ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ, OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

KATEDRA GEOMATIKY

název předmětu

ALGORITMY DIGITÁLNÍ KARTOGRAFIE A GIS

číslo úlohy	název úlohy
3	Digitální model terénu a jeho analýzy

školní rok	studijní skup.	číslo zadání	Zpracoval:	datum	klasifikace
2024	C-101	-	Josef Jehlička	6.6. 2024	

TECHNICKÁ ZPRÁVA

1) Zadání: Úkolem bylo vytvořit polyedrický digitální model terénu (DMT) nad množinou 3D bodů doplněný vizualizací sklonu trojúhelníků a jejich expozicí. Metodou inkrementální konstrukce je potřeba vytvořit nad množinou P vstupních bodů 2D Delaunay triangulaci. Jako vstupní data bylo nutno použít existující geodetická data (alespoň 300 bodů).

Vstupní hodnoty bylo potřeba vhodně vizualizovat v grafickém rozhraní s využitím QT frameworku.

Dále bylo nutné s využitím lineární interpolace vygenerovat vrstevnice s daným krokem a intervalem. Je potřeba nastavit jejich vykreslení s výrazněním hlavních vrstevnic. Poté analyzovat sklon a expozici jednotlivých trojúhelníku a tyto jevy vhodně vizualizovat.

2) Zpracované bonusové úlohy:

1. Automatický popis vrstevnic
2. Barevná hypsometrie

3) Popis problému:

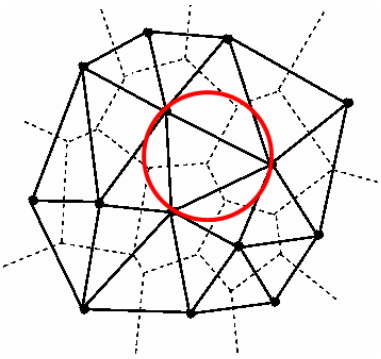
Delaunayho triangulace je efektivní metoda pro tvorbu kvalitní trojúhelníkové sítě (TIN) z množiny bodů v rovině. Hlavní výhodou Delaunayho triangulace je, že vytváří dobře tvarované trojúhelníky, které nejsou příliš protáhlé nebo úzké.

Algoritmus Delaunayho triangulace funguje následovně [1][2][3]:

- Vezme se množina bodů P v rovině, kde každý bod má souřadnici Z (výšku).
- Provede se triangulace této množiny bodů P. Výsledkem je síť trojúhelníků, která aproximuje terén definovaný body P.
- Důležitou vlastností Delaunayho triangulace je, že uvnitř kružnice opsané každému trojúhelníku neleží žádný jiný bod množiny P
- Algoritmus lze realizovat inkrementální konstrukcí nebo metodou rozděl a panuj (divide and conquer)
- Existuje také metoda lokálního prohazování hran, která převede libovolnou triangulaci na Delaunayho triangulaci

Delaunayho triangulace má řadu užitečných vlastností [1][2]:

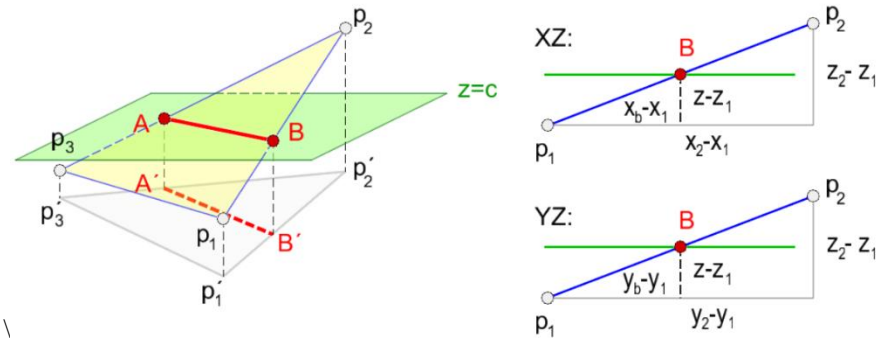
- Vytváří dobře tvarované trojúhelníky, což je výhodné pro interpolaci a aproximaci terénu.
- Je duální ke Thiessenovu diagramu (Voroného diagram).
- Interpolací hodnot na hranách takové trojúhelníkové sítě lze získat průběh vrstevnic



Obr.1: Delaunayho triangulace [2]

Po získání trojúhelníkové sítě lze v modelu vykreslit vrstevnice metodou lineární interpolace. V daném trojúhelníku je potřeba najít průsečnici s rovinou o určité výšce. Průsečíky s rovinou určíme jako:

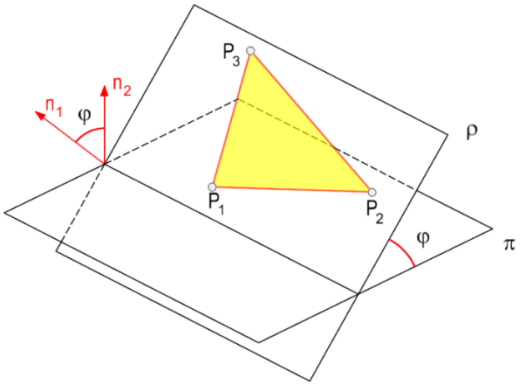
$$x_a = \frac{x_3 - x_1}{z_3 - z_1}(z - z_1) + x_1, \qquad x_b = \frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1}(z - z_1) + x_1,$$
$$y_a = \frac{y_3 - y_1}{z_3 - z_1}(z - z_1) + y_1, \qquad y_b = \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}(z - z_1) + y_1.$$



Obr. 2: Vztahy pro nalezení vrstevnice [3]

Sklon (Slope) je ukazatelem toho, jak se mění výška reliéfu ve směru jeho největšího spádu. Sklon je prostředkem, kterým gravitace řídí pohyb vody a jiných materiálů. Je tak jednou z nejvýznamnějších vlastností reliéfu ovlivňujících hydrologii a geomorfologii. [4]

Jeho hodnota je získávána v jednotlivých trojúhelnících jako úhel mezi normálovým vektorem vodorovné roviny a normálovým vektorem trojúhelníku.



$$\varphi = \arccos \frac{n_1 \cdot n_2}{\|n_1\| \, \|n_2\|} = \arccos \frac{c}{\|n_1\|},$$
$$n_1 = (a, b, c),$$
$$n_2 = (0, 0, 1).$$

Obr. 3: Vztah pro nalezení hodnoty sklonu [3]

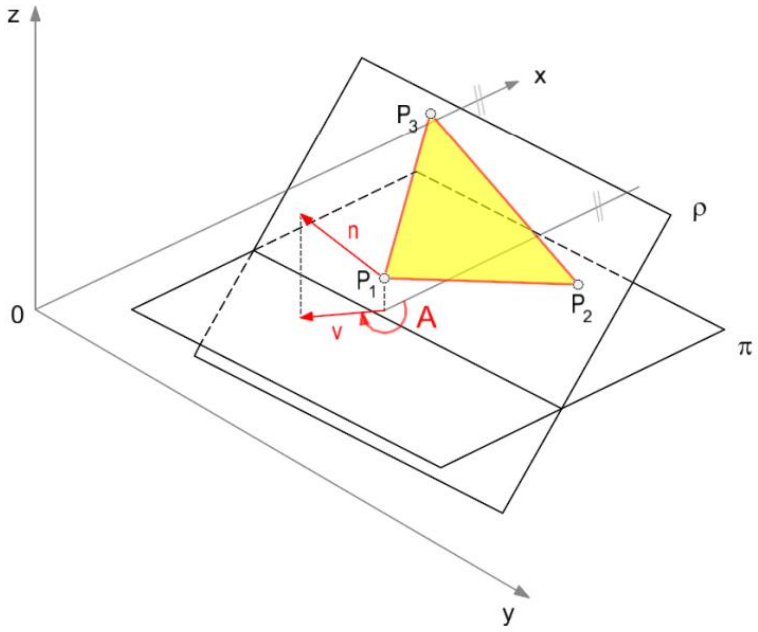
Sklon je vizualizován ve stupních šedi, kde bílá barva reprezentuje rovinu a černá maximální sklon. Toho je docíleno pomocí normalizace hodnot sklonu do rozsahu 0 až 255 a přidání této hodnoty stejně do všech složek RGB.

Obr.4: Barevná stupnice reprezentující sklon

Expozice (Aspect) charakterizuje orientaci svahu ke světovým stranám. Jedná se o orientaci svahu podle jeho největšího spádu a je obvykle měřen od severu ve směru hodinových ručiček. Orientace svahů má především význam pro určování množství dopadajícího slunečního záření. Je také využíván pro vizualizaci reliéfu. Význam orientace svahu je větší v oblastech s větší svažitostí, v rovinných oblastech jeho význam upadá. [4]

Počítá se jako úhel od severu ve směru hodinových ručiček k průmětu normálového vektoru daného trojúhelníka.

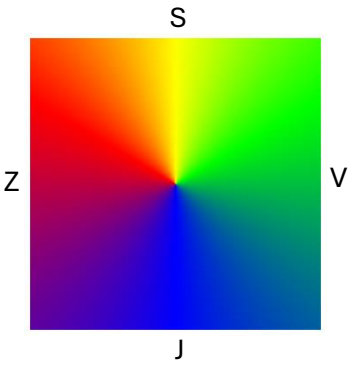
$$v = \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}(x_0), \frac{\partial \rho}{\partial y}(y_0), 0\right) = (a, b, 0) \qquad A = \arctan\left(\frac{a}{b}\right)$$



Obr. 5: Vztah pro nalezení hodnoty expozice [3]

Expozice je reprezentována RGB barvami, kdy sklon na západ je reprezentován barvou červenou, na sever žlutou, na východ zelenou a na jih modrou. Hodnota sklonu je reprezentována hodnotami 0-1 od jihu směrem na východ.

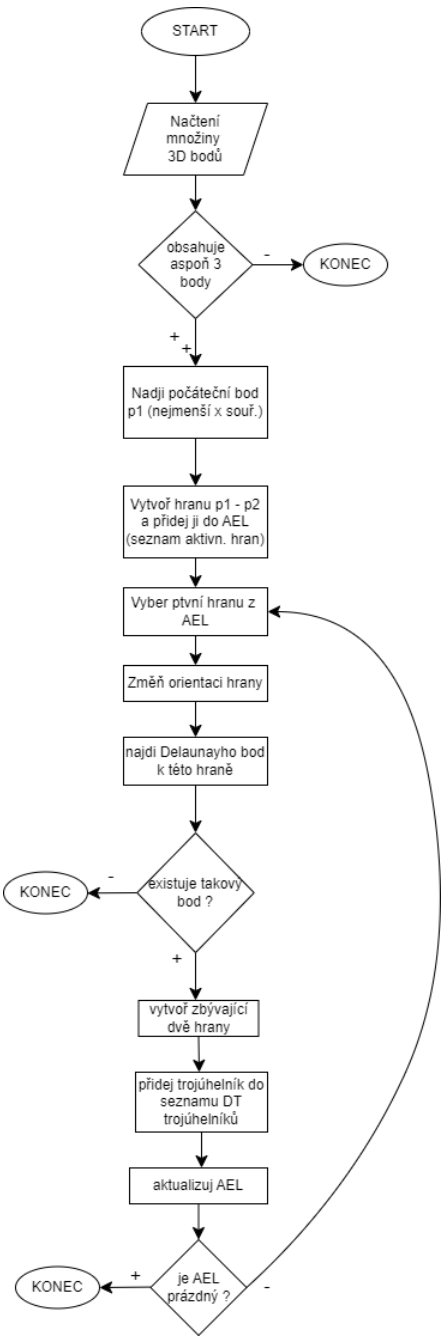
- Pokud je sklon mezi hodnotou 0 a 1/4 – barevný přechod od modré po zelenou
- Pokud je sklon mezi hodnotou 1/4 a 1/2 – barevný přechod od zelené po žlutou
- Pokud je sklon mezi hodnotou 1/2 a 3/4 - barevný přechod od žluté po červenou
- Pokud je sklon mezi hodnotou 3/4 a 1 - barevný přechod od červené po modrou



