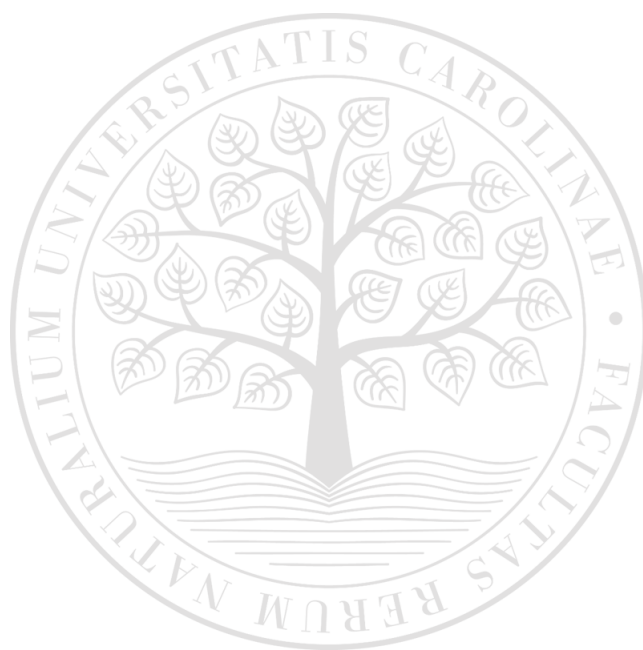


Prírodovedecká fakulta Univerzity Karlovej

Katedra aplikovanej geoinformatiky a kartografie



Algoritmy počítačovej kartografie

Zadanie č. 3: Digitálny model terénu a jeho analýza

Bc. Filip Kradijan Seider

Bc. Peter Dúbrava

2023/2024

L^AT_EX

Zadanie

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

Výstup: polyedrický DMT nad množinou P reprezentovaný obrysami, doplnený vizualizáciou sklonu trojuholníkov a ich expozíciou.

Na vytvorenie 2D Delaunayovej triangulácie nad množinou P vstupných bodov použite metódu inkrementálnej konštrukcie. Ako vstupné údaje použite existujúce geodetické údaje (aspoň 300 bodov) alebo navrhните algoritmus na vytvorenie syntetických vstupných údajov reprezentujúcich významné tvary reliéfu (hromada, údolie, odpočinok, hrebeň, ...).

Vhodne vizualizujte súbory vstupných bodov vrátane nižšie uvedených výstupov. Implementujte grafické rozhranie pomocou rámca QT. Implementujte dynamické dátové štruktúry pomocou STL.

Nad výslednou trianguláciou vytvorte polyedrický digitálny model terénu. Potom vykonajte nasledujúce analýzy:

- Pomocou lineárnej interpolácie vygenerujte obrysy s určeným krokom a v určenom intervale, vykonajte ich vizualizáciu s rozlíšením zvýraznených kontúr.
- Analyzujte sklon digitálneho modelu terénu, vizualizujte jednotlivé trojuholníky podľa ich sklonu.
- Analyzovať expozíciu digitálneho modelu terénu, vizualizovať jednotlivé trojuholníky v závislosti od ich expozície voči svetovým stranám.

Vyhodnoťte výsledný digitálny model terénu z kartografického hľadiska, zamyslite sa nad slabými stránkami algoritmu založeného na 2D Delaunayovej triangulácii. V ktorých situáciách (rôzne tvary terénu) neposkytne vhodné výsledky? Graficky znázornite tieto situácie.

Vyhodnoťte výsledný digitálny model terénu z kartografického hľadiska, zamyslite sa nad slabými stránkami algoritmu založeného na 2D Delaunayovej triangulácii. V ktorých situáciách (rôzne tvary terénu) neposkytne vhodné výsledky? Graficky znázornite tieto situácie.

Vyhodnoťte výkonnosť algoritmu vrátane príkladov aspoň na 3 strany A4.

Úloha	Hodnotenie
Delaunay triangulácia, polyedrický model terénu.	10b
Konštrukcia vrstevníc, analýza sklonu a expozície	10b
Spolu	20b

Problematika

Realistické zobrazenie 3D povrchu Zeme je náročné, pretože ide o nepravidelný a členitý objekt. Niektoré miesta sú hladké, iné ostré, čo spôsobuje problémy pri ich aproximácii. Digitálny model terénu (DMT) je program na popis terénu v 3D. Terén je rozdelený na menšie plôšky, ktoré môžu byť aj zakrivené. Najčastejšie sa používajú plochy opísateľné polynomicnými funkciami, ktoré plynulo na seba nadväzujú, aby bola zaručená spojitosť derivácií do určitého rádu. Tento proces prináša mnohé teoretické problémy, hlavne matematického charakteru (Vaníček 2024).

V geopriestorovej analýze sú digitálne modely kľúčové pre pochopenie povrchu Zeme. Často sa ale stretneme aj s inými typmi modelov. Zatiaľ čo DTM sa zameriava na výšku holého povrchu Zeme bez povrchových objektov, tak DMR (digitálny model reliéfu) zachytávajú výškové údaje prírodných aj človekom vytvorených objektov (vegetácia, budovy). DMR sa používajú pri urbanistickom plánovaní, solárnom hodnotení a plánovaní sietí. DTM pomáhajú pri štúdiách povodia, erózie pôdy a hodnotení rizika záplav. Voľba správneho modelu závisí od toho, či projekt zahŕňa umelé a prírodné štruktúry alebo iba terén (Nordansjö, 2024).

Podľa Bayera (2008) sa môže DTM deliť na nasledujúce modely:

- Polyedricky model sa skladá z nepravidelných trojuholníkov, ktoré pokrývajú celé územie a majú spoločnú najvzššiu hranu. Na jeho tvorbu sa najčastejšie využíva triangulačný algoritmus.
- Rastrový, alebo aj gridový model je tvorený pravidelnou štvorcovou sieťou, ktorú je možné rozdeliť aj na trojuholníky. Táto metóda sa neprispôsobuje terénu, čo môže v niektorých jeho miestach spôsobovať nadsbztok, či nedostatok bodov.
- Plátový model je z estetického hľadiska lepší ako predchádzajúce dva modely, avšak náročnejší. Medzi susednými plochami vytvára hladké prechody s využitím plátov. Tieto pláty môžu mať trojuholníkový, ale aj štvorcový tvar.

Tvorba digitálne modelu terénu

Postup tvorby DTM prebieha v niekoľkých fázach, ako napríklad získavanie vstupných dát a vytvorenie triangulácie z povinných hrán. Kvalita vytvoreného DTM závisí od rozmiestnenia bodov (ideálne v miestach so zmenou sklonu a minimalizovaním veľkých plôch bez bodov), typu triangulačného algoritmu (*Delaunayho*, *Minimum Weight*) a plátov (najlepšie výsledky majú Beziérové kubické pláty), či aj od presnosti vstupných dát (Bayer, 2008).

Polyedricky typ DMT využíva sieť trojuholníkových plôch vytvorenú trianguláciou. Triangulačný algoritmus prepája trojice vrcholov do roviny v \mathbb{R}^3 , čím vzniká nepravidelný mnohosten (polyéder), ktorý sa prispôbuje terénu. TIN (*Triangular Irregular Network*) je efektívny pri heterogénnych povrchoch, pretože oblasti s väčšou variabilitou sú uložené podrobnejšie pomocou väčšieho počtu dátových bodov a homogénne oblasti sú uložené pomocou mála dátových bodov. Inými slovami, TIN môže byť podrobnejší tam, kde je povrch zložitý (s vysokou variabilitou) použitím menších plôch, a menej podrobný tam, kde je povrch homogénnejší použitím väčších plôch (Brúha, 2016; Lim & Pilesjö, 2022).

