



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai/Mérnöki/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

SZAKDOLGOZAT

TÉRKÉPEK GEOREFERÁLÁSÁHOZ HASZNÁLT TRANSZFORMÁCIÓK VIZSGÁLATA

OE-AMK
2022

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Pintér Máté
T-000388/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Pintér Máté

Szaktervezési szám: SZD22020712581830

Törzskönyvi szám: T000388/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Térképek georeferálásához használt transzformációk vizsgálata

A dolgozat címe angolul: Investigating map georeferencing methods

A feladat részletezése:

A jelölt vizsgálja meg, hogy, beszkenelt térképlapok georeferálása milyen módszerekkel és milyen pontossággal valósítható meg.

Ehhez minta térképszelvényeken jelöljön ki illesztőpontokat, és a kiegyenlítő számítás segítségével önállóan határozzon meg transzformációs együtthatókat a lineáris, affin és magasabb fokszámú polinomos transzformációkhoz. A transzformációk maradékhibáit kiszámítva hasonlítsa össze a kapott eredményeket a QGIS szoftver használatával kapható eredményekkel.

A beszkenelt térképlapok transzformálását hajtsa végre a GDAL függvénykönyvtárhoz kapcsolódó parancssorból futtatható programok segítségével, és vizsgálja meg azt az eljárást, amely az illesztőpontokat kényszeresen a transzformációval megadott pontokba transzformálja!

Intézményi konzulens neve: Molnár Gábor Péter

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 12. 15.

Beadási határidő: 2022. 05. 15.

A szaktervezési szám: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2022. 04. 25.



[Signature]

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 1.

[Signature]
belső konzulens

.....
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai/Mérnöki/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Bp. 2022.05.13

hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	4
2. Adatok.....	4
2.1. Térképszelvények.....	4
2.2. Illesztő- és tesztpontok.....	8
3. Módszerek.....	8
3.1. A végrehajtás és informatikai környezete	8
3.2. Közös pontok gyűjtése	9
3.3. Georeferáló transzformációk.....	11
3.3.1. Lokális raszter transzformációk	12
3.3.2. Globális raszter transzformációk	14
3.3.3. Excel környezetű alátámasztó számítások.....	19
3.4. A georeferálás újra-mintavételezésének módszerei	20
3.4.1. A „legközelebbi szomszéd” újra-mintavételezési módszer.....	21
3.4.2. A lineáris újra-mintavételezési módszer	21
3.4.3. A köbös újra-mintavételezési módszer.....	21
4. Eredmények, következtetések.....	22
5. Köszönetnyilvánítás.....	32
6. Irodalomjegyzék	35
7. Függelék.....	36
7.1. Eredménytermékek	36
7.2. A QGIS georeferáló funkciójának beállításai	39
7.3. A GDAL „warp-geoloc” opció szkript-be foglalása.....	42

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Mesztia (Grúzia) és környékének M=1:100 000-es topográfiai szelvénye	7
2. ábra: Szabolcsbáka (Magyarország) és környékének M=1:25 000-es topográfiai szelvénye.....	7
3. ábra: Eger M=1:500-as gázszakági térképszelvénye	7
4. ábra: A georeferálás folyamata [6]	11
5. ábra: A lokális transzformáció Delaunay háromszögelt képtartományai (saját szerkesztés)	12
6. ábra: Az újra-mintavételezés problémája (saját szerkesztés)	20
7. ábra: A egyes georeferáló transzformációs típusok maradék-ellentmondásainak diagramos tematikájú szelvény-kivágata. A körökkel ábrázolt pontok tematikája: piros – illesztőpont; zöld – belső tesztpont; sárga – külső tesztpont (saját szerkesztés)	24
8. ábra: A másodfokú georeferáló transzformáció maradék-ellentmondásai residual értékeinek szintvonalas ábrázolása, valamint a belső tesztpontokon keletkező eltérések ugyancsak residual értékeinek tematikus ábrázolása (saját szerkesztés).....	25

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A kapott szelvények raszter tulajdonságai	6
2. táblázat: A kapott szelvények szelvény tulajdonságai	7
3. táblázat: A georeferáló transzformációk javításai és tesztpontjainak eltérései.....	27
4. táblázat: A georeferáló transzformációk eltérésvektorai	29
5. táblázat: Az eredménytermék-csoportok leírása.....	36
6. táblázat: Maguk az eredménytermékek	38

1. BEVEZETÉS

Szakedolgozatom témájául, a szkennelt térképlapok georeferálását választottam. Az utóbbi időben ugyan már kevésbé alkalmazott eljárásról beszélünk, – hiszen a hazai digitalizáció már javarészt túlesett az ezt felhasználó feladatain (Digitális Alaptérkép átalakítás, e-közmű digitális átalakítás) Ezeket napi gyakorlatként művelve, egyre erősebb kíváncsisággal közeledék mind elméleti-, mind gyakorlati kérdéseik felé.

Ebben a dolgozatomban a georeferálás részleteivel kívánok foglalkozni. Ehhez igénybe kívánom venni a kiírásban is nevesített szabadszoftvereket, valamint a szakirodalomban elérhető módszerek eljárásait, hogy a különböző környezetekben meghatározott transzformációs eljárások eredményeit összevethessem.

A különböző transzformációk együtthatóinak meghatározását, majd maradékellementmondásait Excel függvények segítségével is elő kívánom állítani. Ezek összevetésének eredményeként kívánom igazolni, hogy a QGIS által alkalmazott eljárások matematikai háttere szintén a kiegyenlítő számítások eljárásain alapul. Emellett vizsgálom pontosságukat, így foglalkozni kívánok a magasabb fokszámú polinomok alkalmazásakor jelentkező, a „túltanulás” jelenségeként ismert szakirodalomi fogalommal [1].

A kiírás az illesztőpontokat kényszeresen önmagukba transzformáló képelemtranszformáció végrehajtását is előírja. Erre ugyancsak az ott nevesített szabadszoftveres megoldást fogom alkalmazni.

A dolgozat felépítése követni kívánja szakdolgozati vizsgálatom lépéseit, így először az adatokról, majd a módszerekről, legvégül pedig az eredményekről, illetve az azokból levonható következtetésekről fogok beszélni.

2. ADATOK

2.1. Térképszelvények

A georeferáláshoz három különböző szkennelt térképszelvény került kijelölésre. Kettő topográfiai-, míg egy nagyméretarányú, műszaki térkép. A topográfiai térképek közül az egyik Grúzia területét, míg a másik Magyarország területét érintő, Gauss-

Krüger vetületű topográfiai térképek, melyek így más zónában fekvő, illetve más méretarányhoz tartozó szelvényekként lesznek kezelve.

A három térkép alapinformációi az 1-2. táblázatokban kerültek összefoglalásra. A táblázatban a három szelvény áttekintői is megjelenítésre kerültek, melyen az illesztőpontokként meghatározott pontok is jelölésre kerültek.

A három szelvény mindegyike ábrázolja a vetületének megfelelő őrhálózati vonalakat, illetve az EOVS esetében az őrkereszteket. Ugyanakkor, A Gauss-Krüger vetületi rendszerű térképszelvények nem a vetületi koordinátaikkal, hanem a fókuszukkal határosak. Ebből kifolyólag sarokpontjainak vetületi koordinátái nem olvashatók le közvetlenül, és fókuszuk átszámításuk sem javasolt. A vetületi őrhálózati vonalak koordinátái a szelvény szélein km egységben leolvashatók [2], így azok illesztőpontokként történő felhasználása biztosítható.

Az EOVS vetületű, nagyméretarányú szelvények, a bal alsó- és jobb felső sarkukban ábrázolják sarokponti koordinátaikat, így ennek segítségével határozható meg őrkeresztjeik koordinátái.

Mindemellett az is ismert, hogy a térképek szelvényezését eleve úgy valósították meg, hogy azok szelvényszámai alapján meghatározható sarokpontjaiknak koordinátái (őrhálózati-, vagy őrkeresztjeinek koordinátái).

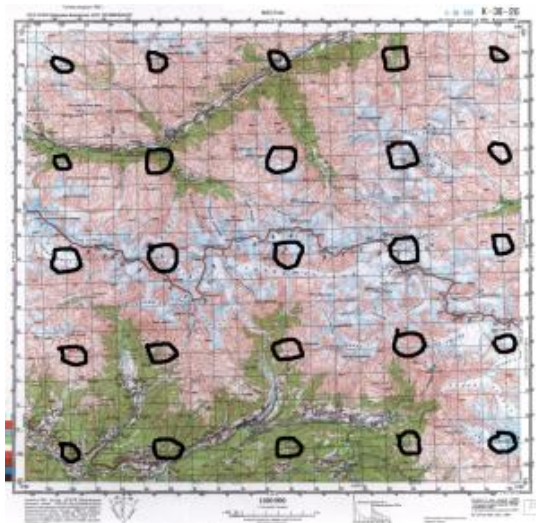
Miután a kapott mintaszelvények mindegyikén ábrázolt az őrhálózat, illetve őrkeresztjei, ezért azok georeferálásakor ezeket a „pontokat” fogjuk felhasználni a mindkét rendszerben ismertté váló illesztőpontok koordinátaiként.

Tulajdonság	1.jpg	2.jpg	3.tif
Raszter tulajdonságok			
Formátum	jpeg	jpeg	Geotiff
Felbontás	2618x2550	3764x3937	13239x9523
Metadata	COMPRESSION=JPEG INTERLEAVE=PIXEL SOURCE_COLOR_SPACE=YCbCr	COMPRESSION=JPEG INTERLEAVE=PIXEL SOURCE_COLOR_SPACE=YCbCr	TIFFTAG_IMAGEDESCRIPTION= TIFFTAG_MAXSAMPLEVALUE=1 TIFFTAG_MINSAMPLEVALUE=0 TIFFTAG_RESOLUTIONUNIT=2 (pixels/inch) TIFFTAG_XRESOLUTION=400 TIFFTAG_YRESOLUTION=400 Image Structure Metadata: COMPRESSION=CCITTFAX4 INTERLEAVE=BAND MINISWHITE=YES
Csatornák	1 Block=2618x1 Type=Byte, ColorInterp=Red 2 Block=2618x1 Type=Byte, ColorInterp=Green 3 Block=2618x1 Type=Byte, ColorInterp=Blue	1 Block=3764x1 Type=Byte, ColorInterp=Red 2 Block=3764x1 Type=Byte, ColorInterp=Green 3 Block=3764x1 Type=Byte, ColorInterp=Blue	1 Block=13239x512 Type=Byte ColorInterp=Palette NBITS=1
Piramis	1309x1275 655x638 328x319	1882x1969 941x985 471x493	Nincs

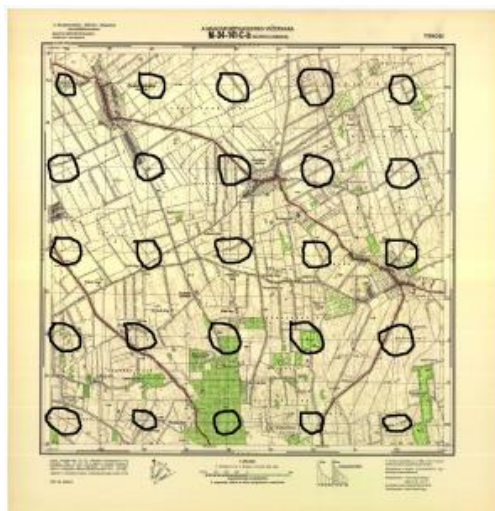
1. táblázat: A kapott szelvények raszter tulajdonságai

Tulajdonság	1.jpg	2.jpg	3.tif
Szelvény tulajdonságok			
Vetület	EPSG:28408 - Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 8	EPSG:28404 - Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 4	EPSG:23700 - HD72 / EO V
Méretarány	M = 1: 100 000	M = 1: 25 000	M = 1: 500
Pixelméret	16.96 m	3.17 m	0.03 m
Méret	44 380 x 38 915 m	9 440 x 9 260 m	375 x 250 m

2. táblázat: A kapott szelvények szelvény tulajdonságai



1. ábra: Mesztia (Grúzia) és környékének M=1:100 000-es topográfiai szelvénye



2. ábra: Szabolcsbáka (Magyarország) és környékének M=1:25 000-es topográfiai szelvénye



3. ábra: Eger M=1:500-as gázszakági térképszelvénye

2.2. Illesztő- és tesztpontok

Térképszelvények georeferálásához többféle eljárás is kidolgozásra került. Ezek közül, főként az illesztőpontokat felhasználók terjedtek el, így ezekkel foglalkozom. A georeferálás nem egy lépésben zajló folyamat. Először is meg kell határozni a szelvény vetületi rendszerében az őrhalózáti pontok vetületi- és képi koordinátáit, azonossága adja a georeferálás illesztőpontjait (GCP – Ground Control Point).

Fontos megjegyezni, hogy ez esetben mindig azokat a vetületi koordinátákat használjuk fel, mely a szelvény eredeti vetületének felel meg. Ha nem így járunk el, akkor olyan torzulások jelenhetnek meg nagyobb területeket ábrázoló szelvények esetében, melyek az fókhalózáti vonalak görbültségéből fakadóan akár több méteres eltéréseket is eredményezhetnek. [3]

Az illesztőpontok meghatározásakor célszerűen úgy járunk el, hogy azok elhelyezkedése egyenletes és szinte teljes lefedettségét biztosítsa a szelvénynek. A 2-4. ábrákon látható szabadkézi körök, ezeket és eloszlásukat mutatják. Ez nemcsak a transzformáció végrehajthatóságának feltétele, de a maradék-ellentmondások egyenletes eloszlását is garantálhatja. Ugyanakkor ehhez az is szükséges, hogy a szelvényről mért illesztőpontok koordinátáit kellő precizitás mellett határozzuk meg, sőt azt is vélelmezni kell, hogy azok térképi megrajzolásakor szintén precízen jártak el.

3. MÓDSZEREK

3.1. A végrehajtás és informatikai környezete

A környezet, a kiírásban is nevesített QGIS alkalmazás [4], mely maga is nyílt forráskódú, további más nyílt forráskódú térinformatikai alkalmazások (GDAL [5], GRASS, ...) megjelenítő- és adatmenedzselő környezete. Az OSGEO (Open Source Geospatial Foundation) alapítvány által jegyzett szoftver több platformon is elérhető, jelenleg a 3.24.2-es verzió tölthető le. A feladatok végrehajtásához, a korábban letöltött és telepített 3.22.3-Białowieża verzió került felhasználásra.