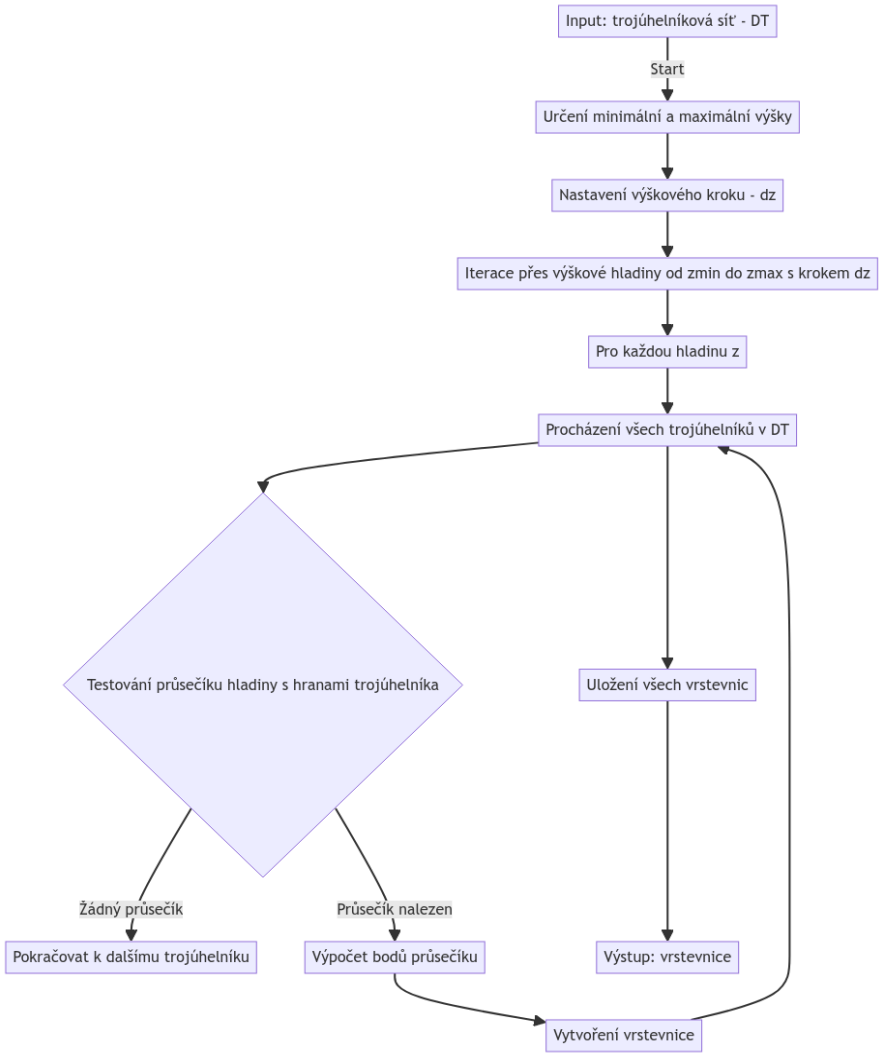
Obr.5: Barevná stupnice reprezentující expozici

4) Popis algoritmů formálním jazykem:

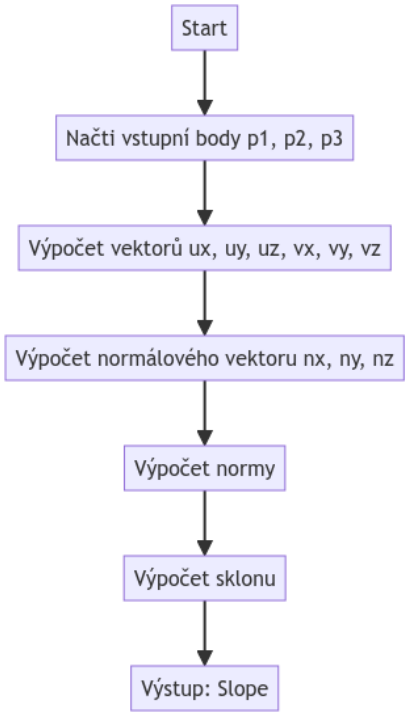
Delaunayho triangulace



Tvorba vrstevnic



Výpočet sklonu:



Výpočet expozice:

5) Problematické situace při řešení:

Automatický popis vrstevnic

Každý pátý interpolovaný bod na trojúhelníkové síti je popsán jeho hodnotou Z. V malých sítích tak mohou vzniknout vrstevnice bez popisu. Tento popis je odsazen o 5 px, aby byl čitelný. Popis vrstevnic je generován v rámci vykreslování samotných vrstevnic. Je vždy získána z-tová souřadnice koncového interpolovaného bodu v rámci jedno trojúhelníku, a ta je popsána pomocí Qt funkce drawText().

Barevná hypsometrie

Nejprve se zjišťují minimální a maximální hodnoty nadmořských výšek všech trojúhelníků. Poté se pro každý trojúhelník získají hodnoty z nadmořské výšky pro jeho vrcholy a vypočte se průměrná hodnota nadmořské výšky pro trojúhelník. Tato průměrná hodnota nadmořské výšky se normalizuje do rozsahu 0 až 1 podle minimální a maximální hodnoty.

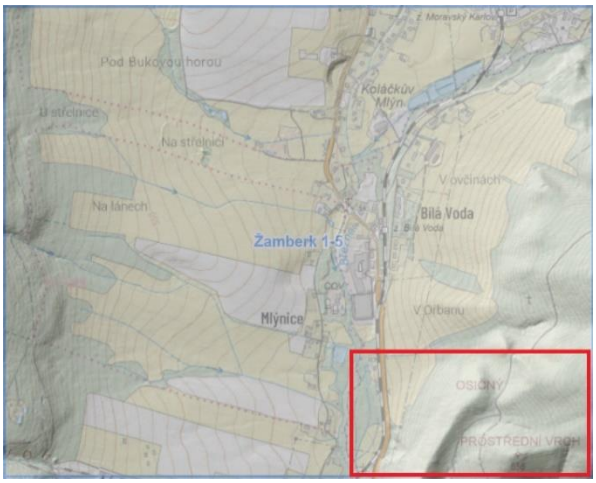
$$\bar{z} = \frac{z_{\emptyset} + z_{min}}{z_{max} - z_{min}}$$

- Pokud je hodnota normalizovaného sklonu mezi 0–1/3 – barevný přechod od černé po zelenou.
- Pokud je hodnota normalizovaného sklonu mezi 1/3–2/3 – barevný přechod od zelené po žlutou.
- Pokud je hodnota normalizovaného sklonu mezi 2/3-1 – barevný přechod od žluté po červenou.

Obr.6: Barevná stupnice reprezentující barevnou hypsometrii

6) Vstupní data:

Vstupním data jsou pořízena z dlaždice DMR5G (Žamberk 1-5) vydávaného ČÚZK. Ta byla převedena z fromátu LAZ do vektorových bodů. Z nich byla vybrána jen zájmová oblast (jihovýchodní část). V této oblasti byly body vyfiltrován, tak aby jejich počet byl blízko tisíci (1078).

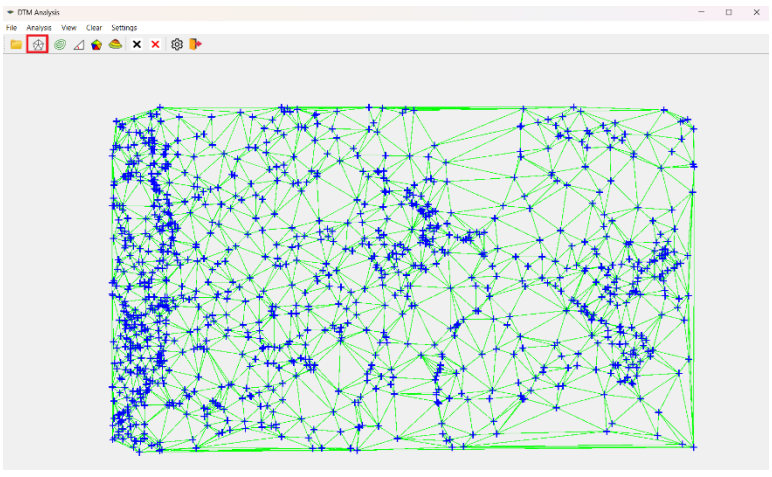


Obr.3 : Znázornění zájmové oblasti na dané dlaždici DMR5G

7) Ukázka aplikace:

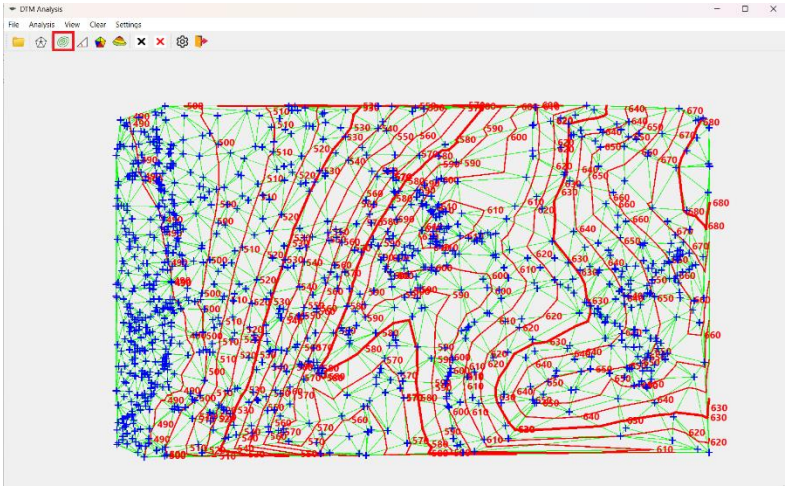
Aplikace obsahuje v hlavní části vykreslovací okno, do kterého lze zadávat polohy bodů po stisknutí tlačítka myši s náhodnou souřadnicí Z. Rozsah generování této hodnoty s rozestupem vrstevnic lze upravit ve vyskakovacím okně s nastavením. Do vykreslovací plochy lze nahrát soubor s 3D body ve formátu shapefile (.shp). Tato akce vymaže předchozí vstupy. V záložce „view“ lze nastavit, která vizualizace analýzy se bude zobrazovat.

První tlačítko z leva otevře dialogové oknu pro výběr souboru, a to druhé vytvoří trojúhelníkovou síť pomocí Delaunayho triangulace.



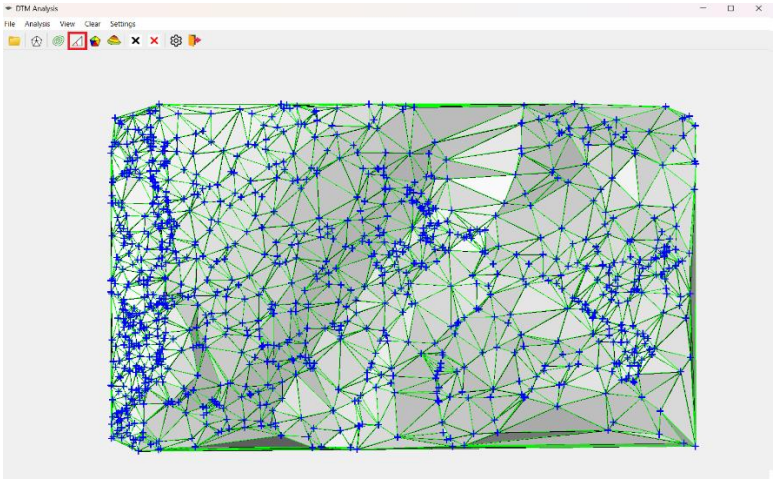
Obr. 7: Výsledek Delaunayho triangulace

Třetí tlačítko vyhotoví vrstevnice s popisy a každou pátou vrstevnicí dvojnásobě tučnou.



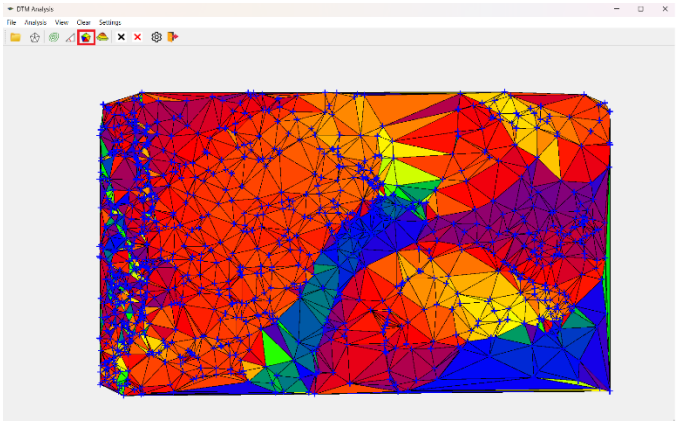
Obr. 8: Výsledek tvorby vrstevnic

Čtvrté tlačítko spustí analýzu sklonu.



