

Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Földtudományok Doktori Iskola

A térinformatika és a távérzékelés alkalmazása a precíziós (helyspecifikus) növénytermesztésben

PhD értekezés

Milics Gábor

Témavezetők: Dr. Nagyvárad László
egyetemi docens

Prof. Dr. Neményi Miklós, DSc
egyetemi tanár

Programvezető: Prof. Dr. Tóth József, DSc
egyetemi tanár, a földtudományok doktora
Rector Emeritus

Pécs, 2008

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Célkitűzések	10
3. A korszerű műholdas helymeghatározás szerepe a precíziós növénytermesztésben	13
3.1. Kutatástörténet.....	13
3.2. Kutatási módszer	28
3.3. Eredmények.....	30
4. A térinformatika gyakorlati szerepe a precíziós növénytermesztésben	33
4.1. Kutatástörténet.....	33
4.2. Kutatási módszer	35
4.2.1. A térinformatikai szoftverek	35
4.2.2. Adatgyűjtés.....	36
A kézi mintavételezés.....	36
Adatgyűjtés betakarítás során (on-line adatgyűjtés)	37
4.2.3. Adatfeldolgozás.....	42
A kézi mintavételezés adatainak feldolgozása	42
Az online gyűjtött adatok feldolgozása	45
4.3 Eredmények.....	50
A kézi mintavételezés alapján létrehozott fedvények	50
A betakarítás adataiból létrehozott fedvények	51
A hozamtérkép	51
A szem (on-line mért) fehérjetartalom térképe	53
5. A műholdas távérzékelés alkalmazása a precíziós gazdálkodásban	55
5.1. Kutatástörténet.....	55
5.2. Anyag és módszer	58
5.3. Eredmények.....	65
6. A hiperspektrális képalkotás alkalmazása a precíziós növénytermesztés során	67
6.1. Kutatástörténet.....	67
6.2. Anyag és módszer	70
6.3. Eredmények.....	83

7. Az eltérő forrásból származó fedvények geostatistikai összevetése	85
7.1. Az interpoláció hatása a hozamtérképre	87
7.2. A hozambecslés megbízhatósága multispektrális és hiperspektrális képek alapján	88
7.3. A fehérjetartalom becslésének megbízhatósága multispektrális és hiperspektrális képek alapján	94
7.4. Az on-line gyűjtött fehérjetartalom adatok és a kézi mintavételezésből származtatott adatok összevetése	96
8. Összefoglalás, a kutatás további irányai.....	98
9. Köszönetnyilvánítás	103
10. Ábrák és táblázatok jegyzéke	105
10.1. Ábrák jegyzéke	105
10.2. Táblázatok jegyzéke	107
11. Irodalomjegyzék.....	108
Függelék	119
1. A repülési paramétereket tartalmazó táblázat	119
2. Az AISA DUAL specifikációja.....	120
3. A vegetációs indexek.....	121
3.1. A multispektrális vegetációs indexek.....	121
3.2. A hiperspektrális vegetációs indexek	127

1. Bevezetés

A térinformatika és a távérzékelés alkalmazása a precíziós (helyspecifikus) növénytermesztésben című disszertáció elkészítésével két dinamikusan fejlődő tudományág – a földrajz- és az agrártudományok – kutatási módszereinek hasonlóságát felhasználva foglaltam össze a témához kapcsolódó munkám eddigi eredményeit.

A disszertáció bemutatja azokat a kutatási módszereket, amelyeket a **földrajz, mint tértudomány** szemléletmódját követve a precíziós növénytermesztés gyakorlati megvalósítása során alkalmaztam. Ebből következik, hogy az eredmények nem kizárólag az agrártudományok iránt érdeklődők, hanem a földtudományok művelői számára is adalékul szolgálhatnak.

A precíziós gazdálkodás szemszögéből vizsgált technológiai elemek – távérzékelés, és térinformatika – rohamos fejlődésével egyre tágul azon szolgáltatások köre, amelyek eddig sebességük, bonyolultságuk vagy árak miatt nem voltak elérhetők. A tendencia az, hogy a katonai felhasználásra tervezett és fejlesztett rendszerek (pl.: a műholdas alkalmazások, repülőgépes felderítés és adatgyűjtés, stb.) egyre szélesebb körben lesznek elérhetők a polgári felhasználók részére, jelentős hozadékot biztosítva ezzel többek között a mezőgazdaság számára is. Amikor precíziós gazdálkodásról beszélünk, a költségek megtérülése és a hatékonyság szempontjából ma még figyelembe kell venni, hogy mekkora területen, milyen intenzitással és milyen hatékonysággal történik a növénytermesztés. A technikai eszközök tömeggyártásának elterjedésével a mérőeszközök, műszerek, illetve gépek árának csökkenése várható, ami hozzájárul a minőséget és környezetállapotot is szem előtt tartó gazdálkodási mód elterjedéséhez.

A **precíziós mezőgazdaság (Precision Agriculture) kialakulása** a technológia első felhasználóinak hazájában az **Amerikai Egyesült Államokban** indult útjára. A rohamos technikai fejlődés a mezőgazdaságot is egyre inkább átformálta. A precíziós mezőgazdaság kifejezés alatt korábban csak a növénytermesztést értették, mára azonban ez a kifejezés mind a precíziós növénytermesztést (Precision Plant Production), mind a precíziós állattenyésztést (Precision Livestock Farming) magába foglalja. Ennek köszönhetően a fogalmak használata a nemzetközi irodalomban sem egységes. A dolgozatban használható kifejezések – helyspecifikus növénytermesztés

vagy gazdálkodás, precíziós mezőgazdaság vagy növénytermesztési technológia – közül a **precíziós növénytermesztés** tűnik a legkifejezőbbnek, hiszen a magyar nyelvben ez hangsúlyozza leginkább a technológia sajátosságait és lényegét.

A precíziós növénytermesztési technológia mai értelemben vett kialakulása a '90-es évek elejére tehető. Bár korábban is voltak olyan megoldások, amelyek a technológia egyes elemeit alkalmazták, az **áttörést a globális helymeghatározó rendszer (Global Positioning System, GPS) megjelenése hozta** (STAFFORD, J.V. – AMBLER, B. 1994, AUERNHAMMER, H. et al., 1994). Ennek oka, hogy a korábban már rendelkezésre álló eszközök, mint például a távérzékelés ugyan a mezőgazdaság számára már szolgáltatott információt (BUFFALANO, A.C. – KOCHANOWSKI, P., 1976), ugyanakkor az esetlegesen szükséges beavatkozásra a helymeghatározás pontosságának hiányában nem volt lehetőség. Hasonló okokkal magyarázható a térinformatika (Földrajzi Információs Rendszer, Geographic Information System, GIS) késői elterjedése, hiszen a térbeli adatok gyűjtése, majd azok térképi megjelenítése ugyan egyre pontosabbá vált, a helyspecifikus növénytermesztés még nem valósulhatott meg. A globális helymeghatározó rendszerek megjelenésével a precíziós növénytermesztési technológia rohamos fejlődésnek indult. Ekkorra már kialakult rendszerek álltak rendelkezésre az adatgyűjtés és feldolgozás terén: nagyságrenddel pontosabbá vált az adatgyűjtés (pl. a betakarítás során alkalmazott helymeghatározó rendszereknél), illetve a térinformatika segítségével a feldolgozott adatok alapján a kellő pontosságú beavatkozás is megtörténhetett.

STOMBAUGH, T.S. et al. (2001) szerint a precíziós növénytermesztési technológia bevezetésének lépései a következők:

Térképező program beszerzése → helyspecifikus adatgyűjtés → a művelt terület határainak feltérképezése → az adatok tárolása → távérzékelte adatok beszerzése → hozammérő szenzor beszerzése → differenciál GPS beszerzése → hozamtérképek elkészítése → hozamtérképek felhasználása az eltérések felderítésére → profit-térkép elkészítése → hozamtérképek és profit-térképek használata a döntéshozatalnál → helyspecifikus talajmintavétel → kezelési egységekre bontott beavatkozás → változó alkalmazás (Variable Rate Application, VRA) bevezetése.

Az egyes technológiai elemeket megfigyelve szembetűnik, hogy a **térképezés/térinformatika, és a távérzékelés milyen fontos szerepet játszik a helyspecifikus növénytermesztésben.**

A precíziós (helyspecifikus) növénytermesztés létjogosultságát ma már nem lehet megkérdőjelezni. Számos közlemény született arról, hogy a globális problémákat okozó demográfiai robbanás, a Föld egészére értelmezett élelmezési problémák, illetve környezeti problémák beláthatatlan következményekkel járnak (pl. HAJNAL K. – TÓTH J., 1998). A tájhasználat egésze ugyanakkor a termelési módszerek intenzifikációja ellenére pl. hazánkban a 80-as évek óta gyengül (BERÉNYI I. 2000; BERÉNYI I. 2001). **Az egy főre jutó megművelhető terület nagysága egyre csökken,** világátlagban a 2000-es 0,23 ha-ról az előrejelzések szerint 2050-ben mindössze 0,15 ha-ra (LAL, R., 1991). Ha az egyes országok adatait tekintjük át (*1. táblázat*), akkor ugyan differenciáltabb a kép, de az eredmény így is elgondolkodtató. Ha világviszonylatban vizsgáljuk a népességszám növekedését, valamint a megművelhető területek nagyságát, akkor hasonló eredményt kapunk (1. ábra): a népességszám folyamatos növekedése mellett (meg kell jegyezni, hogy a jelenlegi népességnövekedési trend az ábrával ellentétben exponenciális), a művelhető területek csökkenésével kell számolni.

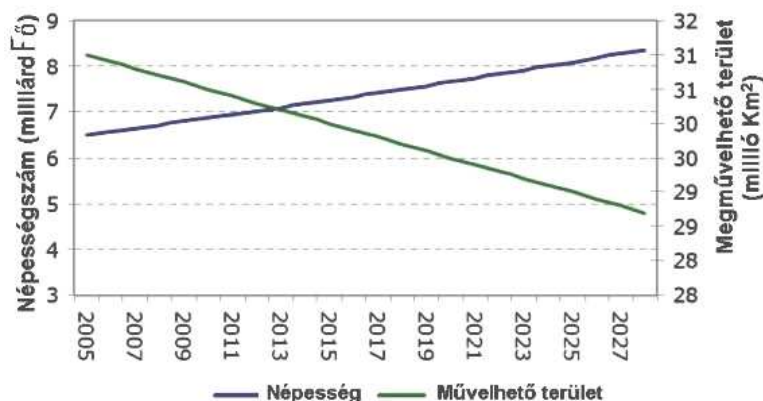
1. táblázat: Az egy főre jutó mezőgazdasági területek országonként (kivonat)

(Forrás: ENGELMAN, R. et al., 2000)

Ország	Megművelhető terület (ha/fő)	
	1975	2000
<i>Ausztrália</i>	3,05	2,81*
<i>Kanada</i>	1,90	1,47
<i>Argentína</i>	1,03	0,73
<i>Új-Zéland</i>	1,14	0,85
...
<i>Magyarország</i>	0,52	0,50
...
<i>Bahrein</i>	0,01	0,01
<i>Katar</i>	0,01	0,03
<i>Szingapúr</i>	0,00	0,00
<i>Kuvait</i>	0,00	0,00

*elsivatagosodás miatt további csökkenés várható

Ez a folyamat az egy főre jutó művelhető terület nagyságát a tendenciák függvényében csökkenti. A **kihívásra**, miszerint **egyre kisebb területen kell megtermelni egyre nagyobb népesség élelmét, megoldásként szolgálhat a helyspecifikus (precíziós) növénytermesztés** technológia-intenzív gyakorlata.



1. ábra: A népességszámnövekedés és a megművelhető területek (előrejelzés)

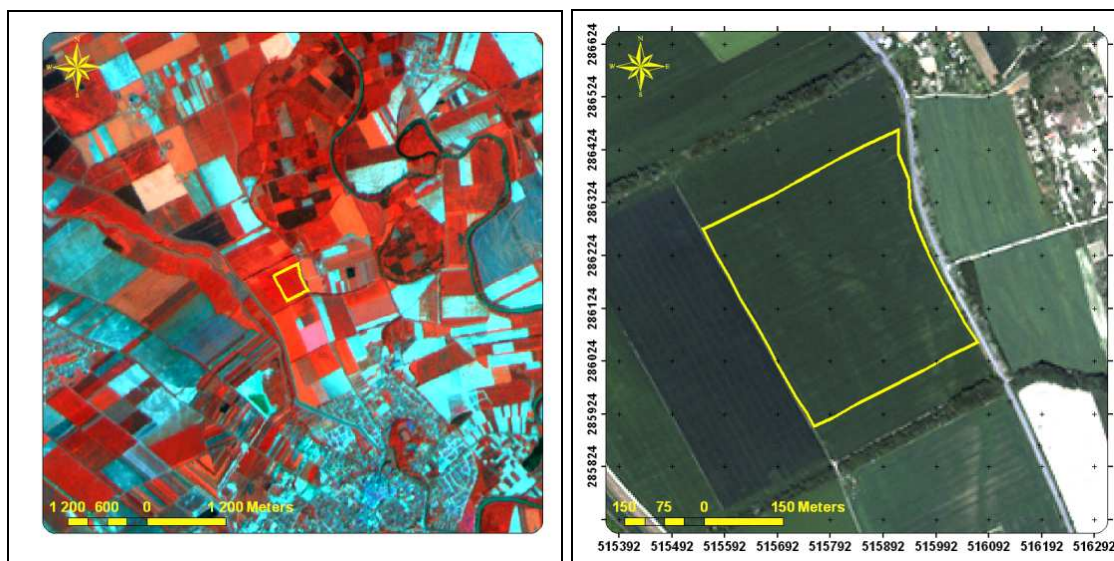
(Forrás: MANN, L. 2007)

A helyspecifikus (precíziós) növénytermesztési technológia elterjedése hazánkban a kilencvenes évek végére tehető. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának 2000. évi tájékoztatójában javaslat olvasható a precíziós agrárgazdaság kutatási programjának indítására (GYÖRFFY B., 2001). A javaslat alapja egy korábbi közlemény: „A biogazdálkodástól a precíziós mezőgazdaságig” (GYÖRFFY B., 2000). Az eltelt évtized során a különböző kutatóintézetek (pl. a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Agrárműszaki Intézete – ma Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete /Mosonmagyaróvár/, a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centruma, a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Mezőgazdasági Gépesítési Intézete /Gödöllő/, az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete /Martonvásár/, az MTA Talajtani- és Agrokémiai Kutatóintézete /Budapest/), egyre több tapasztalatot szereznek a technológia alkalmazásához, amihez hozzájárult az egyes intézetek között kialakult jó kapcsolat, és a közös kutatómunka is. A több éve országos keretek között folyó kutatási programok (GAK, NKFP) lezárásaként összefoglaló munka jelent meg arról, hogy hol tart ma Magyarországon a precíziós mezőgazdaság, illetve, hogy melyek a legfontosabb további kutatási irányok (NÉMETH T. et al., 2007).

A hazai gyakorlati alkalmazásokról, az IKR Zrt. tapasztalatairól (PECZE Zs. et al. 2007) közölnek összefoglalást.

A korábban a témát érintő magyar nyelven megjelent könyvek nagy hangsúlyt fektettek arra, hogy az akkoriban köztudatba kerülő technológia egyes elemeit, mint a GPS rendszerek, vagy a térinformatika széles körben ismertessék az érdeklődőkkel (TAMÁS J., 2001; TAMÁS J. – LÉNÁRT Cs., 2003). Az egyes technológiai elemekről, mint pl. a helyspecifikus kijuttatási modell (CSATHÓ P. et al. 2007), vagy a kijuttatási gépeiről (CSIZMAZIA Z., 2007) jelentettek meg könyvfejezetet, vagy összefoglaló könyvet a közelmúltban.

A kiválasztott mezőgazdasági tábla (23,9 ha), amelyen a vizsgálatokat végeztük, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Tangazdaságának kezelésében van. A tábla Mosonmagyaróvár központjától ÉK-re 3 km távolságra fekszik. A terület a Mosoni-Duna és a Lajta által határolt magas ártéren helyezkedik el. Mivel nem veszélyezteteti sem árvíz, sem belvíz, talaja megfelel a mezőgazdasági termelés követelményeinek (2. ábra).



2. ábra: A 80/1 mezőgazdasági tábla elhelyezkedése és a táblán belül kijelölt kutatási terület (Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2004)

A tábla kiválasztásának szempontjai között szerepelt, hogy a Tangazdaság egyik legjobb talajparamétereivel rendelkezik, valamint az oktató-kutató bázisról könnyen megközelíthető.

A helyspecifikus növénytermesztési kutatásokhoz kapcsolódó mérések 2000-ben kezdődtek ezen a táblán, addig itt hagyományos szemléletű gazdálkodás folyt.

A megbízható adatgyűjtés szükségessége, valamint a zavaró külső hatások (pl.: faszorok árnyékhatása) megkívánták, hogy ne a teljes (később létrehozott) mezőgazdasági parcellaazonosító rendszerben (MEPAR) megjelenő táblát jelöljük ki vizsgálati területnek, hanem annak csak egy kiválasztott (15,5 ha-os), középén elhelyezkedő részét.

A mintaterületen a helyspecifikus növénytermesztés követelményrendszerének megfelelően 2000 óta folyamatosan épült fel az a rendszer, amelynek fejlesztése azóta is folyik. A dolgozat, ahol az indokolt, törekszik a műszerek közérthető – nem feltétlenül agrár-műszaki szemléletű és ennek megfelelően szabatos – ismertetésére, hiszen a munka során ezek, mint adatgyűjtő rendszerek, adatforrások jelennek meg. A kutatási területen az egyes gazdasági években eltérő növények termelése folyt, amelyeknek az átlagos hozamát az 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat: A 80/1 tábla termesztett növényei 2000-2007 között

(Forrás: Milics G., 2007)

Év	Növény	Átlagos hozam (t/ha)
2001	Kukorica	4,47
2002	Kukorica	6,03
2003	Tavaszi árpa	4,00
2004	Őszi búza	6,86
2005	Kukorica	9,85
2006	Kukorica	10,84
2007	Tavaszi árpa	3,50

A precíziós gazdálkodás sikeres megvalósításához új eszközökre és kutatási módszerekre van szükség. Néhányat a technikai eszközök közül (pl. a hozammérő rendszerek, vagy a helyspecifikus kijuttatás gépei) ma már széles körben alkalmaznak, egyes specifikus elemek (pl. nitrogéntartalom-mérő szenzorok, fehérje- és olajtartalom mérők) azonban megmaradtak a szűk alkalmazói-szakmai körön belül (MESTERHÁZI P. Á. ET AL., 2007). Az új kutatási módszerek közül a műholdas és a légifényképes távérzékelés szélesebb körű vizsgálata indokolt, hiszen ezek az eljárások (amennyiben megbízhatóságuk bizonyított) a precíziós gazdálkodás következő generációs adatgyűjtő módszereivé léphetnek elő.

2. Célkitűzések

A dolgozat célkitűzései:

1. Megvizsgálni, hogy a **korszerű műholdas helymeghatározás milyen szerepet játszik a helyspecifikus gazdálkodás megvalósításában, a helymeghatározás pontosságának és megbízhatóságának javulása milyen hatással van a technológia fejlődésére.**
2. Ismertetni a **precíziós növénytermesztés gyakorlati tapasztalatait, megvizsgálni a térinformatika szerepét a technológia megvalósításában.**
3. Megvizsgálni a **műholdas távérzékelés alkalmazási lehetőségét** a precíziós gazdálkodás döntés-előkészítő és ellenőrző folyamatában.
4. **Megvizsgálni, hogy a hiperspektrális /légifényképes/ képalkotás milyen módon járulhat hozzá a helyspecifikus növénytermesztés további fejlődéséhez, hogyan hasznosíthatók az ezzel az eljárással nyert adatok egyéb tudományágak, így pl. a földrajzi alkalmazások számára.**
5. **Összehasonlítani a hagyományos (multispektrális, műholdas) és modern (hiperspektrális, légifényképes) távérzékelési eljárásokat, megvizsgálni az egyes technológiák előnyeit és hátrányait.**
6. Geostatistikai módszerekkel **összevetni az eltérő forrásokból származó fedvényeket, elemezni az egyes adatgyűjtési eljárások és az azokból származtatott előrejelzések, becslések megbízhatóságát és szerepét a precíziós gazdálkodásban.**

A **korszerű műholdas helymeghatározás** szerepének vizsgálatát tűztem ki elsődleges célul a helyspecifikus növénytermesztés megvalósításában. A helymeghatározó eszközök vizsgálata azért indokolt, mert **a műholdas helymeghatározás a precíziós gazdálkodás megvalósításának fő eszköze**; annak pontossága és megbízhatósága az adatgyűjtést és a beavatkozást alapjaiban határozza meg. Ugyanakkor az eszközök – elsősorban a jellevők – fejlődése még a néhány évvel korábban alkalmazott mérési eljárásokhoz viszonyítva is nagyságrenddel pontosabb mérést tesznek lehetővé. Ennek eredményeként a precíziós gazdálkodás igyekszik olyan feladatok ellátására is hasznosítani a műholdas helymeghatározás kínálta lehetőségeket, amelyekre korábban gondolni se lehetett. Az első célkitűzés ezért annak a vizsgálatát is magában foglalja, hogy **milyen újabb alkalmazási területek lehetségesek a helymeghatározás pontosságának és megbízhatóságának javulásával** a precíziós növénytermesztési technológia fejlődése szempontjából.

A **térinformatika alkalmazása** az adatfeldolgozás során ma már számos területen elkerülhetetlen, így **a helyspecifikus növénytermesztésnek is egyik alappillére**. Ennek is köszönhető, hogy a ma használatos térinformatikai szoftverekkel való kommunikációt a precíziós növénytermesztési technológia speciális szoftverei számára is elérhetővé tették. Az előre beállított funkciók segítségével lehetnek a kevésbé gyakorlott felhasználóknak, fontos azonban annak vizsgálata, hogy az egyes elemzésre használt paraméterek megváltozása milyen eltérő eredményeket szül, nagymértékben befolyásolva ezzel a döntést milyenségét. A dolgozatban ismertetem a **precíziós növénytermesztés** során alkalmazott **adatgyűjtési, adatfeldolgozási és döntés előkészítő folyamatokat**, kiemelt figyelemmel **a gyakorlati tapasztalatokra**.

A **távérzékelés** számos **előnnyel** rendelkezik a helyspecifikus gazdálkodás **adatgyűjtése** során. Az erőforrás-kutató távérzékelési műholdak közül a Landsat műholdak adatai megfelelő **geometriai felbontással** rendelkeznek a táblán belüli eltérések vizsgálatához, így megfelelnek a precíziós gazdálkodás adatforrásául. A dolgozat ezen célkitűzése arra keresi a választ, hogy **a távérzékelés, mint adatgyűjtési eljárás milyen szerepet kaphat a precíziós gazdálkodás megvalósítása során**.

A távérzékelés alkalmazásai közül nem csak a műholdas (**multispektrális**), hanem a repülőgépes (**hiperspektrális**) adatgyűjtő rendszer (**AISA Dual**) elemzésére is sor

kerül. Kiemelt célom, **hogy megvizsgáljam a hiperspektrális adatgyűjtés és feldolgozás folyamatát**, valamint az ezzel az eljárással szerzett **információk hasznosíthatóságát** a helyspecifikus növénytermesztés megvalósításához. A **hiperspektrális képalkotás** egyéb tudományágak, így **a földrajz** egyes **részterületeinek adatforrásául** is szolgálhat, így az adatfeldolgozás ismerete azok művelőinek is **hasznára válhat**.

Az itt vizsgált **távérzékelési módszerekkel gyűjtött adatok** a műszereket szállító hordozóeszközön kívül (műhold, illetve repülőgép), **minőségükben és mennyiségükben is eltérnek** egymástól. **Ez indokolta a két távérzékelési eljárás** és adathalmaz, a multispektrális műholdkép illetve a hiperspektrális képalkotással nyert légifelvételek **összehasonlító elemzését**.

További céljom az **eltérő adatforrásokból származó térinformatikai fedvények geostatistikai összevetése és elemzése**. Az eltérő adatforrásokból (kézi mintavételezés, on-line adatgyűjtés, műholdas- és légifényképes távérzékelés) származó fedvények összevetése rámutat az **előrejelzések megbízhatóságára vagy bizonytalanságára**, ugyanakkor ellenőrzésül szolgál az adatok további felhasználása előtt.

A disszertáció célkitűzéseinek megvalósításához indokolt volt az egyes témakörök egységes fejezetben történő ismertetése, hiszen a hagyományos felépítésű értekezés túlzottan szétagolttá, ezzel nehezen követhetővé tette volna azokat.

3. A korszerű műholdas helymeghatározás szerepe a precíziós növénytermesztésben

3.1. Kutatástörténet

Szigorúan véve precíziós, helyspecifikus mezőgazdaságról a helymeghatározó rendszerek polgári felhasználók számára is rendelkezésre állásától kezdve beszélhetünk. A pontos helymeghatározás révén az adatgyűjtés (pl. hozam adatok, talaj adatok, gyom adatok), majd a feldolgozást követően (térképek) megfelelő döntések meghozatala után a beavatkozás (tápanyag-kijuttatás, talajlazítás, stb.) a táblán belül, helyspecifikusan kellő pontossággal végezhető el.

Mivel a precíziós mezőgazdaság elsődleges célja a téridőben megfelelő művelés megvalósítása, a helymeghatározás pontossága elsődleges feladat.

A precíziós mezőgazdaság megjelenése előtt is meg lehetett határozni az erőgépek táblán belüli helyzetét. Kellő tapasztalattal rendelkező gépkezelők meglepően jól „tájékozódnak” a munkaterületen. A mezőgazdasági gépek táblán belüli helyzete az útvonal, az indulástól eltelt idő és a relatív állandó sebesség ismeretében kiegészítő technikai eszközök nélkül is meghatározható, azonban az időmérés és a sebesség meghatározási pontatlanságok, valamint a sortávolságok változásai miatt a precíziós mezőgazdaság számára szükséges helymeghatározási pontosság már nem érhető el.

A helyspecifikus mezőgazdaság nem kizárólag a pozíció meghatározását jelenti. A technológia magába foglalja a különböző érzékelőkkel (szenzorokkal) gyűjtött adatok naplózását is. A kellő pontosságú, helyhez kötött adatok, majd az ezekből származtatott információk ismeretében később elvégzi a szükséges beavatkozást is.

Jó példa erre a néhány másodpercenként gyűjtött hozam adatok alapján készíthető hozamtérkép, ami alapvető a precíziós gazdálkodás számára. Az adatokat akár valós időben (real-time) akár utólag is feldolgozhatjuk (post-processing). A helyspecifikusan gyűjtött adatok alapján az egyes jellemzők addig ismeretlen kapcsolatrendszere is feltárható. Ez is bizonyítja tehát, hogy a helymeghatározó rendszerek a modern mezőgazdaságban jelentős előnyöket nyújtanak a felhasználóknak.

A pontos helymeghatározás révén optimalizálható a mezőgazdasági művelés, amivel jelentős költségmegtakarítás (pl. műtrágya felhasználás) és nagyobb

termésátlag, illetve jobb minőség érhető el (MANIAK, S., 2003; MESTERHÁZI P.Á., 2004).

A műholdas helymeghatározást megelőzően rádiótechnikai megoldásokkal, úgynevezett földi háromszögelési módszerrel oldották meg a táblán belüli pozicionálást (TAMÁS J., 2001).

A műholdas helymeghatározás nagy előnye, hogy lényegesen olcsóbb és pontosabb. Nem kell adókat telepíteni, csak vevőket és elvileg bárhol – ahol legalább négy műhold jelei foghatók – pontosan meghatározható a pozíció. A pontosság több műhold jeleinek vételével növelhető. Ez a pontosság korábban valós idejű (real time) üzemnél általában 50-150 méteres volt, hiszen katonai okokból a műholdak jeleit zavarták. Ennek az volt a hátránya, hogy ez a pontosság alkalmatlan volt a mezőgazdaságban a közvetlen beavatkozásra (pl. műtrágyaszórás, növényvédelmi feladatok ellátása). Ugyanakkor pár órával az észlelés után az interneten megjelentek a zavaró kódok jellemzői, amelyek felhasználásával a korábbi helyzet már 5-15 méter pontossággal rekonstruálhatóvá vált. További pontosság eléréséhez először földi rádióállomások szolgáltatottak úgynevezett differenciáljelet. Ez üzemelés közben különböző nehézségeket jelentett, mert a korrekciós jelek gyakran kimaradtak, aminek következtében a pozicionálás pontossága és megbízhatósága nagyon leromlott.

Hosszútávon várható, hogy a mezőgazdaságban általánosan el fognak terjedni a későbbiekben ismertetett $\pm 2,5$ cm pontosságú RTK (Real Time Kinematic) helymeghatározó rendszerek. Ezekkel már mechanikus növényápolás, vetés, növényvédő szerek, illetve műtrágya kijuttatása is megoldható a jelenlegi manuális (kézi irányítású) pontossággal. Ugyanakkor a globális helymeghatározás napszaktól való függetlensége révén bizonyos munkák éjjel is elvégezhetők lesznek (NEMÉNYI M. et al., 2003; NEMÉNYI M. – MILICS G., 2007).

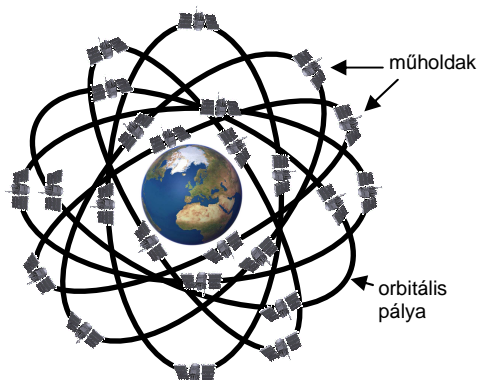
A műholdas helymeghatározó és navigációs rendszerek, azaz a GNSS (Global Navigation Satellite Systems) napjainkig kizárólag katonai irányítás alatt állnak, amelyek szolgáltatásait kiterjesztették a polgári felhasználók körére is. Jelenleg az amerikai NAVSTAR GPS (aminek szinonimájaként elterjedt a rövidített GPS elnevezés), illetve az orosz GLONASSZ műholdak sugároznak jeleket a polgári felhasználók felé. Az európai Galileo rendszer célirányosan már a tervezési fázistól

kezdvé polgári használatra szánt és polgári szervezetek által felügyelt rendszer lesz, amennyiben a megvalósításhoz a megfelelő anyagi forrásokat sikerül bevonni a programba. Forráshiány miatt az ígért rendszerindítási időpont 2008-ról 2011-re tolódik. Mindhárom rendszer esetében három alrendszert különböztetünk meg:

1. műholdak (űrszegmens),
2. földi követőállomások,
3. felhasználók (vevőberendezések).

Mivel a dolgozatban elsősorban a NAVSTAR GPS rendszerre, illetve annak kiegészítő szolgáltatására az OMNISTAR jelkorrekciós rendszerre támaszkodva készültek a helymeghatározó mérések, a GLONASSZ és a Galileo rendszert nem ismertetem részletesen.

A műholdak tervezésekor elsősorban azt kellett figyelembe venni, hogy a helymeghatározáshoz legalább négy műhold jelét kell egyidejűleg befogni a földi vevőkészülékeknek. Ezért a NAVSTAR GPS üzemeltetői hat – betűkkel megkülönböztetett – műholdpályára összesen 24 műholdat terveztek (3. ábra, 3. táblázat). Mivel az egyes műholdak élettartama meghaladta a tervezett 7,5 évet – így továbbra is sugározzák jeleiket – a pótlásra fellőtt műholdakkal együtt a GPS rendszer jelenleg 29 műholddal rendelkezik.



3. ábra: A NAVSTAR GPS műholdak 6 pályasíkja
(Forrás: MILICS G. – TAMÁS J., 2007)

3. táblázat: A GNSS rendszer űrszegmentenseinek legfontosabb jellemzői

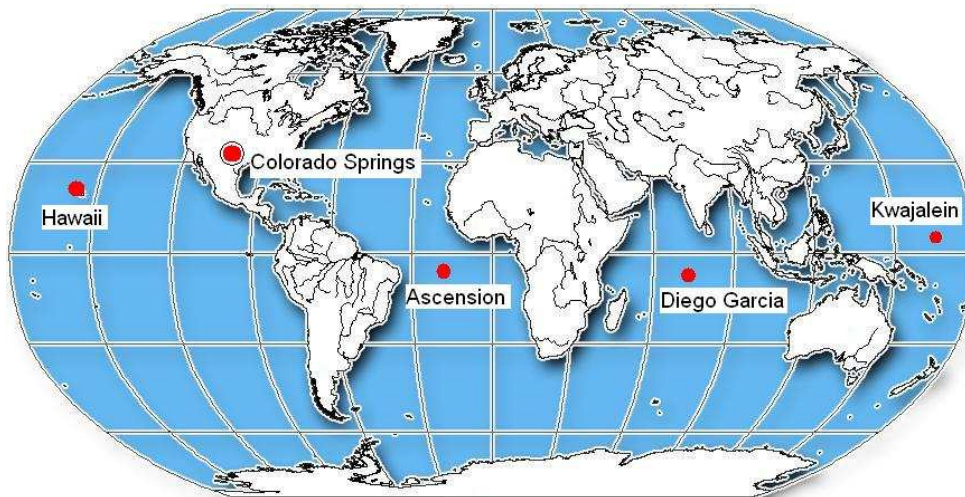
(Forrás: MILICS G. – TAMÁS J., 2007)

	NAVSTAR GPS	GLONASSZ	Galileo*
Aktív/tervezett műholdak száma	29/24	15/24	?/30
Műholdpályák száma	6	3	3
Keringési idő	11 h 58 m	11 h 15 m	14 h
Pályamagasság (nadírban)	20 200 km	19 100 km	23 600 km
Pályasík és az egyenlítő között bezárt szög	55 °	64,8 °	56 °

*A rendszer teljes kiépítettsége 2011-re várható.

Mindhárom műholdas helymeghatározó rendszer esetében a földi követő állomások feladata, hogy vizsgálják (mérjék) a műholdpályák változásait, szinkronizálják és kalibrálják a műholdakon található órákat, illetve megbecsülik a következő 24 órára várható műholdpályát.

A NAVSTAR GPS esetében öt földi követőállomás van, amelyek az egyenlítőhöz közel, egymástól megközelítőleg egyenlő távolságra helyezkednek el. A rendszer vezérlőközpontja Colorado Springs közelében az Amerikai Egyesült Államok területén helyezkedik el. Munkáját négy követőállomás (Hawaii, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein) segíti (4 ábra). A szükséges korrekciókat a földi irányítórendszer kiszámítja, majd az adatokat továbbítja az egyes műholdak irányítórendszerébe.



4. ábra: A NAVSTAR GPS rendszer földi követőállomásainak elhelyezkedése

(Forrás: MILICS G. – TAMÁS J., 2007)

A helymeghatározási technika folyamatos fejlődésével egyre tágul azok köre, akik valamilyen módon szeretnék helymeghatározáshoz műholdas segítséget igénybe venni. A felhasználói alrendszer helymeghatározó eszközei csupán a jelek vételére alkalmasak, azaz a kommunikáció egyirányú. A piacon számos gyártó termékei elérhetők, a felhasználók céljai szerint az egyes eszközök napjainkban egyre specifikáltabbak és a termékskála folyamatosan bővül.

Mindhárom helymeghatározó rendszer által kibocsátott jelek és kódok hasonló elven működnek, így elegendő, ha az elvi működést a NAVSTAR GPS alapján ismerjük meg.

A polgári alkalmazásban is használható GPS műholdak három vivőfrekvencián továbbítják az információt a felhasználók felé. A rádióhullámok vivőfrekvenciáját a műholdakon elhelyezett nagy pontosságú cézium és rubídium atomórák segítségével állítják elő. Az atomórák meghatározott, stabil frekvencián, 10^{-13} - 10^{-14} pontossággal, 10,23 MHz-en rezegnek. Az információtovábbításra használható rádiófrekvenciás jelet az atomóra rezgéseinek 120, 154, és 115-szörös sokszorozásával $L1=1575,42$ MHz, $L2=1227,60$ MHz és $L5=1176,45$ MHz-es szinuszos rádiófrekvenciás hullámok keltésével állítják elő. Mindegyik műholdon azonos frekvenciájú vivőhullámok keletkeznek, ezért, hogy meg lehessen különböztetni a különböző holdakról érkező jeleket egy véletlen zajnak tűnő, de jól meghatározott digitális jellel (pseudorandom noise - PRN, azaz álvéletlen zaj) modulálják a szinuszos rádiófrekvenciás jelet.

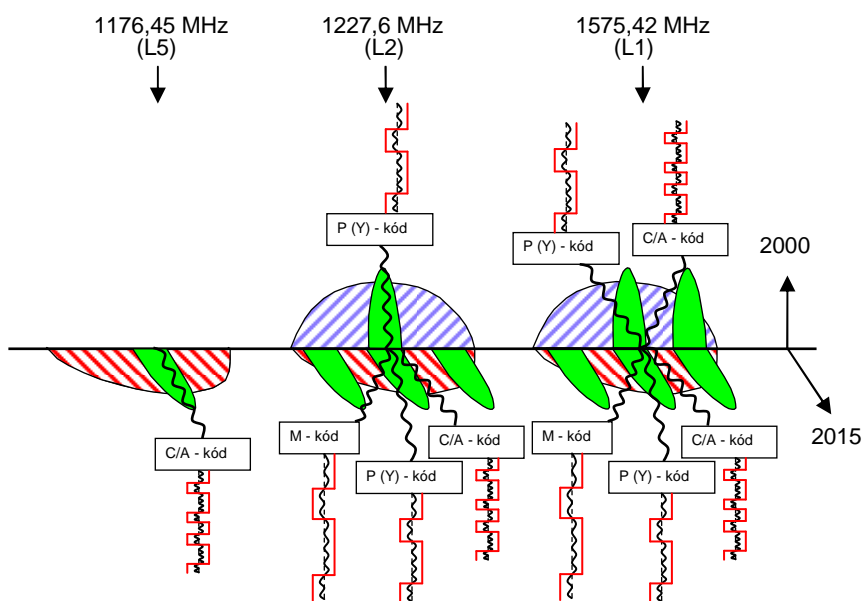
Jelenleg már rendelkezésre áll a C/A (Coarse Acquisition – durva adatnyerés) kód, amely korlátlanul elérhető minden felhasználó számára, így biztosítva van az általános helymeghatározás (Standard Positioning Service – SPS). Ezzel ellentétben az ennél bonyolultabb P-kód (Precise – pontos), amely csak a felhasználók korlátozott csoportja számára érhető el (Precise Positioning Service – PPS).

A különböző vivőjelek különböző szintű kódolásával, illetve a kódok megfejtésére képes GPS vevőkkel határozható meg a műholdaktól való távolság, majd ebből számítható ki – eltérő pontossággal – a helyzetünk.

A pontosság meghatározását kezdetben korlátozták. Ennek egyik módszere az alapfrekvenciát szolgáltató atomórák pontosságának mesterséges rontása, a másik a kódok torzítása. Ezekben az esetekben természetesen a katonai felhasználókat

tájékoztatták a mesterséges hibák létrehozásáról, így azt ki tudták küszöbölni. A szelektív elérhetőség (Selective Availability S/A) fogalma 1990 és 2000 között volt ismert. Célja az volt, hogy a helymeghatározás pontosságát a korlátozott hozzáférés miatt rontani tudják. Ezt a gyakorlatot 2000-tól megszüntették, így a polgári felhasználók számára is elfogadhatóvá vált a helymeghatározás pontossága.

A 2005-ben újtárra indított NAVSTAR GPS modernizációs folyamat eredményeként új vivőfrekvencia bevezetése mellett újabb kódok rendszeresítésére is sor került, ami a polgári felhasználók számára tovább növeli a pontosságot (5. ábra). Az ábra függőleges tengelyén a 2000-ben elérhető (és nagyrészt napjainkban is alkalmazott) vivőfrekvenciák és kódok jelennek meg, míg a vízszintes sík a 2015-re várható, jóval összetettebb vivőfrekvencia- és kódrendszert mutatja be. Érdeemes ugyanakkor azt is átgondolni, hogy amennyiben az Európai Galileo program megvalósítása révén a polgári felhasználók számára elérhetővé válik egy katonai irányítástól független helymeghatározási rendszer, szükség lesz-e az ilyen mértékű kódolásra, illetve a vivőfrekvenciák differenciálására?



