



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

**Talajnedvesség variabilitásának mérése
távérzékelési módszerekkel**

OE-AMK

2023

ÁDÁM BENCE

T000698/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Ádám Bence

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000698/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: geoinformatikai szakember

Specializáció:

A dolgozat címe: Talajnedvesség variabilitásának mérése távérzékelési módszerekkel

A dolgozat címe angolul: Measuring soil moisture variability using remote sensing methods

A feladat részletezése:

1. A szakirodalom alapján foglalja össze és mutassa be:
 - a) a jelenleg üzemelő aszálymonitoring rendszereket
 - b) a talajnedvességmérési módszereket
 - c) a távérzékelés szerepét a talajnedvesség mérésében!
2. Egy kiválasztott mintaterület és a témára vonatkozó jellemzők ismertetése:
 - a) a mintaterület bemutatása meteorológiai, topográfiai, talajtani szempontból
 - b) terepen végzett mérések, alkalmazott műszer ismertetése és a térinformatikai háttér bemutatása
 - c) a felhasznált távérzékelési adatok bemutatása.
3. Végezze el a terepi mérések és a távérzékelési adatok kiértékelését!
4. Foglalja össze az eredményeket, vonja le a következtetéseit.

Intézményi konzulens neve: Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata Mária

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 07. 10.

Beadási határidő: 2023. 05. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 03. 31.



[Handwritten signature]

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 05. 15.

[Handwritten signature: Verőné Dr. Wojtaszek M.]

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozat/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: VESZPRÉM, 2023. 05. 05.

Ádám Bence
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	7
2. Aszály	9
3. Aszálymonitoring-hálózatok	12
4. A talajnedvesség mérési módszerek.....	16
5. A távérzékelés szerepe a talajnedvességmérésben.....	20
6. A mintaterület topográfiai, talajtani és meteorológiai viszonyai.....	26
7. A terepmunka bemutatása	32
7.1 Az alkalmazott műszer ismertetése	33
7.2 A térinformatikai háttér bemutatása	34
7.3 A felhasznált adatok bemutatása	37
8. A távérzékelési és a terepi adatok kiértékelése	39
9. Összefoglaló	52
10. Summary	53
11. Irodalomjegyzék.....	54
12. Köszönetnyilvánítás	58
13. Mellékletek.....	59

FOGALMAK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

AGROTOPO	Agrotopográfiai Adatbázis
ATK TAKI	Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani Intézet
COPERNICUS	Európai Unió Föld-megfigyelési program
DDM	Digitális Domborzatmodell
DEM	Digital Elevation Model
DMCSE	Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ
DOSoReMI	Digitális talajtérkép adatbázis
DSF	Digital Surface Modell
DTA	Digitális Térképészeti Adatbázis
DTM	Digitális Terep Modell
EDO	European Drought Observatory
EOV	Egységes Országos Vetület
ESA	European Space Agency
FIR	Földmegfigyelési Információs Rendszer
GIS	Geographical Information System
HDI	Hungarian Drought Index
IDW	Inverz Distance Weighted
MSI	Multi Spectral Instrument
MTA	Magyar Tudományos Akadémia
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OVF	Országos Vízügyi Főigazgatóság
TIN	Triangulated Irregular Network
WMS	Web Map Service
WGS	World Geodetic System

Nagy László: Aszály

Dal hamis húron pendülni ne merjen,
dühös az ember, barmok búslakodnak,
gyullad az élet, ég a sudárnyárfa
tömör-zöld tornya.

Átlátsz a fán, mint szitakötő szárnyán,
levél az ágon szivarrá sodródik,
szivarra váró bagós öregeknek
szörnyű ajándék.

Kövér csikókat jó ám simogatni,
tél derekán, de hol itt a kaszáló?
Réti madárnak sárga sarkantyúját
meglátni benne.

Güzü-egér is, nemhogy megdögölne,
szitává fúrja, furkálja a földet.
Tompsona hízik, ül a napraforgón,
aranytányérban.

Kapás leányok, a harangszoknyások,
szavukat veszelve zuhannak a porba.
S fölkelnek újra veszedelem ellen
kongatva ringnak.

Alkonysugárnál férfiak seregben
kútat mernek lázbeteg mezőkre,
s éjjel a csillag sír, mert nem lel tükröt
sehol a tájon.

Szép lesz a termés, – szól a tudósító.
Ó, de szeretném buktatni a földre,
kemény földünket hazudozó szája
hadd csókolgatná!

Rossz lesz a termés, szép csak ez a
küzdés,
nem a bőségért: a megmaradásért.
Szívét az ember dacosabban hordja
aszályos földön.

Aki az égő füvek szenvedését
érezni tudja, az lesz a hatalmas.
Ujjától majd a magasság megrendül,
zúdul a zápor.

1. BEVEZETÉS

A térinformatika dinamikusan fejlődő tudományágként egyre fontosabb szerepet tölt be a mindennapi élet legkülönbözőbb folyamatainak megfigyelésében és megértésében. Alkalmazott tudományként számos térbeli vagy helyhez kötött adatot használó ágazatnak nyújt támogatást az adattárolásban, a téradatból történő információ előállítás során és az adatvizualizációban. Gyakorlatai alkalmazásait használják a kutatás-fejlesztésben, a településfejlesztésben és üzemeltetésben, a környezetvédelemben, a természetvédelemben, a vízgazdálkodásban, az erdőgazdálkodásban és a mezőgazdaságban.

A mezőgazdasági termelés az emberi civilizációs fejlődésnek az alapja. A napjainkban zajló klímaváltozás folyamatosan új kihívásokat támaszt az agrárium és azon belül a szántóföldi növényi kultúrákat termesztő gazdák számára. Az éghajlati rendszer hidrológiai ciklusában előforduló szélsőségek számának és mértékének növekedése kihat a talajok vízháztartására is [1]. A pedoszféra vízháztartásának egyenlőtlenségei nem újkeletű probléma hazánkban, azonban a megnövekedő éghajlati változékonyság jelentős gazdasági, társadalmi károkat okoznak és nyomás alá helyezik a bioszféra ellenállóképességét.

A távérzékelés fejlődése, az egyre kifinomultabb és pontosabb műszerek alkalmazása lehetőséget biztosít a technológia használatára a helyspecifikus (precíziós) növénytermesztésben. Az agrártermelés átalakulóban van, a digitalizáció egyre inkább átszövi az árutermeléshez használt eszközöket és technológiát. A térinformatika és a távérzékelés egyre fontosabb szerepet játszik a precíziós növénytermesztésben, válaszlehetőségként jelenik meg az egyre gyakoribb és súlyosabb aszályok kezelésében.

Az aszálykezelés vizsgálati eszköztárába tartozó talajnedvesség pontszerű mintavételezéssel történő mérése és nagy kiterjedésű területen történő alkalmazása erőforrásigényes feladat. A paraméterek gyakran és gyorsan változnak térben és időben. A változások mértékének és hatásainak nyomon követése lehetővé teszi az aszály-előrejelzéseket. [2], [3]

A talajnedvesség térbeli variabilitásának pontszerű adatokon alapuló mérésének korlátairól fontos említést tenni, azon vonatkozásban, hogy a pontmérés körüli területekről valótlan információval szolgálhat. Két mérési pont közötti területre a mérési adatokból matematikailag következtethetünk, de ennek az eredménye a valóságtól eltérhet, mivel a talajnedvesség variabilitása több tényezőn múlik. Emiatt egyre fontosabb a távérzékelés szerepe a talajnedvesség mértékének meghatározására irányuló vizsgálatokban, több kutatás és alkalmazási példa is bizonyítja a módszer használatának eredményességét, azonban a technológia megbízható alkalmazhatóságához további kutatásokra van szükség.