Delaunayho triangulácia

Delaunayova triangulácia (DT) je jednou z najpopulárnejších a najčastejšie používaných metód na generovanie trojuholníkových sietí. Posledných 20 rokov bola intenzívne študovaná, hoci základy boli položené už začiatkom 20. storočia (Voronoi, Delaunay). Výsledné trojuholníky sa spomedzi všetkých známych triangulácií najviac približujú rovnostranným (Maur, 2002). Bayer vo svojej knihe uvádza nasledujúce vlastosti:

- Vo vnútri žiadnej kružnice z opísaných trojuholníkov $t_j \in DT$ neleží žiaden z bodov množiny P .
- DT maximalizuje minimálny úhol v $\forall t$, avšak DT neminimalizuje maximálny uhol v trojuholníku.
- DT je lokálne aj globálne optimalizovaný voči kritériu minimálneho uhla.

- DT je jednoznačná, pokiaľ žiadne štyri body neležia na kružnici, inak existuje viacero varian (dochádza k tomu hlavne pri pravidelnej sieti bodov).

Existuje viacero priamych metód tvorby DT, avšak pre účely tohto cvičenia nás zaujíma iba inkrementálna konštrukcia so zložitou ($O(n^3)$). Túto metódu je možné využiť ako v 2D (kružnica), tak aj v 3D (sféra) a je založená na princípe postupného pridávania bodov. Dostaneme tak rovinu rozdelenú na tojuholníky, pri ktorých platí, že ľubovoľné dva trojuholníky majú spoločnú maximálne jednu hranu a zjednotením všetkých trojuholníkov sa vytvorí konvexný obal množiny bodov P (Vaníček, 2010).

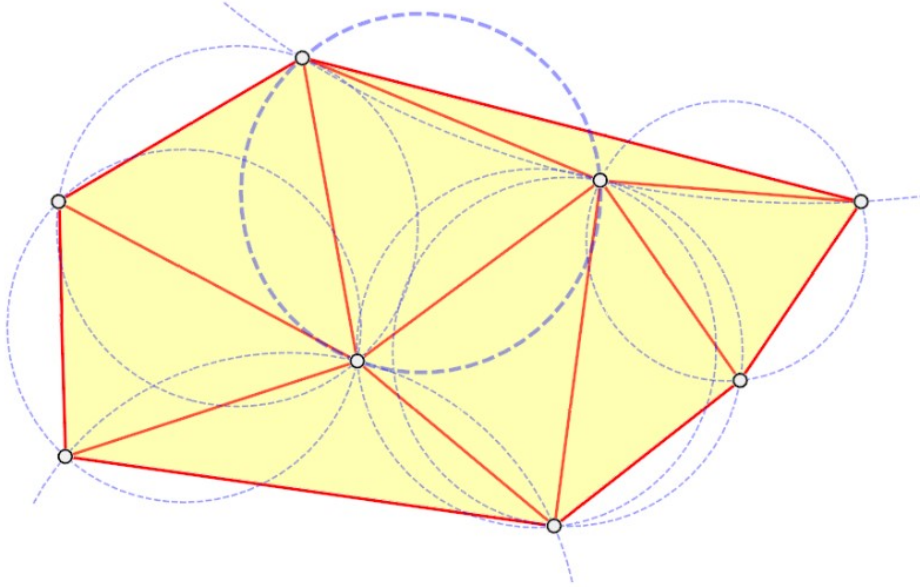


Figure 1: Delaunay triangulácia (Bayer, 2024)

Je daná množina bodov $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ v rovine \mathbb{R}^2 a každý z bodov je reprezentovaný súradnicami x, y, z . Vyberie sa jeden bod a následne sa ku nemu hľadá ďalší, podľa euklídskej vzdialenosti najbližší bod. Vznikne tak prvá orientovaná Delaunayovská hrana $e=\{p_1, p_2\}$. Ku hrane sa následne hľadá v jej ľavej polrovine e Delaunay point \bar{p} pomocou maximalizovania uhlov trojuholníka $\angle(p_1, p, p_2)$:

$$\bar{p} = \arg \max_{\forall p_i \in \sigma_L(e)} \angle(p_1, p_i, p_2), \quad p_i \in \sigma_I(e),$$

avšak pokiaľ takýto bod neexistuje, tak sa zmení orientácia hrany a proces sa opakuje.

Do DT sa následne pridávajú hrany trojuholníka $\triangle(p_1, p_2, \bar{p})$:

$$e_1 = (p_2, \bar{p}), \quad e_2 = (\bar{p}, p_1).$$

Musia však pri tom spĺňať podmienku, že ich opačné orientácie sa nemôžu nachádzať v Active Edge List (AEL):

$$e'_1 = (\bar{p}, p_2), \quad e'_2 = (p_1, \bar{p})$$

. Tento list obsahuje hrany, ku ktorým sa hľadajú Delaunay points a po vyprázdení tohto zoznamu je vytvorená celá DT.

Analýza reliéfu

Nad vytvoreným DTM je možné riešiť rôzne analytické operácie, či odvodiť ďalšie parametre. Medzi takéto operácie patrí hlavne tvorba vrstevníc potrebná pre hypsometriu. Ďalej je dôležitý sklon reliéfu pre potreby súvisiace s výskytom lavín, zosuvov a erózií, či expozícia reliéfu pre potreby poľnohospodárstva (Bayer)

Tvorba vrstevníc

Vrstevnice alebo izohypsy sú krivky spájajúce body s rovnakou nadmorskou výškou, pričom platí, že čím sú vrstevnice hustejšie, tým znázorňujú väčšie prevýšenie. Vrstevnice sú vytvorené lineárnym interpolačným algoritmom, vďaka tomu je rozostup vrstevníc medzi dvomi bodmi konštantný. Takýto výpočet je jednoduchý, ale úplne nevystihuje realitu. Tento algoritmus je založený na princípe analytickej geometrie. Dochádza ku hľadaniu priesečníku medzi rovinou plátu $T(p_1, p_2, p_3)$ určenej trojuholníkom $t \in DT$ a vodorovné roviny ϱ s výškou h . Tento proces sa opakuje nad všetkými rovinami plátov t (Bayer, 2008; Bayer, 2024).

Súradnice bodov A,B predstavujúcich priesečníky rovín, ktoré sa získajú na základe nasledujúcich vzťahov za využitia podobnosti trojuholníkov:

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

Overenie, či plocha ϱ pretína stranu trojuholníka $(p_i, p_{i+1}) : \Delta z_i \Delta z_{i+1} < 0$, kde

$$\Delta z_i = z_i - z, \quad \Delta z_{i+1} = z_{i+1} - z.$$

Sklonu reliéfu

Sklon reliéfu je najpoužívanější morfometrický ukazovateľ reliéfu. Sklon možno definovať ako uhol, ktorý zvierá dotyková rovina k danému bodu s horizontálnou rovinou, rovnobežnou s hladinou svetového oceána. Ďalšia možná definícia je sklon reliéfu predstavuje zmenu nadmorských výšok v smere spádovej krivky. Vyjadruje sa v stupňoch (Kubínsky, 2024).

