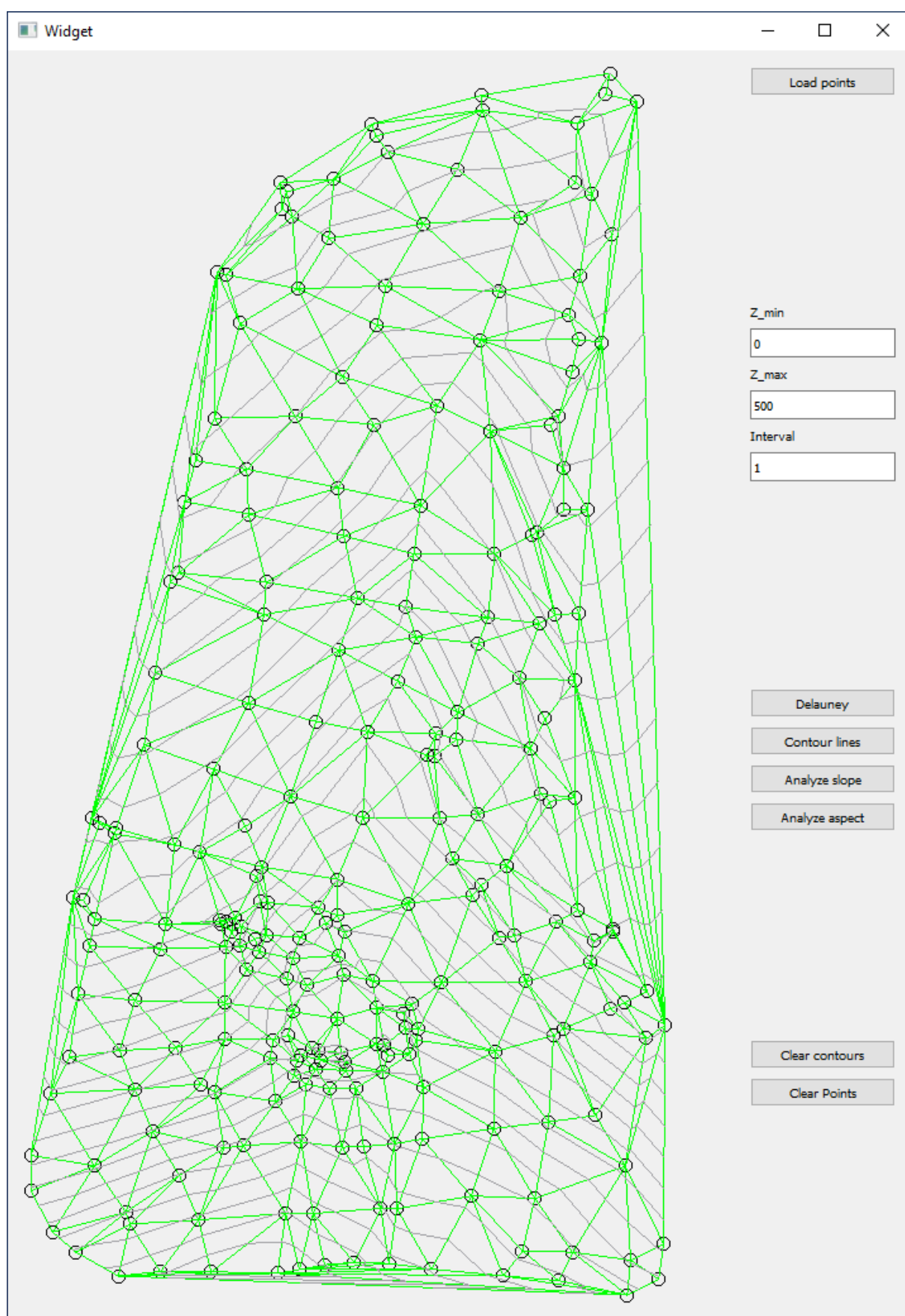
Tato kapitola nabízí přehled několika komentovaných screenshotů chodu aplikace a případné hodnocení problematických částí programu. Snímky jsou kvůli možnosti důkladnějšího prohlížení vždy přes celou stránku, proto začíná přehled na té další.



Import bodů do programu.