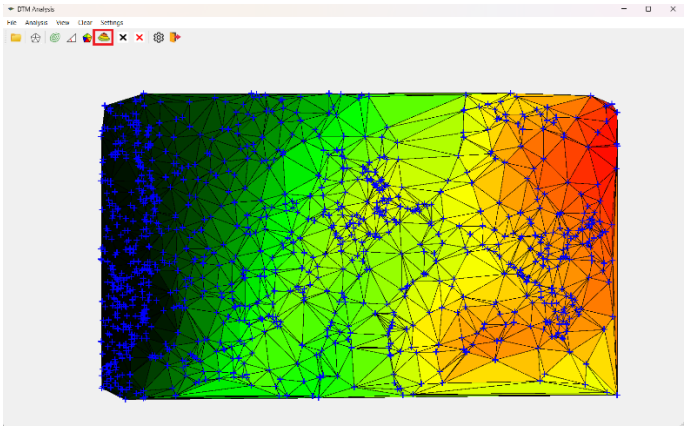
Obr. 9: Výsledek analýzy sklonu

Páté tlačítko spustí analýzu expozice.



Obr. 10: Výsledek analýzy expozice

Šesté tlačítko spustí tvorbu barevné hypsometrie.

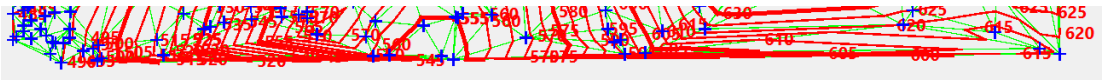


Obr. 11: Výsledek barevné hypsometrie

Sedmé tlačítko vymaže výsledky, osmé tlačítko smaže výsledky i vložené body. Deváté tlačítko spustí otevře již zmíněné vyskakovací okno s nastavením a poslední tlačítko ukončí aplikaci.

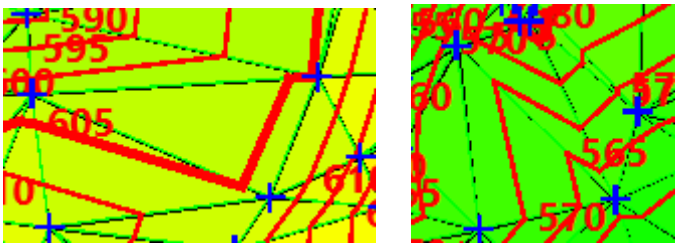
8) Hodnocení polyedrického modelu tvořeného 2D

Úzké trojúhelníky na okrajích bodového mračna mohou vést ke špatné vizualizaci a špatnému odhadu geometrie objektů na terénu, což může být problematické pro další analýzy nebo vizualizace. Takto úzké trojúhelníky je vhodné eliminovat a nezanášet model nepřesnými výsledky. Toho lze dosáhnout ruční nebo automatizovanou filtrací úzkých trojúhelníků.



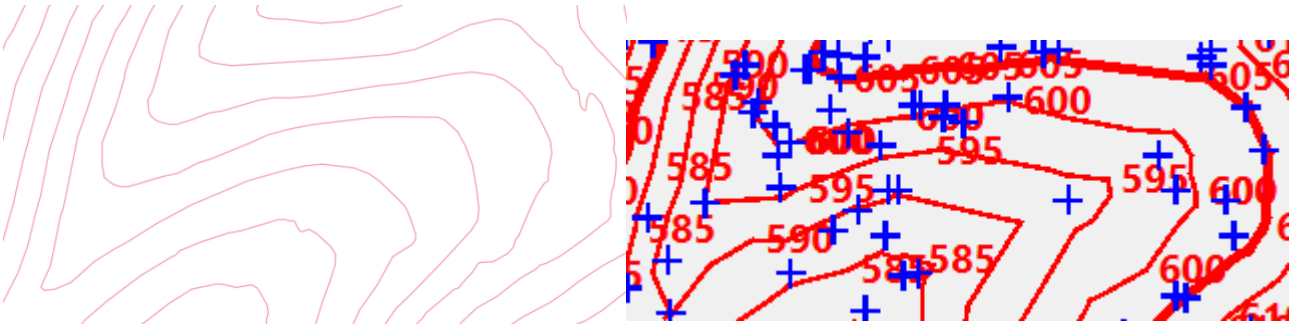
Obr.12 Detail výsledného modelu v krajní oblasti

Ve vrstevnicovém plánu tvořeném 2D Delaunayovou triangulací vznikají "zuby" (nepravidelnosti) ve vrstevnicích v místech, kde jsou body dál od sebe. Když jsou body dál od sebe, tak mezi nimi nejsou k dispozici dostatečné informace k hladkému určení vrstevnic.



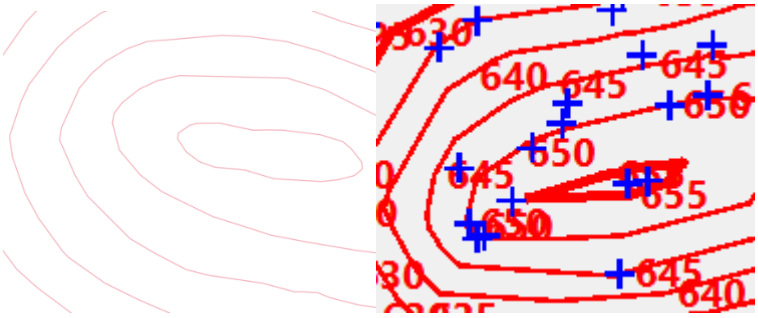
Obr.13 Detail výsledného modelu v oblastech malého pokrytí body

Způsob interpolace vrstevnic na hranách trojúhelníků může mít nežádoucí efekt lomového průběhu linie. Tento jev je esteticky nevyhovující. Pro vylepšení výsledku by bylo vhodné implementovat nějaký vyhlazovací algoritmus a z lomených čar vytvořit spline křivky.



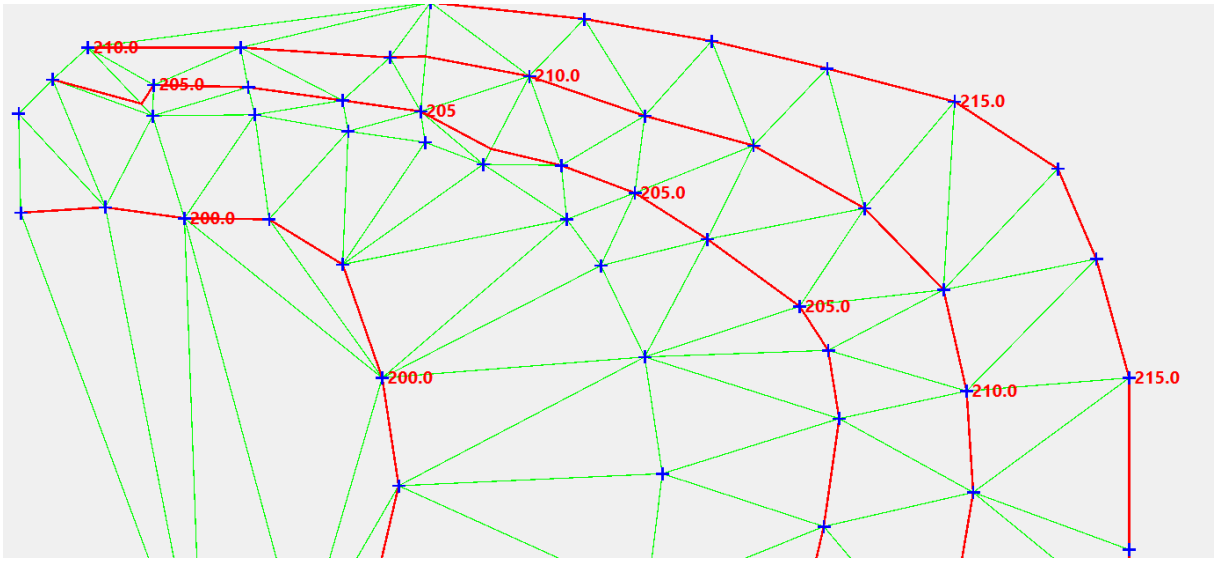
Obr.14: Vyhlazené vrstevnice ZABAGED (vlevo) a interpolované nevyhlazené vrstevnice (vpravo)

Vrstevnice lineárně interpolované na polyedrické síti mohou nepřesně vyjadřovat vrcholy terénních útvarů. Tato metoda může být nevhodná pro terény s komplexními tvary, kde je vyžadována nelineární interpolace, aby se lépe vystihovaly útvary terénu.



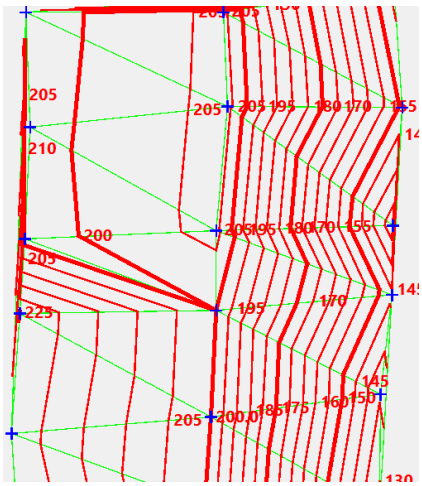
Obr.15: Vrstevnice vrcholu ZABAGED (vlevo) a interpolované vrstevnice vrcholu (vpravo)

Při zpracování dat, která obsahují vodorovné trojúhelníky (např. vzniklé digitalizací analogových map) může dodávat chybný vjem výsledného terénu. Pokud pak budeme pracovat s polyedrickým modelem, kde plocha trojúhelníku je rovina, algoritmus nebude schopen rozhodnout, kudy bude procházet vrstevnice.[5] Tím pádem může vzniknout fiktivní spočinek. Viz níže.



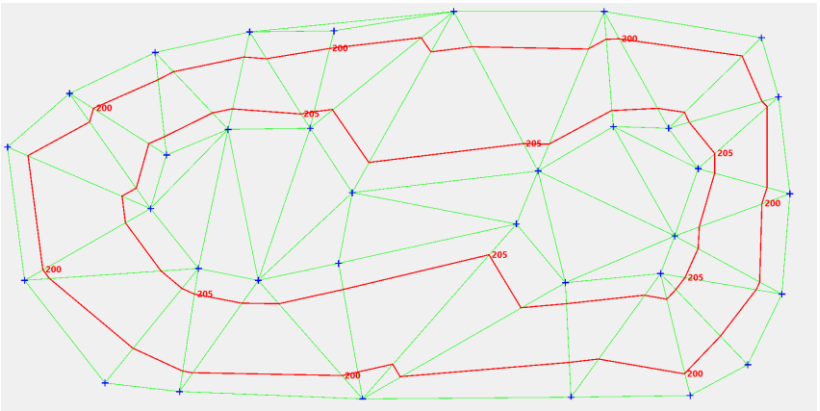
Obr.16: Chyba vzniklá vlivem vodorovných trojúhelníku

Další chybou, která může nastat je případ, kdy vrstevnice leží na jedné straně trojúhelníku a po té samé se ihned vrací zpět.



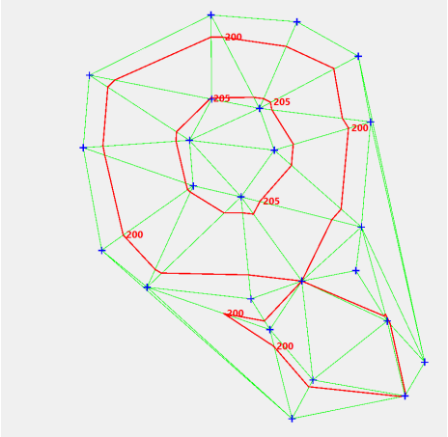
Obr. 17: Chyba - vrstevnice leží na jedné straně trojúhelníku a ihned se vracející zpět

Jako další může nastat problém se zobrazováním špatně vygenerovaných vrstevnic, kde došlo ke sloučení dvou vrcholů kopců: Tento jev je způsoben malým počtem vstupních bodů a jejich nevhodným umístěním.

