ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ, OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

KATEDRA GEOMATIKY

Název předmětu:					
Algoritmy digitální kartografie a GIS					
Úloha:	**Název úlohy:**				
U3	Digitální model terénu a jeho analýzy				
Akademický rok:	**Semestr:**	**Studijní skupina:**	**Vypracoval:**	**Datum:**	**Klasifikace:**
2024/2025	letní	101C	Michal Kovář Filip Roučka	12. 5. 2025	

1 Zadání

Zadáním této úlohy bylo metodou inkrementální konstrukce vytvořit digitální model terénu (DMT) nad množinou 3D bodů pomocí 2D Delaunay triangulace. Výstupem je polyedrický DMT reprezentovaný vrstevnicemi, doplněný o vizualizaci sklonu trojúhelníků a jejich expozice.

- **Vstup:** Množina bodů $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$, kde každý bod p_i je reprezentován třemi souřadnicemi $p_i = (x_i, y_i, z_i)$, kde x_i a y_i jsou prostorové souřadnice bodu v rovině a z_i je výška nad referenčním bodem.
- **Výstup:** Polyedrický digitální model terénu (DMT), reprezentovaný triangulacemi a vrstevnicemi, spolu s vizualizacemi sklonu a expozice terénu.
- Delaunay triangulace, polyedrický model terénu.
- Konstrukce vrstevnic, analýza sklonu a expozice.

2 Bonus

- *Automatický popis vrstevnic.*
- *Automatický popis vrstevnic respektující kartografické zásady.*
- *Algoritmus pro automatické generování terénních tvarů.*
- *3D vizualizace terénu s využitím promítání.*

3 Popis problému

Cílem úlohy je vytvořit digitální model terénu (DMT) nad množinou 3D bodů, kde výstupem bude polyedrický DMT reprezentovaný vrstevnicemi doplněný o vizualizace sklonu trojúhelníků a jejich expozice. Tento model bude vytvořen metodou inkrementální konstrukce pomocí 2D Delaunay triangulace. Součástí úkolu je také analýza terénu s využitím lineární interpolace pro generování vrstevnic, analýza sklonu a expozice jednotlivých trojúhelníků a jejich vizualizace.

3.1 Formulace problému

Dáno:

- Množina $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$ bodů, kde každý bod $p_i = (x_i, y_i, z_i)$ je definován prostorovými souřadnicemi x_i, y_i a výškou z_i.

Určováno:

- Polyedrický digitální model terénu (DMT) nad množinou bodů P, reprezentovaný triangulacemi a vrstevnicemi, spolu s vizualizacemi sklonu a expozice terénu.

3.2 Techniky řešení problému

- **2D Delaunay triangulace:** Hlavní metodou pro konstrukci digitálního modelu terénu je vytvoření 2D Delaunay triangulace nad množinou bodů. Tento algoritmus umožňuje získat triangulaci, která minimalizuje úhly mezi trojúhelníky a zabraňuje vytvoření ostrých úhlů, což je klíčové pro správnou reprezentaci terénu[1].
- **Generování vrstevnic:** Na základě triangulace se generují vrstevnice pomocí lineární interpolace. Tyto vrstevnice jsou zobrazeny v daném intervalu s příslušným krokem a zvýrazněním hlavních vrstevnic pro lepší čitelnost a analýzu terénu.
- **Analýza sklonu:** Po vytvoření triangulace se analyzuje sklon jednotlivých trojúhelníků. K tomu se používají geometrické vlastnosti trojúhelníků, jako je úhel mezi roviny a horizontem, což umožňuje určit sklon terénu v každé oblasti.

- **Analýza expozice:** Expozice terénu je určena na základě orientace trojúhelníků vůči světovým stranám. Tato analýza pomáhá identifikovat orientace svahů a zjistit, které oblasti terénu jsou více vystaveny slunečnímu záření, což má významné ekologické a klimatické důsledky.
- **Triangulace nekonvexní oblasti zadané polygonem:** Pokud jsou některé části terénu definovány nekonvexními oblastmi, je nutné aplikovat algoritmus pro triangulaci těchto oblastí, aby byl model terénu správně reprezentován i v složitějších geografických formacích.
- **Vizualizace terénu:** Terén bude vizualizován v 3D s využitím promítání a barevné hypsometrie, která zobrazuje výškové rozdíly pomocí barevného spektra. Dále budou použity barevné stupnice pro vizualizaci sklonu a expozice, což umožní intuitivní pochopení terénních tvarů.

4 Popis algoritmů

4.1 2D Delaunay triangulace

Delaunayho triangulace je algoritmus používaný k vytvoření trojúhelníkové sítě (triangulace) z množiny bodů v rovině tak, aby žádný bod neležel uvnitř kružnice opsané žádnému z trojúhelníků. Výsledná triangulace má vlastnost, že maximalizuje minimální úhel všech trojúhelníků, čímž se minimalizuje výskyt trojúhelníků s ostrými úhly.

Nejprve je nalezen bod p_1 který má minimální x souřadnici:

$$p_1 = \min(x_i) \tag{1}$$

Následně je vybrán bod p_2 který se nachází nejblíže bodu p_2:

$$p_2 = \min(s_{p_1,p_2}) \tag{2}$$

Následně byla vytvořena hrana e_1, která je tvořena body p_1, p_2 a hrana e_2 kterou tvoří stejné body, ale s opačnou orientací tudíž p_2, p_1 Hrany jsou přidány do pomocné konstrukce AEL

$$AEL.\text{push\_back}(e_1, e_2) \tag{3}$$

Prochází se proměnou AEL dokud není prázdná. Vezme se první hrana a změní se její orientace. Prochází se pouze body, které leží vpravo od hrany. Dále se najde bod, který s počátečním a koncovým bodem hrany svírá největší úhel. Takovému bodu se říká Delauayovský bod:

$$p_d = \max\angle(p_d, p_{\text{end}}, p_d, p_{\text{start}}) \tag{4}$$

Pokud se takový bod najde, všechny hrany jsou přidány do DT:

$$dt.\text{push\_back}(e_1, e_{p_1,d}, e_{p_2,d}) \tag{5}$$

Nakonec je zkontrolováno zda se hrana s opačnou orientací nenachází v AEL. Pokud ano hrana s opačnou orientací je odstraněna z AEL, pokud ne hrana je přidána do AEL

Metoda `DT` – Delaunayova triangulace (inkrementálně)

Vstup: množina bodů P
Výstup: množina hran Delaunayovy triangulace DT
DT $\leftarrow \emptyset$ {výsledná triangulace}
AEL $\leftarrow \emptyset$ {aktivní hrany (Active Edge List)}
$p_1 \leftarrow$ nejlevější bod z P {pivot podle x-ové souřadnice}
$p_2 \leftarrow$ nejbližší bod k p_1 z P
$e_1 \leftarrow (p_1, p_2)$
$e_2 \leftarrow (p_2, p_1)$
přidej e_1, e_2 do AEL
while AEL $\neq \emptyset$ **do**
    $e \leftarrow$ poslední prvek z AEL
    odstraň e z AEL
    $e_s \leftarrow$ změň orientaci hrany e
    $p_d \leftarrow$ findDelaunayPoint(e_s.start, e_s.end, P)
    if $p_d \neq$ `null` **then**
        $e_2s \leftarrow (e_s.\text{end}, p_d)$
        $e_3s \leftarrow (p_d, e_s.\text{start})$
        přidej e_s, e_2s, e_3s do DT
        updateAEL(e_2s, AEL)
        updateAEL(e_3s, AEL)
    end if
end while
return DT

Metoda `getPointAndLinePosition`

Vstup: bod p, počáteční bod p_1, koncový bod p_2
Výstup: pozice bodu p vůči orientované přímce (p_1, p_2)
Návratové hodnoty:

- 1 pokud je bod p vlevo od přímky
- 0 pokud je bod p vpravo od přímky
- -1 pokud leží na přímce

$\varepsilon \leftarrow 10^{-6}$
$u_x \leftarrow p_2.x - p_1.x$
$u_y \leftarrow p_2.y - p_1.y$
$v_x \leftarrow p.x - p_1.x$
$v_y \leftarrow p.y - p_1.y$
$t \leftarrow u_x \cdot v_y - u_y \cdot v_x$ {determinant pro orientaci}
if $t > \varepsilon$ **then**
    return 1
else if $t < -\varepsilon$ **then**
    return 0
else
    return -1
end if

Metoda `get2LinesAngle`

Vstup: body p_1, p_2 definující první přímku a p_3, p_4 definující druhou přímku
Výstup: úhel mezi přímkami v radiánech
$u_x \leftarrow p_2.x - p_1.x$
$u_y \leftarrow p_2.y - p_1.y$
$v_x \leftarrow p_4.x - p_3.x$
$v_y \leftarrow p_4.y - p_3.y$
skalární součin $\leftarrow u_x \cdot v_x + u_y \cdot v_y$
$n_u \leftarrow \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$ {norma vektoru u}
$n_v \leftarrow \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ {norma vektoru v}
return $\arccos\left(\dfrac{\text{skalární součin}}{n_u \cdot n_v}\right)$

Metoda `findDelaunayPoint`

Vstup: body p_1, p_2, množina bodů P
Výstup: index bodu $p_d \in P$, který tvoří největší úhel $\angle p_1 p_d p_2$ a leží vlevo od přímky (p_1, p_2)
$i_{\max} \leftarrow -1$ {žádný bod zatím nebyl nalezen}
$\omega_{\max} \leftarrow 0$
for $i \leftarrow 0$ **to** size$(P) - 1$ **do**
  if `getPointAndLinePosition`$(P[i], p_1, p_2) = 1$ **then**
    $\omega \leftarrow$ `get2LinesAngle`$(P[i], p_1, P[i], p_2)$
    if $\omega > \omega_{\max}$ **then**
      $\omega_{\max} \leftarrow \omega$
      $i_{\max} \leftarrow i$
    end if
  end if
end for
return $i_{\max}$

Metoda `get2DDistance`

Vstup: body p_1, p_2
Výstup: 2D eukleidovská vzdálenost mezi body p_1 a p_2
$dx \leftarrow p_1.x - p_2.x$
$dy \leftarrow p_1.y - p_2.y$
return $\sqrt{dx^2 + dy^2}$

Metoda `findNearestPoint`

Vstup: bod p, množina bodů P
Výstup: index bodu $p_{\min} \in P$, který je nejblíže bodu p
$i_{\min} \leftarrow -1$
$\varepsilon \leftarrow 10^{-16}$ {tolerance pro porovnání}
$d_{\min} \leftarrow 10^{16}$ {počáteční nekonečná vzdálenost}
for $i \leftarrow 0$ **to** size$(P) - 1$ **do**
  if $p \neq P[i]$ **then**
    $d \leftarrow$ `get2DDistance`$(p, P[i])$
    if $d < d_{\min}$ **then**
      $d_{\min} \leftarrow d$
      $i_{\min} \leftarrow i$
    end if
  end if
end for
return $i_{\min}$