Vizualizace Delaunay triangulace nad vstupními body.



Vykreslené vrstevnice v zadaném intervalu a výškovém rozpětí.

K názornému porovnání vykreslených vrstevnic byl na následující stránku vložen DMT z výuky v terénu (z bakalářského studia), který vznikl na základě reálných dat z okolí Mariánské v Krušných horách v září 2017 v programu *Atlas DMT*. Parametry vykreslovaných vrstevnic byly nastaveny se stejným krokem, aby byly rozdíly dobře patrné.

Vrstevnice generované programem mají viditelné nedostatky, přechod není plynulý, ale lomený, což souvisí s použitou programátorskou metodou a interpolací (lineárně interpolační algoritmus, více viz 2.2.). Dále je zřejmá absence povinných hran, které byly v software *Atlas DMT* zadány a výstup tak lépe vystihuje realitu. Chybně zobrazují proměnlivý spád terénu, taktéž není vyřešeno rozředění nebo nahuštění vrstevnic v žádoucích místech. V neposlední řadě neobsahuje naprogramovaný výstup popisky vrstevnic.

Přehled dalších screenshotů volně navazuje za následující vloženou stranou s DMT z programu *Atlas DMT*.

MĚŘÍTKO 1:1000

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE
KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE
VÝUKA V TERÉNU 3,4

ÚLOHA:

DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU

LOKALITA:

MARIÁNSKÁ, JÁCHYMOV,
KARLOVARSKÝ KRAJ

SOUŘ., VÝŠKOVÝ SYSTÉM:

JTSK/Bpv

VYPRACOVAL:

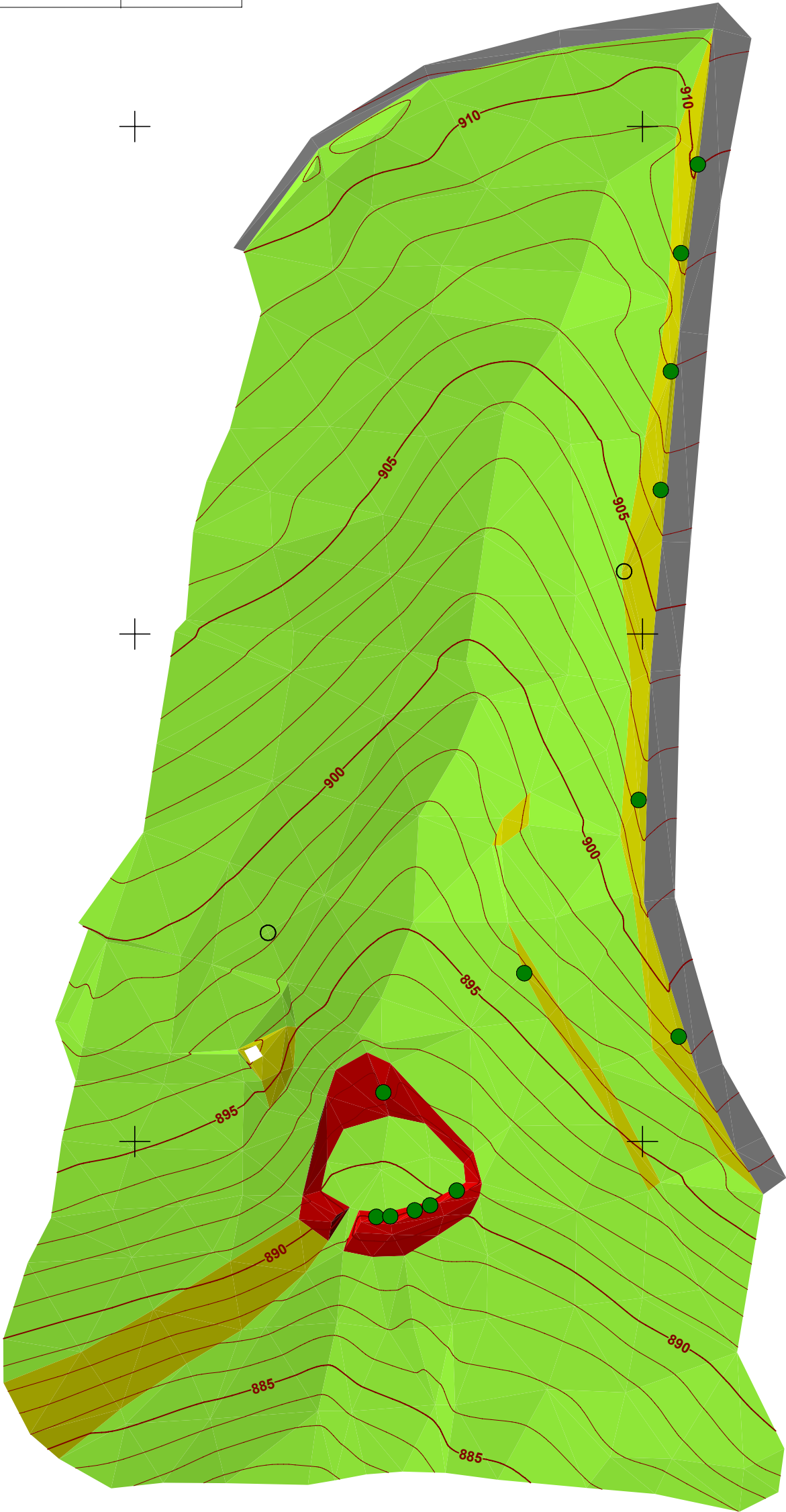
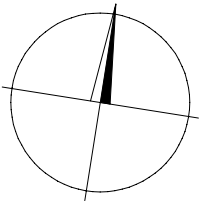
JOSEF MŮNZBERGER