Funkcióit plug-in-ek (beépülők) formájában, a QGIS fejlesztőeszközei segítségével bárki kiegészítheti. Mindemellett parancssori hozzáférést is biztosít, így azok használatával nagytömegű végrehajtás is kezdeményezhető, melyeket parancssori végrehajtó állományokba szervezve, önálló lefutással bíró funkciók is készíthetők.

Ebben a szakdolgozatban a Windows platformú, párbeszédablakkal támogatott, illetve a végrehajtó állományokba szervezhető parancsok alkalmazását (szkriptek) választottam.

Ehhez az itt is elérhető, beépülő, nyílt forráskódú GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) fordítókönyvtár funkciói is felhasználásra kerültek, mely a QGIS-hez hasonlóan, ugyancsak az OSGEO gondozásában kerülnek kiadásra.

A továbbiakban az egyes részfejezetekhez kötődő funkciók rövid leírását azokban, míg azokat a funkciókat, melyek részletesebb ismertetést igényelnek, lehivatkozva a függelék önálló fejezeteiben ismertetem.

3.2. Közös pontok gyűjtése

Az illesztőpontok gyűjtését a QGIS erre a feladatra biztosított funkciója segítségével valósítottam meg. Ezek elhelyezkedését, a 2., 3. és 4. ábrákon is látható pozíciókban vettem fel. Jól látható, hogy azok elhelyezkedése egyenletes a szelvények területére nézve, valamint, hogy a két Gauss-Krüger vetületű topográfiai térképen az illesztőpontok által lehatárolt területen kívül is van hasznos tartalom, míg az EOVI vetületű térkép-szelvény - bevonható sarokpontjai által - teljes lefedésű. Az azonos pontok számát a polinomos 5-ödfokú transzformáció minimálisan igényelt 21 pontja helyett 25, míg az EOVI szelvény vonatkozásában 26 darabszámmal írtam elő. Mindez azt eredményezi, hogy az illesztőpontokat valamennyi transzformációs eljárás során fel tudom használni, így azok bemeneti adatai azonosak, vagyis transzformációs eredményeik összevethetőkké válnak.

A három eltérő típusú szkennelt szelvény leginkább csak abban játszik szerepet, hogy segítségével szemléltethessem, miként biztosítják az egyes választott transzformációk eredményeinek pontosságát azok eltérő léptékei és felbontásai.

Céлом tehát az, hogy a különböző térképszelvények segítségével vessem össze azok transzformációs típusainak eredményeit, vagyis hogy mely transzformáció alkalmazása vezethet a legjobb eredményre. Emellett miután a szelvények további lehetséges őrhálózati pontjai is meghatározásra kerültek - mind a raszter-, mind pedig a vetületi rendszerük koordinátaiként -, ezekből az illesztőpontokból nyert transzformációs együtthatók segítségével történő átszámítással, eltérések lettek leképezhetők a transzformált és leolvasott koordinátaik között. Céлом annak megállapítása, hogy mindezek alapján az illesztőpontokon megjelenő, a kiegyenlítésekből adódó eltérések, valamint a kiegyenlítésbe nem vont tesztpontok transzformált értékeinek eltérései mutatnak-e bármilyen kapcsolatot.

A két Gauss-Krüger vetületű topográfiai térképen tehát, ahol az illesztőpontok lehatárolásán kívüli tesztpontok lettek meghatározva, a transzformáció extrapolációs hatását kívántam vizsgálni, míg a belső pontoknál eleve interpolációs hatást vártam.

Az illesztőpontok méréséhez a QGIS egy önálló párbeszédablakot biztosít, melynek mind grafikus, mind pedig táblázatos nézete is elérhető. A grafikus nézetben a georeferálendő rasztert jeleníti meg, míg a táblázatban a már meghatározott illesztőpontokat. Két illesztőpont meghatározását követően az illesztőpontok előtranszformálása révén a táblázatban jeleníti meg az illesztőpontokat jellemző ellentmondásokat, melyek így segítik a felhasználót, hogy a hibásan meghatározott illesztőpontok mihamarabb észlelhetőkké váljanak. Az így meghatározott illesztőpontok bármikor lementhetők, vagy visszaolvashatók, majd kiegészíthetők.

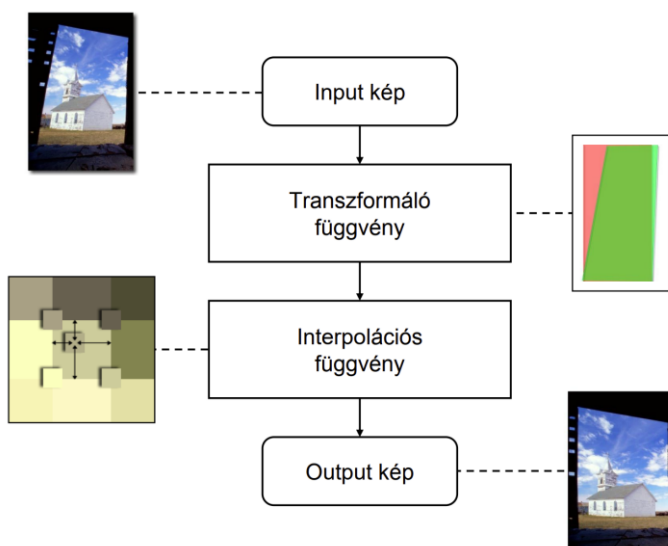
A tervezett illesztőpontok leképzése után a dokumentálás, illetőleg a több transzformációs típussal való lefuttatása érdekében lementjük azokat.

Ezt követően az illesztőpontok között és mellett elhelyezkedő, további őrhálózati pont meghatározását is végrehajtottam. Ezeket ugyanúgy gyűjtöttem, mint az illesztőpontokat, így az alkalmazás elő-transzformációja révén, ezeknél a pontoknál is kaptam visszajelzést azok pontosságáról. A tesztpontokat önálló állományokként kezeltem, így mind a belső, mind a külső tesztpontokat külön állományokba mentettem.

3.3. Georeferáló transzformációk

A szelvények georeferálásának végrehajtását szintén a már említett georeferáló párbeszédablakban kezdeményezhetjük. A futtatáshoz először be kell olvasnunk a rasztereket, valamint a gyűjtött illesztőpontokat.

Azt ezt követő georeferálás, két részfeladatot teljesít. Az első a forrás-raszter képpontjainak transzformációja a célrendszer megfelelő képpontjaiba, majd ezek újra-mintavételezésével az adott képpont új környezetében is elfogadható intenzitásadatok interpolációs átörökítése. A két részfeladat eljárásai kerülnek ismertetésre az ezt követő alfejezetekben.



4. ábra: A georeferálás folyamata [6]

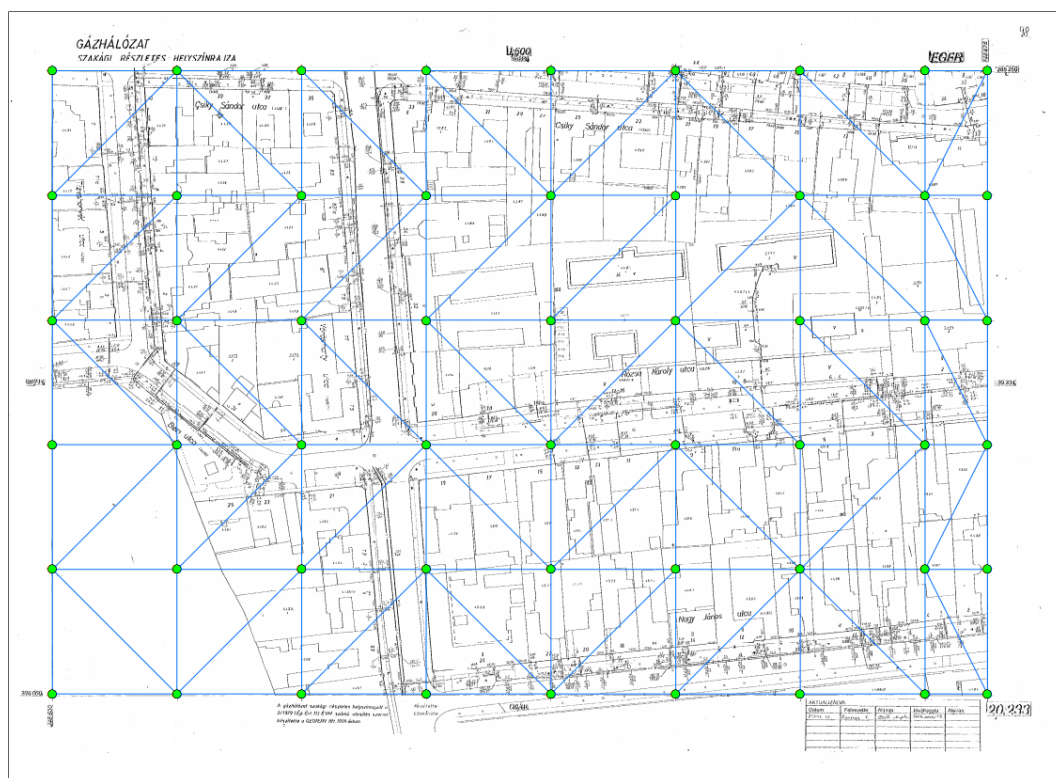
A két eljárás matematikailag is eltérő. A transzformáció egy függvény közelítését, míg az interpoláció egy függvény értékének a kiszámítását valósítja meg [7].

Miután a forrás- és a célrendszer is egy-egy koordinátarendszert képvisel, azok koordinátajelölését célszerű már itt lefektetni. Tudjuk, hogy a geodéziai koordinátarendszerek tengelyelnevezései eltérnek a matematikai tengelyelnevezésektől, ezért a szakdolgozatomban is az alábbi konvenciót alkalmazom. A képek koordinátarendszerét – a matematikai elnevezés kapcsán x és y összetevők –, a képeket felépítő pixelek sorai és oszlopai képezik, melyek a bal felső sarokból indulva nőnek DK-i irányítottságuk szerint. Annak első koordinátája a pixelek oszlopainak számát, míg második koordinátája azok sorainak számát adják. A célrendszer, vagyis a vetületi rendszer koordinátatenge-

lyei, - a geodéziában megszokottak szerint ÉK-i irányítottságúak, ezért az északi irányba mutatót X-nek, míg a keleti irányba mutatót Y-nak írják. Annak érdekében, hogy a tengelyelnevezések betűjelei a kis- és nagybetűs megkülönböztetés mellett se keveredhessenek, az északi irányba mutatót – annak angol elnevezéséből –, N(orth), míg a keleti irányba mutatót –ugyancsak az angol elnevezés alapján – E(ast) betűivel jelöljük.

3.3.1. Lokális raszter transzformációk

Az egyik legegyszerűbb eljárást már évszázadokkal ezelőtt is alkalmazták valamilyen geometria (festmény másolása-, hamisítása) átalakításakor. A legegyszerűbb változata a ráccsal történő átméretezés volt, mely a forrásgeometria minden egyes pontját a rácson belüli koordináták arányosításával vitték át. Ez a rács lehetett négyzetes, de affinitással is jellemzett, akár nyírt paralelogramma alakú is. A lényege, hogy egyszerre nem az egész adattartalmat vesszük át célrendszerbe, hanem csak részenként, melyek szorosan csatlakoznak egymáshoz.



5. ábra: A lokális transzformáció Delaunay háromszögelt képtartományai (saját szerkesztés)

Ha ezt a módszert egy olyan esetre terjesztjük ki, ahol a két rendszerbeli közös pontok elhelyezkedése nem szabályos, akkor az erre a szabálytalan ponthalmazra leképzett

háromszögeket önállóan kezelve válnak áttanszformálhatókká belső pontjaik [3]. A módszert elkülönülő területi jellege miatt lokális transzformációnak hívják. [8]

Fontos tudni ugyanakkor, hogy a szórt illesztőpontokra sokféle módon illeszthetünk háromszögeket, ezért akkor járunk el helyesen, ha azokat képezzük le, melyek kerülete minimális, illetve belső szögei a legnagyobbak. Ezt az eredményt a matematikában, a Delaunay háromszögelés algoritmusai biztosítják, mely több más, például a térinformatikában, de a 3D-s technikában is alkalmazott, TIN (Triangulated Irregular Network – Szabálytalan háromszögháló) felületképzés algoritmusai is.

Az így, az egyik rendszerbeli illesztőpontokkal meghatározott háromszögekre szegmentált felületdarabokat (5. ábra) képesek vagyunk a másik rendszer megfelelő illesztőpontjaival leképzett háromszög felületére deformálni. Miután az illesztőpontokból előálló háromszögháló lefedi az illesztőpontok által is meghatározott területrészt, valamint a háromszögek közös oldalain a deformáció aránya azonos, így a deformált háromszögfelületek megtartják illesztettségüket, de a háromszögek belső tartalmára nézve lehet még törés!

Fontos megemlíteni, hogy a geodéziában ugyan nem értelmezett a hibamentes adat, így ez a transzformációs módszer leginkább olyan esetekben alkalmazott, ahol a célrendszer illesztőpontjainak a megköthetése kívánatos. Egy másik probléma ezzel kapcsolatban az illesztőpontok által lefedett területeken kívüli pontok áttemelésének problémája. Miután ezek a pontok nem tartoznak egyetlen háromszög területéhez sem, így azok transzformációja vagy a közeli háromszögek deformációs transzformációjával kell megtörténnék (ami jelentős deformációkat eredményezhet), vagy le kell mondani azok áttemeléséről.

A transzformáció csak lineáris transzformációként értelmezhető, hiszen a háromszögek csúcspontjaira nem illeszthető magasabb fokszámú egyértelmű felület, csak a sík. Ugyanakkor, ha a szomszédos háromszögek csúcspontjait is felhasználva magasabb fokú transzformációt alkalmazunk (pl. kvadratikus, másodfokú), de akkor is csak az érintett háromszög belső pontjait transzformálva, a belső tartalom a másik háromszög belső tartalmához képest már nem töréssel, hanem csak kisebb deformációval fog tudni kapcsolódni! Ugyanakkor ez esetben az a különbség is megjelenik, hogy a transzformáció már maradék-ellentmondásokkal járó transzformáció lesz, vagyis az cél, hogy az

illesztőpontok kényszeresen saját koordinátaikba transzformálódjanak, nem lesz tartható.

Az itt ismertetett lokális transzformációt alkalmaztam a GDAL függvénykönyvtár funkcióinak parancssori futtatókörnyezete segítségével, melyet a szakdolgozat későbbi fejezetében ismertetek.

