Térbeli döntéselőkészítés 6.

Domborzatmodellezés

Márkus, Béla

Térbeli döntéselőkészítés 6.: Domborzatmodellezés

Márkus, Béla
Lektor: Tamás , János

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2011

Kivonat

A modul célja a domborzatmodellezés módszereinek bemutatása. A modulban ismertetjük a domborzatmodellezés elemi műveleteinek kialakulását és fejlődését; röviden tárgyaljuk a szabályos modelleken végzett interpolációt; a szabálytalan modellekre bemutatjuk a legelterjedtebb módszereket. Ezek után tárgyaljuk a fontosabb DDM alapműveleteket (összelátás, szintvonalszerkesztés, hossz- és keresztszelvény szerkesztés, felszíni görbe ívhossza, felszínszámítás, térfogatszámítás, lejtőkategória és kitettségi térkép szerkesztése, domborzatárnyékolás, 3D megjelenítés).

Tartalom

6. fejezet - Domborzatmodellezés

1. 6.1 Bevezetés

Az előzőek során többször használtuk a „térbeli” jelzőt, térbeli műveletekről beszéltünk, bár a valós világot alapvetően egy síkon modelleztük (x,y), a sík pontjaihoz leíró adatokat rendelve. Az ArcGIS-ben a „Spatial Analyst” is alapvetően ezzel foglalkozik. Ebben a modulban továbblépünk a harmadik dimenzió (z) irányába, térbeli interpolációval és domborzatmodellezéssel foglalkozunk. A gyakorlati megvalósítást az ArcGIS „3D Analyst” kiterjesztésén keresztül mutatjuk be. Rögtön pontosítanunk kell! Ne tévesszen meg senkit a „3D” jelző! Helyesen 2,5 D-ről van szó, mert nem testeket modellezünk, mint teszik a gépészetben vagy a geológiában, hanem felszíneket, leggyakrabban a terep fizikai felszínét, a domborzatot. A valódi 3D modellezésben egy ponthoz több „z” rendelhető, esetünkben csak egy.

Tobler törvénye: Minden dolog kapcsolatba hozható egy másikkal, de a közelebbi dolgok között a kapcsolat erősebb, mint a távolabbiakkal. Ezt nevezik a földrajz első törvényének is. Ed Parsons (a Google térinformatikai szakértője) szerint a kereséseknek jelenleg (2010) csak mintegy harmada közvetlenül térbeli, de minden Google keresés alapvetően ezen a törvényen alapul, (mint említettük, a közelség nem csak méterben értelmezhető). A térbeli interpolációs módszerek természetesen Tobler törvényén alapulnak.

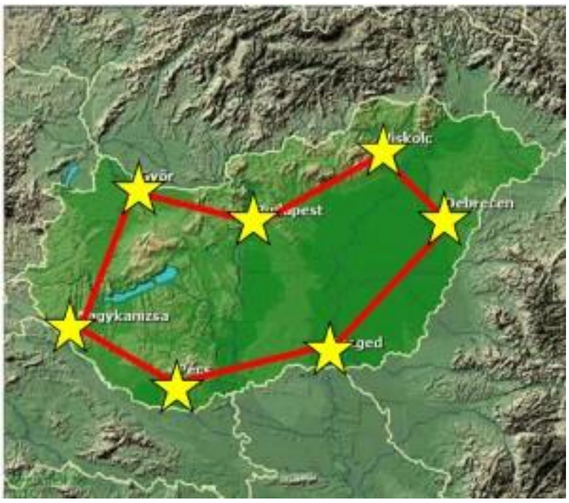
A térbeli interpolációs módszerek ismertetésénél a „z” koordináta bármilyen számszerű adat lehet (hőmérséklet, népsűrűség, vízmélység stb., bár leginkább magasságra gondolunk). A modul második részében már kifejezetten a domborzatmodellezéssel foglalkozunk.

A digitális domborzatmodell (DDM) a terepfelszín célszerűen egyszerűsített mása, amely fizikailag számítógéppel olvasható adathordozón tárolt terepi adatok rendezett halmazaként valósul meg. A DDM a modellezés folyamatában - digitális modellező rendszer segítségével - információkat szolgáltat a modellezett terepfelszín egészének vagy kiválasztott részletének lényeges sajátosságairól. Ezt a napjainkban már részleteiben kidolgozott technológiát a számítógépes tervezésben, térképészetben megkülönböztető névvel digitális domborzatmodellezésnek hívjuk.

Egyéb felületek (például talajvíz felszíne, növényzettel borított felszín) számítógépes modelljeit digitális felszínmodelleknek (DFM) nevezzük. Például az erdészetben a DFM-DDM (felszínmodellből kivonjuk a domborzatmodellt) művelet a fatömeg számítás alapjaként szolgál. A felszín modellezése speciális megoldásokat kíván. Ha a tereptárgyakat is modellezni akarjuk, akkor digitális terepmodellről beszélünk (DTM).

A terepfelszín leírása vektorosan pontokkal, vonalakkal és felületekkel történhet. Legáltalánosabban a pontokból építkező domborzatmodelleket használjuk, például eredményezheti a topográfiai felmérés, fotogrammetriai kiértékelés, de gyakran a szintvonalak digitalizálása után is a pontokat x,y,z számhármassal adjuk meg. A vonalakkal történő leírásra példa a szintvonalas domborzatmodell. Itt a vonalakhoz leíró adatként társul a magasság. A felületekkel történő modellezésre a leggyakoribb alkalmazás a TIN (Triangulated Irregular Network) háromszögeken belül ferde síkkal való domborzatleírása. Természetesen az alapesetek kombinálhatók, a támpontok terepjellemző vonalakat adhatunk, vagy a szintvonalas modellben megjelennek a kótált pontok stb. Ebben a modulban pontokon alapuló interpolációs módszerekkel foglalkozunk. A vonalakat csak, mint terepjellemző vonalakat használjuk, melyek az interpolációra hatással vannak.

A modellezés során ügyeljünk arra, hogy a modell határai nyúljanak túl az információt igénylő területen. Akkor beszélünk térbeli **interpolációról**, ha a levezetendő pont a modell területére esik. Az alábbi ábrán Székesfehérvárra interpolálhatunk adatot, Sopron esetében ez már extrapoláció lenne. Megjegyezzük, hogy a modell határán az algoritmusok általában kevésbé megbízható eredményt adnak.



6.1. ábra. A poligon határán belül interpolálunk

A domborzatmodellezés műveleteit ebben a modulban a következő három csoportba soroljuk:

1. Elemi műveletek, amelyek egy pont közvetlen környezetében határozzák meg a felszín jellemzőit, úgymint

- magasság,
- a maximális lejtés (esésvonal),
- a maximális lejtéshez tartozó irány,
- a felszín görbületi viszonyai.

2. Alapműveletek, amelyek alapvetően fontos részét képezik a professzionális domborzatmodellező alrendszereknek. Ezek közül a következőket tárgyaljuk:

- a felszín extrém pontjainak meghatározása,
- döféspont szerkesztés,
- szintvonal szerkesztés,
- hossz- és/vagy keresztszelvény szerkesztés,
- ívhossz-számítás,
- felszínszámítás,
- térfogatszámítás,
- lejtőkategória és kitettségi térkép szerkesztés,
- domborzatárnyékolás,
- 3D megjelenítés.

3. Komplex felszínelemzés

- domborzati formák meghatározása,
- láthatósági vizsgálat,
- vízgyűjtő terület meghatározása,
- tereprendezés stb.

A modul elején általános jellemzést, csoportosítást adunk a pontokon végzett interpolációs módszerekre. A domborzatmodellezés elemi műveleteinek bemutatását az algoritmusok kialakulásával és fejlődésével kezdjük. Ezután összefoglalóan tárgyaljuk a szabályos, rácshálós modelleken végzett interpolációt. A szabálytalan modellekre bemutatjuk a dinamikus felületek, a természetes szomszédok, és a lokális háromszögek módszerét, végül foglalkozunk a TIN és a spline módszerrel. A modulban tárgyaljuk a fontosabb alapműveleteket. Ezeket fentebb felsoroltuk. A komplex felszínelemzési műveleteket hely hiányában nem tárgyaljuk.

A fejezet elsajátítása után képes lesz:

- meghatározni és jellemezni a térbeli interpoláció típusait,
- elmondani a szabályos és szabálytalan modelleken végzett interpolációs algoritmusokat,
- megvitatni és összehasonlítani az egyes felszínelemzési alapműveleteket,
- orientációt adni a domborzatmodellezés gyakorlati megvalósításában.

2. 6.2 Interpolációs módszerek

Az adatgyűjtés során a terepfelszín lényeges tárgyairól, tulajdonságairól diszkrét adatokat szerzünk. Ezek az adatok a terep valamely kiválasztott pontjára (támpont, adott pont, mért pont) vonatkoznak. A levezetendő pontokon az információ számításakor a modellező rendszer a támpontokat használja kiinduló adatként, a felületillesztés ezekre támaszkodik (innen a támpont elnevezés). A térbeli interpoláció egy olyan művelet, ami a mintavételezett területeken, a közvetlenül nem mért pontok magasságának vagy egyéb tulajdonságának kiszámítására szolgál.

A feladat a következő: adott egy sor térbeli adat diszkrét pontok formájában, találjuk meg azt a függvényt, ami a legjobban tükrözi a modellezett felszínt, és ami becsli a nem mért pontok értékeit. Az interpolációs módszerek tehát diszkrét pontokból folytonos felület előállítására képesek. Az eddig tanultakból ilyen interpolációs módszer például a Thiessen poligon.

Ebben az alfejezetben általános jellemzést, csoportosítást adunk a pontokon végzett interpolációs módszerekre, a következők szerint:

- lokális vagy globális,
- szabatos vagy közelítő,
- folyamatos vagy szakadásos,
- determinisztikus vagy sztochasztikus.