Szakdolgozatom célja, hogy a szakirodalomban fellelhető ígéretes távérzékelési módszerek alkalmazásával megbecsüljem a talajnedvesség térbeli változékonyságát és vizsgáljam a becslés pontosságát közvetlen in situ méréssel való összehasonlítással.

Az aszály jelenség, az aszálymonitoring-hálózatok és a talajnedvesség mérési módszerek ismertetése után a terepi munka bemutatására térek ki. A terepi kutatás választott mintaterülete a Csolnok határában található 74 hektáros szántóföld, melyen talajnedvesség méréseket végzek több időpontban. A mintaterületre vonatkozó távérzékelési adatok elemzését, majd modellbe ültetését követően összehasonlítottam a két eltérő módszerrel nyert eredményt.

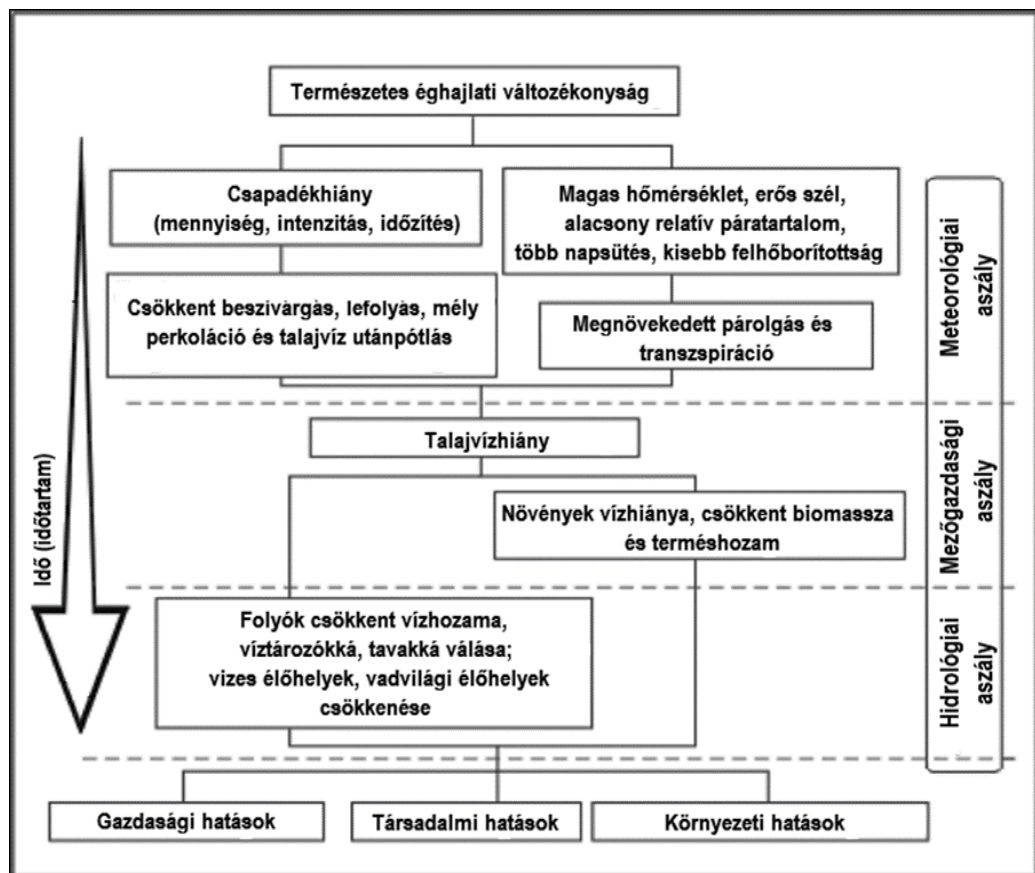
2. ASZÁLY

Az aszály komplex mivoltából fakadóan összetett jelenség, ezért nincs általánosan elfogadott definíciója. Szokás a korlátozott érvényességű munkadefiníció alkalmazása, mivel a jelenség kialakulása nem standardizálható módon történik, hossza és súlyossága nem mérhető egy univerzális mértékegységgel [3].

Definíció helyett helyspecifikus, csak adott éghajlati területre vonatkoztatott aszályindexek használatosak, melyekből több mint 50 létezik világszerte. Egy aszályindex sok paraméterből tevődhet össze, tartalmazhat csapadékanomáliára, csapadékösszegre, talajnedvességre, talajtípusra, levegő-hőmérsékletre, evapotranspirációra, valamint a különböző hosszúságú időszaknak a csapadék- és a hőmérsékleti viszonyaira vonatkozó input adatokat. Az aszály területi kiterjedéssel és időszakkal is rendelkezik, kiindulópontja a vízhiány és végpontja a károkozás, amelyet hatásterülete alapján is megkülönböztethetünk [3].

Az aszály és a szárazság között fontos meghúzni a vízválasztót, mivel nem használhatóak szinonimaként. A különbséget a két jelenség eredete alapján tehetünk, az aszály időszakosan fellépő jelenség, míg a szárazság egy éveken keresztül átívelő állapotként értelmezhető. Az aszályt relatív állapotként és éghajlati régióként külön kell értelmezni. Még adott régión belül is az egymást követő aszályok különböznek egymástól intenzitásban, időtartamban és területi kiterjedésben [3].

A vízhiány és a kapcsolódó hatások főbb jellemzői szerint az aszály tipizálható, kategóriákba osztható. A következő ábra bemutatja az aszálytipizálás szempontrendszerét. A kategorizálás aszerint történik, hogy az aszály, mint természeti jelenség, hol, mire és milyen időtartamon keresztül fejti ki hatását.



1.ábra: Az aszálytípusok közötti kapcsolat

Forrás: Szalai Sándor [3]

Beszélhetünk meteorológiai aszályról, amennyiben a meteorológiai paraméterekben történt változások tendenciái tartósan a szárazodás felé mutatnak, amelyeket a csapadékhiányon és/vagy a magas párolgáson keresztül mérhetünk le. A meteorológiai aszály időtartamát tekintve hetektől hónapokig vagy akár évekig is tarthat. A mezőgazdasági aszály esetében a meteorológiai paramétereken túl a nedvességhiány jeleit már a talajban is tetten érhetjük. A melegebb viszonyok fokozzák az evapotranszpirációt, gyorsabban kimerítik a felszíni- és a talajvízkészletet. A mezőgazdasági aszály a termesztett kultúrnövény szempontjából közelíti meg a kérdéskört, a talaj nedvességtartalma és a növények vízellátásának hiánya szempontjából értelmezi az aszály mértékét, és a mezőgazdasági növényeken és/vagy a természetes növényzet állapotán keresztül határozza meg az aszály súlyosságát.