Metoda `updateAEL`

Vstup: hrana e, seznam aktivních hran `AEL`
Výstup: aktualizovaný seznam `AEL`
$e_s \leftarrow$ `changeOrientation`(e) {změní orientaci hrany}
$i_e \leftarrow$ index hrany e_s v `AEL` {vyhledání opačné hrany}
if e_s **není nalezena** v `AEL` **then**
  přidej e do `AEL` {hrana je nová, trojúhelník vzniká poprvé}
else
  odstraň e_s z `AEL` {opačná hrana už existuje, trojúhelník je kompletní}
end if

4.2 Tvorba vrstevnic

Je algoritmus, který za použití lineární interpolace vytváří vrstevnice z Delaunayova triangulace.

$$x_a = \frac{x_3 - x_1}{z_3 - z_1}(z - z_1) + x_1;\ y_a = \frac{y_3 - y_1}{z_3 - z_1}(z - z_1) + y_1 \tag{6}$$

Vrstevnice jsou reprezentovány pomocí vektoru hran. Při výpočtu se pracuje na intervalu od z_{min} do z_{max} s krokem δ_z. V prvním kroku se vybere první trojúhelník vytvořený Delaunayovou triangulací:

$$p_1 = dti;\ p_2 = dt_{i+1};\ p_3 = dt_{i+3} \tag{7}$$

Od aktuální hodnoty z jsou odečteny hodnoty jednotlivých bodů:

$$\delta_{z_1} = z - p_{1z};\ \delta_{z_2} = z - p_{2z};\ \delta_{z_3} = z - p_{3z} \tag{8}$$

Před výpočtem souřadnic x a y je nutné ověřit, jak je umístěn trojúhelník v prostoru vůči rovině tvořenou souřadnicí z. Pokud δ_{z_1}, δ_{z_2} a δ_{z_3} jsou všechny rovny nule trojúhelník je koplanární proto ho není potřeba řešit. Pokud dvojice rozdílů je rovna 0, hrana tvoří vrstevnici. V ostatních případech násobky rozdílů:

$$\delta_{z_1}\delta_{z_2};\ \delta_{z_1}\delta_{z_3};\ \delta_{z_2}\delta_{z_3} \tag{9}$$

Pomocí lineární interpolace se vypočítají souřadnice průsečíku pouze v případě, že násobek je < 0. V ostatních případech výpočet nemá smysl.

Metoda `createContourLines`

Vstup: triangulace `dt`, minimální výška $z_{\min}$, maximální výška $z_{\max}$, krok dz
Výstup: seznam vrstevnicových hran `contour_lines`
`contour_lines` $\leftarrow \emptyset$
for $z \leftarrow z_{\min}$ **to** $z_{\max}$ s krokem dz **do**
  for $i \leftarrow 0$ **to** size$(dt) - 1$ po třech **do**
    $p_1 \leftarrow \text{start}(dt[i])$
    $p_2 \leftarrow \text{start}(dt[i+1])$
    $p_3 \leftarrow \text{start}(dt[i+2])$
    $dz_1 \leftarrow z - p_1.z$
    $dz_2 \leftarrow z - p_2.z$
    $dz_3 \leftarrow z - p_3.z$
    if $dz_1 = 0$ **and** $dz_2 = 0$ **then**
      přidej $dt[i]$ do `contour_lines`
      continue
    end if
    if $dz_2 = 0$ **and** $dz_3 = 0$ **then**
      přidej $dt[i+1]$ do `contour_lines`
      continue
    end if
    if $dz_3 = 0$ **and** $dz_1 = 0$ **then**
      přidej $dt[i+2]$ do `contour_lines`
      continue
    end if
    if $dz_1 \cdot dz_2 \leq 0$ **then**
      $a \leftarrow$ `countourLinePoint`(p_1, p_2, z)
      if $dz_2 \cdot dz_3 \leq 0$ **then**
        $b \leftarrow$ `countourLinePoint`(p_2, p_3, z)
        přidej hranu (a, b) do `contour_lines`
      else if $dz_3 \cdot dz_1 \leq 0$ **then**
        $b \leftarrow$ `countourLinePoint`(p_3, p_1, z)
        přidej hranu (a, b) do `contour_lines`
      end if
    else if $dz_2 \cdot dz_3 \leq 0$ **then**
      $a \leftarrow$ `countourLinePoint`(p_2, p_3, z)
      if $dz_3 \cdot dz_1 \leq 0$ **then**
        $b \leftarrow$ `countourLinePoint`(p_3, p_1, z)
        přidej hranu (a, b) do `contour_lines`
      end if
    end if
  end for
end for
return `contour_lines`

Metoda `countourLinePoint`

Vstup: body p_1, p_2, výšková hodnota z
Výstup: bod p na vrstevnici z mezi p_1 a p_2
$x_b \leftarrow \left(\dfrac{p_2.x - p_1.x}{p_2.z - p_1.z}\right) \cdot (z - p_1.z) + p_1.x$
$y_b \leftarrow \left(\dfrac{p_2.y - p_1.y}{p_2.z - p_1.z}\right) \cdot (z - p_1.z) + p_1.y$
return bod (x_b, y_b, z)

4.3 Analýza sklonu

Pro jednotlivé trojúhelníky je vypočítán sklon daného trojúhelníku.

Pokud je vektor trojúhelníků prázdný, nebo byly přidány nové body, je přepočítán vektor trojúhelníků. Z třech bodů trojúhelníku $p_1 = (x_1, y_1, z_1)$, $p_2 = (x_2, y_2, z_2)$ a $p_3 = (x_3, y_3, z_3)$.

$$\vec{u} = (x_3 - x_2,\ y_3 - y_2,\ z_3 - z_2) \tag{10}$$

$$\vec{v} = (x_1 - x_2,\ y_1 - y_2,\ z_1 - z_2) \tag{11}$$

Normálový vektor $\vec{n}$ je určen jako vektorový součin $\vec{u} \times \vec{v}$:

$$n_x = (y_3 - y_2)(z_1 - z_2) - (z_3 - z_2)(y_1 - y_2) \tag{12}$$

$$n_y = -\left[(x_3 - x_2)(z_1 - z_2) - (z_3 - z_2)(x_1 - x_2)\right] \tag{13}$$

$$n_z = (x_3 - x_2)(y_1 - y_2) - (y_3 - y_2)(x_1 - x_2) \tag{14}$$

Velikost normálového vektoru:

$$\|\vec{n}\| = \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2} \tag{15}$$

Sklon trojúhelníka vůči rovině XY (v radiánech):

$$\theta = \arccos\left(\frac{n_z}{\|\vec{n}\|}\right) \tag{16}$$

Pro zobrazení sklonu svahu byla použita barevná stupnice v odstínech šedi. Kdy nejmenší sklon zobrazuje bílá barva a největší sklon černá barva.

Metoda `edgesToTriangle`

Vstup: seznam hran triangulace `dt`
Výstup: seznam trojúhelníků `triangles`
for $i \leftarrow 0$ **to** size(dt) $- 1$ po třech **do**
    $p_1 \leftarrow$ start($dt[i]$)
    $p_2 \leftarrow$ start($dt[i+1]$)
    $p_3 \leftarrow$ start($dt[i+2]$)
    $t \leftarrow$ nový trojúhelník(p_1, p_2, p_3)
    přidej t do `triangles`
end for

Metoda `analyzeSlope`

Vstup: triangulace `dt`, seznam trojúhelníků `triangles`, boolean `click`
Výstup: aktualizovaný seznam `triangles` s hodnotami sklonu
if size($triangles$) $= 0$ **or** click **then**
    edgesToTriangle(dt, triangles)
end if
for $i \leftarrow 0$ **to** size($triangles$) $- 1$ **do**
    $p_1 \leftarrow$ triangles[i].getP1()
    $p_2 \leftarrow$ triangles[i].getP2()
    $p_3 \leftarrow$ triangles[i].getP3()
    $s \leftarrow$ computeSlope(p_1, p_2, p_3)
    triangles[i].setSlope(s)
end for

Metoda `computeSlope`

1: **Vstup:** body p_1, p_2, p_3
2: **Výstup:** sklon trojúhelníku v radiánech
3: $u \leftarrow \vec{p_2 p_3} = (u_x, u_y, u_z) = (p_3.x - p_2.x,\ p_3.y - p_2.y,\ p_3.z - p_2.z)$
4: $v \leftarrow \vec{p_2 p_1} = (v_x, v_y, v_z) = (p_1.x - p_2.x,\ p_1.y - p_2.y,\ p_1.z - p_2.z)$
5: $n_x \leftarrow u_y \cdot v_z - u_z \cdot v_y$
6: $n_y \leftarrow -(u_x \cdot v_z - u_z \cdot v_x)$
7: $n_z \leftarrow u_x \cdot v_y - u_y \cdot v_x$
8: $n \leftarrow \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}$ {velikost normálového vektoru}
9: **return** $\arccos\left(\frac{n_z}{n}\right)$

4.4 Orientace svahu

Pro jednotlivé trojúhelníky je vypočítána orientace daného trojúhelníku.

Pokud je vektor trojúhelníků prázdný, nebo byly přidány nové body, je přepočítán vektor trojúhelníků. Z třech bodů trojúhelníku $p_1 = (x_1, y_1, z_1)$, $p_2 = (x_2, y_2, z_2)$ a $p_3 = (x_3, y_3, z_3)$.

$$\vec{u} = (x_3 - x_2,\ y_3 - y_2,\ z_3 - z_2) \tag{17}$$

$$\vec{v} = (x_1 - x_2,\ y_1 - y_2,\ z_1 - z_2) \tag{18}$$

Normálový vektor $\vec{n}$ je určen jako vektorový součin $\vec{u} \times \vec{v}$:

$$n_x = (y_3 - y_2)(z_1 - z_2) - (z_3 - z_2)(y_1 - y_2) \tag{19}$$

$$n_y = -\left[(x_3 - x_2)(z_1 - z_2) - (z_3 - z_2)(x_1 - x_2)\right] \tag{20}$$

$$n_z = (x_3 - x_2)(y_1 - y_2) - (y_3 - y_2)(x_1 - x_2) \tag{21}$$

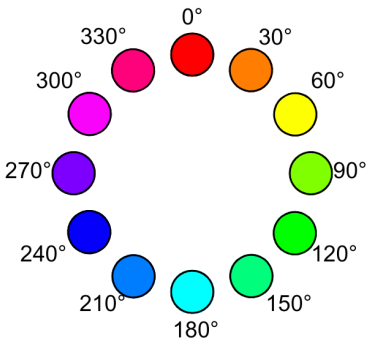
Velikost normálového vektoru:

$$\|\vec{n}\| = \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2} \tag{22}$$

Orientace trojúhelníka vůči rovině XY (v radiánech):

$$\theta = \arctan 2\left(\frac{n_z}{\|\vec{n}\|}\right) \tag{23}$$

Pro zobrazení orientace trojúhelníku byla využita tato barevná stupnice:



Obrázek 1: Barevná stupnice

Metoda `analyzeAspect`

Vstup: triangulace `dt`, seznam trojúhelníků `triangles`, boolean `click`
Výstup: aktualizovaný seznam `triangles` s hodnotami orientace
if size($triangles$) = 0 **or** click **then**
    edgesToTriangle(dt, triangles)
end if
for $i \leftarrow 0$ **to** size($triangles$) $- 1$ **do**
    $p_1 \leftarrow$ triangles[i].getP1()
    $p_2 \leftarrow$ triangles[i].getP2()
    $p_3 \leftarrow$ triangles[i].getP3()
    $a \leftarrow$ computeAspect(p_1, p_2, p_3)
    triangles[i].setAspect(a)
end for

Metoda `computeAspect`

Vstup: body p_1, p_2, p_3
Výstup: Orientace trojúhelníku v radiánech
$u \leftarrow p_2\vec{p}_3 = (u_x, u_y, u_z) = (p_3.x - p_2.x,\ p_3.y - p_2.y,\ p_3.z - p_2.z)$
$v \leftarrow p_2\vec{p}_1 = (v_x, v_y, v_z) = (p_1.x - p_2.x,\ p_1.y - p_2.y,\ p_1.z - p_2.z)$
$n_x \leftarrow u_y \cdot v_z - u_z \cdot v_y$
$n_y \leftarrow -(u_x \cdot v_z - u_z \cdot v_x)$
$n_z \leftarrow u_x \cdot v_y - u_y \cdot v_x$
$n \leftarrow \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}$ {velikost normálového vektoru}
return $\arctan 2\left(\frac{n_z}{n}\right)$

4.5 Generování umělých útvarů

Pro účely testování algoritmů byly v aplikaci implementovány funkce pro generování umělých terénních útvarů. Všechny útvary jsou generovány jako množiny náhodně rozložených bodů s výškou vypočtenou podle geometrické funkce. Cílem je generovat modelové situace, na kterých je možné sledovat chování algoritmů pro triangulaci, tvorbu vrstevnic, sklon a expozici.

4.5.1 Kupa

Kupa je generována jako eliptický paraboloid, kde výška je největší ve středu a klesá směrem ke krajům:

$$z = \text{maxZ} \cdot \left(1 - \left(\frac{x - cx}{rx}\right)^2 - \left(\frac{y - cy}{ry}\right)^2\right)$$

Pokud je výška $z < 0$, nastaví se na nulu. Výsledkem je hladký kopec soustředěný okolo bodu (cx, cy) s poloměry rx, ry.

4.5.2 Údolí

Údolí je inverzní verzí kopce. Výška roste směrem od středu:

$$z = \text{depth} \cdot \left(\left(\frac{x - cx}{rx}\right)^2 + \left(\frac{y - cy}{ry}\right)^2\right)$$

4.5.3 Hřbet

Tvar hřbetu je určen přímkou mezi dvěma body (x_1, y_1) a (x_2, y_2). Výška bodu klesá lineárně s jeho kolmou vzdáleností od této osy:

$$z = \text{maxZ} - d$$

kde d je kolmá vzdálenost bodu (x, y) od přímky spojující dva body (x_1, y_1) a (x_2, y_2). Tato vzdálenost se počítá jako:

$$d = \frac{|(y_2 - y_1)x - (x_2 - x_1)y + x_2y_1 - y_2x_1|}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$

4.5.4 Spočinek

Spočinek je modelován jako skok ve výšce v určitém rozsahu souřadnice x. Všechny body mají výšku 1000, ale pokud x leží v intervalu (stepStartX, stepEndX), výška se sníží o hodnotu *depthZ*:

$$z = \begin{cases} 1000 - \text{depthZ} & \text{pokud } x \in (\text{stepStartX}, \text{stepEndX}) \\ 1000 & \text{jinak} \end{cases}$$

Tím vzniká ostrý zlom v terénu.

4.5.5 Sedlo

Sedlo je generováno jako hyperbolický paraboloid:

$$z = 500 + 10 \cdot \left(\left(\frac{x - cx}{scaleX} \right)^2 - \left(\frac{y - cy}{scaleY} \right)^2 \right)$$

Výsledkem jsou dva protilehlé svahy. Jeden klesající a druhý stoupající se středem v bodě (cx, cy).

5 Problematické situace

5.1 Transformace souřadnic bodů ze souboru

Při načítání souřadnicových dat ze souborů (např. `.txt` nebo `.xyz`) do aplikace je nutné body transformovat tak, aby odpovídaly souřadnicovému systému vykreslovacího okna. Data obvykle pocházejí z reálného terénu a mají velké absolutní hodnoty souřadnic. Tyto hodnoty je třeba převést (škálovat) na oblast viditelnou v aplikaci.

- **Načtení bodů ze souboru**
  Načítají se trojice souřadnic (x, y, z), přičemž aplikace podporuje formát oddělený čárkou, mezerou nebo jejich kombinací. Před načtením se vymažou předchozí body.

- **Zjištění rozsahu hodnot (bounding box)**
  Během načítání jsou pro každý bod určeny minimální a maximální hodnoty souřadnic x, y a z, které později slouží k výpočtu měřítka.

- **Zjištění rozměrů vykreslovacího okna**
  Pomocí funkcí `width()` a `height()` jsou získány rozměry okna aplikace, do kterého se mají data zobrazit.

- **Výpočet měřítka**
  Souřadnice bodů se transformují pomocí škálování. Měřítko se počítá zvlášť pro osu x a y:

$$\text{scaleX} = \frac{\text{windowWidth}}{\text{maxX} - \text{minX}}, \quad \text{scaleY} = \frac{\text{windowHeight}}{\text{maxY} - \text{minY}} \tag{24}$$

- **Výpočet posunu (offsetu)**
  Aby byly body zarovnány k okraji okna, použije se posun:

$$\text{offsetX} = -\text{minX}, \quad \text{offsetY} = -\text{minY} \tag{25}$$

- **Transformace souřadnic bodů**
  Každému bodu je následně vypočítána nová souřadnice takto:

$$\text{transformedX} = (x + \text{offsetX}) \cdot \text{scaleX} \tag{26}$$

$$\text{transformedY} = (y + \text{offsetY}) \cdot \text{scaleY} \tag{27}$$

- **Uložení bodů a překreslení**
  Po transformaci jsou nové souřadnice uloženy do vektoru a aplikace je překreslena funkcí `repaint()`.

6 Vstupní data

Vstupní data pro tvorbu digitálního modelu terénu mohou být do aplikace zadána několika způsoby, což umožňuje flexibilní testování i realistické modelování různých terénních situací:

- **Ručně uživatelem** – body lze vkládat interaktivně kliknutím do grafického rozhraní. Souřadnice x a y odpovídají poloze kurzoru, výška z je generována náhodně.
- **Generování syntetických dat** – aplikace umožňuje automaticky vygenerovat reprezentativní morfologické tvary terénu:
  - *Kupa*
  - *Údolí*
  - *Hřbet*
  - *Spočinek*
  - *Sedlo*
- **Načtení ze souboru** – aplikace podporuje import bodových dat ze souborů ve formátu `.txt` nebo `.xyz`. Každý řádek obsahuje trojici hodnot: x, y, z, přičemž hodnoty mohou být odděleny mezerou nebo čárkou. Jako oddělovač desetinných míst se používá tečka. Ukázka vstupního souboru:

  ```
  120.0,280.0,320.0
  160.0,670.0,370.0
  260.0,310.0,410.0
  ...
  ```

  Vzorková data použitá v této úloze pocházejí z digitálního modelu reliéfu České republiky – DMR 5G. Zdroj: **Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK)** – dostupné online na: Zdroj dat: Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK) [2].

7 Výstupní data

Výsledky jsou prezentovány formou interaktivní vizualizace přímo v aplikaci. Uživatel má možnost zobrazit vstupní body, Delaunay triangulaci, vrstevnice, sklony a orientace trojúhelníků. Jednotlivé složky lze podle potřeby zapínat nebo vypínat přímo v grafickém rozhraní. Vrstevnice jsou generovány s možností nastavení intervalu `dz`, hlavní vrstevnice jsou automaticky popisovány v souladu s kartografickými zásadami. Aplikace neumožňuje export výsledků (např. do souboru), slouží primárně k vizuální a analytické interpretaci vstupních dat a jejich geometrické struktury. Výsledky jsou tedy určeny pouze pro prohlížení v rámci samotné aplikace.

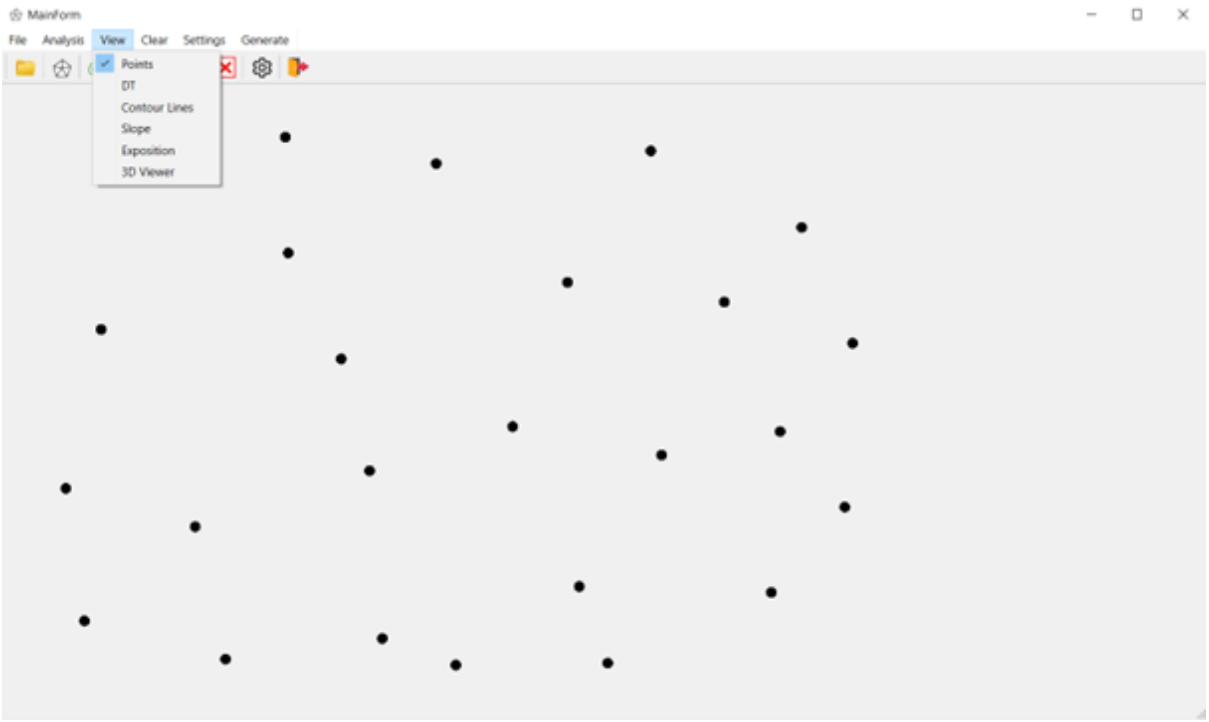
Analytické možnosti vizualizace

Součástí vizualizace je i možnost analyzovat jednotlivé aspekty digitálního modelu terénu:

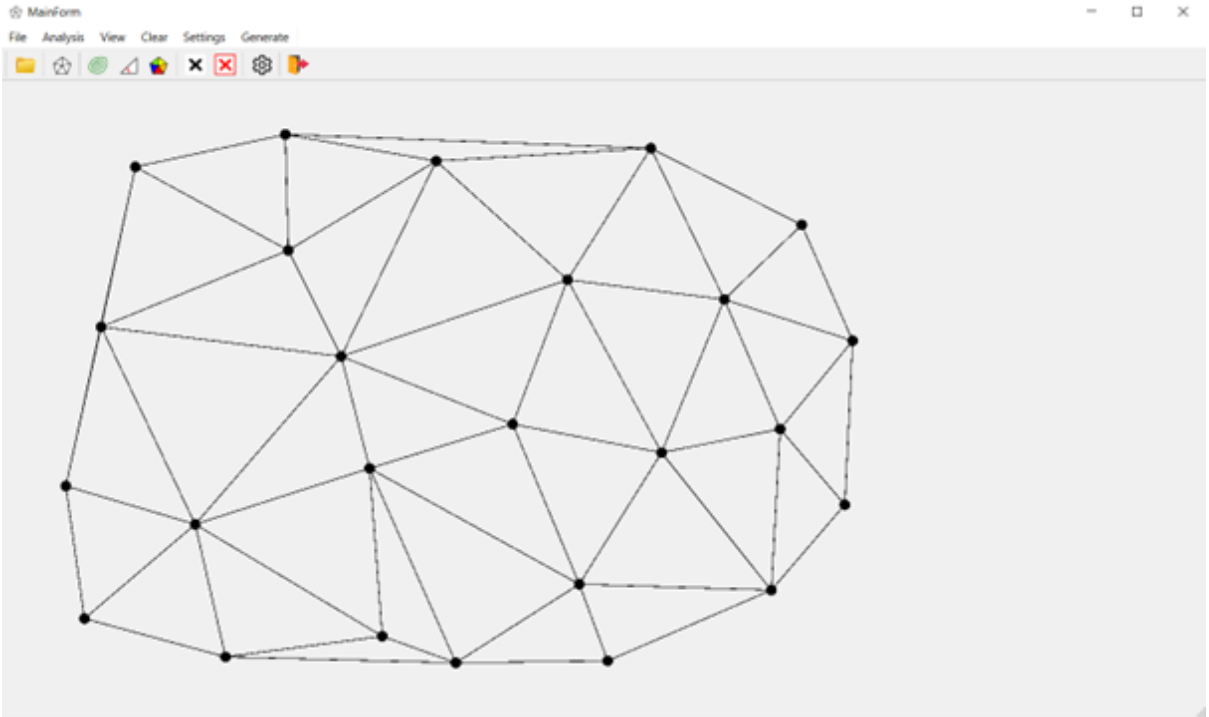
- **Vrstevnice** – generovány lineární interpolací podle zadaného kroku a rozsahu, s podporou hlavních vrstevnic a jejich popisu.
- **Sklon** – zobrazen pomocí stupnice odstínů šedi, kde tmavší barva značí strmější svah.
- **Expozice (aspekt)** – vyjádřena barevnou orientací trojúhelníků podle směru jejich normály ke světovým stranám.
- **3D vizualizace** – zjednodušená ortogonální projekce, kterou lze interaktivně rotovat a přibližovat.

8 Výsledná aplikace

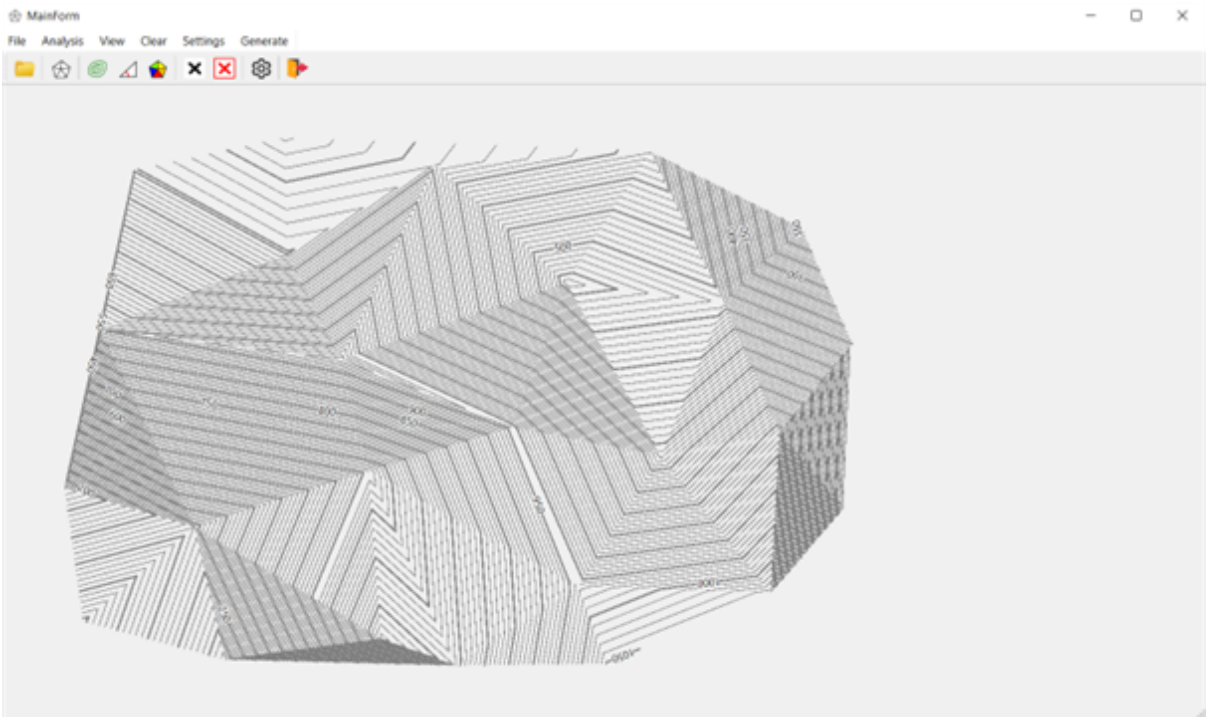
Následující obrázky ukazují jednotlivé části a funkce výsledné aplikace, která slouží k tvorbě digitálního modelu terénu pomocí Delaunay triangulace, generování vrstevnic, výpočtu sklonu a expozice a základní 3D vizualizaci. Aplikace umožňuje načíst vlastní data nebo generovat syntetické tvary terénu.



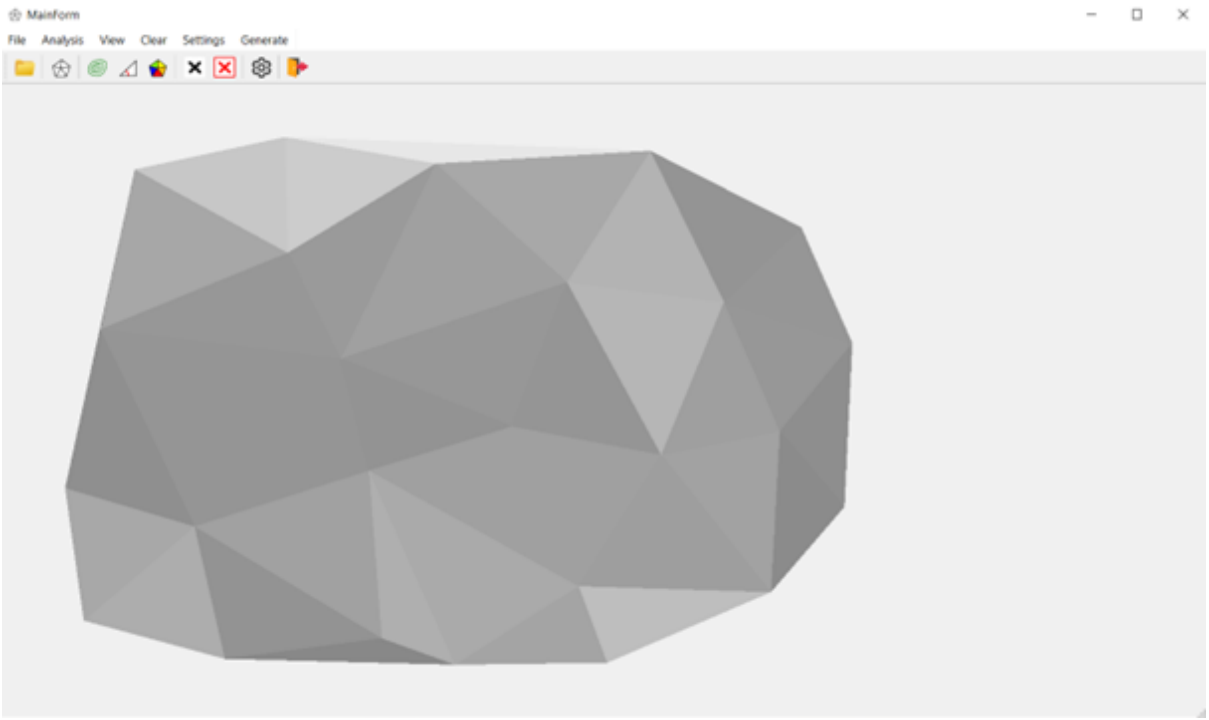
Obrázek 2: Hlavní okno aplikace s ovládacími prvky