Podľa Bayera (2024) je výpočet sklonu vykonaný na každom trojuholníku za pomoci vektoru maximálneho spádu (gradient). Pri tom platí, že rovnica roviny ϱ má tvar $\rho : ax + by + cz + d = 0$ a jej gradient $\nabla f(x_0, y_0, z_0)$ funkcie $f(x, y, z)$ v bode $p = [x_0, y_0, z_0]$ je určený nasledujúcim vzťahom:

$$\nabla f(x_0, y_0, z_0) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}(x_0), \left(\frac{\partial \rho}{\partial y}(y_0), \left(\frac{\partial \rho}{\partial z}(z_0) \right) \right) = (a, b, c)$$

Okrem roviny ϱ sa tu nachádza aj vodorovná rovina π . Normálové vektory týchto rovín n_1 a n_2 sa následne podielajú na výpočte sklonu (odchýlka φ):

$$\varphi = \arccos \left(\frac{n_1 \cdot n_2}{\|n_1\| \|n_2\|} \right) = \arccos \left(\frac{c}{\|n_1\|} \right),$$

kde normálový vektor n_2 roviny π sa považuje za jednotkový:

$$n_1 = (a, b, c), \quad n_2 = (0, 0, 1).$$

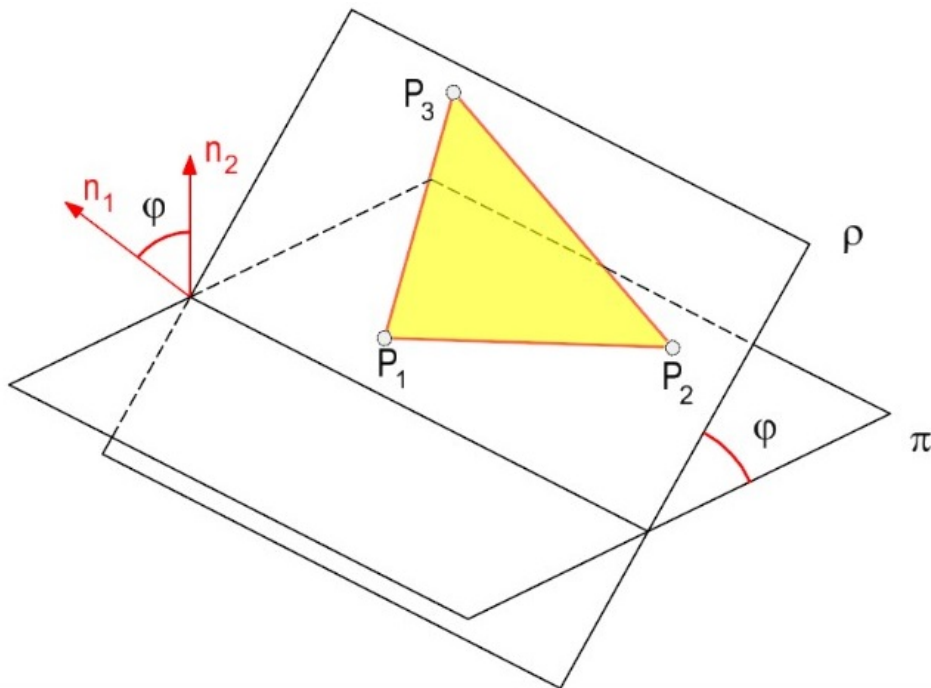


Figure 2: Sklom reliéfu (Bayer, 2024)

Expozície reliéfu

Expozícia, alebo aj aspekt, slúži na vyjadrenie smeru, ktorým je povrch reliéfu orientovaný voči svetovým stranám. Je meraný v azimutoch od 0 do 360, pričom začína od severu (0°) v smere hodinových ručičiek. Určenie expozície zahŕňa vytvorenie izotangent, ktoré spájajú body s rovnakou orientáciou reliéfu (Dekan, 2022). Bayer (2024) definuje orientáciu reliéfu ako azimut priemetu gradientu do roviny. Tento vektor \vec{v} má nulovú zložku a je vyjadrený nasledovne:

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

Azimut A medzi vektorom \vec{v} a osou y je následne vypočítaný ako:

$$A = \arctan\left(\frac{a}{b}\right).$$

Výpočet je potrebné spraviť pre každým trojuholník digitálne modelu a je potrebné byť obozretný pri správnom určovaní kvadrantu.

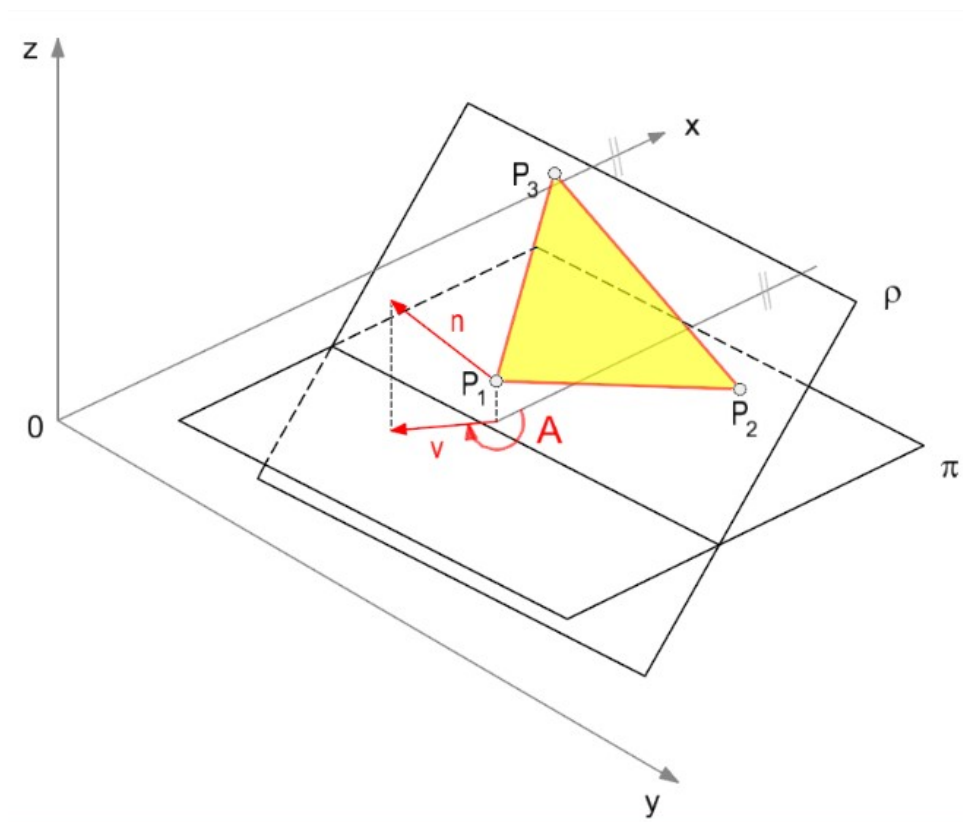


Figure 3: Orientácia reliéfu (Bayer, 2024)

Implementácia

Po priblížení problematiky a vysvetlení metód na jej riešenie je ďalším krokom v tomto zadaní tvorba užívateľského prostredia, v ktorom bude možné demonštrovať degitálny model terénu. Tento model obsahuje lokality s odlišnými vlastnosťami.