A hidrológiai aszály esetében, olyan tartósan fennálló vízhiányról beszélhetünk, amely már a folyók és a talajvíz szintjére is hatással van, azok jelentős csökkenése jellemezi. A hidrológiai aszály során a folyóvízi közlekedés korlátozódik az alacsony vízszint miatt. A vízi utak használhatóságának korlátozottságán túl a hidrológiai aszály az ipari és energiatermelő folyamatok vízkivételére is hatással van, például a hűtővízhez való hozzáférés csökken. Végül, a társadalmi-gazdasági-környezeti aszály olyan állapot, amelyben a hosszan tartó, az egyes részterületeket érintő hatások összeadódnak, és a vízhiány olyan mértéket ölt, amelyben már a társadalmi-gazdasági-környezeti rendszerek működésében súlyos zavarokat tapasztalhatunk. [4]

Mezőgazdasági szempontból az aszály a vizsgált növénykultúra életfolyamatainak a vízhiány miatt bekövetkezett károsodása. Növény nélkül a mezőgazdasági aszály nem értelmezhető, továbbá figyelembe kell venni, hogy a különböző növények eltérően reagálnak a vízhiányra. [5]

Növényélettani szempontból fontos, hogy a négy fenológiai fázisból melyikben jelentkezik vízhiányos időszak. A növényfejlődés a következő szakaszokra bontható:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1. mag | 2. csírázás |
| 3. vegetatív fejlődés | 4. generatív fejlődés |

Változó a vízigény és a víz más biokémiai folyamatokhoz kerül felhasználásra az egyes stádiumokban. A növény fejlődése során a számára szükséges víz nagy részét a talajból veszi fel gyökérzetén keresztül. Az első vízigényes folyamat a csírázás, elindulásánál is és a teljes folyamat során is nélkülözhetetlen a víz közvetlen jelenléte. A csírázás folyamatában bekövetkező vízhiány el is pusztíthatja a növényt. A vegetatív időszakban a szár és a levelek létrejöttéhez van szükség vízre, hiánya nem megfelelő szerkezeti felépítést okoz. A generatív fejlődés során a virágzáshoz és az új mag fejlődéséhez történik a vízfelvétel. A virágzás során jelentkező vízhiány a megtermékenyülés eltolódásával járhat, komolyabb esetben terméketlenné válhat a növény. A mag fejlődéskor a víz mennyisége annak méretét és tömegét befolyásolja, de szemvesztés is kialakulhat. A szántóföldi növénykultúrák esetében a fiziológiai érést követően vízvesztés következik be, így jön létre a megfelelő szemnedvesség a betakarítás előtt. [6]

3. ASZÁLYMONITORING-HÁLÓZATOK

A klímaváltozás növeli az aszálykockázatot, az aszály a növénytermesztés számára súlyos károkozóként jelentkezik, egy-egy aszályos évmilliárdos nagyságrendű termés kiesést okoz. A vízhiányos időszakok átvészeltetők mesterséges vízpótlással, öntözéssel. Az aszálymonitoring-hálózatok létrehozásának célja, hogy jelezzon a gazdálkodóknak, hogy mikor kell vizet juttatni a területükre annak érdekében, hogy megelőzhessék a mezőgazdasági aszály okozta stresszhatások következtében jelentkező termés kiesést a szántóföldi növénykultúrákban. Az aszályos időszak kezdeti időszakában a korai figyelmeztető jelek detektálásával a jelenség nyomon követhetővé és értékelhetővé válik. A szerzett információk megosztása elősegíti az alkalmazkodást, az időben történő válaszlépések megtételét a gazdálkodók számára.

Az Európai Bizottság által a Copernicus programon belül működtetett kutatóközpont az European Drought Observatory (EDO) a kontinensre vonatkozó információkat, grafikonokat és idősoros adatokat gyűjti össze kutatók számára az elemzésekhez. Az európai aszálymonitoring a hidrológiai körforgás különböző összetevőinek adatgyűjtésén alapul, mint a csapadékmennyiség, a talajnedvesség értéke, a víztározók szintje, a folyók vízszintje, a talajvíz szintje vagy az aszályhoz kapcsolható specifikus hatások (pl.: a növényzeti vízstresszt jelző mutató). Az aszálymonitoring rendszerek a fenti mutatókat figyelembe véve, az adatok idősoros elemzésén, az adott területre kalibrált indexeken alapulnak. [7]

Az EDO a következő aszálymutatókat állítja elő a kontinens szintjén:

- Szabványos csapadékindeks (SPI)
 - Szabványos hócsomag-index (SSPI)
 - Talajnedvesség-anomália (SMA)
 - A vegetációs állapot anomáliája (FAPAR anomália)
 - Alacsony áramlási index (LFI)
 - Hő- és hideghullám-index (HCWI)
 - Kombinált szárazságjelző (CDI)
-

Az európai aszálymonitoring rendszerek közül jó példaként említhetjük a lengyelországi hálózatot, az SMSR - System Monitoringu Suszy Rolniczej, angolul ADMS - Agricultural Drought Monitoring System. A monitoring rendszer és az adatbázis teljes leírása nyilvános. Lengyelországban az ADMS célja, hogy az aszály következtében termés kieséssel érintett területeket távérzékelésen alapuló módszerekkel azonosítsa. Ezen adatokra építve a további modellszámítások során igyekeznek megbecsülni a kár mértékét növényfajtánként és NUTS-2 szintű régióként, majd a későbbi kártérítések megállapításához felhasználni az adatokat [8].

A lengyel Mezőgazdasági Aszály Monitoring Rendszerben sokféle forrásból származó adatokat integrálnak. A felhasznált adatok körébe tartoznak a talajtérképekből képzett vízvisszatartási mezőgazdasági talajkategória térképek, a meteorológiai állomáshálózatából származó adatok, a meteorológiai radarok adatai, a meteorológiai állomások adataiból interpolált CWB (Climatic Water Balance) Klimatikus Vízháztartás mérleg térképek, amelyek a csapadék adatokon és a számított evapotranspirációs együtthatón nyugszanak. Térbeli és statisztikai elemzésekkel minden régióra és a főbb növényfajtákra előállnak a termésveszteség térképek, amelyek az aszálykárral kapcsolatos kártérítési kérelmek elbírálásához nyújtanak segítséget [9].

Hazánkban az Országos Vízügyi Főigazgatóság működtet komplex vízhiányt előre jelző rendszert. A hazai aszálymonitoring hálózat kiépítése a leginkább vízhiányos alföldi területekre koncentrálva kezdődött meg. A mérőállomás hálózat létrehozása 2016-ban kezdődött 16 mérőállomás rendszerbe állításával. Mára a folyamatos bővítések következtében több, mint 100 db állomás szolgáltat óránként adatokat. Az állomások automata üzemmódban működnek emberi beavatkozást nélkülözve. A szolgáltatott adatok köre a meteorológiai alapparaméterekre a csapadék mennyiségére, a páratartalomra, a léghőmérsékletre terjednek ki. Ezeken túlmenően a talajban elhelyezett szondák hat különböző mélységben (10, 20, 30, 45, 60, 75 cm) mérnek és szolgáltatnak talajnedvesség- és hőmérséklet adatokat [10].