DATUM:

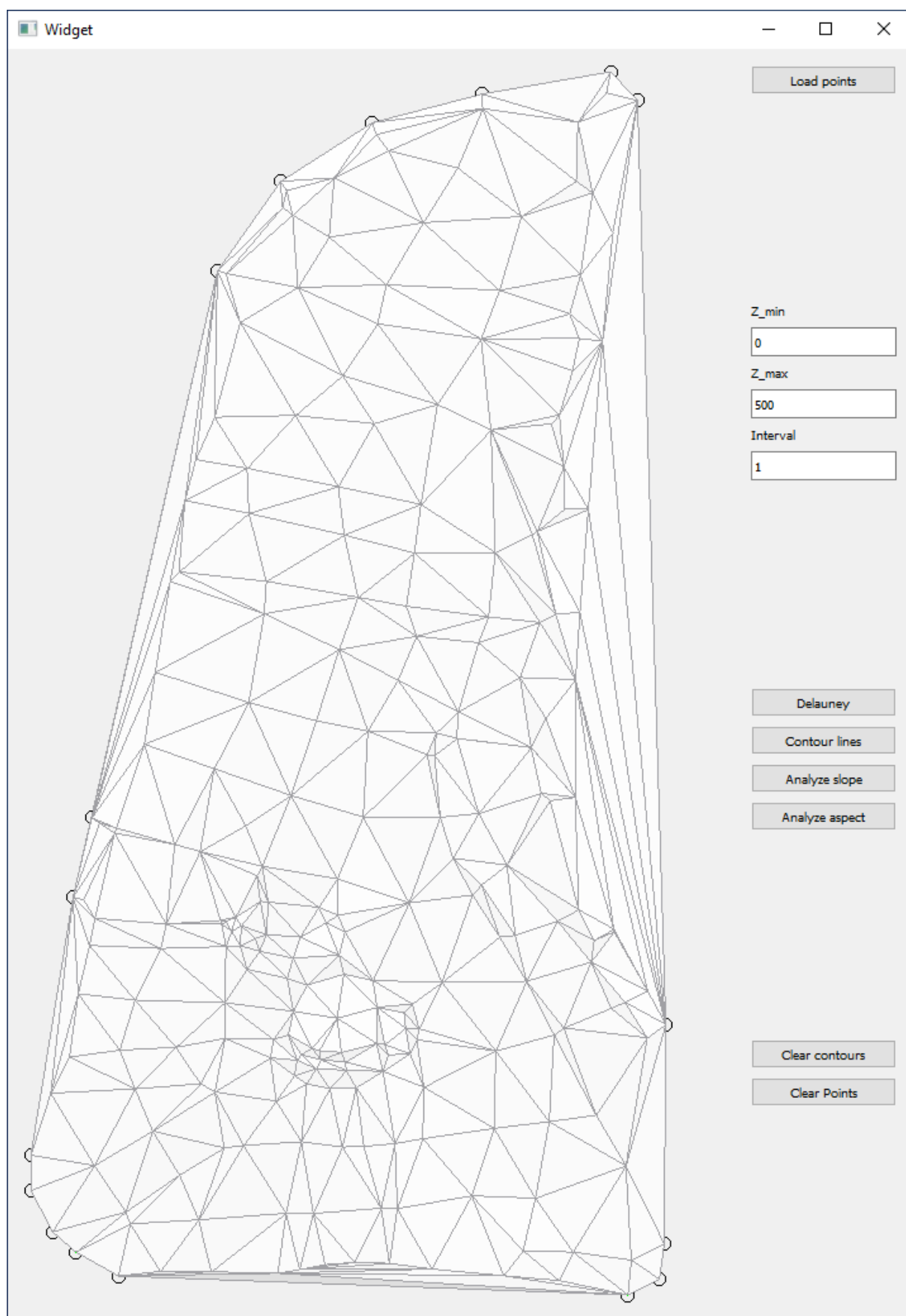
12.9.2017

SKUPINA:

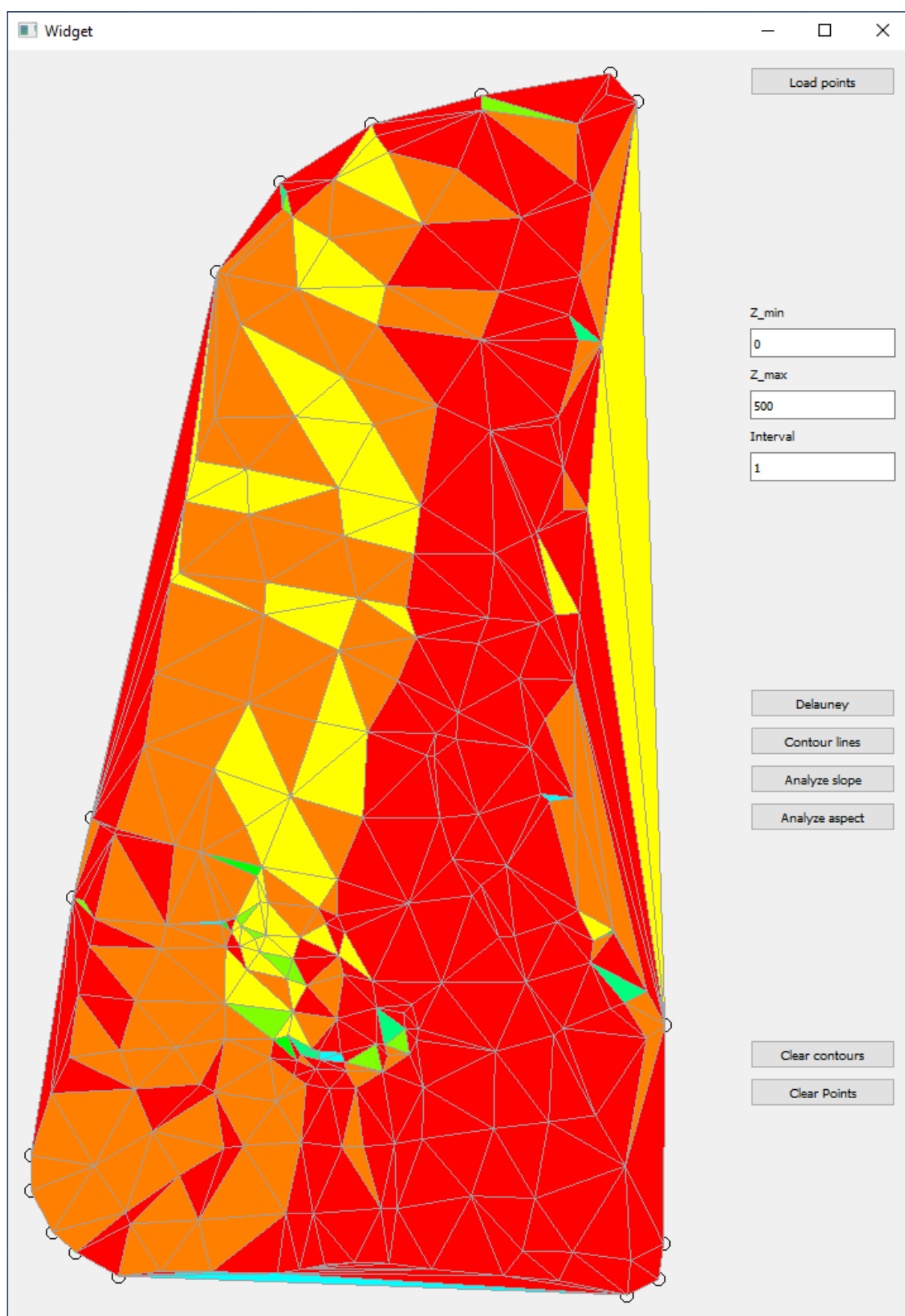
4



LEGENDA	
	strom
	ochranná tyč (plyn)