3.3.2. Globális raszter transzformációk

A globális transzformációk részben más megközelítést hordoznak. Ebben az esetben azzal a feltételezéssel élünk, hogy illesztőpontjaink egy függvény értékkészletei, és mint ilyenek, jól illeszkednek valamennyien erre a függvényre. Több ilyen függvény is leképezhető, de velük szemben alapvető elvárás, hogy könnyen kezelhetők, így folytonosak, egyszerűen deriválhatók és integrálhatók, sőt további, opcionálisan alkalmazható újabb pontosító tagok felvételével (melyek fokszám emeléssel járnak), hordozzák a függvény közelítésének kellő pontosságát. Ezen feltételek kielégítését legjobban a polinomok nyújtják, így szakdolgozatomban ezek ismertetését és alkalmazását mutatom be. Az alábbi függvény egy többváltozós polinom általános alakja (másodfokig ábrázoltan), mely így írható fel:

$$z = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot x^2 + a_4 \cdot x \cdot y + a_5 \cdot y^2 + \dots \quad (1)$$

De vizsgáljuk ezt egy másik nézőpontból is. Ez nem más, mint a sík-transzformáció (lineáris transzformáció) matematikai leírása, mely a transzformáció 3 tulajdonságát, a skálázást, a forgatást és az eltolást is képes kezelni.

Ennek egyenletének általános alakját az alábbiak szerint írhatjuk fel:

$$E = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y \quad (2)$$

$$N = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y \quad (3)$$

Először is észre kell vennünk, hogy az itt felírt (2)-(3) egyenletek összetevői azonosak az (1) első fokú összetevőivel, vagyis ebben az esetben is polinomokkal írjuk le a 2D-s transzformációkat. Ugyanakkor ennek mátrixos alakja az igazán ismert, hiszen a transzformációk forgatási mátrixaként váltak ismertté, melyek tagjaira több azonosított transzformációs tulajdonság is nevesíthető.

$$\begin{bmatrix} E \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_0 \\ b_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Először is láthatjuk, hogy a konstans tagok képviselik a transzformáció eltolás vektorát. A további együtthatók 2×2 -es mátrixa az elforgatások és méretváltozások összetett értékeit írják le.

Bizonyos értékeik megkötésével a további értékek konkrétan megnevezhető transzformációs hatásokat eredményeznek [9]. Ha például az a_2 és b_1 értéke 0, és ekkor a_1 és b_1 értéke nagyobb, mint 1, akkor nagyítást, míg ha kisebb, akkor kicsinyítést eredményeznek. Ha ugyanakkor a_1 és b_2 abszolút értékükben azonosak, akkor ortogonális-, míg ha eltérők, akkor nyírás nélküli affin jellegű transzformációt eredményezők. Továbbá, ha ezen értékek egyike-másika ilyenkor negatív értékű, akkor annak tengelyére tükrözött a transzformáció. Nyírást az a_2 és b_2 tagok 0-tól eltérő értékei eredményezik, hiszen azok ettől eltérő értékei forgatást eredményeznek.

A fentiek alapján tehát a georeferálást is érdemben befolyásoló együtthatóértékek ortogonális-, vagyis Helmert transzformációt eredményeznek, ha $a_1=b_2$ és $a_2=b_1$ feltételek állnak fel, míg az előbbi feltételektől eltérő esetek Affin transzformációt eredményeznek. Megemlítendő ugyanakkor, hogy a georeferálás során tükrözés is történik (kép-koordinátarendszer y iránya lefelé mutat), így az a_2 és b_1 együtthatók előjele az x tengelyre való tükrözés érdekében eltérő lesz.

A tengelyirányok a Helmert transzformáció esetében is fontos szerepet töltenek be. Az együtthatók azonossága miatt a két rendszer tengelyeinek is azonos sodrásúnak kell lenniük, vagyis az eredeti egyenletek b_1 együtthatóját is negatív értékkel kell szerepeltetni.

Mindez a word fájlok tartalmának olvashatósága miatt fontos, amely állományokban is ezek az együtthatók kerülnének elhelyezésre, így a velük való transzformáció azonos lehetne az itt kifejtett mátrixos alakkal (4). A world fájlok felépítésének ismertetésekor, szintén ezen együtthatók jelöklését alkalmazzuk.

a_1 – a kép pixelszélességének x irányú vetülete

b_1 – a kép pixelszélességének y irányú vetülete

b_2 – a kép pixelmagasságának x irányú vetülete

a_2 – a kép pixelmagasságának y irányú vetülete

a_0 – a kép bal felső sarkában lévő pixel bal felső sarkának vetületi rendszerbeli X (első) koordinátája

b_0 – a kép bal felső sarkában lévő pixel bal felső sarkának vetületi rendszerbeli X (első) koordinátája

Miután a world állományba írt paraméterek a kép egy pixelének tengely irányú vetületei, így ennek eredményeként a nyírás (ferde affinitás) helyett csak eltérő léptékű (merőleges affinitás) pixelekké fogja tudni leképezni az eredeti kép pixeleit, vagyis a kép a nyírás szerinti befoglalók szélességébe széthúzásra kerül, így nem a nyírásnak megfelelő paralelogrammaként, hanem téglalapokként kerülnek ábrázolásra. Mindezek alapján kimondható, hogy a world fájlok jelenlegi leképezése korlátozott lehetőségeket hordoz.

Visszatérve a polinomok felhasználásának nézetéhez, az együtthatókkal jellemezhető függvények illesztését a közös pontok segítségével kívánjuk megoldani. Miután minden esetben több közös pont meghatározására kerül sor, mint amennyi az egyes pontokra felírt egyenletek egyenletrendszerének megoldásához minimálisan szükséges, ezért a kiegyenlítő számítás legkisebb négyzetek módszerének választásával, az illesztés során fellépő eltérések négyzetösszegének minimalizálásával történik együtthatók (ismeretlenjeik) meghatározása.

A kiegyenlített eredmények (U) meghatározhatók a mért eredmények (L) és annak javításainak (v) összegéből:

$$U = L + v \quad (5)$$

A kiegyenlített mért eredményekkel számítások útján meghatározható paraméterek (X) ugyancsak kifejezhetők, a paraméterek előzetes (X_0) értékének és a változások vektorának (x) összegeként:

$$X = X_0 + x \quad (6)$$

Feltételezésünk szerint a méréseket jellemző valószínűségi változók (U) és a paraméterek (X) között lineáris kapcsolat áll fenn, így a közvetítő egyenlet az alábbi alakban is felírható (a közvetítő egyenletek kapcsolatot teremtenek a mérési eredmények várható értékei (U) és a meghatározandó paraméterek (X) között):

$$U = A X \quad (7)$$

ahol az A mátrixban a matematikai kapcsolat együtthatói szerepelnek, melyek a kapcsolatok linearizált értékeinek együtthatói.

Az (5)-(7) átrendezésével és továbbvezetésével [10]:

$$L + v = A (X_0 + x) = AX_0 + Ax = Ax + a_0 \quad (8)$$

ezt átrendezve (a javítási egyenlet kifejtése érdekében):

$$v = Ax + a_0 - L \Rightarrow v = Ax - l \quad (9)$$

az adott pont paramétere és a kiegyenlített mért pont különbségét a mért értékek képviselik. Ez utóbbi egyenlet a kiegyenlítésben a javítási egyenlet. A v a javítások vektora, vagyis a mérések változásaként megjelenő értékek, melyek a mért értékek összegeként a kiegyenlített mérési eredményeket nyújtják. Az A mátrix az alakmátrix, mely ábrázolja az adott pontháló pontjainak érintettségét, valamint a transzformációban betöltött szerepét, súlyát. Az x a változások vektora, mely a paraméterek kiegyenlített értékeinek meghatározását adja, mely értékeket az előzetes értékekhez adva kapjuk a paraméterek kiegyenlített értékeit. Az l [kis L], a tisztatag vektor, mely az adott méréshez leképezve, a mérésben érintett előzetes paraméterértékek és a mért érték előjeles összegeként képezhető.

A kiegyenlítést a javítások vektora négyzetösszegének minimalizálása jelenti:

$$v^T * v = \min \quad (10)$$

A (9) egyenlet behelyettesítésével

$$(A * x - l)^T * (A * x - l) = \min \quad (11)$$

majd kifejtve:

$$A * x^T * Ax - l^T * Ax - A * x^T * l - l^T * l = \min \quad (12)$$

aminek x szerinti parciális deriváltjának 0 értéke mellett elégíti ki a minimumfeltelt:

$$A^T * A * x - A^T * l = 0 \quad (13)$$

$$N * x - n = 0 \quad (14)$$

Az egyenlet normálegyenletnek, két tagját normál mátrixnak és normálvektornak nevezzük. Megoldását az

$$x = N^{-1} * n \quad (15)$$

nyújtja. Az invertálhatóság feltétele, hogy a leképzett normálmátrix kellően jól kondicionált legyen, illetve determinánsa ne legyen nulla.

A kondicionáltság nagymértékben függ az alakmátrix tagjaiban leképzett számok numerikus ábrázolhatóságától. Miután a magasabb fokszámú transzformációk esetében az egyes tagok akár az 5-ik hatványon is szerepelnek, illetve szorzataik is hasonló nagy-

ságú numerikus értéket képeznek, ezért a mátrix kondicionáltsága romlik, és sok esetben nem adnak eredményt.

Ez javítható, ha a két rendszerbe leképzett koordinátákat redukáljuk. Ilyen lehet a gyakorta alkalmazott súlyponti koordinátákkal való helyettesítés, mely tulajdonképpen a koordinátarendszerek origóját tolja a kép illesztőpontjainak súlypontjába.

Ettől jóval hatékonyabb redukciónak jelent a koordináták normalizálása, mely azon túl, hogy leképi az illesztőpontok súlyponti koordinátáit, azokat normalizálja az illesztőpontok adott koordináta-összetevői tartományának szélességébe. Ebben az esetben a megszülető koordináták -1 és $+1$ közé képződnek le, melyek jelentősen képesek javítani a normálmátrix kondicionáltságát. Ezzel kapcsolatban fontos kitérni arra, hogy az illesztőpontok koordináta-összetevőinek tartományai általában eltérők, így az összetevőnként normalizált értékek affín torzulást szenvednek, vagyis, a Helmert transzformáció nem lesz képes együtthatóit meghatározni. A kiegyenlítést követően, mind az átszámított koordinátákra, mind azok eltéréseire nézve a normalizálás visszaváltását is el kell végezzük.

Ugyancsak fontos azt is megjegyezni, hogy a polinomos kiegyenlítést a Helmert és a további transzformációk vonatkozásában, eltérő módon kell végrehajtani. Miután a Helmert transzformációk esetében a két koordináta-összetevő egyenletében szereplő együtthatók azonosak, ezért egyenleteik nem szétválaszthatók. Ez azt is jelenti, hogy a kiegyenlítést követő transzformált pontok számításakor a közös együtthatókat kell felhasználnunk mindkét összetevő számításakor. Ez azonban nem így van a többi polinomos transzformáció esetében, hiszen ekkor a két összetevőre felírt egyenletek együtthatói függetlenek, vagyis mindkét összetevőre nézve végre kell hajtani a kiegyenlítést, és a kiegyenlített együtthatók meghatározását. Mivel az egyenletek együtthatóiból képzett alakmátrix mindkét kiegyenlítés esetén azonos, ezért annak közös felhasználásával kell a két eljárást végrehajtani.

Az itt ismertetett globális transzformációkat mindhárom képre elvégeztem, mind a QGIS funkcionális környezetben, de Excel környezetben is. Ez utóbbi környezetben, a magasabb fokú (4-ed és 5-öd fokú) transzformációkat is leképeztem. A QGIS környezetben további két transzformációs módszer is rendelkezésre áll. A Vékonylemezes Spline, illetőleg a „Lanczos”, melyek közül az előbbit, mindhárom kép esetében lefuttattam.

A transzformációs eredmények összevetését, szakdolgozatom későbbi fejezetében ismertetem.

3.3.3. Excel környezetű alátámasztó számítások

Mindhárom kapott szelvényre nézve elvégeztem azok transzformációs típusaira vonatkozó alátámasztó számításokat. Az alátámasztó számítások szelvényenként önálló Excel állományokba kerültek, míg a transzformációs típusok számításai azok lapjain találhatóak, az alábbi lap elnevezésekkel:

- Helmert; Affin; 2-odfok; 3-adfok; 4-edfok; 5-odfok

Ez a lapszerkezet mindhárom állományban azonos. Tartalmukat tekintve is mutatnak hasonlóságot, hiszen ahogyan azt már az illesztőpontok gyűjtésének ismertetésekor is megadtam, egy-egy kép minden egyes transzformációja során, ugyanazokat az illesztőpontokat használtam fel, így biztosítva, hogy azonos bemeneti adatok mellett vizsgálhassam a különböző típusú transzformációk eredményeit.

A transzformációs lapok kiindulási adatai, a QGIS transzformációk eredménytáblái. Ennek megfelelően, a mindkét rendszerben meghatározott illesztőponti koordinátákon túl, a transzformáció eredményezte ellentmondások is bemásolásra kerültek. Miután a QGIS számításaiból nem riportálhatók a végrehajtott transzformációk együtthatói, így csak az egyes pontokon képződő maradék-ellentmondások értékei hasonlíthatók össze Excel számításaim azonos értékeivel.

A számításokat a két lineáris transzformáció normálmátrixainak leképezéséig kétféle módon is végrehajtottam. A mátrix elemeinek azonossága garantálja a számítás helyességét. Az együtthatók számítása már azonos módon történik, az invertálást követően, vektorszorzatokként képződnek le. A javítások számításának eredményét, minden esetben a QGIS eredménytáblája mellé tettem, hogy azok értékeinek összevethetősége ránézésre is megállapítható legyen.