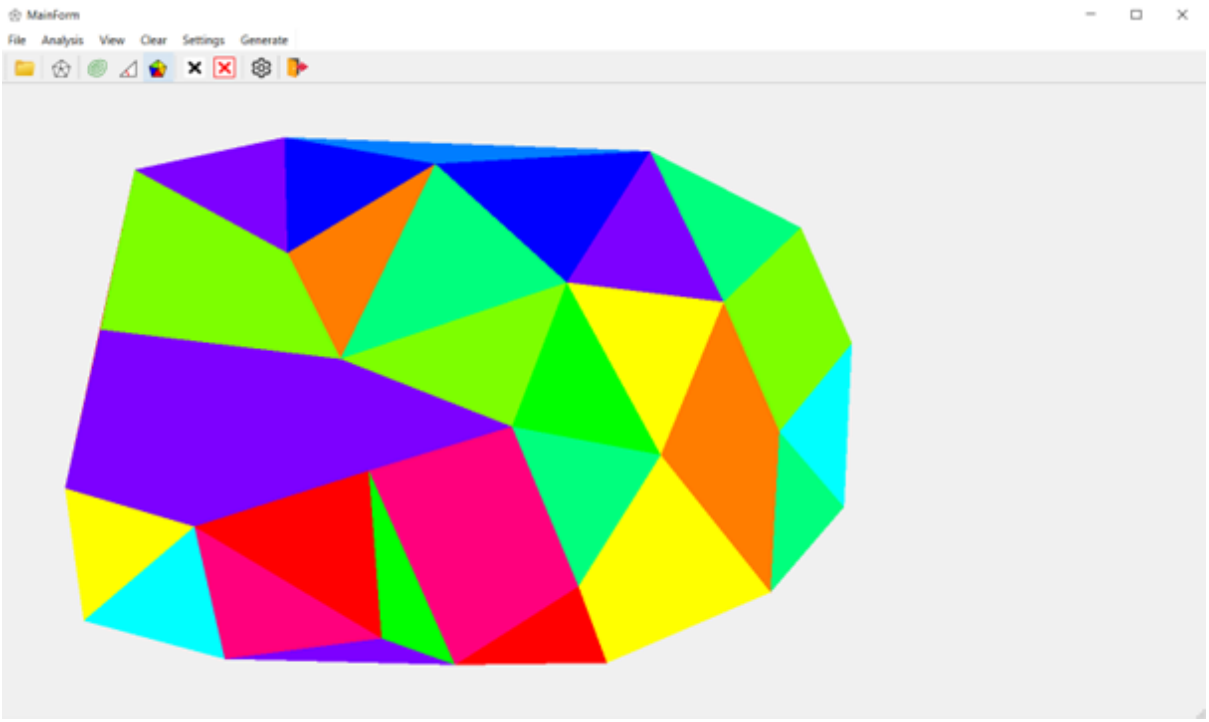
Obrázek 3: Vytvořená Delaunay triangulace (TIN) ze zadaných bodů



Obrázek 4: Vizualizace vrstevnic vytvořených lineární interpolací



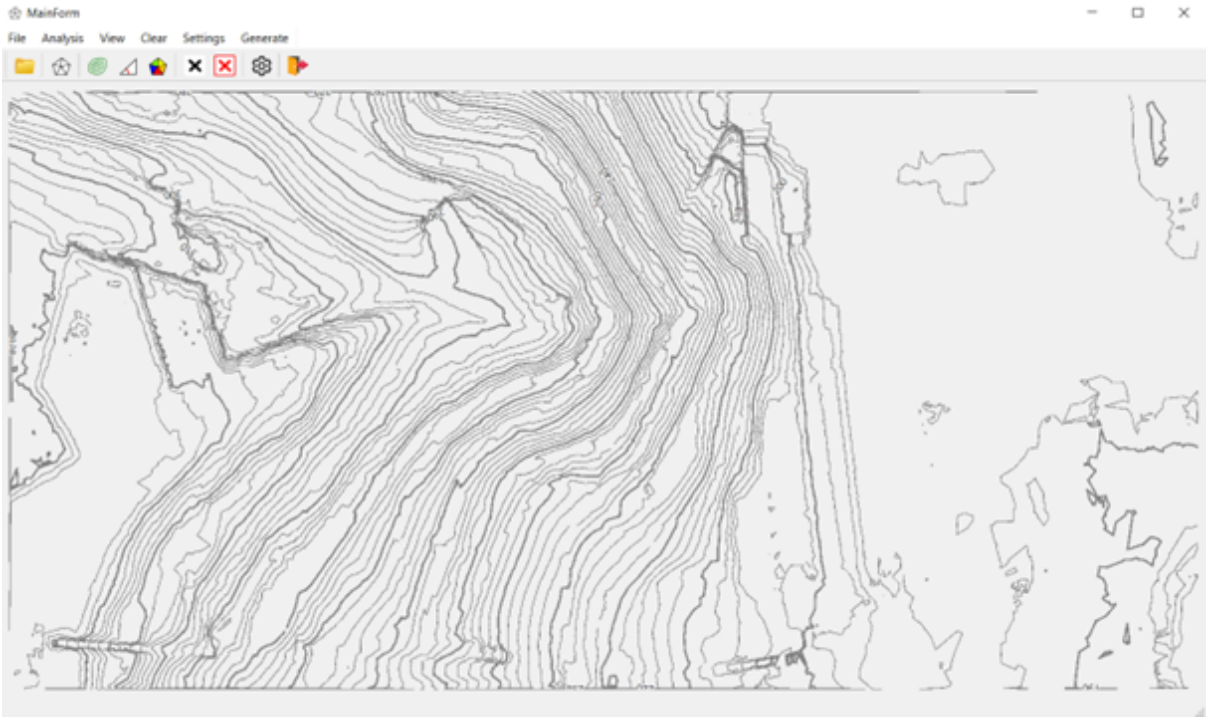
Obrázek 5: Barevná vizualizace sklonu (slope) jednotlivých trojúhelníků



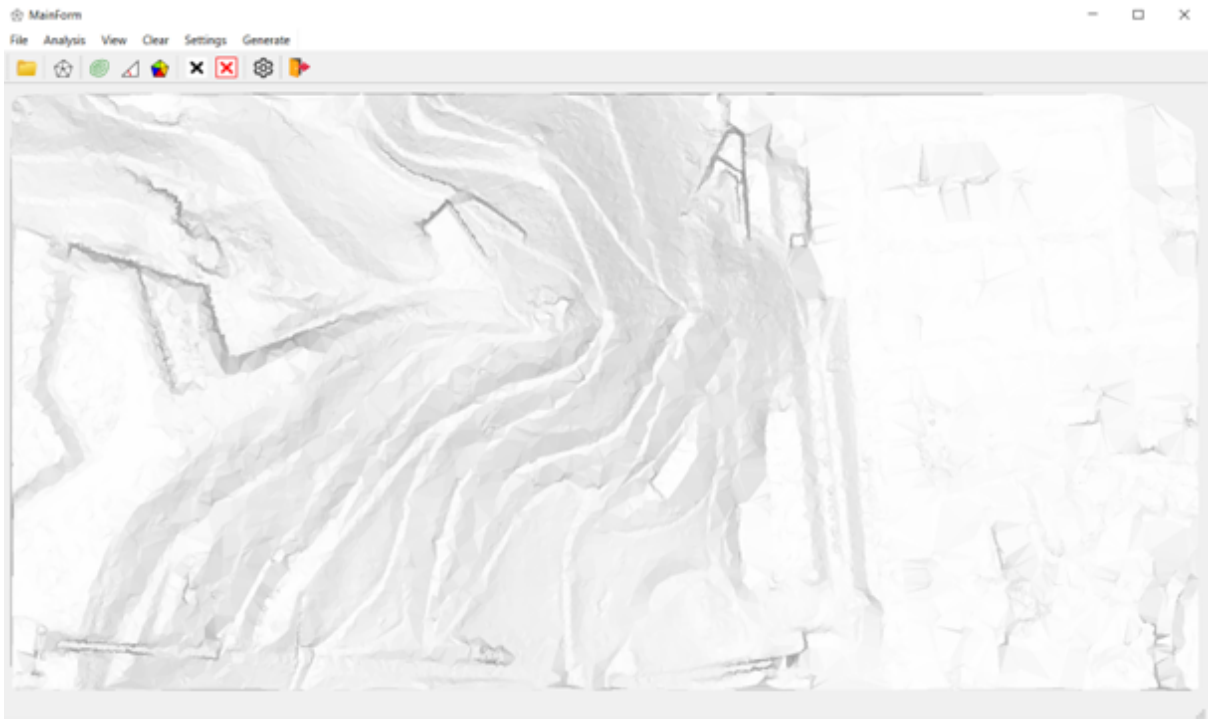
Obrázek 6: Barevná vizualizace expozice (aspekt) jednotlivých trojúhelníků

Obrázek 7: Načtení reálných dat – okolí Petřína (data z DMR 5G)

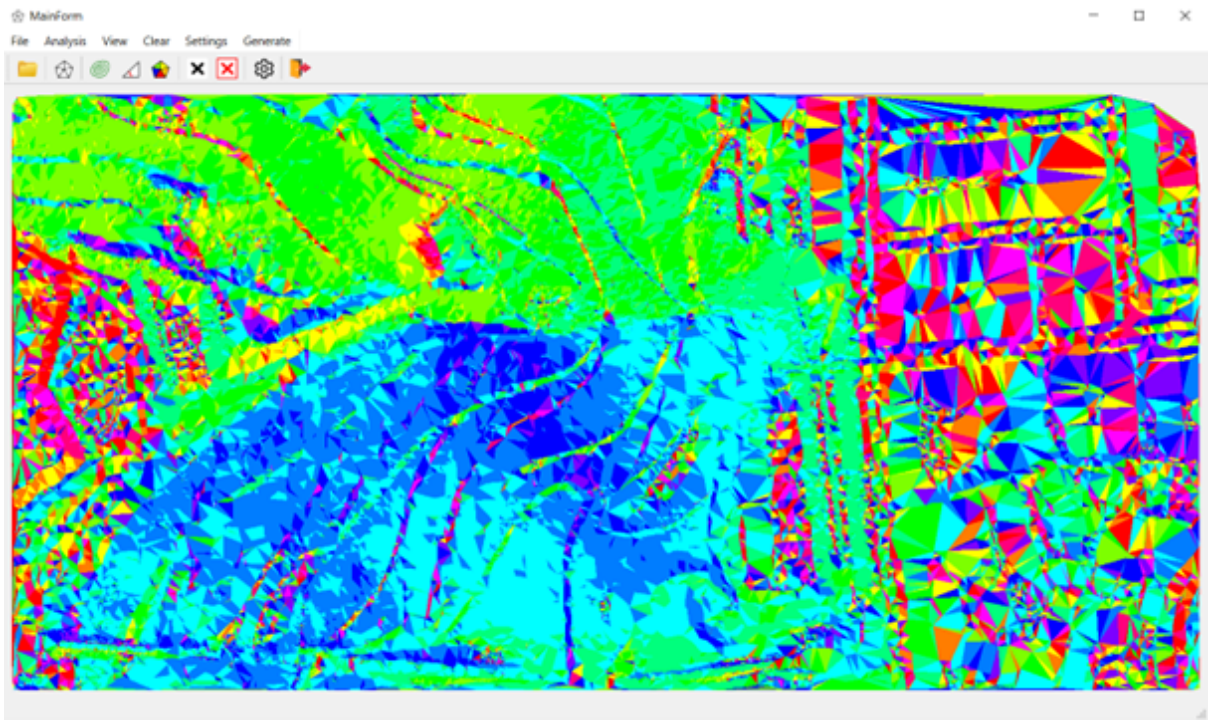
Obrázek 8: Delaunayova triangulace – okolí Petřína (data z DMR 5G)