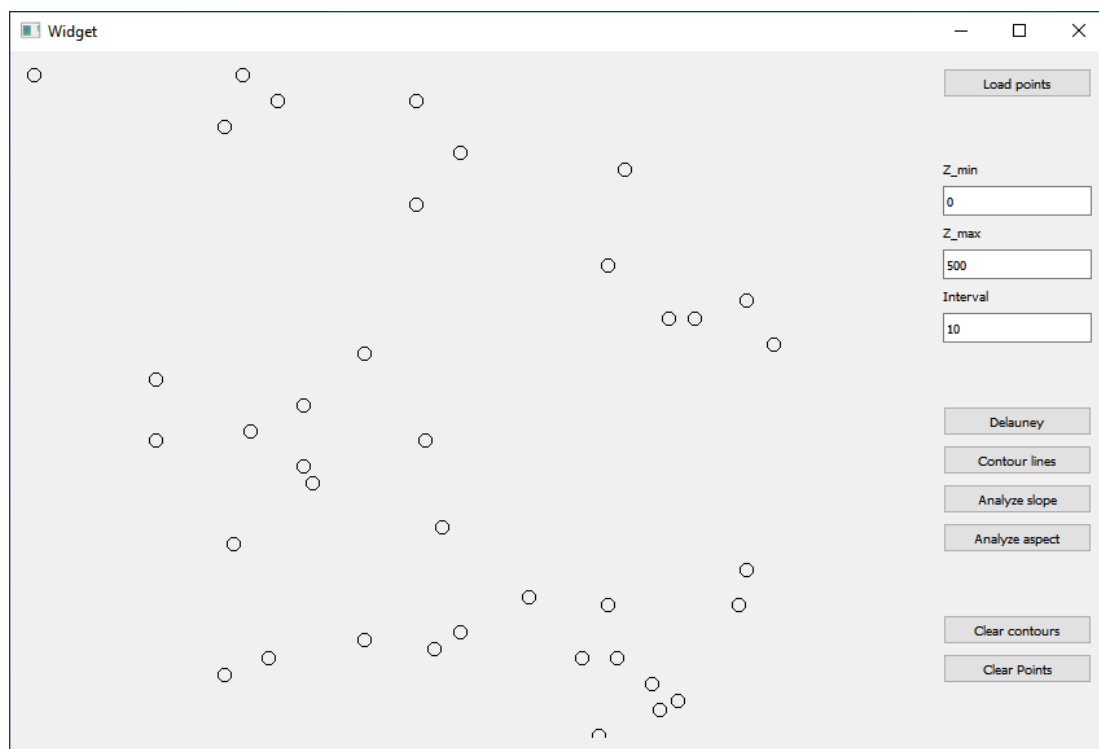


Analýza sklonu DMT.