Az aszálymonitoring-hálózat adatait havi rendszerességgel összesíti az Országos Vízügyi Főigazgatóság Vízirajzi és Vízugyűjtő-gazdálkodási Főosztály Vízirajzi Osztálya és az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság. A helyzetértékelő céllal készülő kiértékelést és az aktuális vízháztartási jellemzőket, mint a csapadék, léghőmérséklet, talajnedvesség, talajvíz, valamint az operatív aszály- és vízhiány-értékelést bemutató kiadványt az Országos Vízügyi Főigazgatóság honlapján teszik közzé [11].

Az aszálymonitoring rendszerhez külön napi időlépésű aszályindex a Hungarian Drought Index (HDI) került bevezetésre. A kidolgozása 2015-2016 folyamán történt meg. Az új hazai aszályindex a napi vízhiány nyomon követésén túl talajtípusonként képes a differenciált talajnedvességet nyomon követni. A HDI előnyei között több tényezőt is említhetünk. Fontos tulajdonsága, hogy minimalizált bemeneti paraméterigénnyel rendelkezik. Az input adatok egyszerűen előállíthatóak, sztenderdnek számító mérőműszerek alkalmazásával, hiszen a HDI a meteorológiai aszályindex két paraméterére épül, a napi csapadékmennyiségre és a napi középhőmérsékletre. Előnyei közé tartozik, hogy a megelőző időszak csapadékviszonyai, legyen az többlet vagy hiány, beépül az indexbe. A HDI index értéke évszakfüggetlen, emiatt képes kimutatni a téli időszakban előforduló vízhiányt is. Kiszámítása a teljes ország területére algoritmizálható, szubjektív index [10].

A HDI index koncepcióját tekintve a következő elemekből épül fel:

Meteorológiai aszályindex - a meteorológiai aszály tényezője (HDI_0)
 szorzótényezőt (k_{35}) – a feltalaj (0-35 cm) nedvességi állapota (k_{35})
 szorzótényezőt (k_{80}) – a talajrétegek (35-80 cm) nedvesség-tartaléka
 stressztényező (S) – a szélsőségesen száraz és/vagy szélsőségesen meleg időszakokban

A HDI₀, mint a meteorológiai aszályindex értékei a következő skálán mozognak:

$HDI_0 < 1.3$	aszálymentes
$1.3 \leq HDI_0 < 1.5$	enyhe aszály
$1.5 \leq HDI_0 < 2$	közepes aszály
$2 \leq HDI_0 < 3$	erős aszály
$3 \leq HDI_0$	rendkívüli aszály

Mindkét szorzótényező (k₃₅, k₈₀) a talajnedvesség értékétől függ. A talaj diszponzibilis, vagyis a hasznosítható vízkészlete a szántóföldi vízkapacitás maximumától a holtvíztartalom értékig terjed. Minél kevesebb a növények számára felvehető víz raktározódik a talajban, a szorzótényező értéke annál jobban növekszik. Fordított esetben, a talajnedvesség növekedésénél, a szorzótényezők értékei csökkennek. A szorzótényezők szerepe, hogy azonos mértékű légköri aszály esetében a talajnedvesség függvényében korrigálják (növeljék vagy csökkentsek) az aszályindex (HDI) értékét.

Amennyiben a hosszú időszakon keresztül növényekre ható légköri aszály áll fenn, abban az esetben stressztényező kerül bevezetésre a HDI index számításába. A HDI index kiszámítása a következő képlettel történik [12].

$$HDI = HDI_0 * k_{35} * k_{80} * S$$

2.ábra A HDI aszályindex számítása

Forrás: OVF [12]

4. A TALAJNEDVESSÉG MÉRÉSI MÓDSZEREK

A mezőgazdasági termelés során hozott döntések alátámasztásához egyre nagyobb szerep jut a talajban tárolt víztartalom pillanatnyi ismeretének. A legkorszerűbb termelési módszerek alkalmazhatósága az adatokból előállított információkra épül. Ahhoz, hogy ezek az adatok rendelkezésre álljanak, több területről és módszerrel kell begyűjtenünk őket. Majd hatékonyan és gyorsan kell feldolgoznunk ahhoz, hogy időben hozassunk meg a termelés hatékonyságát biztosító döntéseket.

A vegetációs időszakban, hazánk csapadékviszonyait tekintve mind térben, mind időben egyenlőtlen a csapadékos időszakok eloszlása. A talaj puffert képezve képes tárolni a csapadékos időszak során begyűjtött csapadékmennyiséget. A talaj vízraktározó képességének következtében a vízhiányos időszakokban a növény fejlődéséhez szükséges vizet biztosítja, ezzel védelmet nyújt a vízhiány miatt kialakuló stresszhatás ellen a növénykultúra számára. A szántóföldi növénykultúrák termésátlaga összefügg, a talaj tápanyag-ellátottságával és a talajnedvesség mértékével [13].

Az elérhető terméshozam elsődleges korlátozó tényezője a növény számára elérhető nedvesség. A talajnedvesség alakulása a hullott csapadék térbeli eloszlásától és mennyiségétől, valamint a talaj vízraktározó képességétől függ [14].

A fentiek alapján kijelenthetjük, hogy kritikus paraméter a tenyészidőszakon átívelő talajnedvesség értékének ismerete. A mérésére számos módszer létezik, a mérés céljának függvényében választhatunk a helyszíni talajnedvesség mérési módszerek közül. A klasszikus módszerek közé tartoznak a terepi mintagyűjtések. A mintagyűjtési módszerek közös jellemzői közé tartozik, hogy mérési pontosságuk kiemelkedően jó, viszont pontszerű információt tartalmaznak, és nagy területen idő és erőforrás-igényes az alkalmazhatóságuk, továbbá a mérési eredmények az időjárás változásai során hamar elavulnak. Egy mérési pont alapján csak a felvételi helyre vonatkozóan vonhatunk le biztos következtetéseket, azonban a tágabb összefüggésekre nagyszámú felvételi pont vizsgálata alapján interpolációval következtethetünk. A következőkben áttekintem az elérhető talajnedvesség mérési módszereket.