Egy adott interpolációs módszer lehet, hogy több kategóriába is besorolható, pl., lehet lokális, szabatos, szakadásos és determinisztikus (mint pl. a Thiessen poligon). Most nézzük meg, hogy mi rejlik a terminológia mögött!

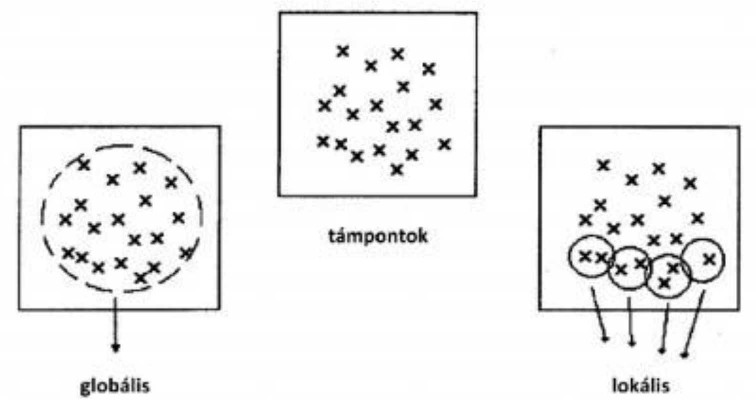
2.1. 6.2.1 Lokális – globális

A lokális illetve globális fogalom azt fejezi ki, hogy az adott interpolációs technika hogyan választja ki a támpontokat.

A globális interpoláció alkalmazásakor egy funkciót használnak minden levezetendő pontra. Ebben az esetben, akár egy támpontban bekövetkezett változás, hatással van az egész interpolációs folyamatra. A globális interpolátorok igyekeznek olyan felszínt meghatározni, ahol nincs hirtelen változás, mert általában az átlagolás elvét használják. Ez csökkenti az extrém értékek hatását. Ezek a módszerek akkor a legalkalmasabbak, amikor a modellezett felszínnek van egy általános trendje. (pl., a szennyezőanyag egyre kisebb arányban fordul elő, ahogyan távolodunk a szennyező forrástól).

Ha keveset vagy semmit nem tudunk a felszín általános trendjéről, akkor a lokális interpolátorok használata megfelelőbb. A lokális interpolációs technikák ugyanazt a függvényt alkalmazzák ismételten a támpontokra. A felszínt a közeli megfigyelésekre (a környező támpontokra) alapozzák.

A következő ábra bemutatja a lokális és a globális interpolációs technikák közötti különbséget. A globális interpolátorok valamennyi támpontot felhasználják a számításhoz, a lokális interpolátorok csak a környező pontokat.

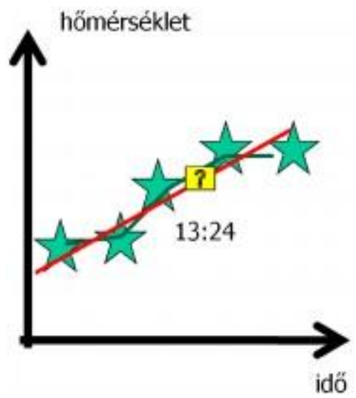


6.2. ábra. A globális és lokális interpoláció összehasonlítása (Forrás: UNIGIS)

Vitatott kérdés lehet, hogy meddig lokális az interpoláció és mikor válik globálissá. Általában a támpontok alkalmazásának módja dönti a kérdést. Ha kíváncsiak vagyunk Budapest tengerszint feletti magasságára, akkor vehetjük a támpontokat a FÖMI Magyarország digitális domborzatmodelljéből (DDM_100) amit az EOTR szelvényezésű, 1:100 000 méretarányú digitális topográfiai alaptérképeinek szintvonalaiból vezettek le. Szelektáljuk le a Budapest területére eső pontokat, majd vegyük ezek átlagát. Ez a ponthalmaz az országoshoz képest lokális, de a tengerszint feletti magasság kiszámításához valamennyi budapesti pontot felhasználtunk, tehát az interpoláció globális volt (vízszintes síkkal közelítettük a valóságot).

2.2. 6.2.2 Szabatos – közelítő

A szabatos interpolációs módszerek tiszteletben tartanak minden támpontot, a közelítő módszerek megengednek eltéréseket a támpontokon.



6.3. ábra. A kiegyenlítő egyenes közelítő interpoláció

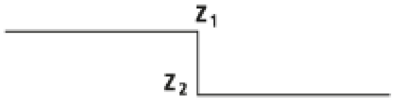
Az előző ábra egy kétdimenziós példát mutat. Óránként mérjük a hőmérsékletet, de szeretnénk tudni, hogy milyen meleg volt 15 óra 34 perckor. A szabatos megoldásra példa lehet a 15 órai és 16 órai leolvasások közötti lineáris interpoláció, ami tiszteletben tarja támpontokon tett leolvasásokat. Erről a módszerről mondhatjuk egyben, hogy lokális, mert a környező pontokat vette figyelembe. A kiegyenlítő egyenes globális (valamennyi mért pontot figyelembe veszi), de egyben közelítő, mert amint az ábrán látjuk, a támpontokon eltérés mutatkozik.

A szabatos módszereket gyakran akkor használjuk, ha a mérések megbízhatósága nagy, és ezt vissza akarjuk adni. A közelítő interpolátorok a támpontok értékét bizonytalannak tekintik, akkor megfelelőek, ha bizonytalan az adott mintavételi pontokon a megfigyelt érték, meg lehet simítani a felszínt.

Mielőtt rátérünk a következő típusra, tisztáznunk kell az interpoláció és approximáció közötti különbséget. A matematikában alkalmazott definíció szerint az approximáció olyan eljárás, amely hiányos, többnyire tapasztalati adatok alapján, adott helyen, egy adott változóhoz egy becsült értéket rendel. Vagyis valamennyi eddig és ezután tárgyalt felületillesztés approximációs módszer. A matematikában interpoláció ennek szabatos változata, amikor a közelítés során, a támpontokon nincsenek ellentmondások. Mi eddig és a továbbiakban is a térinformatikai definíciót használjuk.

2.3. 6.2.3 Folyamatos – szakadásos

A folyamatos és a szakadásos interpolátorok a létrehozott felszín folyamatossága szerint különböztethetők meg. A folyamatos interpoláció a kérdéses ponthoz bárhonnan közelítve ugyanazt az eredményt adja. Ismét kétdimenziós ábrán szemléltetünk. A keresztszelvényen balról-jobbra kérdéses ponton Z_1, a ponthoz jobbról-balra közelítve Z_2 eredményt kapunk.



6.5. ábra. Szakadásos felszín keresztszelvénye

A szakadásos interpolátorok lépcsőzetes felszínt hoznak létre. Egy példa a szakadásos interpolációra lehet az övezetek szerkesztése, egy másik a Thiessen poligonok.

6.6. ábra. Természetes Thiessen poligonok Észak-Írországban (Forrás: http://www.parents-stories.co.uk/info.htm)

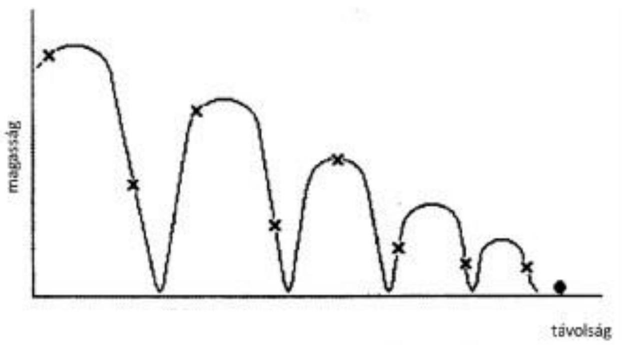
Az előző ábra egy szokatlan természeti képződményt mutat, bazaltsziklákat Észak-Írországban. Ez egy példa a természetes Thiessen poligonokra, de nem erre a ritka képződményre akartunk utalni. A Thiessen poligonokkal lényegében a legközelebbi szomszéd elvén interpolálhatunk. Emlékezzünk a definícióra! „Egy adott ponthoz tartozó Thiessen poligon azon pontok mértani helyét jelenti, melyek a kérdéses ponthoz közelebb esnek, mint bármelyik másik mintavételi ponthoz.” A mért adat érvényességi területét a Thiessen poligon írja le. A két pont közötti magasságkülönbség a poligon határán szakadást okoz, ezért a kartográfiában nem alkalmazzák, de tömegszámításra jól használható, mert a nagy számok törvénye[1] következtében a hibák kiegyenlítődnek. A módszerre a következő alpontban visszatérünk.

2.4. 6.2.4 Determinisztikus – sztochasztikus

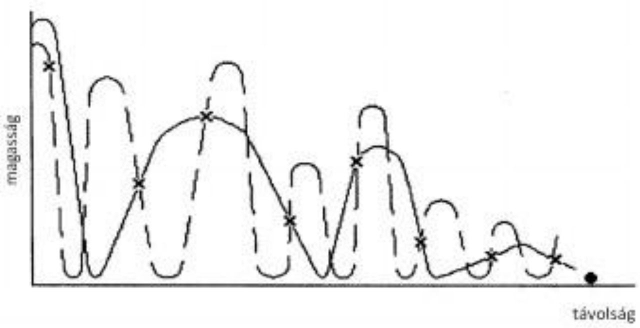
Könnyű a dolgunk, ha az új értékeket egy olyan adathalmazból kell interpolálnunk, ahol elég tudomásunk van a természeti folyamatról vagy jelenségről ahhoz, hogy tulajdonságát matematikai funkciókkal le tudjuk írni. Ezt jelentené a tényleges determinisztikus interpoláció. A következő ábra azt mutatja, hogy néhány mérésből, a pattogó labda pályagörbéje pontosan számítható, a fizikai törvények ismeretében.