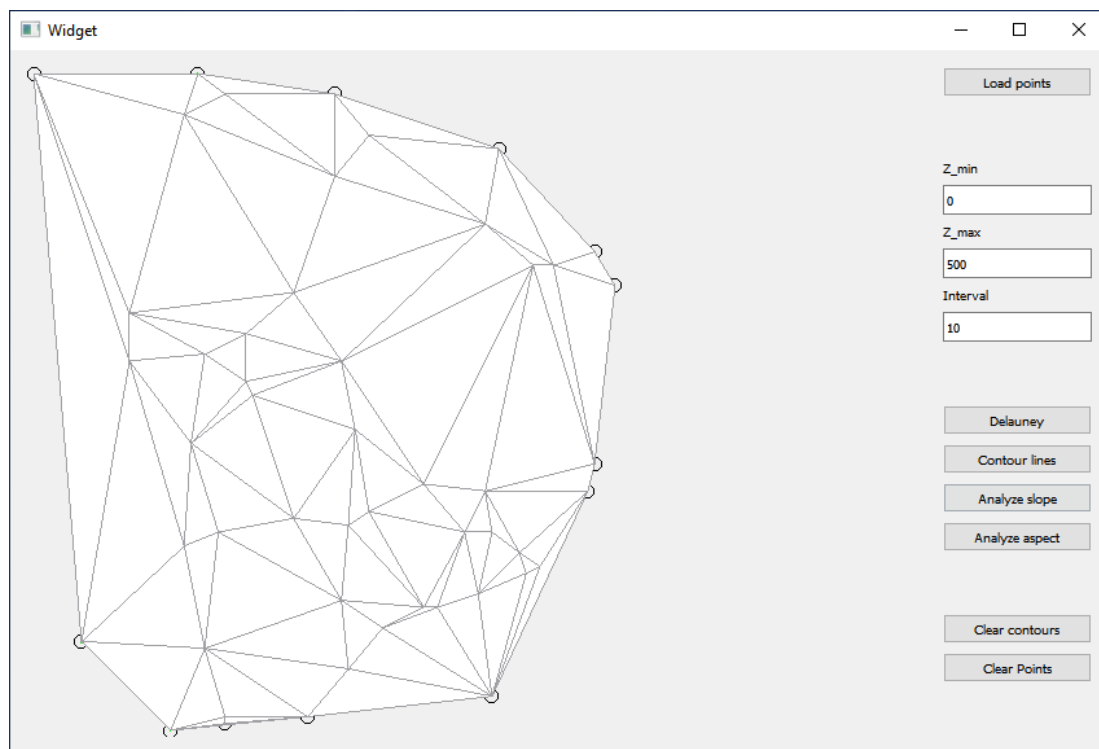


Analýza expozice DMT.

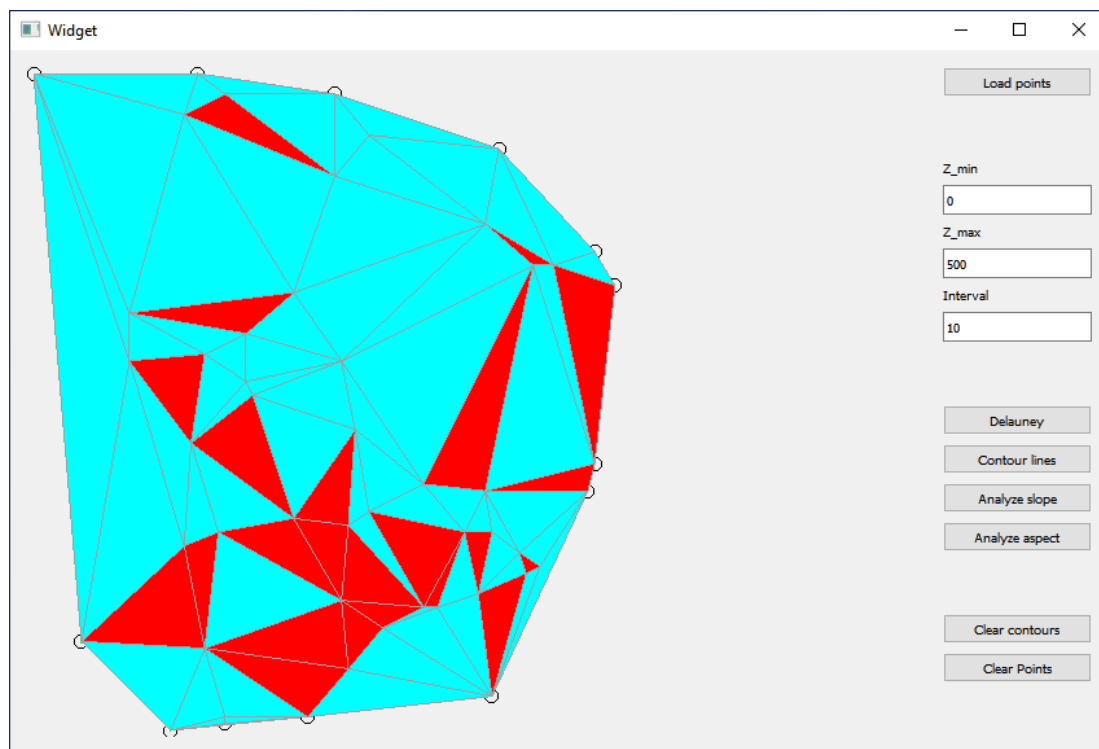
Několik vět k analýzám sklonu a expozice na předchozích dvou screenshotech. Zprv je vhodné uvést, že nadmořská výška vstupních použitých vstupních bodů se pohybuje v rozpětí cca 890–910 metrů, proto není analýza sklonu na obrázku tolik vypovídající. Pro testování bylo uměle vytvořeno i několik dalších datasetů bodů s až na výjimky náhodnými souřadnicemi, například dataset s body o stejné nadmořské výšce. Ten ukázal, že slabina programu také tkví v rovinatých oblastech, kde je neschopen správně vyjádřit expozici, jak dokládají obrázky níže.