Talajnedvesség mérési módszerek [15]:

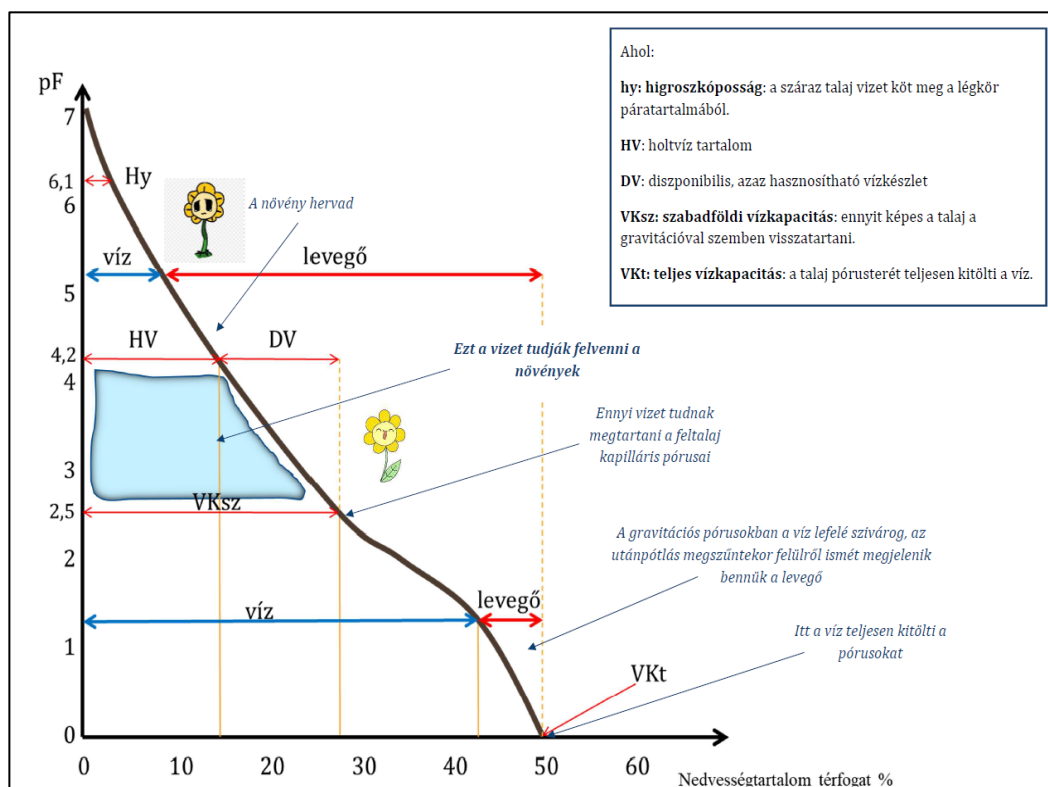
- Gravimetrikus módszer
- Dielektromos állandó mérésén alapuló módszer
- γ -sugárzás gyengítésének elvén alapuló mérési módszer (gamma-radiációs módszer)
- Neutronszóródás vizsgálata
- Mágneses rezonancia vizsgálatok
- Elektromos ellenállás mérése
- Tenziométeres talajnedvesség mérés
- Koncentráció-mérési eljárás
- Reakciós hőfok mérése
- Karbidos eljárás
- Kolorimetrikus eljárás
- A talaj hővezető képességének mérésén alapuló módszerek
- Nedvszívó anyagok felhasználásával történő mérés
- Talajnedvesség meghatározása penetrométerrel

A következőkben a három leggyakrabban alkalmazott módszert ismertetem. A gravimetrikus módszer során a talajmintavételt követően megtörténik a mintaanyag tömegének megmérése, majd a minta szárítása, végezetül a kiszáritott minta ismételt tömegmérése. A nedves és a szárított minta tömegének különbségéből megkapjuk az elpárologtatott víz tömegét, és ezt arányosítjuk a nedves talajminta tömegéhez. A gravimetrikus mérés előnyei között tartjuk számon a módszer egyszerűségét és pontosságát. A pontossága lehetővé teszi más mérési módszerek kalibrálásához történő felhasználhatóságát.

A dielektromos állandó mérésén alapuló módszer esetében a mérőeszköz egy műszerből és szenzorból áll. A műszer a talaj és a víz dielektromos állandóját alapul véve a két elektródából álló szenzor pólusai között végbemenő frekvenciaváltozásokkal összefüggésben fejezi ki a talajnedvesség értékét, és az eredményt térfogatszázalékban adja meg. A méréstechnika előnyei között az egyszerű használatot és a pontosságot emelhetjük ki. Alkalmazásakor körültekintőnek kell lenni, mivel a hátrányok között említhetjük a műszer érzékenységét a sótartalomra, az ásványi összetételre, a hőmérsékletre, valamint a légbuborékokra [15].

A tenziométeres talajnedvesség mérés alkalmas terepi és laboratóriumi méréssorozatra egyaránt. A tenziométer a talajnedvesség szívóerejét kifejező mátrixpotenciált méri. A mérőeszköz a vizet átereszti, azonban a levegőt nem. A vízzel feltöltött eszközt a talajba helyezve, annak szívóerejének hatására a víz egészen addig átszivárog, amíg a talaj szívóereje egyensúlyba kerül a tenziométerben keletkezett vákummal. A keletkezett vákum átszámítható vízoszlop centiméterre, továbbá a talajtípus pF görbéjének ismeretével kiszámítható a nedvességtartalom. Előnye között tartjuk számon, hogy a mérést a talaj textúrája és a kémiai tulajdonsága nem befolyásolja. Hátránya, hogy alacsony nedvességtartalmú talajok vizsgálatára nem alkalmas, és a nedvességtartalom megállapításához meg kell határozni az adott talajtípust is [16].

A pF görbe kifejezi a talajban lévő nedvesség talajrészekhez való kötőerejének mértékét.



3.ábra A talaj vízvisszatartási (pF) görbéje

Forrás: Dr. Hupuczi Júlia [17]

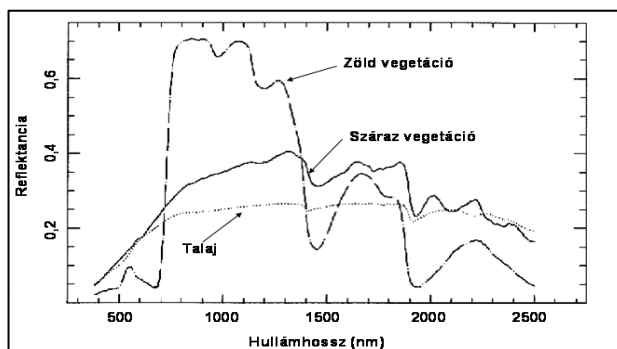
A nedvesség talajrészekhez való kötőerejének ellenében a növények is keltenek szívóerőt a vízfelvételük érdekében. Minél kevesebb a nedvességtartalom, annál nagyobb erőt kell kifejteni a víz felvételéhez, amikor a növény nedvességfelvételéhez szükséges szívóerő tovább nem fokozható, akkor a diszponzibilis vízkészlet kimerült.

A mérleg másik serpenyője, amikor a talaj víztároló képességét meghaladó mennyiségű víz jelenik meg a pórustérben. A vízkapacitáson túli nedvességtartalom esetében a víz elszivárog, illetve kiszorítja a talajszerkezetből a levegőt. A növény fejlődése szempontjából fontos, hogy a fenológiai fázisainak vízigényét mindig ki tudja elégíteni a talaj diszponzibilis vízkészletéből [17].