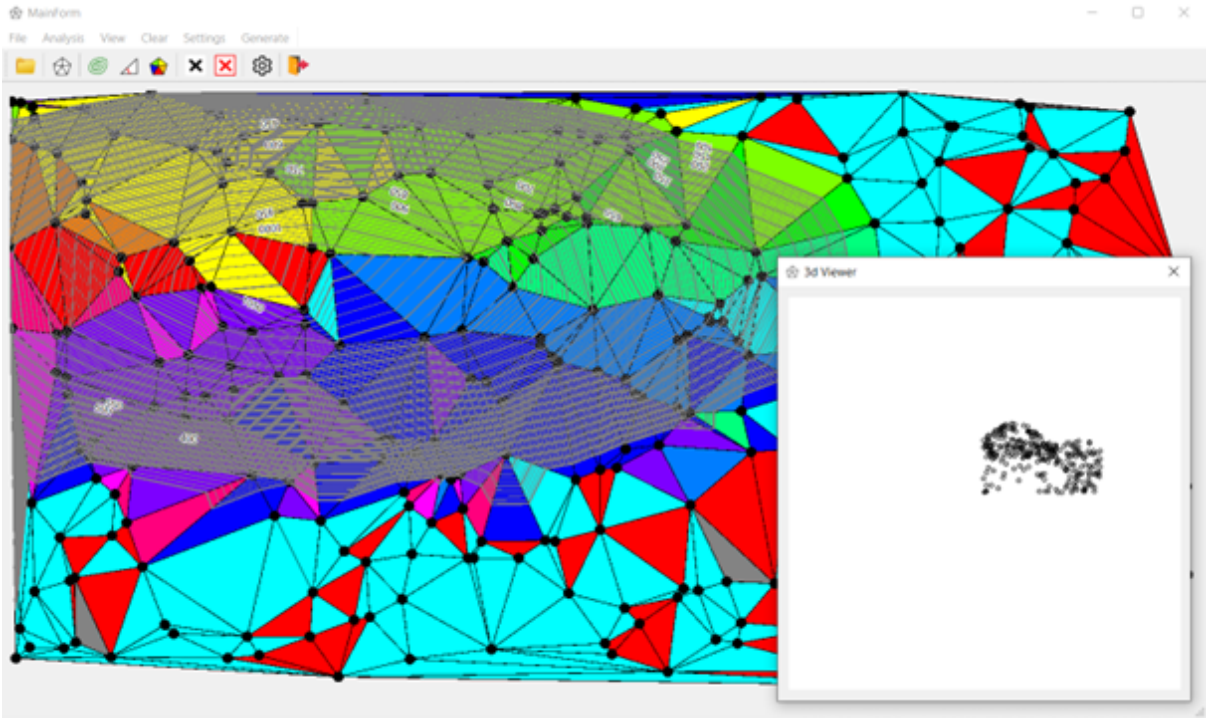
Obrázek 9: Vrstevnice – okolí Petřína (data z DMR 5G)



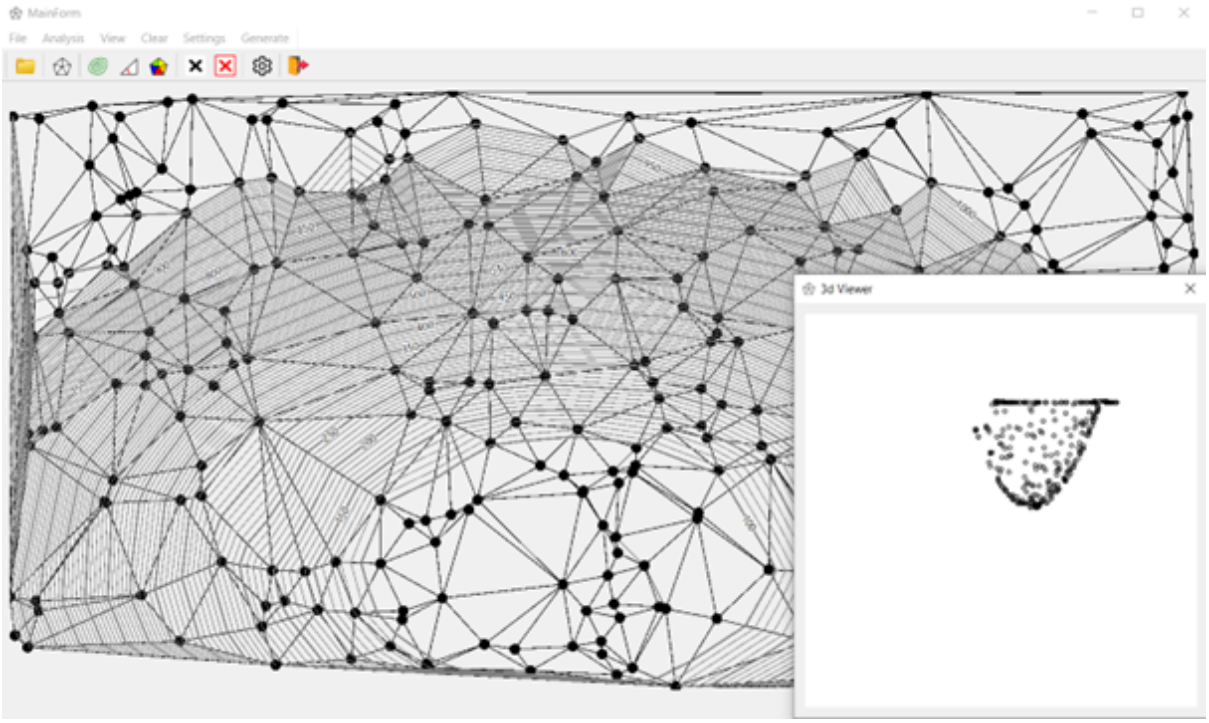
Obrázek 10: Sklon (slope) – okolí Petřína (data z DMR 5G)



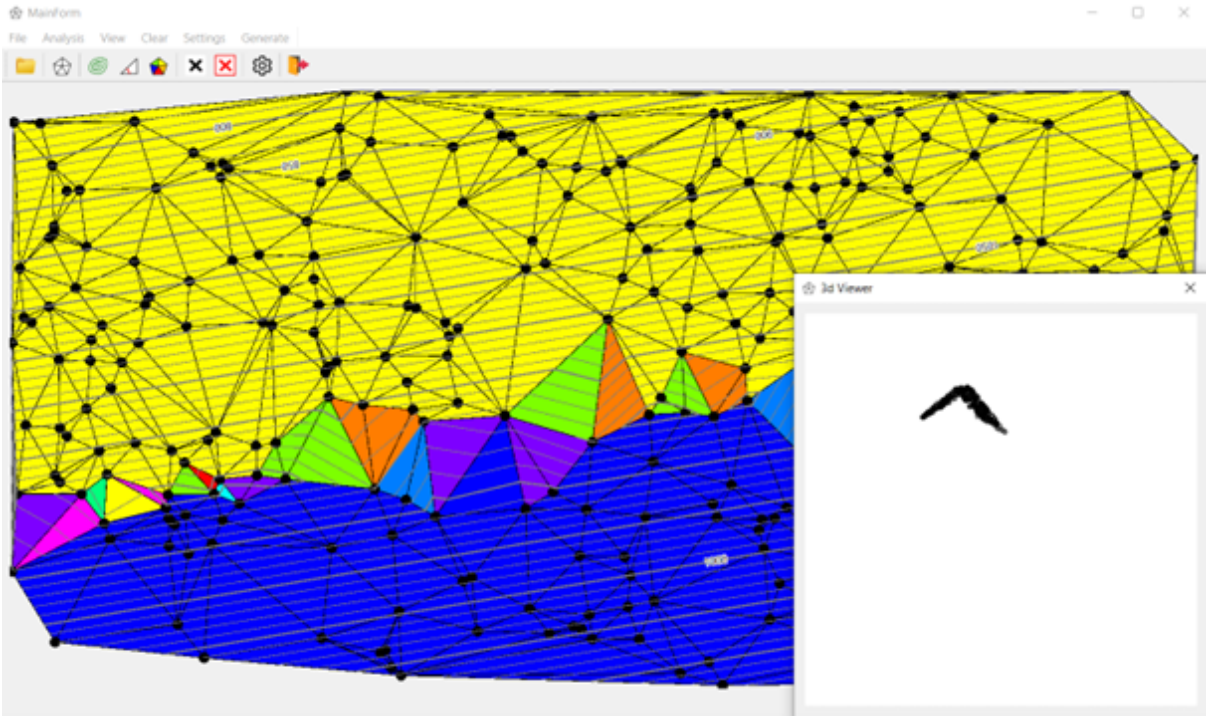
Obrázek 11: Expozice (aspect) – okolí Petřína (data z DMR 5G)



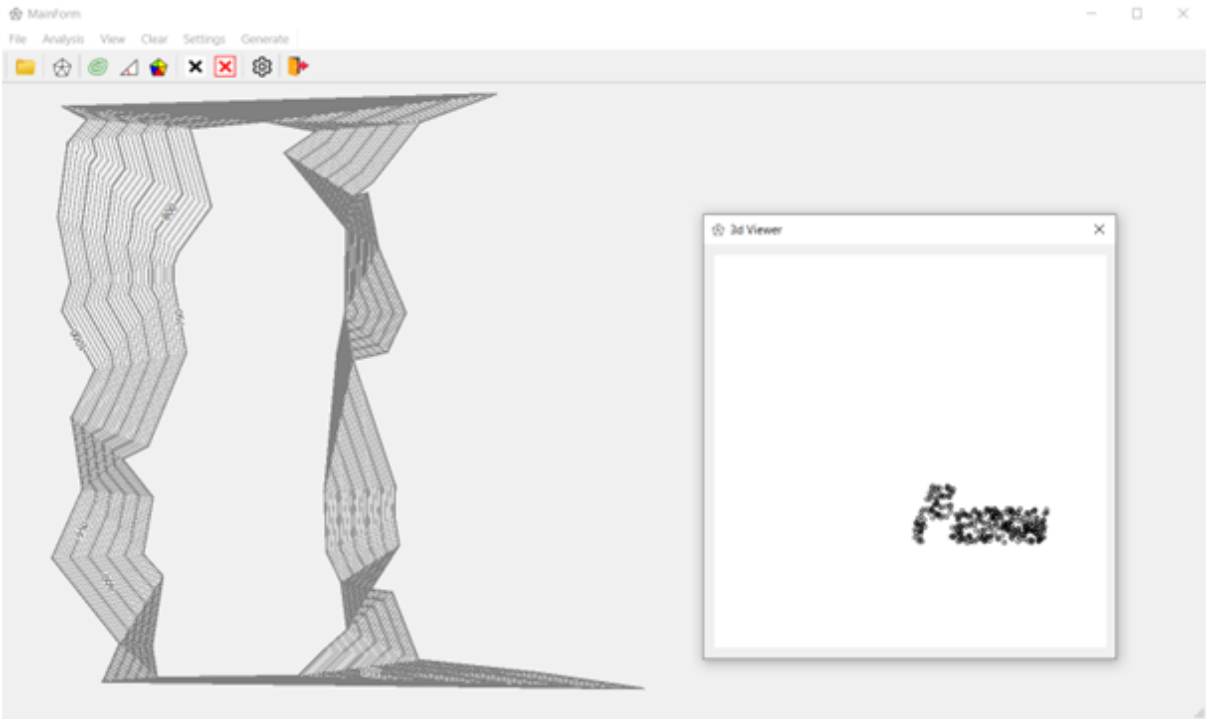
Obrázek 12: Ukázka uměle vygenerované kupy