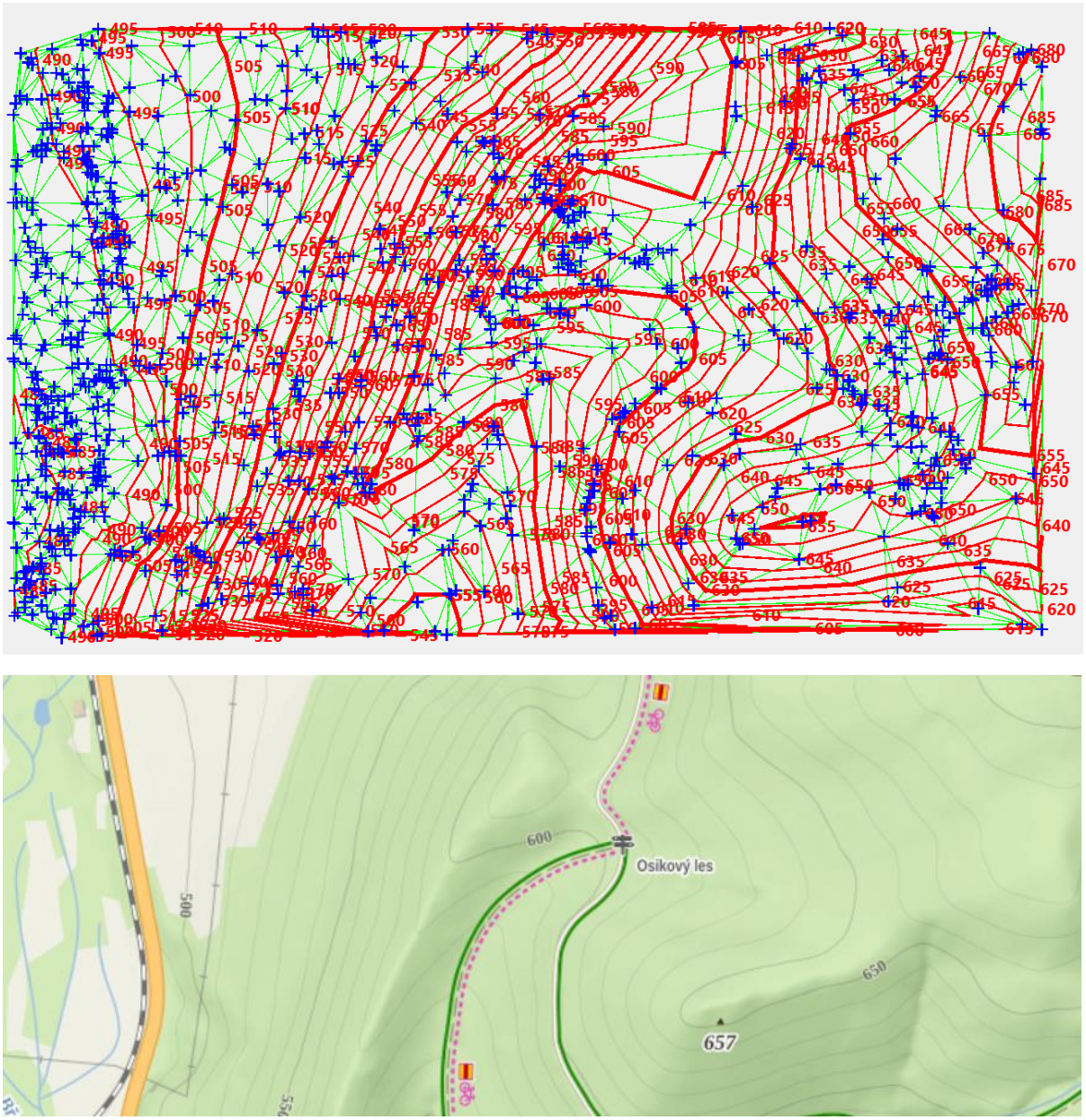


Obr. 18: Chyba – sloučení dvou vrcholů kopce

Na obrázku níže je zachycen problém blízkosti dvou čar. Ve skutečnosti by mělo jít o úzký výčnělek, nicméně v místě dochází k „zaškrcení“.



Obr. 19: Chyba – Přiškrcení úzkého výčnělku



Obr.20: Porovnání vrstevnicového plánu z aplikace a vrstevnicemi turistické mapy (Mapy.cz)

9) Závěr:

Aplikace úspěšně tvoří polyedrický digitální model terénu (DMT) na základě množiny 3D bodů. Proces zahrnuje tvorbu 2D Delaunay triangulace pomocí inkrementální konstrukce, vizualizaci sklonu a expozice trojúhelníků a generování vrstevnic pomocí lineární interpolace. Výstupy byly efektivně zobrazeny v grafickém rozhraní využívajícím QT framework.

Bonusové úlohy, včetně výběru barevných stupnic pro vizualizaci sklonu a expozice, automatického popisu vrstevnic a barevné hypsometrie, byly úspěšně realizovány.

Za nedostatek považuji, že při zvoleném způsobu popisu vrstevnic mohou některé krátké vrstevnic zůstat nepopsány.

10) P*řílohy:*

- GitHub repozitář - https://github.com/jehlijos/ADKI_2024_Jehlicka_Predota
- Dokumentace zdrojového kódu

11) Seznam literatury:

[1] JONES, Chris B. Geographical Information Systems and Computer Cartography. PEARSON Education, 1996. ISBN 978-0582044395.

[2] JEDLIČKA, Karel. Nepravidelná trojúhelníková síť: způsob reprezentace povrchu. Vysokoškolská prezentace. Západočeská univerzita v Plzni.

[3] BAYER, Tomáš. Rovinné triangulace a jejich využití: Greedy Triangulation. Delaunay Triangulation. Constrained Delaunay Triangulation. Data Dependent Triangulation. DMT. Vysokoškolská prezentace. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie. Přírodovedecká fakulta UK

[4] PENÍŽEK, Vít; ZÁDOROVÁ, Tereza; KODEŠOVÁ, Radka a KLEMENT, Aleš. Optimalizace vzorkovací sítě pomocí využití analýzy reliéfu pro popis prostorové variability půdních vlastností v rámci půdních bloků,CERTIFIKOVANÁ METODIKA. Česká zemědělská univerzita v Praze. 2014, s. 41. ISBN 978-80-213-2533-3.

[5] STRYCH, Václav. TRIANGULACE A EDITOVÁNÍ VRSTEVNIC. Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD, KATEDRA MATEMATIKY, 2003.

V Pardubicích, 6.6.2024 Josef Jehlička

DOKUMENTACE ZDROJOVÉHO KÓDU

Třída **Ui_MainForm** (MainForm.py)**:**

- Metoda setupUi
  Metoda setupUi je zodpovědná za nastavení uživatelského rozhraní hlavního okna aplikace PyQt6. Tato metoda je vygenerována pomocí nástroje Qt Designer a nastavuje různé prvky uživatelského rozhraní, včetně menu, toolbaru a hlavního widgetu.. Je vygenerována v sw. QtDesigner.

```
def setupUi(self, MainWindow):
    MainWindow.setObjectName("MainWindow")
    MainWindow.resize(1111, 1015)
    MainWindow.setWindowIcon(QtGui.QIcon("images/icons/applogo.ico"))
    ...
    QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(MainWindow)
```

  - Nastavuje název objektu, velikost a ikonu hlavního okna aplikace.
  - Přidává centrální widget (Canvas) a horizontální rozvržení do hlavního okna.
  - Vytváří menu bar, status bar a tool bar s různými akcemi, jako je otevření souboru, ukončení aplikace, vytváření Delaunay triangulace, analýza svahu, apod.
  - Načítá ikony a propojuje vytvořená tlačítka s odpovídajícími metodami.

- Metoda openClick

  Metoda openClick je zodpovědná za zpracování události, kdy je spuštěna akce "Otevřít". Načítá data ze souboru pomocí třídy IO, nastavuje plátno pro zobrazení načtených bodů a aktualizuje plátno.

```
def openClick(self):
    try:
        # Instantiate the IO class
        io = IO()

        # Load data from file
        width = self.Canvas.width()
        height = self.Canvas.height()
        points = io.loadData(width, height)

        # Set points on the canvas
        self.Canvas.SetPoints(points)

        # Repaint the canvas
        self.Canvas.repaint()
    except:
        pass
```

  - Vytváří instanci třídy **IO**.
  - Načítá data ze souboru pomocí metody **loadData**.
  - Nastavuje načtené body na plátno a aktualizuje plátno.

..

- Metoda createDTClick
  Metoda createDTClick je zodpovědná za vytvoření a zobrazení Delaunay triangulace na plátně.

```
def createDTClick(self):
    # Set flag and view button to true
    self.actionDT.setChecked(True)
    self.Canvas.draw_dt = True

    # Get input data
    points = self.Canvas.getPoints()

    # Run DT
    a = Algorithms()
    dt = a.createDT(points)

    # Set results
    self.Canvas.setDT(dt)

    # Repaint
    self.Canvas.repaint()
```

  - Nastavuje příznak pro zobrazení Delaunay triangulace na **True**.
  - Získává vstupní data (body) z plátna.
  - Vytváří Delaunay triangulaci pomocí třídy **Algorithms** a nastavuje výsledky na plátno.
  - Aktualizuje plátno.

- Metoda createContourLinesClick
  Metoda createContourLinesClick je zodpovědná za vytvoření a zobrazení vrstevnic na plátně.

```
def createContourLinesClick(self):
    # Set flag and view button to true
    self.actionContour_lines_2.setChecked(True)
    self.Canvas.draw_contours = True
    self.actionDT.setChecked(True)
    self.Canvas.draw_dt = True

    a = Algorithms()

    # No DT
    if len(self.Canvas.getDT()) == 0:
        points = self.Canvas.getPoints()
        dt = a.createDT(points)
        self.Canvas.setDT(dt)

    # Get DT
    else:
        dt = self.Canvas.getDT()

    # Create contour lines
    with open("settings.conf", "r") as file:
        lines = file.readlines()
        zmin = int(round(float((lines[0]))))
        zmax = int(round(float((lines[1]))))
        dz = int(round(float((lines[2]))))

    contours = a.CreateCountourLines(dt, zmin, zmax, dz)

    # Set result
    self.Canvas.setContours(contours)

    # Repaint
    self.Canvas.repaint()
```

- Nastavuje příznaky pro zobrazení vrstevnic a Delaunay triangulace na **True**.
- Načítá hodnoty z konfiguračního souboru **settings.conf** a vytváří vrstevnice pomocí třídy **Algorithms**.
- Nastavuje vytvořené vrstevnice na plátno a aktualizuje plátno.

- Metoda analyzeSlopeClick
  Metoda analyzeSlopeClick je zodpovědná za analýzu sklonu digitálního modelu terénu (DTM) a zobrazení výsledků na plátně.

```
def analyzeSlopeClick(self):
    # Set flag and view button to true
    self.actionSlope.setChecked(True)
    self.Canvas.draw_slope = True
    self.actionDT.setChecked(True)
    self.Canvas.draw_dt = True
    self.Canvas.draw_aspect = False
    self.actionExposition.setChecked(False)
    self.actionHypso.setChecked(False)
    self.Canvas.draw_hypso = False

    a = Algorithms()

    # No DT
    if len(self.Canvas.getDT()) == 0:
        points = self.Canvas.getPoints()
        dt = a.createDT(points)
        self.Canvas.setDT(dt)

    # Get DT
    else:
        dt = self.Canvas.getDT()

    # Analyze slope
    triangles = a.analyzeDTMSlopeAndAspect(dt)

    # Set result
    self.Canvas.setTriangles(triangles)

    # Repaint
    self.Canvas.repaint()
```

  - Nastavuje příznaky pro zobrazení sklonu a Delaunay triangulace na **True**, ostatní příznaky na **False**.
  - Získává nebo vytváří Delaunay triangulaci a analyzuje sklon pomocí třídy **Algorithms**.
  - Nastavuje analyzované trojúhelníky na plátno a aktualizuje plátno.

- Metoda analyzeExpositionClick
  Metoda analyzeExpositionClick je zodpovědná za analýzu expozice (orientace) digitálního modelu terénu (DTM) a zobrazení výsledků na plátně.

```
def analyzeExpositionClick(self):
    # Set flag and view button to true
    self.actionExposition.setChecked(True)
    self.Canvas.draw_aspect = True
    self.actionSlope.setChecked(True)
    self.Canvas.draw_slope = True
    self.actionHypso.setChecked(False)
    self.Canvas.draw_hypso = False
```

```
a = Algorithms()

# No DT
if len(self.Canvas.getDT()) == 0:
    points = self.Canvas.getPoints()
    dt = a.createDT(points)
    self.Canvas.setDT(dt)

# Get DT
else:
    dt = self.Canvas.getDT()

# Analyze aspect
triangles = a.analyzeDTMSlopeAndAspect(dt)

# Set result
self.Canvas.setTriangles(triangles)

# Repaint
self.Canvas.repaint()
```

- Nastavuje příznaky pro zobrazení expozice a sklonu na **True**, ostatní příznaky na **False**.
- Získává nebo vytváří Delaunay triangulaci a analyzuje expozici pomocí třídy **Algorithms**.
- Nastavuje analyzované trojúhelníky na plátno a aktualizuje plátno.