Vstupné dáta

Ako oblasť záujmu sme si vybrali územie v okolí , ktoré sa vďaka svojej členitosti (vrcholy, chrbty, roviny, doliny) javilo ako najlepšie pre potreby tohoto zadania. Najprv bolo potrebné pre toto územie stiahnuť TIFF (zdroj: ÚGKK SR) obsahujúci informáciu o výške . Použili sme webovú aplikáciu ZBGIS a pre naše územie sme stiahli digitálny model reliéfu 5. Následne sme pre toto územie vytvorili náhodné body s minimálnym vzdialenosťou 300 m v aplikácii ArcGisPRO použitím funkcie *Create random point*. Následne bolo potrebné spočítať pre tieto body súradnice x a y pomocou *Calculate geometry attributes* a hodnoty výšok boli ku našim bodom priradené z TIFF vďaka funkcii *Extract values to points*. Dostali sme tak 1000 náhodných bodov v súradnicovom systéme EPSG:5514.

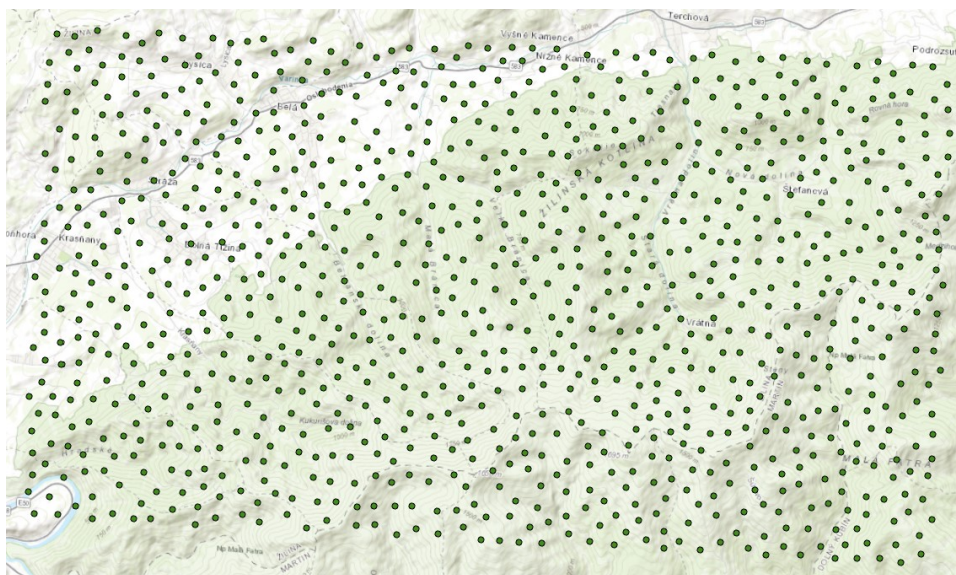


Figure 4: Množina vytvorených bodov nad územím

Aplikácia

Grafické užívateľské prostredie (GUI) aplikácie pozostávalo z okna, lišty a panelu obsahujúceho ikony, ktoré bolo vytvorené za pomoci knižnice QT (v.4.6.1) a jeho funkcionality bolo ďalej dopĺňované za pomoci programovacieho jazyka Python 3.11. Vďaka tomu bolo možné pre jednotlivé ikony pridať aj ich funkcie.

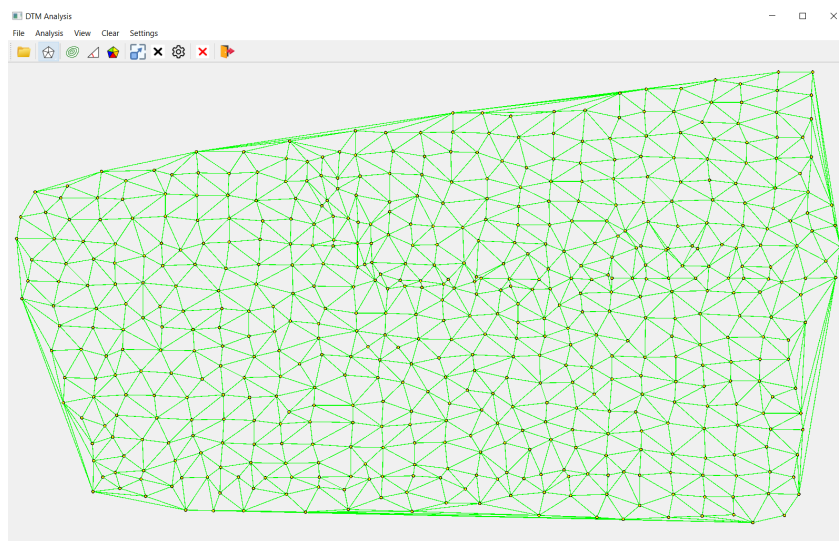


Figure 5: Prostredie aplikácie

Celkovo bolo použitých 10 ikon (obr.), ktorých úlohou je urýchliť prácu používateľa, vďaka čomu nie je potrebné prechádzať lištu a hľadať jednotlivé procesy, ktoré by sme pri väčšej komplexnosti aplikácie mohli prehliadnuť.

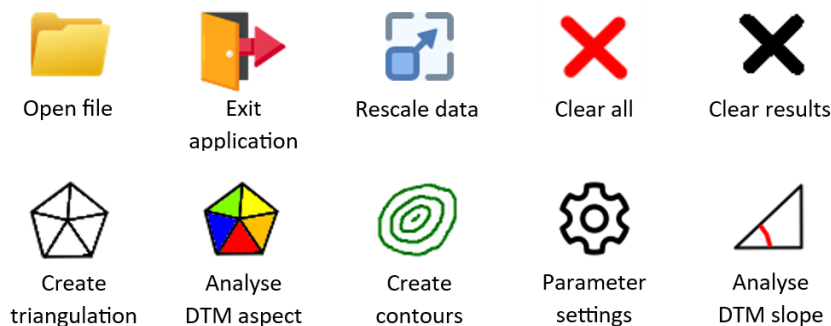


Figure 6: Ikony použité v aplikácii

Dokumentácia

Algorithms

Trieda Algorithms je navrhnutá na vykonávanie série geometrických výpočtov a analýz súvisiacich s modelovaním terénu, najmä so zameraním na Delaunayovu trianguláciu, generovanie vrstevníc a analýzu sklonu a orientácie vytvorených trojuholníkov.

get2LineAngle(p1: QPointF, p2: QPointF, p3: QPointF, p4: QPoint)F

-vypočíta uhol medzi dvoma čiarami definovanými bodmi (p1, p2) a (p3, p4)

getNearestPoint(q: QPoint3DF, points: list[QPoint3DF])

-nájde najbližší bod k bodu q zo zoznamu points

twoPointDist(from_p: QPoint3DF, to_p: QPoint3DF)

-Vráti vektorovú vzdialenosť medzi dvomi bodmi v súradniciach x a y .

getDelaunayPoint(start: QPoint3DF, end: QPoint3DF, points: list[QPoint3DF])

-nájde optimálny Delaunayov bod pre úsečku

updateAEL(e: Edge, ael: list[Edge])