5. ábra: A NAVSTAR GPS jelenlegi (2000) és várható (2015) jelrendszere

(Forrás: MILICS G. –TAMÁS J., 2007)

A műholdas helymeghatározás méréseinek végrehajtásához többféle eljárást is alkalmaznak. A műholdokról érkező kódolt rádiófrekvenciás jeleket a vevőknek meg kell fejteniük. Ennek megoldására két módszer is lehetséges: a kód mérés és a fázis mérés. A kód mérés elve az igen egyszerű kód-korrelációs technikát alkalmazza, a fázis mérés során a vivőhullám és a vevőben előállított referenciajel fázisát hasonlítjuk össze.

A vivőjel frekvenciája több mint ezerszerese a kód frekvenciának (1575,42 MHz), ezért nagyobb pontosságot érhetünk el. Ha figyelembe vesszük, hogy a vivőjel hullámhossza a jelenleg rendelkezésre álló L1 frekvencián $\lambda_1=19,05$ cm, az L2 frekvencián $\lambda_2=24,45$ cm, akkor könnyen belátható, hogy a helymeghatározás ezzel a módszerrel mm-es pontossággal végezhető el. Ezek az eredmények viszont csak utólagos adatfeldolgozással készülhetnek. Az eszközök további fejlődésével létrejött a valósidejű kinematikus mérés (RTK – Real Time Kinematic), amelynek a mezőgazdasági felhasználók szempontjából a jövőben különös jelentősége lesz.

Méréstechnikailag a helymeghatározási módszereket az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

- független (abszolút) vagy függő (relatív),
- álló vagy mozgó.

A **független (abszolút) helymeghatározás** során a koordinátákat kód mérésből, átvolság meghatározásból kapjuk a WGS-84 (vagy EOV) koordinátarendszerben, a méréssel egy időben, egyetlen vevőkészülékkel.

A **függő (relatív) helymeghatározás** ugyanazon holdakra vonatkozó átvolság vagy vivőfázis egyidejű mérését jelenti két vagy több ponton. Ehhez a mérési módszerhez tehát legalább két vevőkészülék szükséges. Fázis mérésnél a relatív pontosság 1 ppm (milliomod rész). A kapott koordináták a referenciaponthoz viszonyított értékek.

Álló helymeghatározásnál a vevő a mérés teljes ideje alatt helyben marad, tehát sok fölösleges mérési eredmény keletkezik. A mezőgazdasági gyakorlatban ezt a módszert elsősorban a műszerek pontosságának meghatározásakor alkalmazzuk.

Mozgó módszernél a vevőkészülék folyamatos mozgása miatt fölösleges mérés nincs.

Az egyes módszerek kombinálásával független-mozgó módszerrel, álló viszonyított módszerrel, illetve viszonyított-mozgó módszerrel is mérhetünk (MILICS G. – TAMÁS J., 2007).

A mérések értékelését azonnal (real time), vagy utólag (post processing) végezhetjük. Ha a műszernek van kijelzője, ill. ellenőrző egysége (nem doboz-vevőről van szó), akkor a műszertől függően azonnal, akár másodpercenként érzékelhetjük helyzetünket. Utólagos értékelésnél a tárolt mérési adatokat kombinálni lehet más pontokon mért adatokkal, ezért bizonyos hibák kiküszöbölésével a pontosság növelhető.

Abszolút pontmeghatározásról (point positioning) akkor beszélünk, ha egyetlen ponton álló vevővel (általában kód korrelációs technikával), egyszerre legalább négy GPS holdra végzünk méréseket, és a pont koordinátáit ezekből számítjuk ki.

A **relatív pontmeghatározás** előfeltétele, hogy legalább két ponton történjen fázismérés ugyanazon GPS holdakra vonatkozóan. Az egyik pont koordinátái rendszerint nagy pontossággal ismertek (ez a referencia pont), a másikéi ismeretlenek. A módszer valójában a két pont közötti vektort adja meg, innen a relatív elnevezés. A feldolgozási módszer a mérésekből képzett különbségekkel való számításokon alapul, melynek során bizonyos hibák eltűnnek, vagy hatásuk jelentősen csökken. Ezt a mérési módszert más néven differenciális módszernek is nevezhetjük. **Differenciális GPS** (DGPS) technikán tehát olyan **valós idejű, relatív GPS módszert** értünk, amikor (elsősorban) **kódmérést** dolgozunk fel és nem magunk biztosítjuk az ismert ponton mérő vevő üzemeltetését, hanem a **referenciaállomás** mérési adatait szolgáltatásként megvesszük. Amennyiben geodéziai pontossággal kell dolgoznunk a mérések végrehajtásának és dokumentálásának szabályait be kell tartani (BORZA T. – BUSICS GY., 2005).

A **GPS mérés technikai hibák lehetnek**: nagyok (véletlen) vagy kicsik (zaj) illetve szabályosak vagy szisztematikusak. A nagy hiba a mérési pontosságot jelentősen meghaladja, szerencsére nem lép föl rendszeresen és amennyiben egy ponton végzünk méréseket, a mérési szám növelésével az eredményekből kiszűrhető. Például a rossz

dátum beállítással, akár száz méteres eltérés is keletkezhet. Ha a vevők hardvere vagy szoftvere elromlik, magától értetődően bármilyen nagyságú hiba bekövetkezhet. Az ionoszféra és a troposzféra által okozott késleltetések kiküszöbölését részben a GPS vevők végzik.

A **véletlen hibák** a valódi helyzet körüli **szóródást** idéznek elő és végtelen sok mérés esetén a mérések átlaga a valódi helyzetet szolgáltatná. A véletlen hibák főként a pseudo véletlen kód kb. 1 méteres zajából és a vevő szintén kb. 1 méteres belső zajából tevődnek össze.

A **szabályos hibák** minden mérést egy irányba torzítanak, ezért **a mérési szám növelésével nem szűrhetők ki**. A műhold pályahibájából adódó koordináták hibái pl. 1-2,5 m körüli értékek. Az atmoszféra alsó 8-13 km-es tartományában, a troposzférában a jel terjedési sebessége függ az időjárási elemektől (hőmérséklet, légnyomás, páratartalom). Ha ezeket nem mérik, és nem veszik figyelembe a számítás során, úgy 0,5-1 m-es szabályos hibát okozhatnak. Az órák és a pályaelterések által okozott hibákat központilag javítják, illetve mesterségesen ronthatják. Az ionoszféra – az atmoszféra 50 km-től 500 km-ig terjedő tartománya – hatását a vivőjel terjedési sebességére, különböző modellekkel próbálják figyelembe venni. Ezek a modellek sem tökéletesek, bizonyos esetekben 5-10 m körüli szabályos hibával terhelhetik a mérést. A GPS jel nem csak közvetlenül a műholdról, hanem különböző tereptárgyakról visszaverődve is bejuthat a vevőantennába. A visszavert jel hosszabb utat tesz meg, mint a közvetlenül terjedő, ami szabályos hibát eredményez, nagyságát 0,6 m-re becsülhetjük.

A GPS jelkorrekciós jeleket külön erre a célra üzemeltetett műhold sugározza, amely a szakirodalomban összefoglaló néven a „műhold alapú kiegészítő rendszer” néven ismert SBAS (Satellite Based Augmentation Systems). További pontosság érhető el a földi telepítésű rendszerek GBAS (Ground-Based Augmentation Systems) segítségével. Európa és egyben Magyarország területén mindkét technikai megoldásra van lehetőség és példa.

Az európai műhold alapú kiegészítő rendszer az EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). A kiegészítő rendszer lényege, hogy a földi állomások NAVSTAR és GLONASSZ műholdakra végzett méréseinek alapján olyan korrekciós

jeleket sugároz a felhasználók felé – WAD (Wide Area Differential) –, melyek segítségével a pozicionálás pontosítható.

Az EGNOS rendszer jeleit három műhold sugározza: egy ESA hold (ARTEMIS) és két geostacionárius Inmarsat-3 hold, az egyikük az Atlanti-óceán keleti partjai (AOR-E, Atlantic Ocean Region-East), a másikuk az Indiai-óceán felett (IOR, Indian Ocean Region) dolgozik.

A földi állomások hálózata 34 követő állomást (Ranging and Integrity Monitoring Station – RIMS), négy feldolgozó központot (Master Control Centres – MCC) és hat betöltő állomást (Navigation Land Earth Station – NLES) foglal magába, amit egy kommunikációs hálózat (EGNOS Wide Area Network – EWAN) köt össze.

A rendszer horizontális pontossága elméletileg 2 m alatti. A két rendszer (GLONASSZ, GPS) összekapcsolása azért előnyös, mert műholdjaik egymást kiegészítő pályákon keringenek. Így biztosítják, hogy a Föld minden pontján minden időben, kellő számú és optimális helyzetű műholdat lehessen észlelni. Az adatok ellenőrzése a NAVSTAR GPS rendszerben több órát, az EGNOS rendszerében pedig néhány másodpercet vesz igénybe. Ezeknek megfelelően **jelentősen nőtt a pontosság**, különösen jelentősen a magassági hiba esetén. Az EGNOS szolgáltatása jelenleg szabadon hozzáférhető.

A Földmérési és Távérzékelési Intézet Magyarország területén működő földi referenciaállomás hálózata (EUPOS) 40 db folyamatosan működő GPS referencia állomás működését tenné lehetővé, amely a mezőgazdasági alkalmazásokhoz szükséges területi jelfedettséget biztosítaná. A rendszer teljes kiépítése után ez országos lefedettséggel biztosíthatná a jelkorrekciót a felhasználók számára. Korábban, amíg ez a hálózat nem volt elérhető, illetve ahol a rendszer még nem biztosítja a lefedettséget, alternatív megoldások alkalmazására is lehetőség nyílt.

A **navigációs célú, mezőgazdasági logisztikai alkalmazásokhoz** gyakran az 50-100 m-es pontosság is elegendő (pl. egy térbeli hely megtalálása valamilyen útvonal mentén, esetleg látástávolságra). Ezt a célt a ma elérhető rendszerek az EGNOS jelkorrekció miatt **3-5 méteres pontossággal** biztosítják.

Ennél nagyobb pontosságú alkalmazások közé az **1-10 m-es** pontosságot igénylő feladatok, amelyek szintén megoldhatók jelkorrekció alkalmazása nélkül.

Megkülönböztethető még **szubméteres pontosság 0,1-1 m-es**, valamint geodéziai pontosságú 0,01-0,1 m-es alkalmazás. A ± 1 inch (azaz 2,54 cm) elsősorban az amerikai felhasználóknál jelent „lélektani határt”. Az ennél jobb felbontás elérése nemcsak műszaki kérdés, annak komoly pénzügyi vonzata is van.

A pontossággal tehát nőnek a költségek is. Ezért alapvető, hogy **csak a szükséges és elegendő információs szintig követeljük meg a pontosságot a rendszerünktől.** Itt fokozottan igaz az információtechnológia más területéről ismert tény: a pontosság növekedése nem feltétlenül jelent magasabb szintű információt, viszont mindenképpen többbe kerül. Általában – korrekció nélkül – a műholdas helymeghatározás $\pm 5-15$ m pontosságú. Az úgynevezett szubméteres, műhold alapú kiegészítő rendszerrel $\pm 50-60$ cm-es pontosság érhető el (WAAS – Amerikai Egyesült Államok, EGNOS – Európai Unió, stb., Omnistar VBS – Differenciál GPS).

A mezőgazdasági gyakorlatban ez a pontosság is elegendő lehet a permetezés, talajművelés, betakarítás, műtrágyázás (RDS MarkerGuide) stb. elvégzéséhez.

Továbblépést jelent a **deciméteres** (Omnistar HP, Starfire II. /John Deer/) pontosság, amely a gyakorlatban még nem terjedt el. Itt érdemes megjegyezni, hogy a továbbfejlesztett Starfire ITC – Integrated Terrain Compensation két pontossági szintet tud produkálni I: $\pm 30-35$ cm, II: ± 10 cm.

A jövőbeni **mezőgazdasági alkalmazások szempontjából a legpontosabb rendszer a valós idejű kinematikus (RTK) módszer, amely $\pm 2-2,5$ cm-es pontosságot biztosít**, amennyiben a szükséges helyi antennát minden alkalommal ugyanarra a helyre tesszük, a pozicionálás pontossága elméletileg megközelíti a 0,1 cm-t. Ennek elsősorban **a vetésnél, mechanikus növényápolásnál, illetve ültetvények permetezésénél, valamint sorban termesztett kultúrák betakarításánál** van jelentősége. Szintén fontos megemlíteni, hogy az **automatikus kormányzás esetében is az RTK rendszer ajánlott.**

Ezek alapján belátható, hogy a deciméteres, illetve a centiméteres pontosság eléréséhez már nem elegendő a NAVSTAR GPS, vagy a GLONASSZ rendszer korrekció nélküli használata, ebben az esetben már valamilyen jelkorrekciót is alkalmazni kell.

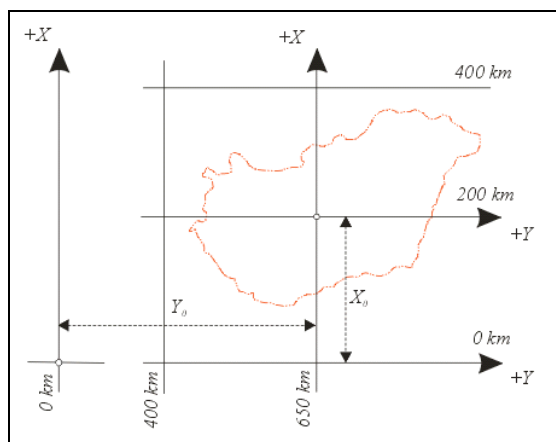
Ahhoz, hogy a műholdak által sugárzott jelek alapján a helyzetünket meg tudjuk határozni, szükség van valamilyen **referenciahálózat** kialakítására. Az egyes műholdas helymeghatározó rendszerek, illetve a Föld különböző területein alkalmazott referenciahálózatok eltérnek egymástól, de megfelelő matematikai formulák segítségével az egyik hálózat adatai a másikba átalakíthatók.

A NAVSTAR GPS a **WGS-84 (World Geodetic System 1984)** rendszert használja, míg a GLONASSZ a PZ-90 referenciarendszerben működik. A Galileo az európai földi vonatkoztatási rendszer ETRS-89 (European Terrestrial Reference System 1989) alapján adja meg a földrajzi koordinátákat, míg Magyarországon a polgári térképezés során az **EOV-t (Egységes Országos Vetületi Rendszer)** alkalmazzák. Természetes, hogy az eredeti jelfeldolgozás a NAVSTAR GPS saját referencia rendszerében (WGS-84) történik. Ha más referencia rendszerben dolgozunk (pl. Magyarországon), **a mérési eredményeket transzformálni kell** a használt referencia rendszerbe (MIHÁLY SZ., 1994).

A GPS által használt geocentrikus koordináta-rendszer és a Magyarországon alkalmazott (lokális elhelyezésű) ellipszoidi-koordináta-rendszer között az egymástól függetlenül létesített hálózat miatt nem lehet szabatos kapcsolatot létrehozni. Hazánkban a polgári geodéziai feladatok végrehajtására vezették be az Egységes Országos Vetületi Rendszert (EOV), amelynek vonatkozási rendszere a HD-72 (Hungarian Datum 1972). Annak érdekében, hogy a GPS-szel meghatározott WGS-84 vonatkozási rendszerben adott koordinátákat át tudjuk számítani az EOV-be, szükségünk van olyan pontokra, amelyek koordinátái ismertek mindkét vonatkozási rendszerben. Ezt célszerűen egy olyan GPS-hálózat kialakításával érhetjük el, amelynek pontjai ismertek az EOV-rendszerben is. Ezek ismeretében meghatározhatók a transzformációs paraméterek, melyek segítségével a koordináta-pontok átszámíthatók.

Az Egységes Országos Vetületi Rendszer szög tartó. Ebben a vetületben készül el az országot lefedő Egységes Országos Térkép Rendszer (EOTR), amely szelvényezés koordináta-rendszerének origója az országtól DNy-ra található, így – mivel az ország teljes területe a koordináta-rendszer első síknegyedébe esik – minden pont mindkét koordinátája pozitív. Magyarország területén az x koordináták mindig kisebbek 400000

méternél, az y koordináták mindig nagyobbak 400000 méternél, így a koordináták felcserélésének hibalehetősége is csökken (6. ábra).



6. ábra: Magyarország helyzete az EOVS koordináta-rendszerében
(Forrás: BÓDIS K., 1999)

A műholdas helymeghatározásról, annak technikai hátteréről és a mérések gyakorlati bemutatásáról ÁDÁM J. et al. (2004) jelentetett meg összefoglaló munkát. A GPS alkalmazásának lehetőségeiről később NAGYVÁRADI L. (2005) készített tanulmányt, ami a mezőgazdasági alkalmazásokkal szorosan összefügg.

Annak függvényében, hogy a helymeghatározást segítő GPS vevő képes-e a magyarországi gyakorlatban elfogadott EOVS koordináták közvetlen megjelenítésére (Pl. Garmin Geko sorozat), vagy kizárólag az NAVSTAR GPS WGS-84 rendszer koordinátáit használja (Pl. Garmin Vista Cx), a földrajzi helyzet megadható mindkét koordinátarendszerben. Mindkét koordináta megadási módnak megvannak az előnyei és a hátrányai is. Amennyiben a WGS koordinátarendszer alapján adjuk meg a kiválasztott koordináta pontokat, bármely GPS vevővel meghatározható a földrajzi helyzet, ugyanakkor a távolság, illetve a területmérés nehezebben végezhető el. Utófeldolgozással a WGS-84 koordináták átalakítása után ezek a mérések is könnyedén elvégezhetők. A koordináta pontok átszámítása az erre a célra írt EHT² program segítségével végezhető el automatikusan.

A földrajzi szélesség és hosszúság megadására a gyakorlatban három forma terjedt el. A három forma megnevezése az angolszász szakirodalom alapján:

- **DM** (Degree:Minute) (Fok:Szögperc)
- **DMS** (Degree:Minute:Second) (Fok:Szögperc:Szögmásodperc)
- **DD** (Decimal Degree) (Tizedes fok)

A fok:perc pozíció megadás a földrajzi koordinátákat tizedesjellel elválasztó rendszerben adja meg. Általános jelölése: DDD:mmmm. A gyakorlatban a földrajzi szélesség megadása esetén megjelenő forma: **/0/47:30,0**.

A fok:perc:másodperc pozíció megadás esetén az általános formula: DDD:mmm:ss, ami a gyakorlatban a földrajzi szélesség megjelenítésekor a **/0/47:30:00** formulát eredményezi.

A tizedes fok pozíció megadásakor a következő az általános jelölés: DDD.mmmm. A gyakorlatban ez a **/0/47.5000** formában jelenik meg a földrajzi szélesség megadásakor.

A három megjelenítési forma közül a GPS jellevőkben kiválasztható a felhasználó igényeinek megfelelő. Manuális átszámítás esetén, ha az értékek DM vagy DMS rendszerben jelennek meg, a tizedes fokok értékét kell kiszámítani. Ebben az esetben a tizedes fok = a fokok egész száma + percek száma osztva 60 + másodpercek száma osztva 3600. Az átszámításra azért is szükség lehet, mert jelenleg a legáltalánosabban elterjedt formula a tizedes fokok szerinti beosztás. A nemzetközi gyakorlat ugyanakkor nem minden esetben használja ezt a formulát, tehát az adatgyűjtés eredményeinek feldolgozásánál körültekintően kell eljárni. A dolgozat elkészítése során alkalmazott rendszerek egyike ezt a formátumot használta, így az átszámításra szükség volt.

A **magyarországi felhasználók számára**, amennyiben a tábla tulajdonságainak térképezését az **EOV koordinátarendszerben** végzik, javasolt olyan műszer alkalmazása, amely automatikusan átszámítja ebbe a rendszerbe a koordináta értékeket. Ennek hiányában olyan automatizált rendszerek használata indokolt, amelyek a koordinátákat utólagos feldolgozás során számítják át, hiszen azok a teljes (sokszor több tízezer adatot tartalmazó) adatbázis átalakítását lehetővé teszik.

Az eltérő vetületű adatforrásokból származó információkat egy rendszerre vonatkoztatva kell megadnunk ahhoz, hogy egy adott – geometriailag koordinátákkal meghatározott – területre jellemző leíró adatokat egy adatbázisban kezelhessük. Ha

például a domborzatra vonatkozó magassági adatokat digitalizálás útján Gauss-Krüger-rendszerben készült katonai topográfiai térképek szintvonalairól vesszük, az út- és településhálózat digitális térképéhez EOVB-ben készült térképek szolgálnak alapul, a területhasznosítás térképezéséhez UTM-rendszerbe vetített úrfelvételeket használunk és ráadásul néhány – korábban nem térképezett, de számunkra fontos – objektum helymeghatározásához a geocentrikus vonatkoztatási rendszerrel dolgozó GPS-t használjuk, akkor adataink egységes rendszerben való, egyidejű felhasználásához igazán szükség van a geometriai transzformációk ismeretére, azok alkalmazására.

Amennyiben a helymeghatározó (GPS) jellevő a koordinátaátszámítást nem végzi el automatikusan, akkor az EOVB alapú és a WGS-84 koordinátarendszerek közötti átszámítás utófeldolgozással lehetséges, ami akkor adhatja a legpontosabb eredményt, ha a WGS-84 koordinátarendszer EUREF (EUREF, EUropean Reference Frame) rendszer és az EOVB közötti átszámítást végezzük el. A transzformáció alapja az ún. Bursa-Wolf modell alapján számított paraméterek (összesen 7) meghatározása. A modell 2 és 3 dimenziós koordináták átszámítására egyaránt alkalmas.

A GPS-sel mért EOVB-koordináták számítására leggyakrabban a hétparaméteres térbeli hasonlósági transzformációt használjuk, bár más típusúak is hatékonyak lehetnek. Az adatgyűjtés során feltétlenül a munkaterülethez legközelebbi 4–5–6 Országos GPS Hálózat (OGPSH) pontra, mint transzformációs közös pontra kell támaszkodnunk. Az átszámítást nagyban megkönnyíti a Földmérési és Távérzékelési Intézet munkatársai által kidolgozott speciális szoftver (EEHHTT: EUREF-EOVB hivatalos-helyi térbeli transzformáció, röviden: EHT²), amelynek ingyenesen letölthető változatával (www.fomi.hu) korlátlan mennyiségű mérési adat koordinátái transzformálhatók a WGS-84 koordinátarendszereből az EOVB koordináta rendszerbe (BORZA T. – BUSICS GY., 2005).

3.2. Kutatási módszer

Az adatgyűjtések során a **kézi mintavételezőskor** Garmin Vista Cx kézi GPS vevőt használtam, ami csak a WGS-84 rendszer koordinátákat képes megjeleníteni. Az alacsony mintaszámok miatt (8 illetve 40 minta) az egyes koordináta párok adatainak digitális naplózására nem volt szükség, az adatokat feljegyeztem. A koordináta párokat az EHT² szoftver segítségével EOVS koordinátarendszerbe konvertáltam. A további térinformatikai adatbevitel már az EOVS koordináták alapján történt.

A **betakarítás során (on-the-go adatrögzítés)** gyűjtött adatmennyiség nagyságrendileg tér el a kézi mintavételezés adataitól (6-10 ezer adat). Éppen ezért a feldolgozás során minden esetben automatizált rendszert használtam a koordináta pontok naplózásához és átszámításához. Az egyes műszerek tulajdonságai és különböző adatrögzítési jellemzői miatt a bemeneti adatok felépítésében, illetve az adatstruktúrában vannak kisebb eltérések (pl.: a GPS koordináta adatok szerkezete), az adatok feldolgozásának menete azonban az első néhány lépést követően megegyezik. Emiatt az egyes rendszereket külön nem indokolt ismertetni.

A **hozammérés** adatainak naplózása az **Agrocom Computer Terminal (ACT)** segítségével történt. A naplózás vesszővel elválasztott (comma delimited) formában szolgáltatja az adatokat, ami a legtöbb térinformatikai szoftver számára – a megfelelő szűrés és átalakítás után – értelmezhető adathalmazt eredményez (7. ábra).

```
...  
N47.90565,E017.25335,11.2,151121,000,000,01,9,2,30.10.06,21.1,  
N47.90569,E017.25344,11.0,151126,000,000,01,9,2,30.10.06,21.1,  
N47.90571,E017.25350,11.2,151131,000,000,01,9,2,30.10.06,21.1,  
N47.90574,E017.25359,11.3,151136,000,000,01,9,2,30.10.06,21.1,  
...
```

7. ábra: A vesszővel elválasztott (comma delimited) adathalmaz

Az első pillantásra nehezen átlátható, vesszővel elválasztott (comma delimited) adathalmaz oszlopait táblázattá alakítva (4. táblázat), valamint az oszlopok jelentését megadva már könnyebb az eligazodás:

4. táblázat: A vesszővel elválasztott adathalmaz megjelenése táblázatban

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N47.90565	E017.25335	11.2	151121	000	000	01	9	2	30.10.06	21.1	
N47.90569	E017.25344	11.0	151126	000	000	01	9	2	30.10.06	21.1	
N47.90571	E017.25350	11.2	151131	000	000	01	9	2	30.10.06	21.1	
N47.90574	E017.25359	11.3	151136	000	000	01	9	2	30.10.06	21.1	
N47.90577	E017.25365	11.3	151141	000	000	01	9	2	30.10.06	21.1	
N47.90580	E017.25374	11.3	151146	000	000	01	9	2	30.10.06	21.1	
N47.90582	E017.25380	10.4	151151	000	000	01	9	2	30.10.06	19.1	
N47.90585	E017.25389	10.7	151156	000	000	01	9	2	30.10.06	19.1	
N47.90587	E017.25395	10.7	151201	000	000	01	9	2	30.10.06	19.1	

A táblázat oszlopainak jelentése:

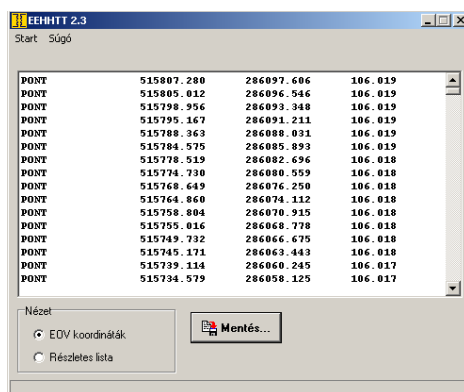
- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1. Földrajzi szélesség (°) | 7. Adatrögzítés |
| 2. Földrajzi hosszúság (°) | 8. Érzékelt műholdak száma (db) |
| 3. Hozam (t/ha) | 9. GPS (1:igen; 2:EGNOS) |
| 4. Helyi idő (hhmmss) | 10. Dátum (ddmmyy) |
| 5. Sebesség | 11. Szemnedvesség (%) |
| 6. File fejléc | 12. Sorválasztó üres karakter |

Amennyiben az elsődleges cél a hozam és szemnedvesség térképezés, könnyen belátható, hogy a táblázatból mindössze négy oszlop adataira van szükség: A földrajzi koordinátákat megjelenítő két oszlopra, illetve a hozam- és a szemnedvesség adatokat megjelenítő oszlopokra. Ahhoz, hogy a WGS-84 rendszerben megjelölt koordinátákat EOVS rendszerbe konvertálhassuk, kisebb átalakításokat kellett elvégezni. Az átalakításokat végző szoftver használatához segítségül szolgál a leírása: „A fájlban lévő adatok szekvenciális, formázott rekordszerkezetet kell alkossanak. A pontszámot és a koordinátákat legalább egy szóköz (space) karakterrel kell elválasztani. A pontszám nem tartalmazhat szóköz (space) karaktert. A fájlban a koordináták megadása történhet térbeli derékszögű koordinátákkal (XYZ) és ellipszoidi földrajzi koordinátákkal (fi, lambda, h). Az ellipszoidi földrajzi szélesség és hosszúság megadása három különböző formátumban lehetséges (fok perc másodperc; fok perc; illetve fok). Egy fájlban belül különböző adatformátumok is lehetnek.” A koordináta

transzformáció miatt szükséges a magassági adatok hozzárendelése is az egyes pontokhoz, így az adatokat tartalmazó oszlopokat el kell távolítani, és a magassági adatokat hozzárendelni az adatsorhoz. Mivel a kísérleti tábla a koordináta transzformáció szempontjából síknak tekinthető, ezért elegendő egy reprezentatív tengerszint feletti magasság (120 m) megadása. Ezek alapján a szoftver bemenő adatai a következő formátumba kerülnek:

```
PONT 47.90467 17.25241 120
PONT 47.90466 17.25238 120
PONT 47.90463 17.25230 120
```

Az átalakítást követően az adatok EOVS koordináták szerint jelennek meg (8. ábra).



8. ábra: Az EEHHTT szoftver kimenő adatai

Az átalakított adatok bármely adatbáziskezelő szoftverbe beolvashatók, ahol ASCII (American Standard Code for Information Interchange) formátumban elmenthetők. Az ASCII file formát a térinformatikai szoftverek be tudják olvasni, így a mérési értékek EOVS koordinátarendszerben megjeleníthetőké válnak.

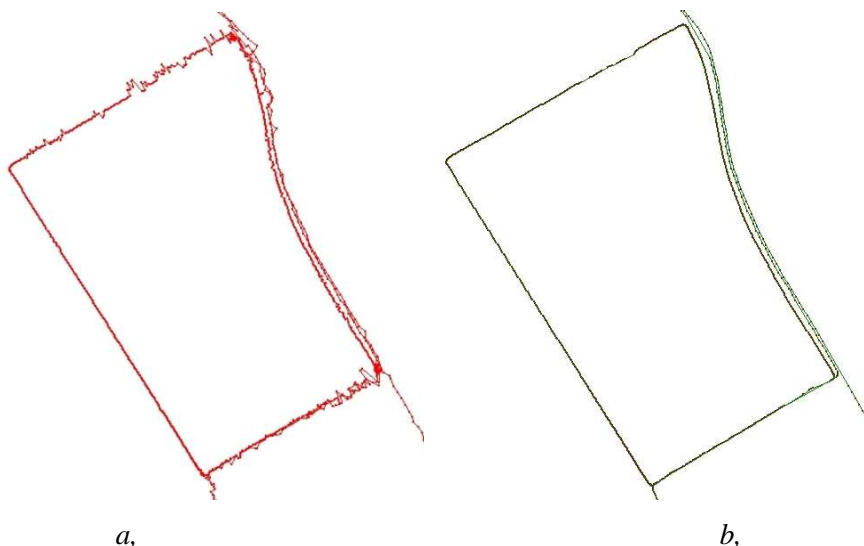
3.3. Eredmények

A kézi GPS vevővel megvalósított mérések során minden esetben ± 3 méteres hibahatáron belüli mérési eredményeket kaptam, ami azzal magyarázható, hogy nyílt terepen, sík területen, és az EGNOS jelkorrekciós rendszer adatait kezelni képes műszerrel végeztük a helymeghatározást. A kézi mintavételezés során ez a pontosság elegendőnek bizonyult.

A precíziós mezőgazdasági technológia alkalmazása esetén a manapság elérhető rendszerek közül a méter alatti pontosságot nyújtani tudó helymeghatározó eszközök a legszélesebb körben elfogadottak. Ezt a pontosságot csak **jelkorrekcióval**, vagy **utófeldolgozással** lehet elérni. Az utófeldolgozásra a pontos területmérés esetén van szükség.

A betakarítás során naplózott adatok minden esetben a jelkorrekciós rendszer adatainak feldolgozását naplózták (9. oszlop „2” érték), a pontosabb helymeghatározás érdekében azonban **differenciál jelet** is alkalmaztam (Omnistar), így **a pontosság az 1 méter alatti** hibahatáron belülre került.

A kutatási területnek kijelölt mezőgazdasági tábla körüljárása során felvett adatok (9. a ábra) mutatják, hogy a GPS műholdjeleket takaró akadályok /ez esetben fasorok/ (az északkeleti és a délnyugati élei a táblának) hogyan befolyásolják a pillanatnyi mérési eredményeket.

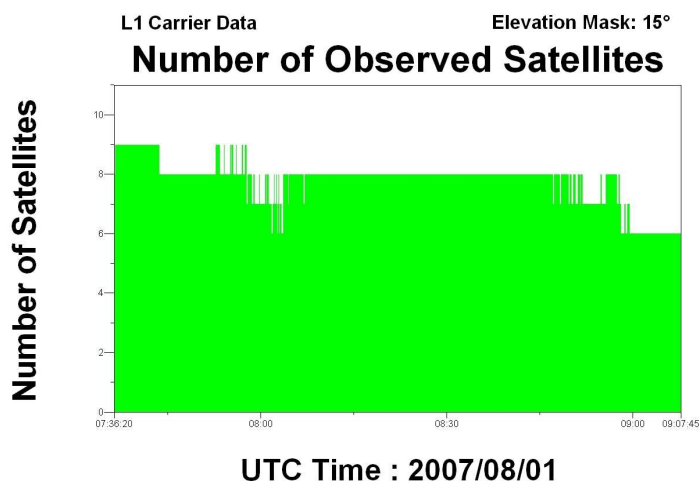


9. ábra: A GPS területmérés eredménye (a) és az utófeldolgozás utáni kép (b)

(Forrás: DEÁKVÁRI J. – KOVÁCS L., 2007)

Az utófeldolgozás során – ami az FVM MGI gödöllői intézetében történt a csornai OGPSH pont adatai alapján – készült el a tábla körvonalát jelölő ponthalmaz, ami a hiperspektrális kép georeferálásakor volt segítségemre (9. b ábra).

A hibás helyzetmeghatározás oka, hogy a vevő mindössze hat műholdra látott rá nyolc helyett (10. ábra), ezzel bizonytalanságot okozva a területmérés során.



10. ábra: A GPS vevő által érzékelt műholdak száma a területmérés során

(Forrás: DEÁKVÁRI J. – KOVÁCS L., 2007)

Egyes mezőgazdasági munkák során (**tápanyag helyspecifikus kijuttatása, növényvédőszer helyspecifikus kijuttatása**) nincs mindig lehetőség az utólagos feldolgozással történő helyzetmeghatározásra. **A jelkorrekciós rendszerek alkalmazása ezekben az esetekben mindig indokolt.** A mérési tapasztalatok azt mutatták, hogy a korábban előforduló rendszeres GPS jelkimaradások megszűntek, így **körültekintően végzett adatgyűjtéssel** az alkalmazott pontossági követelményeknek megfelelő **mérések minden esetben elvégezhetőek voltak.**

A műholdas helymeghatározó rendszerek további **technikai fejlődésével**, valamint a nagyobb pontosságot biztosító rendszerek árának csökkenésével **a műholdas helymeghatározás további térhódítása várható a precíziós növénytermesztésben.**

4. A térinformatika gyakorlati szerepe a precíziós növénytermesztésben

4.1. Kutatástörténet

A térinformatika (Geographical Information System, GIS), vagy Földrajzi Információs Rendszer (FIR) megkerülhetetlen eszköze a térbeli adatok elemzésének. (BLACKMORE, B.S. 1994) a Földrajzi Információs Rendszert úgy definiálja egy korai munkájában, hogy az nem más, mint egy szoftveres alkalmazás, amelyet arra fejlesztettek ki, hogy a térbeli adatokat kezelni tudja. Ugyanebben a munkában kifejti, hogy **a precíziós gazdálkodás első eleme a hozamtérkép készítés és a talajmintavétel.**

A **hozamtérkép** – amennyiben a mért értékekből létrehozott térképfedvényről beszélünk – **a vegetációs időszakban nem nyújt információt a szemtermés mennyiségéről.**

A hozamtérképezés hibáinak és algoritmusának első ismertetései kiemelik az adatgyűjtés során fellépő legfontosabb hibákat: a vágóasztalra jutó ismeretlen szélességben jelentkező növénytömeg, a szemtermés áthaladási ideje, az az idő, amíg a kombájn egy terület fölött elhalad, a szenzor kalibrációs hibái, a GPS pontatlansága stb.. Mindezen tényezők kiküszöbölésére az irodalomban automatikus szűrők beépítését javasolják a hozamadatokat gyűjtő rendszerbe. A **szűrők** közül a legalkalmasabbnak a RANDES, M. (1995) által kidolgozott „szakértő szűrőt” tartják.

Amennyiben a bemenő adatok szűrése megtörténik, a hozamtérképek létrehozása **interpolációs** technikákkal lehetséges (BLACKMORE, B. S. 2000). A hozamtérképezés során végezhető interpolálásról THYLÉN, L. – MURPHY, D.P.L. (1996) közölnek elsőként cikket. Az interpolációhoz a **krigelési** eljárást és az **inverz távolságok négyzetének** alkalmazását javasolják. A krigelést statisztikai értelemben jobbnak minősíti OLIVER, M.A. – WEBSTER, R. (1991) is, bár elismerik, hogy az eljárás matematikai értelemben bonyolultabb, hiszen variogramok alkalmazására is szükség van elvégzéséhez. A mai térinformatikai szoftverek a krigelést beépített modulként végrehajtják, így a tapasztalatlanabb felhasználók is elvégezhetik ezzel az eljárással az interpolálást.

A hozamtérképezés tapasztalatait közlétező szerzők (pl. ROBINSON, T. P. – METTERNICHT, G., 2005) különböző hozamtérképezési lehetőségeket vesznek számításba, illetve elemzik a hozamtérképezés során jelentkező **hibákat**, és azok minél **alacsonyabb szintre szorításának lehetőségét**.

A térinformatika súlyát az itt külön nem részletezett publikációk napjainkban is olyan fontosnak értékelik, mint azt a felhasználók a korai időszakban tették (TÓZSA I. 2001; BERKE J. et al., 1996).

A térinformatikáról átfogó munkát először 1995-ben DETREKŐI Á. – SZABÓ Gy. (2000) jelentetett meg, amely az első megjelenés óta többszöri újryomásra került, és a folyamatos karbantartásnak köszönhetően napjainkban is az egyik legjobb magyar nyelvű összefoglaló mű a térinformatikai alapok elsajátításához.

A térinformatika alkalmazásainak legkülönbözőbb földrajzi szemléletű felhasználási lehetőségét bizonyítja, hogy pl. a közlekedés és szuburbanizáció kapcsolatát (BALASSA B. et al., 2007), az önkormányzati alkalmazások lehetőségeit (NAGYVÁRADI L. – PIRKHOFFER E., 2005), a bányaterületek rekultivációját (PIRKHOFFER E., 2005) vagy éppen a városi területek fejlődésének vizsgálatát (NAGYVÁRADI L. et al., 2006) is térinformatikai alkalmazásokkal igyekeztek megvizsgálni az elmúlt néhány évben.

A **térinformatika földrajzi szemléletű alkalmazásáról** a pécsi Földrajzi Intézet munkatársainak jóvoltából több jegyzet is megjelent (BUGYA T. et al., 2006; NAGYVÁRADI L. – VARGA G., 2008), vagy megjelenés alatt van, ami számos egyéb téma mellett a térinformatikai eszközökkel támogatott projekttervezés felépítéséről is említést tesz (GYENIZSE P. – NAGYVÁRADI L. 2008).

A **precíziós gazdálkodás és a térinformatika kapcsolatát** több hazai precíziós gazdálkodással foglalkozó műhely (Debreceni Egyetem, NYME-MÉK Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete, Mosonmagyaróvár, MTA-TAKI, Budapest stb.) is elemezte, és számos publikációban közölték a két eltérő tevékenység egymásra utaltságát (NEMÉNYI M. et al., 2003; TAMÁS J., 2001; SZABÓ J. et al., 2007; NÉMETH T. et al., 2007; MILICS G. – NEMÉNYI M. 2007; NEMÉNYI M. et al., 2007).

4.2. Kutatási módszer

4.2.1. A térinformatikai szoftverek

A térinformatikai szoftverek két csoportra oszthatók: megkülönböztethetünk **raszteres**, illetve **vektoros** alapú szoftvereket. Mára a két csoport nem különül el egymástól ilyen élesen, hiszen a szoftverkészítők igyekeznek megfelelni annak a követelménynek, hogy a lehetőségekhez mérten hibrid rendszereket alkossanak.

A disszertáció elkészítése során alkalmazott adatgyűjtési eljárások közül a műholdas távérzékeléssel készített **műholdképek** és a hiperspektrális képalkotással nyert **légi felvételek** **raszteres** alapú képek, azaz a rendelkezésre álló felvételek hiánytalanul lefedik a vizsgált területet. A távérzékelte képek pontos megjelenítéséhez a képeket **Magyarországon EOVI** vetületi rendszerbe ajánlott illeszteni. Ezt a műveletet **georeferálás**nak nevezik. Erre azért van szükség, hogy a távérzékeléssel nyert adatok összevethetők legyenek az egyéb eljárással gyűjtött adatokkal. A műholdképek elemzése során a **raszteres** alapú szoftverek közül az **IDRISI Kilimanjaro**, a hiperspektrális légifelvételek kiértékelése során pedig az **ENVI 4.3** verziójú szoftvereket használtam.