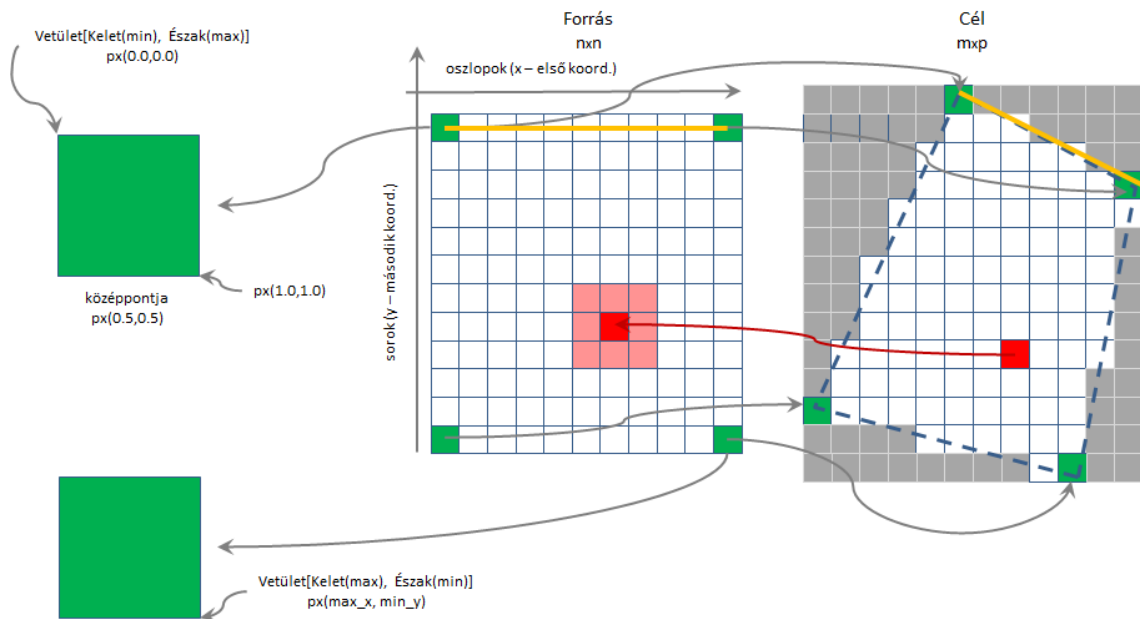
A táblázat együtthatóinak kiszámítását követően a tesztpontok transzformálásának sorai következnek úgy, hogy ahol lehet, először az illesztőpontokon belül elhelyezkedő belső pontok (vélelmezetten a transzformáció szempontjából interpolált pontok), majd azt követően a külső pontok (vélelmezetten a transzformáció szempontjából extrapolált pontok) transzformációi következnek. Az itt számított maradék-ellentmondások az eredmények fejezetben kerülnek ismertetésre.

3.4. A georeferálás újra-mintavételezésének módszerei

Az előző fejezetben ismertettem a georeferálás igényelte geometriai transzformációk polinomos- (globális) és lokális transzformációinak elméletét. A georeferáláshoz kapcsolódóan meg kell jegyezni, hogy az nemcsak a képpontok vetületi pozícióinak a megismerését igényli, hanem további, a raszter egyéb tulajdonságainak átörökítését is.

Tudjuk, hogy minden olyan esetben szükség van újra-mintavételezésre, amikor az illesztőpontok alapján végrehajtott transzformáció eltérő új pixelhelyeket - akár töredékpixel koordinátákat is - határoz meg, vagyis a képpontok helyzetében bármilyen változás is áll elő. Ennek megfelelően kimondható, hogy az újra-mintavételezés nem megkerülhető folyamatrésze a georeferálásnak. Feladata, hogy az új környezetbe transzformált kép pixelai az eredeti kép megjelenítési tulajdonságát is örökölje.

Az alábbi, az újra-mintavételezéshez készített magyarázóábrán jól látható, hogy a két kép közötti transzformáció hogyan bizonytalanítja el az egyes pixelek megfeleltetését.



6. ábra: Az újra-mintavételezés problémája (saját szerkesztés)

A fenti képen okker színnel jelölt szelvényhatár transzformációja jól szemlélteti, hogy a forrás-raszteren felismerhető idomok az átranzformált képen nem mutatnak egyértelmű rajzolatot. Ebből kifolyólag az is megfogalmazható, hogy a feladat nem csak a pixelek helyzetének transzformációját kell jelentse, hanem a pixel által hordozott „intenzitásértékek” transzformációját is. Keresnünk kell azokat a módszereket, melyek lehetővé teszik, hogy az

eredeti képen látható rajzolatok átöröközhetők legyenek a transzformált új képre. Ezt legkönnyebben az új kép új pixelein végighaladva, azok eredeti pixelpozícióinak, illetve környezetük pixelpozíciói intenzitásértékeinek interpolációjával állíthatjuk elő. Az ezt megvalósító eljárást nevezzük angolul „resampling”-nek, vagyis újra-mintavételezésnek.

Általában ehhez az interpolációs eljáráshoz is matematikai eljárásokat alkalmaznak, melyek leggyakrabban alkalmazott - a QGIS-ben is elérhető - három eljárását ismertetem.

3.4.1. A „legközelebbi szomszéd” újra-mintavételezési módszer

Az újra-mintavételezés legegyszerűbb és leggyakrabban alkalmazott módszere, melynek során az új kép pixelének intenzitását a hozzá tartozó az eredeti kép pixelpontjával szomszédos négy szomszédos pixel közül, a legközelebbi intenzitásértékét veszi át. Ez ugyan rendkívül gyors eljárás, ugyanakkor a fenti ábrán is jól kivehető lépcsős leképzést eredményez. Általában olyan esetekben célszerű alkalmazni, ahol a forrás-raszter intenzitásértékei kevésbé mozgalmasak. Ilyennek minősíthetők a topográfiai térképek, de a műszaki térképek vonalas megjelenítésére nem a legalkalmasabb.

A módszer előnyeként értékelhető, hogy ezzel a módszerrel csak olyan intenzitásértékek jelennek meg az új képen, mely biztosan megtalálható volt az eredeti raszteren. A további eljárások esetében ez nem garantálható!

3.4.2. A lineáris újra-mintavételezési módszer

A kettős lineáris, vagy más néven „bilineáris” újra-mintavételezés már nem az előző újra-mintavételezési módszer beazonosított 4 pixele legközelebbijének intenzitásértékét kínálja fel, hanem azok mindegyike intenzitásértékéből képzett lineáris interpolációjú értéket.

Ennek számítása is viszonylag egyszerű és gyors, még a lépcsős leképzést is eltünteti, viszont az intenzitásértékek interpolációja kapcsán homályosodást tapasztalhatunk.

3.4.3. A köbös újra-mintavételezési módszer

Az előző elv további kiegészítése a kettős köbös, vagy angolul „bicubic” újra-mintavételezési eljárás, ahol már nem a visszaazonosított pozíció körüli négy, hanem egy-egy sorral és oszloppal kiterjesztett, összesen 9 pixel intenzitásértéke szerepel az interpolációban, az ilyenkor alkalmazható harmadfokú felület illesztésével. Az így leképezhető intenzitásértékek a területileg súlyozott átlagként lesznek átöröközve.

Az eredmény ez esetben is sima átmenetes, de élesebb, mint a lineáris esetben, ugyanakkor az eljárás lassabb lefutású és az eredeti intenzitásértékek elvesztésével járó eljárás.

Az ismertetett újra-mintavételezési eljárásokon túl, további eljárások is rendelkezésre állnak.

4. EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

Szakdolgozatom több vizsgálati célkitűzést is megfogalmaz:

- Először is, vizsgálnom kell, hogy a QGIS alkalmazás illesztőpontos transzformációi, annak típusai, milyen azonosságot mutatnak a transzformációk számításait Excel képletekkel leírt és számított eredményeivel.
- Másodszor, azt kell vizsgálnom, hogy az eltérő transzformációs típusok milyen különbségeket mutatnak azok pontosságára nézve.
- Harmadszor, azt tűztem ki célul, hogy az illesztőpontokon felül, az ugyancsak az illesztőpontok meghatározása szerint gyűjtött további őrhálózati pontok (tesztpontok, melyek a transzformációra nézve mind belső, mind külső pontok lehetnek) transzformált megfelelői milyen mértékben térnek el azok leolvasható koordinátaiktól, vagyis eltéréseik eloszlása és mértéke mutat-e azonosságot az illesztőpontok eltéréseinek eloszlásával, mértékével.

A vizsgálatba vont különböző csoportosítású illesztő-, belső- és külső pontok vonatkozásában meghatározásra kerültek a rájuk jellemző, a maradék ellentmondásaikból képzett mutatók. Ezek a következők:

- a legkisebb eltérés értéke (min)
- a legnagyobb eltérés értéke (max)
- az átlagos eltérésű érték (átlag)
- az eltérések szórása

Ezek a mutatók lehetnek azok, melyek a QGIS illesztőpontjainak eltéréseiből képzett mutatókkal is összevethetők, de akár a tesztpontok összevethetőségét is biztosíthatják.

A fentiek alapján valamennyi esetben vizsgáltam, hogy a QGIS eredménytáblázatában lévő maradékhibák azonosak-e az Excel számítások által meghatározott javítások

értékeivel és kimondható, hogy értékeik nagyon is pontos azonosságot mutatnak. Vagyis a QGIS által végzett számítások matematikai háttere azonos a szakdolgozatom elméleti ismertetőjében vázoltakkal.

Itt szeretném felhívni a figyelmet egy lehetséges hibára a számításaim során, melynek forrását kerestem, de nem tudtam azonosítani az okát. Az eredményekben megfigyelhető, hogy a Helmert-transzformáció elvégzéséből adódó, második koordinátaösszetevők ellentmondásainak értékei csak abszolút értékükben azonosak (értékük megegyezik, de ellentétes előjelűek), míg az első koordinátaösszetevők előjelhelyesen azonosak.

Ugyancsak itt szeretnék magyarázatot adni arra, hogy miért hajtottam végre a 4-ed és 5-öd-fokú fokú transzformációka is, amik a QGIS-ben meg sem találhatók. Több szakirodalmi dokumentum is említi [1], hogy a magasabb fokszerű transzformációk alkalmazásakor fennáll a „túltanulás” veszélye, vagyis a fokszerű növekedésével érkező újabb hullámok illesztésével, az illesztőpontok közötti tartományokban megnő a veszélye a minimum-, vagy maximumpontok kiugró értékeinek. Ugyan a javításokra épülő vizsgálatom nem detektálhatja az így előálló kiugró értékeket, alapvetően arra kerestem a választ, hogy az illesztőpontok maradék-ellentmondásainak értékei milyen változást mutatnak a kisebb fokszerű transzformációk javításaihoz képest.

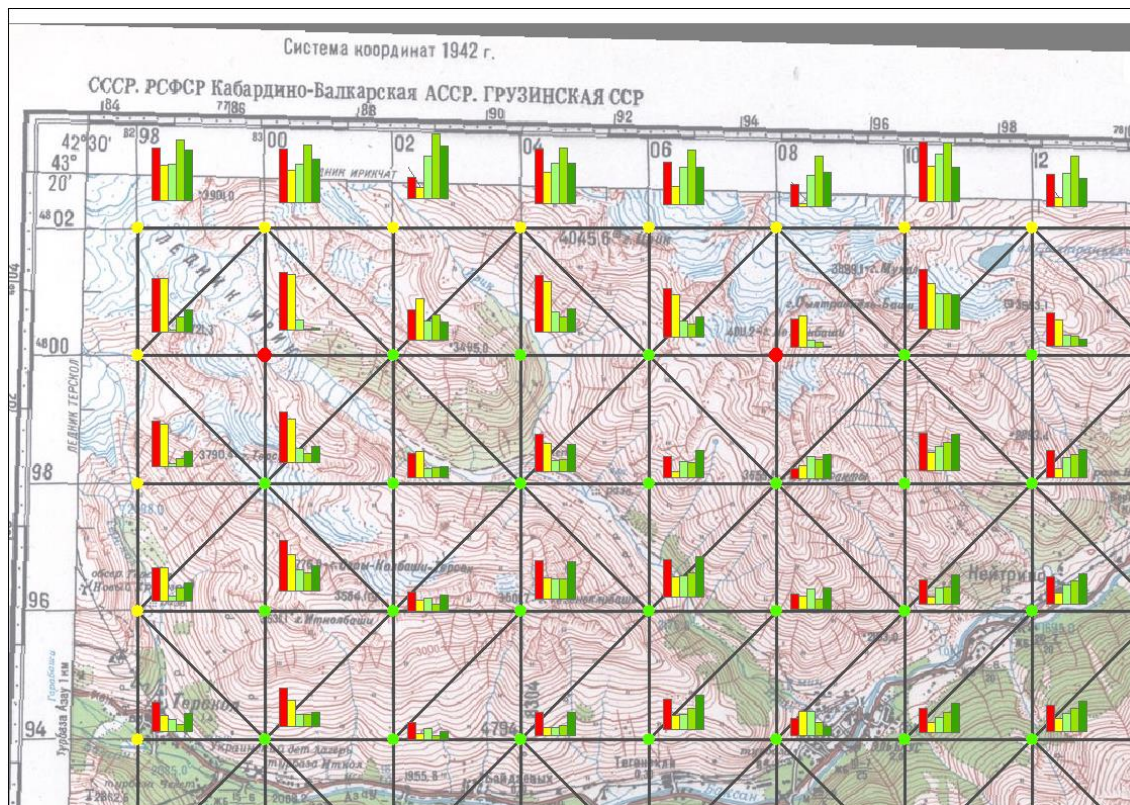
Az előbbi vizsgálatához szükséges mutatók adatait a 3-as összefoglaló táblázatban ismertetem. A táblázatban szereplő valamennyi érték pixelekből került leképezésre, mely a pontosságot nem a megfelelő mértékegységben reprezentálja, de az összevethetőségre lehetőséget ad.

A mutatók alapján kimondható, hogy az illesztőpontok maradékhibáinak summa, illetve átlag értékei 0-k kell legyenek (hiszen anélkül a kiegyenlítés megkívánta négyzetösszeg sem lehetne 0). Ez minden előfordulásnál igaz.

A maradék-ellentmondások tartományait kifejező min, és max értékek mindegyike a fenti feltételnek megfelelően ellentétes előjelű, ugyanakkor ezek abszolút értékei nem azonosak, így csak ebből megítélni az egyenletes eloszlásukat nem lehet.