-aktualizuje zoznam aktívnych hrán (AEL) pridaním alebo odstránením hrany

createDT(points: list[QPoint3DF])

-vytvára Delaunayovu trianguláciu pomocou inkrementálnej metódy

getContourPoint(p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, z: float)

-vypočíta priesečník hrany trojuholníka s horizontálnou rovinou vo výške z

createContourLines(dt: float, zmin: float, zmax: float, dz: float)

-vytvára vrstevnicové línie z Delaunayovej triangulácie

computeSlope(p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, p3: QPoint3DF)

-vypočíta sklon trojuholníka

computeAspect(p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, p3: QPoint3DF)

-vypočíta aspekt (orientáciu) trojuholníka

normalsVectors(p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, p3: QPoint3DF)

-vypočíta normálový vektor trojuholníka

analyzeDTMSlope(dt: list[Edge])

-analyzuje sklon každého trojuholníka v Delaunayovej triangulácii.

analyzeDTMAAspect(dt: list[Edge])

-analyzuje aspekt každého trojuholníka v Delaunayovej triangulácii.

sjtsk2Pixel(pnt: list, width: int, height: int, x_min: float, x_max: float, y_min: float, y_max: float)

-konvertuje súradnice zo systému SJTSK na pixlové súradnice

uniquePerDim(points: list)

-určí počet unikátnych súradníc na osiach x a y

rescale(points: list, dt: list, contours: list, slope: list, aspect: list, w: int, h: int)

-na základe nových rozmerov zmení mierku všetkých dáta, aby sa zmestili do canvasu.

rescaledCoords(pnt: QPoint3DF, x_min: float, y_min: float, del_pix_x: int, del_pix_y: int, del_data_x: float, del_data_y: float)

- počíta reskalované súradnice pre metódu `rescale()`.

Draw

Táto trieda poskytuje komplexné funkcie pre vizualizáciu a interakciu s 3D bodovými mrakmi, Delaunayovej triangulácie (DT), vrstevníc, sklonu a aspektu modelu. Obsahuje viacero funkcií typu *get* a *set*, ktoré slúžia pre prístup a nastavovanie dát so zobrazením.

__init__(self, *args, **kwargs)

-inicializuje widget a jeho vlastnosti. Nastaví zoznamy na ukladanie bodov, triangulácie, vrstevníc, sklonov a aspektov. Taktiež inicializuje príznaky pre rôzne možnosti zobrazenia (DT, vrstevnice, sklon, aspekt)

mousePressEvent(self, e: QMouseEvent)

-spracováva informácie stlačením myši. Získa x a y súradnice kurzora, vygeneruje náhodnú z súradnicu (výšku), vytvorí nový 3D bod (`QPoint3DF`) a pridá ho do zoznamu `points`. Nakoniec spustí prekreslenie widgetu

messageBox(self, title: str, text: str)

-zobrazí dialógové okno s určeným názvom a textom. To je užitočné pre poskytovanie spätnej väzby alebo informácií používateľovi.

paintEvent(self, e: QPaintEvent)

-spracováva kreslenie widgetu. Používa objekt `QPainter` na kreslenie bodov, Delaunayovej triangulácie, vrstevníc, sklonov a aspektov podľa aktuálnych nastavení zobrazenia.

aspectByInterval(self, aspect: float)

- premena hodnoty aspektu na zodpovedajúcu intervalovú farbu podľa mapovania ESRI.

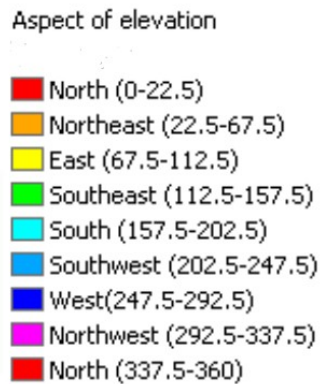


Figure 7: Farebná škála intervalov orientácie (ESRI, 2024)

clearAll(self)

-vymaže všetky dáta (body, DT, vrstevnice, sklony, aspekty) a prekreslí widget.

clearResults(self)

-vymaže výsledky (DT, vrstevnice, sklony, aspekty), ale ponechá body nedotknuté a potom prekreslí widget.

Edge

Trieda Edge poskytuje základné funkcie na reprezentáciu a manipuláciu hrán v 3D priestore.

__init__(self, start: QPoint3DF, end: QPoint3DF)

-inicializuje objekt Edge s počiatočnými a koncovými bodmi. Tieto body sú typu QPoint3DF, čo znamená, že majú x , y a z súradnice

getStart(self)

-vráti počiatočný bod hrany

getEnd(self)

-vráti koncový bod hrany

changeOrientation(self)

-vytvorí a vráti novú hranu s obrátenou orientáciou (t.j. počiatočný bod sa stane koncovým a koncový bod sa stane počiatočným).

__eq __(self, other)

-Porovnáva rovnosť dvoch hrán. Hrany sú rovnaké, ak majú rovnaký počiatočný a koncový bod.

IO

Trieda pre načítanie a ukladanie dát. - Dialog na načítanie súboru prijíma iba súbory s príponami *.TXT, *.GeoJSON a *.JSON - Načíta súbory s formátovaním GeoJSON - Program predpokladá dáta v S-JTSK CRS (EPSG: 5514).

load(self, file: str, width: int, height: int)

-načítava dáta zo zadaného súboru a prevádza ich do pixlových súradníc.

Ui _MainWindow

Vytvára užívateľské rozhranie a obsahuje metódy na ovládanie grafických funkcií aplikácie. viewDTClick(self), viewContourLinesClick(self), viewSlopeClick(self), viewAspectClick(self): Umožňujú zapnúť alebo vypnúť zobrazenie rôznych vrstiev dát.

setupUi(self, MainWindow)

-inicializuje užívateľské rozhranie pre hlavné okno aplikácie

openClick(self)

-obsluhuje akciu otvorenia súboru a načítania bodov z daného súboru

createDTClick(self)

-vytvára Delaunayovu trianguláciu zo súčasne načítaných bodov

createContourLinesClick(self)

-vytvára kontúrové čiary z aktuálnej Delaunayovej triangulácie podľa zadáných parametrov

analyzeSlopeClick(self)

-analyzuje svahy v aktuálnej Delaunayovej triangulácii

analyzeAspectClick(self)

-analyzuje orientácie svahov v aktuálnej Delaunayovej triangulácii

clearClick(self)

-vyčistí výsledky analýz zo zobrazovacej plochy

clearAllClick(self)

-vyčistí všetky dáta zobrazené na zobrazovacej ploche

rescaleClick(self)

-zmení mierku zobrazenia bodov podľa veľkosti aktuálneho okna aplikácie

setParameters(self)

-zobrazuje dialógové okno pre nastavenie parametrov

close(self)

-zatvára aplikáciu

QPoint3DF

Trieda QPoint3DF rozširuje triedu QPointF o ďalšiu súradnicu Z. To je dôležité pre operácie, ktoré prebiehajú v 3D priestore, ako je napríklad naša Delaunayova triangulácia.

__init__(self, x: float, y: float, z: float)

-konštruktor triedy inicializuje nový objekt bodu s danými x, y, a z-koordinátami.

getZ(self)

-metóda vráti hodnotu z-koordináty daného bodu.