- Metoda settingsClick
  Metoda settingsClick je zodpovědná za otevření dialogového okna s nastavením aplikace.

```
def settingsClick(self):
    # Create a new instance of QDialog
    self.dialog = QtWidgets.QDialog()

    # Create a new instance of Ui_Dialog
    self.ui = Ui_Dialog()

    # Setup the dialog
    self.ui.setupUi(self.dialog)

    # Show the dialog
    self.dialog.show()
```

- Vytváří novou instanci dialogového okna QDialog.
- Nastavuje uživatelské rozhraní dialogového okna pomocí třídy **Ui_Dialog**.
- Zobrazuje dialogové okno.

- Metoda retranslateUi
  Metoda retranslateUi je zodpovědná za nastavení textových popisků a titulků v uživatelském rozhraní. Je vygenerována v sw. QtDesigner.

Třída **Algorithms** (algorithms.py):

- Metoda getPointPolPosition
  Metoda getPointPolPosition určuje pozici bodu vůči polygonu pomocí algoritmu ray crossing.

```
# Point and polygon position, ray crossing algorithm
        k = 0
        n = len(pol)

        # Process all vertices of the polygon
        for i in range(n):
            # Reduce coordinates
            x_ir = pol[i].x() - q.x()
            y_ir = pol[i].y() - q.y()

            x_i1r = pol[(i + 1) % n].x() - q.x()
            y_i1r = pol[(i + 1) % n].y() - q.y()

            # Appropriate segment intersection the ray
            if ((y_i1r > 0) and (y_ir <= 0)) or ((y_ir > 0) and (y_i1r <=0)):

                # Compute intersection coordinate
                xm = (x_i1r * y_ir - x_ir * y_i1r) / (y_i1r - y_ir)

                # Appropriate intersection, increment k
                if xm > 0:
                    k = k + 1

        # Inside
        if k % 2 == 1:
            return 1

        # Outside
        return 0
```

  - Prochází všechny vrcholy polygonu.
  - Určuje počet průsečíků paprsku s hranami polygonu.
  - Vrací 1, pokud je bod uvnitř polygonu, jinak 0.
- Metoda getSlope
  Metoda getSlope vypočítává sklon trojúhelníku.

```
    def getSlope(self, p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, p3: QPoint3DF):
        # Compute triangle slope

        # Vectors
        ux = p1.x() - p2.x()
        uy = p1.y() - p2.y()
        uz = p1.getZ() - p2.getZ()

        vx = p3.x() - p2.x()
        vy = p3.y() - p2.y()
        vz = p3.getZ() - p2.getZ()

        # Normal vector
        nx = uy * vz - uz * vy
        ny = -ux * vz + uz * vx
        nz = ux * vy - uy * vx

        # Norm
        norm = sqrt(nx ** 2 + ny ** 2 + nz ** 2)

        # Slope
        return acos(fabs(nz) / norm)
```

- Vytváří vektory z bodů trojúhelníku.
- Vypočítává normálový vektor.
- Vrací sklon trojúhelníku v radiánech.

- Metoda get2VectorsAngle
  Metoda get2VectorsAngle vypočítává úhel mezi dvěma vektory.

```
    def get2VectorsAngle(self, p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, p3: QPoint3DF,
p4: QPoint3DF):
        # Angle between two vectors
        ux = p2.x() - p1.x()
        uy = p2.y() - p1.y()

        vx = p4.x() - p3.x()
        vy = p4.y() - p3.y()

        # ot product
        dot = ux * vx + uy * vy

        # Norms
        nu = (ux ** 2 + uy ** 2) ** 0.5
        nv = (vx ** 2 + vy ** 2) ** 0.5

        # Correct interval
        arg = dot / (nu * nv)
        arg = max(-1, min(1, arg))

        return acos(arg)
```

  - Vypočítává skalární součin a normy dvou vektorů.
  - Vrací úhel mezi dvěma vektory v radiánech.

- Metoda createCH
  Metoda createCH vytváří konvexní obal pomocí Jarvis Scan algoritmu.

```
    def createCH(self, pol: QPolygonF):
        # reate Convex Hull using Jarvis Scan
        ch = QPolygonF()

        # Find pivot q (minimize y)
        q = min(pol, key=lambda k: k.y())

        # Find left-most point (minimize x)
        s = min(pol, key=lambda k: k.x())

        # Initial segment
        pj = q
        pj1 = QPoint3DF(s.x(), q.y())

        # Add to CH
        ch.append(pj)

        # Find all points of CH
        while True:
            # Maximum and its index
            omega_max = 0
            index_max = -1

            # Browse all points
```

```
        for i in range(len(pol)):

            if pj != pol[i]:

                # Compute omega
                omega = self.get2VectorsAngle(pj, pj1, pj, pol[i])

                # Actualize maximum
                if (omega > omega_max):
                    omega_max = omega
                    index_max = i

        # Add point to the convex hull
        ch.append(pol[index_max])

        # Reasign points
        pj1 = pj
        pj = pol[index_max]

        # Stopping condition
        if pj == q:
            break

    return ch
```

- Inicializuje prázdný QPolygonF pro konvexní obálku (ch).
- Najde pivotní bod q s minimální y-souřadnicí.
- Najde nejlevější bod s s minimální x-souřadnicí.
- Iterativně vybírá body, které tvoří vnější hranici, výpočtem úhlu omega a aktualizací maximálního úhlu.
- Přidává vybrané body do konvexní obálky, dokud nebude dosažen výchozí bod q.

- Metoda createMMB
  Metoda createMMB vytváří minimální obdélníkový obal a počítá jeho plochu.

```
def createMMB(self, pol: QPolygonF):
    # Create min max box and compute its area

    # Points with extreme coordinates
    p_xmin = min(pol, key=lambda k: k.x())
    p_xmax = max(pol, key=lambda k: k.x())
    p_ymin = min(pol, key=lambda k: k.y())
    p_ymax = max(pol, key=lambda k: k.y())

    # Create vertices
    v1 = QPoint3DF(p_xmin.x(), p_ymin.y())
    v2 = QPoint3DF(p_xmax.x(), p_ymin.y())
    v3 = QPoint3DF(p_xmax.x(), p_ymax.y())
    v4 = QPoint3DF(p_xmin.x(), p_ymax.y())

    # Create new polygon
    mmb = QPolygonF([v1, v2, v3, v4])

    # Area of MMB
    area = (v2.x() - v1.x()) * (v3.y() - v2.y())

    return mmb, area
```

- Najde body s extrémními souřadnicemi.
- Vytváří vrcholy minimálního obdélníkového obalu.
- Vrací obdélníkový obal a jeho plochu.

- Metoda LH
  Metoda LH počítá plochu polygonu pomocí L'Huillierových vzorců

```
# Compute polygon area using LH formula
        area = 0
        n = len(pol)

        # Compute area
        for i in range(n):

             area = area + pol[i].x() * (pol[(i + 1) % n].y() -
                                 pol[(i - 1  +n) % n].y())

        return abs(area) / 2
```

  - Výpočet spočívá v rozdělení plochy na soustavu lichoběžníků a během vlastního výpočtu pak dochází ke sčítání a odčítání ploch těchto lichoběžníků.

- Metoda rotatePolygon
  Metoda rotatePolygon otáčí polygon podle zadaného úhlu.

```
    def rotatePolygon(self, pol: QPolygonF, sig: float):
        # Rotate polygon according to a given angle
        pol_rot = QPolygonF()

        # Process all polygon vertices
        for i in range(len(pol)):
            # Rotate point
            x_rot = pol[i].x() * cos(sig) - pol[i].y() * sin(sig)
            y_rot = pol[i].x() * sin(sig) + pol[i].y() * cos(sig)

            # Create QPoint
            vertex = QPoint3DF(x_rot, y_rot)

            # Add vertex to rotated polygon
            pol_rot.append(vertex)

        return pol_rot
```

  - Otočí všechny vrcholy polygonu podle zadaného úhlu.
  - Vrací otočený polygon.

- Metoda createMBR
  Metoda createMBR vytváří minimální obalový obdélník s minimální plochou.

```
    def createMBR(self, pol: QPolygonF):
        # Create minimum area enclosing rectangle

        # Create convex hull
        ch = self.createCH(pol)

        # Get min-max box, area and sigma
        mmb_min, area_min = self.createMMB(ch)
        sigma_min = 0
```

```
        # Process all segments of ch
        for i in range(len(ch) - 1):

            # Compute sigma
            dx = ch[i + 1].x() - ch[i].x()
            dy = ch[i + 1].y() - ch[i].y()
            sigma = atan2(dy, dx)

            # Rotate convex hull by sigma
            ch_rot = self.rotatePolygon(ch, -sigma)

            # Find min-max box over rotated convex hull
            mmb, area = self.createMMB(ch_rot)

            # Actualize minimum area
            if area < area_min:
                area_min = area
                mmb_min = mmb
                sigma_min = sigma

        # Rotate min-max box
        er = self.rotatePolygon(mmb_min, sigma_min)

        # Resize rectangle
        er_r = self.resizeRectangle(er, pol)

        return er_r
```

  - Vytvoří konvexní obal polygonu.
  - Iterativně otáčí konvexní obal a hledá minimální obalový obdélník.
  - Vrací minimální obalový obdélník.

- Metoda resizeRectangle
  Metoda resizeRectangle mění velikost obdélníku podle plochy polygonu.

```
def resizeRectangle(self, er: QPolygonF, pol: QPolygonF):
      # Building area
      Ab = abs(self.LH(pol))

      # Enclosing rectangle area
      A = abs(self.LH(er))

      # Fraction of Ab and A
      k = Ab / A

      # Center of mass
      x_t = (er[0].x() + er[1].x() + er[2].x() + er[3].x()) / 4
      y_t = (er[0].y() + er[1].y() + er[2].y() + er[3].y()) / 4

      # Vectors
      u1_x = er[0].x() - x_t
      u2_x = er[1].x() - x_t
      u3_x = er[2].x() - x_t
      u4_x = er[3].x() - x_t
      u1_y = er[0].y() - y_t
      u2_y = er[1].y() - y_t
      u3_y = er[2].y() - y_t
      u4_y = er[3].y() - y_t

      # Coordinates of new vertices
      v1_x = x_t + sqrt(k) * u1_x
      v1_y = y_t + sqrt(k) * u1_y
```

```
    v2_x = x_t + sqrt(k) * u2_x
    v2_y = y_t + sqrt(k) * u2_y

    v3_x = x_t + sqrt(k) * u3_x
    v3_y = y_t + sqrt(k) * u3_y

    v4_x = x_t + sqrt(k) * u4_x
    v4_y = y_t + sqrt(k) * u4_y

    # Create new vertices
    v1 = QPoint3DF(v1_x, v1_y)
    v2 = QPoint3DF(v2_x, v2_y)
    v3 = QPoint3DF(v3_x, v3_y)
    v4 = QPoint3DF(v4_x, v4_y)

    # Create rectangle
    er_r = QPolygonF([v1, v2, v3, v4])

    return er_r
```

- Mění velikost obdélníku podle poměru ploch polygonu a obdélníku.
- Vrací upravený obdélník.

- Metoda createERPCA
  Metoda createERPCA vytváří obalující obdélník pomocí PCA (Principal Component Analysis).

```
def createERPCA(self, pol: QPolygonF):
    # Create enclosing rectangle using PCA
    x = []
    y = []

    # Add x,y coordinates to the list
    for p in pol:
        x.append(p.x())
        y.append(p.y())

    # Invert to matrix
    A = array([x, y])

    # Covariance matrix
    C = cov(A)

    # Angular value decomposition
    [U, S, V] = svd(C)

    # Compute sigma
    sigma = atan2(V[0][1], V[0][0])

    # Rotate polygon
    pol_rot = self.rotatePolygon(pol, -sigma)

    # Find min-max box over rotated building
    mmb, area = self.createMMB(pol_rot)

    # Rotate min-max box
    er = self.rotatePolygon(mmb, sigma)

    # Resize rectangle
    er_r = self.resizeRectangle(er, pol)

    return er_
```

- Nejprve se z polygonu pol získají všechny x a y souřadnice a uloží se do seznamů x a y.
- eznamy souřadnic se převádějí na dvourozměrnou matici A.
- Vypočítá se kovarianční matice C z matice A.
- Provede se SVD (Singular Value Decomposition) na kovarianční matici C, což nám poskytne matice U, S a V.
- Úhel sigma se vypočítá jako arcustangens z prvků matice V.
- Polygon pol se otočí o úhel -sigma.
- Najde se minimálně-maximum obalující obdélník (min-max box) pro otočený polygon.
- Min-max box se otočí zpět o úhel sigma.
- Obdélník se přizpůsobí původnímu polygonu pol.
- Upravený obdélník se vrátí jako výsledek.