Sajnos kevés földrajzi jelenséget ismerünk elegendő részletességgel, hogy az lehetővé tegye a tényleges determinisztikus interpolációt, ezért determinisztikus interpolációnak hívjuk azokat az algoritmusokat is, amelyek a környező pontokra valamilyen matematikai függvényt illesztve interpolálnak. A második ábra az interpoláció veszélyeire hívja fel a figyelmet; két pályagörbét mutat, amik ugyan szabatos interpoláció eredményei, de a számított érték nagy hibákkal terhelt.

[1] A nagy számok törvénye (a valószínűség számítás egyik alapvető tétele) azt mondja ki, hogy egy kísérletet sokszor elvégezve az átlag közel lesz a várható értékhez.



6.7. ábra. Csillapodó rezgőmozgás (Forrás: UNIGIS)



6.8. ábra. Az interpoláció veszélyei

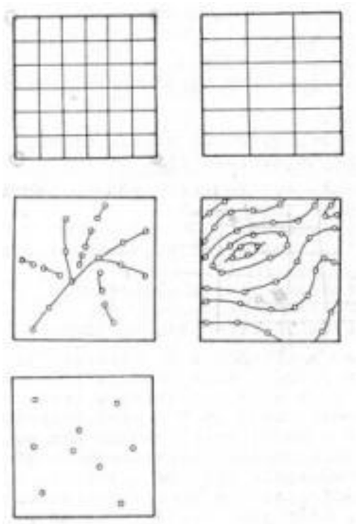
A sztochasztikus interpoláció nemcsak determinisztikus, hanem statisztikai függvényeket is felhasznál a becslés folyamán. Ezek a módszerek az első lépésben a támpontok közötti statisztikai kapcsolatokat határozzák meg, és ezeket használják a számításokban. A sztochasztikus módszerek (pl. Kriging) előnye, hogy az interpoláció megbízhatóságára is becslést szolgáltatnak. A térbeli interpoláció típusainak elvi áttekintése után rátérünk a domborzatmodellezés interpolációs módszereinek tárgyalására.

3. 6.3 Elemi műveletek

Ezt az alfejezetet a domborzatmodellező algoritmusok kialakulásával és fejlődésével kezdjük. Ezután összefoglalóan tárgyaljuk a szabályos, rácshálós modelleken végzett interpolációt. A szabálytalan modellekre bemutatjuk a dinamikus felületek, a természetes szomszédok, és a lokális háromszögek módszerét, végül foglalkozunk a TIN és a spline módszerrel. Mielőtt a műveletekre rátérünk, ismerjünk meg néhány fogalmat!

A támpontok eloszlása szerint megkülönböztetünk:

1. szabályos modelleket, ahol a támpontok szabályos rácsháló metszéspontjaiban helyezkednek el,
2. strukturális modelleket, amelyek felépítésekor figyelembe veszik a domborzat jellegzetességeit, és
3. véletlenszerű modelleket, ahol a nem szabályosan elhelyezkedő támpontok valamilyen ok miatt nem esnek a terepfelszín jellemző pontjaira (például tó vagy folyó medrének felmérésekor).



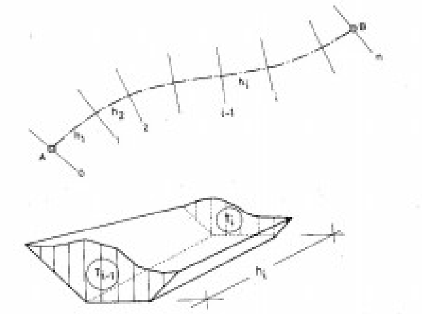
6.9. ábra. Szabályos, strukturális és véletlenszerű DDM

A DDM feladatok közül igen gyakori az eredeti modellből új modell levezetése. Ilyen esetekben az eredeti modell támpontjait elsődleges pontoknak az új modell támpontjait másodlagos (levezetett, interpolált) pontoknak nevezzük. A modellek általában támpontok strukturált halmazaként épülnek fel. A modellező műveletek a támpontok alkalmas készletére támaszkodva állítanak elő új információkat a modellezett terepről.

Elsődleges modellként általában strukturális modelleket vagy nagy pontsűrűségű szabályos modelleket alkalmaznak. A levezetett modellek - az egyszerű, gyors kezelhetőség miatt - rendszerint szabályosak.

3.1. 6.3.1 Korai algoritmusok

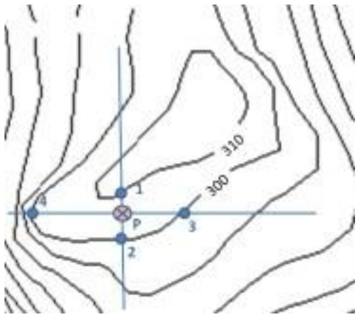
A térinformatikai gyökerei a digitális domborzatmodellezésben rejlenek. A múlt század ötvenes éveinek közepén Charles Miller (Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA) számítógéppel segített vasúttervezési fejlesztéseket folytatott. Ennek során 1957-ben elkészült az első digitális domborzatmodell. A mérési eredményeket sztereofotogrammetria szolgáltatta. A modell támpontjait keresztszelvényekben rögzítették. A tervező programok e szelvényekben lineáris interpolációval nyertek magassági adatokat.



6.10. ábra. Az első DDM támponteloszlásának és a tervezésnek elvi sémája

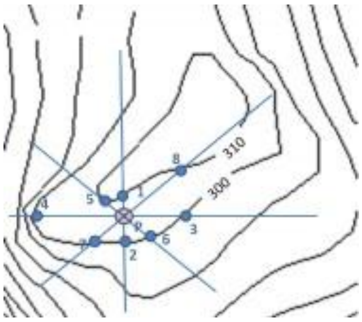
Ezt a modellt a fejlesztők ugyan digitális terepmodellnek nevezték el, de a mai értelemben domborzatmodellnek hívnánk. A projekt úttörő jellegének aláhúzására megemlítjük, hogy olyan informatikai környezetben kezdték a munkát, amikor az IBM főmérnöke azt vizionálta, hogy a világnak mindössze öt számítógépre lesz szüksége. Charles Miller munkájának elismeréseképpen az MIT legfiatalabb professzoraként kapott kinevezést.

Egy másik irányzat (a svéd Nordisk ADB, a japán Nakamura és mások képviselték) az interpolációt a szintvonalakon végzett szerkesztésekkel végezte el. A legegyszerűbb algoritmus első lépésben megkereste a P ponton átmenő függőleges és vízszintes egyenesek mentén a szintvonalakkal való első metszéspontot, majd a második lépésben lineáris interpolációt végzett az 1-2 és a 3-4 szakaszokon, végül a P pont magasságát az előző lépésben kapott értékek számtani közepeként nyertük.



6.11. ábra. A P pont magassága az 1-2 és a 3-4 szakaszon végzett lineáris interpoláció számtani közepe

A processzorok teljesítményének javulása megengedte a hosszabb számításokat. A következő ábrán szemléltetett algoritmus első lépésben megkereste a P ponton átmenő fő és mellékégtájakra futó egyenesek mentén a szintvonalakkal való első metszéspontot, majd a második lépésben kiválasztotta a legnagyobb lejtésű szakaszt (ez ábránkon az 1-2), majd lineáris interpolációt végzett ezen a szakaszon. Lényegében a manuális megoldás esésvonalon végzett lineáris interpolációját imitálta az algoritmus.



6.12. ábra. A P pont magasságát a legnagyobb esésű 1-2 szakaszon végzett lineáris interpoláció adja

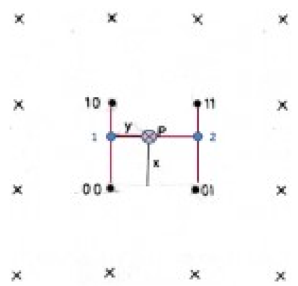
Amint látjuk, a korai algoritmusok a manuális megoldást igyekeztek számítógépre vinni. Tanulságként mutattuk be ezeket. A gondolkodásmód átalakítása hosszú folyamat. A mai szoftverekben alkalmazott algoritmusokat a hetvenes években alapozták meg.

A következőkben néhány ilyen algoritmust mutatunk be először szabályos, majd szabálytalan modellekre.

3.2. 6.3.2 Kettősen lineáris interpoláció

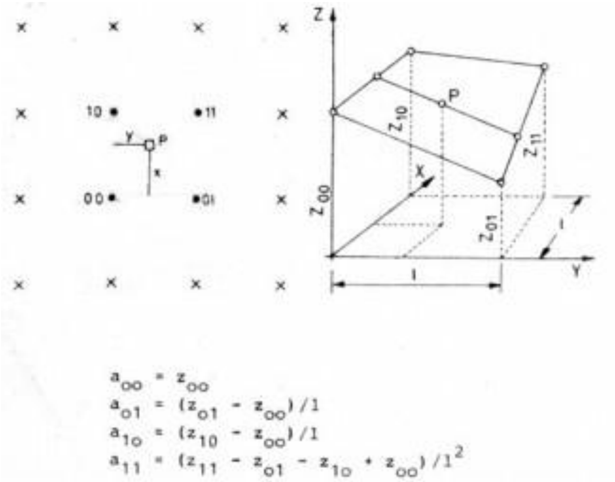
A szabályos modelleket széleskörűen alkalmazzák elemezési, tervezési feladatok megoldására. A szabályos modellek előnye, hogy könnyen meghatározható a levezetendő pont környezete, gyorsan kiválaszthatók a lokális interpoláció támpontjai, a számítás egyszerű. A modell hátrányai között említhető, hogy a rácspontok nem esnek a terep jellemző pontjaiba, ezért csak kellően sűrű modell ad kielégítő eredményt. A modelleket leggyakrabban fotogrammetriai úton, vagy számítógéppel történt levezetés útján nyerik. Több szabályos modell elérhető az interneten is.