Ui_Settings

Trieda Ui_Settings vytvára pop-up okno, ktoré umožňuje užívateľovi zadať minimálnu a maximálnu výšku vrstevníc, ako aj interval medzi nimi.

setupUi(self, Settings)

-nastaví užívateľské rozhranie pre dialógové okno nastavení. Definuje tlačidlovú lištu pre potvrdenie alebo zrušenie nastavení a skupinu prvkov pre nastavenie parametrov kontúrových línií.

retranslateUi(self, Settings)

-metóda preloží texty zobrazené v dialógovom okne nastavení

Triangle

Definuje trojuholník v 2D priestore. Trojuholník je určený tromi bodmi (vrcholmi) $p1$, $p2$ a $p3$. Vracia sklon a expozíciu trojuholníkov.

__init__ **__(self, p1: QPoint3DF, p2: QPoint3DF, p3: QPoint3DF, slope: float, aspect: float)**

-inicializuje nový objekt (trojuholník) s tromi vrcholmi a hodnotami sklonu a aspektu.

getVertices(self)

-vráti polygon (zoznam) vrcholov trojuholníka.

getSlope(self)

-vráti hodnotu sklonu trojuholníka.

getAspect(self)

-vráti hodnotu aspektu (orientácie) trojuholníka.

Výsledky

Digitálny model terénu (DMT) založený na algoritmu 2D Delaunayovy triangulace bol analyzovaný vo viacerých častiach územia. Bolo tak učené kvôli členitosti reliéfu, kde sa nachádzali okrem pohorí aj rovinatejšie oblasti. Aby sa odhalili slabiny alebo silné stránky tohto modelu, tak sme sledovali oblasti dolín, hrebeňov, rovinatých oblastí a aj vrcholov.

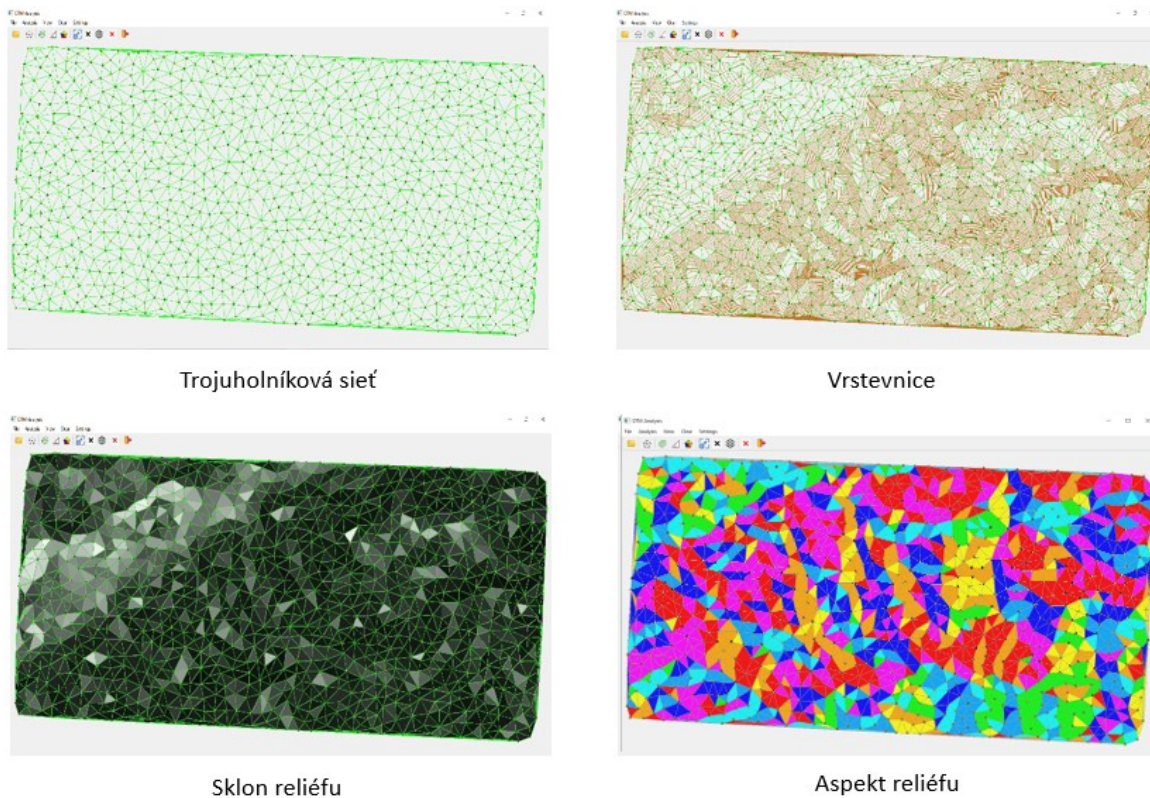


Figure 8: Výsledky analýzy uzemia

Vrcholy

Ako vrchol nášho záujmu sme si vybrali Stoh, ktorý nie je taký ostrý ako Rozsutec, čo by mohlo prispieť k jeho lepšiemu modelovaniu. Ani jeden z bodov sa však nenachádza na jeho vrchole, prípadne v blízkom okolí. Inak môžeme konštatovať, že zvyšok oblasti je dostatočne reprezentovaný bodmi. Vrstevnice s malým krokom (5 m) nemajú pre túto oblasť dobrú výpovednú hodnotu, pretože sú až veľmi nahusto pri sebe. Vrstevnice s korokom 10 metrov sú na tom lepšie ale najlepšie výsledky majú vrstevnice s rozstupom 20 metrov. Je na nich možné pekne sledovať chrbát v smere na Chleb a horšie je viditeľný aj chrbát na Rozsutec. Hlavne je tu ale vidieť Stoh, ktorý má typický kuželovytý tvar. Kvôli nedostatku a zlému umiestnený náhodných bodov sa vrchol Stohu prehliada. To sa prejavuje aj pri sklone, ktorý zobrazuje vrchol Stohu ako terén s malým sklonom (riedke vrstevnice). Takýchto podobných miest sa tu príjade vrcholu.

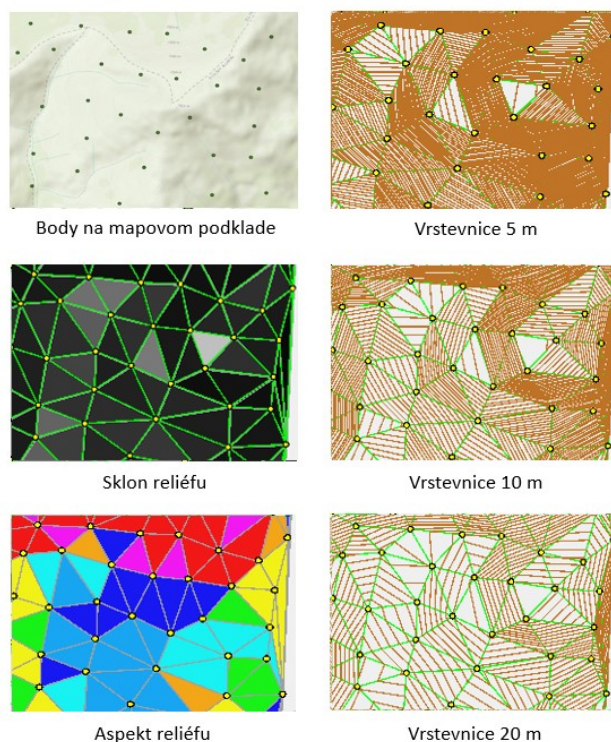


Figure 9: Oblasť s výskytom vrcholu (Stoh)