Az egyes térképszelvények különböző típusú transzformációit jellemző mutatóértékek jól látható módon konvergálnak a nullához. Ez részben a transzformációk újabb és újabb kiegészítő, magasabb fokszerű tagjainak bevonásával járó pontosabb függvé-

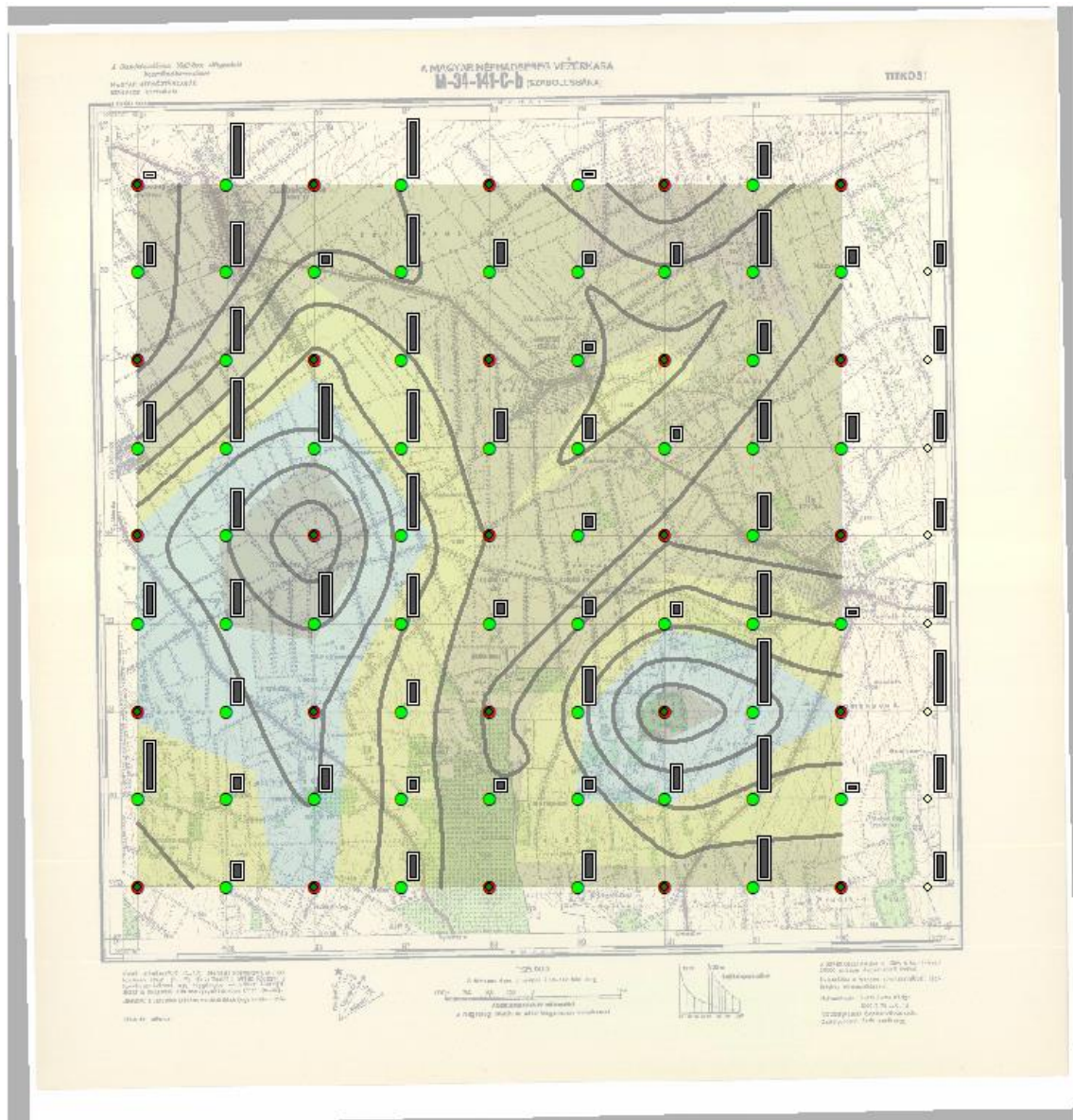
nyilvesztés eredménye, illetve a transzformációval kapcsolatban fellépő mind erősebb torzító hatás engedélyezése.



7. ábra: A egyes georeferáló transzformációs típusok maradék-ellentmondásainak diagramos tematikájú szelvény-kivágata. A körökkel ábrázolt pontok tematikája: piros – illesztőpont; zöld – belső tesztpont; sárga – külső tesztpont (saját szerkesztés)

A fentieket jól szemlélteti a 3-4-es táblázatok illesztőpontos eltéréseinek $\sigma\%$ oszlopában szereplő adatok, illetve a 7-es ábrán bemutatott – saját készítésű – diagramos tematikájú elemzés is, melyben mindez vizuálisan jelenik meg az illesztőpontokra helyezett diagramokon (leglátványosabb a piros körökkel jelölt pontok esetén). A diagramokon az egyes transzformációs típusok átlag maradék-ellentmondásai kerültek megjelenítésre. A diagramm oszlopainak balról-jobbra értelmezett sorrendje a következő: Helmert (piros), Affin (sárga), 2-od- (világos zöld), 3-ad- (zöld) és 4-edfokú polinomos (sötét zöld). Az ábrán az is látható, hogy nem csak az illesztőpontokon jelennek meg a diagrammok, hanem a tesztpontokon is, így azok eltéréseinek transzformációs típusaihoz tartozó mutatók is összevethetők az illesztőpontokon ábrázolt diagramm értékekkel.

Az ábrázolt kivágat jól érzékelteti a külső tesztpontokon visszamaradó maradék-ellentmondások nagyságrendjét.



8. ábra: A másodfokú georeferáló transzformáció maradék-ellentmondásai residual értékeinek szintvonalas ábrázolása, valamint a belső tesztpontokon keletkező eltérések ugyancsak residual értékeinek tematikus ábrázolása (saját szerkesztés)

	Módszer		A georeferáló transzformációba vont Illesztőpontok eltérései [px]					Belső transzformált tesztpontok eltérései [px] (interpolált pontok)					Külső transzformált tesztpontok eltérései [px] (extrapolált pontok)				
			átl	szór	min	max	σ%	átl	szór	min	max	σ%	átl	szór	min	max	σ%
1-es szelvény	Helmert	Δx	0.000	0.607	-1.564	0.877	100%	-0.114	0.482	-1.728	1.032	100%	-0.533	0.577	-1.767	0.704	100%
		Δy	0.000	0.707	-1.689	1.444	100%	0.033	0.654	-1.908	1.490	100%	-0.533	0.577	-1.767	0.704	100%
	Affin	Δx	0.000	0.411	-0.976	0.713	68%	-0.114	0.435	-1.162	0.930	90%	-0.195	0.474	-1.629	0.930	82%
		Δy	0.000	0.591	-0.909	1.399	84%	-0.033	0.544	-1.361	1.504	83%	-0.010	0.543	-1.277	1.504	94%
	2. fokú polinom	Δx	0.000	0.281	-0.668	0.628	46%	-0.237	0.403	-1.199	0.694	84%	-0.414	0.431	-1.464	0.693	75%
		Δy	0.000	0.300	-0.594	0.597	42%	0.088	0.474	-0.920	1.586	72%	-0.517	0.597	-1.504	0.518	103%
	3. fokú polinom	Δx	0.000	0.230	-0.601	0.337	38%	-0.237	0.409	-1.088	0.772	85%	-0.360	0.582	-1.370	1.121	101%
		Δy	0.000	0.213	-0.465	0.406	30%	0.088	0.399	-0.956	1.260	61%	-0.519	0.766	-1.932	0.567	133%
	4. fokú polinom	Δx	0.000	0.137	-0.293	0.293	23%	-0.303	0.429	-1.180	0.762	89%	-0.036	0.644	-1.491	1.078	112%
		Δy	0.000	0.118	-0.273	0.230	17%	-0.007	0.480	-1.150	1.160	73%	-0.018	0.687	-1.253	1.091	119%
2-es szelvény	Helmert	Δx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Δy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Affin	Δx	0.000	2.202	-3.821	5.488	100%	-0.094	1.748	-3.441	6.681	100%	-1.048	0.695	-2.668	-0.355	100%
		Δy	0.000	2.180	-3.923	2.675	100%	0.115	1.925	-3.809	2.861	100%	-1.048	2.502	-2.668	-0.355	100%
	2. fokú polinom	Δx	0.000	1.198	-2.016	2.576	54%	-0.094	1.673	-3.779	3.803	96%	1.555	0.886	0.168	3.803	-148%
		Δy	0.000	1.156	-2.282	1.662	53%	-0.115	0.856	-2.762	1.666	44%	0.382	1.094	-0.608	2.410	-36%
	3. fokú polinom	Δx	0.000	0.880	-2.160	1.288	40%	-0.074	1.437	-2.602	2.679	82%	1.254	0.346	0.666	1.733	-120%
		Δy	0.000	0.703	-1.448	1.575	32%	0.191	0.793	-1.522	2.487	41%	0.424	0.743	-0.843	1.791	-40%
	4. fokú polinom	Δx	0.000	0.413	-1.054	0.756	19%	-0.074	0.976	-2.568	1.984	56%	3.908	0.386	3.422	4.547	-373%
		Δy	0.000	0.564	-1.094	1.159	26%	0.191	0.848	-1.543	2.914	44%	-0.104	0.547	-0.840	0.743	10%
	4. fokú polinom	Δx	0.000	0.177	-0.453	0.400	8%	-0.049	1.112	-2.981	2.231	64%	1.295	0.393	0.550	1.867	-124%
		Δy	0.000	0.156	-0.315	0.257	7%	-0.090	1.166	-1.917	2.692	61%	1.393	1.071	-0.070	3.033	-133%

	Módszer		A georeferáló transzformációba vont Illesztőpontok eltérései [px]					Belső transzformált tesztpontok eltéré- sei [px] (interpolált pontok)					Külső transzformált tesztpontok eltéré- sei [px] (extrapolált pontok)				
			átl	szór	min	max	$\sigma\%$	átl	szór	min	max	$\sigma\%$	átl	szór	min	max	$\sigma\%$
	5. fokú polinom	Δx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Δy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-as szelvény	Helmert	Δx	0.000	8.189	-16.356	16.503	100%	-0.265	9.381	-14.204	17.253	100					
		Δy	0.000	14.271	-23.560	33.853	100%	2.057	14.569	-22.630	31.606	100	-	-	-	-	-
	Affin	Δx	0.000	2.115	-3.700	4.362	26%	-0.373	2.288	-4.620	3.337	24%	-	-	-	-	-
		Δy	0.000	7.548	-16.120	12.144	53%	-2.066	7.170	-14.090	11.483	49%	-	-	-	-	-
	2. fokú polinom	Δx	0.000	1.757	-3.538	3.123	21%	-0.186	2.703	-4.642	5.969	29%	-	-	-	-	-
		Δy	0.000	5.513	-8.958	11.674	39%	0.391	6.379	-9.076	12.999	44%	-	-	-	-	-
	3. fokú polinom	Δx	0.000	1.260	-2.337	3.372	15%	-0.236	2.763	-5.016	6.594	29%	-	-	-	-	-
		Δy	0.000	4.655	-5.857	7.846	33%	-0.196	5.569	-5.965	10.057	38%	-	-	-	-	-
	4. fokú polinom	Δx	0.000	0.567	-1.238	1.495	7%	-0.235	1.495	-3.661	3.588	16%	-	-	-	-	-
		Δy	0.000	1.220	-2.226	2.500	9%	0.288	1.793	-2.829	5.039	12%	-	-	-	-	-
	5. fokú polinom	Δx	0.000	0.265	-0.563	0.774	3%	-0.197	5.021	-11.045	12.574	54%	-	-	-	-	-
		Δy	0.000	0.463	-0.907	0.779	3%	1.398	7.973	-7.143	24.835	55%	-	-	-	-	-

3. táblázat: A georeferáló transzformációk javításai és tesztpontjainak eltérései

	Módszer		A georeferáló transzformációba vont Illesztőpontok eltérései [px/m]				Belső transzformált tesztpontok eltérései [px/m] (interpolált pontok)					Külső transzformált tesztpontok eltérései [px/m] (extrapolált pontok)				
			max	átl	szór		min	max	átl	szór		min	max	átl	szór	
1-es szelvény (1 px = 16.95 m)	Helmert	Δt_{px}	1.762	0.837	0.412		0.049	1.910	0.735	0.365		-1.541	1.155	0.331	0.342	
		Δt_{cm}	29.866	14.187	6.983		0.831	32.375	12.458	6.187		-26.120	19.577	5.610	5.797	
	Affin	Δt_{px}	1.705	0.624	0.359		0.026	1.522	0.635	0.311		0.110	1.662	0.660	0.330	
		Δt_{cm}	28.917	10.583	6.089		0.441	25.813	10.770	5.275		1.866	28.188	11.194	5.597	
	2. fokú polinom	Δt_{px}	0.745	0.370	0.179		0.051	1.589	0.602	0.297		0.073	1.628	0.895	0.424	
		Δt_{cm}	12.635	6.275	3.036		0.865	26.949	10.210	5.037		1.238	27.611	15.179	7.191	
	3. fokú polinom	Δt_{px}	0.760	0.274	0.153		0.027	1.310	0.560	0.278		0.113	1.974	0.997	0.575	
		Δt_{cm}	12.890	4.647	2.595		0.458	22.218	9.498	4.715		1.916	33.479	16.909	9.752	
	4. fokú polinom	Δt_{px}	0.334	0.163	0.080		0.014	1.389	0.630	0.333		0.092	1.770	0.865	0.374	
		Δt_{cm}	5.665	2.764	1.357		0.237	23.557	10.685	5.648		1.560	30.019	14.670	6.343	
	5. fokú polinom	Δt_{px}	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-	
		Δt_{cm}	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-	
2-es szelvény (1 px = 3.17 m)	Helmert	Δt_{px}	6.386	2.779	1.370		0.305	6.913	2.251	1.310		-5.485	2.055	-1.431	1.805	
		Δt_{cm}	20.244	8.809	4.343		0.967	21.914	7.136	4.153		-17.387	6.514	-4.536	5.722	
	Affin	Δt_{px}	2.732	1.510	0.701		0.175	4.019	1.627	0.952		1.956	4.019	2.302	0.336	
		Δt_{cm}	8.660	4.787	2.222		0.555	12.740	5.158	3.018		6.201	12.740	7.297	1.065	
	2. fokú polinom	Δt_{px}	2.244	1.003	0.514		0.244	3.086	1.462	0.773		1.074	2.492	1.499	0.422	
		Δt_{cm}	7.113	3.180	1.629		0.773	9.783	4.635	2.450		3.405	7.900	4.752	1.338	
	3. fokú polinom	Δt_{px}	1.217	0.608	0.346		0.084	2.970	1.128	0.665		3.441	4.580	3.948	0.382	
		Δt_{cm}	3.858	1.927	1.097		0.266	9.415	3.576	2.108		10.908	14.519	12.515	1.211	
	4. fokú polinom	Δt_{px}	0.456	0.210	0.107		0.056	3.155	1.431	0.748		0.550	3.243	2.046	0.855	
		Δt_{cm}	1.446	0.666	0.339		0.178	10.001	4.536	2.371		1.744	10.280	6.486	2.710	
	5. fokú polinom	Δt_{px}	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-	