- Metoda getNearestPoint
  Metoda getNearestPoint vrací bod nejbližší k danému bodu q.

```
def getNearestPoint(self, q: QPoint3DF, points: list[QPoint3DF]):
    # Return point nearest to q

    d_min = inf
    i_min = -1

    # Process all points of the cloud
    for i in range(len(points)):

        # q different from points[i]
        if q != points[i]:
            # Compute distance
            dx = q.x() - points[i].x()
            dy = q.y() - points[i].y()

            d = sqrt(dx ** 2 + dy ** 2)

            # Update minimum
            if d < d_min:
                d_min = d
                i_min = i

    return d_min, i_min
```

  - Proměnné d_min a i_min jsou inicializovány na nekonečno a -1.
  - Prochází se všechny body v seznamu points.
  - Kontroluje se, jestli bod q není stejný jako aktuální bod v iteraci.
  - Vzdálenost mezi body q a aktuálním bodem se vypočítá pomocí Pythagorovy věty.
  - Pokud je vypočtená vzdálenost menší než d_min, aktualizují se hodnoty d_min a i_min.
  - Po iteraci se vrací minimální vzdálenost a index nejbližšího bodu.

- Metoda getPointAndLinePosition
  Metoda getPointAndLinePosition analyzuje pozici bodu vůči linii.

```
def getPointAndLinePosition(self, p: QPoint3DF, p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF):
    # Analyze point and line position

    # Compute vectors u, v
        ux = p2.x() - p1.x()
        uy = p2.y() - p1.y()

        vx = p.x() - p1.x()
        vy = p.y() - p1.y()
```

```
        # Compute test
        t = ux * vy - uy * vx

        # Point if the left half plane
        if t > 0:
            return 1

        # Point if the right half plane
        if t < 0:
            return 0

        # Point on the line
        return -1
```

- Vypočítají se dva vektory u a v, kde u je vektor z p1 do p2 a v je vektor z p1 do p.
- Hodnota t se vypočítá jako determinant matice složené z vektorů u a v.
- Na základě hodnoty t se určí pozice bodu p vůči linii. Pokud je t kladné, bod je vlevo; pokud je záporné, bod je vpravo; pokud je nula, bod je na linii.

- Metoda getDelaunayPoint
  Metoda getDelaunayPoint vrací Delaunayův bod.

```
    def getDelaunayPoint(self, start: QPoint3DF, end: QPoint3DF, points:
                                                    list[QPoint3DF]):
        # Return Delaunay point

        omega_max = 0
        i_max = -1

        # Process all points of the cloud
        for i in range(len(points)):

            # Start and end different from points[i]
            if start != points[i] and end != points[i]:

                # Point in left half-plaine
                if self.getPointAndLinePosition(points[i], start, end) == 1:

                    # Compute angle
                    omega = self.get2VectorsAngle(points[i], start,
                                                  points[i], end)

                    # Update maximum
                    if omega > omega_max:
                        omega_max = omega
                        i_max = i

        return omega_max, i_max
```

- Proměnné omega_max a i_max jsou inicializovány na 0 a -1.
- Prochází se všechny body v seznamu points.
- Kontroluje se, jestli body start a end nejsou stejné jako aktuální bod v iteraci.
- Pokud je aktuální bod vlevo od linie start-end, vypočítá se úhel mezi vektory.
- Pokud je vypočtený úhel větší než omega_max, aktualizují se hodnoty omega_max a i_max.
- Po iteraci se vrací maximální úhel a index bodu tvořícího tento úhel.

- Metoda createDT
  Metoda createDT generuje Delaunayho triangulaci z daného seznamu bodů. Začíná tím, že identifikuje počáteční bod a jeho nejbližšího souseda, aby vytvořila první hranu. Poté metoda iterativně přidává hrany do seznamu aktivních hran (AEL) a konstruuje trojúhelníky tím, že hledá optimální body Delaunayovy triangulace, dokud v AEL nezůstanou žádné další hrany.

```
    def createDT(self, points: list[QPoint3DF]):

        if len(points) < 3:
            return []

        # Create Delaunay triangulation
        dt = []
        ael = []

        # Find initial point
        p1 = min(points, key=lambda k: k.x())

        # Find nearest point
        d_min, idx = self.getNearestPoint(p1, points)
        p2 = points[idx]

        # Create edge and opposite edge
        e = Edge(p1, p2)
        e_op = Edge(p2, p1)

        # Add to ael
        ael.append(e)
        ael.append(e_op)

        # Repeat until ael is empty
        while ael:
            # Take the 1st edge
            e1 = ael.pop()

            # Switch orientation
            e1_op = e1.changeOrientation()

            # Find optimal Delaunay point
            omega_max, idx = self.getDelaunayPoint(e1_op.getStart(),
                                                   e1_op.getEnd(), points)

            # Is there any Delaunay point
            if idx >= 0:
                # Create remaining edges
                e2 = Edge(e1_op.getEnd(), points[idx])
                e3 = Edge(points[idx], e1_op.getStart())

                # Add triangle to dt
                dt.append(e1_op)
                dt.append(e2)
                dt.append(e3)

                # Update
                self.updateAEL(e2, ael)
                self.updateAEL(e3, ael)

        return dt
```

- Zkontroluje, zda je počet bodů menší než 3; pokud ano, vrátí prázdný seznam.
- Identifikuje počáteční bod (p1) s nejmenší x-ovou souřadnicí a najde jeho nejbližšího souseda (p2).
- Vytvoří počáteční hranu (e) a její opačnou hranu (e_op), poté je přidá do seznamu aktivních hran (AEL).
- Dokud není AEL prázdný, vyndá hranu, změní její orientaci a najde optimální bod Delaunayovy triangulace.
- Vytvoří nové hrany pro vytvoření trojúhelníku, přidá je do seznamu triangulace (dt) a aktualizuje AEL.

- Metoda updateAEL
  Metoda updateAEL aktualizuje seznam aktivních hran (AEL) buď přidáním nebo odebráním hrany na základě její orientace. Pokud hrana s opačnou orientací existuje v AEL, odejme ji; jinak ji přidá do seznamu.

```
def updateAEL(self, e: Edge, ael: list[Edge]):
    # Update list of valid Delaunay edges

    # Change orientation
    e_op = e.changeOrientation()

    # Is edge in AEL?
    # Yes, remove edge
    if e_op in ael:
        ael.remove(e_op)

    # No, add to the list
    else:
        ael.append(e)
```

  - Metoda přijímá hranu e a seznam aktivních hran AEL.
  - Změní orientaci hrany e a získá e_op.
  - Zkontroluje, zda je e_op v AEL.
  - Pokud je e_op nalezeno, odstraní e_op z AEL.
  - Pokud e_op není nalezeno, přidá původní hranu e do AEL.

- Metoda getContourPoint
  Metoda getContourPoint vypočítá průsečík úsečky definované dvěma 3D body (p1 a p2) s horizontální rovinou na dané z-ové souřadnici. Vrátí tento průsečík jako nový objekt **QPoint3DF**.

```
def getContourPoint(self, p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, z: float):
    # Compute intersection point

     xb = (p2.x() - p1.x()) / (p2.getZ() - p1.getZ()) * (z - p1.getZ())+
                                                          p1.x()
    yb = (p2.y() - p1.y()) / (p2.getZ() - p1.getZ()) * (z - p1.getZ()) +
                                                          p1.y()

    return QPoint3DF(xb, yb, z)
```

  - Vypočítá x-ovou a y-ovou souřadnici (xb, yb) průsečíku pomocí lineární interpolace mezi body p1 a p2 na základě dané hodnoty z.
  - Vrátí objekt **QPoint3DF** s xb, yb a vloženého z

- Metoda Create CountourLines
  Metoda CreateCountourLines generuje vrstevnice pro daný soubor trojúhelníků (Delaunayho triangulace) v určeném rozsahu hodnot z a kroku. Identifikuje průsečíky mezi horizontálními rovinami na různých rovinách z a hranami trojúhelníků, vytvářející izolinie tam, kde se tyto průsečíky objevují.

```
    def CreateCountourLines(self, dt: list[Edge], zmin: float, zmax: float,
dz: float):
        # Create contour lines inside interval zmin, zmax and with step dz
        contours = []

        # Process all triangles
        for i in range(0, len(dt), 3):
            # Get triangle verticies
            p1 = dt[i].getStart()
            p2 = dt[i].getEnd()
            p3 = dt[i + 1].getEnd()

            # Z of points
            z1 = p1.getZ()
            z2 = p2.getZ()
            z3 = p3.getZ()

            # Test horizontal plane and triangle intersections
            for z in range(zmin, zmax, dz):
                # mpute height differences
                dz1 = z - z1
                dz2 = z - z2
                dz3 = z - z3

                # Triangle is coplanar
                if dz1 == 0 and dz2 == 0 and dz3 == 0:
                    continue

                # Edge (1, 2) in plane
                elif dz1 == 0 and dz2 == 0:
                    contours.append(dt[i])

                # Edge (2, 3) in plane
                elif dz2 == 0 and dz3 == 0:
                    contours.append(dt[i + 1])

                # Edge (3, 1) in plane
                elif dz3 == 0 and dz1 == 0:
                    contours.append(dt[i + 2])

                # Edges (1,2) & (2,3) intersected by plane
                elif dz1 * dz2 <= 0 and dz2 * dz3 < 0 or dz1 * dz2 < 0 and
                                                        dz2 * dz3 <= 0:
                    # Contour intersections
                    a = self.getContourPoint(p1, p2, z)
                    b = self.getContourPoint(p2, p3, z)

                    # Create new edge/line
                    e = Edge(a, b)

                    # Add edge to the list
                    contours.append(e)

                # Edges (2,3) & (3,1) intersected by plane
                elif dz2 * dz3 <= 0 and dz3 * dz1 < 0 or dz2 * dz3 < 0 and
                                                        dz3 * dz1 <= 0:
                    # Contour intersections
                    a = self.getContourPoint(p2, p3, z)
```

```
                    b = self.getContourPoint(p3, p1, z)

                    # Create new edge/line
                    e = Edge(a, b)

                    # Add edge to the list
                    contours.append(e)

                # Edges (3,1) & (1,2) intersected by plane
                elif dz3 * dz1 <= 0 and dz1 * dz2 < 0 or dz3 * dz1 < 0 and
                                                        dz1 * dz2 <= 0:
                    # Contour intersections
                    a = self.getContourPoint(p3, p1, z)
                    b = self.getContourPoint(p1, p2, z)

                    # Create new edge/line
                    e = Edge(a, b)

                    # Add edge to the list
                    contours.append(e)

        return contours
```

- Incializuje prázdný seznam contours pro uložení výsledných kót.
- Prochází seznam hran po krocích 3, aby zpracoval každý trojúhelník.
- Pro každý trojúhelník získá z-hodnoty jeho vrcholů.
- Pro každou z-hodnotu v určeném rozsahu zkontroluje průsečíky mezi horizontální rovinou a hranami trojúhelníka.
- Pokud jsou nalezeny průsečíky, vytvoří nové hrany představující vrstevnice a přidá je do seznamu contours.

- Metoda getAspect
  Metoda getAspect vypočítá expozici trojúhelníku tvořeného třemi body v 3D prostoru. Expozice je určena výpočtem normálového vektoru k rovině trojúhelníku a následným nalezením úhlu mezi normálovým vektorem a y-ovou osou pomocí funkce atan2.

```
def getAspect(self, p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, p3: QPoint3DF):
        # Compute triangle slope

        # Vectors
        ux = p1.x() - p2.x()
        uy = p1.y() - p2.y()
        uz = p1.getZ() - p2.getZ()

        vx = p3.x() - p2.x()
        vy = p3.y() - p2.y()
        vz = p3.getZ() - p2.getZ()

        # Normal vector
        nx = uy * vz - uz * vy
        ny = -ux * vz + uz * vx

        # Aspect
        return atan2(nx, ny)
```

- Vypočtěte vektory u a v od p1 k p2 a od p3 k p2.
- Vypočtěte normálový vektor n k rovině trojúhelníku pomocí vektorového součinu u a v.
- Vypočtěte hodnotu expozice nalezením úhlu mezi normálovým vektorem a y-ovou osou pomocí funkce atan2.