Hrebene

Pre túto oblasť bol vybraný hlavný hrebeň Malej Fatry medzi Stohom a Chlebom. Viacero bodov bolo presne vygenerovaných na hrebene, či v jeho blízkosti. Keďže sa jedná o veľmi strmý svah, tak vrstevnice s krokom 5 a 10 metrov neboli prehľadné a zlievali sa dokopy. Vrstevnice s rozstupom 20 metrov sú oveľa prehľadnejšie a vhodnejšie pre analýzu reliéfu. V časť hrebeňa smerujúca nadol nie je správne reprezentovaná vytvorenými bodmi, ktoré sa nevytvorili v jeho vrchole, ale iba v jeho okolí. To malo za následok, že celý hrebeň v tejto časti bol prehliadnutý, čo sa prejavilo väčším rozstupom vrstevníc. Môžeme tak miesto ostrého hrebeňa sledovať relatívne plochý povrch (výrazne menšie prevýšenie), ktorý je obklopený strmým svahom z oboch jeho strán. Potvrdzuje to aj analýza sklonu reliéfu, ktorá tiež poukazuje na tieto miesta. Aspekt reliéfu je veľmi dobre pozorovateľný hlavne v časti hrebeňa smerujúceho na juh. Okrem toho môžeme sledovať aj zmenu orientácie v Šutovskej doline.

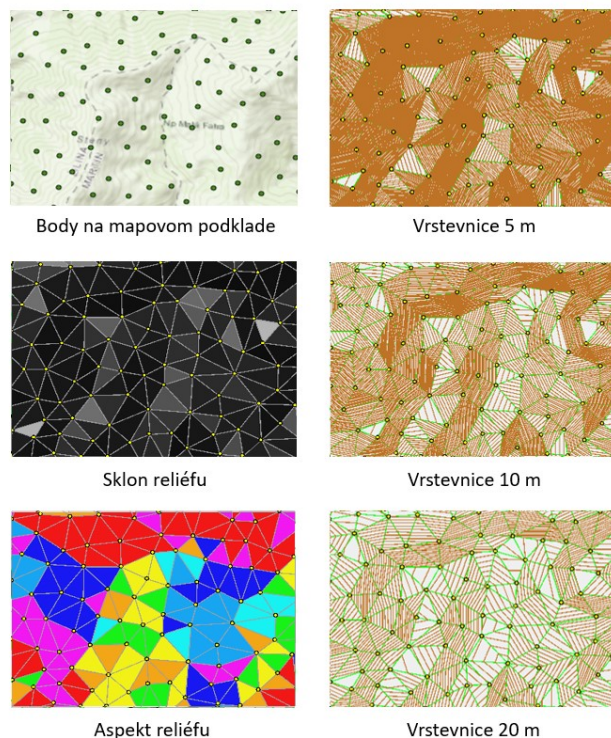


Figure 10: Oblasť s výskytom hreneňa

Doliny

Pri oblasti dolín sme sa zamerali na časť Vrátnej doliny. Nahodné body sa tu vygenerovali na správnych miestach, čiže na dne doliny. Avšak nie všetky body v oblasti mali takýto charakter. Pri triangulácii vznikali miesta, ktoré sa javili ako ploché (s malým sklonom), aj keď podľa mapy sa tam nachádza konkávno-konkávna forma reliéfu. Takýchto prípadov je na tomto území viacero. Pri použití rozličných krokov generovania vrstevníc vyduádza najlepšie výsledok s rozstupom 20 m. Je tu zreteľne vydiť dno doliny aj s prilhlím okolím (menšia členitosť). Pri ďalších dvoch krokoch vrstevníc nie je zreteľné dno doliny, čo je zapríčinené hlavne sklonom okolitého reliéfu, čo súvisí s hustými a neprehľadnými vrstevnicami. Vďaka správne generovanému bodom na samom dne doliny je zreteľne odlíšiteľný aspekt tejto doliny. Pri sklone reliéfu sledujeme zhodu s hustotou vrstevníc.

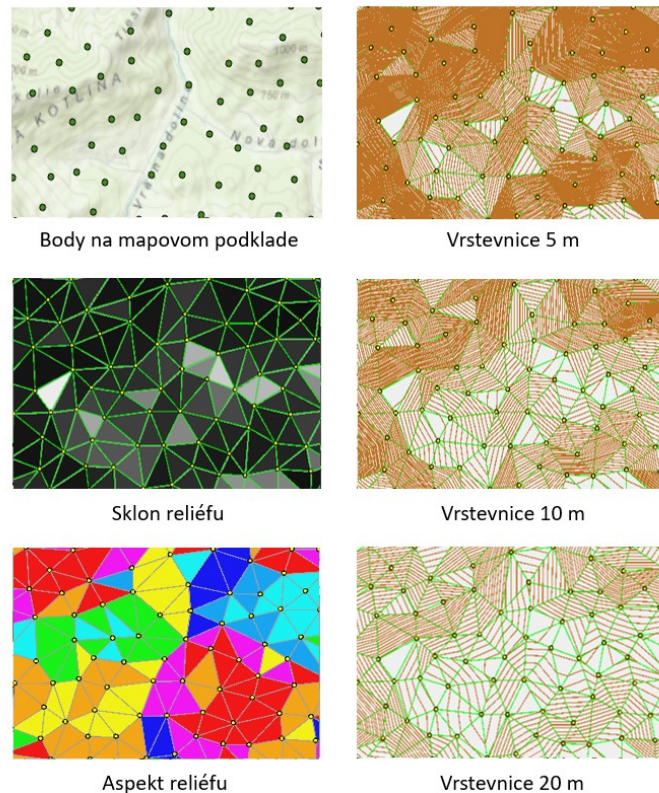


Figure 11: Oblasť s výskytom doliny

Rovinaté oblasti

V okolí obce Dolná Tížina bola najmenšia vertikálna členitosť terénu a oproti zvyšku hornatého územia sa zdala byť relatívne plochá. Rozmiestnenie náhodných dobov sa javia byť podľa vrstevníc správne a vyhovujúce našim potrebám. Z troch rôznych vytvorených vrstevníc sa tie s rozstupom 5 metrov nejavia byť veľmi čítateľné, na rozdiel od ďalších dvoch krokov. Pri porovnaní týchto dvoch vrstevníc si môžeme všimnúť, že rozstup 20 metrov medzi vrstevnicami je príliš veľký a pre oblasť lepšie opisujú vrstevnice s rozstupom 10 metrov. Na rozdiel od ostatných oblastí je tu oveľa pestrejší sklon reliéfu, kedy sa nejedná iba o strmé svahy. Vďaka tomu je táto oblasť pri pohľade na celé naše územie zreteľne odlíšiteľná od hornatých častí. Pri orientácii je zase celé územie prevažne orientované iba na jednu stranu, čo pri predchádzajúcich oblastiach bolo práve naopak.