A talajnedvesség mértékegységének kifejezésére különböző módok állnak rendelkezésünkre. A mindenkori nedvességtartalmat megfogalmazhatjuk tömegszázalékban, térfogatszázalékban, vízkészlet miniméterben, víztelítettségi százalékban vagy átszámíthatjuk a nedvességekészletet m^3/ha -ra. [18]

5. A TÁVÉRZÉKELÉS SZEREPE A TALAJNEDVESSÉGMÉRÉSBEN

A távérzékelés alkalmazási területei folyamatosan bővülnek, a földfelszín megfigyelése nagy területeket lefedve, homogén és periodikusan ismétlődő adatokat szolgáltatva történik. Az adatnyeréshez használt, a műholdakra telepített szenzorok fejlődésével egyre jobb minőségű adatok állnak rendelkezésünkre. Az érzékelők térbeli és spektrális felbontásának javulása az adatgyűjtést egyre pontosabbá és részletesebbé teszi. A távérzékelés az egyik leghatékonyabb rendelkezésre álló eszköz a szántóföldi növénytermelés során fellépő változások nyomon követésére. A haszonnövények spektrális tulajdonságai függenek a növény fajtától, az egészségi állapotától és a fenológiai fázisától. A spektrális tartományban érzékelhető különbségek elemzése lehetőséget teremt a növénykultúrák fejlődésének térképezésére, valamint az állományban kialakuló eltérések kimutatására. A növénytermesztést számos területen segítik távérzékelte adatok, többek között a termőterület méretének felmérését, a növényállapot kimutatását, a tápanyag- és vízellátottság monitorozását, a növény vitalitását, a talajdegradáció felmérését és a termésbecslést könnyíti meg. Az elektromágneses spektrum látható fény tartományában már feltűnő, de az infravörös tartományban markánsan megmutatkozó reflektancia viszonyok eltérései alapján következtethetünk a növények összetételében, szerkezetében vagy tömegében bekövetkezett változásokra, amely alapján az egészséges állománytól megkülönböztethetőek a stresszhatást elszenvedett növények. [19]



4.ábra: A talaj, az élő- és az elszáradt növényzet reflektanciája

Forrás: Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata [19]

A távérzékelés területén tapasztalható folyamatos fejlődés, és a számos új technológiai megoldás bevezetése lehetőséget teremt arra, hogy a talajok vízellátottsága területileg részletesebben és időben gyakoribb módon váljon ábrázolhatóvá.

A mezőgazdasági területek öntözése egyre fontosabbá válik a szélsőséges időjárási események hatásainak felerősödésével, különösképpen az intenzívebb és hosszabb ideig tartó csapadékhiányos időszakok miatt. Az öntözéshez, kiváltképp a precíziós öntözési technológiákhoz elengedhetetlen a megbízható és naprakész információ a talajnedvesség aktuális állapotáról, annak érdekében, hogy az öntözés optimális időpontja és a felhasználandó öntözővíz mennyisége tervezhető legyen.

A jelenlegi pontszerűen működő mérőhálózatok az in situ, pontbéli talajnedvesség mérésekkel kiegészítve sem képesek megfelelni az öntözéses szántóföldi növénytermesztés által megkívánt térbeli és időbeli felbontás kritériumainak.

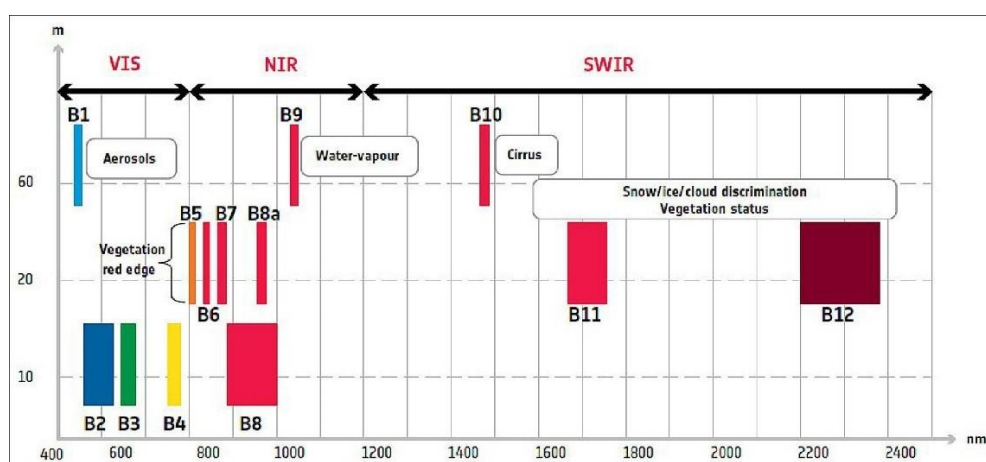
A probléma megoldására az egyik lehetséges megoldási mód a távérzékeléssel nyert adatok felhasználása. A multispektrális felvételeket előállító műholdkonstellációk adatai visszamenőlegesen is rendelkezésre állnak, és hozzáférhetőek bárki számára.

A passzív távérzékelés alkalmazása során a földfelszínről visszaverődő elektromágneses energia törvényszerűségeinek ismeretében következtetünk a vizsgált felszín tulajdonságaira. Hullámhossz-tartományonként különbözik a tereptárgyak és felszínborítások reflektanciája.

A reflektancia értékekből közvetlen módon történő információnyerés a talaj felszínéről szolgáltat pillanatnyi információt. A víznek az infravörös és a mikrohullámú tartományokban a spektrális sugárzást elnyelő tulajdonságait kihasználva tudunk következtetni a talaj nedvességi állapotára. Fordított arányosság áll fenn a reflexió és a talajnedvesség között, a nedvesség növekedése a visszaverődés csökkenését okozza. A közvetlen visszaverődési értékekből következtetések levonása nem lehetséges, mivel a különböző talajtípusokon a víztartalomban beállt változások a reflektancia értékeket eltérő mértékben változtatják meg [16].

A Landsat és Sentinel műholdcsaládok lehetőséget kínálnak arra, hogy sávjaik felhasználásával megfigyelhetőkké váljanak a növényzetben, a vízkészletben, a hóborításban, a jégmozgásban, a talaj állapotában bekövetkező változások.

A Sentinel-2 műhold Multi Spectral Instrument (MSI) műszere 13 spektrális sávból álló elektromágneses tartományban rögzít adatokat. A sávok térbeli felbontása 10 és 60 méter között mozog, az alábbi ábrán látható, hogy mely sávok mely hullámhosszon milyen térbeli felbontással bírnak.



5.ábra: Sentinel 2 MSI műszerének térbeli felbontása a hullámhossz függvényében

Forrás: European Space Agency (<https://www.eoportal.org>)

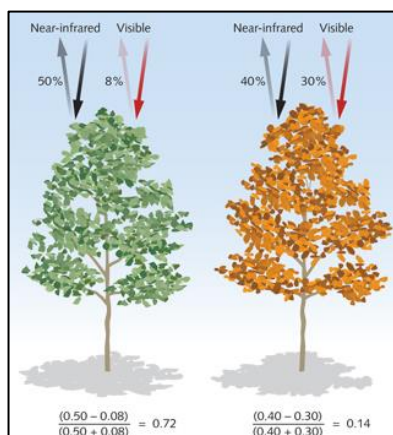
A spektrális indexek alkalmazásával különféle szempontok szerint elemezhetjük a műholdak által rögzített adatokat. Számos index létezik, melyek segítségével különféle szempontból elemezhetőek a felvételek. Az indexeket a különböző spektrális sávokból számítás útján állítjuk elő. A látható, a közeli és a távoli infravörös sávok aritmetikai összefüggései spektrális indexé konvertálhatóak.