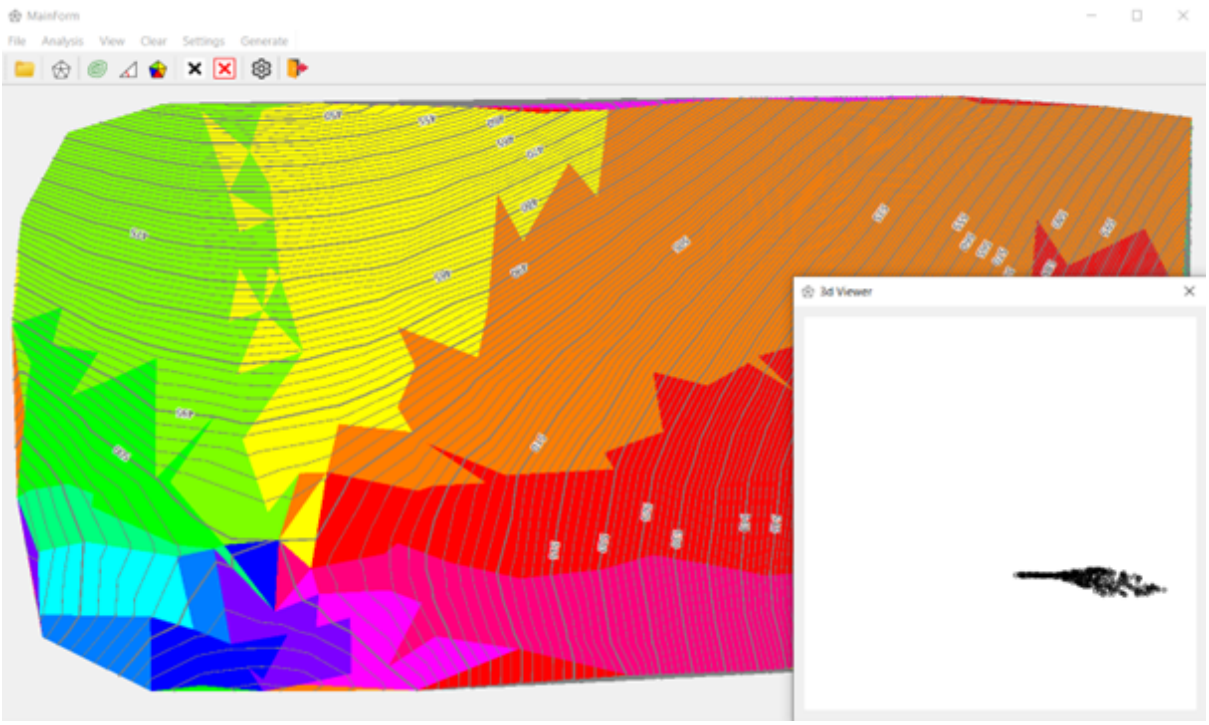
Obrázek 13: Ukázka uměle vygenerovaného údolí



Obrázek 14: Ukázka uměle vygenerovaného hřbetu



Obrázek 15: Ukázka uměle vygenerovaného spočinku



Obrázek 16: Ukázka uměle vygenerovaného sedla

9 Dokumentace

9.1 Použité knihovny

Kód využívá následující knihovny:

- `Qt` – Knihovna která slouží jak pro tvorbu grafického rozhraní, tak pro vlastní vizualizaci dat. Využívány jsou zejména třídy pro 2D grafiku (`QPainter`, `QPointF`, `QPolygonF`), správu událostí a widgetů (`QWidget`, `QDialog`, `QMouseEvent`) a základní kontejnery a typy (`QVector`, `QString`).

9.2 Třída Algorithms

Třída metody pro vytvoření 2D Delaunay triangulace, výpočet vrstevnic, analýzu sklonu a orientace trojúhelníků a generování syntetických terénních tvarů (např. kupa, údolí, hřbet, spočinek, sedlo).

Veřejné metody:

- `short getPointAndLinePosition(const QPoint3DF &p, const QPoint3DF &p1, const QPoint3DF &p2)` – Určuje polohu bodu vůči přímce ve 3D prostoru.
- `double get2LinesAngle(const QPoint3DF &p1, const QPoint3DF &p2, const QPoint3DF &p3, const QPoint3DF &p4)` – Vypočítá úhel mezi dvěma přímkami definovanými dvojicemi bodů.
- `int findDelaunayPoint(const QPoint3DF &p1, const QPoint3DF &p2, const std::vector<QPoint3DF> &points)` – Vrací index bodu, který tvoří s danou hranou Delaunay trojúhelník.
- `int findNearestPoint(const QPoint3DF &p, const std::vector<QPoint3DF> &points)` – Najde nejbližší bod k zadanému bodu ze seznamu bodů.
- `double get2DDistance(const QPoint3DF &p1, const QPoint3DF &p2)` – Vypočítá vzdálenost mezi dvěma body v rovině XY.
- `std::vector<Edge> DT(const std::vector<QPoint3DF> &points)` – Vytvoří Delaunay triangulaci ze vstupních bodů.
- `void updateAEL(const Edge &e, std::list<Edge> &ael)` – Aktualizuje aktivní seznam hran při triangulaci.

- `QPoint3DF countourLinePoint(const QPoint3DF &p1, const QPoint3DF &p2, double z)` – Vypočítá průsečík vrstevnice se zadanou hranou.
- `std::vector<Edge> createContourLines(const std::vector<Edge> &dt, const double zmin, const double zmax, const double dz)` – Generuje vrstevnice z Delaunay triangulace pro daný výškový rozsah a interval.
- `double computeSlope(const QPoint3DF &p1, const QPoint3DF &p2, const QPoint3DF &p3)` – Spočítá sklon trojúhelníka definovaného třemi body.
- `void analyzeSlope(const std::vector<Edge> &dt, std::vector<Triangle> &triangles, const bool &click)` – Analyzuje sklony trojúhelníků na základě triangulace.
- `double computeAspect(const QPoint3DF &p1, const QPoint3DF &p2, const QPoint3DF &p3)` – Vypočítá orientaci trojúhelníku.
- `void analyzeAspect(const std::vector<Edge> &dt, std::vector<Triangle> &triangles, const bool &click)` – Analyzuje orientaci trojúhelníků na základě triangulace.
- `void edgesToTriangle(const std::vector<Edge> &dt, std::vector<Triangle> &triangles)` – Převádí hrany triangulace na trojúhelníky.
- `static std::vector<QPoint3DF> generateHill(int n, int width, int height, int cx, int cy, int rx, int ry, int maxZ)` – Vygeneruje soubor bodů simulujících tvar kopce (kupy), jehož výška kvadraticky klesá od středu eliptické základny směrem k okraji.
- `static std::vector<QPoint3DF> generateValley(int n, int width, int height, int cx, int cy, int rx, int ry, int depth)` – Vygeneruje údolí, jehož dno leží uprostřed elipsy a výška roste směrem k okrajům, čímž vzniká konkávní terénní tvar.
- `static std::vector<QPoint3DF> generateRidge(int n, int width, int height, int x1, int y1, int x2, int y2, int maxZ)` – Vytvoří hřbet (ridge) s výškou klesající od centrální osy – čím blíže k ní, tím vyšší hodnota Z.
- `static std::vector<QPoint3DF> generateBench(int n, int width, int height, int stepStartX, int stepEndX, int depthZ)` – Generuje spočinek jako mírný terasovitý pokles výšky v zadaném vodorovném pásmu.
- `static std::vector<QPoint3DF> generateSaddle(int n, int width, int height, int cx, int cy, int scaleX, int scaleY)` – Vytváří tvar sedla (hyperbolický paraboloid) – v ose X roste výška, v ose Y klesá.

9.3 Třída sortPointsByX

Třída pro seřazení bodů podle souřadnice `x`.

- `bool operator()(const QPointF &p1, const QPointF &p2)` – Vrací `True`, pokud `x.p1` je menší než `x.p2`.

9.4 Třída sortPointsByY

Třída pro seřazení bodů podle souřadnice `y`.

- `bool operator()(const QPointF &p1, const QPointF &p2)` – Vrací `True`, pokud `y.p1` je menší než `y.p2`.

9.5 Třída Draw

Třída zajišťuje vizualizaci dat (body, triangulace, vrstevnice, sklon, aspekt) a interakci uživatele s vykreslenou scénou.

Veřejné metody:

- `explicit Draw(QWidget *parent = nullptr)` – Konstruktor inicializující widget.

- `void mousePressEvent(QMouseEvent *e)` – Obsluhuje kliknutí myší pro interakci s plátnem.
- `void paintEvent(QPaintEvent *event)` – Metoda pro vykreslení obsahu widgetu (body, hrany, vrstevnice apod.).
- `std::vector<QPoint3DF> getPoints() const` – Vrací aktuálně zobrazené body.
- `std::vector<Edge> getDT() const` – Vrací aktuální triangulaci.
- `void setDT(const std::vector<Edge> &dt)` – Nastaví hrany triangulace.
- `void setCL(const std::vector<Edge> &contour_lines)` – Nastaví seznam vrstevnic.
- `void setTR(const std::vector<Triangle> &triangles)` – Nastaví trojúhelníky pro analýzu sklonu/aspektu.
- `void setViewPoints(const bool &view_points)` – Zapne/vypne zobrazení bodů.
- `void setViewDT(const bool &view_dt)` – Zapne/vypne zobrazení triangulace.
- `void setViewContourLines(const bool &view_contour_lines)` – Zapne/vypne zobrazení vrstevnic.
- `void setViewSlope(const bool &view_slope)` – Zapne/vypne zobrazení sklonu.
- `void setViewAspect(const bool &view_aspect)` – Zapne/vypne zobrazení aspektu.
- `void setClicked(const bool &clicked)` – Nastaví příznak kliknutí.
- `bool getClicked()` – Vrací příznak, zda bylo kliknuto.
- `void clearResults()` – Vymaže triangulaci, trojúhelníky a vrstevnice.
- `void clearAll()` – Vymaže všechna data včetně bodů.
- `void loadPointsFromTextfile(const QString &fileName)` – Načte body ze souboru ve formátu TXT s oddělovači (mezery, čárky). Automaticky provede převod souřadnic do velikosti okna.
- `void setPoints(const std::vector<QPoint3DF> &newPoints)` – Umožňuje hromadně nastavit novou množinu bodů, která bude následně zobrazena.