Két megoldást ismertetünk a következőkben. Lényegében mindkettő szabatos megoldás, és kettősen lineáris (bi-lineáris) interpoláción alapul. Az első algoritmus elvét a következő ábra szemlélteti. A P pont környezetét azon rácselem sarokpontjai képviselik, amelybe a pont esik (00,10,11,01). Határozzuk meg az 1 jelű pont magasságát a 00-10 oldalon lineáris interpolációval, ugyanígy a 2 jelű pontot a 01-11 oldalon. Végül a P pont magasságát az 1-2 szakaszon végzett lineáris interpoláció szolgáltatja.



6.14. ábra. A kettősen lineáris interpoláció elve

A második megoldást akkor alkalmazzuk, ha a rácselemben több pont interpolációját is el kell végezni. Ilyen esetben célszerű egy felületillesztést végezni, és a magasságokat a felület egyenletéből számítjuk.



6.15. ábra. Hiperbolikus paraboloid illesztése

A szabatos interpolációra használható legegyszerűbb felület a hiperbolikus paraboloid. Ennek egyenlete $z=a_{00}+a_{01}y+a_{10}x+a_{11}xy$. A 4x4-es egyenletrendszer szokásos megoldása helyett gyorsul a számítás, ha az előző ábrán látható módon, a 00 jelű pontban egy relatív koordinátarendszert veszünk fel. Ekkor x=0 és y=0, ezért $a_{00}=z_{00}$. A 01 jelű pontban x=0, az 10 jelű pontban y=0, ezért az a_{01} és az a_{10} a rácsoldalak mentén vett magasságkülönbségek és az oldalhossz (l) hányadosaként számíthatók. Ezek után a negyedik ismeretlen (a_{11}) már az egyenletbe helyettesítéssel és átrendezésével egyszerűen számítható. Az ismeretlenek meghatározásával tetszőleges pont magassága gyorsan meghatározható.

A módszer gyakorlati alkalmazásával találkozunk például az ArcMap-nek az adatszint tulajdonságok (Layer Properties) menüjében, ha a **Bilinear Interpolation** opciót választjuk.

Mindkét említett módszer hibája, hogy egyik rácselemről egy másikra átlépve az interpoláló felület élesen törik. Ezt a hatást a környezet kiterjesztésével 12 vagy 16 rácspont alkalmazásával lehet csökkenteni.

A szabályos modelleken történő interpolációról most áttérünk a szabálytalan modellekre kialakított magasságszámító algoritmusokra.

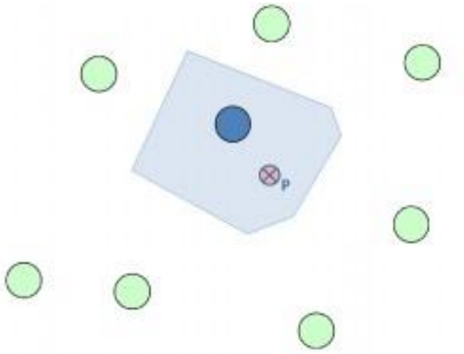
3.3. 6.3.3 Dinamikus felületek

A dinamikus felületek módszere egy matematikailag meghatározott felületet használ a számításra. Ennek helyzete dinamikusan változik a P pont helyzetének függvényében.

A következőkben öt módszert mutatunk be. A módszereket a felület megválasztása és a környezet meghatározása szerint osztályozzuk.

A legközelebbi szomszéd

A legközelebbi szomszéd (Nearest Neighbor) módszere a legegyszerűbb eset, a környezetet a legközelebbi támpont jelenti, a terep felszínét vízszintes síkkal közelítjük.



6.16. ábra. A P pont magasságát a legközelebbi támpont adja

A módszer gyakorlati alkalmazásával találkozunk például az ArcMap-nek az adatszint tulajdonságok (Layer Properties) menüjében, ha a **Nearest Neighbour** opciót választjuk.

A módszer szabatos és szakadásos.

Súlyozott számtani közép

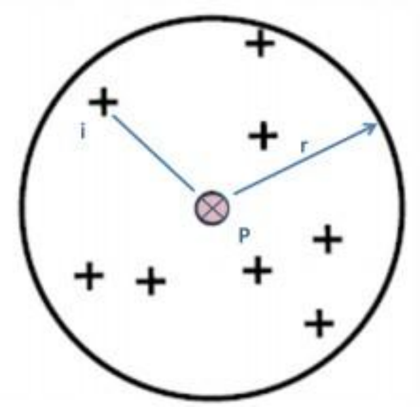
Ennél a módszernél a kiválasztott támpontokból a magasság a következő képlettel egyszerűen, a támpontok magasságának súlyozott számtani közepeként kiszámítható:

$$Z_p = \frac{\sum p_i z_i}{\sum p_i}$$

ahol

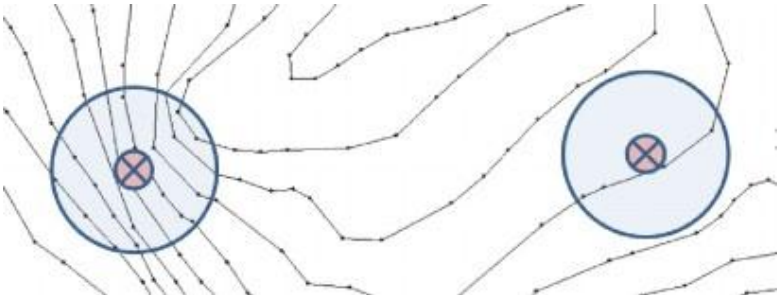
- Z_p – az új pont magassága,
- p_i – az i pont súlya (Tobler törvénye alapján, a P és az i jelű támpont közötti távolsággal fordítottan arányos, rendszerint $1/t_i^2$),
- z_i – az i támpont ismert magassága.

Itt környezet alatt általában egy adott (r) sugarú kört értünk.



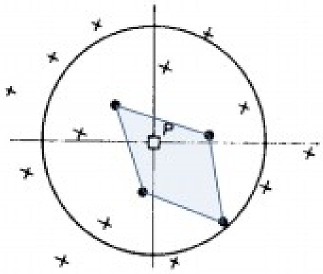
6.17. ábra. A P pont magasságát a kiválasztott támpontokra illesztett vízszintes kiegyenlítő sík adja

Problémát jelent, ha nagy a sugár, akkor túl sok pont esik a környezetbe (lásd a következő ábra bal oldalán, a sok pontnak túlzott simító hatása van), vagy kicsi a sugár, és túl kevés a környezetbe eső támpont, akkor nem tud a gép magasságot számítani. Más esetekben az így kiválasztott pontok térbeli eloszlása nem szerencsés (lásd az ábra jobb oldalán). Ha jól megnézzük, akkor ebben az utóbbi esetben a levezetendő pont nem esik a kiválasztott támpontok burkoló sokszögébe, vagyis interpolálás helyett extrapolálná az eljárás.



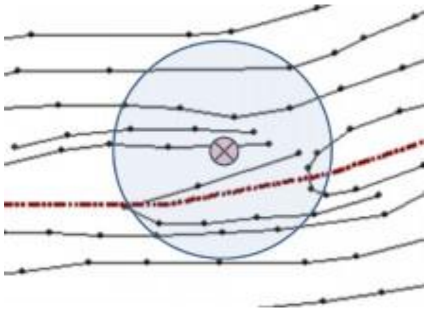
6.18. ábra. Az adott sugarú körrel leírt környezetbe eső támpontok száma változó

A következő ábrán egy olyan kiválasztási módszert látunk, amely ezt a problémát orvosolja. Itt a kiválasztás az első lépésben egy megfelelően nagy sugárral történik, majd a második lépcsőben a négy síknegyedből kiválasztjuk a levezetendő ponthoz legközelebb esőket. Ez a kétlépcsős módszer segít abban, hogy P pontot a támpontok valóban fogják közre.



6.19. ábra. A szabálytalan DDM pontjaiból a környező pontok kiválasztása kétlépcsős módszerrel. A P pont biztosan a támpontok burkolósokszögébe esik

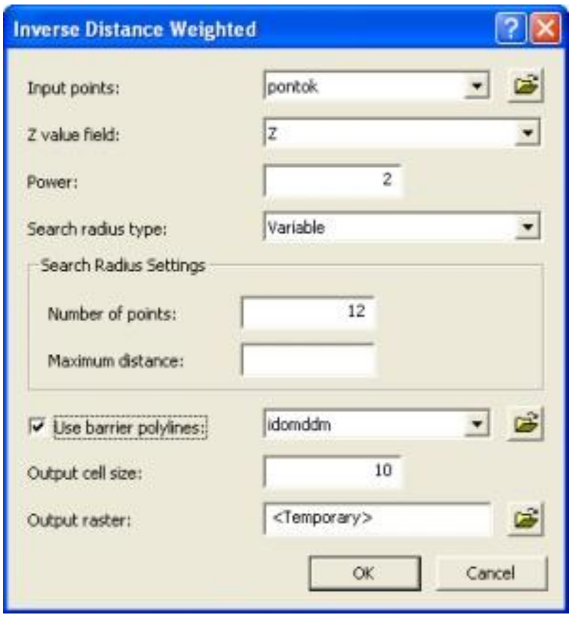
Ha a terepen törésvonalak vannak (pl. rézsűvonalak. éles völgyek, gerincek, akkor előírható, hogy az ezek átellenes oldalára eső támpontok ne kerüljenek kiválasztásra.



6.20. ábra. Terepi törésvonalak megadása

Ezt a módszert alkalmazza az ArcGIS 3D Analyst kiterjesztésének IDW (Inverze Distance Weighted) algoritmusa, amelyet a következő modulban alkalmazni fogunk.