A kézi mintavételezés adatainak, valamint a betakarítás során alkalmazott mérőműszerek egyes mért értékeinek (hozam, fehérjetartalom, stb.) földrajzi helyzetét **pont** reprezentálja. **A pont a vektoros** térinformatikai rendszerek alapeleme. A vektoros szoftverek **pont**, **vonallal** és **poligon** segítségével jelenítik meg a térbeli helyzetet, és az ezekhez tartozó leíró adatokkal adják meg az eltérő tulajdonságokat. A vektoros programok közül az **ArcView/ArcMap 9.1** verzióját használtam.

Az adatfeldolgozás elvégzése után a szoftverek közötti átjárhatóságot a „geotif” kiterjesztésű file formátum biztosította. Ez a file formátum azért fontos, mert megőrzi az előzetesen megadott koordinátákat is.

4.2.2. Adatgyűjtés

A kézi mintavételezés

A **hagyományos** (kézi) **mintavételezésre** azért volt szükség, hogy a későbbiek során a hiperspektrális légifénykép adatainak szoftveres kalibrálásához rendelkezésre álljon néhány alapvető adat (szármagasság, biomassza tömeg, kalász jellemzői stb.), valamint hogy összevethetővé váljanak a minőségi paraméterbecslés, a hozambecslés, illetve a betakarítás során végzett on-line mérési eredmények adatai. Ennek megfelelően az adatgyűjtés **két különböző időpontban** történt.

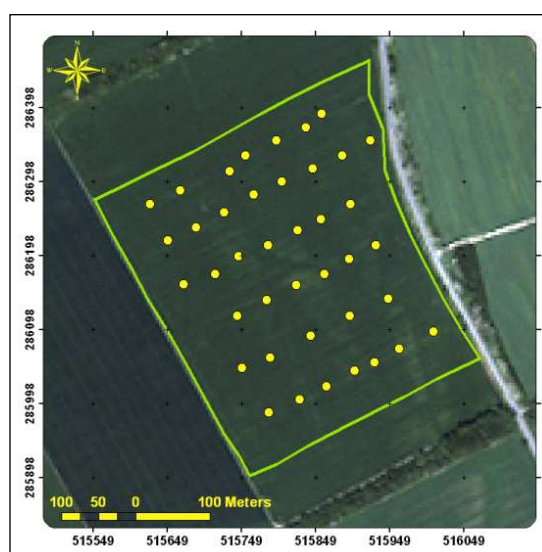
Az **első** mintavételezés során a **légifénykép kiértékeléshez** szükséges adatgyűjtés volt a cél, így nyolc – a korábbi tapasztalatok, hozammérések illetve minőségi paraméter mérések alapján mind mennyiségi, mind minőségi mutatókban eltérő – 1m × 1m-es mintaterületről gyűjtöttem az adatokat.

Az adatgyűjtés során a minta begyűjtésekor **szármagasság-mérést** végeztem. Véletlenszerűen kiválasztott 10 növény szármagasságát lemértem, majd az adatok **átlagolásával** határoztam meg az adott négyzetméterre vonatkoztatott szármagasságot. A további elemzésekhez laboratóriumi mérlegen meghatároztam a begyűjtött minta teljes (talajszint feletti) **biomassza-tömegét**, valamint az egyes mintákból ismét véletlenszerűen kiválasztott 10 növény alapján a **növények, a kalászok, valamint a szár tömegét**.

A **második** kézi adatgyűjtés során a mintákat úgy gyűjtöttem, hogy azok a **teljes területre** vonatkozóan nyújtsanak pontszerű, **reprezentatív** adatot (11. ábra).

11. ábra: Mintavételi pontok elhelyezkedése a sikértartalom meghatározásához

(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2004)



A mintavételezés célja ebben az esetben az volt, hogy a későbbi labormérések alapján térképezhetővé váljon a **sikértartalom**, valamint a minták felhasználhatók legyenek az arató-cséplőgépre szerelhető műszer **kalibrálására** is.

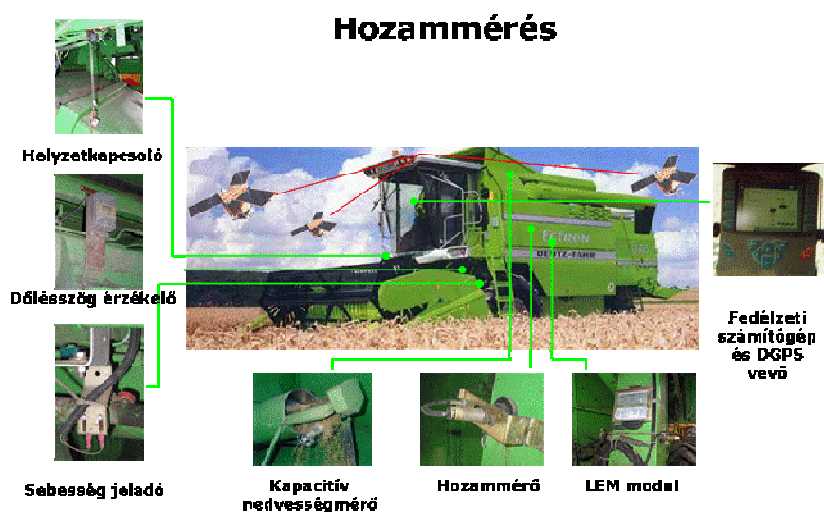
A mintavételezés során a laboranalízishez, illetve a Zeltex AccuHarvester On-Combine Grain Analyzer kalibrálásához szükséges mintamennyiség miatt 170-200 kalász begyűjtésére került sor. A mintavételezést követően a **fehérjetartalom meghatározást** a Nyugat-Magyarországi Egyetem Növénytudományi Intézet Központi Laboratóriumában Kjell-Foss Automatic 16210 Analyzer (A.S.N. Foss. Electronic, Copenhagen) műszerrel végezték.

Adatgyűjtés betakarítás során (on-line adatgyűjtés)

A betakarítás során gyűjtött adatok több szempontból is kitüntetett figyelmet élveznek a precíziós gazdálkodásban. A legfontosabb ezek közül, hogy az **adatgyűjtés** – jellegéből adódóan – **nem ismételhető meg**. Ezért különös figyelmet kell fordítani arra, hogy a méréshez szükséges egyes szenzorok a munkafolyamat során ne sérüljenek, illetve sérülésük, vagy működésképtelenségük esetén leállítsák a mérőrendszer adatnaplózását, és jelezzék a meghibásodást. A másik kiemelt indok, ami miatt a betakarítás során végzett adatgyűjtés különösen fontos, hogy ezekre az adatokra alapozva történik a **tápanyagvizsgálási terv** elkészítése. Amennyiben ezek az adatok hibás eredményeket mutatnak, vagy a helymeghatározó rendszer meghibásodása miatt nem helyhez kötötten kerülnek naplózásra, a hozamtérképezés – és ezzel a precíziós gazdálkodás is – megvalósíthatatlanná válik.

A betakarítás során jelenleg két eltérő típusú adat gyűjtésére koncentrálnak a precíziós gazdálkodási technológia: a **menyiségi** és a **minőségi paraméterek** meghatározására.

A betakarítás során végzett **menyiségi adatok gyűjtését hozammérésnek** nevezik. A hozammérés az arató-cséplőgép **folyamatos munkavégzése** mellett történik. A nemzetközi irodalomban elterjedt még az „**on-line**”, vagy az „**on-the-go**” mérési módszer elnevezés is. A hozammérő rendszer felépítése a 12. ábrán látható.



12. ábra: A hozammérő rendszer felépítése

(Forrás: MESTERHÁZI P.Á., 2004)

A hozammérő rendszer „lelke” a **fedélzeti számítógép** (Agrocom Computer Terminal, ACT), ami hozammérés során az **adatok naplózásáért felelős**. (Az ACT egység a mezőgazdaságban egyéb munkafolyamatok elvégzésére is alkalmas – talajmintavételi pontok kijelölése, útvonal tárolás, tápanyag visszaforgatás esetén a kijuttatás vezérlése) (MESTERHÁZI P.Á., 2004).

A **GPS vevő** pontosságán sok múlik, hiszen ha megfelelő készüléket választunk, manapság **akár a centiméteres pontosságot** is elérhetjük az alapadatok rögzítésekor. A hozam adatok gyűjtése során számos érzékelő adatait kombinálva kerülnek a mérési értékek az **adatfeldolgozó számítógépbe (LEM-modul)**. Mivel a hozam adatok területegységre vetítve adhatók meg (Magyarországon a tonna/hektár – t/ha – az elterjedt), ezért az a sajátos helyzet áll elő, hogy az adatfeldolgozó (többnyire térinformatikai funkciókkal is ellátott) szoftverben **pontszerűen megjelenő adat egy területi egységet reprezentál**. A terület nagyságának meghatározása a **sebesség jeladó** segítségével rögzített megtett útból, illetve vágóasztal szélességének ismert méretéből adódik (13. ábra). A kapacitív nedvességmérő már a betakarítás során naplózza a szem nedvességének adatait – ennek a mezőgazdaságban a termés betárolása, illetve a szárítás szükségessége miatt van jelentősége – a hozammérő pedig kiegészítve egy **dőlésszög érzékelővel** a hozam adatokat továbbítja a központi számítógép felé. A

dőlésszög érzékelés a hozammérő szenzor mérés technikája miatt fontos. A kombájn megdőlése (pl. lejtő, kisebb gödrök) hamis mérési adatot eredményezne, amit a dőlésszög érzékelő korigál.



13. ábra: A kombájn alapidőre vetített területteljesítményének meghatározása

(Forrás és fénykép: MILICS G., 2007)

A fedélzeti számítógép az egyes modulokról jövő adatokat begyűjtve, valamint a GPS vevőről származó koordinátákat ahhoz hozzárendelve naplózza az adatsort. A rögzített adatok ebben az esetben is térinformatikai szoftverrel kerülnek feldolgozásra.

A betakarítás során a hozammérő rendszer részeként használt szemnedvességmérési eljárással a **minőségi paraméterek** közé sorolt **nedvességtartalom** is meghatározásra kerül. A kapacitív elven működő szemnedvességmérő az adatgyűjtés során egy újabb eredményoszloppal gazdagítja a naplózást, így a hozam- illetve a szemnedvességmérés menetét nem indokolt külön leírni, azok logikai sorrendje megegyezik.

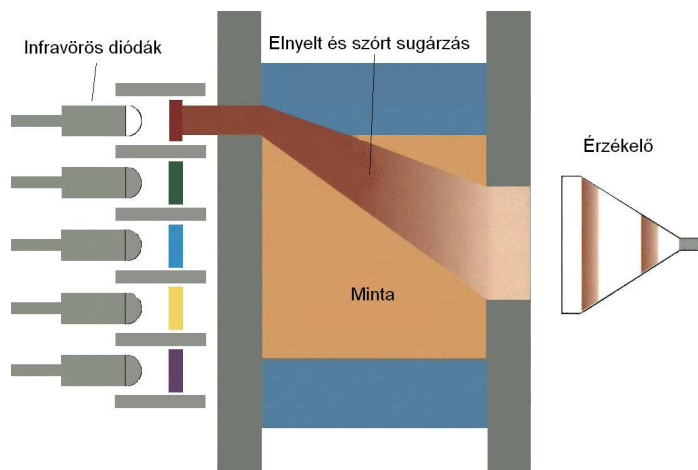
A precíziós gazdálkodás műszaki hátterét vizsgáló agrár-, gépész-, elektronikai- stb. mérnököknek köszönhetően a gazdálkodás fogalma a XXI. századra új dimenziót kapott. A hozammérést már a betakarítás során lehetővé tevő berendezések kifejlesztése, majd tökéletesítése során felmerült az igény arra, hogy **ne csak a mennyiségi paramétereket**, valamint a minőségről részben információt nyújtó szemnedvesség tartalmat lehessen meghatározni közvetlenül a betakarítás során, **hanem a minőségi paraméterek is mérhetővé (így térképezhetővé) váljanak**. A minőségi paraméterek mérése során elsősorban azokra a terményekre érdemes koncentrálni, ahol e tulajdonságok (fehérje-, illetve sikértartalom, olajtartalom, nedvességtartalom) döntően befolyásolják a termény további sorsát. A **minőségi**

paraméterek meghatározása, – és amennyiben ez megbízhatóan végrehajtható ez alapján a rosszabb és jobb minőségű anyagok elválasztása – egyre nagyobb hangsúlyt kaphat a jövőben, hiszen a mezőgazdasági termények a megújuló energiaforrások alapanyagaként várhatóan reneszánszukat fogják élni a közeljövőben. A minőségi paraméterek meghatározásának ugyanakkor a táj- és földértékelésben is kiemelt szerepe van (LÓCZY D., 2002).

A Magyarország területén nagy jelentőségű búza minőségi előírásai például három csoportot különböztetnek meg minőségi paraméterek alapján. Az úgynevezett malmi I. osztályú búzában a nedvessikér mennyiség meghaladja a 30%-ot, a malmi II. osztályú búza nedvessikér tartalma 28-30% közötti, míg a 28% alatti nedvessikér tartalmú szemek kizárólag takarmányozási célra használhatók.

Szintén kiemelt takarmány és élelmiszeripari alapanyag az árpa. Itt is fontos azonban elkülöníteni a jobb és rosszabb minőséget. A **takarmányozás** szempontjából a minél **magasabb**, a **sörgyártás** szempontjából pedig lehetőleg **alacsony fehérjetartalmat** kell elérni. Könnyen belátható, hogy a táblán belüli minőségbeli eltérések mérése, majd térképezése, esetleg később a betakarítás során a jobb illetve gyengébb minőségű szemtermés szétválasztása a jövőben hozzásegíthet a minőségi elvárásokhoz való megfelelésnek, illetve magasabb bevételek elérését is lehetővé teszi.

A szemtermés minőségi paramétereinek mérése betakarítás során a Zeltex AccuHarvester On-Combine Grain Analyzer műszer segítségével történt. A műszer 14 spektrális sávban (amelyek a **minőségi paraméterek** meghatározására alkalmasak lehetnek), az **infravörös** tartományban végez méréseket. Az infravörös hullámokat kibocsátó speciális diódák a mérőkamra egyik felén helyezkednek el, a méréseket végző érzékelők pedig a másikon, így a mérőkamrába bejutott anyagon **áthatoló** (NIT, Near Infrared Transmittance) sugárzási értéket használják fel az egyes jellemzők (fehérje-, olaj- és nedvességtartalom) meghatározására (14. ábra). Az egyes anyagokban elnyelt, illetve a visszasugárzott érték mérésére ennél az eljárásnál nem kerül sor. Ugyanakkor a távérzékeléssel gyűjtött adatokkal azért érdekes az összehasonlítás, mert ott a visszavert értékeket mérjük, és nem az áthatoló sugárzás mennyiségét. Az áthatoló, az elnyelt és a visszasugárzott értékek összege állandó.



14. ábra: A Zeltex műszer mérési elvi sémája

(Forrás: LONG, D. – ROSENTHAL, T., 2005 alapján szerk.: MILICS G., 2008)

Mivel a műszert eredetileg búza, kukorica valamint szója minőségi paramétereinek mérésére fejlesztették ki (ugyanakkor nem zárják ki az árpa mérhetőségét sem), minden terménynél indokolt a **kalibrálás** elvégzése. A kalibrálási folyamat során szükség van laboratóriumban, bevizsgált paraméterekkel (fehérjetartalmat mutató adatok) rendelkező mintákra. Ez indokolta, hogy legalább negyven minta begyűjtésére kerüljön sor. Az ismert fehérjetartalommal rendelkező minták először egy optikai összehasonlító mérésre kerülnek a műszerbe. Az optikai adatgyűjtést követően a kalibráló szoftver segítségével meghatározásra kerülnek a javasolt beállítások, majd ezek alapján a műszerrel a betakarítás során adatok gyűjthetők az egyes minőségi paraméterekről.

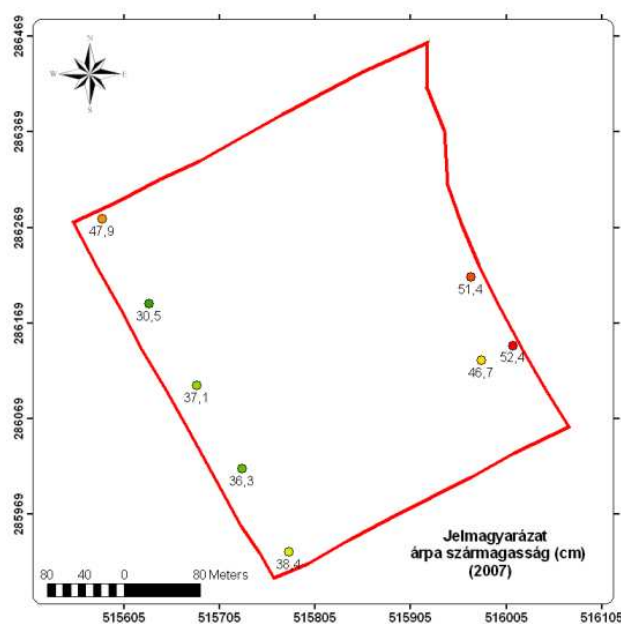
Mivel a **minőségi adatok gyűjtésére is helyspecifikusan van szükség**, ennek a rendszernek is alapeleme egy GPS vevő. A helymeghatározás pontossági igényei szerint alkalmazható a műszerrel szállított GPS antenna, ami 2-5 méteres hibahatárral dolgozik, ugyanakkor a rendszerbe differenciál GPS antenna is csatlakoztatható. Ebben az esetben a helyzetmeghatározás pontossága a méter alatti kategóriába kerül. Az adatgyűjtés során az **OMNISTAR VBA** szolgáltatást igénybe véve a pontatlanság nem haladta meg az **1 métert**. Az adatok naplózását a kutatási évben egy kézi számítógép (PDA) végezte, de a gyártóval történt konzultáció során kiderült, hogy – hasonlóan a mi tapasztalatainkhoz – ez az eszköz nem kellően robusztus a mezőgazdaság számára, így a továbbfejlesztett műszer adatainak naplózását már egy speciálisan kialakított

adatgyűjtő végzi. A mért értékek szövegszerkesztőben is kezelhető formátumban (*.txt) kerülnek rögzítésre, így azok feldolgozása szintén elvégezhető térinformatikai szoftverekkel. Ahhoz, hogy a pontszerű adatokból a műholdképekkel és a légifelvételekkel összevethető fedvényt kapjunk **interpolálás**ra van szükség.

4.2.3. Adatfeldolgozás

A kézi mintavételezés adatainak feldolgozása

A kézi mintavételezés célja az első mintavétel esetén adatgyűjtés a **hiperspektrális légifénykép kalibrálásához**. Az ehhez szükséges 1×1 m-es terület adatai alapján a teljes kutatási területre kiterjeszhető térkép nem hozható létre, hiszen az egyes pontok nem nyújtanak elégséges adatsűrűséget (15. ábra). A további feldolgozáshoz így a mért értékek megadása táblázatban lehetséges.



15. ábra: Az árpa szármagasság mérésének adatai

(Forrás: MILICS G., 2007)

A légifelvételek kalibrálásához az **átlagos szármagasság**, a **biomasszatömeg**, illetve a **kalász jellemzőinek** mérésére volt szükség (5., 6., 7. táblázat).

5. táblázat: Az átlagos szármagasság és a biomassza-tömeg értékek

Minta	Átlagos szármagasság (cm)	Biomassza tömeg (g)
1	38,4	800,11
2	36,3	869,30
3	37,1	877,54
4	30,5	656,66
5	47,9	953,36
6	52,4	1109,62
7	46,7	1115,16
8	51,4	943,17

6. táblázat: Az egyes minták 10 növényre vonatkoztatott mérési eredményei

Minta	Teljes tömeg (g)	Kalász tömege (g)	Szár tömege (g)
1	24,86	15,13	9,64
2	26,36	14,95	11,38
3	21,31	12,51	8,64
4	23,45	14,17	9,00
5	16,65	9,36	7,23
6	19,06	9,28	9,56
7	19,76	10,14	9,58
8	28,88	13,97	14,87

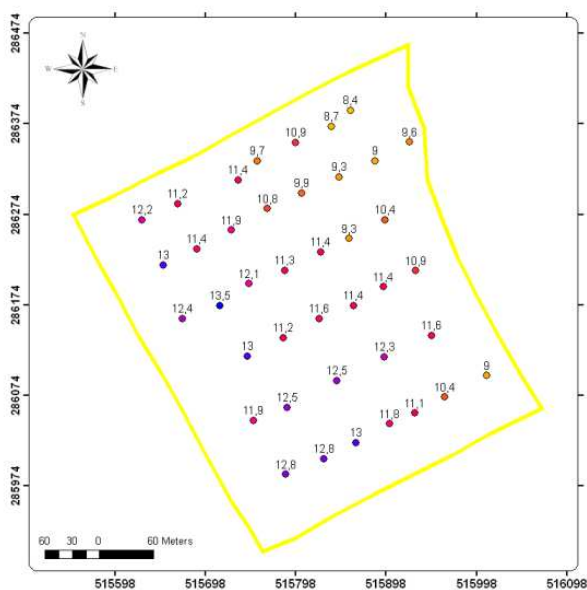
7. táblázat: A hozambecslés és a mért, illetve számított hozam adatok

Minta	Várható hozam (t/ha)	Mért adat	Interpolált (IDW)	Interpolált (Krig)
1	4,87	4,5	4,49	4,07
2	4,93	4,3	4,11	4,11
3	5,15	1,5	1,74	2,70
4	3,97	3,2	2,81	2,77
5	5,36	2,0	2,44	2,61
6	5,40	5,1	5,23	4,72
7	5,72	4,0	3,87	3,80
8	4,56	2,2	2,81	3,27

A gyűjtött és mért adatokat a hiperspektrális kép előfeldolgozását végző szakemberekhez továbbítottam.

A második kézi mintavételezés célja az adatgyűjtés a szemtermés **minőségi paramétereinek meghatározásához**.

A **fehérjetartalom** meghatározásához gyűjtött **negyven minta** alapján (16. ábra), mivel a mintavételezés sűrűsége elegendő volt, **interpolálással** létrehozható az összehasonlítási alapul szolgáló térkép.



16. ábra: A fehérjetartalom az egyes mintákban (%)
(Forrás: MILICS G, 2007)

A minták alapján egyrészt a laboranalízist követően térképezhetővé vált a várható fehérjetartalom (a mintavételi pontok koordinátáit szintén kézi GPS-szel rögzítettük), másrészt kalibrálhatóvá vált a minőségi paramétereket on-line üzemmódban mérő műszer. A beltartalmi (fehérje) vizsgálat eredményeit a 8. táblázat foglalja össze.

8. táblázat: A kézi mintavételezés utáni laboranalízis eredményei

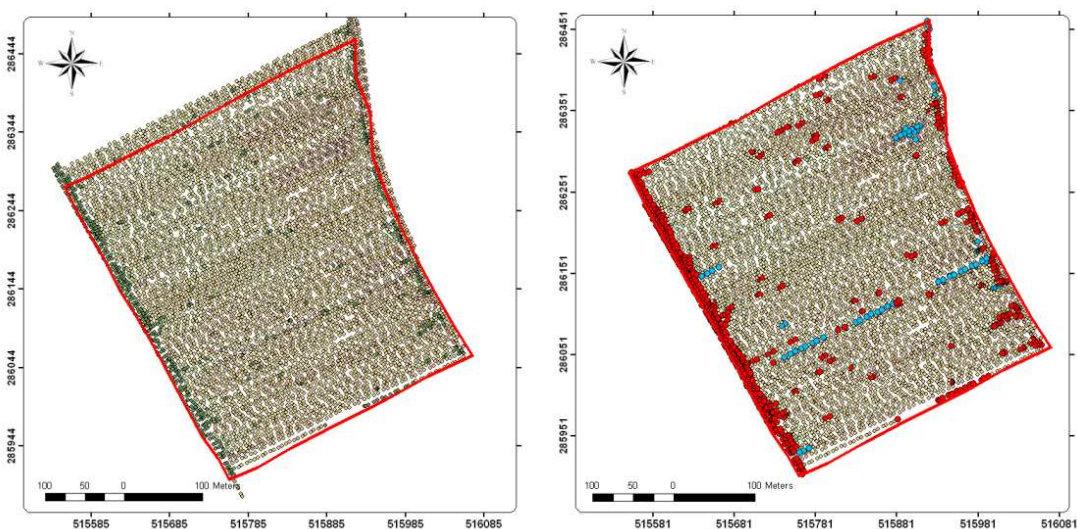
Mintaszám	Fehérjetartalom (%)	Mintaszám	Fehérjetartalom (%)
1	12,2	21	9,3
2	11,2	22	10,4
3	11,4	23	10,9
4	9,7	24	11,4
5	10,9	25	11,4
6	8,7	26	11,6
7	8,4	27	11,2
8	9,6	28	13,0
9	9,0	29	11,9
10	9,3	30	12,5
11	9,9	31	12,5
12	10,8	32	12,3
13	11,9	33	11,6
14	11,4	34	9,0
15	13,0	35	10,4
16	12,4	36	11,1
17	13,5	37	11,8
18	12,1	38	13,0
19	11,3	39	12,8
20	11,4	40	12,8

(Forrás: NYME-MÉK, Központi Laboratórium)

Az online gyűjtött adatok feldolgoása

A mennyiségi adatok (hozam adatok)

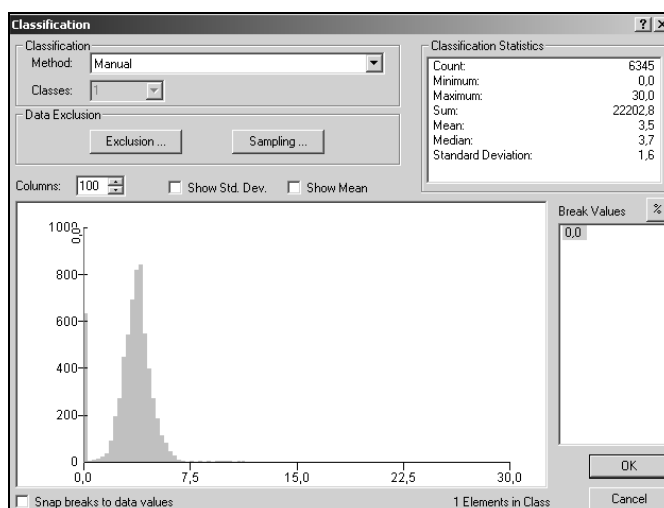
A hozamtérkép pontszerűen megjelenített adatainak vizuális elemzése megmutatja, hogy a további feldolgozáshoz az adatok **szűrésére** van szükség. Ezt az indokolja, hogy vannak olyan **adatpontok**, amelyeket nem kell figyelembe venni, hiszen a **vizsgált területen kívül található** (17.a. ábra), illetve az, hogy a hozammérő rendszer kiküszöbölhetetlen hibái miatt előfordulhat **téves mérés** (17.b. ábra).



17. ábra: A kutatási területen kívül eső /a, balra/ és a hibás /b, jobbra/ mérési adatok
(Forrás: MILICS G., 2008)

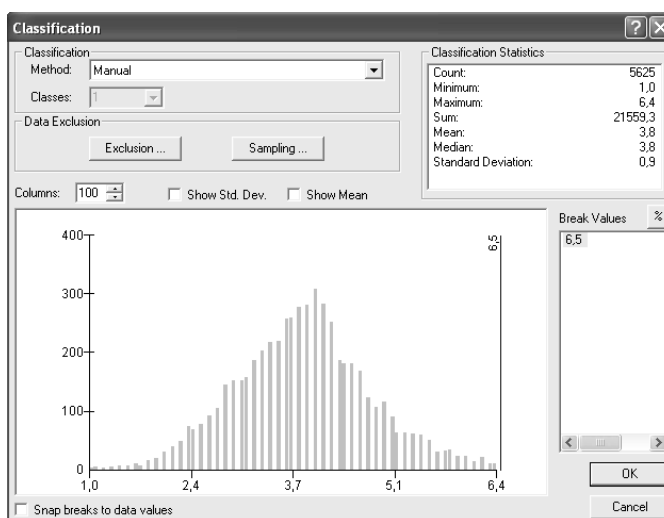
A szűrés folyamat első lépéseként a vizsgált területen belül elhelyezkedő pontok kiválasztására van szükség. Ez a folyamat az ArcMap programban egyszerűen elvégezhető, hiszen lehetőség van a poligonnal lehatárolt kutatási területen kívül eső ponthalmaz eltávolítására. Ennek alapján további feldolgozásra a 2007-es 7517 begyűjtött adatból 6345 hozamértéket reprezentáló pont használható fel (18. ábra).

A második szűrés feladat az irracionális értékek eltávolítása. Az irracionális értékek megállapítására különböző szűrők alkalmazását tették közzé, ugyanakkor ezeknek a szűrőknek a használata sok esetben a gyakorlattól teljesen elrugaszkodott. A betakarítás során szemrevételezés alapján megállapítható volt, hogy a táblán belül jelentős folt nem jelent meg, így a „nulla” hozamokat (630 db) illetve az extrém alacsony hozamokat (0 és 1 t/ha között) kiszűrhetőnek tekinthetjük.



18. ábra: A teljes adatsor eloszlása és statisztikai adatai
(Forrás: MILICS G, 2008)

Ugyanakkor tapasztalatok alapján árpában a 6,5 t/ha fölötti adatok is a mérőműszerek tökéletlenségének tudhatók be, így azokat az adatokat is eltávolíthatónak értékelhetjük. A szűrt adatok eltávolítását követően 5625 hasznos adat maradt, amelyek alapján a táblára vonatkoztatott hozam 3,8 t/ha. Az adatok eloszlását az alábbi ábra mutatja (19. ábra).



19. ábra: Az 1-6,5 t/ha közötti szűrt adatok eloszlása
(Forrás: MILICS G, 2008)

A szűrést az összes eddigi év mérési adataira elvégeztük. Az eredményeket a 9. táblázat foglalja össze.

9. táblázat A 80/1 tábla termesztett növényei 2000-2007 között.

Év	Növény	Átlagos hozam (t/ha)		Felhasznált adatok (db)		Szűrési tartomány (t/ha)
		eredeti	szűrt	eredeti	szűrt	
2001	Kukorica	4,47	4,79	7365	6831	1-10,5
2002	Kukorica	6,03	6,13	6511	6403	1-12
2003	Tavaszi árpa	4,00	4,03	6489	6424	1-6,5
2004	Őszi búza	6,86	7,02	14581	13096	0,5-10,5
2005	Kukorica	9,85	10,42	7879	7359	6,5-13,5
2006	Kukorica	10,84	11,47	7729	7245	7,5-14,5
2007	Tavaszi árpa	3,50	3,80	6345	5625	1-6,5

A minőségi jellemzők mérési adatainak feldolgozása

A minőségi jellemzők mérési adatainak feldolgozása hasonló módon történik, mint a hozam adatok feldolgozása.

A **fehérjetartalmat mérő műszerben kisebb eltérések** az adatgyűjtő rendszer naplózási formája és a földrajzi koordináták megjelenítési formája miatt adódnak, logikai menetét tekintve azonban az eljárás megegyezik a már ismertetettel. Az eltérés abból adódik, hogy az **Amerikában** megszokott **GPS adatnaplózási forma** eltér az Európában meghonosodott formától, így az adatok elsődleges átalakításánál ezt figyelembe véve kell eljárni. További eltérés lehet, hogy amennyiben az összes mért tulajdonságot, illetve a mérőrendszer számításait is figyelembe vesszük, elvileg öt oszlop adatai kerülhetnek feldolgozásra, kiegészítve a két GPS koordinátákat megjelenítő oszloppal. A gyakorlatban mind a három tulajdonság közül (fehérje-, olaj-, és szemnedvesség tartalom) nincs minden esetben szükség az összes adat rögzítésére, így a feldolgozásra kerülő oszlopok száma nem feltétlenül lesz a maximum. A feldolgozás során különös **figyelmet kell fordítani az eltérő tizedesjel karakterre** is, hiszen a „pont” és a „vessző” karakterek felcserélése a feldolgozó szoftverek logikáját sok esetben megzavarhatja.

A térinformatikai szoftverek különböző **interpolálási** eljárások alkalmazását teszik lehetővé. A legközismertebb interpolációs eljárás az **inverz távolságokkal való súlyozás (Inverse Distance Weighting, IDW)**. Ezt az interpolációs technikát súlyozó

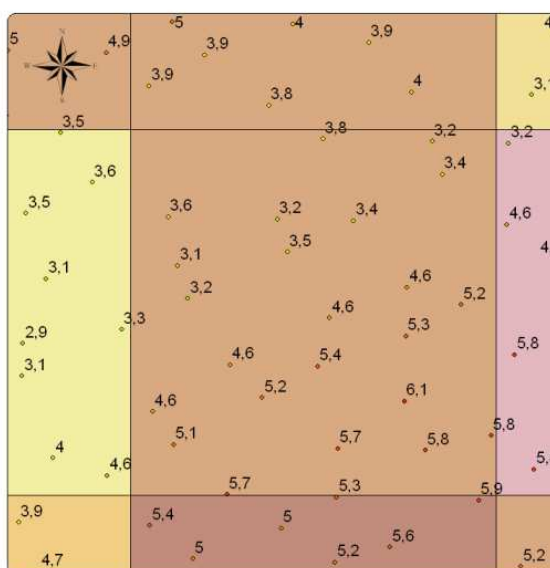
átlagoló módszernek is nevezik, ami lehet **egzakt** vagy **simító interpoláció**. Ez az eljárás lehetővé teszi az egyes pontok közötti távolságok súlyzó hatásának változtatását. Nagyobb súly alkalmazásánál a közelebbi pontoknak nagyobb hatása van egy adott pontra. Jelen esetben az alapértelmezett beállítások alkalmazásától (súly=2) nem indokolt az eltérés.

A másik eljárás az úgynevezett **krigelés** (Kriging) (OLIVER, M.A. – WEBSTER, R. 1991). A krigelés legfontosabb jellemzője, hogy az adatok alapján figyelembe veszi a várható trendeket, azaz amennyiben meghatározott területeken magas értékek jelennek meg, azokat inkább egy „gerinc” mentén köti össze, mint kiemelkedő „hegyek”-ként. A krigelés során fontos a bemeneti adatok térbeli elhelyezkedésének ismerete, valamint az adatsűrűség megválasztása, hiszen a krigelés az alacsonyabb értékek mentén alábecsüli, a magasabb értékek mentén pedig fölülbecsüli az értékeket.

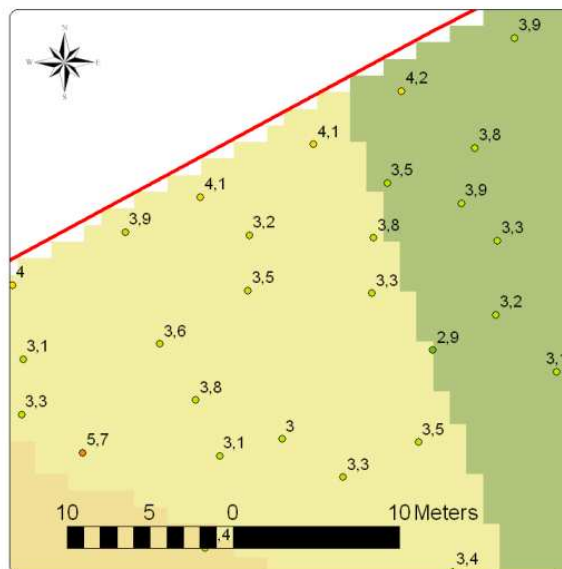
Az interpolálási eljárások közül közismert még a **természetes szomszéd (Natural Neighbour)**, illetve a **trend (Trend)** alapján történő adatkiegészítés is. A gyakorlatban az első két eljárást alkalmazzák a legelterjedtebben, hiszen a gyűjtött adatmennyiség alapján ezek az eljárások hozzák létre a leginkább megfelelő képpont halmazt.

A **pontszerűen megjelenő hozam adatok** megfelelő nagyításban jól kivehetővé válnak. Amennyiben a műholdképeknek megfelelően képpontok **25×25 méteres felbontására** használjuk az interpolációs technikákat, számolni kell azzal, hogy a **később létrehozott képpont csak egy átlagot reprezentál az adott területről**. Esetünkben a 4,55 t/ha hozamot jelző képpontot jelenítettük meg, ahol a képponton belül előfordul 3,2 és 6,1 t/ha mért hozamérték is (20. ábra).

20. ábra: Egy Landsat pixel (25×25 m) és az adatforrásául szolgáló értékek
(Forrás: MILICS G., 2007)



Az **1×1 méteres felbontású** légifelvételkel való összevethetőség miatt viszont az **egyes képpontokra nem esik egy mérési eredmény** (21. ábra), tehát ebben az esetben az interpolálási technikák alkalmazásánál figyelembe kell venni az **alapadatokat**, hiszen azok jellege meghatározza a megfelelő eljárás kiválasztását.



21. ábra: Az 1×1 m képkocka és az on-line mérések sűrűsége
(Forrás: MILICS G, 2007)

A kimeneti (immár raszteres formátumú) fedvények beállításánál azért is **figyelemmel kell lenni a kimeneti képpont méretre**, mert a műholdképpel illetve a légifényképezés adataival csak azonos pixelméret alkalmazása során lesz összehasonlítható a raszteres kép. Az interpoláció kimeneti **képpontméretének nagysága túl alacsony érték esetén a fedvényt túlzottan mozaikossá, túl magas érték felett pedig a foltszerűen megjelenő információkat elmosottá teszi.**

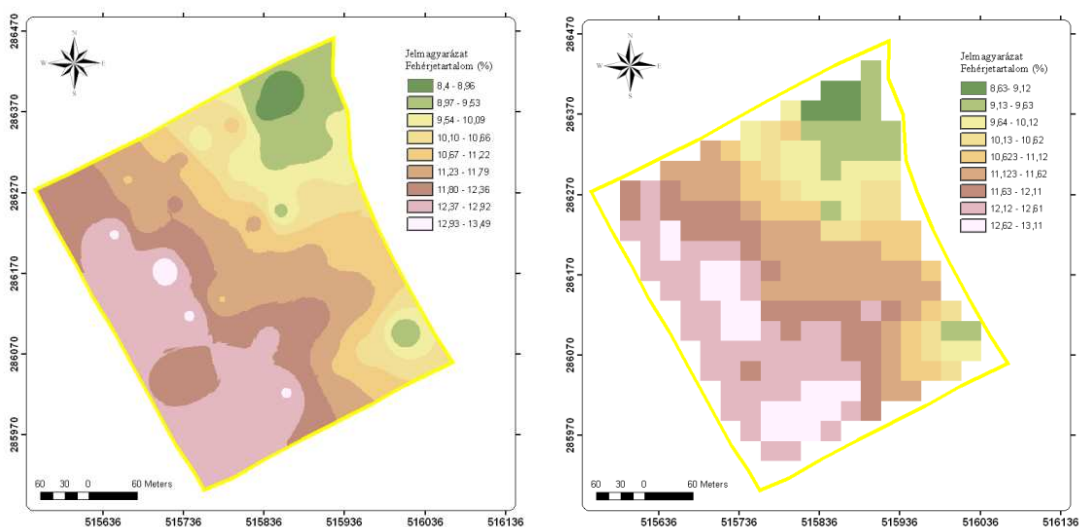
A **kimeneti file-ok** elkészítése ennek megfelelően **1 méteres illetve 25 méteres élességgel** szükséges. Az elkészült térképek hasznos képpontjait maszkolási eljárással indokolt szűrni.

4.3 Eredmények

A kézi mintavételezés alapján létrehozott fedvények

A kézi mintavételezéssel felvett adatok interpolálásával létrehozott fehérjetartalom térképek (fedvények) a **további összehasonlítás céljából eltérő geometriai felbontással** készültek el (22. ábra).

A **krigelés** a mintavételi pontok távolsága miatt **nem alkalmazható**, ezért a kézi mintavételezés térképei **csak inverz távolságok súlyozásával (IDW)** készültek el.