	Módszer	A georeferáló transzformációba vont Illesztőpontok eltérései [px/m]				Belső transzformált tesztpontok eltérései [px/m] (interpolált pontok)					Külső transzformált tesztpontok eltérései [px/m] (extrapolált pontok)				
		max	átl	szór		min	max	átl	szór		min	max	átl	szór	
3-as szelvény (1 px = 0.03 m)	Helmert	Δt_{cm}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Δt_{px}	36.520	14.461	7.849	3.204	33.727	15.916	7.158						
		Δt_{cm}	1.096	0.434	0.235	0.096	1.012	0.477	0.215		-	-	-	-	
	Affin	Δt_{px}	16.240	6.380	4.554	0.237	14.450	6.624	4.145		-	-	-	-	
		Δt_{cm}	0.487	0.191	0.137	0.007	0.434	0.199	0.124		-	-	-	-	
	2. fokú polinom	Δt_{px}	11.750	5.089	2.755	0.462	14.300	6.271	2.977		-	-	-	-	
		Δt_{cm}	0.353	0.153	0.083	0.014	0.429	0.188	0.089		-	-	-	-	
	3. fokú polinom	Δt_{px}	8.098	4.422	1.922	2.414	11.328	5.890	2.013		-	-	-	-	
		Δt_{cm}	0.243	0.133	0.058	0.072	0.340	0.177	0.060		-	-	-	-	
	4. fokú polinom	Δt_{px}	2.625	1.192	0.622	0.704	5.234	2.078	1.126		-	-	-	-	
		Δt_{cm}	0.079	0.036	0.019	0.021	0.157	0.062	0.034		-	-	-	-	
	5. fokú polinom	Δt_{px}	0.944	0.435	0.309	0.482	24.993	6.797	6.677		-	-	-	-	
		Δt_{cm}	0.028	0.013	0.009	0.014	0.750	0.204	0.200		-	-	-	-	

4. táblázat: A georeferáló transzformációk eltérésvektorai

A táblázatokban látható, hogy valamennyi szelvény esetében le volt képezhető a 4-edfokú transzformáció, míg az 5-ödfokú csak az EOVS szelvényre. Ugyan ez utóbbi esetén egyel több illesztőpont került felhasználásra ezen pontok egyenletesebb eloszlása érdekében, de nem feltétlenül ez eredményezte a jobb kondicionáltságot.

A 4-es táblázatba a maradék-ellentmondások vektorjai kerültek, de már nemcsak pixel értékekkel, hanem átszámított, méterben kifejezett értékekkel is. Azok elemzésekor megállapítható, hogy tesztpontoknál piros betűszínnel is jelölt esetekben a túltanulásból eredeztető hibák jelentek meg.

Ugyanennek a problémának az alátámasztását kívántam még bizonyosabbá tenni a 8-as ábrán bemutatott tematikus térképi ábrázolással. Az illesztőpontok alapján végrehajtott transzformációk maradék-ellentmondásainak szintvonalas-, valamint a belső és külső pontokon változó méretű diagrammként ábrázolt transzformációs eltérések együttes ábrázolásával tettem láthatóvá, hogy a szintvonalas eltérések leolvasható értékei, valamint a diagrammok méretértékei eltérnek egymástól, vagyis a tesztpontok nem az illesztőpontok transzformációs felületén helyezkednek el, ami szintén a „túltanulás” jelenségére utal.

A bevezetőben vélelmezett, a belső- és külső pontok interpolációs-, illetve extrapolációs feltételezései is beigazolódni látszanak, bár arra nézve csak az első szelvény hordoz elegendő számú tesztpontot. Ha megfigyeljük a táblázat ezen sorait, akkor jól látható, hogy már a másodfokú transzformáció során is fellépnek extrapolációs hibák, hiszen a lineáris transzformációknál tapasztalt eltérések már ott elkezdnek növekedni. Az itt ismertetettek alapján kinyilvánítom, hogy a fejezet elején lefektetett mindhárom vizsgálatot elvégeztem és azokra nézve, az alábbi megállapításokat teszem:

- A QGIS alkalmazás illesztőpontos transzformáció-típusainak maradék-ellentmondásokkal jellemezhető eredményei az általam Excel számításokkal leképzett eredmények maradék ellentmondásaival! Igaz, a Helmert transzformáció esetében, az egyik összetevő egyezőséget, míg a másik előjelében következetesen eltérő, de abszolút értékekben azonos értékeket eredményezett.
- A transzformáció-típusok pontosságával kapcsolatban elmondható, hogy a foksámok emelésével jelentősnek mondható javulás jelenik meg az illesz-

tőpontok illeszkedésével-, vagyis a maradékhibák nagyságrendjével kapcsolatban. Ugyanakkor a módszer korlátait jól szemlélteti a harmadik vizsgálat eredménye, ami

- a tesztpontokon tapasztalható transzformációs hibákat vizsgálja. Ezek vonatkozásában kimondható, hogy a szakirodalomban „túltanulás” -nak illetett jelenséget, sikerült vizsgálataim során is megjeleníteni.

A túltanulás elkerüléséhez a polinomok foksámának az alacsonyan tartását javasolja a szakirodalom. Ez esetben meg kell elégedjünk az illesztőpontokon tapasztalható nagyobb maradékellentmondások értékeivel. Ugyanakkor, ha minden lehetséges órhálózáti pontot bevonunk a georeferáló transzformációba illesztőpontként – az alakmátrix mérete ugyan nő, de az invertálandó normálmátrixé nem -, úgy a túltanulás hullámai „nem tudnak megjelenni” az egyébként is közel lévő illesztőpontok között. Vagyis, ha ekkor a normálmátrix még kellően kondicionált, akkor létezhet inverze, vagyis a transzformációnak lehet megoldása, ami a túltanulás jeleit sem mutatja. Egyéb esetben maradnunk kell az alacsonyabb foksámú transzformációk választása mellett.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnék mondani az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar egyetemi docensének, Molnár Gábor Péter Úrnak, konzulensemnek, tanár úrnak, aki szabadidejét sem kímélve vezetett végig szakdolgozati témám buktatóin. Külön köszönöm neki, hogy megismertetett a GDAL parancssori futtatóállományai írásának rejtelseivel. Az illesztőpontok pozícióinak kikényszerített megtartásával járó lokális transzformációt már most be kívánom építeni munkahelyem utas-, hidas-, illetve vizes szakágaink drónos légi-felvételeinek előzetes, gyors georeferálásához.

Szeretnék köszönetet mondani nővéremnek is, aki a dolgozat leadása előtt rámutatott annak nyelvhelyességi problémáira. Sokat segített ezzel, hiszen jelentősen javult olvashatósága.

Mindemellett ismét szeretném megköszönni feleségemnek és lányomnak azt a kitartó várakozást, mellyel támogatták új szakdolgozatom előrehaladását!

Remélem, hogy az elkövetkező években, ritkán lesz hallható az a mondat, mely az utóbbi időben is gyakorta elhangzott otthonunkban, és ami így hangzik: „Pssz, maradjunk csendben, Apa dolgozik!”

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom a georeferálás különböző mérnöki célú transzformációinak vizsgálatára irányult.

Három térképszelvényt vizsgáltam, amelyekről a képi és térképi koordinátákat tartalmazó illesztő és tesztpontokat gyűjtöttem. Ezeket először QGIS környezetben, nyílt forráskódú szoftverrel és a térképszelvények georeferálásának gyakorlati megvalósításával végeztem.

Az illesztőpontok alapján a kiegyenlítő számítás segítségével transzformációs paramétereket számoltam. Térinformatikai környezetben elkészítettem a transzformált képeket.

A tesztpontok segítségével megvizsgáltam a transzformáció maradékhibát. Az eltérő módszerek alkalmazásakor fellépő maradékhibákat táblázatos és térképi formába is bemutatom. Elvégeztem, és bemutatom azt az eljárást, ami az illesztőpontokat háromszögeléses interpolációval maradék hibák nélkül transzformálja.

Az eredményeket elemezve, megmutatom, hogy a transzformáció fokszámának növelése nem eredményezi a tesztpontokban a maradékhibák csökkenését. Ez megerősítette azt a hipotézist, amely a "túltanulás" jelenségét azonosította a magasabb fokú transzformációkban.

SUMMARY

Investigation of transformations used for georeferencing maps

My thesis focuses on the investigation of different georeferencing transformations for engineering purposes.

I investigated three map sheets from which I collected Ground Control Points (GCPs) and test points containing image and map coordinates. In the QGIS open source software environment, I georeferenced the map sheets.

Based on the GCPs, I calculated transformation parameters using the least squares adjustment calculation. I created the transformed images in a QGIS environment.

Using the test points I checked the residual error of the transformation. I also present the residual errors in tabular and cartographic form when using different transformation methods. I have carried out and present a procedure that transforms the GCPs by triangulation interpolation without residual errors.

By analyzing the results, I show that increasing the number of degrees of the transformation does not result in a reduction of residual errors in the test points.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Zaletnyik Piroska (2007), [Koordinátatranszformációk megoldása számítógépes algebra és neurális hálózatok felhasználásával](#) (Utoljára letöltve: 2022.05.09)
- [2] Dr. Timár Gábor, Dr. Molnár Gábor (2013), [Térképi vetületek és alapfelületek](#) (Utoljára letöltve: 2022.05.09)
- [3] Dr. Molnár Gábor Péter (2022), Raszteres adatok geokódolása (Kézirat)
- [4] QGIS project (2022), [QGIS felhasználói kézikönyv](#) (Utoljára letöltve: 2022.05.09)
- [5] Frank Warmerdam, Even Rouault és szerzőtársai (2022), [GDAL Documentation](#) (Utoljára letöltve: 2022.05.06)
- [6] Kató Zoltán ,5. [Geometriai transzformációk](#) (Utoljára letöltve: 2022.05.12)
- [7] Dr Laký Piroska (2020), [Numerikus módszerek építőmérnököknek Matlab-bal](#) (Utoljára letöltve: 2022.05.09)
- [8] Andreas Hackeloeer és szerzőtársai (2013), [Georeferencing: a review of methods and applications](#) (Utoljára letöltve: 2022.05.09)
- [9] Bódis Katalin (1999), [Geometriai transzformációk, transzformációs egyenletek és alkalmazásuk a geoinformatikában](#) (Utoljára letöltve: 2022.05.09)
- [10] Detrekői Ákos (1991), Kiegészítő számítások (Tankönyvkiadó)

7. FÜGGELÉK

7.1. Eredménytermékek

Szakdolgozatom eredménytermékeit (egyben mellékleteit), a 3 térképszelvény mindegyikén elvégzett összes tervezett feladat részeredményei adják. Az egyes állománycsoportok rövid leírását, majd azt követően magukat az állományokat is tartalmazó táblázatokat, itt teszem közzé:

Állománycsoport / tároló könyvtár neve	Az állománycsoportba leképzett fájlok rövid leírása
0_Eredeti raszterek	A könyvtárban az eredeti, kapott szelvények raszteres állományai találhatóak azok új elnevezéseivel.
1_Raszter info	Az eredeti raszteres állományokról gdalinfo segítségével lekérdezett alapinformációk állománya.
2_Illesztőpontok	A QGIS funkciója segítségével leképzett illesztőpontokat tartalmazó állományok. Ezekből a GCP elnevezésűek, a transzformációba bevonandó illesztőpontokat, a belső és a külső elnevezéseket tartalmazók pedig abba nem bevonandók, de tesztpontokként alkalmazott illesztőpontként meghatározott pontokat tartalmazzák.
3_Georeferálás	A georeferálás képelem-transzformált raszterei, melyek elnevezésükben hordozzák a transzformáció típusát.
4_TR eredmények	A georeferálás eredménytáblázatának adatait hordozó állományok.
5_TR jelentések	A georeferálás transzformációs jelentése
6_TR térképek	A georeferálás transzformációs eljárásainak térképi jelentése
7_TR World fájlok	A georeferálás „linear” típusú transzformációjának, illetőleg a többi eljárással készült képelem-transzformált raszter utólagos lekérdezésű világ fájllai.
8_TR Eredmény infók	A georeferálás képelem-transzformált rasztereiről, „gdalinfo”-val lekérdezett alapinformációkat tartalmazó állományok.
9_TR együtthatók Excelben	Az Excelben leképzett transzformációk excel állományai
10_Georeferálás_geoloc-kal	A lokális georeferálás GDAL környezetű futtatásához szükséges állományok.