Testovací dataset s body o stejné nadmořské výšce.



Správně vykreslený sklon u DMT testovacích bodů o stejné souřadnici Z.



Neprávne vykreslená expozice u DMT testovacích bodů o stejné souřadnici Z.

6. Technická dokumentace

Aplikace obsahuje třídy: *Algorithms*, *Draw*, *Edge*, *Widget*, *sortByX*, *Triangle*, *QPoint3D*. Níže následuje jejich detailnější rozbor.

6.1. Třída *Algorithms*

Mimo konstruktore zahrnuje třída *Algorithms* tyto metody:

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

Na začátku si metoda spočítá vzdálenosti $p1q$, $p2q$ a $p1p2$. Poté zkoumá, zda bod q neleží na hraně (nebo v její těsné blízkosti) testováním podmínky, zda absolutní hodnota rozdílu $p1p2 - p1q + p2q$ je menší nebo rovna zvolené toleranci. Dalším krokem je zjištění, zda bod q není totožný s jedním z vrcholů polygonu, pročež jsou zkoumány absolutní hodnoty rozdílů souřadnic X a Y bodů q a $p1$, resp. $p2$. Pokud splňují toleranci, prohlásíme bod q totožný s bodem p_i . Dále tato metoda počítá vektory $qp1$, $p1p2$, z kterých je pak přes determinant určeno, zda bod q leží v pravé či levé polorovině.

Metoda tedy vrací výsledky: 0 (bod leží v pravé polorovině), 1 (bod leží v levé polorovině), -1 (kolineární bod).

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

Metoda vrátí poloměr kružnice tvořené třemi body na vstupu.

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

Metoda vrátí index bodu, který splňuje podmínky tzv. Delaunay bodu (viz 2.1.1.)

double dist(QPoint3D &p1, QPoint3D &p2)

Tato jednoduchá funkce využívá Pythagorovy věty a vrací vzdálenost mezi dvěma body.

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

Vrátí index nejbližšího bodu z vektoru bodů na vstupu.

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

Metoda vytvoří nad vstupní množinou bodů Delaunay triangulaci reprezentovanou vektorem hran.

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

Metoda prochází seznam aktivních hran a kontroluje, zda je aktuální hrana obsažena. Pokud není, změní její orientaci a vloží ji do seznamu, pokud již je obsažena, vymaže ji ze seznamu.

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

Metoda vypočte koncové body úsečky (průsečnice), jež vznikla průnikem trojúhelníku s rovinou vrstevnice.

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

Metoda vrátí vektor hran tvořící vrstevnice v uživatелеm zadaném rozpětí nadmořských výšek.

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

Metoda počítá hodnotu sklonu v trojúhelníku určeném body p_1, p_2, p_3 .