A következő ábra az IDW módszer paraméterezését mutatja az ArcGIS-ben. Látható, hogy a súly képletében szereplő kitevő (Power) változtatható. Az alapértelmezés 2. Minél nagyobb a kitevő, annál nagyobb a közeli támpontok relatív súlya. A kisebb kitevő simító hatású, nagyobb hatást enged a távolabbi pontoknak. A kereső sugár (Search radius) lehet állandó (Fix) vagy változó (Variable). Állandó sugár esetén meg kell adni a minimális pontszámot (Minimal number of points). Ennél kevesebb pont esetén az eljárás nem ad eredményt. Változó sugár esetén meg kell adni a kétlépcsős szelekció pontjainak előírt számát: 4,8,12. A maximális ponttávolság (Maximum distance) megadása opcionális. A terepi törésvonalak megadása ugyancsak opcionális.



6.21. ábra. Az IDW módszer paraméterezése az ArcGIS-ben

A módszer közelítő és folyamatos.

Interpoláció ferde síkkal

Az előző két módszer nem alkalmas a lejtés meghatározására, mert az interpoláló felület vízszintes sík. Ha a támpontokra ferde síkot illesztünk, akkor a sík egyenletéből a lejtés, és annak iránya is számítható.

A ferde síkkal (elsőfokú polinommal) való közelítés esetén a magasság a következő képlettel számítható:

$$Z_p = a_{00} + a_{01}x + a_{10}y$$

ahol

- a_{ij} – a sík együtthatói (ismeretlenek),
- x és y – relatív koordináták (origó a P pontban).

Vegyük észre, hogy amíg az előző esetben mindössze egy ismeretlenünk volt, vagyis egy támpont is elegendő lenne a meghatározáshoz, addig a ferde síkkal való közelítés esetén már az ismeretlenek száma három (három támpontra van minimálisan szükség a környezetben).

Ha háromnál több támpontunk, tehát fölös adatunk van, akkor a ferde sík nem illeszthető egyértelműen (ellentmondás-, eltérésmentesen) a támpontokra. A megoldást a legkisebb négyzetek módszere adja. Ezzel itt nem foglalkozunk (a Kiegyenlítőszámítás című tantárgy részletesen tárgyalja), de lényege az, hogy a legjobban simuló síknak azt tekinti, amelyre a támpontokon számított eltérések súlyozott négyzetösszege a legkisebb.

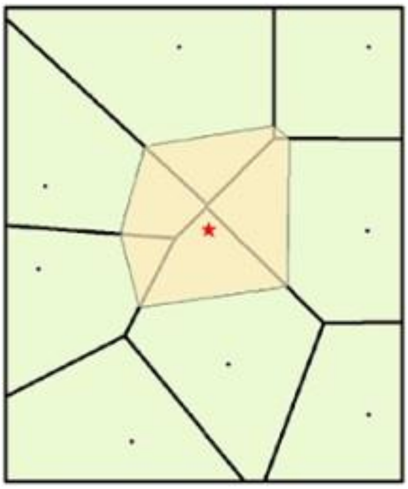
Interpoláció másodfokú polinommal

Ha a terep görbültségét is keressük, akkor közelíthetünk másodfokú polinommal

$$Z_p = a_{00} + a_{01}x + a_{10}y + a_{11}yx + a_{02}x^2 + a_{20}y^2$$

A fenti képlet alkalmazásához legalább hat támpontra van szükség. Ezért a kétlépcsős kiválasztás során a két-két vagy három-három legközelebbi pontot választjuk ki. A nagyobb számításigény ellenértéke, hogy itt a pontbeli görbültséget is megkapjuk. Ezzel vizsgálható, hogy az adott környezet milyen terepidomot jellemez, ami a topográfiai mérések tervezésétől az eróziós védekezésig sok mindenre felhasználható.

Természetes szomszédok



6.22. ábra. A természetes szomszédok módszerét alkalmazva, a támpontok súlya a Thiessen poligonból kimetszett területtel arányos

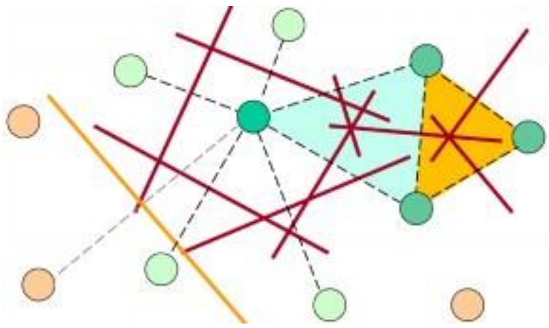
A természetes szomszédok (Natural Neighbor) módszert használva a számítás hasonló, mint az IDW esetén, de a számításba bevont pontok kiválasztása az új pontra szerkesztett Thiessen poligonnal történik. Az új pontot hozzáadva a támpontokhoz, megszerkesztjük annak Thiessen poligonját, és a közvetlen szomszédokat választjuk ki. Ezek jelentik a környezetet. Átlapolva ezt a poligont a támpontok eredeti (új pont nélküli) Thiessen poligonjaival, átfedő területeket kapunk. A támpontok súlya az átfedő területtel arányos.

3.4. 6.3.4 Spline

Szabályos, rácshálós modellek levezetésekor gyakran alkalmazzák a spline függvényeket, különösen, ha sima lefutású szintvonalrajzot akarnak előállítani. Az interpoláló függvény a támpontokra illeszkedő rugalmas membrán alakját követi. A függvény átmegy valamennyi támponton, és a görbültsége minimális. A felszín sima, de a támpontok környékén a lejtés erősen változhat, ezért a görbültség számítására nem javasolt. A módszer szabatos és folyamatos, sőt folytonos (!).

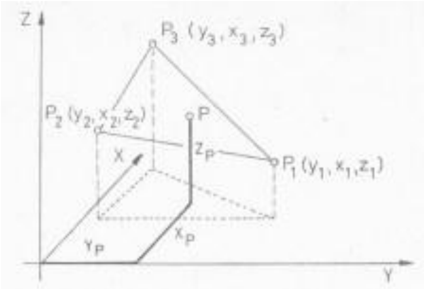
3.5. 6.3.5 TIN

A domborzatmodellezés korai szakaszában számos kutatás foglalkozott szabálytalan modelleken optimális háromszöghálózat szerkesztésével. Mára a Tom Poiker által kidolgozott TIN (Triangulated Irregular Network) módszer vált általánossá. Az ArcGIS is ezt alkalmazza. A TIN megszerkesztése a korábban tárgyalt Thiessen poligonok szerkesztése után egyszerűen elvégezhető, ha összekötjük mindazon pontokat, amelyek Thiessen poligonjai érintkeznek egymással. Bizonyítható, hogy ez a hálózat a lehető legzömökebb (az egyenlő oldalú háromszögekhez legközelebb álló) alakzatot adja.



6.23. ábra. A Thiessen poligonok és a TIN kapcsolata

Miután a globális TIN hálózat rendelkezésre áll, az interpoláció háromszögenként (lokálisan) egy-egy ferde síkkal történik.

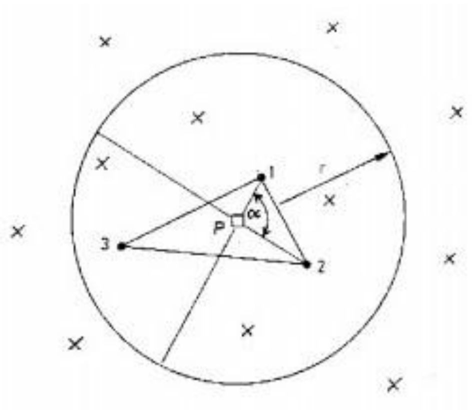


6.24. ábra. A háromszög csúcspontjai a síkot egyértelműen határozzák meg.

A módszer szabatos és folyamatos.

3.6. 6.3.6 Lokális háromszögek

A lokális háromszögek módszere a TIN módszerrel ellentétben mindig csak a levezetendő pont környezetében építi fel a háromszöget. Az első lépésben kiválasztásra kerül a legközelebbi pont. A második legközelebbi pontra igaznak kell lennie annak a feltételnek, hogy az 1-P-2 szög ($\alpha\alpha$) nagyobb, mint 60^0. A harmadik legközelebbi pontnak az 1-P és 2-P irányok által kimetszett körcikkbe kell esnie. A módszer biztosítja azt, hogy a levezetendő pont mindenképpen a háromszög területére essen.



6.25. ábra. A lokális háromszögek módszerének elve

Miután a lokális háromszög rendelkezésre áll, az interpoláció egy ferde síkkal történik. A módszer szabatos és folyamatos.

3.7. 6.3.7 Lejtés és görbültség

Az előzőekben a „Mi van itt?" kérdés a magasságra vonatkozott. Most ezt kiterjesztjük a pontbeli lejtésre és görbültségre.

Amint említettük a ferde síkkal való közelítés esetén a magasság a következő képlettel számítható:

$$Z_p = a_{00} + a_{01}x + a_{10}y$$

ahol

- a_{ij} – a sík együtthatói (ismeretlenek),
- x és y – relatív koordináták (origó a P pontban).

Ebben az esetben már meghatározható az első differenciálhányadosokból a lejtés ($\alpha\alpha$), és a lejtés irányszöge (δ δ)

$\alpha\alpha = \sqrt{a_{01}^2 + a_{10}^2}\sqrt{a_{01}^2 + a_{10}^2}$, és a

$\delta\delta$ = arctan ($-a_{01}/-a_{10}-a_{01}/-a_{10}$) is.

A lejtés és lejtésirány osztályozásával a következő alfejezetben foglalkozunk.