5. táblázat: Az eredménytermék-csoportok leírása

Az előbbi állománycsoportok mögött leképzett egyedi állományok listáját az alábbi táblázat mutatja be:

Eredeti fájlnevek	mestia_100e_k-38-026.jpg	M-34-141-C-b.jpg	eger_098.tif
Új fájlnevek	1.jpg	2.jp	3.tif
0_Eredeti raszterek	1.jpg	2.jp	3.tif
1_Raszter info	gdalinfo_1.txt	gdalinfo_2.txt	gdalinfo_3.txt
2_Illesztőpontok	1_GCP.points	2_GCP.points	3_GCP.points
	1_GCP_belso.points	2_GCP_belso.points	3_GCP_belso.points
	1_GCP_kulso.points	2_GCP_kulso.points	-
3_Georeferálás	1_Helmert.tif	2_helmert.tif	3_Helmert.tif
	1_Affin.tif	2_affin.tif	3_Affin.tif
	1_2_odfok.tif	2_2_odfok.tif	3_2_odfok.tif
	1_3_adfok.tif	2_3_adfok.tif	3_3_adfok.tif
	1_TSP.tif	2_TSP.tif	3_TSP.tif
4_TR eredmények	1_GCP_Linear.points	2_GCP_Linear.points	3_GCP_Linear.points
	1_Linear.tfw	2_Linear.tfw	3_Linear.tfw
	1_GCP_Helmert.points	2_GCP_Helmert.points	3_GCP_helmert.points
	1_GCP_Affin.points	2_GCP_Affin.points	3_GCP_affin.points
	1_GCP_2_odfok.points	2_GCP_2_odfok.points	3_GCP_2_odfok.points
	1_GCP_3_adfok.points	2_GCP_3_adfok.points	3_GCP_3_adfok.points
	1_GCP_tsp.points	2_GCP_TSP.points	3_GCP_TSP.points
5_TR jelentések	1_Linear_jelentes.pdf	2_Linear_jelentes.pdf	3_Linear_jelentes.pdf
	1_helmert_jelentes.pdf	2_helmert_jelentes.pdf	3_helmert_jelentes.pdf
	1_affin_jelentes.pdf	2_affin_jelentes.pdf	3_affin_jelentes.pdf
	1_2_odfok_jelentes.pdf	2_2_odfok_jelentes.pdf	3_2_odfok_jelentes.pdf
	1_3_adfok_jelentes.pdf	2_3_adfok_jelentes.pdf	3_3_adfok_jelentes.pdf
	1_TSP_jelentes.pdf	2_TSP_jelentes.pdf	3_TSP_jelentes.pdf
6_TR terkepek	1_Linear_terkep_gen.pdf	2_Linear_terkep_gen.pdf	3_Linear_terkep_gen.pdf
	1_helmert_terkep_gen.pdf	2_helmert_terkep_Gen.pdf	3_helmert_terkep_gen.pdf
	1_affin_terkep_gen.pdf	2_affin_terkep_gen.pdf	3_affin_terkep_gen.pdf
	1_2_odfok_terkep_gen.pdf	2_2_odfok_terkep_gen.pdf	3_2_odfok_terkep_gen.pdf
	1_3_adfok_terkep_gen.pdf	2_3_adfok_terkep_gen.pdf	3_3_adfok_terkep_gen.pdf
	1_TSP_terkep_gen.pdf	2_TSP_terkep_gen.pdf	3_TSP_terkep_gen.pdf
7_TR World fájlok	1_Helmert_TFW.tfw	2_Helmert_TFW.tfw	3_Helmert_TFW.tfw
	1_affin.tfw	2_affin.tfw	3_affin.tfw
	1_2_odfok.tfw	2_2_odfok.tfw	3_2_odfok.tfw
	1_3_adfok.tfw	2_3_adfok.tfw	3_3_adfok.tfw
	1_TSP.tfw	2_TSP.tfw	3_TSP.tfw

Eredeti fájlnevek	mestia_100e_k-38-026.jpg	M-34-141-C-b.jpg	eger_098.tif
Új fájlnevek	1.jpg	2.jp	3.tif
8_TR Eredmeny infok	gdalinfo_1_helmert.txt	gdalinfo_2_helmert.txt	gdalinfo_3_helmert.txt
	gdalinfo_1_affin.txt	gdalinfo_2_affin.txt	gdalinfo_3_affin.txt
	gdalinfo_1_2_odfok.txt	gdalinfo_2_2_odfok.txt	gdalinfo_3_2_odfok.txt
	gdalinfo_1_3_adfok.txt	gdalinfo_2_3_adfok.txt	gdalinfo_3_3_adfok.txt
	gdalinfo_1_TSP.txt	gdalinfo_2_TSP.txt	gdalinfo_3_TSP.txt
9_TR egyutthatok Excelben	1_ok.xlsx	2_ok.xlsx	3_ok.xlsx
Excel lapok	Helmert	Helmert	Helmert
	Affin	Affin	Affin
	2_odfok	2_odfok	2_odfok
	3_adfok	3_adfok	3_adfok
	4_edfok	4_edfok	4_edfok
	5_odfok	5_odfok	5_odfok
10_Goreferalas_geolokkal			Eger_098.tif
			Eger_098_gcp.csv
			Eger.vrt
			mapx.tif
			mapy.tif
			mapx.vrt
			mapy.vrt
			Eger_098_geolocation szerkesztendo.vrt
			Eger_098_geolocation.vrt
			Eger_098_geolocation transzformalt.tif

6. táblázat: Maguk az eredménytermékek

Szakdolgozatom DVD mellékletének könyvtár- és állományszerkezete, a táblázat szerint kerül kialakításra.

7.2. A QGIS georeferáló funkciójának beállításai

A georeferálást, az eszközsorban is elhelyezett „Transzformációs beállítások” ikonra kattintva indíthatjuk. Az így felugró párbeszédablak beállításait elvégezve, az ablak alján lévő OK gomb megnyomásával a kért transzformáció végrehajtásra kerül.

A transzformációs beállítások a panelen megadandó adatok, illetve beállítások alapján, az alábbi legfontosabb, általam is használt lehetőségeket hordozzák:

- Transzformációs paraméterek
 - Transzformáció típusa – az itt található legördülő listából választhatjuk ki, hogy mely transzformációt kívánjuk alkalmazni a georeferálás képelem-transzformációjára vonatkozóan. Az itt választható típusok az alábbiak, melyek részletesebb ismertetését a szakdolgozat korábbi fejezetei tartalmazzák:
 - Lineáris – ez a transzformáció típus két féle működést eredményez. Amennyiben a későbbiekben megadható világ fájl kérve lesz, úgy nem történik képelem-transzformációt, de leképzésre kerül a transzformáció világ fájlja, viszont ha ott nem kérünk világ fájlt, akkor a lineáris transzformáció szerinti képelm-transzformációval járó új raszter leképzésre kerül.
 - Helmert – A transzformáció típusa Helmert, vagyis hasonlósági, így eredménye ortogonális transzformáció lesz. Miután ettől a transzformáció típustól kezdődően, a képelem-transzformáció minden esetben leképződik, így ezekhez a típusokhoz világ fájl nem lesz kérhető.
 - Polinom 1 – Az affin transzformációt takaró eljárás típus.
 - Polinom 2 – A másodfokú polinom-transzformáció típusa
 - Polinom 3 – A harmadfokú polinom-transzformáció típusa
 - Vékony lemezes spline – Egy, az elméleti fejezetben nem részletezett eljárás, mely legalább 10 illesztőpont leképzését követően választható. Eredménye az illesztőpontokat mara-

dék-ellentmondás nélkül leképzett képelem-transzformált raszter. Ugyan mindhárom kapott raszter vonatkozásában végrehajtottam ezt a típusú transzformációt is, de eredményeit a dolgozatban nem, csak állományait szerepeltetem az eredmény-állományokat között.

- Projektív – Centrális vetítésű felvételek transzformációját biztosító eljárás, mely nem térkép-, hanem felvétel jellegű raszteres állományok georeferálásához biztosítanak lehetőséget. Szakdolgozatom nem érinti!
- Újra-mintavételezési módszer – a georeferálás során alkalmazni kívánt újra-mintavételezési eljárás választható, az itt megjelenő legördülő listából, melyek részletes ismertetését a korábbi fejezetek adják:
 - Legközelebbi szomszéd
 - Lineáris
 - Köbös
 - Harmadfokú spline – Az eredeti raszter mintavételi pontja környezetében lévő pixelekre illesztett spline, ami az interpoláló eljárást biztosítja. A dolgozatban nem alkalmazott eljárás.
 - Lanczos – Egy magyar származású tudósról lett elnevezve a módszer, aki egy új típusú interpolációs eljárást fejlesztett, mely több jó tulajdonság megtartását biztosítja újra-mintavételezése segítségével. A dolgozatban nem alkalmazott eljárás.
- Cél SRS – annak a vetületnek a kiválasztása, mely az adott szelvény eredeti vetületeként a szelvényről leolvasható, vagy felismerhető. Maga a képelem-transzformált raszter, ehhez a vetülethez lesz rendelve.
- Kimeneti beállítások

- Output raszter – megadandó a képelem-transzformált új szelvény-raszter állományneve és elérhetőségének útvonala
- Tömörítés – megadható, hogy az eredmény-raszter milyen tömörítés mellett legyen leképezve. Az itt legördülő listából választható értékek: Tömörítés nélkül; LZW; PACKBITS; DEFLATE
- Csak világ fájl – Amennyiben a georeferálás transzformációjának típusa lineáris, úgy a jelölőnégyzet aktív és annak választásával a transzformáció eredményét, annak world fájlba leképzett együttthatói jelentik. Az ezzel kapcsolatban észlelt anomáliákról az elméleti fejezet részben részletesen szoltam.
- Használj 0-át az átlátszódáshoz – a képelem-transzformáció, illetőleg a vele járó újra-mintavételezés is hozhat olyan eredményt, amikor az új raszter egy-egy pixele nem kap örökölt intenzitásértéket. Ekkor ez a beállítás lehetővé teszi, hogy egy alapértelmezett intenzitásértéket helyezzen ebbe a pixelbe az alkalmazás.
- Célfelbontás – a jelölőnégyzet aktiválásával elérhetőkké válnak a koordináta-összetevők szerinti felbontás növeléséhez megadható szorzók. Az itt beállított célfelbontás a két összetevőre nézve lehet eltérő, vagyis az így kért transzformáció esetén, ez utóbbi választás is egy további transzformációt eredményezhet.
- Jelentések generálása
 - Jelentés térkép – megadandó a pdf formátumú térképi riport állományának neve és helye. Tartalma, a georeferáló panel felső részében található térképi nézet.
 - Jelentés – ebben az esetben is megadandó a pdf formátumú riport állományának neve és helye. Tartalma, a transzformálandó szelvény képe, az illesztőpontok transzformáció utáni ellentmondásaiból képzett javításainak vektorai, míg legalul, a táblázatos nézet adatai.
- Töltsd be a QGIS-be – A jelölőnégyzet aktiválásával, a transzformációt követően, a képelem-transzformált kép önálló réteggént betöltésre kerül a QGIS környezetébe.

Az itt ismertetett georeferáló transzformációkat, a „Projektív” módszeren kívül, mindhárom képre lefuttattam, azok képelem-transzformált eredményállományait leképeztem. A leképezés dokumentáltsága érdekében, a transzformációs riportokat is elkészíttettem.

7.3. A GDAL „warp-geoloc” opció szkript-be foglalása

Egy új adatábrázolási- és átalakítási módszer vált elérhetővé a GDAL függvénykönyvtár [5] új funkciója, illetve opciója révén. Ez a `gdalwarp „geoloc”` (geolocation) opciója, melynek segítségével, a pixelek mindegyikére nézve lehetővé teszi a hozzájuk tartozó vetületi rendszerbeli koordinátáinak tárolását.

Az ebben az esetben végrehajtandó transzformáció nem jelent mást, mint a rendelkezésre álló illesztőpontokkal leképezett Delaunay háromszögekre vonatkozó lineáris transzformációkat, melyek eredménye, vagyis a háromszögeken belüli pixelek vetületi koordinátái fognak rögzülni az eredeti pixelekhez. Mindez azt is jelenti, hogy az illesztőpontok pixeleinél nem lesz tapasztalható változás, hiszen a lineáris transzformációba (affin transzformációba) vont 3-3 illesztőpont éppen elégséges feltétele azok együtthatóinak meghatározásához, vagyis a maradék ellentmondások nullával lesznek egyenlők.

Minderről meggyőződhetünk úgy is, hogy a transzformációba bevont illesztőpontok új képen leképezett vetületi koordinátáit kérdezzük le – QGIS-ben az „elem azonosítás” funkció segítségével - és láthatjuk, hogy annak koordinátái már a transzformált vetületi koordinátákat mutatják!

Nézzük ezt követően, hogy ezt a több lépéses átalakítást, milyen `gdal` parancssori funkciókkal, illetve azok milyen opcióival érhetjük el?

A kiindulást ebben az esetben is a szkennelt eredeti kép jelenti, melynél ebben az esetben nem a korábbi fejezetek `3.tif` elnevezését alkalmazzuk, hanem annak eredeti nevét az `Eger_098.tif` állománynevet. Miután szükségünk van a lokális transzformációhoz is az illesztőpontokra, ezért itt is a korábban meghatározott illesztőpontokat alkalmazzuk, de elnevezését a feldolgozni kívánt állománynévhez igazítjuk: `Eger_098_gcp.csv`.

Miután közvetlenül nem vagyunk képesek a transzformáció végrehajtására, hanem annak minden beállítását biztosítanunk kell, először az eredeti kép virtuális állományát képezzük le. Ebben lehatároljuk a szelvény erőforrását, a felhasználható illesztőpontokat, valamint megadjuk, hogy mely illesztőponti koordináta-összetevő, mely illesztőpontállomány oszlopának feleltethető meg, illetőleg definiálhatjuk az adatmező geometriai típusát és szerkezetét. Ez lesz az így létrehozott `Eger.vrt` állomány. Ezt a QGIS „virtuális raszter készítése” funkció használatával (`gdalbuildvrt`) képezzük le.

```
<OGRVRTDataSource>
  <SRS>PROJCRS["HD72 / EOVS",
    BASEGEOGCRS["HD72",
      DATUM["Hungarian Datum 1972",
        ELLIPSOID["GRS 1967",6378160,298.247167427,
          LENGTHUNIT["metre",1]]],
      PRIMEM["Greenwich",0,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
      ID["EPSG",4237]],
    CONVERSION["Egyseges Orszagos Vetuleti",
      METHOD["Hotine Oblique Mercator (variant B)",
        ID["EPSG",9815]],
      PARAMETER["Latitude of projection centre",47.1443937222222,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8811]],
      PARAMETER["Longitude of projection centre",19.0485717777778,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8812]],
      PARAMETER["Azimuth of initial line",90,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8813]],
      PARAMETER["Angle from Rectified to Skew Grid",90,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8814]],
      PARAMETER["Scale factor on initial line",0.99993,
        SCALEUNIT["unity",1],
        ID["EPSG",8815]],
      PARAMETER["Easting at projection centre",650000,
        LENGTHUNIT["metre",1],
        ID["EPSG",8816]],
      PARAMETER["Northing at projection centre",200000,
        LENGTHUNIT["metre",1],
        ID["EPSG",8817]]],
    CS[Cartesian,2],
    AXIS["easting (Y)",east,
      ORDER[1],
```

```

        LENGTHUNIT["metre",1]],
    AXIS["northing (X)",north,
        ORDER[2],
        LENGTHUNIT["metre",1]],
    USAGE[
        SCOPE["Engineering survey, topographic mapping."],
        AREA["Hungary."],
        BBOX[45.74,16.11,48.58,22.9]],
    ID["EPSG",23700]]
</SRS>
<OGRVRTLayer name="Eger_098_gcp">
  <SrcDataSource>Eger_098_gcp.csv</SrcDataSource>
  <GeometryType>wkbPoint</GeometryType>
  <GeometryField encoding="PointFromColumns" x="field_1"
y="field_2" x_koor="field_3" y_koor="field_4"/>
</OGRVRTLayer>
</OGRVRTDataSource>

```

Az első lépésünk, ennek a virtuális állománynak a felhasználásával létrehozni az eredeti raszteres állománynak megfelelő felbontású olyan új raszteres állományokat, melyben a raszterek egyes pixelpontjainak `zfield` attribútumába rögzítésre kerülnek azok lokális transzformációjú vetületi koordinátái.