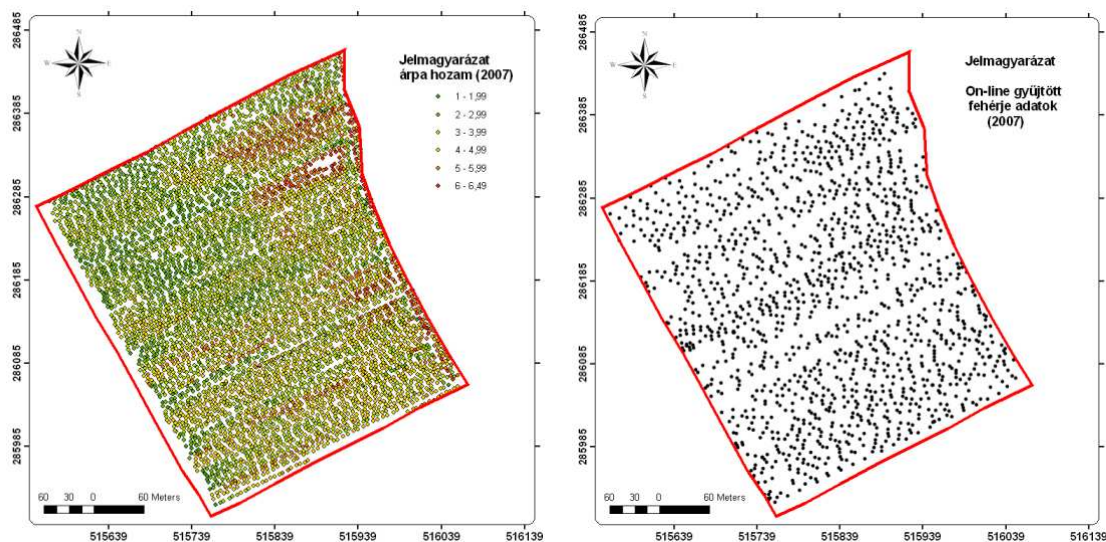
22. ábra: Az 1 m /balra/ és a 25 m /jobbra/ élességű fehérjetérkép

(Forrás: MILICS G., 2008)

A **kézi mintavételezés** adataiból **származtatott fedvények/térképek** feladata, hogy **visszajelzést** nyújtson és **összehasonlítást biztosítson** a távérzékelés, illetve az on-line mért adatokhoz. Az interpolálás során beállítható geometriai pontosság itt különös hangsúlyt kap, hiszen az összehasonlításhoz a felbontásnak meg kell egyeznie a távérzékelte képek pixelméretével. Amennyiben nem cél az összevetés elvégzése, akkor is fontos a kimeneti cellaméret megválasztása, hiszen a túl pontos térkép **mozaikossá** válhat, az elnagyolt fedvény pedig **elfedheti a kisebb foltokat**.

A betakarítás adataiból létrehozott fedvények

A betakarítás során on-line mért és gyűjtött adatokat a koordináta transzformáció után a térinformatika eszköztárának segítségével jeleníthetjük meg. A kutatási területre eső mérési adatok vektoros formában, pontszerűen jelennek meg (23. ábra).



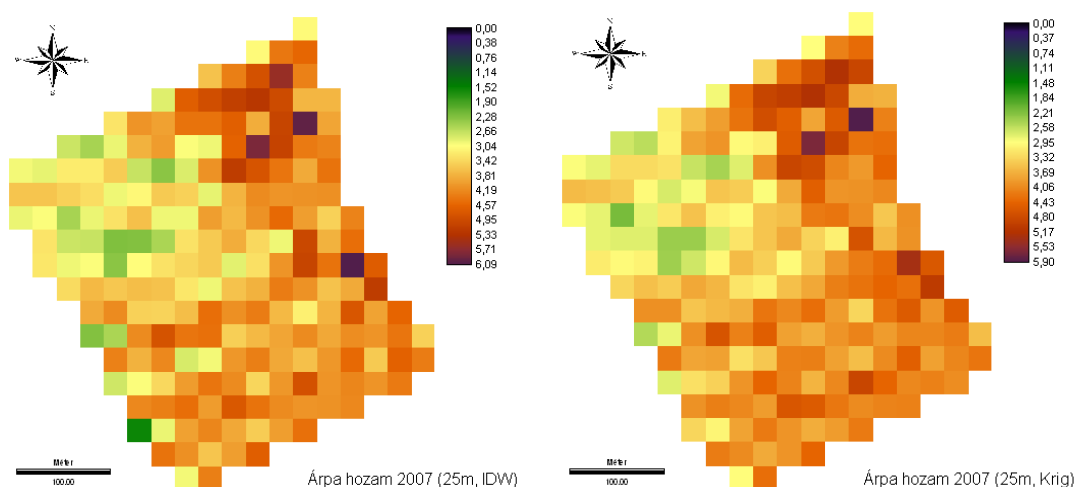
23. ábra: A kutatási területre eső hozam- (t/ha) /balra/ és fehérjetartalom adatok /jobbra/ megjelenítése (Forrás: MILICS G., 2007)

Az adatállományok feldolgozásánál, illetve értékelésénél – elsősorban a fehérjetartalom mérése során – figyelembe kell venni, hogy **korábbi tapasztalatok** a műszerek alkalmazásának, esetleges meghibásodási lehetőségeinek terén **nem álltak rendelkezésre**.

A hozamtérkép

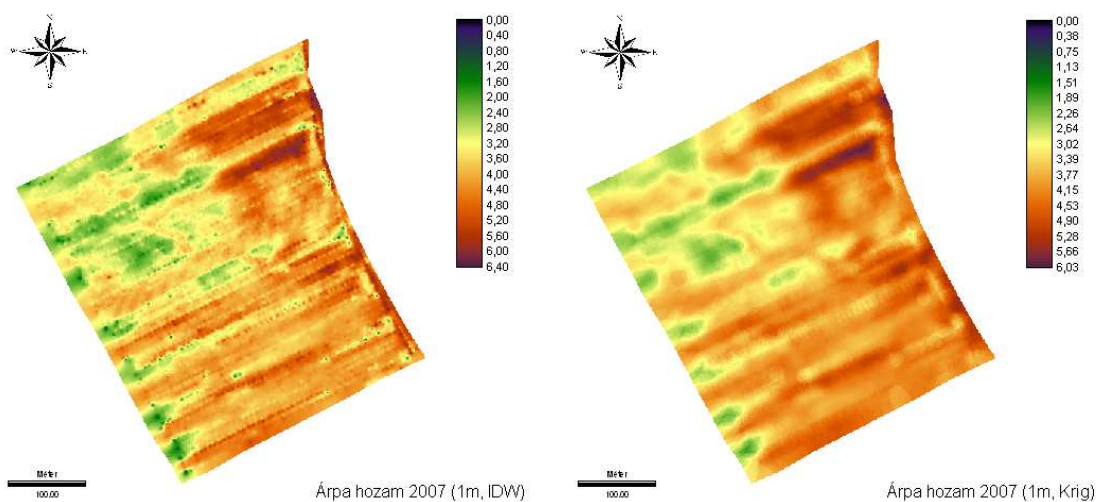
A hozamtérkép a precíziós gazdálkodás eredménye, ugyanakkor legfontosabb adatbázisa. Ez indokolja, hogy létrehozásánál kiemelt figyelmet kell fordítani az adatok megbízhatóságára, és a térképek létrehozásához használt eljárások helyes alkalmazására. Jelen esetben a korábban ismertetett **adatgyűjtési és szűrési eljárás után** a pontszerű adatokból két **interpolálási eljárással** készítettem **hozamtérképet**. A két interpolálási technikát alkalmazva létrehoztam a **műholdképekkel megfeleltethető**

25 méteres élességű (24. ábra), illetve a légifényképekkel összehasonlítható 1 méteres élességű (25. ábra) interpolált hozamtérképeket.



24. ábra: A 25 m élességű hozamtérképek

(Forrás: MILICS G., 2007)

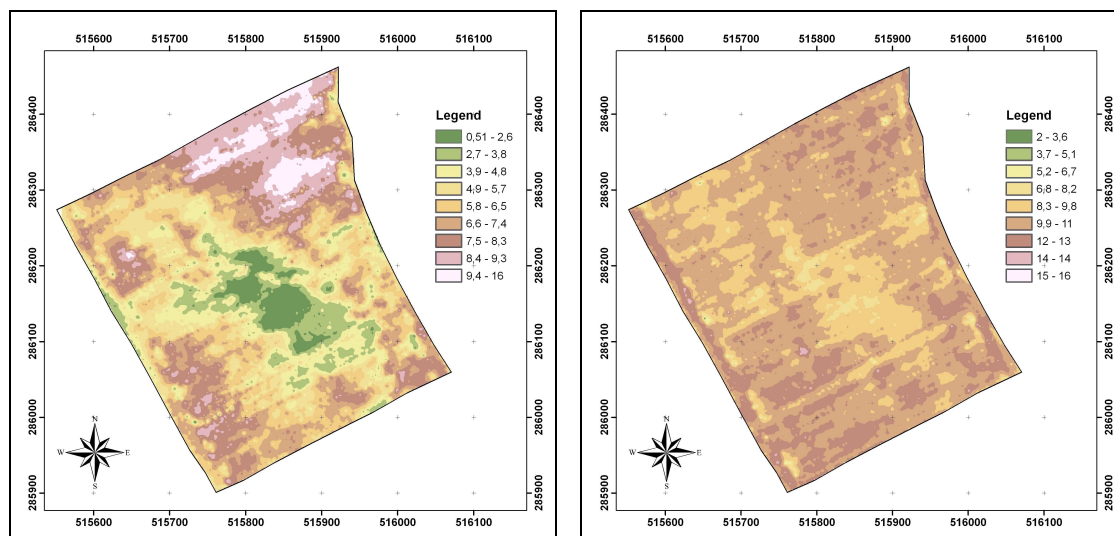


25. ábra: Az 1 m élességű hozamtérképek

(Forrás: MILICS G., 2007)

A térképfedvényeket a korábban eltárolt adatok alapján **minden gazdasági évre egységesen létrehoztam**, így az eltérő évek adatai akár egymással is összevethetőkké váltak (NEMÉNYI M. – MILICS G., 2007; MILICS G., 2007). Az eltérő évek eltérő terményei nem minden esetben mutattak ugyanakkora változatosságot, valamint az évek előrehaladtával a különbségek a helyspecifikus kezeléseknek köszönhetően

egyre inkább kiegyenlítődtek, ennek ellenére a táblán jelenlévő gyengébb és jobb hozamú területek minden évben kimutathatóak voltak (26. ábra).



26. ábra: A 2002-es és a 2005-ös hozamtérképek

(Forrás: MILICS G., 2007)

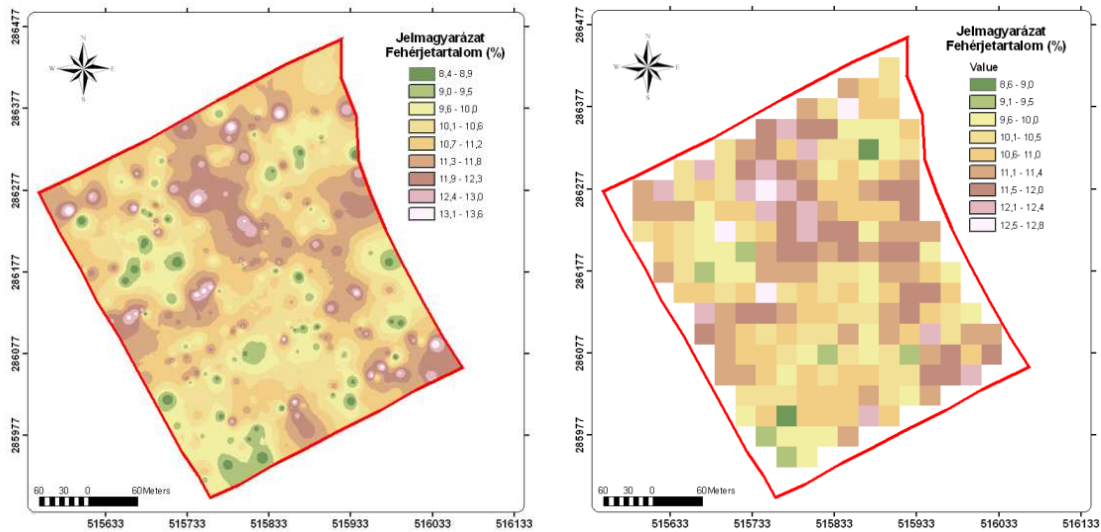
A szem (on-line mért) fehérjetartalom térképe

A szem **minőségi paramétereinek jellemzésére** használhatók a **szemnedvesség-térképek**, illetve az egyéb tulajdonságokat (fehérje-, olajtartalom) megjelenítő térképfedvények.

A **fehérjetartalom térképezéséhez** használt **Zeltex AccuHarvest On-Combine Grain Analyzer** (NIT elven működő) különálló rendszer, adatgyűjtő érzekelői eltérnek az **AgroCom** rendszer szenzoraitól, **adatnaplózási logikai menete** azonban azzal **megegyezik**.

Ahhoz, hogy a **fehérjemérés pontossága** megfelelő legyen, ajánlott a mérőműszer **kalibrációja**. A kalibrációt kézi mintavételezéssel gyűjtött, laboratóriumban meghatározott fehérjetartalmú mintákkal végeztünk. Az **adatgyűjtő műszer több esetben leállt**, illetve a naplózott adatok közül számos egyértelműen helytelen volt. A 2007-es gazdasági évben a tavaszi árpának nem minden tekintetben voltak ideálisak a meteorológiai körülmények, így az **alacsony szármagassága** miatt az arató-cséplőgépek viszonylag nagy arányban juttattak **szennyezett magot a felhordóba** (por, vadméreg).

Ennek köszönhetően a mérőműszer szenzorjai többször elszennyeződtek, ami hibás mérési eredményeket okozott (27. ábra).



27. ábra: Az on-line gyűjtött adatok alapján készített fehérjetérkép (IDW, 1m)

(Forrás: MILICS G, 2007)

Már első szemrevételezés után megállapítható volt, hogy (az on-line fehérjemérésnél fellépő mérés technikai hibák miatt) a térkép eltéréseket mutat a kézi mintavételezés és laboratóriumi analízis adataihoz képest.

5. A műholdas távérzékelés alkalmazása a precíziós gazdálkodásban

5.1. Kutatástörténet

A Föld felszínéről szerezhető információk alkalmazhatósága a **távérzékelés** polgári felhasználók számára történő felhasználásának kezdete óta foglalkoztatta a kutatókat. A távérzékelésről magyar nyelven a nyolcvanas évek közepén jelent meg áttekintő munka, ami a műszaki gyakorlatban való alkalmazásokat gyűjtötte egy kötetbe (DOMOKOS GY.-NÉ, 1984). A magyarországi felhasználók számára a távérzékelésről a következő összefoglaló műre a kilencvenes évek közepéig kellett várni. Ekkorra már megjelentek a műholdas távérzékeléssel nyert adatok feldolgozását megkönnyítő, digitális képkezelést lehetővé tevő számítógépek és programok, ennek megfelelően a távérzékeléssel foglalkozó művekbe bekerült a **digitális képfeldolgozás** témaköre is (MUCSI L., 1995). A távérzékelés megjelent a hazai felsőoktatás tantárgyai között is, ezért a műholdas távérzékelésről egyetemi jegyzet is készült (LÓKI J., 1996).

A Pécsi Tudományegyetem földrajzi műhelyében az elmúlt néhány évben szintén a figyelem középpontjába került a távérzékelés, mint adatgyűjtési eljárás, így több publikáció (pl. MILICS G., 2006) illetve saját **egyetemi jegyzet** is rendelkezésére áll a felsőoktatásban részt vevő hallgatóknak (NAGYVÁRADI L., 2007).

A műholdképek értékeléséről és megjelenítéséről a nemzetközi irodalomban is egyre nagyobb számban jelentek meg összefoglaló művek. DRURY, S.A. (1990) a műholdképek megjelenítésére, SCHOWENGERDT, R.A. (1997) a digitális képfeldolgozás modelljeit és a feldolgozási eljárások ismertetését helyezte előtérbe a távérzékelésről megjelent könyvében.

A távérzékelés legnagyobb előnye az, hogy **rövid idő alatt** juthatunk **nagy kiterjedésű területről** adatokhoz (KOLLER, M. – UPADHYAYA, S. K., 2005). Mivel az eltérő érzékelési tartományokban gyűjtött adatok segítségével lehetővé válik nagy területről, rövid határidővel a felszínborítottság vizsgálata, a távérzékelés egyik kiemelkedő területe a **vegetáció vizsgálata** lett.

A Landsat erőforrás kutató műholdak a polgári felhasználók számára elsőként készítettek felvételeket a Föld felszínéről. A program 1972-ben indult (SCHOWENGERDT, R.A., 1997). A program indulása után néhány évvel megjelentek az

első publikációk az azóta is alkalmazott **vegetációs indexekről** (ROUSE, J.W. et al., 1973; ROUSE, J.W. et al., 1974; DEERING, D.W. et al., 1975), mint például a Normalizált Differenciál Vegetációs Index (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI). Ezek az indexek a multispektrális vegetációs indexek hasznosságát az állapotfelmérésen kívül az egyes **előrejelzések, becslések** elvégzésére is fel kívánták használni. REYNIERS, M. et al. (2006) a távérzékeléssel és földi mérésekkel meghatározott NDVI vegetációs index összehasonlítása során erős korrelációt ($r=0,94$) mutatott ki. A méréseket eltérő, különböző mennyiségben kijuttatott nitrogén esetében különböző parcellákon végezték el. Megfigyeléseiket és méréseiket őszi búzára végezték el, ahol kimutatták, hogy az **NDVI index a szem minőségi paramétereivel jobban korrelál, mint a mennyiségi paraméterekkel.**

A távérzékelés egyik legismertebb alkalmazása a mezőgazdaság számára ennek révén az eltérő növények hozambecslése lett. A távérzékelést a precíziós gazdálkodás is felfedezte magának, mint adatgyűjtési forrást (SEELAN, S.K. et al., 2003).

A távérzékelés fejlődésével, illetve a szemtermés **minőségi paramétereinek** kézi méréseivel összehasonlíthatókká váltak a távérzékelte és kézi mintavételezéssel gyűjtött adatok. SIMMONDS, N.W. (1996) arról számol be munkájában, hogy a növényi biomasza tömeg, a hozam, a nitrogén- és fehérjetartalom között milyen összefüggéseket talált. Ezen megállapítások felhasználásával BASNET, B.B. et al. (2003) közöl cikket arról, hogy különböző gabonákban (árpa, cirok és búza) spektrofotométerrel bevizsgált mintákat összehasonlítva a Landsat műholdak felvételeivel **szoros korreláció mutatható ki a fehérjetartalom és az egyes távérzékelte képek között.** A vizsgálataik során a mintákat georeferált kézi mintázással gyűjtötték, majd laboratóriumban elemezték. A műholdképek esetén az egyes képsávok segítségével előállított származtatott indexeket is bevonták vizsgálataikba. Míg a cirok esetében nem volt kimutatható szoros korreláció ($r<0,20$), búza és árpa esetén az adatok közötti összefüggés már figyelemre méltóan szoros korrelációt mutatott ($r>0,80$ a 2, 4 és 5-ös sávban árpa esetén, valamint $r>0,75$ az infravörös /4-es sáv/ tartományban búza esetén).

A **vegetációs indexek** értelmezéséhez tudni kell azt, hogy mi az alapja az indexek létrehozásának. CAMPBELL, J.B. (2002) a távérzékelésről publikált összefoglaló

művében a következőképpen írja le a növények viselkedését: A növények levelei a beeső napsugárzás körülbelül 40%-át elnyelik. A levelekben található fotoszintetikus festékanyagok a látható fény tartományban a sugarakat visszaverik. Mivel a **klorofill-a elnyelési maximuma a 440 nm** (kék tartomány) **és a 670 nm** (vörös tartomány), **a levelek az 515 nm körüli (zöld tartomány) elektromágneses sugarakat verik vissza.** A **közeli infravörös tartomány visszaverődése** ugyanakkor a levelekben található **ligninnek és cellulóznak** (amelyek a mezofillumban /asszimiláló alapszövet/ található) köszönhető. A növények fejlődése során a klorofill növekvő elnyelése miatt a vörös sávban az elnyelés csökken. Ugyanakkor, mivel egyre több mezofillum sejt fejlődik ki a közeli infravörös tartományban, az elnyelés növekszik. Habár a **klorofill-a elnyelési maximuma 440 nm**, a kék sáv mégsem használható a távérzékelésben, hiszen a **Rayleigh-szórás zavaró hatása** ezt nem teszi lehetővé. Ennek okán **a vegetációs indexek a vörös és a közeli infravörös tartományok felhasználásával jönnek létre** (ASHNER, G. P. 1998).

A **hozambecslés** távérzékeléses módszerekkel a polgári felhasználók számára elérhető műholdképek megjelenésével már a hetvenes évek közepén megkezdődött. Az azóta eltelt időszakban a precíziós gazdálkodás egyre több feladatot próbál megoldani távérzékeléssel. A műholdképek alapvető felhasználása azonban ma is elsősorban a hozambecslést jelenti. A hozambecslés megbízhatóságát eltérő növények esetén vizsgálták. INMAN, D. et al. (2005) **kukoricára** végzett vizsgálatai azt mutatták, hogy a növény **6-8 leveles állapotában már adható becslési adat a hozamról** öntözött területen a normalizált differenciál vegetációs index (NDVI) alapján.

Általánosságban elmondható, hogy a hozam, vagy termésbecslés megbízhatóságának vizsgálatához sok esetben pontos mérési adatokkal nincs alátámasztva a hozamokat kifejező adat. BOGNÁR P. (2004) műholdas termésbecslési eljárások fejlesztésével foglalkozó disszertációjának téziseiben például beszámol a termésbecslés nehézségeiről, ugyanakkor kiemeli, hogy a becslés hibája az általa használt műholdkép 10 növényre végzett 5 éves becslési adatai és a Központi Statisztikai Hivatal hivatalos adatai között egyetlen esetben sem haladta meg a 10%-ot. Mivel ebben az esetben nem egy mezőgazdasági táblán belüli eltérést vizsgáltak, hanem megyei átlagadatokkal dolgoztak, az eredmények alapján messzemenő

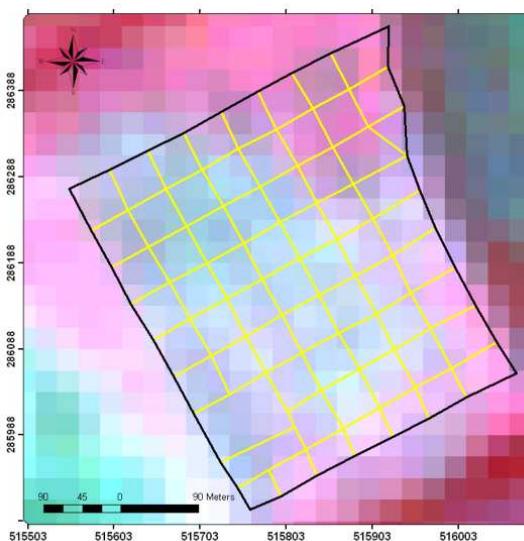
következtetéseket nem szabad levonni, hiszen **a statisztikai átlag sokszor pont a lényegét fedi el előlünk.**

A távérzékelés polgári felhasználók számára egyik meghatározó műholdas rendszere, a Landsat mellett egyre több kereskedelmi céllal létrejött műholdas rendszer adatai válnak elérhetővé a kutatók számára. WRIGHT, D.L. et al. (2003) például az **IKONOS és QuickBird** műholdak jelentősen jobb geometriai felbontású felvételeit használta hozambecsléshez. Publikációjának összefoglaló részében kiemeli, hogy a **műholdképek költségessége** miatt a gyakorlati felhasználást további költséghatékonysági vizsgálatoknak kell megelőznie, hiszen **a felbontás javulása miatt nyert többletinformációk nem nyújtottak annyi többletet az eredményességben, mint amennyivel a műholdképek a költségeket megemelték.**

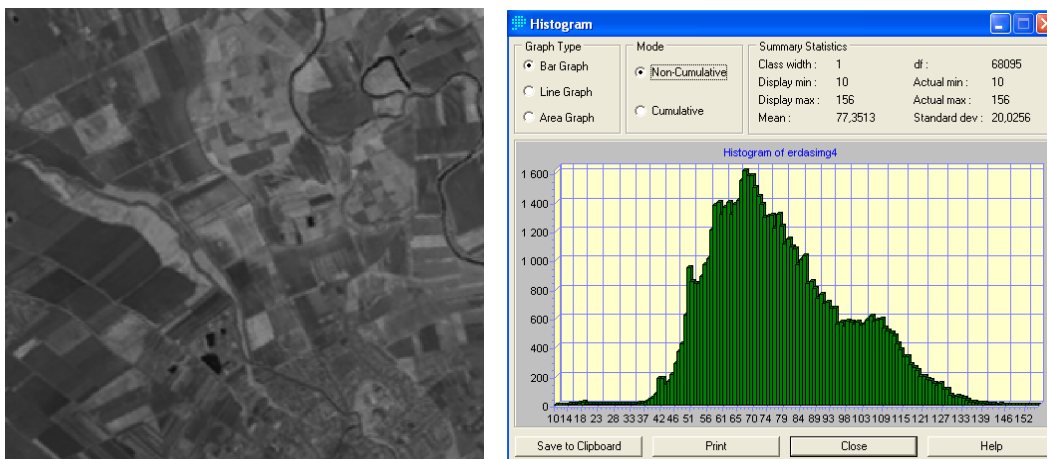
5.2. Anyag és módszer

A műholdfelvételek előfeldolgozás nélkül nem használhatók. A rendelkezésre álló és felhasznált műholdképek **előfeldolgozásával** (mozaikolás, radiometriai korrekció), valamint **georeferálásával** (a kívánt vetületi rendszerbe illesztés) **nem kellett foglalkozni**, hiszen az **előfeldolgozást az Európai Űrügynökség, a georeferálást pedig a Földmérési és Távérzékelési Intézet elvégezte.** Ennek révén a műholdképek az Egységes Országos Vetületnek megfelelően **25 méteres pixel (képpont) mérettel** álltak rendelkezésre az **országos archívumban** (28. ábra). A műholdképek „img” **kiterjesztéssel** rendelkeztek, ami a térinformatikai feldolgozáshoz elfogadott adatformátum.

28. ábra: A Landsat műholdkép geometriai felbontása és a kezelési egységek
(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2007)

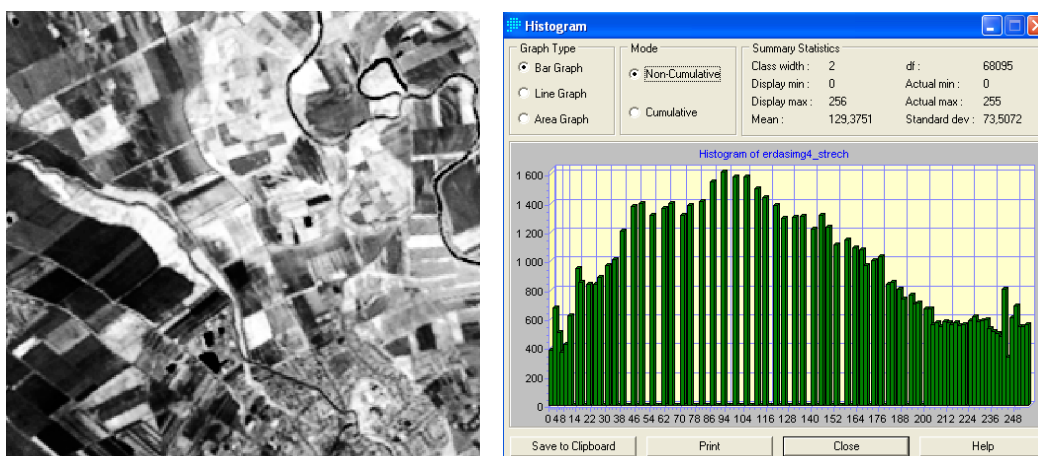


Ennek megfelelően **egy műholdkép tartalmazta mind a hét elérhető multispektrális sávot**. Az egyes spektrális sávok külön-külön is megjeleníthetők. A Landsat képek **8 bites** mélységgel rendelkeznek, ezért az egyes sávok képpontjai **256 különböző árnyalatot** vehetnek fel a szürke skálán. Az egyes csatornákon észlelhető matt szürke megjelenés **képfeldolgozó (képfokozó) eljárásokkal** javítható. Ezek közül a legismertebb a **hisztogramkiegyenlítés** (29. és 30. ábra).



29. ábra: A 07.06.11-i műholdkép NIR sávja és a kép hisztogramja

(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2007)



30. ábra: A 07.06.11-i műholdkép korrigált NIR sávja és a kép hisztogramja

(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2007)

A Landsat képek spektrális sávokra bontásának azért van jelentősége, mert a megjelenítés során, ha **hamisszínes** képet szeretnénk készíteni az eltérő képsávokhoz,

nem a sávhoz tartozó színskálát rendeljük hozzá, hiszen ebben az esetben **láthatóvá kell tenni az infravörös tartomány visszaverődési értékeit** is.

A kapott file spektrális csatornákra bontása az ENVI szoftver használatával történt. Az egyes sávokat a már ismertetett „**geotif**” formátumban exportáltam, **megtartva** így a **vetülethelyes kép geokoordinátáit**. A további feldolgozás az IDRISI Kilimanjaro raszteres térinformatikai szoftverrel történt.

A „felesleges” **képpontok eltávolítására** a raszteres logika szerint **nincs lehetőség**, azonban az elemzésből **kihagyni kívánt pontok szűrhetők**. A szűrés nem más, mint egy **maszkolási** eljárás, ahol a maszk hasznos képpontjai egyes értéket („1”) vesznek fel, a nem hasznos képpontok értékei pedig nullát („0”). Ezzel a maszkkal szorozva az eredeti képet a hasznos képpontok megtartják a hozzájuk rendelt értékeket, a felesleges képpontok pedig nulla értéket kapnak.

Fontos tényező a műholdképek esetén az **időbeli felbontás**. Az **időbeli felbontás (visszatérési idő)** a rendszer tervezésekor ideálisabb (8 napos) felbontást, azaz adott terület felett kellő sűrűségű látogatást tett lehetővé. A **Landsat-7 műhold jelenleg nem szolgáltat adatot**, így a **2007-es év** műholdas adatainak felhasználásakor **csak a Landsat-5** műhold felvételei jöhetnek számításba (11. táblázat). **A 2001-es évben végzett elemzésekhez mindkét műhold felvételei elérhetőek voltak.**

A felbontások tanulmányozása után érdemes azt is figyelembe venni, hogy **az egyes műholdképek milyen feltételekkel hozzáférhetőek**. Az Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA) és a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) közötti megállapodásnak köszönhetően a Magyarország területéről készült Landsat műholdképek a **Nemzeti Űrfelvétel Archívumba** is bekerülnek, így kutatási célokra kisebb területek műholdképei díjmentesen felhasználhatók a megfelelő szerzői jogok feltüntetése mellett. A Landsat műholdak legfontosabb jellemzőit a 10. táblázat ismerteti.

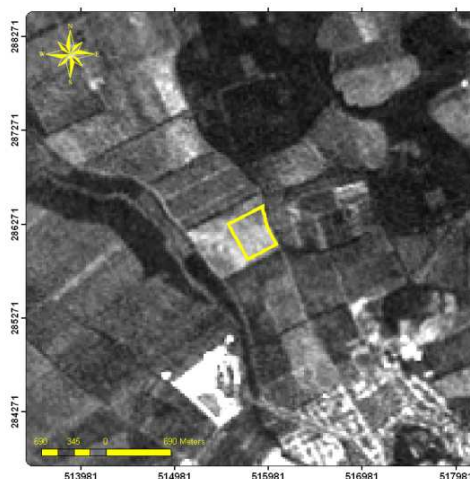
10. táblázat: A Landsat 5 és 7 műholdak legfontosabb jellemzői

	Landsat 5	Landsat 7
Felbocsátás ideje	1984.03.01	1999.04.15
Átlagos pályamagasság	705 km	705 km
Min-Max magasság	696-741 km	696-741 km
Inklináció	98° 22′	98° 22′
Keringési idő	99 min	99 min
Visszatérési idő	16 nap, 233 keringés	16 nap, 233 keringés
Műszerek	MSS, TM	ETM+
Pályaelemek	Kvázipoláris, napszinkron	Kvázipoláris, napszinkron
Felbontás	30 m (hő 120 m)	30 m (PAN 15 m, hő 60 m)

11. táblázat: A műholdképek felvételezésének időpontjai

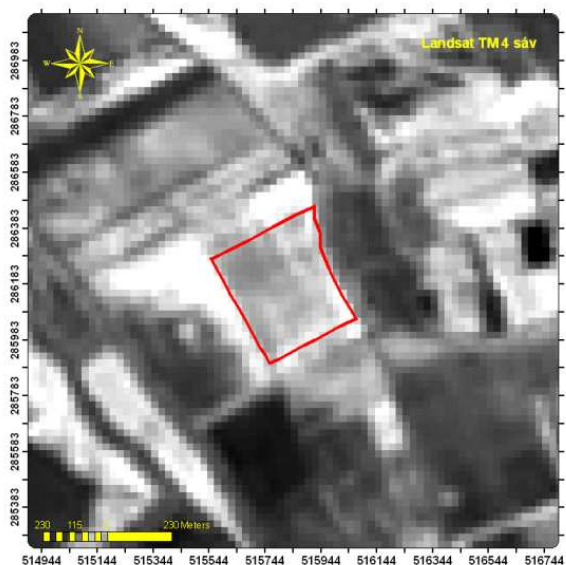
A felvétel időpontja	Műhold
2001.05.01	TM-7
2001.06.26	TM-5
2001.07.28	TM-5
2001.08.05	TM-7
2001.08.13	TM-5
2001.08.29	TM-5
2001.10.08	TM-7
2007.05.26	TM-5
2007.06.11	TM-5

A rendelkezésre álló teljes méretű műholdképek **egy-egy sávon** megjelenített szürkeárnyalatos képei a precíziós gazdálkodáshoz feleslegesen nagy területet ábrázolnak (31. ábra).



31. ábra: A 2007.06. 11-i Landsat kép zöld sávja szürkeárnyalattal megjelenítve
(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2001)

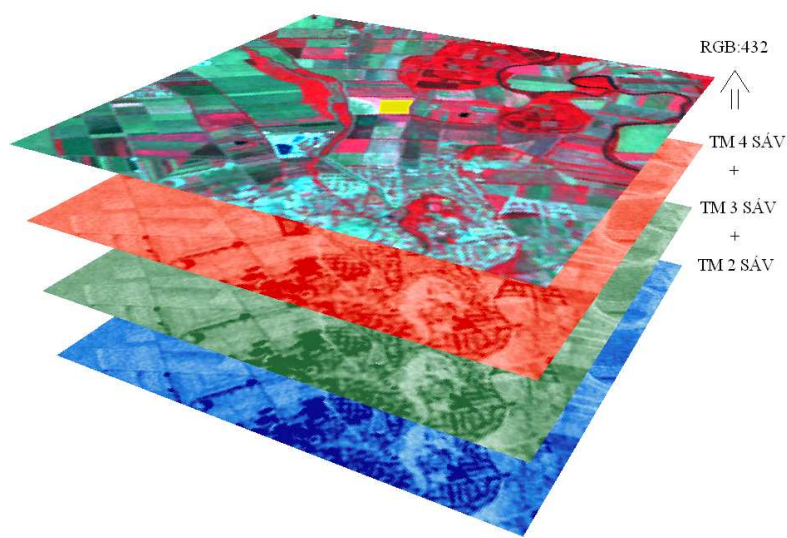
Indokolt tehát a meglévő műholdképből azt a **területet kivágni**, amely feltétlenül **szükséges az adatelemzéshez** (32. ábra).



32. ábra: A Landsat 5 műhold TM 4-es sávja (2007.06.11)

(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2007)

Ugyanakkor javasolt több sáv egyidejű megjelenítése, hiszen így az egyes képsávok összevonásával több információ nyerhető egy adott területről (33. ábra).

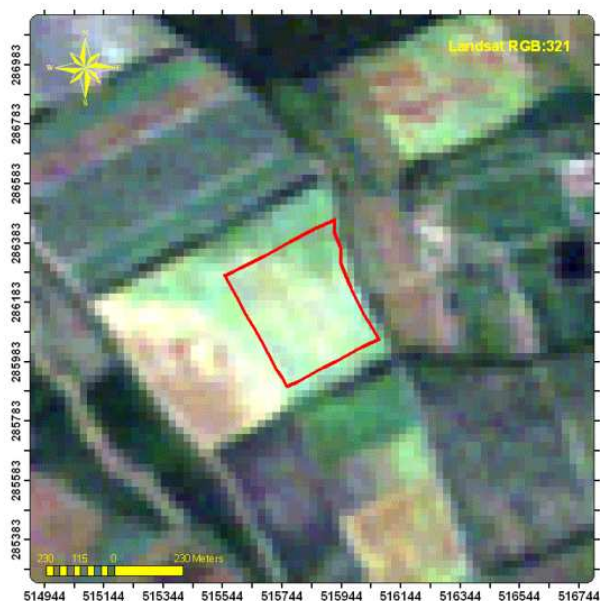


33. ábra: A NIR, vörös és zöld sávokból létrehozott hamisszínes kompozit kép

(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2007)

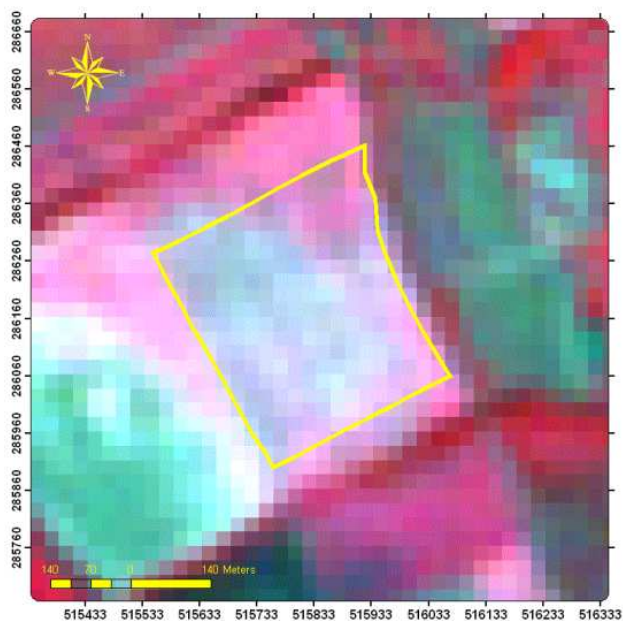
A vizsgálatok elvégzéséhez elsősorban a gazdálkodás szempontjából fontos **növényborítottság** vizsgálatára van szükség. Ehhez a műholdképeket az **eredeti színeknek megfelelően** a Landsat műhold tematikus térképező (TM) műszerének TM3, TM2, TM1 sorrendben a vörös, zöld, illetve kék színek hozzárendelésével jeleníthetjük meg. Az elterjedt jelölés alapján ez a következőképpen néz ki: RGB:321. A műholdképek ezen sávjainak megfelelő színskálájú kombinációjaként így megjeleníthető a **valódi színeket reprezentáló kép**, ami leginkább egy **fényképhez** hasonlít (34. ábra).

Ugyanakkor, ha az eltérő képsávokhoz **nem az eredeti színeket rendeljük hozzá**, hanem a színskálán eltolt hamis színek, akkor ennek megfelelően **egyes tulajdonságok hangsúlyosabban jelennek meg a műholdképen**. Amennyiben a hamisszínes felvételek megjelenítése a cél, úgy a **közeli infravörös tartományt a vörös színskálával kell ellátni**, az eredetileg **vörös tartományt a zöld színskálát kapja**, a **zöld tartományt pedig a kék skálájának hozzárendelésével kell megjeleníteni**. Ebben az esetben az RGB:432 (azaz a TM4, TM3 és TM2 sávok) megjelenítést alkalmazzuk (35. ábra).



34. ábra: Landsat TM 3,2,1 sávokból megjelenített RGB kép

(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2007)



35. ábra: Landsat TM 4,3,2 sávokból megjelenített hamisszínes RGB kép

(Forrás: MILICS G, 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2007)

A műholdképek jellemző képsávjából különböző eljárásokkal eltérő indexek hozhatók létre. A **mezőgazdaság** számára a **vegetációs indexek** alkalmazása jelenthet további adatnyerési lehetőséget. A vegetációs indexek kiszámítása a **látható tartomány vörös (VIR)** a **közeli infravörös (NIR)** és a **középső infravörös (MIR)** csatornák felhasználásával történik. Az indexek elkészítésének **elsődleges célja** a precíziós gazdálkodás szempontjából, hogy a felszint borító **növénytömeget (vegetáció)** meghatározva **eltérő tulajdonságok felmérését vagy becslését végezhessük el**. A növények **zöldtömegének ismeretében** a táblán belüli fejlődési különbségekre, ezáltal **a hozamokra**, esetleges **növénybetegségekre**, vagy a **várható minőségi paraméterekre is következtetni lehet**. A vegetációs indexek értelemszerűen **származtatott adatok**, hiszen azokat egyes sávok, vagy egyes hullámhosszok kiválasztásával a **sávok relációja** révén kapjuk.