Amennyiben a felszínillesztést a

$$Z_p = a_{00} + a_{01}x + a_{10}y + a_{11}yx + a_{02}x^2 + a_{20}y^2$$

másodfokú polinommal végeztük, akkor már a görbültség is képezhető a második differenciálhányadosokból . A görbültség ismerete hasznos például a talajerózió modellezésében, de a lejtés és a görbültség együttes elemzése segít a domborzati formák felismerésében és lehatárolásában.

A következő táblázatban ez utóbbi lehetőséget foglaltuk össze.

Ha a lejtés közel nulla, és a

- maximális és minimális görbültség is pozitív, akkor a pont magaspont;
- ha maximális és minimális görbültség is negatív, akkor a pont mélypont;
- ha a két görbültség ellenkező előjelű, akkor a pont nyeregpont.

Függetlenül a lejtéstől, ha a maximális görbültség pozitív, a minimális közel nulla, akkor a domborzati forma gerinc; ha a maximális görbültség negatív, a minimális közel nulla, akkor a domborzati forma völgy.

A kihajló lejtőnél a maximális görbültség pozitív, a minimális nulla, a behajló lejtőnél a maximális görbültség negatív, a minimális nulla.

Síknak minősül a pont, ha mind a lejtés, mind a minimális és maximális görbültség közel nulla.

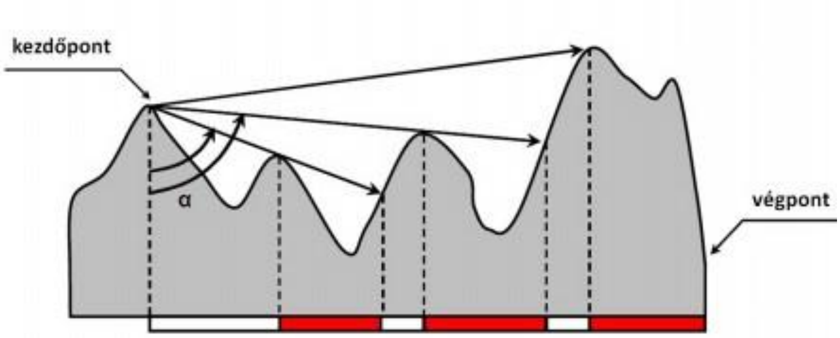
Domborzati forma	Lejtés	Maximális görbültség	Minimális görbültség
Magaspont	0	+	+
Mélypont	0	-	-
Nyeregpont	0	+	-
Gerinc	x	+	0
Völgy	x	-	0
Kihajló lejtő	+	+	0
Behajló lejtő	+	-	0
Sík	0	0	0

4. 6.4 Alapműveletek

A magasság ismeretében a terep felszínéről sokféle információ vezethető le. Az információk levezetésének fontosabb alapműveleteivel foglalkozunk ebben az alfejezetben.

4.1. 6.4.1 Összelátás

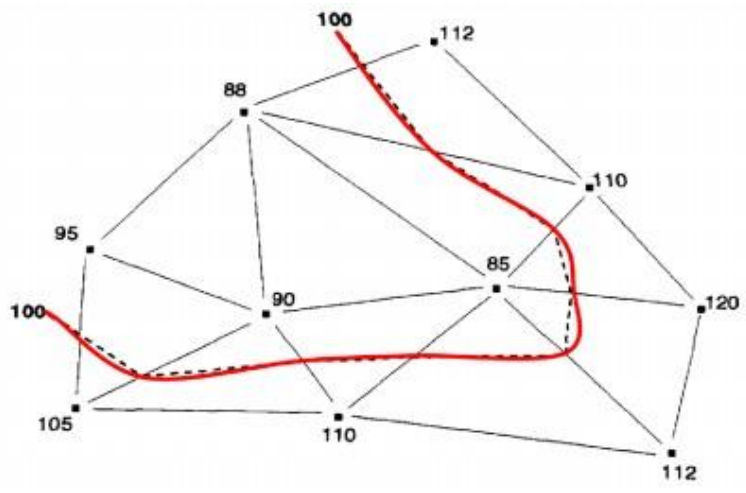
A művelet a kezdőpont (nézőpont) és a végpontot (célpontot) összekötő egyenes szakaszra függőleges illeszt, azzal metszi a domborzatmodellt. A metszeten vizsgálja a láthatóságot (Line of Sight). Az ábrán fehér sávok jelzik a kezdőpontról látható szakaszokat, piros sávok a takarásban maradókat.



6.27. ábra. A láthatósági viszonyok a kezdőpontról a végpontra nézve (Forrás: UNIGIS)Mind a kezdőpont, mind a végpont terep feletti magassága változtatható. Ha nagy a távolság, akkor a Föld görbültségét is indokolt figyelembe venni.Ha a végpont helyét kiterjesztjük a teljes modellre, akkor a műveletet láthatósági (Visibility) elemzésnek hívjuk. Nézőpontként több pont (pl. távközlési antennák helye), vonalak (pl. úthálózat) vagy poligonok is megadhatók.

4.2. 6.4.2 Szintvonalak

A művelet egy adott magasságú vízszintes síkkal metszi a domborzatmodellt. Ez általában egy törésekkel rendelkező vonalat eredményez, amit valamilyen módszerrel simítnak. Ez a megoldás topográfiai szempontból hibás, mérnöki feladatoknál pedig félrevezető lehet. Ugyanis a 2D vonalat simítjuk, nem pedig a felszínt. A következő ábrán a szaggatott vonal mutatja ezt az esetet.

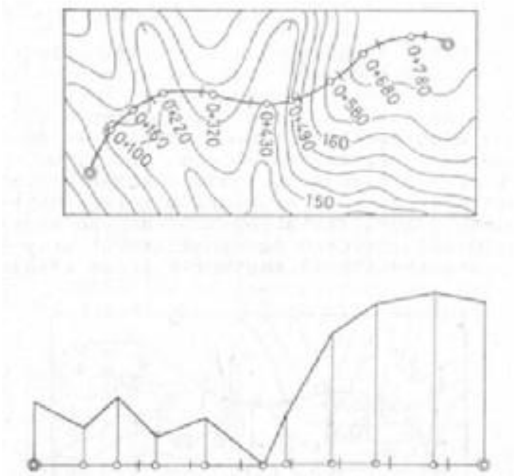


6.28. ábra. Szintvonalak szerkesztése TIN hálózaton (Forrás: NCGIA)

Ha sima szintvonalakat szeretnénk eredményül, akkor egy sima felszínt generáló interpolációt (pl. spline) kell használnunk. A felszínt kell simítani, nem a 2D vonalat! Az automatikus szintvonal-szerkesztés általában része a felszínelemző rendszereknek. A fejlettebb rendszerek többféle simítási megoldást kínálnak, és gondoskodnak a szintvonalak megírásáról is.

4.3. 6.4.3 Hossz- és keresztszelvény

A hossz-szelvény a nyomvonalra fektetett függőleges palást és a modell metszete. A nyomvonalon a szelvénypontok (levezetett pontok) lehetnek állandó lépésközűek vagy a terepfelszín változását figyelembe vevő, változó lépésközűek. Az előbbi megoldásnál a lépésköz megválasztása erősen befolyásolja az eredményt. Túl nagy lépésköznél a szelvény nem érzékelteti a kisebb terephullámokat. Az utóbbi megoldás a szelvény extrém pontjaiban (magaslatokon és mélyedésekben) is interpolál, ami tervezésben fontos szempont. Ezt mutatja a következő ábra.

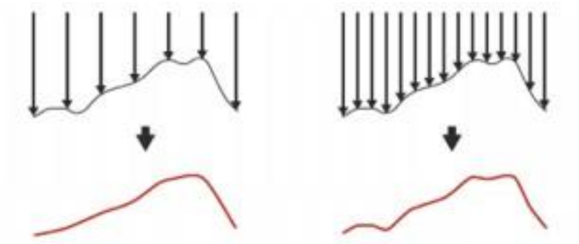


6.30. ábra. Hossz-szelvény szerkesztés

A keresztszelvény a szelvénypontokban a nyomvonalra merőleges szakaszokra illesztett függőleges síkok és modell metszete. A hossz- és keresztszelvény szerkesztés a vonalas létesítmények, a tereprendezés tervezésének egyik alapfeladata.

4.4. 6.4.4 Felszíni görbék hossza

A nyomvonal hossza nem egyezik meg az út tényleges hosszával, amit az ábrán látható elemi ferde távolságok összege eredményez. Különböző lépésközök esetén más és más értéket kapunk. Válasszuk a lépésközt megfelelően, hogy a kívánt pontosságú eredményt kapjuk!

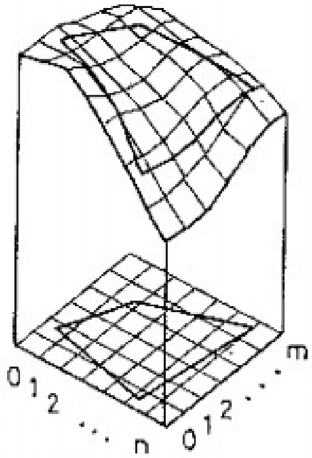


6.31. ábra. Felszíni görbék hossza

4.5. 6.4.5 Felszín

Magyarország területe 93026313400 m^2, legalábbis a korábban megismert „megye” adatszint ezt az eredményt adja. Mekkora hazánk felszíne? Erre ad választ ez a művelet. Borítsunk egy rácshálót a területre (ez látható a következő ábrán), és számítsuk ki a rácselemek középpontjában a lejtést! A rácselem felszíne (f), a rácselem területéből (t), és a lejtésszögből ($\alpha\alpha$) a következőképpen számítható:

$$f = \frac{t}{cos\alpha}$$



6.32. ábra. A felszín számításának elve

Az elemi felszíndarabokat összegezve nyerjük a poligon felszínét:

$$F = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{t_{ij}}{cos\alpha_{ij}}$$

A poligon határán a részterületekkel kell számolnunk.