Ezt a `gdal_grid` parancssori funkcióval kívánjuk elérni. Ez a függvény, egy szabályos rácshálót (raszter) hoz létre szabálytalan (illesztőpontokkal transzformált) pontokból. Ehhez az alábbi opciókat használja:

- of GTiff – a célállomány egy geotiff állomány legyen
- a_srs EPSG:23700 – a cél vetülete EOVS legyen
- txe 0 13239 – a cél x irányú pixelfelbontásának kiterjedése 0 és 13239 közötti legyen
- tye 0 -9523 – a cél y irányú pixelfelbontásának kiterjedése 0 és -9523 közötti legyen (előjeles érték)
- outsize 13239 9523 – a célállomány mérete pixelekből
- zfield field_4 – a virtuális állomány megfelelő oszlopának transzformált összetevőit hordozó csatorna
- a linear:radius=0:nodata=0.0 – a szabályos rácsháló létrehozásához alkalmazott módszert nevesíti. Ebben az esetben a kért algoritmus a `linear`, vagyis lineáris interpolációt alkalmaz az egyes Delaunay három-

szögek közös illesztőpontjaira képzett transzformációkor, melynek transzformált értékeit a `z_field`-be írja. A `radius` és `nodata` értékek határozzák meg a transzformáció keresési tartományát, illetve az adott pixel transzformációval nem érintett pontjainak alapértelmezett értékét. Még egy kiemelendő információt rejt az alkalmazott algoritmus, ez pedig az, hogy ebben az esetben újfent nem történik képelem-transzformáció, vagyis az előálló raszter a méretmegadásnál megadott szabályos raszterként jelenik meg, míg a pixelpontok `zfiled` mezőjében letárolásra kerülnek a transzformált koordináták nevesített összetevői. Éppen e miatt van szükség arra, hogy mindkét összetevőre vonatkozóan végre kell hajtunk a parancsot.

`Eger.vrt` – az elsőként ábrázolt állománynév a bemeneti erőforrás állománya
`mapy.tif` – a másodikként ábrázolt állománynév az eredmény erőforrás állománya

A fentiek alapján összeállított két parancssori funkció az alábbiak szerint adandó meg:

```
gdal_grid -of GTiff -a_srs EPSG:23700 -txe 0 13239 -tye 0 -9523 -
outsize 13239 9523 -zfield field_4 -a linear:radius=0:nodata=0.0
Eger.vrt mapy.tif
gdal_grid -of GTiff -a_srs EPSG:23700 -txe 0 13239 -tye 0 -9523 -
outsize 13239 9523 -zfield field_3 -a linear:radius=0:nodata=0.0
Eger.vrt mapx.tif
```

Ahhoz, hogy ezeket az eredményállományokat újfent alkalmazhassuk, újabb `gdal`-os függvények paraméterezésében, le kell képezzük ezek virtuális megfelelőit is. Ezt a `gdal_translate` függvény segítségével tehetjük meg, mely az egyes formátumok közötti átváltás lehetőségét hordozza. A funkció az alábbi opciókkal kell meghívásra kerüljön:

`-a_srs EPSG:23700` – a cél vetülete EOVS legyen
`-of VRT` – a kimeneti formátum virtuális állomány legyen
`mapy.tif` – az elsőként ábrázolt állománynév a bemeneti erőforrás állománya
`mapy.vrt` – a másodikként ábrázolt állománynév az eredmény erőforrás állománya

Ebben az esetben is két parancssori funkciót kell összeállítani, hogy mindkét koordináta-összetevőre nézve előálljon a kívánt erőforrás:

```
gdal_translate -a_srs EPSG:23700 -of VRT mapy.tif mapy.vrt
gdal_translate -a_srs EPSG:23700 -of VRT mapx.tif mapx.vrt
```

A fentiekén túl, az eredeti állomány virtuális leképezésére is szükség van, ezért ennek a leképezése (átalakítása) következik.

```
gdal_translate -of VRT -a_srs EPSG:23700 Eger_098.tif
Eger_098_geolocation szerkesztendo.vrt
```

A kapott virtuális állományban megtalálható mindaz, amit részben a parancsban megadtunk (vetület), részben pedig, amit a kép jellemzői mutattak. Ezeket az xml formátumú erőforrás állomány meta adatai között kereshetjük.

```
<VRTDataset rasterXSize="13239" rasterYSize="9523">
  <SRS dataAxisToSRSAxisMapping="1,2">PROJCRS["HD72 / EOVS",
    BASEGEOGCRS["HD72",
      DATUM["Hungarian Datum 1972",
        ELLIPSOID["GRS 1967",6378160,298.247167427,
          LENGTHUNIT["metre",1]]],
      PRIMEM["Greenwich",0,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
      ID["EPSG",4237]],
    CONVERSION["Egyseges Orszagos Vetuleti",
      METHOD["Hotine Oblique Mercator (variant B)",
        ID["EPSG",9815]],
      PARAMETER["Latitude of projection centre",47.1443937222222,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8811]],
      PARAMETER["Longitude of projection centre",19.0485717777778,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8812]],
      PARAMETER["Azimuth of initial line",90,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8813]],
      PARAMETER["Angle from Rectified to Skew Grid",90,
        ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
        ID["EPSG",8814]],
      PARAMETER["Scale factor on initial line",0.99993,
        SCALEUNIT["unity",1],
        ID["EPSG",8815]],
      PARAMETER["Easting at projection centre",650000,
```

```

        LENGTHUNIT["metre",1],
        ID["EPSG",8816]],
        PARAMETER["Northing at projection centre",200000,
        LENGTHUNIT["metre",1],
        ID["EPSG",8817]]],
    CS[Cartesian,2],
        AXIS["easting (Y)",east,
        ORDER[1],
        LENGTHUNIT["metre",1]],
        AXIS["northing (X)",north,
        ORDER[2],
        LENGTHUNIT["metre",1]],
    USAGE[
        SCOPE["Engineering survey, topographic mapping."],
        AREA["Hungary."],
        BBOX[45.74,16.11,48.58,22.9]],
    ID["EPSG",23700]]
</SRS>
<Metadata>
  <MDI key="TIFFTAG_IMAGEDESCRIPTION"></MDI>
  <MDI key="TIFFTAG_MAXSAMPLEVALUE">1</MDI>
  <MDI key="TIFFTAG_MINSAMPLEVALUE">0</MDI>
  <MDI key="TIFFTAG_RESOLUTIONUNIT">2 (pixels/inch)</MDI>
  <MDI key="TIFFTAG_XRESOLUTION">400</MDI>
  <MDI key="TIFFTAG_YRESOLUTION">400</MDI>
</Metadata>
<Metadata domain="IMAGE_STRUCTURE">
  <MDI key="COMPRESSION">CCITTFAX4</MDI>
  <MDI key="INTERLEAVE">BAND</MDI>
</Metadata>
<VRTRasterBand dataType="Byte" band="1" blockYSize="512">
  <Metadata domain="IMAGE_STRUCTURE">
    <MDI key="NBITS">1</MDI>
  </Metadata>
  <ColorInterp>Palette</ColorInterp>
  <ColorTable>
    <Entry c1="255" c2="255" c3="255" c4="255" />
    <Entry c1="0" c2="0" c3="0" c4="255" />
  </ColorTable>
  <SimpleSource>
    <SourceFilename relativeToVRT="1">Eger_098.tif</SourceFilename>
    <SourceBand>1</SourceBand>
    <SourceProperties RasterXSize="13239" RasterYSize="9523" Da-
taType="Byte" BlockXSize="13239" BlockYSize="512" />
    <SrcRect xOff="0" yOff="0" xSize="13239" ySize="9523" />
    <DstRect xOff="0" yOff="0" xSize="13239" ySize="9523" />
  </SimpleSource>
</VRTRasterBand>
</VRTDataset>

```

A fentiek ugyanakkor még nem elégségesek ahhoz, hogy az erőforrás lehetővé tegye a képpontok `geolocation` Arrays kiterjesztésének használatát. Ehhez az alábbi sorok beemelése válik szükségessé:

```
<Metadata domain="GEOLOCATION">
  <mdi key="X_DATASET">mapx.tif</mdi>
  <mdi key="X_BAND">1</mdi>
  <mdi key="Y_DATASET">mapy.tif</mdi>
  <mdi key="Y_BAND">1</mdi>
  <mdi key="PIXEL_OFFSET">0</mdi>
  <mdi key="LINE_OFFSET">0</mdi>
  <mdi key="PIXEL_STEP">1</mdi>
  <mdi key="LINE_STEP">1</mdi>
</Metadata>
```

A `metadata domain`, a `geolocation` kiterjesztésre utal. Ezzel az erőforrás olyan képességekkel fog rendelkezni, mely lehetővé teszi valamennyi pixelpontja mögött kezelni tudni annak vetületi rendszerbeli koordinátáit. Ezt az adatkészletek és az alattuk leképzett sávok biztosítják. Ezek az alábbiak szerint nevesítettek:

```
<mdi key="X_DATASET">mapx.tif</mdi>
<mdi key="X_BAND">1</mdi>
<mdi key="Y_DATASET">mapy.tif</mdi>
<mdi key="Y_BAND">1</mdi>
```

A fentiek alapján a `X_DATASET` a `mapx.tif`, míg a `Y_DATASET` a `mapy.tif` pixel attribútumaiból merítkezve kapják `geolocation` értékeiket. Pixel eltolás, vagy pixelsor eltolás nem alkalmazható (`PIXEL_OFFSET`, `LINE_OFFSET` értékük 0), míg az értékek valamennyi pixelre nézve önállóak (`PIXEL_STEP`, `LINE_STEP` értékük 1).

A magyarázatot követően, az így leképzett sorokat, egy egyszerű szövegszerkesztővel is beemelhetjük a virtuális állományba, melyet így egy módosított elnevezéssel fogunk ellátni: `Eger_098_geolocation.vrt`

Az utolsó lépés maradt hátra, mely az alábbi `gdal`-os parancsot takarja:

```
gdalwarp -t_srs EPSG:23700 -overwrite -geoloc -r bilinear -et 0 -te
748500 285000 748850 285200 -tr 0.05 -0.05 Eger_098_geolocation.vrt
Eger_098_geolocation_transzformalt.tif
```

Ez a funkció a `gdalwarp`, mely egy raszter újra-vetítését képes biztosítani akár úgy is, hogy annak átalakítását is végrehajtja. De nézzük, hogy e funkció egyes opciói, mi-
ben járulnak hozzá a megfelelő viselkedéshez:

- t_srs EPSG:23700 – a cél vetülete legyen EOV legyen
- overwrite – ha létezik már az eredményállomány, akkor írja felül
- geoloc – az opció használatával, a warp függvény geolokációs kiterjesztése elérhetővé válik
- r bilinear – az újra-mintavételezés módszerét határozhatjuk meg ezzel az opcióval. Ebben az esetben az újra-mintavételezés módszere a „bilineáris”, vagyis a keresett intenzitásérték, a környező négy pixel intenzitásértékeinek lineáris interpolációja.
- et 0 – a transzformáció hibaküszöbe pixelben. Alapértelmezetten 0.125, míg ebben az esetben csak hibátlan értékeket fogadtatunk el.
- te 748500 285000 748850 285200 – a kimeneti állomány kiterjedése a vetületi rendszernek megfelelő koordinátákkal megadva. Amennyiben a koordináták tartománya csak egy részét fedi az eredeti képnek, úgy az eredmény kivágatként lesz értelmezve. Ebben az esetben is így járunk el, vagyis csak az eredeti szelvény hasznos területe kerül leképzésre.
- tr 0.05 -0.05 – a kimeneti állomány felbontását adja a vetületi rendszer egységeivel. Ebben az esetben mindkét összetevője 5-5 cm, vagyis az eredeti 3 cm-es felbontástól eltérő, így a fenti újra-mintavételezés, már csak ebből kifolyólag is szükségeltetik!

Eger_098_geolocation.vrt – az elsőként ábrázolt állománynév a bemeneti erőforrás állománya

Eger_098_geolocation_transzformalt.tif – a másodikként ábrázolt állománynév az eredmény erőforrás állománya

Ezzel, az így előálló eredmény tiff állomány, egy olyan georeferált lokálisan transzformált kivágata az eredeti képnek, mely az átalakítást követő képelem-transzformáció eredményeként, egy georeferált rasztert eredményez. Ahhoz, hogy az előbbieken során

ismertetett átalakítást végrehajthassuk, az előbb ismertetett parancssori funkciókat, végrehajtó (bat) állományokba kell szervezzük. Miután van olyan lépés, ami manuális szerkesztést is igényel, így a parancsok nem képezhetők le egyetlen végrehajtó állományba, kettő kell belőlük. Ennek a két végrehajtó állománynak a parancsai olvashatók az alábbiakban:

Geoloc_1.bat végrehajtó állomány tartalma:

```
gdal_grid -of GTiff -a_srs EPSG:23700 -txe 0 13239 -tye 0 -9523 -
outsized 13239 9523 -zfield field_4 -a linear:radius=0:nodata=0.0
Eger.vrt mapy.tif
gdal_grid -of GTiff -a_srs EPSG:23700 -txe 0 13239 -tye 0 -9523 -
outsized 13239 9523 -zfield field_3 -a linear:radius=0:nodata=0.0
Eger.vrt mapx.tif
gdal_translate -a_srs EPSG:23700 -of VRT mapy.tif mapy.vrt
gdal_translate -a_srs EPSG:23700 -of VRT mapx.tif mapx.vrt
gdal_translate -of VRT -a_srs EPSG:23700 Eger_098.tif
Eger_098_geolocation szerkesztendo.vrt
```

A futtatást követően az Eger_098_geolocation szerkesztendo.vrt állományba le kell képezzük a geolocation metaadatokat, majd elmentve az alábbi névvel, Eger_098_geolocation.vrt, a Geoloc_2.bat futtatandó.

Geoloc_2.bat végrehajtó állomány tartalma:

```
gdalwarp -t_srs EPSG:23700 -overwrite -geoloc -r bilinear -et 0 -te
748500 285000 748850 285200 -tr 0.05 -0.05 Eger_098_geolocation.vrt
Eger_098_geolocation_transzformalt.tif
```

A futás eredménye az Eger_098_geolocation_transzformalt.tif állomány, mely Geotiff, EOVI vetületű, és tartalma, az eredeti 500-as szelvény hasznos területének kivágata, melynek illesztőpontjaira nézve kikényszerítésre került azok változatlanul tartása.

Ha jól belegondolunk, akkor ennek a lokális transzformációnak a használata kiváltképp alkalmas lehet a drónos felvételeink gyors, előzetes georeferálására, hiszen ez esetben is arra törekszünk, hogy illesztőpontjaink lehetőleg ne szenvedjenek változást.