A legközismertebb vegetációs index a **normalizált differenciál vegetációs index (NDVI)**. Az NDVI indexen kívül számos lehetőség nyílik a vegetáció meghatározására (Függelék). A legtöbb index a **talajról visszaverődött sugárzás** hatását külön nem veszi figyelembe, ám egyre intenzívebb kutatás folyik annak érdekében, hogy a talaj

eltérő paramétereit figyelembe vevő indexeket hozzanak létre, kiküszöbölve ezzel ezt a **zavaró hatást**. A származtatott **indexek létrehozása** raszteres alapú **térinformatikai** szoftverek használatával történt. Egyes indexek a szoftverben automatikusan létrehozhatók, másokat a megfelelő matematikai formula beírásával lehet kiszámítani. A multispektrális **vegetációs indexek** összehasonlító elemzését a **2001-es évre (kukorica)** és a **2007-es évre (árpa)** végeztem el.

5.3. Eredmények

A műholdas adatgyűjtés eredményeként megjelenő **műhold felvételek készítésének időpontja a gazdálkodótól független**. Ezért csak a Nemzeti Űrfelvétel Archívumban elérhető műholdképek elemzésére kerülhetett sor. A **képsávok megjeleníthetők egyenként**, akár **szürkeárnyalatos**, akár **színárnyalattal** ellátott formában. Lehetőség van arra is, hogy az **egy-egy sávokat rétegenként egymás fölé helyezzük**, így alkotva meg a **látható fény tartomány alapján a valódi**, illetve a **közeli infravörös tartomány bevonásával a hamisszínes felvételeket**. A műholdkép elemzésben jártas szem a felvételek vizuális elemzésével is képes egyszerűbb következtetéseket levonni.

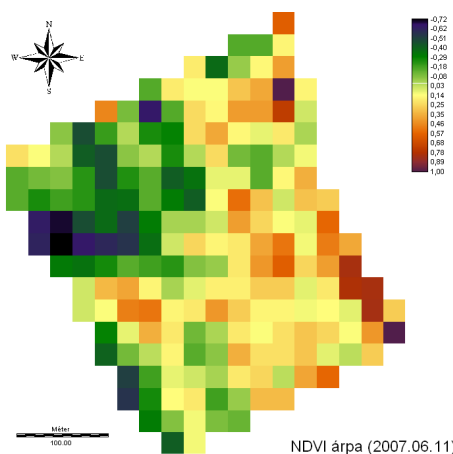
Ahhoz, hogy további, főként **a növények zöldtömegére utaló** képeket alkossunk, **hamisszínes** felvételek előállítására, vagy az egyes sávok **kombinációjával vegetációs index fedvények** létrehozására van szükség.

Az egyes képpontokat reprezentáló digitális értékek alapján az eltérő sávok között logikai és aritmetikai műveletek is elvégezhetők. A **több sáv összevonásával**, vagy a **matematikai műveletekkel létrehozott újabb rétegek** származtatott képek.

A legelterjedtebb vegetációs index a **Normalizált Differenciál Vegetációs Index (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)**, aminek **célja**, hogy **elkülönítse a vegetációval borított területeket az egyéb felszínborításúaktól**.

$$\text{Képlete: } NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})} \text{ Landsat képsávok esetén: } NDVI = \frac{(TM_4 - TM_3)}{(TM_4 + TM_3)}$$

Az index a domborzati hatásokat maximálisan kiszűri, és a nulla értékkel való osztás hatását is minimálisan csökkenti. Az index a -1 és +1 közötti tartományban jelenít meg értékeket. A gyakorlatban a **pozitív értékű pixelek** a **zöldfelületeket**, a **negatív értékű pixelek** pedig a **vegetációmentes** felszínt jelölik. Az általam feldolgozott műholdkép az **árpa érési szakaszában** készült, ezért a **skála értékei kissé eltérnek** az elméleti értékektől (36. ábra).



36. ábra: Az NDVI vegetációs index alkalmazásával megjelenített fedvény

(Forrás: MILICS G., 2007)

Az **eltérő fedvények** (egy vagy több sáv) illetve a **vegetációs indexek** alapján mind a **várható hozam**, mind a **minőségi paraméterek** becsülhetők. A **felvételezés időpontja** az egyes növények vegetációs periódusának függvényében **jelentősen befolyásolhatja a becslés eredményét**.

Kukorica esetén (a 2001-es év adatai alapján) a **május végén** végzett becslés minimális mértékben tért el a **legjobb eredményt** adó **júniusi** hozam előrejelzéstől ($r=0,6336 / n=205/$).

A 2007-ben **árpára** elvégzett becslés során a **június közepén** készített kép eredménye adta a **legjobb korrelációt** ($r=0,6241 / n=206/$).

A **minőségi paraméterek** becslése során **jobb eredményt** lehet elérni, mint a **hozambecslés** során.

A multispektrális műholdkép **összetett regresszió** analízise a **fehérjetartalom** becsléséhez a gyakorlatban jó eredménynek számító $R^2=0,7$ körüli **korrelációt** mutatott. A **június elején** készült műholdkép alapján végzett összehasonlítás $r=0,8701, /n=206/$ értéket eredményezett.

6. A hiperspektrális képalkotás alkalmazása a precíziós növénytermesztés során

6.1. Kutatástörténet

Az egyre inkább teret hódító **hiperspektrális adatgyűjtés** előnyei közé tartozik, hogy nem csak széles sávban képes információt nyújtani az egyes növényekről, hanem **keskeny**, jól behatárolható **hullámhosszokon** tudja mérni az egyes tulajdonságokat. BERTELS, L. et al. (2005) a növényekre általánosan értelmezett és használt hiperspektrális sávok bemutatásakor a leveleket felépítő anyagokra elkülönítve is megadja az elnyelési maximum értékeit. Mérései alapján a klorofill-a kimutatásához ezek alapján a 420, 490 és a 660 nanométeres hullámhossz, a klorofill-b esetén a 435 és a 643 nanométeres hullámhossz, a béta-karotin kimutatásához a 425, 450 és 480, az alfa-karotin esetén a 420, 440 és 470 nanométeres hullámhossz elnyelési maximumú spektrális sávok használhatók fel. A vizsgálatok elvégzéséhez az **AISA Eagle** hiperspektrális képalkotó rendszert használták, és bár nem kifejezetten mezőgazdasági céllal készítették publikációjukat, eredményük a mezőgazdaság számára is hasznosnak mutatkozott.

A repülőgépes hiperspektrális felvételezés **első magyarországi alkalmazására** 2002-ben került sor. Ekkor öt különböző területen készültek nemzetközi kooperáció keretében felvételek. HARGITAI H. et al. (2006) az erdőtípusok elkülönítésére használta a hiperspektrális légifényképezés kínálta lehetőségeket. JUNG A. (2005) a városi stressz alatt álló növények vizsgálatára, MUCSI L. et al. (2000) korábbi munkája folytatásaként a nehézfémek és a kőolaj szennyezettség kimutatására használta. A **mezőgazdaság** szempontjából kiemelkedő jelentőségű gyomkutatás, mint résztudomány szintén lehetőséget lát a hiperspektrális technológia alkalmazásában. Az oly sok gondot okozó parlagfű feltérképezésének használatához KARDEVÁN P. et al. (2004) határozták meg a parlagfű reflektancia spektrumait. A hiperspektrális képalkotásban rejlő lehetőségeket a talajvédelem szempontjából is megvizsgálták, ami szintén szorosan kapcsolódik a mezőgazdasági alkalmazások köréhez (PECHMANN I. et al., 2004). KARDEVÁN P. et al. (2003) különböző talajtulajdonságokat is vizsgált hiperspektrális távérzékelési eszközökkel. A hiperspektrális képalkotó rendszer, annak sokoldalú alkalmazhatósága miatt, felkeltette a távérzékeléssel foglalkozó szakemberek figyelmét is. TAMÁS J. et al.

(2005) az NDVI vegetációs index segítségével a növényzettel nem borított lejtős területeket (felhagyott bányaterületeket) határolta le sikeresen. **A technológia alkalmazhatóságáról és várható gyakorlati elterjedéséről** PAPP Z. – FENYVESI L. (2007) közölnek **összefoglaló munkát a mezőgazdasági és környezetgazdálkodási lehetőségeket kiemelve. Az általam fellelhető irodalomban a magyarországi felhasználók nem közöltek hiperspektrális képalkotást alkalmazó távérzékelési adatgyűjtést a precíziós (helyspecifikus) növénytermesztés vizsgálatához**, így legjobb tudomásom szerint **a dolgozat ebben az értelemben úttörő jellegű**. Ennek egyik valószínűsíthető oka a minden technológiai elemet magába foglaló precíziós gazdálkodás kívántnál kisebb területre való elterjedése, valamint a hiperspektrális képalkotás nívum jellege az országban.

A **műholdas (multispektrális) adatgyűjtés és a hiperspektrális légifényképes adatgyűjtés összehasonlítását** különböző kutatók, kutatócsoportok is elvégezték. A mezőgazdasági alkalmazások során elsősorban a vegetációs indexek és az eltérő tulajdonságok (hozam, minőségi adatok, levélfelületi index, szármagasság, növényborítottság, stb.) közötti összefüggéseket vizsgálták különböző növények esetén. Különösen hasznos WHITING, M.L. et al. (2006) munkája, amely általánosságban foglalja össze a távérzékelésben alkalmazott **multispektrális és hiperspektrális vegetációs indexeket**. Ennél a munkánál a dolgozat témájának szempontjából tovább mutat THENKABAIL, P.S. et al. 2000-ben megjelent műve, amely meghatározta a hiperspektrális vegetációs indexekhez használható sávközepeket és azok összefüggéseit a mezőgazdasági növények esetén (gyapot, burgonya, szójabab, kukorica és napraforgó növényekre). A munka során a 350 és 1050 nanométer közötti spektrum vizsgálatát végezték el, majd végső konklúzióként **12 hullámhosszt** jelölnek meg a hiperspektrális adatgyűjtés számára, **amelyekkel a legtöbb növény vizsgálatát el lehet végezni**. A szerzők egy későbbi munkájukban a multispektrális és a hiperspektrális vegetációs indexek összehasonlításával egyéb szántóföldi növények tulajdonságait is összevetették. Ekkor árpára is elvégezték a vizsgálatokat, de a legfontosabb fenológiai tulajdonságokon kívül a vegetációs indexek és a hozam kapcsolatát hozammérés hiányában nem elemezheték (THENKABAIL, P.S. et al., 2002).

Mivel a hiperspektrális távérzékelés, mint a hozambecslés adatforrásául szolgáló adatgyűjtés, nemzetközi szinten is csak az elmúlt néhány évben került a kutatások kiemelt irányjai közé, az eltérő földi mérések ellenőrző adatainak összehasonlításával eltérő növényekre, egyre pontosabb indexeket alkotnak meg. HABOUDANE, D. et al. (2002) például klorofill meghatározáshoz kukoricában talált új indexeket (TCARI és OSAVI), úgy, hogy a távérzékelte kép pontosságát befolyásoló háttérként megjelenő talaj tulajdonságait is figyelembe veszi, zavaró hatását igyekszik kiküszöbölni.

A multispektrális műholdas hozambecslés mára a nagy területeken gazdálkodók számára elsődleges adatforrássá vált, ugyanakkor a **helyspecifikus gazdálkodást** folytató, kisebb méretű táblák esetén a **jobb geometriai és spektrális felbontású hiperspektrális légifelvételzés alkalmazása** várhatóan megbízhatóbb adatforrásul szolgál majd a jövőben, mint a műholdas adatgyűjtés.

PETTERSSON, C.G. – ECKERSTEN, H. (2007) tavaszi árpában végzett kutatásokat annak megállapítására, hogy Észak-Európában milyen mértékben használható a fehérjetartalom előrejelzését szolgáló TCARI (Transformed Chlorophyll in Absorption Index, azaz transzformált klorofill elnyelési index) vegetációs index. Munkájukban több jelentős tényezőt vizsgálva (vetés ideje, hőmérséklet stb.) a fehérjetartalmat 78%-os biztonsággal előre tudták jelezni.

WRIGHT, D.L. et al. (2007) online elérhető írásában a szemtermés fehérjetartalmának meghatározásáról számol be. Az eredményei között többek között arról tájékoztat, hogy a stresszelt és a megfelelően táplált növények közötti különbségek kimutathatók távérzékelési eszközökkel. A megfigyelt időszakban kimutatta, hogy a nitrogén túltáplálás távérzékelési adatnyeréssel és helyes, helyspecifikus beavatkozással megszüntethető és így költséghatékonyabb a módszer.

Szintén a minőségi paramétereket meghatározó nitrogén, illetve víz által okozott stressz távérzékeléses vizsgálatát tűzte ki célul TILLING, A.K. et al. (2007). Kutatásaikat Ausztráliában végezték, ahol a nitrogén a legnagyobb mennyiségben megjelenő mezőgazdasági célú tápanyag. A nitrogénmennyiség optimalizálása ezért az ausztrál kontinensen is elsődleges feladat, mind környezetvédelmi, mind költségkímélő szempontból. A távérzékeléssel nyert vegetációs indexek és a nitrogéntartalom közötti korrelációs koefficiens búza esetén nem haladta meg méréseik alapján a 0,5-ös értéket,

aminek okát a háttérben megjelenő talaj, illetve hőmérsékleti különbségek zavaró hatásában látják.

Az idézett művek több különböző szántóföldi növényre végezték el a vegetációs indexek, illetve a távérzékelési adatnyerési eljárások alkalmazhatóságát a minőségi paraméterek meghatározására. Az irodalmi adatok alapján feltételezhető volt, hogy az árpában is jó megbízhatósággal végezhető el a minőségi paraméterek (elsősorban fehérjetartalom) becslése. Több forrás is arra engedett következtetni, hogy a minőségi mutatók becslése ennél a növénynél szorosabb korrelációt eredményez, mint a mennyiségi (hozam) becslés.

6.2. Anyag és módszer

A **hiperspektrális adatok rögzítésére** a 2007-es évtől az Európai Unió és a Magyar Köztársaság Kormányának társfinanszírozásával, a Nemzeti Fejlesztési Terv keretében, a GVOP-3.2.1-2004-04-0208/3.0 és a GVOP-3.2.1-2004-04-0378/3.0 azonosító számú projektek keretében beszerzett hiperspektrális képalkotó rendszer segítségével kerülhet sor. A képalkotó rendszer alapja az **AISA-Dual** szenzor (Spectral Imaging Ltd., Finnország), ami a két különböző szenzor, az **AISA Eagle** és az **AISA Hawk** összeépítésével született meg (37. ábra).



37. ábra: Az AISA-Dual hiperspektrális szenzor felépítése
(Forrás: AISA Dual, Spectral Imaging Ltd., Finnország)

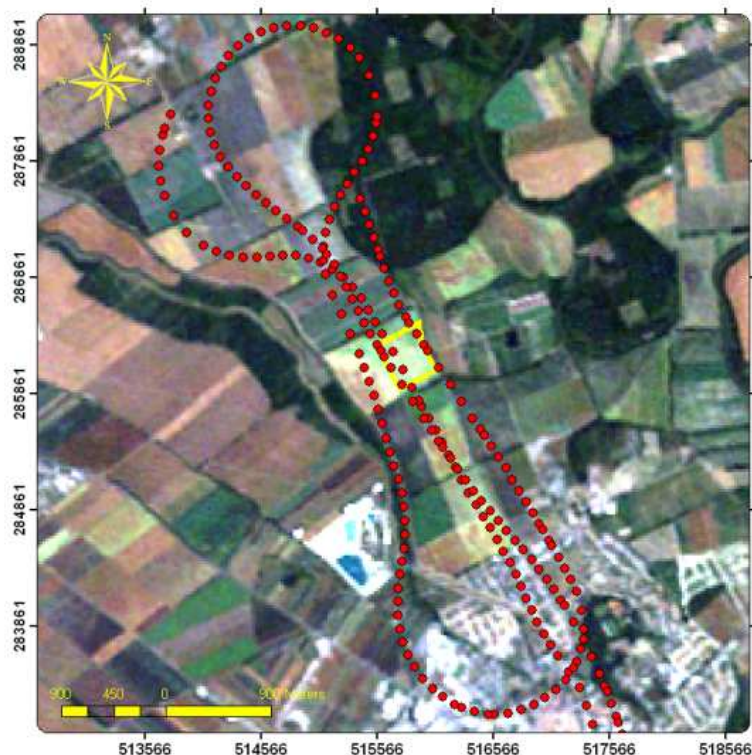
A két szenzor érzékelői lehetővé teszik, hogy **400 nm és 2450 nm között 359 különböző keskeny hullámhossz-sávban készülhessen légifénykép** egy vizsgálni kívánt területről. A **repülés megtervezésekor** figyelembe kellett venni néhány olyan körülményt, amit a **szenzor látószöge** határoz meg. Jelen esetben az **Eagle szenzor 18,04 mm fókusztávolsága miatt a repülési magasság** a felszín felett **879 m** -re volt, hiszen a cél az volt, hogy **1 méteres** felszíni pontosságú képpontokhoz jussunk. A repülési paraméterek beállítását megkönnyíti a műszerhez tartozó táblázat. Az aktuális mérési paramétereket bemutató táblázatot a függelék tartalmazza.

A hiperspektrális légifényképezés repülési feladataira az **Aero Média Légiszolgáltató Kft.** flottájába tartozó Piper Aztec típusú (38. ábra) repülőgépet alakították át. Az átalakításra azért volt szükség, hogy a szenzorok függőlegesen nézzenek lefelé, ezért a repülőgép testét meg kellett bontani. A műszerek beállításához szükséges volt a mintaterület befogó koordinátáinak megadása (EOV: 515500;286500, 516100;285900).



*38. ábra: A Piper Aztec típusú kisrepülőgép
(Fénykép: MILICS G, 2007)*

Mivel a megadott koordináták által befogott terület és a kívánt **földi geometriai felbontás** nem tette lehetővé, hogy a mintaterületet egy repülési útvonallal lefedjék, ezért a felvételezéshez (tervezetten) **kétszer** is el kellett repülni a tábla felett (39. ábra).



39. ábra: A repülési útvonal 2007.06.19.

(Forrás: MILICS G., 2007; Háttérkép: Copyright: ESA, feldolgozta az EURIMAGE és a FÖMI, 2007)

A repülési útvonalat a gépen elhelyezkedő műszerek automatikusan rögzítették, ezek alapján a teljes útvonal megjeleníthetővé vált. Mivel a tábla felett többször is el kellett repülni, illetve több fordulót is végre kellett hajtani, lehetőség nyílt arra, hogy hagyományos fényképezőgéppel elkészítsék a mintaterület távlati képét is (40. ábra). Természetesen a táblán túl a hiperspektrális felvételeket rögzítő rendszer nem készít felvételeket. Ennek elsődleges oka, hogy a 359 csatornás felvételeknek nagy a helyigénye. Ezért is kiemelten fontos, hogy a vizsgálati terület befogó koordinátáit kellő pontossággal adjuk meg. A földi geometriai pontosságot is elég csak bizonyos szintig javítani, ugyanis ha megelégszünk rosszabb geometriai felbontással (mondjuk az 1×1 méter helyett 2×2 méteres pixelméret), akkor a repülési magasság növelhető, ezáltal nagyobb területre nyílik rálátás. Ez újabb hibaforrás kiküszöbölését jelenti, mivel később nem lesz szükség több felvétel illesztésére (mozaikolás).



40. ábra: A mintaterület légifényképen (a kép a repülő fordulásakor készült)

(Forrás és fénykép: KOVÁCS L., 2007)

A hozambecsléshez szükséges adatok meghatározásához az irodalomban jelölt források közül több is törekedett arra, hogy meghatározza a **használható spektrális tartományokat**. Több vizsgálat (THENKABAIL, P. S. et al. 2000, THENKABAIL, P. S. et al. 2002) is **leszűkíti a felhasznált hiperspektrális sávok számát 12-re**. A jelen vizsgálat során a felvételezést az **összes elérhető sávban elvégeztem** annak érdekében, hogy a **teljes spektrumról információt szerezhessenek**. Ez ugyan nagyobb helyigényt kívánt, viszont az adatfeldolgozás során előnyt is jelentett.

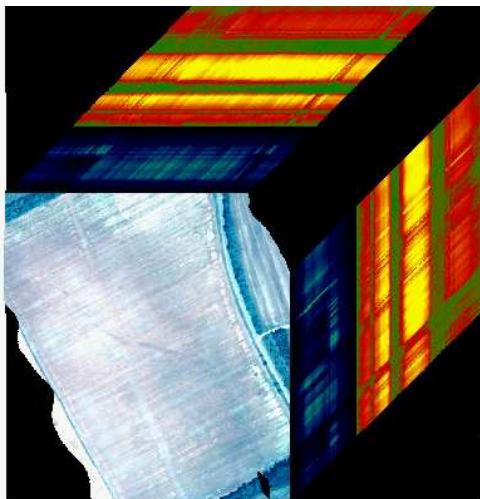
A minőségi paraméterek jellemzéséhez hasznosítható tartományok meghatározása tavaszi árpában a **spektrális görbék** elemzésével történt. Az ellenőrző adatok több forrásból is (kézi mintavétel laboranalízissel kiegészítve, illetve folyamatos minőségi paraméterek mérése) rendelkezésre álltak. A hiperspektrális légifényképek a teljes területet lefedték, a pontszerű méréseket ehhez igazítva jelenítettem meg.

A **hiperspektrális légifényképek radiometriai korrekcióját** a kép készítője (esetünkben a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának munkatársa) átadás előtt elvégezte.

A kép **geometriai korrekcióját** illetve mozaikolását megegyezés szerint szintén elvégezheti a felvételt készítő, amennyiben rendelkezésére áll megbízható referencia adat. Ha referenciaadat nem áll rendelkezésre, akkor automatikus korrekció hajtható végre, aminek a pontossága nem minden esetben megfelelő. Amennyiben a képet geometriai értelemben véve nyers formában adja át készítője, a georeferálást legcélszerűbb **földi kontrollpontok (GCP, Ground Control Point)** alapján elvégezni. Földi kontrollpontként használhatók olyan jellegzetes objektumok (pl. egy magányos fa vagy egy villanyoszlop), amelyek határozottan megjelennek az 1 méteres élességű képeken. A módszer hátránya, hogy ehhez szükséges egy korábbi, jó felbontású, georeferált /műhold/kép, esetleg az egyes jellegzetes objektumok helyzetét nagy pontosságú GPS-szel be kell mérni. A jelen dolgozatban felhasznált hiperspektrális kép **georeferálását egy 2004-ben készült 1 méteres élességű műholdkép** alapján végeztem, aminek a georeferálását a Földmérési és Távérzékelési Intézet végezte.

Az elemzéseket az **ENVI szoftverrel** végeztem (ITT Visual Information Solutions), ami elsősorban a hiperspektrális képek feldolgozására lett kifejlesztve. A képek beolvasását követően lehetőség nyílik az egyes képsávok szürkeárnyaltos megjelenítésére. A felvételek elemzéséhez az eltérő tulajdonságokkal rendelkező területeket reprezentáló (azaz eltérő jellemzőjű) vektoros fedvények alapján felvett spektrális görbék elemzésére volt szükség. Az egyes képpontok vagy a beállításoktól függően a környező képpontok átlagai alapján **három jellegzetes terület**, a kézi mintavétel és a szemrevételezés alapján feltételezett **átlagnál jóval alacsonyabb hozamú, az átlagos, illetve az átlagnál jóval magasabb hozamú** területekről felvett 8×8 képkocka átlagértékeinek 5-5 spektrális görbéjét vettem fel. A spektrális görbék alapján meghatároztuk azokat a képsávokat, amelyek hasznosak az elemzések során, azaz amelyeknek a spektrális görbéi eltérést mutatnak. Az eltérést mutató hullámhossz tartományok kiválasztását követően az egyes sávok adatait szürkeárnyaltos ábrán „**geotif**” formátumban exportáltam, így azok felhasználhatókká váltak a **geostatistikai elemzések** elvégzésére.

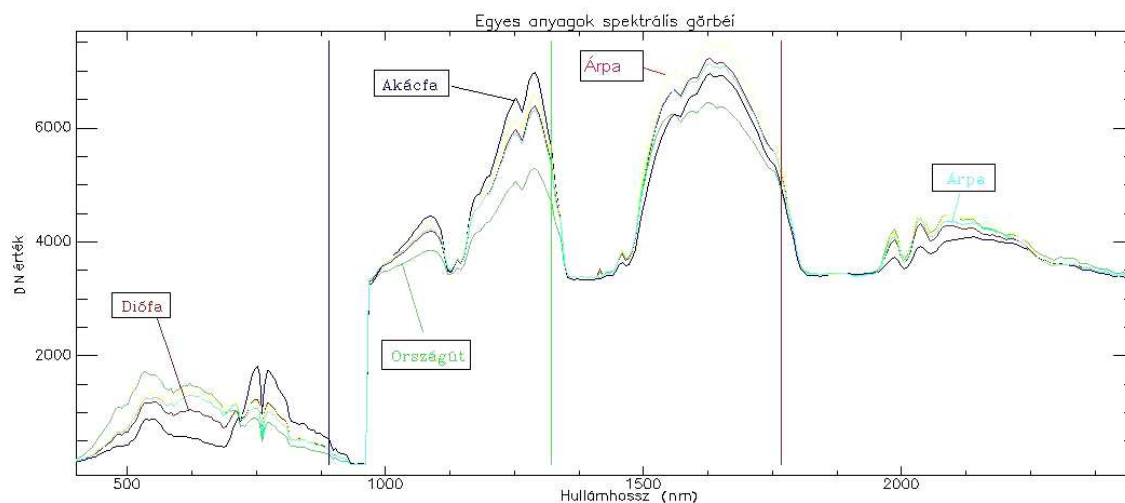
A kép **előfeldolgozása** (mozaikolás, georeferálás stb.) **után**, az adatmennyiség csökkentése miatt ebben az esetben is indokolt volt a **kép azon részének kivágása**, amely a kutatási területet magába foglalta, illetve a vizsgálatba be nem vont területek maszkolása, hogy a nem hasznosított képpontok az összehasonlító elemzéseknél ne okozzanak zavart. A kép ebben az esetben is raszteres alapon kerül feldolgozásra, így tehát az összes oszlop és sor valamilyen értéket takar. Ennek alapján a kép vágott **mérete 519×562 pixel**, azaz 291.678 képpont jelenik meg, amiből **a vizsgált terület 155.350 képponton** jelenik meg (azaz 15,535 ha). A 359 csatorna adatait egy képbe integrálva kirajzolható egy hiperspektrális kocka, ami az egyes képpontok intenzitásait jeleníti meg (41. ábra).



41. ábra: A 80/1-es táblára elkészített hiperspektrális kocka
(Forrás: MILICS G., 2007)

A spektrális görbék alapján meghatározott képsávok hasonlóan a multispektrális képekhez egymás fedvényeiként megjeleníthetők, így ebben az esetben is **lehetőség nyílik a valós-, illetve a hamisszínes ábrázolásra**. Mivel azonban az egyes színeket árnyalataikban több sáv is reprezentálja, a megjelenítés során **„finomabban” állíthatók be a színek**. A hiperspektrális kép megjelenítése nem minden sávon eredményez vizuálisan értelmezhető képet, hiszen a 359 sáv fedvényei közül mindet nem látható. A hiperspektrális képfeldolgozásnál az egyes színeket (RGB; vörös, zöld, kék) a sávok számával (pl. Band 66 vagy Band 132) vagy a keskeny sáv hullámhossztartományának középső értékével adható meg.

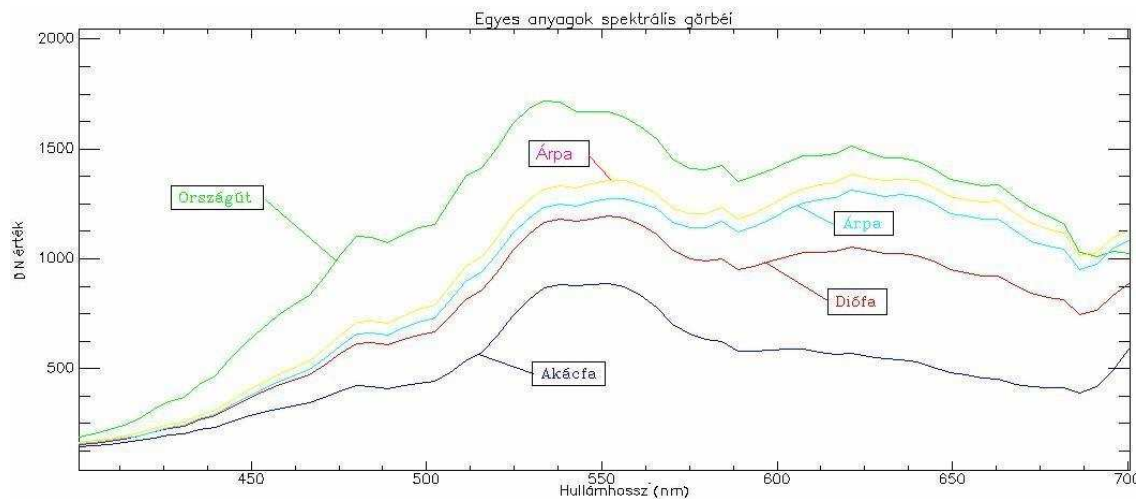
A helyismeret alapján az egy méteres felbontású képen **felvehető eltérő anyagok spektrális görbéi**. A légifényképről megállapított felszínborítások (diófa, országút, akácfa, illetve két eltérő területről származó árpa – egy magas, illetve egy alacsony hozamú terület) spektrális görbéi 400 és 2450 nanométeres tartományban egyértelműen mutatják a különbségeket (42. ábra). Az AISA Dual alkalmazása miatt az **Eagle** szenzor a **400-970 nm közötti tartományban 12 bites színmélységgel, 2,3 nm spektrális sávszélességgel**, míg a **Hawk** szenzor a **970-2450 nm tartományban 14 bites színmélységgel, 5,8 nm spektrális sávszélességgel** készíti a felvételeket. Az egyes hullámhosszokon (nm, x tengely) megjelenő értékek visszaverődési értéket jelölnek, ami dimenzió nélküli digitális érték (DN érték az y tengelyen).



42. ábra: Eltérő anyagok spektrális görbéi (400-2450 nm)

(Forrás: MILICS G., 2007)

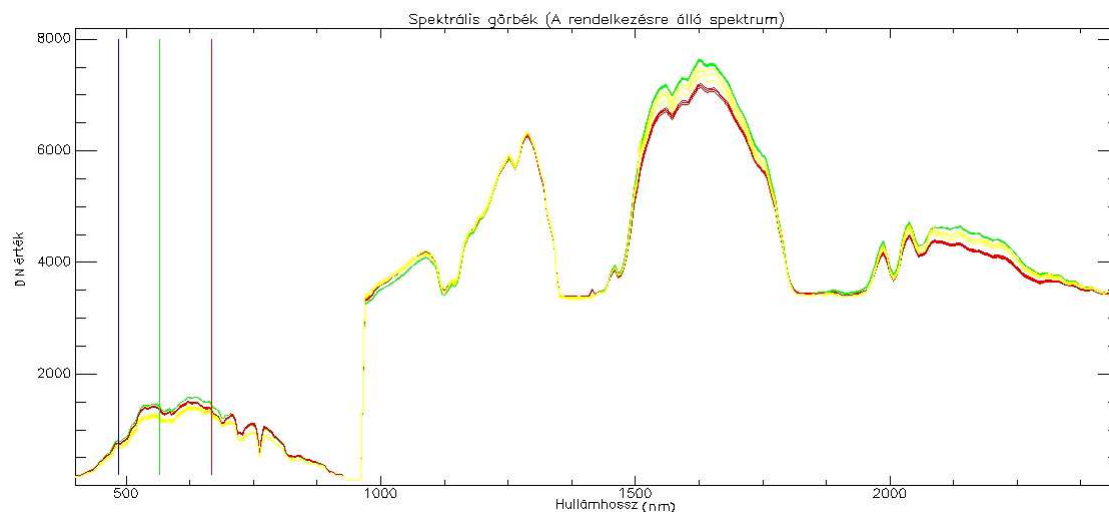
A látható fény tartományban felvett spektrális görbék pontosabban rajzolják ki az egyes anyagok közötti eltéréseket. Az eltérő tulajdonságokkal rendelkező területekről felvett **reflektancia görbék** a keskeny sávokban határozottabban különülnek el, mint a széles sávú távérzékelés során. Az **inhomogén tábláról** gyűjtött adatok az **árpában eltérő értékeket eredményeztek** (43. ábra).



43. ábra: Eltérő anyagok spektrális görbéi a látható tartományban

(Forrás: MILICS G, 2007)

A vizuálisan megállapítható táblán belüli jellegzetes területek alapján a spektrális görbék bizonyos tartományokban jellegzetes eltéréseket mutattak. A vörös színel jelölt világosabb színű, a sárga színel jelölt halványszürke és a zölddel jelölt sötétebb szürke árnyalatok az eltérő sávokban más és más sorrendet vettek fel a visszaverődést mutató függőleges tengelyen (44. ábra).

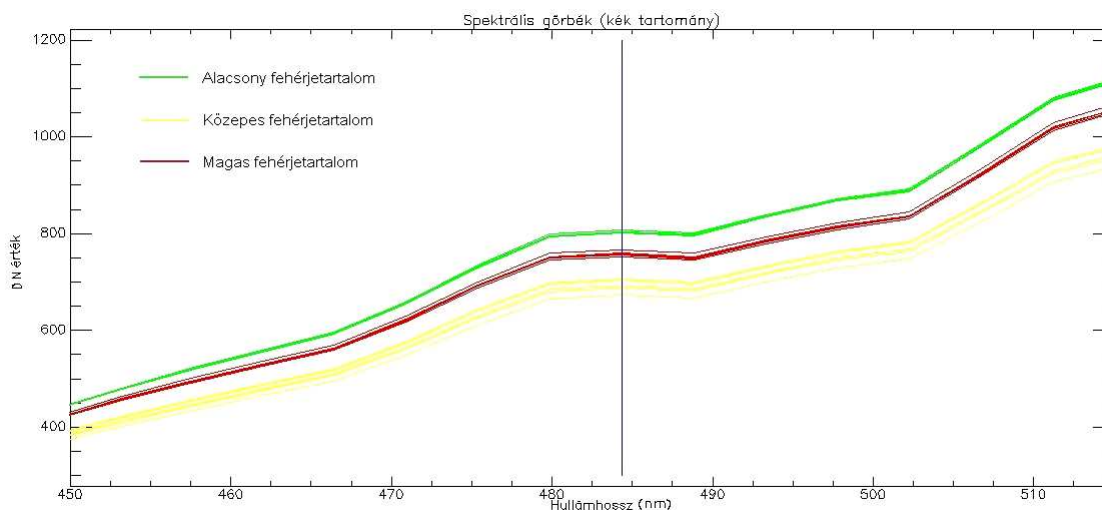


44. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi (400-2450 nm)

(Forrás: MILICS G, 2007)

A hiperspektrális felvételezésből kivágtam azokat a hullámhossz tartományokat, amelyek a Landsat multispektrális felvételein egy-egy sávnak feleltethetők meg.

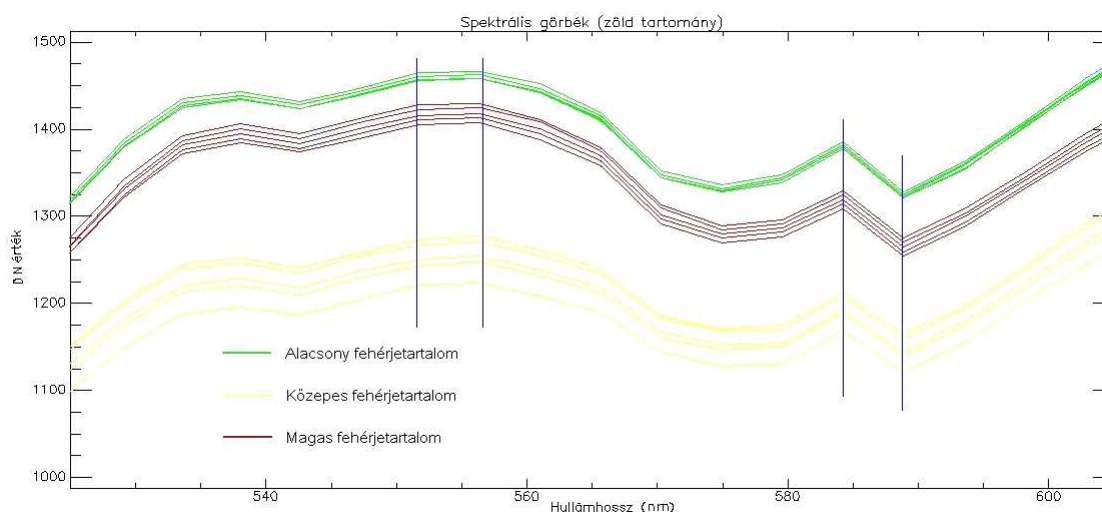
Megvizsgáltam a legalacsonyabb és a legmagasabb reflektanciójú pixelek szórását a legalacsonyabb hullámhosszú **kék sávban (0,45-0,515 nm)**. A kézi mintavételezés alapján létrehozott térkép alapján kiválasztott három eltérő területről gyűjtött spektrális görbék egymással közel párhuzamosan és közel azonos távolságokban futnak (45. ábra). Ebben a hullámhossztartományban a **legmagasabb visszaverődési értéket a legvilágosabb** szürke területről gyűjtött /alacsony hozamú/ és **zöld** színnel megjelenített görbe reprezentálta, a **legsötétebb** szürkeárnyalatot képviselő /magas hozamú/ **vörös** görbék valamivel alacsonyabb visszaverődési értékeket mutattak. A **legalacsonyabb** visszaverődési értékeket a **közepes fehérjetartalmú/hozamú** területeken felvett értékeket megjelenítő **sárga** görbék reprezentálták. **Ebből a tartományból** a számítások elvégzéséhez a legmagasabb visszaverődési értékeket mutató **515 nm-es** sávot választottam ki. A kék tartomány alatti területeket reprezentáló **ibolya színtartományból** az irodalmi adatok alapján a **422 és a 426 nm-es** sávokat használtam.



45. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a kék tartományban

(Forrás: MILICS G., 2007)

A **zöld tartományban (0,525-0,605 nm)** megjelenített spektrális görbék sorrendiségüket tekintve nem változtatták meg a helyüket, figyelemre méltó ugyanakkor, hogy az eltérő tulajdonságú területeket reprezentáló görbék közül a **közepes értékeket jelző sárga görbék /közepes hozam/** elkülönülnek a legsötétebb és legvilágosabb területek görbéitől. A vizsgálatok elvégzéséhez ebből a tartományból a **zöld színt leginkább reprezentáló 551 és 556 nm-es sávokat**, valamint a sárga felé hajló **584 és 588 nm-es sávokat** választottam ki (46. ábra).

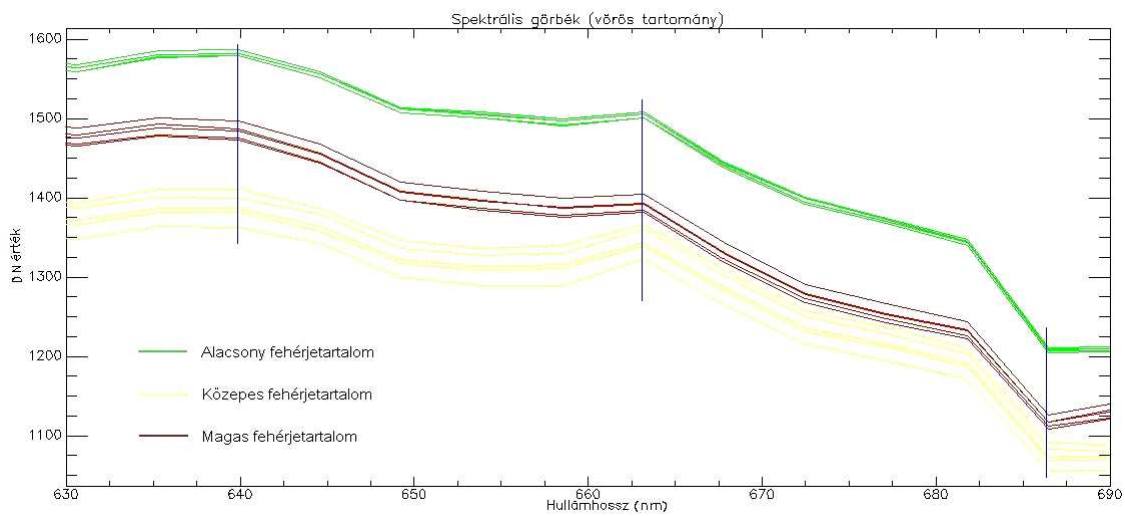


46. ábra: *Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a zöld tartományban*

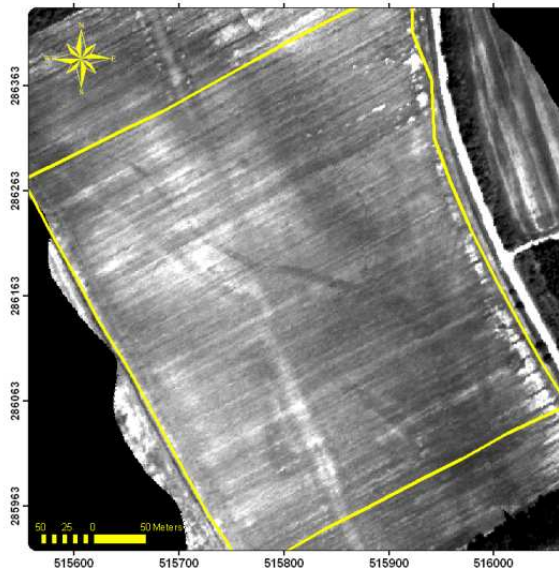
(Forrás: MILICS G., 2007)

A **0,630-0,690 nm** hullámhossztartományban megjelenő **vörös színek** a növények egyes tulajdonságainak érzékelésekor és megjelenítésekor a klorofill tartalmuk miatt különös jelentőséggel bírnak. Az eltérő területeket reprezentáló görbék egymáshoz való viszonya ebben a tartományban ismét megváltozik, hiszen az alacsonyabb színintenzitással megjelenő zöld görbehalmaz elválik a sárga és a vörös görbétől, amelyek a 663 és 686 nm között igen közel helyezkednek el egymás mellett, megnehezítve ezzel az eltérő tulajdonságok közötti megkülönböztetést. Ezek alapján a tartományból a 639, 663 és 686 nm-es sávközepű felvételeket választottam ki további vizsgálatra (47. ábra).