- Metoda analyzeDTMSlopeAndAspect
  Metoda analyzeDTMSlopeAndAspect zpracovává seznam hran Delaunayovy triangulace k výpočtu sklonu a expozice pro každý vytvořený trojúhelník. Vrací seznam objektů **Triangle** obsahujících tyto vypočtené hodnoty.

```
def analyzeDTMSlopeAndAspect(self, dt):
        # Analyze DTM slope and aspect
        triangles = []

        # Process all triangles
        for i in range(0, len(dt), 3):
            # Get triangle verticies
            p1 = dt[i].getStart()
            p2 = dt[i].getEnd()
            p3 = dt[i + 1].getEnd()

            # Compute slope
            slope = self.getSlope(p1, p2, p3)

            # Compute aspect
            aspect = self.getAspect(p1, p2, p3)

            # Create triangle
            triangle = Triangle(p1, p2, p3, slope, aspect)

            # Add triangle to list
            triangles.append(triangle)

        return triangles
```

  - Incializuje prázdný seznam triangles.
  - Prochází seznam dt po krocích 3, aby zpracoval každý trojúhelník.
  - Extrahuje vrcholy každého trojúhelníku.
  - Vypočte sklon a expozici pro každý trojúhelník.
  - Vytvoří objekt **Triangle** s vrcholy, sklonem a expozicí.
  - Připojí objekt **Triangle** do seznamu triangles.

Třída **IO** (inpout.py)

Třída, která obsahuje metody pro načítání a zpracování Shapefile souborů.

- Metoda loadGeometries
  Metoda pro načítání 3D bodových geometrií ze Shapefile. Iteruje přes každý záznam ve Shapefile a vytváří objekty **QPoint3DF** pro každý bod.

```
def loadGeometries(self, fileName):
        # Method to load 3D point geometries from a Shapefile
        points = []
        # Opening the Shapefile
        with fiona_open(fileName) as shapefile:
            # Iterating through each record in the Shapefile
            for record in shapefile:
                geom = shape(record['geometry'])
                if isinstance(geom, Point):
                    x, y, z = geom.x, geom.y, geom.z if geom.has_z
                                                        else 0
                    points.append(QPoint3DF(x, y, z))
        # Returning list of 3D points
        return points
```

- Inicializuje prázdný seznam points.
- Otevře Shapefile soubor pomocí fiona_open.
- Iteruje každý záznam v Shapefile souboru.
- Převede geometrii každého záznamu na Shapely bod.
- Extrahuje souřadnice x, y a z z bodu a připojí je jako objekty **QPoint3DF** do seznamu points.
- Vrátí seznam objektů **QPoint3DF**.

- Metoda createPoints
  Metoda pro vytváření PyQt 3D bodů z bodů Shapely. Iteruje přes každý bod a vytváří objekty **QPoint3DF**.

```
def createPoints(self, points):
    # Method to create PyQt 3D points from Shapely points
    qpoints = []
    # Iterating through each point
    for pt in points:
        qpoint = QPoint3DF(pt.x(), pt.y() * (-1), pt.getZ())
        qpoints.append(qpoint)
    return qpoints
```

  - Inicializuje prázdný seznam qpoints.
  - Iteruje přes každý bod ve vstupním seznamu points.
  - Pro každý bod vytvoří objekt **QPoint3DF** se souřadnicí x, převrácenou souřadnicí y a souřadnicí z.
  - Přidá vytvořený objekt **QPoint3DF** do seznamu qpoints.
  - Vrátí seznam qpoints.

- Metoda scaleAndTranslatePoints
  Metoda scaleAndTranslatePoints zmenší a posune seznam 3D bodů (objektů **QPoint3DF**) na základě zadaného měřítka a hodnot posunu souřadnic x a y.

```
def scaleAndTranslatePoints(self, points, s, shift_x, shift_y):
    # Method to scale and translate points
    scaled_translated_points = [QPoint3DF(point.x() * s - shift_x,
                            point.y() * s - shift_y, point.getZ())
                               for point in points]
    return scaled_translated_points
```

  - Iteruje přes každý bod v seznamu bodů.
  - Pro každý bod změní měřítko souřadnic x a y koeficientem s.
  - Od zmenšených souřadnic x a y odečte hodnoty posunu shift_x a shift_y.
  - Vytvoří se nový objekt QPoint3DF se zmenšenými a posunutými souřadnicemi a původní souřadnicí z.
  - Nový objekt QPoint3DF přidá do seznamu scaled_translated_points.

- Metoda processPointCoordinates
  Metoda processPointCoordinates získá souřadnice x, y a z ze seznamu objektů **QPoint3DF** a vrátí je jako tři samostatné seznamy.

```
def processPointCoordinates(self, points):
    # Method to process coordinates of points
    x_crds = [point.x() for point in points]
    y_crds = [point.y() for point in points]
    z_crds = [point.getZ() for point in points]
    return x_crds, y_crds, z_crds
```

- Inicializuje tři seznamy pro uložení souřadnic x, y a z.
- Iteruje přes každý objekt **QPoint3DF** v seznamu points.
- Získá souřadnice x, y a z z každého bodu.
- Vrátí tři seznamy obsahující souřadnice x, y a z.

- Metoda loadData
  Metoda loadData načte 3D body ze Shapefile souboru, zpracuje jejich souřadnice, upraví měřítko a posun tak, aby se vešly do zadané velikosti okna, a vrátí transformované body (**QPoint3DF**).

```
def loadData(self, w, h):
    # Method to load Shapefile after selecting it
    if self.dia.exec():
        selected_files = self.dia.selectedFiles()
        if not selected_files:
            # For user closing the dialog without selecting any file
            exit()

        # Initializing extreme values
        x_min = float('inf')
        y_min = float('inf')
        x_max = float('-inf')
        y_max = float('-inf')

        # Loading point geometries from selected Shapefile
        points = self.loadGeometries(selected_files[0])
        # Creating QPoint3DF from loaded geometries
        qpoints = self.createPoints(points)

        all_x, all_y, all_z = self.processPointCoordinates(qpoints)

        # Updating extreme coordinates of points if necessary
        x_min = min(all_x)
        y_min = min(all_y)
        x_max = max(all_x)
        y_max = max(all_y)

        # Calculating height and width of bounding box
        H = y_max - y_min
        W = x_max - x_min

        # Calculating height ratio and width ratio
        ratio_h = h / H
        ratio_w = w / W

        mean_x = mean(all_x)
        mean_y = mean(all_y)

        # Calculating scaling factor
        scale = min(ratio_w, ratio_h) * 0.9

        center_X = mean_x * scale
        center_Y = mean_y * scale

        # Calculating center of the window
        center_x = w / 2
        center_y = h / 2

        # Calculating shift in X-direction and Y-direction
        shift_x = center_X - center_x
        shift_y = center_Y - center_y

        # Scaling and translating points
```

```
            Data = self.scaleAndTranslatePoints(qpoints, scale, shift_x,
shift_y)

            return Data
        else:
            pass
```

- Otevře dialogové okno pro výběr Shapefile souboru.
- Načte 3D body z vybraného Shapefile souboru.
- Zpracuje souřadnice bodů a vyhledá extrémní hodnoty.
- Vypočítá měřítko a posuny, aby se body vešly do zadané velikosti okna.
- Změní měřítko a posun bodů a vrátí transformované body.

Třída **Draw** (draw.py):

Třída vykresluje body, vrstevnice a analýzy terénu.

- Metoda mousePressEvent
  Metoda mousePressEvent zpracovává kliknutí myší ve vykreslovacím okně. Zachytí polohu kurzoru, načte konfigurační hodnoty z-ových souřadnic, vygeneruje náhodnou z-ovou souřadnici v zadaném rozsahu, vytvoří nový 3D bod, přidá jej do mračna bodů a spustí překreslení obrazovky.

```
def mousePressEvent(self, e: QMouseEvent):
        # Block using in Pane class in TD.py

        # Get cursor position
        x = e.position().x()
        y = e.position().y()

        # Get zmin and zmax values from the configuration file
        with open("settings.conf", "r") as file:
            # Reading the configuration file
            lines = file.readlines()
            # Extracting the values of zmin, zmax
            zmin = int(round(float(lines[0].strip())))
            zmax = int(round(float(lines[1].strip())))

        z = random() * (zmax - zmin) + zmin

        # Create new point
        p = QPoint3DF(x, y, z)

        # Add point to point cloud
        self.points.append(p)

        # Repaint screen
        self.repaint()
```

  - Zachytí polohu kurzoru z myši.
  - Přečte hodnoty zmin a zmax z konfiguračního souboru.
  - Vygeneruje náhodnou z-ovou souřadnici v rozsahu zmin a zmax.
  - Vytvoří nový objekt **QPoint3DF** se získanými hodnotami x, y a vygenerovanou hodnotou z.
  - Přidá nový bod do seznamu bodů a překreslí widget kreslícího plátna.

- Metoda paintEvent
  Metoda paintEvent je zodpovědná za vykreslení různých grafických prvků na widgetu. Vykresluje barevnou hypsometrii, sklon, expozici, Delaunayovu triangulaci, vrstevnice a body na základě aktuálního stavu instance třídy **Draw**.

```
def paintEvent(self, e: QPaintEvent):
        # Draw situation
        qp = QPainter(self)
        qp.begin(self)

        # Draw hypsometric tints
        if self.draw_hypso and self.triangles:

            # Get zmin and zmax values from vertices for all triangles
            zmin = min(t.getMinZ() for t in self.triangles)
            zmax = max(t.getMaxZ() for t in self.triangles)

            # Paint lowest triangle green and highest brown
            for t in self.triangles:
                # Get the Z values of the triangle vertices
                z1, z2, z3 = t.getZValues()
                meanZ = (z1 + z2 + z3) / 3

                # Normalize the Z value from zmin to zmax to a range of 0 to
1
                normalizedZ = (meanZ - zmin) / (zmax - zmin)

                # Calculate RGB values based on the normalized Z value
                # Using colors scheme from dark green to red
                #
                if normalizedZ < 1 / 3:
                    r = 0
                    g = int(255 * (normalizedZ * 3))
                    b = 0
                #
                elif normalizedZ < 2 / 3:
                    r = int(255 * (normalizedZ - 1 / 3) * 3)
                    g = 255
                    b = 0
                else:
                    r = 255
                    g = int(255 * (1 - (normalizedZ - 2 / 3) * 3))
                    b = 0

                # Create a QColor from the calculated RGB values
                col = QColor(r, g, b)

                # Create a QPolygonF from the triangle vertices
                polygon = t.getVertices()

                # Set the brush to the calculated color
                qp.setBrush(col)

                # Draw the polygon
                qp.drawPolygon(polygon)

        if self.draw_slope:
            # Draw triangles: slope
            for t in self.triangles:
                vertices = t.getVertices()
                slope = t.getSlope()
                RGB = int(255 - slope * 2 * 255 / pi)
                col = QColor(RGB, RGB, RGB)
                qp.setBrush(col)
                qp.drawPolygon(vertices)

        if self.draw_aspect:
            # Draw triangles: aspect
```

```
    for t in self.triangles:
        vertices = t.getVertices()
        aspect = t.getAspect()

        # Normalize the aspect value from -pi to +pi to a range of 0
                                                                    to 1
        normalized_aspect = (aspect + pi) / (2 * pi)

        # Calculate RGB values based on the normalized aspect value
        if 0 <= normalized_aspect < 1 / 4:  # Blue to Green
            r = 0
            g = int(255 * (normalized_aspect * 4))
            b = int(255 * (1 - normalized_aspect * 4))
        elif 1 / 4 <= normalized_aspect < 1 / 2:  # Green to Yellow
            r = int(255 * (normalized_aspect - 1 / 4) * 4)
            g = 255
            b = 0
        elif 1 / 2 <= normalized_aspect < 3 / 4:  # Yellow to Red
            r = 255
            g = int(255 * (1 - (normalized_aspect - 1 / 2) * 4))
            b = 0
        else:  # Red to Blue
            r = int(255 * (1 - (normalized_aspect - 3 / 4) * 4))
            g = 0
            b = int(255 * ((normalized_aspect - 3 / 4) * 4))

        # Create a QColor from the calculated RGB values
        col = QColor(r, g, b)

        # Set the brush to the calculated color
        qp.setBrush(col)

        # Draw the polygon with the specified vertices
        qp.drawPolygon(vertices)

# Draw Delaunay triangulation
if self.draw_dt:
    qp.setPen(QPen(Qt.GlobalColor.green))
    for e in self.dt:
        qp.drawLine(int(e.getStart().x()), int(e.getStart().y()),
                    int(e.getEnd().x()), int(e.getEnd().y()))

# Draw contour lines
qp.setPen(QPen(Qt.GlobalColor.red, 2))

if self.draw_contours:
    # Draw contour lines
    # Get unique Z values and sort them
    unique_z_values = sorted(set(e.getEnd().getZ() for e in
                                                 self.contours))
    # Create a dictionary to map Z values to indices
    z_value_to_index = {z: idx for idx, z in
                                enumerate(unique_z_values)}
    # Counter to keep track of the number of contour segments drawn
    text_counter = 0

    for e in self.contours:
        z_value = e.getEnd().getZ()
        if (z_value_to_index[z_value] + 1) % 5 == 0:
            qp.setPen(QPen(Qt.GlobalColor.red, 4))
           # Twice as wide for every 5th unique Z value
        else:
            qp.setPen(QPen(Qt.GlobalColor.red, 2))
```

```
                qp.drawLine(int(e.getStart().x()), int(e.getStart().y()),
                            int(e.getEnd().x()), int(e.getEnd().y()))

                # Set font size and draw Z value only for every 5th contour
                                                                    segment
                text_counter += 1
                if text_counter % 5 == 0:
                    font = qp.font()
                    font.setPointSize(12)
                    font.setBold(True)
                    qp.setFont(font)
                    qp.drawText(int(e.getEnd().x() + 5), int(e.getEnd().y() +
                                                          5), str(z_value))

        # Draw points as crosses
        qp.setPen(QPen(Qt.GlobalColor.blue, 2))
        length = 5
        # if p is NoneType, pass
        if self.points:
            for p in self.points:
                qp.drawLine(int(p.x()), int(p.y() - length), int(p.x()),
                                                    int(p.y() + length))
                qp.drawLine(int(p.x() - length), int(p.y()), int(p.x() +
                                                    length), int(p.y()))
        else:
            # Make p a empty list and not NoneType
            self.points = []

        qp.end()
```