A Normalized Difference Moisture Index (NDMI) érzékeny a növények nedvességtartalmára, a növényzetben fellépő vízhiánynak a mutatójaként szolgál. A vízhiány okozta stresszt már a kezdeti, korai szakaszban kimutatja, ezen túlmenően alkalmas az öntözés monitorozására is. Az NDMI index a közeli infravörös (NIR) és a rövidhullámú infravörös (SWIR) sávok értékeiből kerül kiszámításra a következő képlet alapján: $NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$.

A Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) az egyik első vegetációs index, amelyik távérzékelési adatokon nyugszik, megalkotása a Landsat-1 műhold indítása (1972. július 23.) után egy évvel történt meg. Az azóta eltelt időszakban a magyarosított nevén Normalizált Különbség Vegetációs Index a legszélesebb körben felhasznált formulává vált. Az index számítása a közeli infravörös és a vörös sávokból történik

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

A számítása azon alapszik, hogy a klorofill kis mértékben veri vissza, vagyis elnyeli a vörös (RED) színt, viszont a közeli infravörös (NIR) tartományban a visszaverődés intenzívebb a látható tartománynál. Az NDVI +1,0 és -1,0 közötti értéket vehet fel. Sűrű növényzetre a 0,6-0,8 közötti értékek, ritka növényzetre 0,2-0,5 közötti értékek, növényzet hiányára a 0,2 és -1,0 közötti értékek jellemzőek. Alkalmas a fenológiai fázisok nyomon követésére, segítségével megállapítható a növényzet sűrűsége és egészségi állapota. [20]



6.ábra: Az NDVI index mögötti összefüggés

Forrás: European Space Agency

(https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_EN/SEMC6FNW91H_0.html)

A fenti ábra jól szemlélteti az NDVI index mögötti összefüggést, a közeli infravörös (near-infrared) és látható (visible) spektrumok visszaverődési és elnyelődési értékeinek különbségét egészséges és kornyadozó levelek esetében.

A bal oldali egészséges növény a látható fény tartományból sokat elnyel, tehát a visszaverődés alacsony, mindemellett az infravörös tartományban a visszaverődés

magas. A kornyadozó, beteges vagy ritka növényzet esetét ábrázoló jobb oldali növény több látható fényt ver vissza, és kevesebbet infravörös tartományban az egészséges társánál.

Az NDVI index használata során kiderült, hogy az index érzékeny a nap beesési szögére, a légköri hatásokra és a talajhátterre. Emiatt a kutatók számos új index kidolgozásába kezdtek. A vizsgálatok során több index is megszületett, amelyek igyekeztek kiszűrni egy-egy zavaró tényezőt. Ilyenek például a soil-adjusted vegetation index – (SAVI), a transformed soil-adjusted vegetation index – (TSAVI), amelyek a talaj visszaverő hatását valamint az atmospherically resistant vegetation index (ARVI), amely a légköri hatásokat igyekszik korrigálni. A SAVI indexcsalád általános számítási módja az NDVI képlethez korrekciós tényező illesztése. A tapasztalati vizsgálatok során megállapításra került, hogy az „X” korrekciós tényező optimális értéke 0,16, így létrejött az OSAVI index [21].

$$OSAVI = (NIR - R) / (NIR + R + X)$$

Különböző indexek aritmetikai műveleteivel is létre hozhatóak újabb indexek. Ilyen típusú indexek közé tartozik az NDDI – Normalized Difference Drought Index, magyarul a Normalizált Differenciált Aszály Index. Az NDDI index az NDVI és a Normalized Difference Water Index [NDWI index képlete: $(Green - NIR) / (Green + NIR)$] közötti kölcsönhatásokat vizualizálja [22]. Az index számítása az alábbi képlettel történik:

$$NDDI = NDVI - NDWI / NDVI + NDWI$$

Idősoros összevetésben vizsgálva az NDVI és az NDWI hasonlóan mozgó grafikonokat eredményez, emiatt a normalizált különbségük, vagyis az NDDI index állandó értéket vesz fel. Abban az esetben, ha az NDVI és az NDWI értékek eltávolodnak vagy közelednek, akkor az NDDI index is reagál, vízhiány esetén az értéke növekedni fog [23].

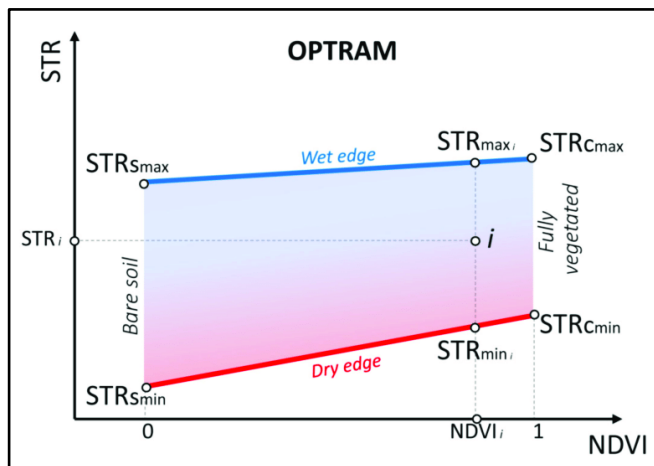
Az NDDI index három osztályba sorolható az alábbiak szerint [24].

- Nincs aszály (NDDI érték kisebb, mint 0,1)
- Mérsékelt szárazság (NDDI érték 0,1 és 0,3 közötti)
- Aszály (NDDI érték 0,3-nál nagyobb)

A talajnedvesség detektálására nemcsak egyszerű indexeket használhatunk, hanem bonyolultabb algoritmusokon alapuló modellekkel is becsülhetünk. Az egyszerű indexeket az NDDI indexnél is összetettebb módon, modellekbe beépítve is felhasználhatjuk.

A TOTRAM – Thermal-Optical Trapezoid Model a műholdszensor optikai és termikus sávjait felhasználva, a vegetációs indexet és a felszíni hőmérsékletet intenzitástérben vizsgálva a tengelyeken jelentkező térbeli pixeleloszlás alapján szolgáltat információt a talajfelszínen fellelhető nedvesség mennyiségéről. A modell eredményének térbeli részletességét a termikus sávok térbeli felbontása korlátozza [25].

Az OPTRAM – Optikai Trapezoid Model már egy továbbfejlesztett, kimondottan a talajvíztartalom becslésére fejlesztett modellváltozat, amiben a termikus sávokat az alacsony térbeli felbontásuk miatt nem használják fel. A modellhez minden input adat a Sentinel-2 műholdkonstelláció sávjaiból előállítható. A modell azon a feltételezésen alapul, hogy a SWIR tartomány transzformált visszaverődése és a talajnedvesség között lineáris kapcsolat áll fenn. A modellben az infravörös sáv transzformált visszaverődési értéke számított érték, amelyet az NVDI indexel együtt értelmezünk az intenzitástérben (STR-NVDI intenzitástér). Ebben a térben vizuálisan határozzuk meg a száraz (id és sd) és nedves (iw és sw) éleket. Ezen lehatárolásból létrejövő trapéz alakú intenzitástér értékei alapján becsüljük meg a normalizált nedvességtartalmat pixelenként (i pont) [26].