A tartományban megjelenített egyes sávok vizuálisan is értelmezhető képeket eredményeznek (48. ábra).



47. ábra: *Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a vörös tartományban*
(Forrás: MILICS G., 2007)

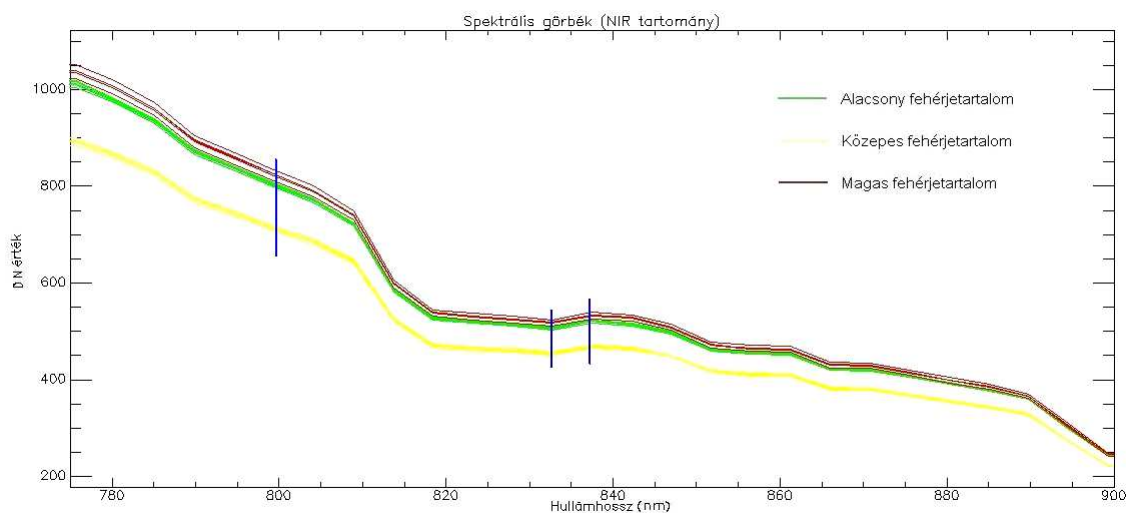


48. ábra: *A 649 nm-es B56-os csatorna*
(Forrás: MILICS G., 2007)

Bár a multispektrális érzékelők mérési tartományába nem esik bele a **621 nm**-es hullámhossz, az **irodalomban** megadott források **javasolják** használatát. A vörös tartományon enyhén túlnyúló **709 nm**-es sáv és környéke a hiperspektrális távérzékelés kitüntetett zónája, a szakirodalom **vörös él**, **vörös váll**, vagy **vörös letörési tartományként (red edge)** tartja számon, vizsgálata szintén indokolt.

A látható fény tartományt követő **közeli infravörös** zóna (Near Infra Red, NIR) a Landsat műholdak esetén a **0,775-0,900 nm**-es hullámhosszok közé esik.

A korábbi elrendeződéstől eltérően, ebben a tartományban a zöld /alacsony fehérjetartalmú/ és a vörös /magas fehérjetartalmú/ színekkel megjelenített területek a visszaverődést mutató grafikonon az elvárásoknak megfelelően felcserélődtek (49. ábra). A tartományon belül jelentkező különbségek miatt a legtöbb hiperspektrális vegetációs indexben kulcsszerepet játszó 800 nm-hez legközelebbi **799 nm**-es sávot választottam ki elemzésre, mivel a műszer ezzel a sávközéppel rögzítette a visszaverődési értéket. A további számítások elvégzéséhez a jellemző eltérést mutató **832 és 837 nm**-es sávokat is bevontam az elemésekbe. Mint azt korábban is tettem, a tartományhoz nem tartozó, de ahhoz igen közel álló sávot is bevontam a vizsgálatokba, ebben az esetben a **932 nm**-es tartományt.

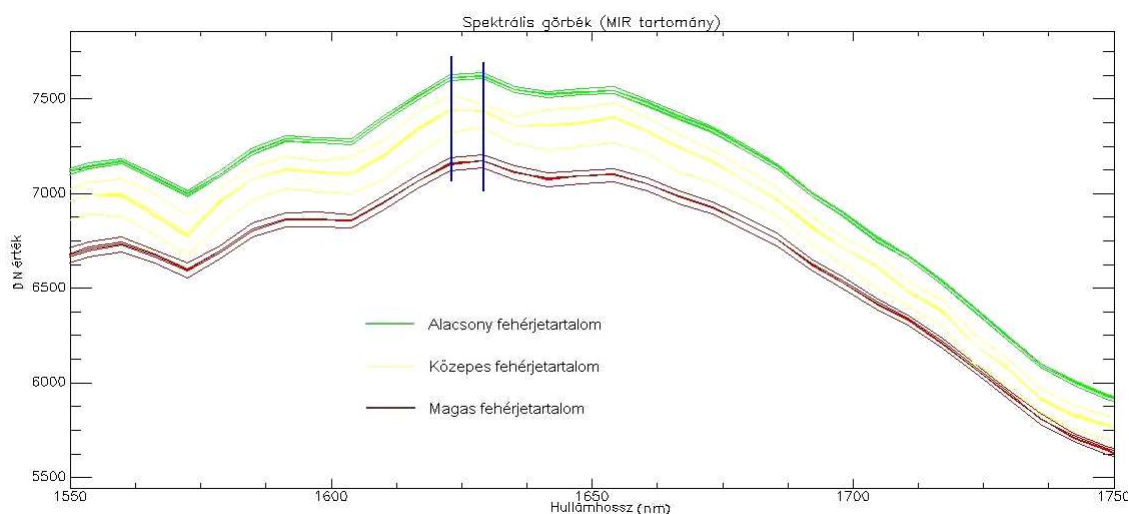


49. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a NIR tartományban

(Forrás: MILICS G, 2007)

A Landsat műholdak egyes tartományait követve a következő képen is megjelenített zóna a **középső infravörös (Middle Infra Red, MIR)**, ami az **1,55-1,75 μm** -es hullámhosszok közé esik. A tartomány az eltérő tulajdonságú területeket megjelenítő spektrális görbék visszaverődési értékeinek kirajzolásakor egy újabb variációt eredményez. A legmagasabb visszaverődési értékeket a legalacsonyabb fehérjetartalmat jelző zöld görbék mutatják. A közepes fehérjetartalmat jelző területekről gyűjtött

spektrális görbék közepes visszaverődési értékekkel jelennek meg, de a korábban megszokottól jóval nagyobb szórással, míg a legalacsonyabb visszaverődési értékeket a legmagasabb fehérjetartalmú területek produkálják (50. ábra). További feldolgozásra a sáv legmagasabb intenzitásértékének közelébe eső **1,622** és **1,629** μm -es sávokat választottam ki. Mivel ebben a tartományban már az **AISA Hawk 14 bites színmélységű** műszer érzékeli a visszaverődési értékeket, az y tengely értékei **magasabb tartományba** kerülnek.



50. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a MIR tartományban

(Forrás: MILICS G., 2007)

A multispektrális tartományok közül végül a Landsat-5 műhold tematikus térképező szenzor 7 csatornájának (TM7) megfelelő **közepes infravörös tartomány (2,09-2,35 μm)** megjelenítésére került sor. A tartomány a görbék elrendeződését tekintve nem mutatott változást, eltérés csak a közepes területek szórásának normalizálódásában figyelhető meg. A számításokhoz a **2,138 nm**-es sávot választottam, ami a legmagasabb visszaverődési értékeket mutatta.

A spektrális görbék elemzésekor a multispektrális érzékelési tartomány sávjain kívül eső visszaverődési görbe részletek esetén is kimutathatók voltak különbségek az eltérő intenzitású területek esetén. A **jellegzetes sávok kiválasztása** a további feldolgozáshoz **ezenekben a tartományokban is megtörtént**. A kiválasztás után megjelenített középső infravörös sávok vizuális kiértékelésre teljesen alkalmatlanok voltak. A **távérzékeléssel nyert adatok információtartalmát** azonban **nem minden**

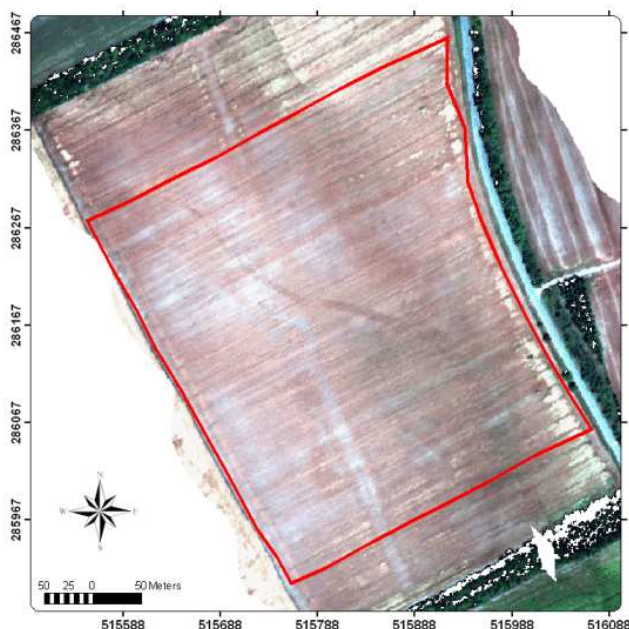
esetben határozza meg a vizuális értékelhetőség, ezért a sávok vizsgálatát nem vettem el. A további felhasznált hiperspektrális sávok ezek alapján az **1,088, 1,237, 1,289, 1,836, 1,930, 1,987, 2,006, 2,037 és a 2,056 μm** -eket reprezentáló sávok.

A hiperspektrális légifelvételzéssel gyűjtött, majd a spektrális görbék elemzésével kiválasztott sávokat az **ENVI** szoftverben jelenítettem meg, majd a további felhasználás és elemzés érdekében az **IDRISI** térinformatikai szoftverbe exportáltam.

6.3. Eredmények

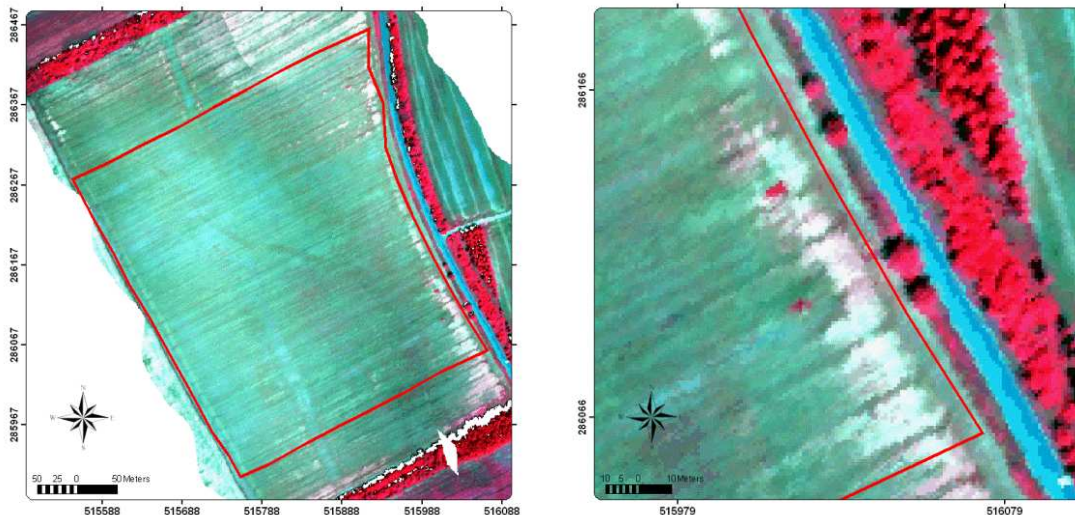
A multispektrális képekhez viszonyítva a **hiperspektrális felvételek előnyei**, hogy **pontosabban tervezhető a felvételezés időpontja**, a **felbontás** 25 méteres pixelméret helyett **1 méteres** pontosságot ér el, illetve a **spektrális felbontás** miatt az egyes sávok kombinálása **jóval több variációs lehetőséget** hordoz magában.

A geometriai és spektrális felbontás nagymértékű javulása miatt a korábban nem észlelt befolyásoló tényezők is kimutathatóvá váltak már a **látható fény tartományban** a vizsgált területen. Megfigyelhető a felvételen a táblát keresztülzelő földalatti vonalas létesítmény (**csővezeték**), illetve a vízgazdálkodást, kimosódást és ezzel tápanyaggazdálkodást befolyásoló **eltemetett meder** is (51. ábra).



51. ábra: A 80/1-es tábla B65-ös, B30-as és B 14-es hiperspektrális sávok alapján készített RGB kompozitja
(Forrás: MILICS G., 2007)

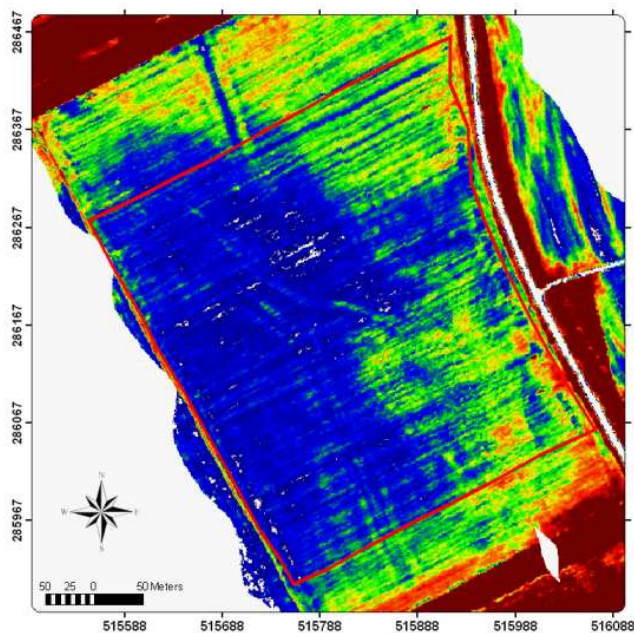
A hamisszínes fényképen egyértelműen látszik a táblát szegélyező fasor, illetve a megfelelően kinagyított képen a tábla melletti diófák, valamint parlagfű foltok is kirajzolódnak (52. ábra).



52. ábra: A 80/1-es tábla hiperspektrális hamisszínes kompozitja és kinagyított része

(Forrás: MILICS G, 2007)

Az NDVI vegetációs indexet megjelenítő képen (53. ábra) egész kis foltokat is meg tudunk figyelni.



53. ábra: A 80/1-es tábla hiperspektrális NDVI képe

(Forrás: MILICS G, 2007)

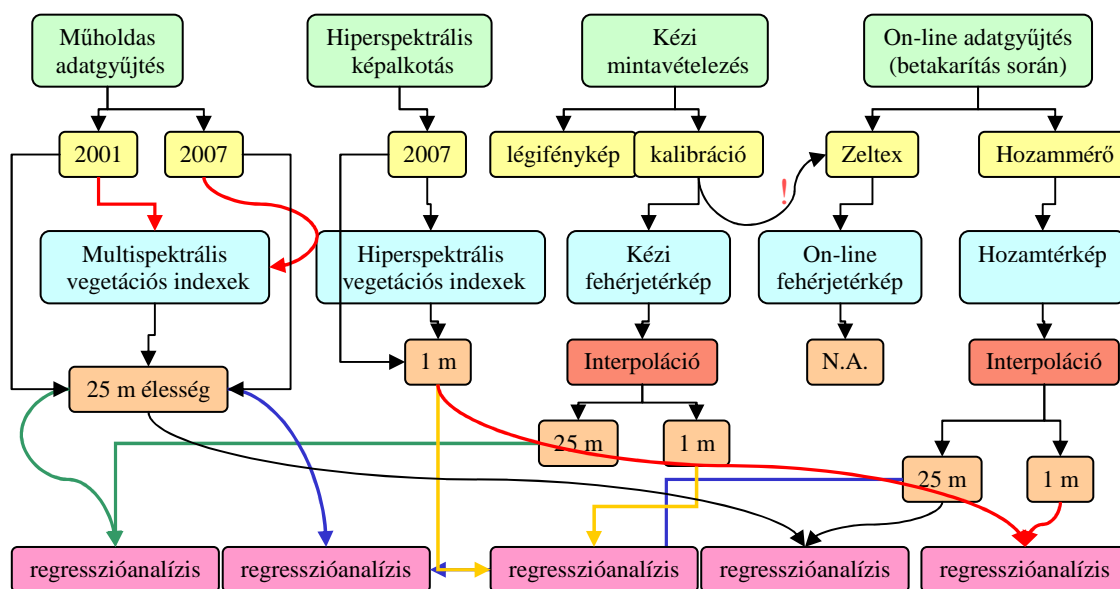
A **hiperspektrális képalkotó rendszerrel készített felvételek alapján meghatározhatók az egyes növények esetén alkalmazható leghasznosabb (keskeny) hullámhossz sávok**, amelyek segítségével az adott fajra vonatkoztatott **vegetációs indexek** létrehozása a legcélszerűbb. Az irodalomban megadott egyes hiperspektrális indexek kiszámításához a következő sávokat használtam: $\lambda=550, 670, 700$ és 800 nm (HABOUDANE, D. et al., 2002). Az **AISA Dual** hiperspektrális képalkotó rendszer az irodalomban megtalálható forrásoknál **szélesebb spektrumban** képes a felvételek elkészítésére. Ez indokolta, hogy elvégezzem a kézi mintavételezésből származtatott **fehérjetartalom fedvény alapján** a jellegzetes területekre a **spektrális görbék vizsgálatát**. A megfelelő eltéréseket mutató hullámhosszokon kiválasztott képek egyenként, illetve az egyes sávok eltérő relációiként (pl. vegetációs indexek) **összevethetőkké váltak** a korábban elkészített **hozam, illetve fehérjetérképekkel**. Ezek alapján vizsgálhatóvá vált a hiperspektrális felvételek alkalmazhatósága a precíziós növénytermesztés számára mind a **hozambecslés**, mind a **szem fehérjetartalmának becslése** szempontjából.

7. Az eltérő forrásból származó fedvények geostatistikai összevetése

Az eltérő adatgyűjtési eljárásokkal szerzett információk **összehasonlításának célja** az volt, hogy **megállapítsam melyik eljárás megbízhatóbb**, költséghatékonyabb. Megvizsgáltam, hogy melyik módszerrel **becsülhető** pontosabban, illetve melyik módszerrel **mérhető** pontosabb **menyiségi és minőségi adat** egy precíziós mezőgazdasági szemlélettel és technológiával művelt táblán. Összehasonlítottam a multispektrális és hiperspektrális távérzékeléssel kapott adatokat az on-line hozammérés és szem fehérjetartalom mérés adataival, illetve a fehérjetartalomra vonatkozó kézi mintavételezést követő laboranalízis alapján készített fedvény eredményeivel. Az ebben a fejezetben ismertetett eredmények megítélésakor figyelembe kell venni, hogy **terepi körülmények** között történt az **adatgyűjtés**, tehát nem minden esetben kaptam a műszaki gyakorlatban elvárható szoros összefüggést.

A korábban ismertetett módszerekkel **raszteres fedvényeket** hoztam létre 25 illetve 1 méteres pixelmérettel. Az egyes képpontok hasonlóságát **regresszió analízissel**, illetve ahol erre lehetőség adódott **összetett regresszió analízissel** (Multiply Regression Analyzis) végeztem el. Ennek megfelelően az eredmények ismertetése során a regressziót reprezentáló „r” értéket használtam. Az analízis során is alkalmaznom kellett a **szűrőket**, eltérő esetben a nulla értéket felvevő nem hasznos képpontok aránya miatt eltolódna az analízis eredménye. A gyakorlat szempontjából indokolt a **vizuális elemzéssel** történő összehasonlítás is, hiszen a matematikai-geostatistikai módszerek nem minden esetben alkalmazhatók a gyakorlati felhasználók szempontjából, de **az eredménytérképek sok esetben enélkül is értelmezhetők**.

Az eltérő adatforrásokból származó fedvények összehasonlításakor a **hozambecslés lehetőségének vizsgálatához a hozamadatokat rögzítő (on-line) rendszer adatait** használtam **referenciaként**. Az összehasonlítás alapjául szolgáló hozamtérképeket mindkét interpolálási eljárással (krigelés és IDW) létrehoztam. A **fehérjetartalom becslésének** és az on-line fehérjetartalom-mérőműszer megbízhatóságának vizsgálatához **referenciaadatként** a kézi mintavételezésből, laboranalízissel meghatározott, **interpolálással származtatott** fedvény szolgált. Az elemzésekhez használt adatok relációit bemutató folyamatábrát az 54. ábra szemlélteti.

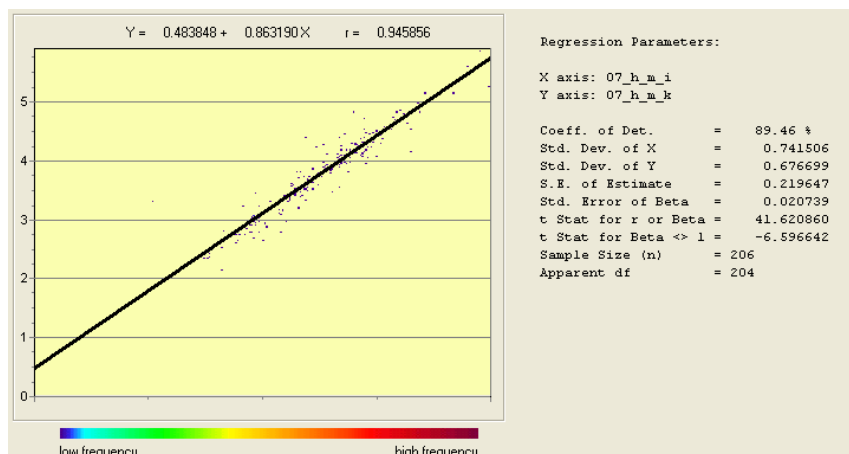


54. ábra: Az összehasonlító elemzések folyamatábrája

(Forrás: MILICS G., 2007)

7.1. Az interpoláció hatása a hozamtérképre

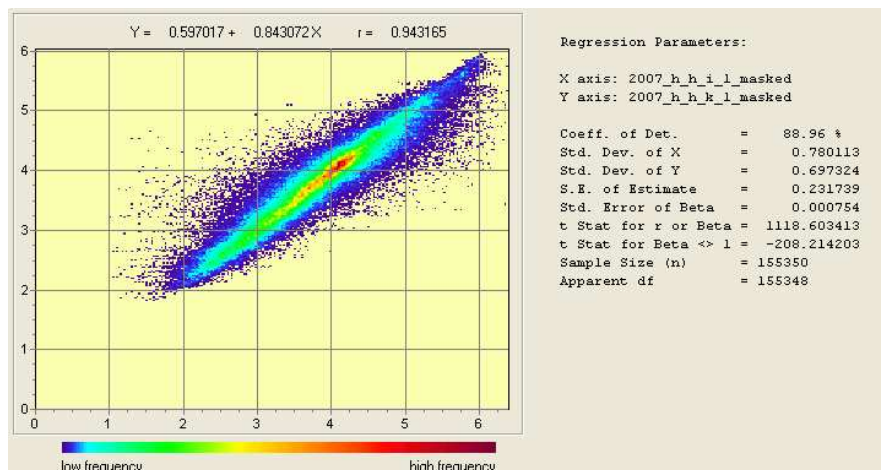
Az IDW és a krigelési interpolációs technikával elkészített hozamtérképek a Landsat műholdképnek megfelelően **25 méteres** élhosszúságú pixellekkel **206 elkülönült képelem**en tette lehetővé a képpontok összehasonlítását. A két kép közötti regresszió $R^2=0,8946$ / $n=206$ /. A két kép között a korreláció igen szoros ($r=0,9458$). Az eltérések az interpolációs technika eltéréseiből adódnak (55. ábra).



55. ábra: Az IDW és krigelés közötti regresszió analízis eredménye

(Forrás: MILICS G., 2007)

Az **1 méteres** felbontással készített hozamtérképek esetén a **hasznos képpontok száma 155.350-ra** növekedett. Az IDW és a krigeléssel készített képek közötti korreláció: $r=0,9431$. A regresszió $R^2=0,8896$ / $n=155350$ / (56. ábra).



56. ábra: Az IDW és krigelés közötti regresszió analízis eredménye az 1m élességű képen

(Forrás: MILICS G., 2007)

7.2. A hozambecslés megbízhatósága multispektrális és hiperspektrális képek alapján

A multispektrális műholdképeken alapuló hozambecslés megbízhatóságának vizsgálata a 2001-es évből rendelkezésre álló felvételek alapján kukorica, illetve az 2007-ből elérhető felvételek alapján árpa növényekre történt. A 2001-es gazdasági év vizsgálatához rendelkezésre állt a vegetációs időszakot jól fedő műholdkép-sorozat.

A hét különböző alkalommal készített műholdkép lehetővé tette annak vizsgálatát, hogy milyen összefüggés mutatható ki az eltérő vegetációs időszakban készült műholdfelvételek, valamint a valós mérési adatokból származó hozamtérképek között.

12. táblázat: A hozambecslés korrelációja (r) kukorica növény esetén (2001)

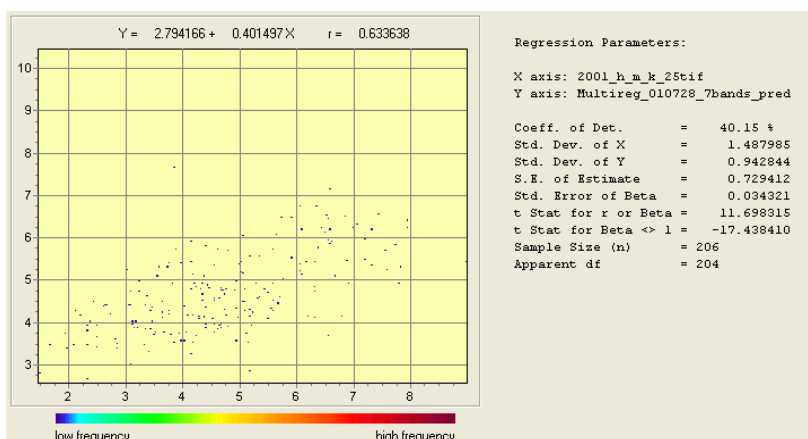
(Forrás: MILICS G, 2007)

	05.01	06.26	07.28	08.05	08.13	08.29	10.08
1. sáv	0,3175	0,2523	0,3453	0,1312	0,1793	0,2096	0,2367
2. sáv	0,2018	0,1547	0,1707	- 0,1053	0,1729	0,2087	0,1924
3. sáv	0,0716	0,2256	0,3140	0,1046	0,1481	0,1672	0,0848
4. sáv	0,1664	- 0,3509	- 0,4181	- 0,1714	- 0,1841	- 0,2632	0,1131
5. sáv	- 0,5150	0,0402	0,2036	0,0628	0,1082	0,0445	0,0160
6. sáv	- 0,2247	0,4823	0,0100	0,4034	- 0,3932	- 0,3778	- 0,2177
7. sáv	- 0,5708	0,1157	0,2957	0,1328	0,1739	0,1155	0,0521
MSR	0,2114	- 0,3218	0,1049	0,1593	0,0589	- 0,1263	- 0,0316
NDVI	0,1805	- 0,2947	- 0,3043	- 0,0879	- 0,1356	- 0,1723	0,0240
GNDVI	0,1521	- 0,2506	- 0,1764	0,0662	- 0,1678	- 0,2345	- 0,1142
MIVI1	- 0,5335	- 0,4060	- 0,1352	0,0059	0,0592	- 0,1419	- 0,1010
MIVI2	- 0,5630	- 0,0324	0,1259	0,0594	0,2054	- 0,0041	- 0,0796
DVI	0,1403	- 0,3015	- 0,3668	- 0,1407	- 0,1704	- 0,2303	0,0266
TVI	0,0876	- 0,1579	- 0,2952	- 0,1211	- 0,1402	- 0,1635	- 0,0128
CTVI	0,1394	- 0,2037	- 0,3131	- 0,1211	- 0,1492	- 0,1771	- 0,0313
RVI	- 0,0274	0,1483	0,3142	0,1555	0,1595	0,1785	0,0430
NRVI	0,0915	0,2947	0,3043	0,0879	0,1356	0,1723	- 0,0240
TTVI	- 0,0478	- 0,2622	- 0,3188	- 0,1211	- 0,1593	- 0,1782	0,2445
MultiReg	0,6255	0,5446	0,6336	0,5605	0,5200	0,4837	0,3772

A hozamtérképpel a műholdfelvételek egyes csatornáit, valamint a térinformatikai szoftverekkel létrehozott vegetációs index fedvényeket hasonlítottam össze. A vegetációs indexek létrehozásához használt képleteket, illetve az azok alapján készített fedvények a függelékben található. Elvégeztem továbbá a műholdkép összes csatornáját felhasználva az **összetett regresszióanalízist is**. Az eredményeket a 15. táblázatban foglaltam össze.

A műholdfelvételek csatornáit összevetve a hozamtérképpel – eltérő időpontokban készített felvételek elemzése során – **szoros korreláció** egy-egy sáv és a hozam adatok között **nem volt kimutatható (a legjobb r érték sem haladta meg a 0,57-es értéket)**.

Figyelemre méltó a május 1-én készített felvétel középső infravörös sávjainak (**5-ös sáv: $r=-0,5150$ / $n=206$ /; 7-es sáv: $r=-0,5708$ / $n=206$ /) **negatív korrelációja**, aminek magyarázata, hogy ekkor a talajt még nem borította zöld felület. A legtöbb **vegetációs index** létrehozására használt **vörös és közeli infravörös sávok** korrelációja a hozammal szintén a július 28-ai felvételen a legmagasabb (vörös: $r=0,3140$ / $n=206$ /; NIR: $r=-0,4181$ / $n=206$ /). **Amikor a területet növényzet borította, akkor a közeli infravörös sáv és a hozam adatok között minden esetben negatív korreláció jelent meg**. Szintén nem volt kimutatható szoros korreláció az egyes indexek, illetve a hozamtérképek között (**max. $r=-0,3668$ / $n=206$ /**), ugyanakkor **az összes sáv bevonásával végzett összetett regresszió analízis eredménye elérte az $r=0,6336$ -os / $n=206$ / értéket a júliusi felvétel alapján (15. táblázat, 57. ábra)**.**



57. ábra: A hozamtérkép és a Landsat 2001. július 28-án készült felvétel 7. sávja közötti

összetett regresszió

(Forrás: MILICS G., 2007)

Meglepő ugyanakkor, hogy a TM5 sáv (ami pl. a talajnedvességet mutatja ki), valamint a TM7 sáv (ami a vegetáció nedvességtartalmát, illetve az ásványokat, kőzeteket stb. térképezi) igen magas korrelációt mutat a hozamtérképpel. Az ezek alapján elkészített összetett regresszió analízis eredménye igen jól közelíti a vegetációval borított időszakban készült kép alapján elvégezhető hozambecslést, ami arra enged következtetni, hogy a kukorica hozamát nagyban befolyásolja a korai időszakban felvehető vízmennyiség, illetve a talajban található ásványi anyag összetétel.

Az elvégzett számítások arra mutatnak, hogy a kukorica hozambecslése már májusban is nagy pontossággal elvégezhető. A legjobb eredményt azonban a július végi műholdfelvétel összetett regresszió analízise adja, ami alapján a következő egyenlettel határozható meg a hozam:

$$2001 \text{ becsült hozam}_{0728} = 10.1387 + 0.0091 \cdot \text{TM1} - 0.0240 \cdot \text{TM2} + 0.0272 \cdot \text{TM3} - 0.0173 \cdot \text{TM4} - 0.0381 \cdot \text{TM5} + 0.0003 \cdot \text{TM6} + 0.0158 \cdot \text{TM7}$$

(Megjegyzendő, hogy a 8 nappal később (augusztus 5-én) készült felvétel alapján a becslés kevésbé megbízható, mint a július 28-ai műholdkép alapján.)

Az **árpa** hozambecslésére vonatkozó 2007. évi elemzéseket a 13. táblázat mutatja .

13. táblázat: A hozambecslés korrelációja árpa esetén (2007)

(Forrás: MILICS G., 2007)

	05.26	06.11		05.26	06.11
1. sáv	- 0,3838	- 0,0434	GNDVI	0,5406	0,5236
2. sáv	- 0,4633	0,0466	MIVI	0,0056	0,2266
3. sáv	- 0,5301	- 0,2680	DVI	0,5300	0,5020
4. sáv	0,3959	0,5986	TVI	0,4556	0,5731
5. sáv	- 0,4452	- 0,1051	CTVI	0,5133	0,5731
6. sáv	- 0,1386	- 0,1756	RVI	- 0,4969	- 0,5854
7. sáv	- 0,5231	- 0,2496	NRVI	- 0,5299	- 0,5451
SR	0,0300	0,4818	TTVI	0,5443	0,5731
MSR	0,0300	0,5470	Multireg	0,6130	0,6241
NDVI	0,5299	0,5451			

A két különböző időpontban készült Landsat felvétel sávjai és a belőlük származtatott vegetációs indexek jól szemléltetik az **éréssel járó színváltozásokat**. Míg a **május végi** felvételen a **vörös sáv (TM3) $r=-0,5301$ / $n=206$ / negatív korrelációt** mutat a később mért hozamadatokkal, a közeli infravörös (NIR, TM4) sáv **$r=0,3959$ / $n=206$ /** értékével kevésbé korrelál. Ugyanakkor a **június 11-én** készített felvétel **vörös sávja alapján korreláció nem mutatható ki ($r=-0,2680$ $n=206$)**, a **közeli infravörös sáv közepes pozitív korrelációt mutat ($r=0,5986$ $n=206$)**. A nedvességet kimutató TM7-es sáv szintén a május végi elemzésnél hozott jobb eredményt, a korreláció közepes, és negatív ($r=-0,5231$ $n=206$).

A **vegetációs indexek** határozottan jobb korrelációt mutattak a 2001-es kukoricára elkészített indexek értékeinél, az egyes indexek esetében itt is meghatározó volt a felvétel készítésének időpontja. Az egyes indexek korrelációja megközelítette a 0,6-os értéket, ugyanakkor azt egyik esetben sem haladta meg. A **legjobb becslési eredményt** ismét **az összetett regresszió analízissel** lehetett elérni (2007. május 26-án: **$r = 0,6130$** $n = 206$; 2007. június 11-én: **$r = 0,6241$** $n = 206$). Az egyes indexek érzékenységét az idő függvényében megmutatja az egyszerű arányt jelző **SR index** és a módosított egyszerű arányt jelző **MSR index**, amelyek a május végi számításoknál még alkalmatlanok a becslés elvégzésére, ugyanakkor az érést követően már közepes korrelációt mutatnak a később mért hozamadatokkal (2007. május 26-án: $r = 0,4818$ $n = 206$; 2007. június 11-én: $r = 0,5470$ $n = 206$).

Összefoglalva elmondható, hogy a **megfelelő eljárás alkalmazásával elvégezhető a hozambecslés a precíziós (helyspecifikus) mezőgazdaság számára**. Megállapítható az is, hogy a műholdfelvételeken alapuló elemzések eredményei **vizuális elemzéssel jobb eredményt sugallnak, mint a statisztikai értékek**.

Amennyiben a táblán **kukorica** termesztésére kerül sor, akkor a **javasolt időpont a műholdas becslés elvégzésére a július végi – augusztus eleji időszak**. A felhasználni kívánt műholdképet azonban körültekintően kell megválasztani, hiszen már **1 hetes eltérés is befolyásolhatja a becslés megbízhatóságát**.

Árpa esetén csak két felvétel adatait lehetett elemezni. Ezek alapján a **felvételek készítésének időpontja az összetett regressziót nem befolyásolta számottevő**

mértékben, az egyes vegetációs indexek esetén azonban a két időpont közötti eredmények gyökeres eltéréseket mutattak.

Megállapítható tehát, hogy **a precíziós gazdálkodás megvalósításához a műholdas távérzékelés** – amennyiben a felvételek időpontja megfelelő – **adatforrásul szolgálhat** az egyes szántóföldi növények **várható hozamáról**, azaz a hozambecslés kielégítő pontossággal elvégezhető.

A **hiperspektrális** légiszkenner alkalmazása lehetővé tette, hogy az 1 méteres élességgel készített távérzékelte és 1 méteres felbontására interpolált **hozamtérképeket összevessük**. A hiperspektrális képalkotás lehetővé tette, hogy keskenyebb sávban, de jóval több hullámhosszon elvégezzük a korreláció vizsgálatát (17. táblázat). A legmegbízhatóbb értékek a **látható fény** tartományban voltak kimutathatók, de a negatív korreláció nem haladta meg az $r = -0,4$ értéket ebben a tartományban sem. A **közeli infravörös** tartomány magában nem mutatott jó korrelációs értéket ($r < 0,12$ / $n = 155350$). A **középső infravörös** tartományban megfigyelhető volt a negatív és pozitív korrelációs együttható többszöri váltakozása. Az eltérő interpolációs technikával készült hozamtérképek korrelációs együtthatói láthatóan eltértek egymástól. A krigeléses eljárással készített hozamtérképek jobb eredményeket mutattak a látható fény tartományban, valamint a középső infravörös tartomány végén. A 700 és 1622 nm hullámhossz közötti szakaszon az értékek nem mutattak különbségeket.

14. táblázat: A légifényképes hozambecslés megbízhatósága (2007)
(Forrás: MILICS G., 2007)

Sáv	Hozam_IDW	Hozam_Krig
422	- 0,3543	- 0,3937
426	- 0,3547	- 0,3944
515	- 0,3444	- 0,3836
551	- 0,2793	- 0,3139
556	- 0,2775	- 0,3121
584	- 0,2922	- 0,3289
588	- 0,2878	- 0,3242
621	- 0,2976	- 0,3350
639	- 0,3100	- 0,3485
663	- 0,3358	- 0,3756
686	- 0,3239	- 0,3631
700	- 0,2104	- 0,2421
709	- 0,1340	- 0,1593
799	0,1078	0,1064
832	0,1133	0,1120

Sáv	Hozam_IDW	Hozam_Krig
837	0,1184	0,1175
932	0,0016	0,0080
1088	0,3043	0,3335
1237	- 0,3312	- 0,3578
1289	0,1683	0,1842
1622	- 0,2539	- 0,2731
1629	- 0,2484	- 0,2672
1836	0,1542	0,1714
1930	0,1410	0,1555
1987	- 0,3110	- 0,3354
2006	- 0,1337	- 0,1430
2037	- 0,3312	- 0,3578
2056	- 0,2933	- 0,3175
2138	- 0,3285	- 0,3555
Multireg	0,5052	0,5517

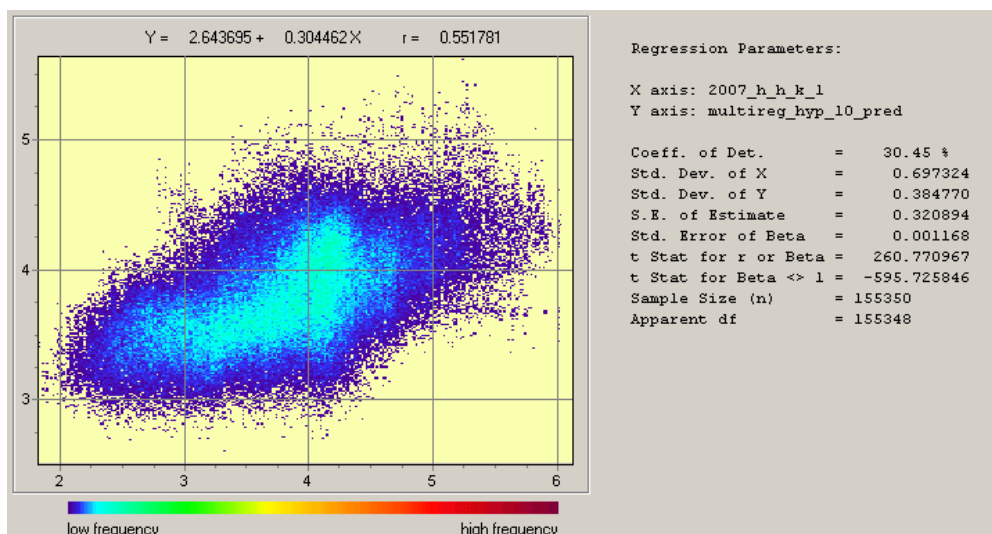
A hozamadatokból interpolált térképek képpontadatait összehasonlítva az összetett regresszióanalízis eredményeivel ismét jóval magasabb megbízhatósági értékek érhetőek el. Az összetett regresszióanalízis eredményei ebben az esetben az egyes sávok hozzáadásával külön-külön is megvizsgálhatók. Az IDRISI szoftver **maximum tíz független változó alkalmazását** teszi lehetővé az összetett regresszióanalízis elvégzése során, így a spektrumban a látható fény tartományból indulva, az egyes sávok hozzáadásával a regresszió értéke folyamatosan növekedett (15. táblázat).