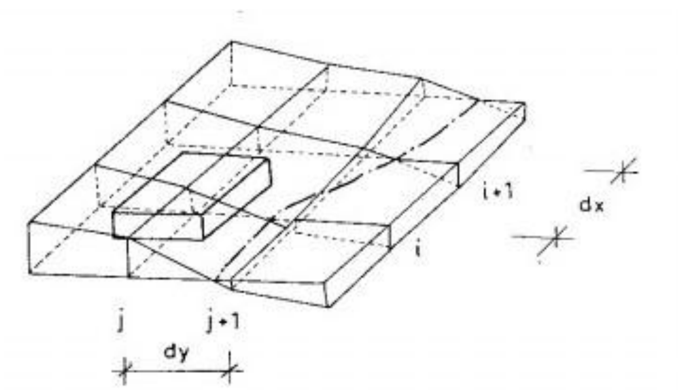
4.6. 6.4.6 Térfogat

A térfogatszámítás gyakori feladat. A következőkben háromféle tipikus megoldást mutatunk be.

A rácshálós térfogatszámítás esetén két felszín közötti térfogatot határozunk meg, a rácselemekben számított téglatestek összegeként (lásd a következő ábrát). A DDM előtti időben például egy földtömeg kitermelése előtt kitűztek egy rácsot, és mérték az eredeti felszín rácspontjait, majd a munka végeztével újra kitűzték ugyanazon rácsot, és mérték a magasságokat ugyanazon ponton. A rácspontokon számítható magasságkülönbség és a cella területének szorzata adja az elemi téglatest térfogatát (dV), amelyet összegezni kell a teljes modellre.

A DDM lehetőséget ad arra, hogy a szabálytalan modellen levezessük a rácspontok magasságát, ezzel a rácspontok kitűzésének időrabló művelete elhagyható.

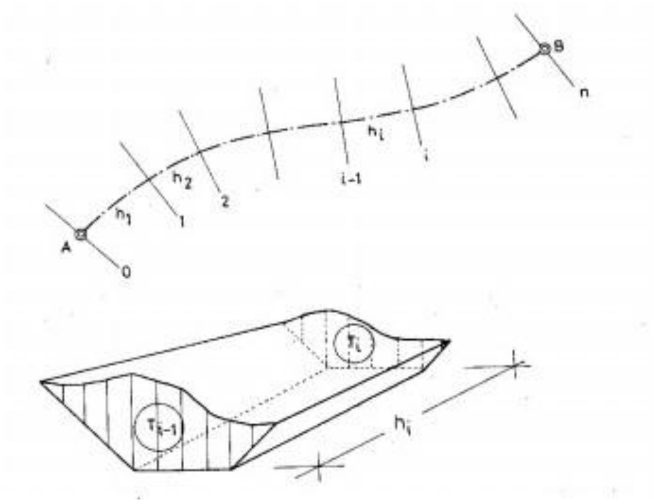
$$V = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} dV_{ij}$$



6.33. ábra. Rácshálós térfogatszámítás

Vonalas létesítmények földtömegszámításakor ezt a módszert szokták használni. A módszer elvét a következő ábra mutatja. A számítás alapadatául a szomszédos szelvények területe (T) és távolsága (h) szolgál. Az ezek közötti földtömeg (dV_i) így számítható:

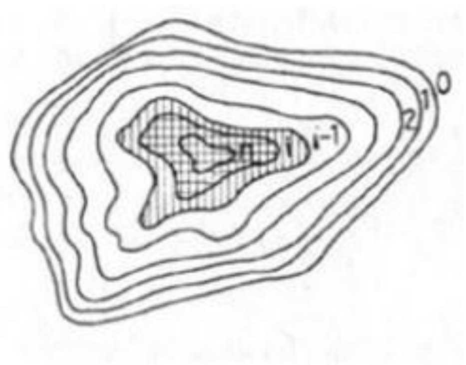
$$dV_i = \frac{T_{i-1} + T_i}{2} h_i$$



6.34. ábra. Térfogatszámítás keresztszelvények alapján

A dV_i tömegeket összegezve kapjuk a végeredményt, amit töltés és bevágás szakaszokra bontanak. A vonalas létesítmény tervezéskor általában törekszenek arra, hogy a töltések és bevágások összege egyenlítse ki egymást.

A következő ábrán látható a harmadik megoldás, ahol a szintvonalak területét használjuk fel térfogatszámításra. Két szintvonal által bezárt test térfogata (dV_i) a két terület (T) átlaga, szorozva a szintvonalak egymástól mért távolságával (h). Tehát az alkalmazott képlet egyezik az előzővel.



6.35. ábra. Térfogatszámítás szintvonalakból

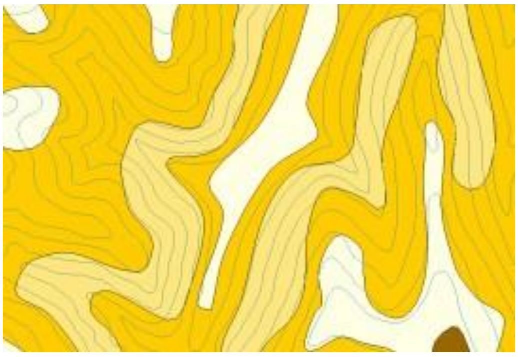
4.7. 6.4.7 Lejtőkategóriák és kitettség

A lejtés (Slope) sok elemzésnek kiinduló adata, ahol a lejtést általában lejtőkategóriákban ábrázolják. A szabványos kategóriába sorolás a következő táblázat segítségével történik.

Lejtőkategória	Lejtés [%]	Minősítés	Megjegyzés
I	< 5	sík	erózió hatása nem jellemző
II	5 - 12	enyhén lejtős	gépesítési, sáncolási határ
III	12 - 17	lejtős	speciális szántást igényel
IV	17 - 25	enyhén meredek	a szántóföldi művelés határa

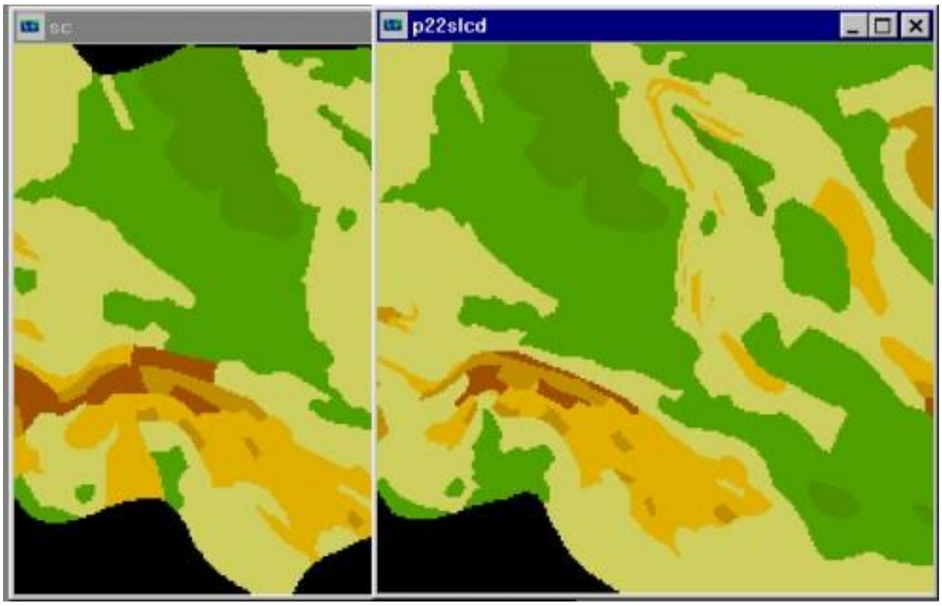
V	> 25	meredek	szántóföldként nem művelhető

A szintvonalas térképen a vonalak sűrűsödése a terep meredekségét jelzi. Adott méretarányhoz és szintközhöz kiszámítható egy adott lejtéshez tartozó szintvonal távolság. Ez az alapja a manuális lejtőkategória térkép készítésének. Amint az előbbi ábrán látható, a manuális szerkesztés fáradalmas folyamat, és hibákat eredményez. A manuális szerkesztésre a pontatlanság, a túlzott generalizálás jellemző, ebből eredően a kép esetenként elnagyolt lehet.



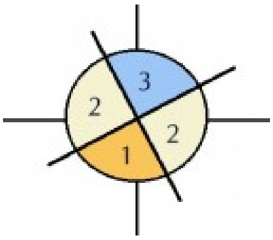
6.36. ábra. Manuálisan szerkesztett lejtőkategória térkép

Természetesen a számítógépes megoldás is rejt hibákat. Az automatizált szerkesztés során a modellhibák, és a nem körültekintően megválasztott vagy paraméterezett interpoláció okozhat hibás eredményeket. Sajnos ezek tapasztalat és kontroll nélkül nagyobbak lehetnek, mint a manuális megoldás hibái. Erre a modul végén látunk majd példát. Természetesen megfelelő technológiát választva a számítógép pontosabb és részletgazdagabb eredményt ad. Ezt mutatja a következő ábra.



6.37. ábra. A számítógép pontosabb és részletgazdagabb eredményt ad. Baloldalon a manuális, jobbra a számítógépes változat látható.