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

Metoda počítá hodnotu expozice v trojúhelníku určeném body p_1, p_2, p_3 .

std::vector<Triangle> analyzeDTM(std::vector<Edge> &dt)

Metoda prochází všechny trojúhelníky ze vstupní *DT* a pomocí dvou předchozích metod počítá analýzu sklonu a expozice.

6.2. Třída Draw

void paintEvent

Touto metodou jsou vykresleny body zadané ručně, hrany Delaunay triangulace *DT*, vrstevnice. Taktéž zajišťuje vizualizaci analýz *DTM*.

void mousePressEvent

Po kliknutí jsou pro místo kurzoru zjištěny souřadnice X, Y , souřadnice Z je náhodně vygenerována.

void loadFile

Slouží k importu vstupních dat.

6.3. Edge

Třída *Edge* definuje konstrukci hrany ze dvou 3D bodů (počátek a konec hrany). Třída slouží k ukládání hran triangulace či vrstevnic.

void setStart(QPoint3D &s_)

Nastaví počáteční bod hrany.

void setEnd(QPoint3D &e_)

Nastaví koncový bod hrany.

QPoint3D & getStart()

Vrátí počáteční bod hrany.

QPoint3D & getEnd()

Vrátí koncový bod hrany.

void changeOrientation()

Změní orientaci hrany.

6.4. QPoint3D

QPoint3D(double x, double y, double z_)

Třída rozšiřuje třídu QPointF, od které je odvozena, o ukládání souřadnice Z.

double setZ(double z_)

Nastaví výšku bodu.

double getZ()

Vrátí výšku bodu.

6.5. Traingle

Triangle(QPoint3D p1_, QPoint3D p2_, QPoint3D p3_, double slope_, double aspect_)

Slouží k uložení trojúhelníku definovaného třemi body a informací o jeho sklonu a expozici.

QPoint3D getP1()

Vrátí první bod trojúhelníku.

QPoint3D getP2()

Vrátí druhý bod trojúhelníku.

QPoint3D getP3()

Vrátí třetí bod trojúhelníku.

double getSlope()

Vrátí sklon trojúhelníku.

double getAspect()

Vrátí expozici trojúhelníku.

void setP1(QPoint3D &p1_)

Nastaví první bod trojúhelníku.

void setP2(QPoint3D &p2_)

Nastaví druhý bod trojúhelníku.

void setP3(QPoint3D &p3_)

Nastaví třetí bod trojúhelníku.

void setSlope(double &slope_)

Nastaví sklon trojúhelníku.

void setAspect(double &aspect_)

Nastaví expozici trojúhelníku.

6.6. SortByX

Setřídí vstupní body podle souřadnice X.

6.7. Widget

Void on_pushButton_clicked ()

Po kliknutí umožní najít cestu souboru určenému k importu.

Void on_pushButton_2_clicked ()

Po kliknutí spustí výpočet a vizualizaci Delaunay triangulace.

Void on_pushButton_7_clicked ()

Po kliknutí spustí výpočet a vizualizaci vrstevnic v zadaném intervalu a v zadaných mezích.

Void on_pushButton_3_clicked ()

Po kliknutí spustí výpočet a vizualizaci sklonu terénu.

Void on_pushButton_4_clicked ()

Po kliknutí spustí výpočet a vizualizaci expozice terénu.

Void on_pushButton_11_clicked ()

Po kliknutí smaže všechny vykreslené nebo načtené body.

Void on_pushButton_12_clicked ()

Po kliknutí smaže vykreslenou triangulaci.

void on_lineEdit_editingFinished()

Zajistí převod vložených hodnot do formátu double.

7. Závěr

Byla vytvořena grafická aplikace, ve které byla naprogramována Delaunay triangulace pomocí inkrementální konstrukce. Nad touto triangulací dále vykreslí polyedrický model terénu, nabízí tvorbu vrstevnic v zadaném kroku a rozpětí výšek, a nakonec lze vizualizovat analýzu sklonu či expozice. Vstupem do aplikace jsou strukturalizované souřadnice bodů v textovém souboru. Program má svoje mouchy, které byly poodhaleny v rámci páté kapitoly, ale základ obstojí dobře. Jak již bylo zmíněno, období vánočního shonu se promítlo v absenci bonusových úloh.