15. táblázat: A légifényképeen alapuló hozambecslés megbízhatósága nő az összetett regresszióanalízisbe bevont csatornák számával (2007)

(Forrás: Milics G., 2007)

sáv	426	+515	+551	+588	+639	+663	+686	+1088	+1237	+2037
r	-0,394	0,394	0,514	0,515	0,529	0,532	0,533	0,551	0,551	0,551

Ebben az esetben is a **krigeléssel** létrehozott interpolált **hozamtérkép** korrelált jobban a spektrális sávokból létrehozott térképpel ($r=0,5517$ / $n=155350$ /). A regressziót grafikusán ábrázolja a 58. ábra.



58. ábra: A hozam- és az összetett regresszió analízis térkép összehasonlítása

(Forrás: MILICS G, 2007)

Az eredmények ismeretében kijelenthető, hogy a **hiperspektrális légifénykép alapján készített hozambecslés** eredménye **statisztikai** értelemben **nem mutatott jobb eredményt**, mint a multispektrális műholdfelvétel felhasználásával készített becslés ($r_{hyp}=0,5517$ / $n=155350$ / és $r_{multi}=0,6241$ / $n=206$ /). Ugyanakkor a **geometriai**

felbontás javulása, valamint a könnyebb tervezhetőség miatt a hiperspektrális légifényképezés előnyösebb lehet. A műholdfelvételek időbeli vizsgálata megmutatta, hogy a felvételezések időpontja jelentősen befolyásolhatja a hozambecslés megbízhatóságát. Hiperspektrális felvételtől egyetlen készült, a műholdfelvételhez képest további egy hetes időbeli eltolódással. Az egy hét alatt lezajlott érési folyamat szintén befolyásolhatta a becslés eredményét.

7.3. A fehérjetartalom becslésének megbízhatósága multispektrális és hiperspektrális képek alapján

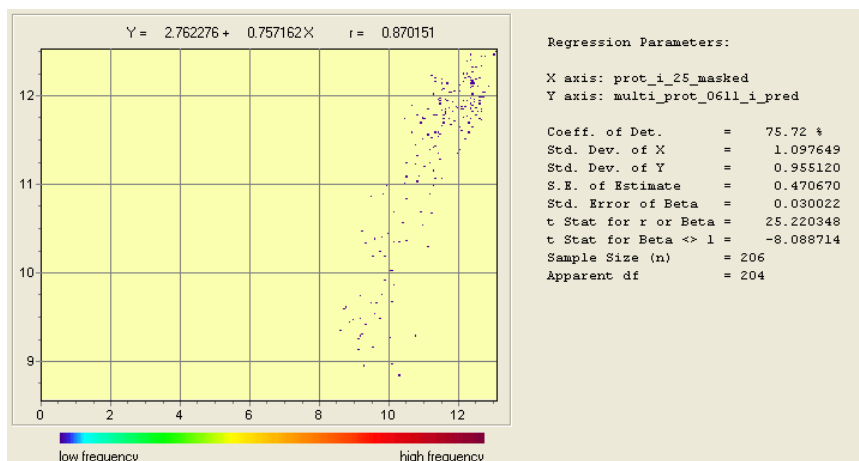
A felhasznált multispektrális, 25 méteres képelemekkel rendelkező műholdképeket összetett regresszióval összehasonlítva a két eltérő interpolációs technikával létrehozott térképpel jó korreláció mutatható ki. A korrelációs koefficienseket és a regresszió értékeit a 16. táblázat foglalja össze.

16. táblázat: A műholdképek és a kézi mérési adatok összehasonlítása (fehérjetartalom)

(Forrás: MILICS G, 2007)

	Labor-IDW (r)	Labor-Krig (r)	Labor-IDW (R ²)	Labor-Krig (R ²)
07.05.26.	0,8343	0,8330	0,6960	0,6939
07.06.11.	0,8701	0,8506	0,7571	0,7236

A legjobb eredményt ez esetben az inverz távolságok súlyozásával létrehozott térkép és a június 11-én készített műholdkép közötti összefüggés adta (59. ábra).



59. ábra: A regresszió analízis eredménye a fehérjetartalom becsléséhez

(Forrás: MILICS G, 2007)

Ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy a többi esetben is szoros az összefüggés. A hiperspektrális légifényképezéssel készített kép egyes sávjai és a minőségi paraméterek között magasabb korrelációs értékek mutatkoztak, mint a hozam adatok összehasonlításakor (17. táblázat)

17. táblázat: A hiperspektrális felvételezés egyes sávjai és a kézi mérési adatok korrelációja (fehérjetartalom) (2007)

(Forrás: MILICS G., 2007)

Sáv	r : Fehérje_IDW	r : Fehérje_Krig
422	0,2922	0,3394
426	0,2942	0,3423
515	0,3034	0,3385
551	0,1893	0,2165
556	0,1857	0,2131
584	0,2072	0,2422
588	0,2011	0,2350
621	0,2170	0,2553
639	0,2369	0,2789
663	0,2815	0,3249
686	0,2696	0,3120
700	0,0793	0,1162
709	- 0,0297	- 0,0068
799	- 0,2968	- 0,3320
832	- 0,2988	- 0,3349
837	- 0,3041	- 0,3419
932	- 0,1459	- 0,1662
1088	- 0,4130	- 0,4863
1237	0,5525	0,5410
1289	- 0,1705	- 0,2833
1622	0,5020	0,4322
1629	0,4984	0,4275
1836	- 0,1518	- 0,2025
1930	- 0,1506	- 0,1873
1987	0,5081	0,4943
2006	0,2492	0,2255
2037	0,5525	0,5410
2056	0,4930	0,4816
2138	0,5576	0,5472

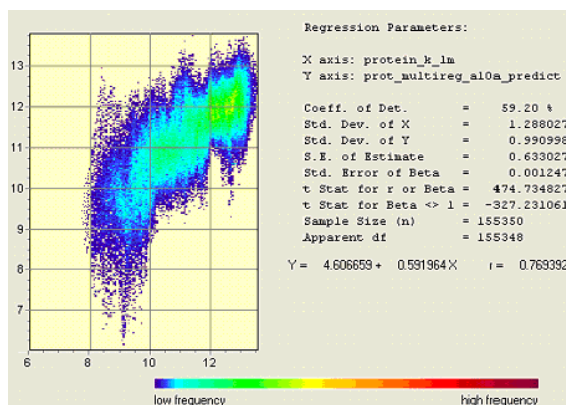
A a tíz legjobb korrelációs értékkel rendelkező sáv összetett regresszió analízise se haladta meg egyik esetben sem az $R^2 = 0,6 / n = 155350/$ értéket.

18. táblázat: A hiperspektrális sávok és a kézi mérési adatok összehasonlítása (fehérjetartalom)

(Forrás: Milics G., 2007)

sáv	426	+515	+551	+588	+639	+663	+686	+1088	+1237	+2037
R ²	0,1171	0,1179	0,4725	0,4835	0,5000	0,5032	0,5171	0,5513	0,5795	0,5840

Az egyes sávok elhagyásával és mások hozzáadásával a korrelációs együttható maximális értéke $r=0,7693 / n=155350/$ (60. ábra). A képről leolvasható, hogy a **szórás viszonylag nagy**, ugyanakkor kiemelten jó eredmény a közel 60%-os biztonsággal elvégezhető a fehérjetartalom becslés.



60. ábra: A regressziós paraméterek hiperspektrális kép elemzésekor

(Forrás: MILICS G, 2007)

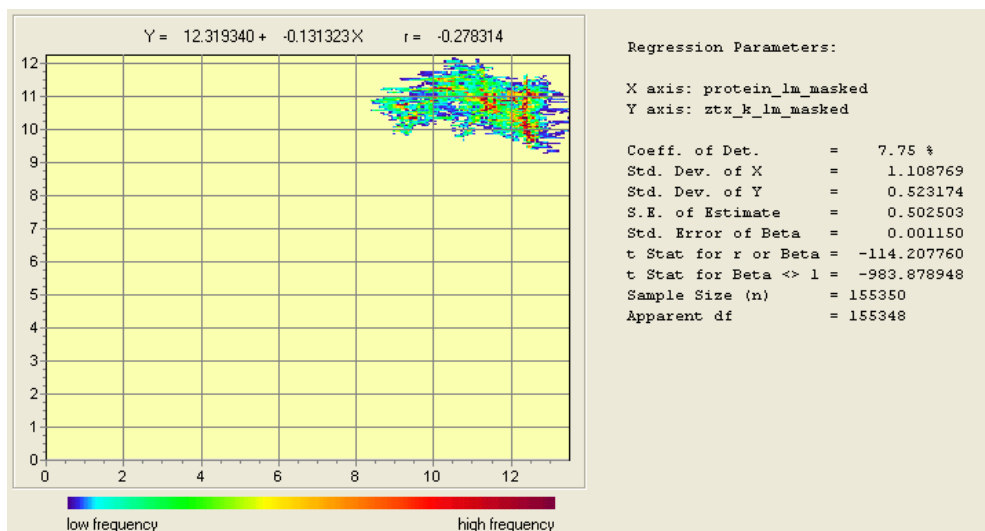
Bár az eredmények sem a hozam-, sem a fehérjetartalom becslés esetében nem bizonyították a statisztikai elemzésekkel alátámasztható megbízhatóság növekedését, mégis kiemelendő, hogy egyes eljárásokkal a becslések már olyan pontossággal elvégezhetők, hogy azok felhasználása a precíziós (helyspecifikus) gazdálkodás számára haszonnal kecsegtessen.

7.4. Az on-line gyűjtött fehérjetartalom adatok és a kézi mintavételezésből származtatott adatok összevetése

A minőségi paraméterek precíziós – betakarítás során közvetlenül történő – mérése napjainkban vált megvalósíthatóvá (THYLÉN, L. – ALGERBO, P. A., 2001; THYLÉN, L. et al., 2002, LONG, D.– ROSENTHAL, T., 2005; TAYLOR, J. et al., 2005).

A betakarítás során alkalmazott Zeltex Accu-Harvester adatai alapján készült egy **fehérjetartalmat** ábrázoló fedvény, amely már **szemrevételezéssel is teljesen elütött a kézi mintavételezésből származtatott térképtől.**

Mivel az on-line mérőműszer kalibrálását elsődleges laboratóriumi mérések alapján végeztük, valamint a mérőműszer betakarítás során többször is meghibásodást jelzett, meg kellett vizsgálni a két mérés közötti **korrelációt.** A **regresszióanalízissel** elvégzett vizsgálat mind az 1 méteres élességű képeknél, mind a 25 méteres élességű képeknél **igen rossz eredményt mutatott:** 1 méteres élességnél **$r=-0,2783$** / $n=155350$ /(61. ábra), míg 25 méteres élesség esetén **$r=-0,2662$** / $n=206$ /).



61. ábra: A regresszió analízis eredménye a kézi és az on-line mérések esetén

(Forrás: MILICS G, 2007)

Ezek alapján megállapítható, hogy az **on-line fehérjemérő rendszer alkalmazása árpában a 2007-es évben nem volt sikeres.** Ennek egyik oka a laboratóriumi mérések bizonytalansága, és ez által a **kalibráció pontatlansága,** másik oka a **műszer betakarítás során történt folyamatos elszennyeződése** volt. Ez azonban **nem jelenti,** hogy a Zeltex AccuHarvester On-Combine Grain Analyzer műszer **alkalmatlan lenne** árpa betakarításakor a fehérjetartalom mérésére. Több minta vételével, illetve a hibalehetőségeket kizáró pontos laboratóriumi mérésekkel, körültekintő kalibrálással, valamint a műszer előre beállítható mérési idejének növelésével és meghatározott időnként történő tisztításával az **adatgyűjtés megbízhatósága alapvetően javulhat.**

8. Összefoglalás, a kutatás további irányai

1, A korszerű műholdas helymeghatározás szerepe a helyspecifikus gazdálkodás megvalósításában.

Vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy a korszerű műholdas helymeghatározás pontosságának és megbízhatóságának javulása pozitív hatással van a precíziós gazdálkodás technológiai fejlődésére. Mára a műholdjelek vétele 99 %-os valószínűséggel biztosított. A pontosság növekedésével a **mindennapi felhasználó** számára is elérhető a **2-5 méteres pontosság**. Amennyiben a **precíziós gazdálkodás** egy adott munkafolyamata megkívánja, a **pontosság akár 2-3 cm-re** is növelhető. Ebben az esetben már a sorköz-művelés is elvégezhető műholdas helymeghatározó eszköz segítségével. A disszertáció elkészítése során alkalmazott **műholdas helymeghatározást** minden esetben az **adott munkafolyamatnak megfelelő pontossággal sikerült megvalósítanom**, így a **hiperspektrális légifénykép georeferálásához** a tábla határainak bemérése **utófeldolgozással néhány centiméteres hibahatáron belül**, a **hozamادات gyűjtése** betakarítás során, illetve a **tápanyagkijuttatás a méteres hibahatáron belül maradt**. A technológia további folyamatos vizsgálata indokolt, az újabb kihívást az önálló európai helymeghatározó műholdrendszer (Galileo) integrálása jelenti a technikai eszközök számára.

2, A térinformatika gyakorlati szerepe a precíziós gazdálkodásban.

A helyspecifikus növénytermesztés során a térinformatika legalább olyan szereppel bír, mint a műholdas helymeghatározás. A két rendszer kiegészíti egymást, a **technológia megvalósításához** mindkét eszköz alkalmazására szükség van. A **térinformatika mind a raszteres, mind a vektoros szoftverek alkalmazása során** oly mértékben járul hozzá az adatok feldolgozásához, hogy **mára a döntés előkészítés megkerülhetetlen eszközévé vált**. Szem előtt kell tartani ugyanakkor, hogy az egyes szoftverek használata során a mérési adatokból, nem megfelelő alkalmazás esetén **hibás fedvények is létrejöhetnek**, amelyek eredményeként **hibás döntések szülehetnek**.

A térinformatikai alkalmazások vizsgálata indokolt a továbbiakban is. A tapasztalatok azt mutatatták, hogy a művelés alatt álló táblán alkalmazott gépek munkaszélességénél jobb felbontás alkalmazása nem szükséges. Érdeemes tehát a kimeneti pixelméretet 4-5 méteres (a kombájn hozzávetőleges munkaszélessége) élhosszúságúra állítani, majd az így kapott eredményeket összehasonlítani a becsült adatokkal. A hosszútávú folyamatok mérési adatokon alapuló megértése, valamint a precíziós növénytermesztés gyakorlati elvárásai miatt az adatgyűjtés és feldolgozás folytatása, valamint a térinformatikai szoftverbe integrálása indokolt.

3, A **műholdas távérzékelés alkalmazási lehetőségét** a precíziós gazdálkodás döntéshozatali és ellenőrző folyamatában.

A **műholdas adatgyűjtést** – amennyiben a Landsat program műholdképeit kívánjuk hasznosítani – a pályaadatok alapján meghatározott 16 napos visszatérési idő és az **esetleges felhőborítottság korlátozhatja**. Amennyiben az **időjárási feltételek megfelelőek, a műholdas távérzékelés a precíziós gazdálkodás egyik meghatározó adatforrása lehet**.

A műholdképek megjeleníthetők **sávonként** illetve az egyes sávok összevonása révén **származtatott fedvényként** is. A megfelelő sávok kiválasztásával (R, G, B, NIR, MIR) és alkalmazásával **normál és hamisszínes felvételek** is megjeleníthetők, aminek segítségével akár első pillantásra is megállapíthatók a mezőgazdasági táblán belül jelentkező különbségek. A **műholdfelvételek megjelenítése raszteres formában, térképszerűen nyújt információt a precíziós gazdálkodás számára**.

Az **eltérő fedvények** (egy vagy több sáv) illetve a **vegetációs indexek alapján** mind a **várható hozam**, mind a **minőségi paraméterek becsülhetők**. A **felvételezés időpontja** az egyes növények vegetációs periódusának függvényében **jelentősen befolyásolhatja a becslés eredményét**.

Kukorica esetén (a 2001-es év adatai alapján) a **május végén** végzett becslés minimális mértékben tért el a **legjobb eredményt** adó **júniusi** hozam előrejelzéstől ($r=0,6336 / n=205/$).

A 2007-ben **árpára** elvégzett becslés során a **június közepén** készített kép eredménye adta a **legjobb korrelációt** ($r=0,6241 / n=206/$).

A minőségi paraméterek becslése során jobb eredményt lehet elérni, mint a hozambecslés során.

A multispektrális műholdkép **összetett regresszió analízise a fehérjetartalom becsléséhez** a gyakorlatban jó eredménynek számító **$R^2=0,7$ körüli korrelációt mutatott. A június elején** készült műholdkép alapján végzett összehasonlítás **$r=0,8701$, / $n=206$ / értéket eredményezett.**

Ebben az esetben az inverz távolságok súlyozásának módszerével (**IDW**) interpolált térkép **mutatott szorosabb összefüggést a becsült adatokkal.**

Az elérhető multispektrális felvételek további vizsgálata hozzájárulhat a műholdfelvételek alkalmazhatóságának. Az adatok megbízhatósága, valamint a felvételezés több évre kiterjedő ismételtetősége indokoltá teszi a távérzékeléssel nyert adatok további vizsgálatát. Ebben az esetben viszont a térinformatikai szoftverrel feldolgozott adatokat a műholdképek képelem méretének megfelelő pontossággal (25 m) is létre kell hozni.

4, A **hiperspektrális /légifényképes/ képalkotás szerepe** a helyspecifikus növénytermesztés további fejlődése szempontjából. A hiperspektrális felvételezéssel nyert adatok szerepe az egyéb tudományágak, így pl. a **földrajzi alkalmazások** számára.

A **hiperspektrális felvételek előnyei**, hogy **pontosabban tervezhető a felvételezés időpontja**, a geometriai **felbontás 1 méteres** pontosságot ér el, illetve a **spektrális felbontás** miatt az egyes sávok kombinálása **jóval több variációs lehetőséget** hordoz magában.

A geometriai és spektrális felbontás nagymértékű javulása miatt a korábban nem észlelt befolyásoló tényezők is kimutathatóvá váltak már a **látható fény tartományban** a vizsgált területen. Megfigyelhető a felvételen a táblát keresztüljelző földalatti vonalas létesítmény (**csővezeték**), illetve a vízgazdálkodást, kimosódást és ezzel tápanyaggazdálkodást befolyásoló **eltemetett meder** is. Ezek a minőségbeli különbségek a távérzékelésben megbízható adatforrásul szolgálhatnak a földrajztudomány megfelelő alkalmazásaihoz is.

A hatékonyság növelése érdekében a 2008-as gazdasági évben több hiperspektrális felvétel elkészítése is indokolt lenne. Mivel a vizsgált táblán várhatóan kukoricát fognak termesztetni, a felvételezés május végén, illetve betakarítás előtt indokolt. A május végén készítendő felvételezést össze kell hangolni talajmintavételezéssel is, ami alapján meg lehetne állapítani a talajnedvesség alakulásának hatását a kukorica hozamára. Mivel a betakarítás során kb. 4 méter széles vágóasztallal végezhető az aratás, a felvételek geometriai felbontásának is elegendő 4 méteresnek lennie. Ez egyben azt is eredményezi, hogy jóval nagyobb területről készíthető hiperspektrális kép. Ez szintén lehetővé tenné egyéb alkalmazások vizsgálatát. Indokolt lenne ezért geomorfológiai, felszínborítottsági, stb. kutatásokkal összehangolni a felvételezéseket.

5, A hagyományos (multispektrális, műholdas) és modern (hiperspektrális, légifényképes) távérzékelési eljárások összehasonlítása.

A műholdas távérzékelés geometriai felbontása és a műholdpálya adottságok miatti rossz időbeli felbontása miatt jóval **elmarad a hiperspektrális felvételezés kínálta lehetőségektől.** A **spektrális felbontás,** valamint a **radiometriai felbontás** további érvként szolgál a **hiperspektrális felvételeket készítő rendszer mellett.** Ugyanakkor a **geostatistikai elemzések nem bizonyították** a spektrális felbontás javulásától elvárt hozam és fehérjetartalom becslés megbízhatóságának növekedését.

A hiperspektrális kép geometriai felbontásának „romlásával”, a műholdas távérzékeléssel nyert kép felbontásához közelebbi képet kapunk. Ezért a műholdas és a légifelvételezéssel készült képek összehasonlítása továbbra is indokolt. Várhatóan a 4 méteres pixelméretekkkel végzett hozambecslés adatai közelíteni fognak a műholdas hozambecsléshez, a feltételezések szerint azt spektrális felbontásuk miatt meg is haladják. Ennek bizonyításához azonban további vizsgálatokra van szükség.

6, A geostatistikai módszerekkel összevetett, eltérő forrásokból származó fedvények elemzése az egyes adatgyűjtési eljárások és az azokból származtatott előrejelzések, becslések megbízhatóságának szerepe a precíziós gazdálkodásban.

Az interpolációs technika alkalmazásának függvényében (IDW és krigelés) a hozamtérképeket egymással összevetve a Landsat műholdképnek megfelelően **25 méteres** élhosszúságú pixelekkal **206 elkülönült képelemen** a két fedvény közötti regresszió $R^2=0,8946$ /n=206/. A két kép között a korreláció igen szoros ($r=0,9458$). Az **1 méteres** felbontással készített hozamtérképek esetén a **hasznos képpontok száma 155.350-ra** növekedett. Az IDW és a krigeléssel készített képek közötti korreláció: $r=0,9431$. A regresszió $R^2=0,8896$ /n=155350/.

A **kukorica hozama** a középső infravörös sávokat használó indexekkel már **május végén becsülhető**. Kukorica esetén a **legjobb eredményt a június végén készített műholdkép mutatta** ($r=0,6336$ /n=205/), míg **árpában a június közepén készített kép mutatott jobb korrelációt** ($r=0,6241$ /n=206/).

A felvételezés időpontja az egyes vegetációs indexeket, valamint alkalmazhatóságukat erősen befolyásolja.

A **minőségi paraméterek becslése** során mind a műholdképek, mind a hiperspektrális felvételek elemzésekor **jobb eredményt lehet elérni, mint a hozambecslés során.**

A multispektrális **műholdkép** összetett regresszió analízise a **fehérjetartalom becsléséhez** a gyakorlatban jó eredménynek számító $R^2=0,7$ körüli korrelációt mutatott, a korreláció $r=0,8701$ /n=206/.

A **hiperspektrális légifényképezéssel** gyűjtött 359 spektrális sávból kiválasztva az **értékelhető információtartalommal** rendelkező keskeny sávokat az összetett regresszió analízis eredményeként $R^2=0,6$ /n=155350/ értéket lehetett elérni. A **megfelelően megválasztott időpontban** készített hiperspektrális légifénykép alapján tehát **megbízhatóan elvégezhető a minőségi paraméterek becslése.**

Az **on-line fehérjemérő rendszer alkalmazása árpában a 2007-es évben nem volt sikeres.** Ennek oka a **kalibráció pontatlansága,** illetve a **műszer betakarítás során történt folyamatos elszennyeződése** volt.

Az on-line fehérjetartalom méréséhez a kalibrációt körültekintően kell elvégezni, illetve meg kell oldani az elszennyeződés elleni védelmet. Ezek után az adatok további összehasonlító elemzése indokolt.

9. Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek **Dr. Nagyváradi Lászlónak** hasznos tanácsaiért és iránymutatásáért, amivel elősegítette a disszertáció megszületését. Kitüntetett köszönettel tartozom másik témavezetőmnek **Prof. Dr. Neményi Miklósnak**, aki ráirányította figyelmemet a doktori téma fontosságára, támogatta a munka megírását, valamint biztosította a nemzetközi tudományos konferenciákon való részvételi lehetőséget.

Köszönettel tartozom **Prof. Dr. Tóth Józsefnek**, a Pécsi Földtudományok Doktori Iskola vezetőjének, aki egyben a Földrajzi Intézet vezetőjeként számos esetben segítette tanulmányaimat, és egyengette utamat a nemzetközi tapasztalatok, valamint a doktori fokozat megszerzése terén. Köszönettel tartozom ugyanakkor előopponenseimnek **Dr. Lóczy Dénesnek** valamint **Dr. Gyenizse Péternek**, a munkahelyi vitára elkészült dolgozatom lelkiismeretes és körültekintő bírálatáért, ami hozzájárult ahhoz, hogy a disszertáció jelenlegi formájában elkészülhessen.

A mintavételezés embert próbáló munkája során **Ásványi László**, **Némethné Varga Márta** és **Stépán Zsolt**, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének munkatársai, valamint **Dr. Nagy Vilmos** (Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézete), **Csiba Mátyás** PhD hallgató és **Szabó Gábor** diplomadolgozatos hallgató voltak segítségemre, amiért ezúton is köszönetemet fejezem ki.

A hiperspektrális légifényképek elkészítésében kiemelt szerepe volt **Bódis László** főpilótának (Aeromédia Kft.), valamint **Kovács Lászlónak** és **Deákvári Józsefnek** (FVM MGI) akik az elő- és elkészítésében is meghatározó szerepet játszottak.

A légifénykép előfeldolgozását **Burai Péter** és **Dr. Lénárt Csaba** (Debreceni Egyetem) végezték, akiknek ezúton fejezem ki köszönetemet hasznos tanácsaikért és önzetlen munkájukért.

Köszönettel tartozom **Wirnhardt Csabának** (Földmérési és Távérzékelési Intézet) aki rendelkezésemre bocsátotta az előfeldolgozott és georeferált Landsat műholdfelvételeket.

Köszönet illeti **Dr. Mesterházi Péter Ákost**, az NYME-MÉK Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének korábbi munkatársát, aki a precíziós növénytermesztés műszaki hátterének fejlesztésével kidolgozta és létrehozta a máig alkalmazott, a gyakorlatban hasznosítható hozammérő rendszert.

Kiemelt köszönettel tartozom **Dr. Paul D. Scott** (Kansai Gaidai Egyetem, Hirakata, Japán) professzornak, aki révén az IDRISI szoftver rendelkezésemre áll, így a raszteres térinformatikai elemzések elvégezhetőkké váltak. Az ArcMap program használatára **Dr. Varga Zoltán** szíves hozzájárulásával nyílt lehetőség, akit ezért szintén köszönet illet.

A hiperspektrális képfeldolgozás az ENVI szoftverrel volt kivitelezhető, amelynek próbaverzióját **Cecile Robin** bocsátotta rendelkezésemre.

A helymeghatározás pontos megvalósításához az OMNISTAR jelkorrekció alkalmazását kutatási céllal **Cor Landsman** tette lehetővé, akinek ezúton is szeretném kifejezni köszönetemet.

Kiemelt köszönettel tartozom **Dr. Kovács Attila József** és **Dr. Lakatos Erika** (NYME-MÉK, BRMI) munkájáért, akik bátorítottak a disszertáció elkészítése során, és hasznos tanácsaikkal, észrevételeikkel járultak hozzá a dolgozat elkészítéséhez.

Köszönettel tartozom továbbá **Dr. Kopári Lászlónak** (PTE TTK) és családjának, akik a doktori tanulmányi időszakban nyújtottak nélkülözhetetlen segítséget és bátorítást.

Végül, de nem utolsósorban hálás vagyok **szüleimnek**, akik mindig biztos hátteret nyújtottak tanulmányaim során, valamint **feleségemnek, Monikának** aki türelemmel viselte a disszertáció elkészítésére kiterjedő időszakot, és minden támogatást megadott ahhoz, hogy tudományos fokozatot szerezhsek.

10. Ábrák és táblázatok jegyzéke

10.1. Ábrák jegyzéke

1. ábra: A népességszámnövekedés és a megművelhető területek (előrejelzés).....	7
2. ábra: A 80/1 mezőgazdasági tábla elhelyezkedése és a táblán belül kijelölt kutatási terület.....	8
3. ábra: A NAVSTAR GPS műholdak 6 pályasíkja	15
4. ábra: A NAVSTAR GPS rendszer földi követőállomásainak elhelyezkedése	16
5. ábra: A NAVSTAR GPS jelenlegi (2000) és várható (2015) jelrendszere	18
6. ábra: Magyarország helyzete az EOVS koordináta-rendszerében	25
7. ábra: A vesszővel elválasztott (comma delimited) adathalmaz.....	28
8. ábra: Az EEHHTT szoftver kimenő adatai.....	30
9. ábra: A GPS területmérés eredménye (a) és az utófeldolgozás utáni kép (b).....	31
10. ábra: A GPS vevő által érzékelt műholdak száma a területmérés során	32
11. ábra: Mintavételi pontok elhelyezkedése a síkértartalom meghatározásához...	36
12. ábra: A hozammérő rendszer felépítése	38
13. ábra: A kombájn alapidőre vetített területteljesítményének meghatározása	39
14. ábra: A Zeltex műszer mérési elvi sémája.....	41
15. ábra: Az árpa szármagasság mérésének adatai.....	42
16. ábra: A fehérjetartalom az egyes mintákban (%)	44
17. ábra: A kutatási területen kívül eső /a, balra/ és a hibás /b, jobbra/ mérési adatok.....	45
18. ábra: A teljes adatsor eloszlása és statisztikai adatai.....	46
19. ábra: Az 1-6,5 t/ha közötti szűrt adatok eloszlása.....	46
20. ábra: Egy Landsat pixel (25×25 m) és az adatforrásául szolgáló értékek	48
21. ábra: Az 1×1 m képkocka és az on-line mérések sűrűsége	49
22. ábra: Az 1 m /balra/ és a 25 m /jobbra/ élességű fehérjetérkép.....	50
23. ábra: A kutatási területre eső hozam- (t/ha) /balra/ és fehérjetartalom adatok /jobbra/ megjelenítése	51
24. ábra: A 25 m élességű hozamtérképek	52
25. ábra: Az 1 m élességű hozamtérképek.....	52
26. ábra: A 2002-es és a 2005-ös hozamtérképek.....	53
27. ábra: Az on-line gyűjtött adatok alapján készített fehérjetérkép (IDW, 1m)	54

28. ábra: A Landsat műholdkép geometriai felbontása és a kezelési egységek.....	58
29. ábra: A 07.06.11-i műholdkép NIR sávja és a kép hisztogramja.....	59
30. ábra: A 07.06.11-i műholdkép korrigált NIR sávja és a kép hisztogramja.....	59
31. ábra: A 2007.06. 11-i Landsat kép zöld sávja szürkeárnyalattal megjelenítve .	61
32. ábra: A Landsat 5 műhold TM 4-es sávja (2007.06.11)	62
33. ábra: A NIR, vörös és zöld sávokból létrehozott hamisszínes kompozit kép.....	62
34. ábra: Landsat TM 3,2,1 sávokból megjelenített RGB kép	63
35. ábra: Landsat TM 4,3,2 sávokból megjelenített hamisszínes RGB kép	64
36. ábra: Az NDVI vegetációs index alkalmazásával megjelenített fedvény	66
37. ábra: Az AISA-Dual hiperspektrális szenzor felépítése	70
38. ábra: A Piper Aztec típusú kisrepülőgép.....	71
39. ábra: A repülési útvonal 2007.06.19.....	72
40. ábra: A mintaterület légifényképen (a kép a repülő fordulásakor készült).....	73
41. ábra: A 80/1-es táblára elkészített hiperspektrális kocka.....	75
42. ábra: Eltérő anyagok spektrális görbéi (400-2450 nm).....	76
43. ábra: Eltérő anyagok spektrális görbéi a látható tartományban.....	77
44. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi (400-2450 nm).....	77
45. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a kék tartományban.....	78
46. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a zöld tartományban.....	79
47. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a vörös tartományban	80
48. ábra: A 649 nm-es B56-os csatorna.....	80
49. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a NIR tartományban.....	81
50. ábra: Eltérő intenzitású területek spektrális görbéi a MIR tartományban	82
51. ábra: A 80/1-es tábla B65-ös,B30-as és B 14-es hiperspektrális sávok alapján készített RGB kompozitja.....	83
52. ábra: A 80/1-es tábla hiperspektrális hamisszínes kompozitja és kinagyított része.....	84
53. ábra: A 80/1-es tábla hiperspektrális NDVI képe	84
54. ábra: Az összehasonlító elemzések folyamatábrája	86
55. ábra: Az IDW és krigelés közötti regresszió analízis eredménye.....	87
56. ábra: Az IDW és krigelés közötti regresszió analízis eredménye az 1m élességű képen.....	87

57. ábra: A hozamtérkép és a Landsat 2001. július 28-án készült felvétel 7. sávja közötti összetett regresszió	89
58. ábra: A hozam- és az összetett regresszió analízis térkép összehasonlítása.....	93
59. ábra: A regresszió analízis eredménye a fehérjetartalom becsléséhez.....	94
60. ábra: A regressziós paraméterek hiperspektrális kép elemzésekor	96
61. ábra: A regresszió analízis eredménye a kézi és az on-line mérések esetén.....	97

10.2. Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Az egy főre jutó mezőgazdasági területek országoként (kivonat)	6
2. táblázat: A 80/1 tábla termesztett növényei 2000-2007 között.....	9
3. táblázat: A GNSS rendszer űrszegmentenseinek legfontosabb jellemzői.....	16
4. táblázat: A vesszővel elválasztott adathalmaz megjelenése táblázatban	29
5. táblázat: Az átlagos szármagasság és a biomasza-tömeg értékek.....	43
6. táblázat: Az egyes minták 10 növényre vonatkoztatott mérési eredményei.....	43
7. táblázat: A hozambecslés és a mért, illetve számított hozam adatok	43
8. táblázat: A kézi mintavételezés utáni laboranalízis eredményei	44
9. táblázat: A 80/1 tábla termesztett növényei 2000-2007 között.....	47
10. táblázat: A Landsat 5 és 7 műholdak legfontosabb jellemzői	61
11. táblázat: A műholdképek felvételezésének időpontjai	61
12. táblázat: A hozambecslés korrelációja (r) kukorica növény esetén (2001)	88
13. táblázat: A hozambecslés korrelációja árpa esetén (2007)	90
14. táblázat: A légifényképes hozambecslés megbízhatósága (2007)	92
15. táblázat: A légifényképen alapuló hozambecslés megbízhatósága nő az összetett regresszióanalízisbe bevont csatornák számával (2007).....	93
16. táblázat: A műholdképek és a kézi mérési adatok összehasonlítása (fehérjetartalom)	94
17. táblázat: A hiperspektrális felvételezés egyes sávjai és a kézi mérési adatok korrelációja (fehérjetartalom) (2007).....	95
18. táblázat: A hiperspektrális sávok és a kézi mérési adatok összehasonlítása (fehérjetartalom)	96

11. Irodalomjegyzék

- ÁDÁM J. – BÁNYAI L. – BORZA T. – BUSICS GY. – KENYERES A. – KRAUTER A. – TAKÁCS B. 2004: *Műholdas helymeghatározás*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 458 p.
- ASHNER, G. P. 1998: *Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance*. Remote Sensing of Environment, 64 (1998), pp. 234-253.
- AUERNHAMMER, H. – DEMMEL, M. – MUHR, T. – ROTTMEIER, J. – WILD, K. 1994: *GPS for yield mapping on combines*. Computers and Electronics in Agriculture, Vol 11, Issue 1, Elsevier Science Ltd., pp. 53-68.
- BALASSA B. – NAGYVÁRADI L. – SZEBÉNYI A. 2007: Study of the relationship between traffic and suburbanization in Budapest agglomeration with GIS methods. In: Traffic influence on the regional development of Bosnia and Hercegovina and neighbouring countries in the process of approaching European Union. Tuzla, p. 22.
- BARET, F. – GUYOT, G. 1991: *Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment*. Remote Sensing and the Environment, Vol. 35, pp. 161-173.
- BARET, F. – GUYOT, G. – MAJOR, D. J. 1989: *TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation*. Proceedings of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing, IGARRS'90, Vancouver, BC, Canada, unpaginated
- BASNET, B. B. – APAN A. A. – KELLY, R. M. – JENSEN, T. A. – STRONG, W. M. – BUTLER, D. G. 2003: *Relating satellite imagery with grain protein content*. Spatial Sciences2003, pp. 1-11.
- BERÉNYI I. 2000: *A terület- és földhasználat új érdekviszonyok hálójában*. In: Alföld és nagyvilág /Szerk.:Dövényi Z./, MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest. pp. 169-183.
- BERÉNYI I. 2001: *Kultúrtáj és – régió mint kulturális örökség*. In: Ezredforduló-századfordulóhetvenedik évforduló /Szerk.: J. Ujváry Zs./, Pázmány Péter Katolikus Egyetem Bölcsészettudományi Kar, Piliscsaba, pp. 639-651.
- BERKE J. – HEGEDŰS GY. CS. – KELEMEN D. – SZABÓ J. 1996: *Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai*. Keszthelyi Akadémia Alapítvány, Keszthely, 202 p.