- Inicializuje objekt QPainter, který se stará o kreslení.
- Vykreslí barevnou hypsometrii, pokud je povoleno **draw_hypso** a jsou k dispozici trojúhelníky.
- Vykreslí stínování svahu, pokud je povoleno **draw_slope**.
- Vykreslí stínování expozice, pokud je povoleno **draw_aspect**.
- Vykreslí Delaunayovy trojúhelníky, pokud je povoleno **draw_dt**.
- Vykreslí vrstevnice, pokud je povolena funkce **draw_contours**.
- Vykreslí body jako křížky.

- Metoda getPoints
  Metoda getPoints je jednoduchá funkce, která vrací seznam bodů aktuálně uložených v třídě **Draw**.

```
    def getPoints(self):
        # Return points
        return self.points
```

- Metoda clearAll
  Metoda clearAll vymaže veškeré vykreslené objekty na plátně, včetně bodů, Delaunayovy triangulace, vrstevnic a trojúhelníků, a poté překreslí obrazovku.

```
def clearAll(self):
    # Clear points
    self.points.clear()

    # Clear triangles
    self.dt.clear()

    # Clear DT
    self.dt.clear()

    # Clear contour lines
```

```
        self.contours.clear()

        # Clear triangles
        self.triangles.clear()

        # Repaint screen
        self.repaint()
```

  - Vymaže seznam bodů, Delaunayovu triangulaci, seznam vrstevnic a seznam trojúhelníku (s hodnotami sklonu a expozice)
  - Překreslí obrazovku.

- Metoda clearResults
  Metoda clearResults vymaže výsledky vykreslování, včetně Delaunayovy triangulace, DT, vrstevnic a trojúhelníků, a poté překreslí obrazovku. Natozdíl od funkce **clearAll** zachová vykreslené body.

```
def clearResults(self):
    # Clear triangles
    self.dt.clear()

    # Clear DT
    self.dt.clear()

    # Clear contour lines
    self.contours.clear()

    # Clear triangles
    self.triangles.clear()

    # Repaint screen
    self.repaint()
```

  - Vymaže Delaunayovu triangulaci, seznam vrstevnic a seznam trojúhelníku (s hodnotami sklonu a expozice)
  - Překreslí obrazovku.

- Metoda setDT
  Metoda setDT nastaví Delaunayovu triangulaci na zadaný seznam hran dt.

```
def setDT(self, dt: list[Edge]):
    # Set DT
    self.dt = dt
```

- Metoda getDT
  Metoda getDT vrátí aktuální Delaunayovu triangulaci (DT).

```
def getDT(self):
    # Get DT
    return self.dt
```

- Metoda setTriangles
  Nastaví trojúhelníky na zadaný seznam triangles.

```
def setTriangles(self, triangles: list[Triangle]):
    # Set triangles
    self.triangles = triangles
```

- Metoda setDrawDT
  Nastaví, zda se má vykreslovat Delaunayova triangulace podle hodnoty draw_dt.

```
def setDrawDT(self, draw_dt):
    # Set draw DT
    self.draw_dt = draw_dt
```

- Metoda setPoints
  Nastaví body na zadaný seznam points.

```
def setPoints(self, points):
    # Set points
    self.points = points
```

- Metoda setDrawContours
  Nastaví, zda se mají vykreslovat vrstevnice podle hodnoty draw_contours.

```
def setDrawContours(self, draw_contours):
    # Set draw contour lines
    self.draw_contours = draw_contours
```

- Metoda setDrawSlope
  Nastaví, zda se má vykreslovat sklon podle hodnoty draw_slope.

```
def setDrawSlope(self, draw_slope):
    # Set draw slope
    self.draw_slope = draw_slope
```

- Metoda setDrawAspect
  Nastaví, zda se má vykreslovat expozice podle hodnoty draw_aspect.

```
def setDrawAspect(self, draw_aspect):
    # Set draw aspect
    self.draw_aspect = draw_aspect
```

- Metoda getContours
  Metoda getContours vrátí aktuální vrstevnice.

```
def getContours(self):
    # Get contour lines
    return self.contours
```

Třída **Ui_Dialog** (Settings.py)

Třída Ui_Dialog je zodpovědná za tvorbua dialogového okna v aplikaci PyQt6. Načte počáteční nastavení z konfiguračního souboru, zobrazí je v dialogovém okně a umožní uživateli tato nastavení upravit a uložit. Metoda je generována v sw. Qt Designer.

- Metoda setupUi
  Metoda setupUi nastaví uživatelské rozhraní dialogového okna, načte konfigurační hodnoty a inicializuje grafické prvky.

```
def setupUi(self, Dialog):
    self.Dialog = Dialog  # Store the Dialog instance as an attribute
    with open("settings.conf", "r") as file:
        # Reading the configuration file
        lines = file.readlines()
        # Extracting the values of zmin, zmax, and dz
        self.zmin = int(round(float((lines[0]))))
```

```
            self.zmax = int(round(float((lines[1]))))
            self.dz = int(round(float((lines[2]))))

        Dialog.setObjectName("Dialog")
        Dialog.resize(421, 309)
        Dialog.setWindowIcon(QtGui.QIcon("images/icons/settings.png"))
          . . .
    self.retranslateUi(Dialog)
        self.Settings.accepted.connect(self.saveSettings)  # type: ignore
        self.Settings.rejected.connect(Dialog.reject)  # type: ignore
        QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(Dialog)
```

  - Načte konfigurační hodnoty zmin, zmax, a dz ze souboru settings.conf.
  - Nastaví vlastnosti dialogového okna a jeho grafických prvků, včetně tlačítek a vstupních polí.
  - Připojí signály k odpovídajícím tlačítkům.

- Metoda retranslateUi
  Metoda retranslateUi je zodpovědná za nastavení textových popisků a titulků v uživatelském rozhraní. Je vygenerována v sw. QtDesigner.

- Metoda getZmin
  Získá hodnotu z textového pole lineEdit a vrátí ji jako minimální výšku vrstevnice.

```
def getZmin(self):
    # Get the minimum contour line height
    self.zmin = float(self.lineEdit.text())
    return self.zmin
```

- Metoda getZmax
  Získá hodnotu z textového pole lineEdit_2 a vrátí ji jako maximální výšku vrstevnice.

```
def getZmax(self):
    # Get the maximum contour line height
    self.zmax = float(self.lineEdit_2.text())
    return self.zmax
```

- Metoda getDz
  Získá hodnotu z textového pole lineEdit_3 a vrátí ji jako interval výšky vrstevnice.

```
def getDz(self):
    # Get the contour line height interval
    self.dz = float(self.lineEdit_3.text())
    return self.dz
```

- Metoda saveSettings
  Metoda saveSettings uloží nová nastavení do konfiguračního souboru settings.conf a uzavře dialogové okno.

```
def saveSettings(self):
    # Get the new settings
    zmin = self.getZmin()
    zmax = self.getZmax()
    dz = self.getDz()

    # Write the new settings to the settings.conf file
    with open("settings.conf", "w") as file:
        file.write(f"{zmin}\n{zmax}\n{dz}\n")

    # Close the dialog
    self.Dialog.accept()
```

- Získá nové hodnoty zmin, zmax, a dz z textových polí.
- Zapíše nové hodnoty do konfiguračního souboru settings.conf.
- Uzavře dialogové okno přijetím dialogu.

Třída **QPoint3DF** (QPoint3DF.py)

Třída QPoint3DF rozšiřuje třídu QPointF o třetí rozměr z.

- Metoda getZ
  Metoda getZ vrátí z-tovou souřadnici 3D bodu

```
def getZ(self):
    # Method to get the z-coordinate of the point
    return self.z
```

Třída **Edge** (Edge.py)

Třída Edge představuje úsečku ve 3D prostoru definovanou dvěma body (začátek a konec) typu **QPoint3DF**.

- Metoda getStart
  Metoda getStart vrátí počáteční bod linie (**QPoint3DF**)

```
def getStart(self):
    return self.start
```

- Metoda getEnd
  Metoda getEnd vrátí koncový bod linie (**QPoint3DF**)

```
def getEnd(self):
    return self.end
```

- Metoda changeOrientation
  Metoda changeOrientation vytvoří nový objekt Edge s prohozeným počátečním a koncovým bodem.

```
def changeOrientation(self):
    return Edge(self.end, self.start)
```

Třída **Triangle** (Triangle.py)

třída Triangle představuje 3D trojúhelník definovaný třemi vrcholy, z nichž každý je reprezentován objektem QPoint3DF. Obsahuje též hodnotu expozice a sklonu pro takový trojúhelník.

- Metoda getVerticies
  Metoda getVertices vrací 2D projekci vrcholů trojúhelníku jako objekt **QPolygonF**.

```
def getVertices(self):
    # Method to get the vertices of the triangle
    return QPolygonF([QPointF(p.x(), p.y()) for p in self.vertices])
```

- Metoda getSlope
  Metoda getSlope vrací hodnotu sklonu objektu Triangle.

```
def getSlope(self):
    # Method to get the slope of the triangle
    return self.slope
```

- Metoda getAspect
  Metoda getAspect vrací hodnotu expozice objektu Triangle.

```
def getAspect(self):
    # Method to get the aspect of the triangle
    return self.aspect
```

- Metoda getZValues
  Metoda getZValues získá z-ové souřadnice všech vrcholů objektu Triangle.

```
def getZValues(self):
    # Method to get the z-values of the vertices of the triangle
    return [p.getZ() for p in self.vertices]
```

- Metoda getMinZ
  Metoda getMinZ vrací minimální hodnotu z z vrcholů trojúhelníku.

```
def getMinZ(self):
    # Method to get the minimum z-value of the triangle
    return min(self.getZValues())
```

- Metoda getMaxZ
  Metoda getMaxZ vrací maximální hodnotu z z vrcholů trojúhelníku.

```
def getMaxZ(self):
    # Method to get the maximum z-value of the triangle
    return max(self.getZValues())
```