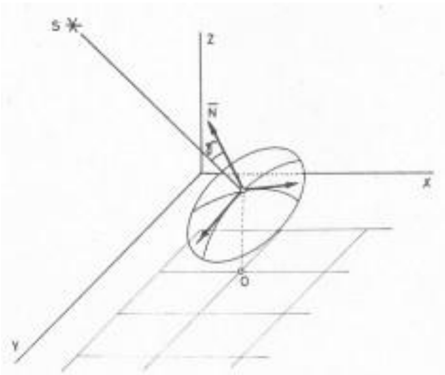
A lejtésirány (Aspect) ugyancsak fontos információ az éghajlati viszonyok figyelembe vételéhez. A kitettséget domb- és hegyvidéki területeken értelmezik, ahol a terepesés meghaladja a 17%-ot. A lejtésirány szerinti kategorizálás kitettségi osztályokat eredményez. A szabványos osztályba sorolás alapjául a következő ábra szolgál. A kategória-határok a fő égtájakhoz nem szimmetrikusan, hanem azokhoz képest 22,5°-kal eltolva helyezkednek el. Ennek a magyarázata az, hogy a levegő hőmérséklete a Nap mozgását megkésve követi. Az 1. osztályba a délies lejtők tartoznak, amelyeket reggeltől estig ér a nap. A 2. kitettségi osztályba sorolt területek reggel illetve este kapnak napsütést. A 3. kategóriában kevés a napsütés, különösen télen. Ide ajánlott sípályákat telepíteni.



6.38. ábra. Kitettségi osztályok

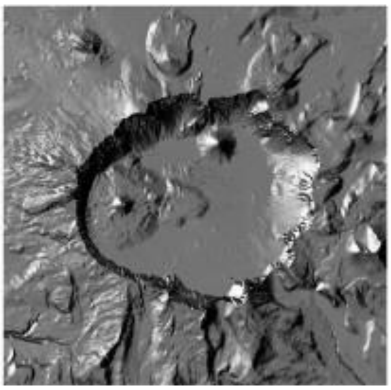
4.8. 6.4.8 Domborzatárnyékolás

A domborzatárnyékolás (Hillshade) plasztikussá teszi a felszín megjelenítését, kiemeli a domborzati formákat. A módszer elve a következő ábrán látható. Ha az S fényforrással megvilágítjuk a modellt, akkor a legfényesebb azok a rácselemek lesznek, amelyekben a felszín normálvektor egybeesik a beeső fénysugárral. Ekkor a $\gamma\gamma$ szög nulla. A rácselemek megvilágítottság értéke $E = \cos\gamma E = \cos\gamma$.



6.39. ábra. A domborzatárnyékolás elve

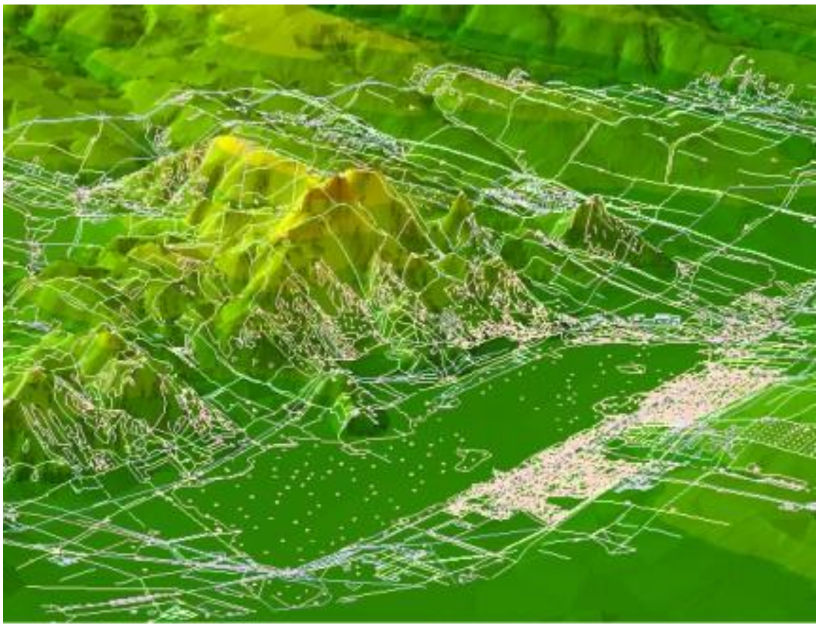
A megvilágítás iránya általában észak-nyugati (315°), a magassági szög 45°. A következő ábrán a hatás fokozása érdekében négy megvilágítást kombináltak, ezek iránya 225°, 270°, 315°, és 360° volt, a magassági szög mindegyik esetben 30°.



6.40. ábra. A domborzatárnyékolás plasztikussá teszi a megjelenítést (Forrás: ESRI Mapping Center)

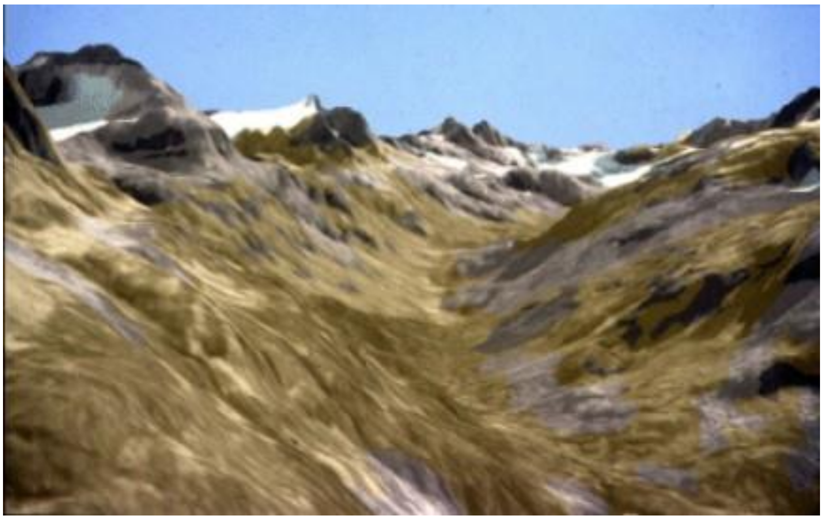
4.9. 6.4.9 3D megjelenítés

A felszín 3D (perspektív) képe hatékony ellenőrzést nyújt a modellépítés során, segítségével a durva hibák könnyen felfedezhetők. Ugyancsak jól használható, ha a modellről áttekintő képet szeretnénk látni, vagy a tervezésben tájba illeszkedési vizsgálatokra.



6.41. ábra. A Velencei-hegység perspektív képe

A terepfelszín 3D ábrázolását gyakran színezik ki más fedvények tematikus képével, a felszínen található vagy oda tervezett létesítmény rajzával.



6.42. ábra. Az űrfelvétel és a domborzat együttes megjelenítése valósághű képet ad

5. 6.5 Összefoglalás

A modul elején általános jellemzést, csoportosítást adtunk a pontokon végzett interpolációs módszerekre. Ismertettük a domborzatmodellezés elemi műveleteinek kialakulását és fejlődését. Összefoglalóan tárgyaltuk a szabályos, rácshálós modelleken végzett interpolációt. A szabálytalan modellekre bemutattuk a dinamikus felületek, a természetes szomszédok, és a lokális háromszögek módszerét, foglalkoztunk a TIN és a spline módszerrel. Tárgyaltuk a fontosabb alapműveleteket (összelátás, szintvonal szerkesztés, hossz- és keresztszelvény szerkesztés, felszíni görbék hossza, felszínszámítás, térfogatszámítás, lejtőkategória és kitettségi térkép szerkesztés, domborzatárnyékolás, 3D megjelenítés).

Ha az anyagot megtanulta, akkor Önnek képesnek kell lennie:

- meghatározni és jellemezni a térbeli interpoláció típusait,
- elmondani a szabályos és szabálytalan modelleken végzett interpolációs algoritmusokat,
- megvitatni és összehasonlítani az egyes felszínelemzési alapműveleteket,

- orientációt adni a domborzatmodellezés gyakorlati megvalósításában.

Önellenőrző kérdések

1. Ismertesse Tobler törvényét! Adjon példát használatára!
2. Ismertesse a DDM, DTM és DFM fogalmát! Adjon egy-egy példát!
3. Csoportosítsa a domborzatmodellezés műveleteit!
4. Adjon áttekintő csoportosítást a pontokra alapozott interpolációs módszerekről!
5. Adjon képet a korai DDM algoritmusokról!
6. Mutassa be, hogyan interpolálunk szabályos domborzatmodelleken!
7. Mutassa be a legközelebbi szomszéd és a természetes szomszédok interpolációt!
8. Elemezze a súlyozott számtani középpel végzett interpolációt!
9. Hogyan interpolálunk ferde síkkal és másodfokú polinommal?
10. Magyarázza el a TIN módszer működését!
11. Hogyan számítható a lejtés és a lejtésirány?
12. Mire használhatók a görbültségi jellemzők?
13. Ismertesse a láthatósági elemzés elvét!
14. Mire kell ügyelni a szintvonalak és a hossz-szelvények szerkesztésekor?
15. Hogyan számítható a felszíni görbék hossza és a poligonok felszíne?
16. Ismertesse a térfogatszámítás módszereit!
17. Ismertesse a lejtőkategóriák és a kitettség szerkesztését!
18. Hogyan működik a domborzatárnyékolás művelete?

Irodalomjegyzék

Márkus B.: *Térinformatika,* NyME GEO jegyzet, Székesfehérvár, 2009.

Heywood, I. – Márkus B.: *UNIGIS jegyzet, Székesfehérvár,* 1999.

Detrekői Á. – Szabó Gy.: *Térinformatika,* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.

ESRI: *ArcGIS Desktop Help 9.3,* http://webhelp.esri.com/

ESRI: *9.3 ArcGIS Desktop Tutorials, Redlands,* 2010.

Sárközy F.: *Térinformatika,* http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/tbev.htm

NCGIA Core Curriculum: *Bevezetés a térinformatikába (szerk. Márton M., Paksi J.),* EFE FFFK, Székesfehérvár, 1994.

Smith, M. J.,Goodchild, M. F.,Longley, P. A.: *Geospatial Analysis*, The Winchelsea Press, Leicester, 2007., http://www.spatialanalysisonline.com/output/