- BERTELS, L. – DERONDE, B. – KEMPENEERS, P. – PROVOOST, S. – TORTELBOOM, E. 2005: *Potentials of airborne hyperspectral remote sensing for vegetation mapping of spatially heterogenous dynamic dunes, a case study along the Belgian coastline.* In: Herrie, J-L. et al. (Eds.) Proceedings „Dunes and Estuaries” – International Conference on Nature Restoration Practices in European Coastal Habitats, Koksijde, Belgium, 19-23 September 2005, VLIZ Special Publication, 19: pp. 153-163.
- BLACKMORE, B. S. 1994: *Precision Farming; An Introduction.* Outlook on Agriculture, Vol. 23 (4), pp. 275-280.
- BLACKMORE, B. S. 2000: *The interpretation of trends from multiple yield maps.* Computers and Electronics in Agriculture, Vol 26 (2000), pp. 37-51.
- BÓDIS K. 1999: *Geometriai transzformációk, transzformációs egyenletek és alkalmazásuk a geoinformatikában.* Szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem, Szeged
- BOGNÁR P. 2004: *Műholdas termésbecslési eljárások fejlesztése.* Doktori értekezés tézisei, ELTE Geofizikai Tanszék, Budapest, kézirat
- BORZA T. – BUSICS GY., 2005: *A GPS technológián alapuló geodéziai pontmeghatározások végrehajtásának és dokumentálásának szabályozásáról.* Geodézia és Kartográfia, 57. évfolyam 6. szám (2005), p. 8.
- BUFFALANO, A. C. – KOCHANOWSKI, P. 1976: *Benefits to world agriculture through remote sensing.* Acta Astronautica, Volume 6, Issue 12, Elsevier Science Ltd., pp. 1707-1715.
- BUGYA T. – FÁBIÁN SZ. Á. – GERESDI I. – GYENIZSE P. – NAGYVÁRADI L. – PIRKHOFFER E. 2006: *A térinformatika módszerei és alkalmazásai I.* Egyetemi jegyzet (megjelenés alatt)
- CAMPBELL, J. B. 2002: *Introduction to remote sensing.* The Guilford Press. New York, New York, USA.
- CHEN, J. 1996: *Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications.* Canadian Journal of Remote Sensing. Vol. 22, pp. 229-242.
- CSATHÓ P. – HORVÁTH J. – MESTERHÁZI P. Á. – MILICS G. – NAGY L. – NEMÉNYI M. – NÉMETH T. – PECZE ZS. – SZABÓ J. 2007: *Hazai gyakorlati tapasztalatok.* In:

- Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. (szerk.): A precíziós mezőgazdaság módszertana. JATE Press-MTA TAKI, Szeged, pp. 229-240.
- CSIZMAZIA Z. (szerk.) 2007: *A tápanyaggazdálkodás gépei*. FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő, 137 p.
- DAUGHTRY, C. S. T. – WALTHALL, C. L. – KIM, M. S. – BROWN DE COLSTOUN, E. – ILL, J. E. M. 2000: *Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance*. Remote Sensing of Environment. Vol. 74, pp. 229-239.
- DEÁKVÁRI J. – KOVÁCS L. 2007: *Területi mérések nagy pontosságú GPS használatával*. Gödöllő, kézirat
- DEERING, D. W., – ROUSE, J. W., – HAAS, R. H., – SCHELL, J. A. 1975: *Measuring „Forage Production” of Grazing Units From Landsat MSS Data*. Proceedings of the 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment, II, pp. 1169-1178.
- DETRÉKŐI Á. – SZABÓ GY. 2000: *Bevezetés a térinformatikába*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 250 p.
- DOMOKOS GY.-NÉ 1984: *Távérzékelés a műszaki gyakorlatban*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 198 p.
- DRURY, S. A. 1990: *A Guide to Remote Sensing – Interpreting Images of the Earth*. Oxford University Press, Oxford, New York, Tokyo, 199 p.
- ENGELMAN, R. – CINCOTTA, R. P. – DYE, B. – GARDENER-OUTLAW, T. – WISNEWSKI, J. 2000: *People in the balance – Population and Natural Resources at the Turn of the Millennium*. Population Action International, Washington, USA, 36 p.
- GITELSON, A. A. – MERZLYAK, M.N. 1998: *Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves.*, Advances in Space Research, 22, pp. 689-692.
- GYENIZSE P. – NAGYVÁRADI L. 2008: *Térinformatikai eszközökkel támogatott projektervezés felépítése*. In: Térinformatika és alkalmazása egyetemi jegyzet. Szerk.: Nagyvárad L., Varga G., Pécs, pp. 77-90.
- GYÖRFFY B. 2000: *A biogazdálkodástól a precíziós mezőgazdaságig*. Gyakorlati Agroforum, 11. évf. 2. szám, pp.1-5.

- GYÖRFFY B. 2001: *Javaslat a precíziós agrárgazdaság kutatási programjának indítására*. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának 2000. évi Tájékoztatója. Budapest, pp. 17-22.
- HABOUDANE, D. – MILLER, J. R. – PATTEY, E. – ZARCO-TEJADA, P. J. – STRACHAN, I. B. 2004: *Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture*. Remote Sensing of Environment, Vol. 90 (3), Elsevier Science Ltd., pp. 337-352.
- HABOUDANE, D. – MILLER, J. R. – TREMBLAY, N. – ZARCO-TEJADA, P. J. – DEXTRAZE, L. 2002: *Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture*. Remote Sensing of Environment, Vol. 81 (2002), Elsevier Science Ltd., pp. 416-426.
- HAJNAL K. – TÓTH J. 1998: *Globális világproblémák és megatrendek*. In: Tóth J. – Vuics T. (szerk.): Általános Társadalomföldrajz I., Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, pp. 112-114.
- HARGITAI H. – KARDEVÁN P. – HORVÁTH F. 2006: *Az első magyarországi képkalkotó spektrométeres repülés és adatainak elemzése erdőtípusok elkülönítésére*. Geodézia és Kartográfia, 58. évf. 9 szám., pp. 21-34.
- HUETE, A. R. 1988: *A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*. Remote Sensing of Environment, Vol. 25 (3), pp. 295-309.
- INMAN, D. – KHOSLA, R. – LEFSKY, M. – WESTFALL, D.G. 2005: *Early season grain yield prediction using remote sensing and site-specific management zones*. In: Stafford, J. V. (ed.): Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp. 835-841.
- JUNG A. 2005: *Spektrális információk alkalmazása a városklíma-kutatásban*. Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Doktori Iskola, 131 p., elérhető online: www.lib.uni-corvinus.hu/phd/jung_andras.pdf
- KARDEVÁN P. – VEKERDY Z. – RÓTH L. – SOMMER, ST. – KEMPER, TH. – JORDAN GY. – TAMÁS J. – PECHMANN I. – KOVÁCS E. – HARGITAI H. – LÁSZLÓ F. 2003: *Outline of scientific aims and data processing status of the first Hungarian hyperspectral*

- data acquisition flight campaign, HYSSENS 2002 HUNGARY.*, Proceedings of 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy., Herrsching, pp. 324-332.
- KARDEVÁN P. – REISINGER P. – TAMÁS J. – JUNG A. 2004: *A parlagfű (Ambrosia artemisiifolia L.) reflektancia spektrumainak meghatározása terepi mérésekkel.* Magyar gyomkutató és technológiai, V. évf., 1. sz., pp. 15-31.
- KOLLER, M. – UPADHYAYA, S. K. 2005: *Prediction of processing tomato yield using a crop growth model and remotely sensed aerial images.* Transactions of the ASAE, Vol. 48(6), American Society of Agricultural Engineers, pp. 2335-2341.
- LÓCZY D. 2002: *Tájértékelés, földértékelés.* Nordex Kft. - Dialóg Kampus, Pécs, 304 p.
- LAL, R. 1991: *Soil structure and sustainability.* Journal of Sustainable Agriculture, Vol 1, Issue 4, The Haworth Press Journals, pp. 67-92.
- LÓKI J. 1996: *Távérzékelés.* Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 113 p.
- LONG, D. – ROSENTHAL, T. 2005: *Evaluation of an on-combine wheat protein analyzer on Montana hard red spring wheat.* Precision Agriculture 5th ECPA – European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden. Book of Abstracts 5 ECPA – 2 ECPLF, pp. 385-392.
- MANIAK, S. 2003: *Konzept zur Integration von verschiedenen Datenquellen in einen Geographischen Informationssystem.* PhD értekezés (Supervisor: M. Neményi) Mosonmagyaróvár, 215 p.
- MANN, L. 2007: *Precision Agriculture Where are we? Where are we headed?* Elérhető: http://www.topconpositioning.com/news/files/White%20paper_Les%20Mann_Topcon.pdf, 2007. 09.15, 4 p.
- MESTERHÁZI P. Á. 2004: *Development of measurement technique for GPS-aided plant production.* PhD disszertáció, Mosonmagyaróvár, 203 p.
- MESTERHÁZI P.Á. – MILICS G. – NEMÉNYI M. – MANIAK S. 2007: *Accuracy of Panoramic Annular Lens in Precision Agriculture.* Pollution and Water Resources, Columbia University Seminar Proceedings, Environmental Problems in US and Central Europe including social Aspects of Both Areas, Vol XXXVII, in cooperation with Slovak Academy of Sciences, Institute of Hydrology, Bratislava, Slovakia, pp. 294-303.

- MIHÁLY SZ. 1994: *A magyarországi geodéziai vonatkozási és vetületi rendszerek leíró katalógusa*. Geodézia és Kartográfia, 46. évf. 4. szám, Budapest, pp. 198-203.
- MILICS G. 2006: *Thermal mapping using Landsat-7 satellite data*. Pollution and Water Resources Columbia University Seminar Proceedings, Vol. XXXVI, New York, USA, pp. 218-222.
- MILICS G. 2007: *Szenzortechnikai fejlesztések a kemikáliák precíziós-helyspecifikus kijuttatásához*. In: Jávor A. – Kovács J. (szerk.): *A korszerű tápanyaggazdálkodás műszaki feltételei*. Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum, Mezőgazdaságtudományi Kar, Debrecen, pp. 143-148.
- MILICS G. – NEMÉNYI M. 2007: *Adatgyűjtés műszaki és informatikai háttere*. In: Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. (szerk.): *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. JATE Press-MTA TAKI, Szeged, pp. 139-159.
- MILICS G. – TAMÁS J. 2007: *Helymeghatározás*. In: Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. (szerk.): *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. JATE Press-MTA TAKI, Szeged, pp. 15-38.
- MUCSI L. 1995: *Műholdas távérzékelés és digitális képfeldolgozás*. JATEPRESS, Szeged, 172 p.
- MUCSI L. – VARGA SZ. – FERENCZY M. 2000: *Introduction to research project organizing for characterization and monitoring of the environmental effect of petroleum industrial contamination in Hungary*. Acta Geographica Szegediensis, XXXVII, Szeged, pp. 117-126.
- NAGYVÁRADI L. 2005: *A GPS alkalmazásának lehetőségei*. In: *Tanulmányok Tóth Józsefnek*. Szerk.: Bugya T., Wilhelm Z. Pécs, PTE TTK Földrajzi Intézet, PTE Földtudományok Doktori Iskola, pp. 191-197.
- NAGYVÁRADI L. 2007: *Tájékozódás, térképészet, távérzékelés*. Egyetemi tankönyv, PTE TTK FI FDI Pécs, OLDALSZÁM
- NAGYVÁRADI L. – PIRKHOFFER E. 2005: *A modern geográfia kihívása: a térinformatika önkormányzati alkalmazásának új lehetőségei*. Földrajzi Közlemények, (megjelenés alatt)
- NAGYVÁRADI L. – VARGA G. 2008: *Térinformatika és alkalmazásai*. Egyetemi jegyzet, Pécs, 101 p.

- NAGYVÁRADI L. – GYENIZSE P. – PIRKHOFFER E. – ELEKES T. 2006: *A GIS analysis of urban development in Pécs* – In: G. J. Halasi-Kun (Ed.): *Pollution and water resources Columbia University seminar proceedings, Volume XXXVI. 2004-2005*, Hungarian Academy of Sciences Centre for Regional Studies Transdanubian Research Institute, Pécs, Hungary, pp. 257-265.
- NEMÉNYI M. – MESTERHÁZI P. Á. – MILICS G. 2006: *An Application of Tillage Force Mapping as a Cropping Management Tool*. Biosystems Engineering, Academic Press, Elsevier Science Ltd. Vol. 94, Iss. 3, July 2006, pp. 351-357.
- NEMÉNYI M. – MILICS G. 2007: *Precision agriculture technology and diversity*. Cereal Research Communications, Akadémiai Kiadó, Vol. 35, Nr. 2, 2007, pp. 829-832.
- NEMÉNYI M. – MESTERHÁZI P. Á. – PECZE ZS. – STÉPÁN ZS. 2003: *The role of GIS and GPS in precision farming*. Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 40. (1-3), pp. 45-55.
- NEMÉNYI M. – MILICS G. 2007: *Precision agriculture technology and diversity*. Cereal Research Communications, Vol. 35, Nr. 2, Akadémiai Kiadó, pp. 829-832.
- NÉMETH T. – NEMÉNYI M. – HARNOS ZS. 2007: *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. JATEPress-MTA TAKI, Szeged-Budapest, 239. p.
- OLIVER, M. A. – WEBSTER, R. 1991: *How geostatistics can help You*. Soil Use Management, Vol 7, pp. 206-217.
- PAPP Z. – FENYVESI L. 2007: *Új távérzékelési módszer a mezőgazdaságban és a környezetgazdálkodásban*. Mezőgazdasági Technika, XLVIII évf., 2007 január, pp. 26-28.
- PECHMANN I. – TAMÁS J. – KARDEVÁN P. – VEKERDY Z. – RÓTH L. – BURAI P. 2004: *Hiperspektrális technológia alkalmazhatósága a mezőgazdasági talajvédelemben*. in: Proc. EU Konform Mezőgazdasági és Élelmiszerbiztonság, pp. 98-103.
- PECZE ZS. – NAGY L. – HORVÁTH J. 2007: *Az IKR ZRt gyakorlati rendszere*. In: Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. 2007: *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. JATEPress-IKR Bábolna, Szeged, pp. 241-261.
- PERRY, C. JR., – LAUTENSCHLAGER, L. F. 1984: *Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices*. Remote Sensing and the Environment, Vol. 14, pp. 169-182.

- PETTERSSON, C. G. – ECKERSTEN, H. 2007: *Prediction of grain protein in spring malting barley grown in northern Europe*. European Journal of Agronomy, Vol. 27, Issue 2-4, Elsevier Science Ltd., pp. 205-214.
- PIRKHOFFER E. 2005: *Térinformatikával segített rekultiváció, Pécs város bányaterületeinek példáján*. In: Bugya T. – Wilhelm Z. (szerk.): *Tanulmányok Tóth Józsefnek*. Földrajzi Intézet, Pécs, pp. 199-209.
- QI, J. – CHEHBOUNI, A. – HUETE, A. R. – KERR, Y. H. – SOROOSHIAN, S. 1994: *A modified Soil Adjusted Vegetation Index*. Remote Sensing of Environment, Vol. 48(2), pp. 119-126.
- RANDS, M. 1995: *The developement of an expert filter to improve the quality of yield mapping data*. MSc tézis, Silsoe College, Cranfield University, UK., kézirat
- REYNIERS, M. – VRINDTS, E. – DE BAERDEMAEKER, J. 2006: *Comparison of aerial-based system and an on the ground continuous measuring device to predict yield of winter wheat*. European Journal of Agronomy, Vol 24 (2006), Elsevier Science Ltd., pp. 87-94.
- RICHARDSON, A. J. – WIEGAND, C. L. 1977: *Distinguishing Vegetation From Soil Background Information*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 43, pp. 119-126.
- ROBINSON, T. P. – METTERNICHT, G. 2005: *Comparing the performance of techniques to improve the quality of yield maps*. Agricultural Systems 85 (2005) Elsevier Science Ltd., pp. 19-41.
- RONDEAUX, G. – STEVEN, M. – BARET, F. 1996: *Optimization of soil-adjusted vegetation indices*. Remote Sensing of Environment, Vol 55 (2), pp. 95-107.
- ROUGEAN, J. L. – BREON, F. M. 1995: *Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements*. Remote Sensing of Environment, Vol 51, pp. 375-384.
- ROUSE, J. W. – HAAS, R. H. – SCHELL, J. A. – DEERING, D. W. 1973: *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS*. Third ERTS Symposium, NASA SP-351, Vol. 1. NASA, Washington DC., pp. 309-317.

- ROUSE, J. W. – HAAS, R. H. – SCHELL, J. A. – DEERING, D. W. – HARLAN, J. C. 1974: *Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation*. NASA/GSFC, Greenbelt, MD., unpaginated
- SCHOWENGERDT, R. A. 1997: *Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, London, 522 p.
- SEELAN, S. K. – LAGUETTE, S. – CASADY, M. G. – SEIELSTAD, A. G. 2003: *Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach*. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 88 (2003), Issue 1-2, Elsevier Inc., pp. 157-169.
- STAFFORD, J.V. – AMBLER, B. 1994: *In-field location using GPS for spatially variable field operations*. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol 11, Issue 1, Elsevier Science Ltd., pp. 23-36.
- SIMMONDS, N. W. 1996: *Yields of cereal grain and protein*. *Experimental Agriculture*, Vol. 32, pp. 351-356.
- STOMBAUGH, T. S. – MUELLER, T. G. – SHEARER, S. A. – DILLON, C. R. – HENSON, G. T. 2001: *Guidelines for Adopting Precision Agricultural Practices*. PA-2, Cooperative Extension Service, University of Kentucky College of Agriculture, Lexington, 4 p.
- SZABÓ J. – MILICS G. – TAMÁS J. – PÁSZTOR L. 2007: *Térinformatika a precíziós mezőgazdaságban*. In: Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. (szerk.): *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. JATE Press-MTA TAKI, Szeged, pp. 39-62.
- TAMÁS J. 2001: *Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 144 p.
- TAMÁS J. – KARDEVÁN P. – KOVÁCS E. – KOVÁCS E. – TAKÁCS P. 2005: *Evaluation of environmental risks of non point source heavy metal contamination using DAIS sensor*. In: Zagajewski, B. – Sobczak, M. – Wrzesień, M. (eds.): *Proceedings of 4th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*. New quality in environmental studies., EARSeL and Warsaw University, Warsaw, pp. 415-423.
- TAMÁS J. – LÉNÁRT CS. 2003: *Terepi Térinformatika és a GPS Gyakorlati Alkalmazása*. Debreceni Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, 199 p.

- TAYLOR, J. –WHELAN, B. – THYLÉN, L. 2005: *Monitoring wheat protein content on-harvester: Australian experiences.*, 5th ECPA – European Conference on Precision Agriculture. Uppsala. Sweden. Book of Abstracts 5 ECPA – 2 ECPLF. pp. 369-375.
- THENKABAIL, P. S. – WARD, A. D. – LYON, J. G. 1995: *Landsat-5 Thematic Mapper models of soybean and corn crop characteristics.* International Journal of Remote Sensing, Vol. 15, pp. 49-61.
- THENKABAIL, P. S. – SMITH, R. B. – DE PAUW, E. 2000: *Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics.* Remote Sensing of Environment, Vol. 71, Elsevier Science Ltd., pp. 158-182.
- THENKABAIL, P. S. – SMITH, R. B. – DE PAUW, E. 2002: *Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, Vol. 68, Nr. 6, pp. 607-621 (1 p.1/2)
- THIAM, A. K. 1997: *Geographic Information Systems and Remote Sensing Methods for Assessing and Monitoring Land Degradation in the Sahel: The Case of Southern Mauritania.* Doktori disszertáció, Clark University, Worcester Massachusetts.
- THYLÉN, L. – ALGERBO, P. A. 2001: *Development of a protein sensor for combine harvesters.* In G Grenier and S. Blackmore (szerk.) ECPA 2001, Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, June, 2001, pp. 869-873.
- THYLÉN, L. – GILBERTSSON, M. – ROSENTHAL, T – WRENN, S. 2002: *An on-line proteinsensor - from research to product.* In P. Robert et. al. (szerk.) Precision Agriculture (CD-ROM). Proceedings of the 6th International Conference. Minneapolis, MN. 14-17 July 2002. ASA,CSSA, and SSSA, Madison, WI
- THYLÉN, L. – MURPHY, D.P.L. 1996: *The control of Errors in Momentary Yield Data from Combine Harvesters.* J. of Agricultural Engineering Research, Vol. 64., Issue 271.

- TILLING, A. K. – O’LEARY, G. J. – FERWERDA, J. G. – JONES, S. D. – FROTZGERALD, G. J. – RODRIGUEZ, D. – BELFORD, R. 2007: *Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat*. Field Crops Research 104 (2007), pp. 77-85.
- TÓZSA I. 2001: *A térinformatika alkalmazása a természeti és humán erőforrás-gazdálkodásban*. Aula kiadó, Budapest, 190 p.
- TUCKER, C. J. 1979: *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*. Remote Sensing of Environment, Vol. 8, pp. 127-150.
- WHITING, M. L. – USTIN, S. L. – ZARCO-TEJADA, P. – PALACIOS-ORUETA, A. – VANDERBILT V. C. 2006: *Hyperspectral mapping of crop and soils for precision agriculture*. Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability III. Edited by Gao, Wei; Ustin, Susan L. Proceedings of the SPIE, Volume 6298, (pp. 62980B), p. 15
- WRIGHT, D. L. – RAMSEY, R. D. – BAKER, D. J. – RASMUSSEN, V. PH. 2003: *A comparison of two geospatial technologies in non-uniform wheat fields: yield monitors and remote sensing*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing conference proceedings, May 5-9, 2003, Anchorage, Alaska, USA, unpaginated CD-ROM
- WRIGHT, D. L. – RITCHIE, G. – RASMUSSEN, V. PH. – RAMSEY, R. D. – BAKER, D. J. 2007: *Managing Grain Protein in Wheat Using Remote Sensing*. Online Journal of Space Comm., Vol. 3.<http://satjournal.tcom.ohiou.edu/issue03/applications.html>

Függelék

1. A repülési paramétereket tartalmazó táblázat (DEÁKVÁRI J. munkája)

AISA flight parameters for	HIAE / University of Debrecen	Local ground elevation	127 [m]	from mean sea level
AISA Eagle Serial Number	SN100026	Local WGS-84 geoid high	46 [m]	
Hawk Serial Number	SN300015	Average ground elevation	84,70971675 [m]	from WGS-84 reference surface
AISA Eagle focal length	18,04 mm			
AISA Eagle spatial pixels	46 start	1024 end	978 total	
Hawk spatial pixels	22 start	320 end	299 total	
DUAL spatial pixels	25 start	320 end	296 total	

Change gray areas to calculate FPS, swat width and altitude
The spatial pixels exclude FODIS area
The flight altitude is from mean sea level

Ground pixel size [m]	[feet]
1,00	3,28

Max flight altitude for AISA is specified to 10000 feet
Use the blue highlighted values in CaliGeo

Ground Speed [m/s]	[knots]
60	116,63064

AISA Eagle		SN100026_210606_XB.cal								
Binning	Spectral sampling ~	Spatial pixels	MAX FPS	FPS	Ground pixel size [m]	Swat width [m]	[feet]	Altitude [m]	[feet]	
8x2	10 nm	489	129	60,00	1,0	489	1604	879	2883	
4x2	5 nm	489	89	60,00	1,0	489	1604	879	2883	
2x1	2,5 nm	978	54	60,00	1,0	978	3209	1630	5349	
2x2	2,5 nm	489	54	60,00	1,0	489	1604	879	2883	
1x1	1,2 nm	978	30	60,00	1,0	978	3209	1630	5349	
1x2	1,2 nm	489	30	60,00	1,0	489	1604	879	2883	

AISA Hawk		SN300015_200906_B.cal							
Binning	Spectral sampling ~	Spatial pixels	MAX FPS	FPS	Ground pixel size [m]	Swat width [m]	[feet]	Altitude [m]	[feet]
1x1	6 nm	299	103	60,00	1,0	299	981	879	2883

DUAL		DUAL_SN100026_300015.cal							
Binning	Spectral sampling ~	Spatial pixels	MAX FPS	FPS	Ground pixel size [m]	Swat width [m]	[feet]	Altitude [m]	[feet]
Dual mode 4x2	Eagle 5 nm, Hawk 6nm	296	89	60,00	1,0	296	971	879	2883
Dual mode 2x2	Eagle 2.5 nm, Hawk 6nm	296	54	60,00	1,0	296	971	879	2883

Beállítások	Spectral	Spatial
Eagle	4	2
Hawk	2	1

Band file: Dual_2xhiper_5nm.bnd

2. Az AISA DUAL specifikációja

SENSOR HEAD		TYPICAL SPECIFICATIONS							
Spectral range	VNIR 400-970 nm				SWIR 970-2450 nm				
	Total 400-2450 nm								
Spectral resolution	VNIR 2.9 nm				SWIR 8.5 nm				
Spectral binning options	VNIR	none	2x	4x	SWIR	none	2x	4x	
# spectral bands		244	122	60		254	127	63	
Spectral sampling/band (nm)		2.3	4.6	9.2		5.8	11.6	23.2	
FORE OPTICS									
Swath acquisition, option 1	See data acquisition option 1 on right								
# spatial pixels	VNIR	320			SWIR	320			
FOV		24 degrees				24 degrees			
Ifov		0.075 degrees				0.075 degrees			
Swath width		0.43 x altitude				0.43 x altitude			
Swath acquisition, option 2	See data acquisition option 2 on right								
# spatial pixels	VNIR	1024			SWIR	320			
FOV		37.7 degrees				35.5 degrees			
Ifov		0.037 degrees				0.111 degrees			
Swath width		0.68 x altitude				0.64 x altitude			
ELECTRICAL CHARACTERISTICS									
Camera	VNIR	CCD 12 bits			SWIR	MCT 14 bits			
SNR		350:1 (peak)				800:1 (peak)			
Integration time	Settable independent of frame rate								
Image rate	Up to 100 images/s								
Shutter	Electromechanical shutter for dark background registration in both channels, user controllable by software.								
FODIS	In VNIR channel								

3. A vegetációs indexek

3.1. A multispektrális vegetációs indexek

Név (angol)	Vegetációs index	Hivatkozás
Simple Ratio Index (SR)	$SR = \frac{R_{NIR}}{R_{RED}}$	Rouse et al., 1974
Modified Simple Ratio (MSR)	$MSR = \frac{R_{NIR} / R_{RED} - 1}{(R_{NIR} / R_{RED})^{0.5} + 1}$	Chen, 1996
Ratio Vegetation Index (RVI)	$RVI = \frac{R_{RED}}{R_{NIR}}$	Richardson and Wiegand, 1977
Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI)	$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$	Baret and Guyot, 1991
Difference Vegetation Index (DVI)	$DVI = R_{NIR} - R_{RED}$	Tucker, 1979
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})}$	Rouse et al., 1973
Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)	$GNDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{GREEN})}{(R_{NIR} + R_{GREEN})}$	Gitelson and Merzlyak, 1998
Transformed Vegetation Index (TVI)	$TVI = \sqrt{\left(\frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}\right) + 0.5}$	Deering et al., 1975
Corrected Transformed Vegetation Index (CTVI)	$CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{ABS(NDVI + 0.5)} \times \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$	Perry and Lautenschlager, 1984
Thiam's Transformed Vegetation Index (TTVI)	$TTVI = \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$	Thiam, 1997
Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index (TSAVI)	$TSAVI = \frac{a(R_{NIR} - aR_{RED} - b)}{R_{NIR} + aR_{RED} - b}$	Baret et al., 1989
Middle Infrared-based Vegetation Index (MIVI)	$MIVI = \frac{(R_{MIRI} - R_{RED})}{(R_{MIRI} + R_{RED})}$	Thenkabail et al., 1995

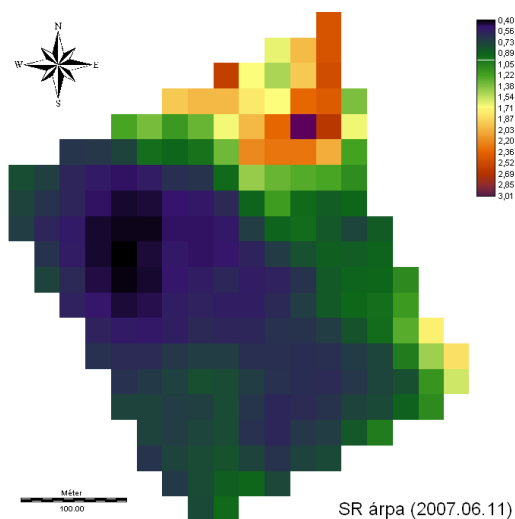
A vegetációs indexek térképi ábrázolása

A vegetációs indexek több csoportja is ismert. A dolgozat elkészítéséhez mért talajtulajdonságok, illetve a távérzékelt képen meghatározható tiszta talajfelület hiányában csak a lejtésen alapuló (slope-based) indexeket készítettem el.

Az Egyszerű Arány Index (Simple Ratio)

$$SR = \frac{R_{NIR}}{R_{RED}}$$

Az index célja, hogy elkülönítse a zöld vegetációt a háttérben visszaverődést okozó talajtól. Az index alkalmazásának előnye, hogy független a megvilágítástól, hátránya viszont, hogy az osztás miatt a kijövő adatok eloszlása nem lesz lineáris, így statisztikai elemzésekre kevésbé használható.

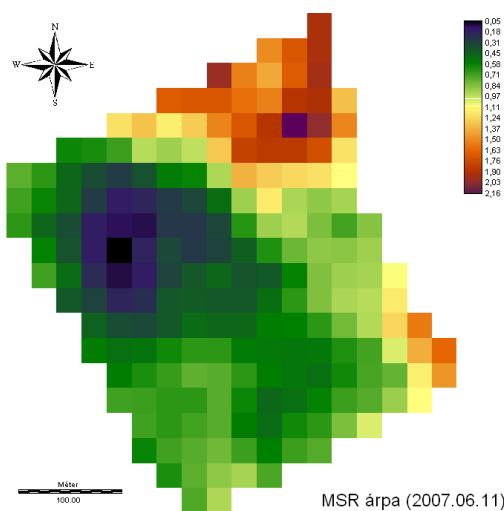


*Az SR vegetációs index alkalmazásával
kapott térképfedvény*

A Módosított Egyszerű Arány Index (Modified Simple Ratio)

$$MSR = \frac{R_{NIR} / R_{RED} - 1}{(R_{NIR} / R_{RED})^{0.5} + 1}$$

Az index a közeli infravörös és a látható vörös csatornák alkalmazásával számítható.

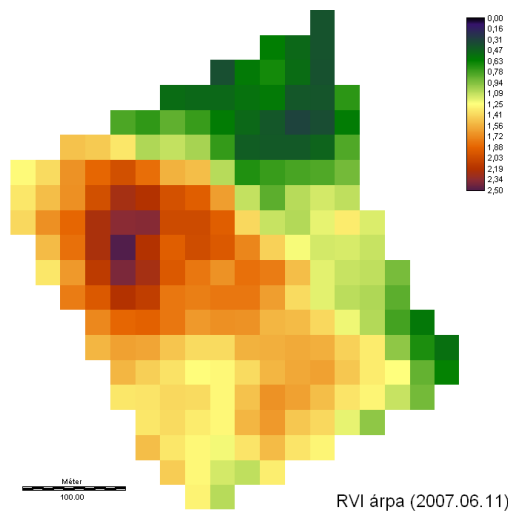


*Az MSR vegetációs index alkalmazásával
kapott térképfedvény*

Az Arány Vegetációs Index (Ratio Vegetation Index)

$$RVI = \frac{R_{RED}}{R_{NIR}}$$

Az index a látható vörös és a közeli infravörös csatornák egymással való osztásából kapható meg. Alkalmazásának előnye, hogy egyszerűen számítható.

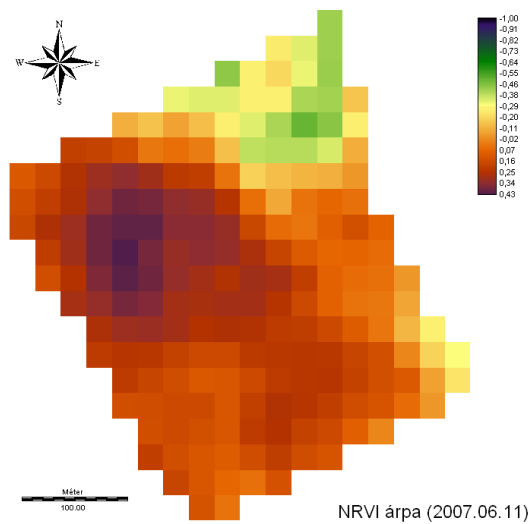


Az RVI vegetációs index alkalmazásával kapott térképfedvény

A Normalizált Arány Vegetációs Index (Normalized Ratio Vegetation Index)

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$$

Az index hasonlóan a többi normalizált vegetációs indexhez csökkenti a domborzat, a besugárzás és az atmoszféra által keltett zavaró hatásokat.

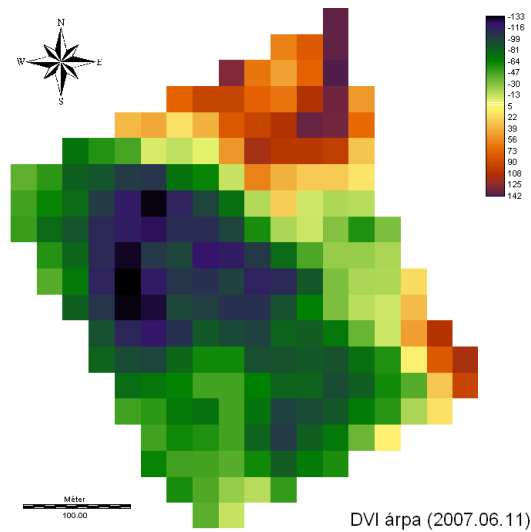


Az NRVI vegetációs index alkalmazásával kapott térképfedvény

A Különbség Vegetációs Index (Difference Vegetation Index)

$$DVI = R_{NIR} - R_{RED}$$

Az index a vörös és a közeli infravörös multispektrális sávok közötti különbség kiszámításával hozható létre. Előnye, hogy széles tartományra húzza szét a megjelenített értékeket, valamint mind negatív, mind pozitív értékeket megjelenít.

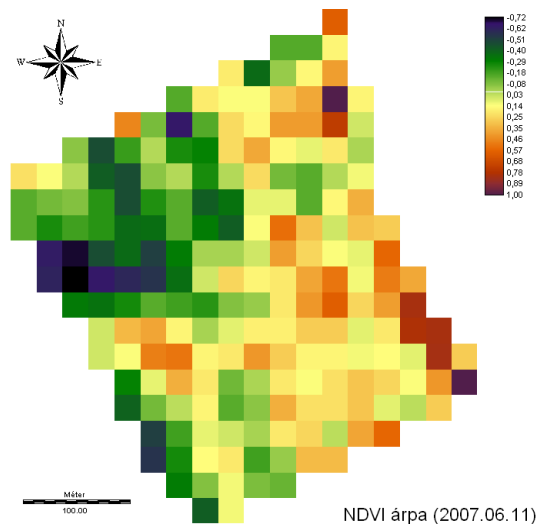


Az DVI vegetációs index alkalmazásával
kapott térképfedvény

A Normalizált Differenciál Vegetációs Index (Normalized Difference Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})}$$

Az index a domborzati hatásokat maximálisan kiszűri, és a nulla értékkel való osztás hatását is minimálisra csökkenti. Az index a -1 és +1 közötti tartományban jelenít meg értékeket. A gyakorlatban a pozitív értékű pixelek jelölik a zöldfelületeket.



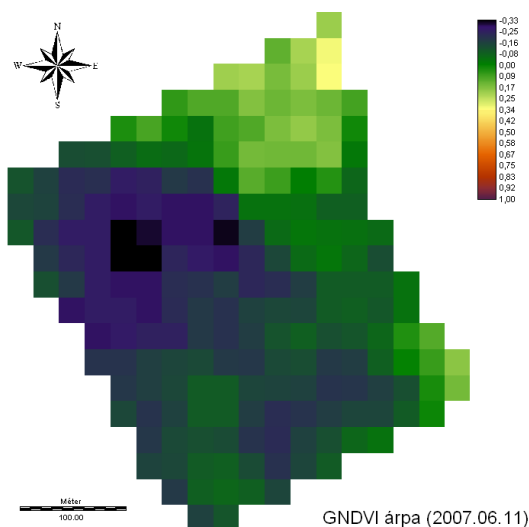
Az NDVI vegetációs index alkalmazásával
kapott térképfedvény

A Zöld Normalizált Differenciál Vegetációs Index

(Green Normalized Difference Vegetation Index)

$$GNDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{GREEN})}{(R_{NIR} + R_{GREEN})}$$

Az index a zöld hullámhossz-tartomány eső fény visszaverődésével dolgozik, a vegetációs időszak korábbi szakaszaiban jobban használható, mint a már érési folyamatban lévő, így zöld színüket veszítő növények esetén



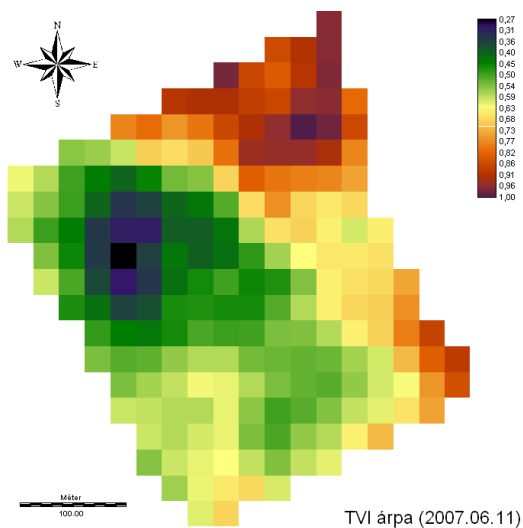
Az *GNDVI* vegetációs index alkalmazásával kapott térképfedvény

A Transzformált Vegetációs Index

(Transformed Vegetation Index)

$$TVI = \sqrt{\left(\frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}\right) + 0.5}$$

Az index célja, hogy az NDVI index által létrehozott térképen megjelenő negatív tartomány is pozitív értéként jelenjen meg. Ezért az NDVI értékhez 0,5-öt hozzá kell adni. Amennyiben az NDVI értékek meghaladják a -0,5-ös értéket, továbbra is előfordulhat negatív érték.

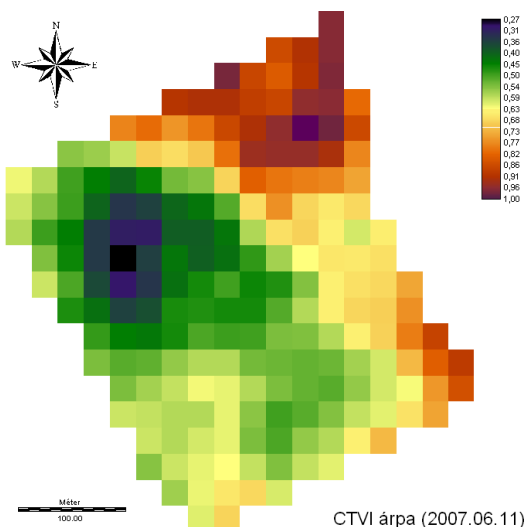


Az *TVI* vegetációs index alkalmazásával kapott térképfedvény

**A Korrigált Transzformált Vegetációs Index
(Corrected Transformed Vegetation Index)**

$$CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{ABS(NDVI + 0.5)} \times \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$$

A korrekció miatt a teljes negatív tartományt kiszűrve kapjuk meg az eredményképet. Amennyiben az NDVI index nem tartalmaz mínusz 0,5 alatti értékeket a TVI index és a CTVI index között nincs különbség. Ugyanakkor a tapasztalatok azt mutatják, hogy a képek zajosak, mivel az index a zöld értékeket túlbecsüli. A gyök alá vonás célja a normál eloszlás biztosítása.

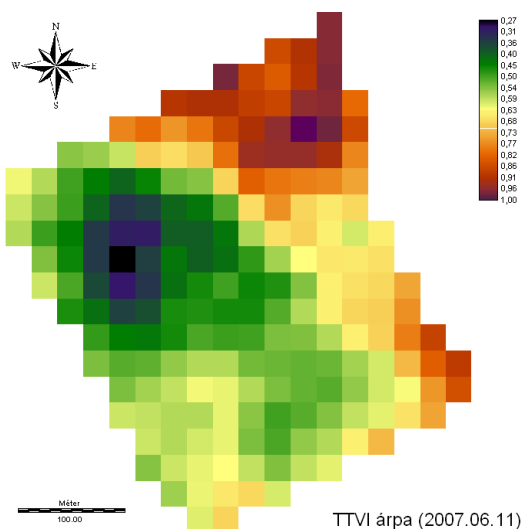


Az CTVI vegetációs index alkalmazásával kapott térképfedvény

**Thiam által Transzformált Vegetációs Index
(Thiam's Transformed Vegetation Index)**

$$TTVI = \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$$

Thiam vizsgálatai alapján a CTVI index első felét elhagyva jobb eredmény érhető el a vegetáció kimutatásakor.



Az TTVI vegetációs index alkalmazásával kapott térképfedvény

3.2. A hiperspektrális vegetációs indexek

Név (angol)	Vegetációs index	Hivatkozás
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI ₁)	$MTVI_1 = 1.2 \cdot [1.2 \cdot (R_{800} - R_{550}) - 2.5 \cdot (R_{670} - R_{550})]$	Haboudane et al., 2004
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI ₂)	$MTVI_2 = \frac{1.5 \cdot [1.2 \cdot (R_{800} - R_{550}) - 2.5 \cdot (R_{670} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \cdot R_{800} + 1)^2 - (6 \cdot R_{800} - 5 \cdot \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane et al., 2004
Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)	$RDVI = \frac{(R_{800} - R_{670})}{\sqrt{(R_{800} + R_{670})}}$	Rougean and Breon, 1995
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI ₁)	$MCARI_1 = 1.2 \cdot [2.5 \cdot (R_{800} - R_{670}) - 1.3 \cdot (R_{800} - R_{550})]$	Daughtry et al., 2000
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI ₂)	$MCARI_2 = \frac{1.5 \cdot [2.5 \cdot (R_{800} - R_{670}) - 1.3 \cdot (R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \cdot R_{800} + 1)^2 - (6 \cdot R_{800} - 5 \cdot \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Daughtry et al., 2000
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = (1 + L) \cdot (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L)$ $[L \in (0, 1)]$	Huete, 1988
Modified SAVI with self-adjustment factor L (MSAVI)	$MSAVI = \frac{1}{2} \left[2 \cdot R_{800} + 1 - \sqrt{(2 \cdot R_{800} + 1)^2 - 8 \cdot (R_{800} - R_{670})} \right]$	Qi et al., 1994
Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI)	$OSAVI = (1 + 0.16) \cdot (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux et al, 1996
Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (TCARI)	$TCARI = 3[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550}) \cdot (R_{700} / R_{670})]$	Haboudane et al., 2002