9.6 Třída MainForm

Třída představuje hlavní okno aplikace a zajišťuje propojení uživatelského rozhraní s funkcionalitou výpočtů a vizualizace.

Privátní metody:

- `void on_actionCreate_DT_triggered()` – Spustí vytvoření Delaunay triangulace.
- `void on_actionCreate_Contour_lines_triggered()` – Spustí generování vrstevnic.
- `void on_actionParameters_triggered()` – Otevře dialogové okno s parametry.
- `void on_actionAnalyze_slope_triggered()` – Spustí analýzu sklonu terénu.
- `void on_actionClear_Results_triggered()` – Vymaže výpočetní výsledky (trojúhelníky, vrstevnice, atd.).
- `void on_actionPoints_changed()` – Změna v zobrazení bodů.
- `void on_actionDT_changed()` – Změna v zobrazení triangulace.
- `void on_actionContour_Lines_changed()` – Změna v zobrazení vrstevnic.
- `void on_actionSlope_changed()` – Změna v zobrazení sklonu.
- `void on_actionExposition_changed()` – Změna v zobrazení expozice (aspektu).

- `void on_actionClear_All_triggered()` – Vymaže všechna data (body i výsledky).
- `void on_actionAnalyze_exposition_triggered()` – Spustí analýzu orientace.
- `void on_actionOpen_triggered()` – Otevře dialog pro načtení vstupního souboru s body (např. ve formátu TXT).
- `void on_actionExit_triggered()` – Ukončí aplikaci.
- `void on_actionHill_triggered()` – Vygeneruje syntetická data reprezentující kopec (kupu).
- `void on_actionValley_triggered()` – Vygeneruje syntetická data reprezentující údolí.
- `void on_actionRidge_triggered()` – Vygeneruje syntetická data reprezentující hřbet.
- `void on_actionBench_triggered()` – Vygeneruje syntetická data pro spočinek.
- `void on_actionSaddle_triggered()` – Vygeneruje syntetická data pro sedlo.
- `void on_action3D_Viewer_triggered()` – Spustí 3D vizulizaci bodů s možností otáčení a zoomu.

9.7 Třída QPoint3DF

Třída představuje rozšířený dvourozměrný bod o třetí souřadnici z. Dědí ze třídy `QPointF` a přidává výškovou hodnotu.

Veřejné metody:

- `QPoint3DF()` – Výchozí konstruktor, inicializuje bod $(0, 0, 0)$.
- `QPoint3DF(double x, double y)` – Konstruktor pro dvourozměrný bod se souřadnicemi (x, y) a $z = 0$.
- `QPoint3DF(double x, double y, double z)` – Konstruktor pro trojrozměrný bod se souřadnicemi (x, y, z).
- `void setZ(double z)` – Nastaví hodnotu výšky z.
- `double getZ() const` – Vrátí hodnotu výšky z.

9.8 Třída Edge

Třída reprezentuje hranu mezi dvěma trojrozměrnými body typu `QPoint3DF`.

Veřejné metody:

- `Edge(const QPoint3DF &start, const QPoint3DF &end)` – Konstruktor hrany definované počátečním a koncovým bodem.
- `QPoint3DF getStart() const` – Vrátí počáteční bod hrany.
- `QPoint3DF getEnd() const` – Vrátí koncový bod hrany.
- `Edge changeOrientation() const` – Vrátí novou hranu s opačnou orientací.
- `bool operator== (const Edge &e)` – Porovná dvě hrany podle jejich počátečního a koncového bodu.

9.9 Třída Triangle

Třída reprezentuje trojúhelník definovaný třemi vrcholy v prostoru. Obsahuje navíc informace o sklonu a orientaci.

Veřejné metody:

- `Triangle()` – Výchozí konstruktor, inicializuje trojúhelník s nulovým sklonem a aspektem.
- `Triangle(QPoint3DF p1, QPoint3DF p2, QPoint3DF p3)` – Vytvoří trojúhelník bez specifikovaného sklonu a aspektu.
- `Triangle(QPoint3DF p1, QPoint3DF p2, QPoint3DF p3, double aspect, double slope)` – Vytvoří trojúhelník se zadanými hodnotami sklonu a expozice.
- `QPoint3DF getP1()` – Vrátí první bod trojúhelníku.
- `QPoint3DF getP2()` – Vrátí druhý bod trojúhelníku.
- `QPoint3DF getP3()` – Vrátí třetí bod trojúhelníku.
- `double getSlope()` – Vrátí hodnotu sklonu trojúhelníku.
- `double getAspect()` – Vrátí hodnotu expozice (aspektu) trojúhelníku.
- `void setSlope(const double &slope)` – Nastaví hodnotu sklonu trojúhelníku.
- `void setAspect(const double &aspect)` – Nastaví hodnotu orientace trojúhelníku.

9.10 Třída Terrain3DForm

Třída představuje dialogové okno pro zobrazení 3D modelu terénu. Používá `Terrain3DCanvas`, která vykresluje výškové body pomocí ortogonální projekce. Je součástí samostatného 3D zobrazení a slouží jako orientační přehled výškového rozložení.

Veřejné metody:

- `explicit Terrain3DForm(QWidget *parent = nullptr)` – Konstruktor okna. Inicializuje GUI a vytvoří instanci 3D plátna.
- `Terrain3DForm()` – Destruktor okna, zajišťuje uvolnění prostředků.
- `void setPoints(const std::vector<QPoint3DF> &points)` – Předá množinu bodů do interní komponenty `Terrain3DCanvas`, kde dojde k jejich vykreslení.

9.11 Třída Terrain3DCanvas

Třída zajišťuje základní 3D vizualizaci digitálního modelu terénu formou ortogonální projekce. Umožňuje zobrazení bodů v prostoru a interaktivní manipulaci pomocí myši (otáčení) a kolečka (zoom).

Veřejné metody:

- `explicit Terrain3DCanvas(QWidget *parent = nullptr)` – Konstruktor třídy, nastavuje výchozí úhel rotace a měřítko vizualizace.
- `void setPoints(const std::vector<QPoint3DF> &points)` – Předává objektu množinu 3D bodů, které budou zobrazeny na plátně.

Překryté události:

- `void paintEvent(QPaintEvent *event)` – Vykreslí všechny body na základě aktuální rotace a přiblížení. Používá 2D projekci s otočením podle hodnot `angleX` a `angleY`.
- `void mousePressEvent(QMouseEvent *event)` – Ukládá pozici myši při stisknutí tlačítka – používá se pro výpočet posunu při rotaci scény.
- `void mouseMoveEvent(QMouseEvent *event)` – Zajišťuje interaktivní otáčení terénu podle pohybu myši.

- `void wheelEvent(QWheelEvent *event)` – Umožňuje přiblížení nebo oddálení scény pomocí kolečka myši.

Privátní metoda:

- `QPoint projectPoint(const QPoint3DF &p) const` – Provádí převod 3D souřadnice do 2D roviny obrazovky pomocí jednoduché ortogonální projekce a aktuálních transformačních parametrů.

10 Závěr

V rámci této úlohy byla vytvořena aplikace, která umožňuje analýzu terénu. Aplikace dokáže analyzovat data ručně zadaná do aplikace, automaticky generovaná aplikací, nebo načítáním dat z formátu `.txt` nebo `.xyz`.Výsledky jsou reprezentovány ve 2D pomocí TIN, vrstevnic, sklonu a orientace terénu. Body terénu mohou být zobrazeny ve 3D prohlížeči. Vzhledem k časovému vytížení v rámci jiných předmětů, zejména projektu z kartografie, jsme nestihli zpracovat všechny bonusové úlohy, které bychom si jinak rádi splnili.

10.1 Omezení Delaunay triangulace

Přestože je Delaunay triangulace velmi užitečná pro tvorbu digitálního modelu terénu, v určitých případech není její použití ideální. Mezi situace, kdy nemusí poskytovat dobré výsledky, patří:

- **Zlomové linie a strmé hrany:** Delaunay triangulace nedokáže sama o sobě respektovat morfologické zlomy, jako jsou prudké srázy. Bez použití povinných hran dochází k chybné interpretaci.
- **Rovné plochy:** V oblastech s velmi malým nebo žádným sklonem nemusí vznikat žádné vrstevnice, nebo naopak mohou vznikat chybné vrstevnice.
- **Špatné rozložení:** Pokud jsou vstupní data špatně rozložená a vznikají dlouhé a úzké trojúhelníky, může to vést k nepřesné interpolaci a neplynulým vrstevnicím.
- **Pravidelná mřížka:** V případě pravidelně rozmístěných bodů může vzniknout nejednoznačná triangulace, což může způsobit chyby ve tvaru vrstevnic.

Pro tyto případy by bylo vhodné rozšířit aplikaci o podporu povinných hran, které umožňují zachování tvaru morfologicky významných útvarů. Dále by bylo možné přidat další metody interpolace, které v určitých případech poskytují lepší výsledky než Delaunay triangulace.

10.2 Další Možné Neřešené Problémy a Náměty na Vylepšení

- **Podpora dalších formátů pro vstup:** V současné verzi aplikace je možné načítat bodová data pouze z formátů TXT a XYZ, přičemž jako oddělovač slouží čárka nebo mezera. Do budoucna by bylo vhodné rozšířit možnosti importu o podporu volitelného nastavení formátu (včetně výběru oddělovače, hlaviček apod.) a přidat podporu běžně používaných formátů pro práci s mračny bodů, jako jsou LAS a LAZ.
- **Možnost exportu dat:** Aplikace aktuálně neumožňuje export výsledků. Do budoucna by bylo vhodné implementovat podporu pro ukládání výsledků do běžně používaných GIS formátů, jako je SHP nebo GeoPackage, a zároveň umožnit export vizualizací do rastrových (např. TIFF) nebo vektorových (např. SVG) formátů.
- **Dávkové zpracování:** Dalším vylepšením by mohlo být aplikaci kromě zpracování v GUI umožnit i dávkové zpracování mračen bodů v příkazové řádce, které by mohlo vypadat například takto:
  `DMT.exe -TIN mracno.txt > tin.shp`
  `DMT.exe -contourLines mracno.xyz > vrstevnice.shp`.
- **Zoomování a posouvání mapy:** Aplikace v současnosti nepodporuje přibližování a pohyb v mapovém okně.
- **Povinné hrany** Možnost nastavení povinných hran.
- **Nastavení:** Přidat další možnosti nastavená, kde se budou moc nastavit vlastní parametry barevného zobrazení sklonu a orientace terénu.
- **Vizuál aplikace:** Zlepšit vizuální stránku aplikace.

Odkazy

[1] Tomáš Bayer. *Algoritmy v digitální kartografii*. 2008. vyd. Praha: Karolinum, 2008. ISBN: 978-80-246-1499-1.

[2] Český úřad zeměměřický a katastrální. *Geoportál ČÚZK*. `https://geoportal.cuzk.cz/`. Přístup: květen 2025. 2024.