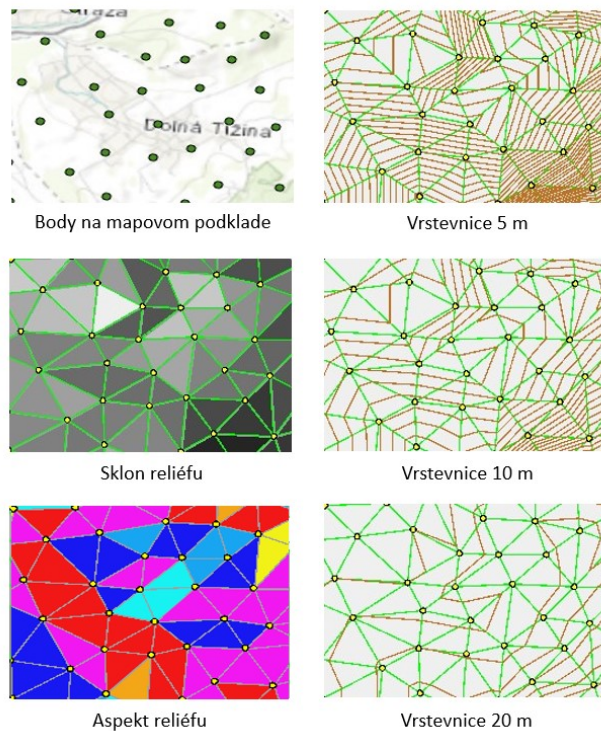


Figure 12: Oblasť s menšou vertikálnou členitosťou

Zhodnotenie

Presnosť celého modelu závisí od hustoty trojuholníkovej siete. Čím zložitejší terén, tým by mala byť hustejšia sieť trojuholníkov. Pokiaľ ku tomu nedôjde, tak môže dôjsť ku výraznému skresleniu v dôsledku vertikálnych a horizontálnych členitostí reliéfu. Napríklad pokiaľ by sa vrchol nachádzal uprostred trojuholníku, ktorého body sú v približne rovnakej výške, tak pri vytvorení vrstevníc sa vrchol môže správať ako rovinná plocha (malý sklon). To isté platí aj pri strmých hrebeňoch a kotloch, ktoré môže byť z rovnakého dôvodu naším modelom prehliadnuté.

Pri orientácii reliéfu na svetové strany bolo vo viacerých príkladoch možné zreteľne sledovať tvar dolín a hrebeňov. To dávalo dobrú predstavu o skutočnom tvare reliéfu. Orientácia reliéfu bolo najlepšie pozorovateľné práve v hornatých oblastiach, kde sa nachádzali ostré línie (doliny a hrebene). Pri plochých oblastiach tento jav nebol až taký výrazný, ale stále bol dobre odlíšiteľný.

V čom ale vynikali ploché oblasti, tak bolo znázornenie sklonu reliéfu. Na rozdiel od hornatých oblastí je možné sledovať viacero sklonov, zatiaľ čo hornaté oblasti boli v tomto smere monotónne s veľkým sklonom na takmer celom ich územím. Výnimkou boli iba nezachitené vrcholy a hrebene, čo sa prejavovali nižším sklonom.

Záver

Úlohou tohto zadanie bolo vytvoriť trojuholníkovú sieť pre následnú analýzu digitálneho modelu terénu. Body pre naše územie boli náhodne vygenerované v počte 1000 a aby nedošlo ku veľkému zhľuku týchto bodov, tak im bola nastavená minimálna vzdialenosť 300 metrov. Pri voľbe územia bolo potrebné myslieť na jeho tvar, pretože pokiaľ toto územie namalo aspoň podobný tvar ako okno našej aplikácie, tak funkcia Rescale skreslila naše dáta (pri full screen).

Pre lepšiu analýzu by bolo dobré do budúcnosti považovať o vytvorení viacerých modelov pre každú špecifickú oblasť sledovaného územia. Zväčšila by sa tak mierka a analýza by bola oveľa podrobnejšia pri zachovaní toho istého počtu bodov. Pri súčasnej hustote a rozmiestnení náhodných bodov sa najlepšie vygenerovali ploché územia, ale napríklad aj niektoré doliny a chrby. Pokiaľ teda chceme modelovať a analyzovať toto územie ako celok, tak je potrebné použiť väčšie množstvo bodov. Vyhneme sa tak chybám ako napríklad pri hrebeňoch, ostrých vrcholoch, konkáv-konkávnych (KK), či konkáv-konvexných (KX) formách reliéfu.

Pri analýze aspektu bola použitá farebná škála, avšak v porovnaní s čiernobiou (protný pokus) nie sú tak na prvý pohľad dobre odlíšiteľné ostré hrany dolín a hrebeňov. Je preto potrebné považovať o použití vhodnejšej farebnej škále.

Zoznam použitej literatúry

- BAYER, T. 2008. Algoritmy v digitálnej kartografii. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2008. 252 s. ISBN: 978-80-246-1499-1
- BAYER, T. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie. Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, Praha. 2024. Rovinné triangulace a jejich využití. Prednáška z predmetu: Algoritmy počítačovej kartografie. [online] dostupné na: https://web.natur.cuni.cz/~bayertom/images/courses/Adk/adk5_new.pdf
- BRŮHA, L. 2016. DIGITÁLNÍ MODEL Y TERÉNU, výukový materiál, verze 1.0. PřF UK, Praha. [online] dostupné na: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/projekty/moderni-geoinformacni-metody-ve-vyuce-gis-kartografie-a-dpz/digitalni-modely-terenu/>
- DEKAN, T. 2022. Návod na prácu s digitálnym modelom reliéfu v aplikácii QGIS verzia 3.0.[online] dostupné na: <https://www.geoportal.sk/files/zbgis/lis/navod-pracu-dmr-qgis.pdf>
- ESRI. 2024. How Aspect works. [online] dostupné na: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-aspect-works.htm> [cit. 28-06-2024]
- KUBINSKÝ, D. 2024. Morfometrické charakteristiky v prostredí ArcGis. [online] dostupné na: <https://www.dkubinsky.sk/clanok/morfometricke-charakteristiky> [cit. 01-06-2024]
- LIM, J. and PILESJÖ, P. 2022. Triangulated Irregular Network (TIN) Models. The Geographic Information Science Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2022 Edition). John P. Wilson (Ed.). DOI: <https://doi.org/10.22224/gistbok/2022.2.7>
- MAUR, P. 2002. Delaunay triangulation in 3D. Plzeň: Katedra informatiky a výpočtovej techniky, Západočeská univerzita v Plzni; 2002. 55 s. [online] dostupné na: <https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/21617/1/Maur.pdf>

- NORDANSJÖ, A. 2024. What is the difference between a Digital Surface Model (DSM) and a Digital Terrain Model (DTM). [online] dostupné na: <https://www.globhe.com/resources/collection/what-is-the-difference-between-a-digital-surface-model-dsm-and-a-digital-terrain-model-dtm> [cit. 02-06-2024]
- VANÍČEK, T. Katedra inženýrské informatiky. Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, Praha. 2010. Triangulace. Prednáška z predmetu: Digitální modelování terénu. [online] dostupné na: https://kix.fsv.cvut.cz/~vanicek/vyuka_z09/Triangulace.ppt
- VANÍČEK, T. 2024. Některé teoretické problémy při konstrukci plátového digitálního modelu terénu. [online] dostupné na: http://www.agris.cz/Content/files/main_files/61/139303/vanit.pdf

Ďalšie zdroje

- Digitálny model reliéfu 5.0 (DMR 5.0) z leteckého laserového skenovania (LLS): ÚGKK SR