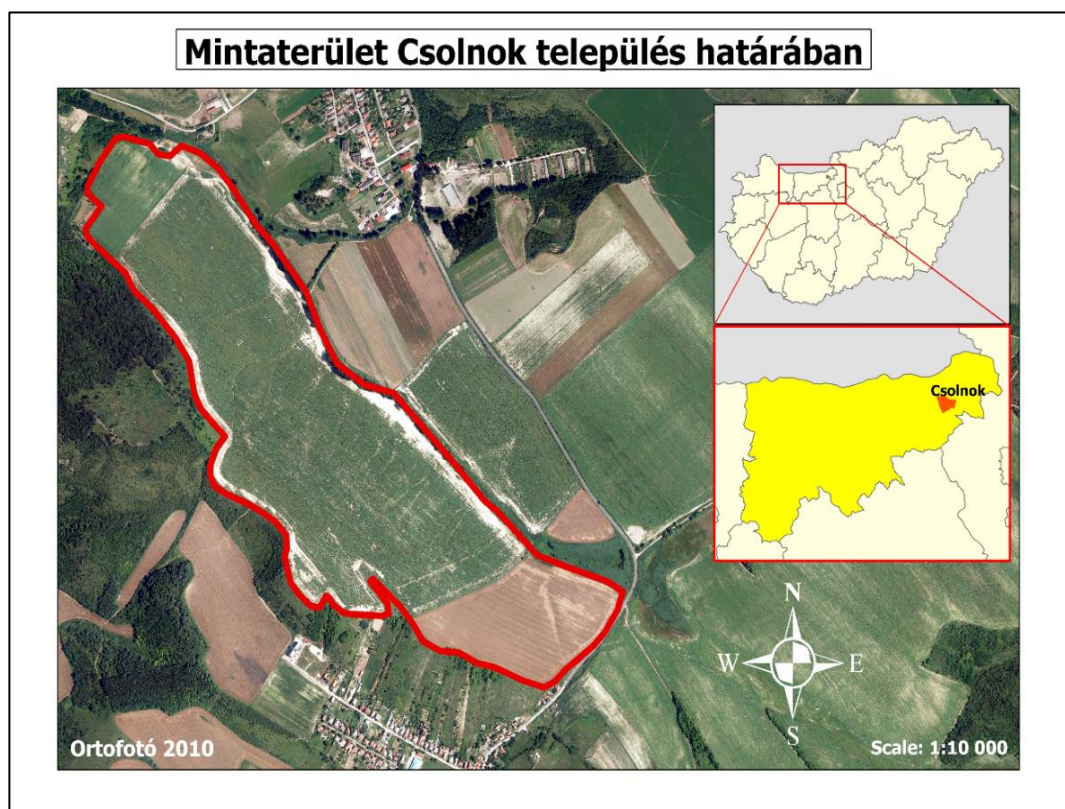


$$W = \frac{i_d + s_d NVDI - STR}{i_d - i_w + (s_d - s_w) NVDI}$$

7.ábra: Az OPTRAM modell koncepciója és képlete Forrás: [27]

6. A MINTATERÜLET TOPOGRÁFIAI, TALAJTANI ÉS METEOROLÓGIAI VISZONYAI

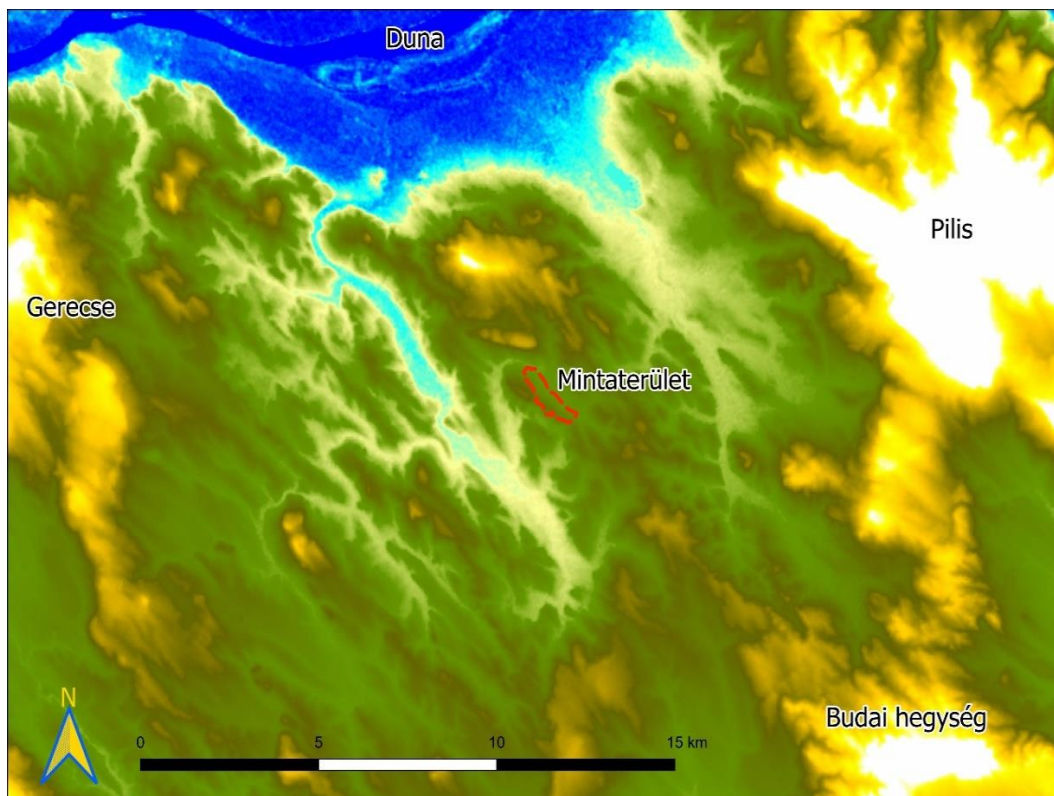
A szakdolgozat keretében lefolytatott vizsgálatok elvégzéséhez szolgáló mintaterület a Komárom-Esztergom vármegyei Csolnok és Dág települések között elhelyezkedő szántóföld. A mintaterületről szabadon elérhető ortofotók az 1963, az 1984, az 1990 évekre vonatkozóan a mellékletben, míg a 2010-es évi az alábbi ábrán látható.



8.ábra: A mintaterület bemutatása Forrás: Saját szerkesztés ArcGis Pro 3.0.1

A mintaterület a Keleti-Gerecse kistájon található. A tájegység jellemző tengerszint feletti magassága 300-350 méter között váltakozik. A terület sasbércekkel és teraszos eróziós völgyekkel szabdalt, erősen tagolt medencedombsági kategóriába tartozik, a relatív relief átlagos értéke $60-70 \text{ m/km}^2$. Az édesvízi mészkő padok jelzik az egykori erózió bázis helyzetét. A triász mészkőre a domborzati viszonyok függvényében eocén-oligocén üledékek rakódtak és széntelepek képződtek. A területen az 1960-as években bányászati tevékenység folyt.

A felszíni vízfolyások a Duna erózióbázisához igazodva alakították a tájegység mai arculatát. A jelentős erózió következményeképpen a dombtelejtről elhordott anyag a völgytalpakon szedimentálódott.



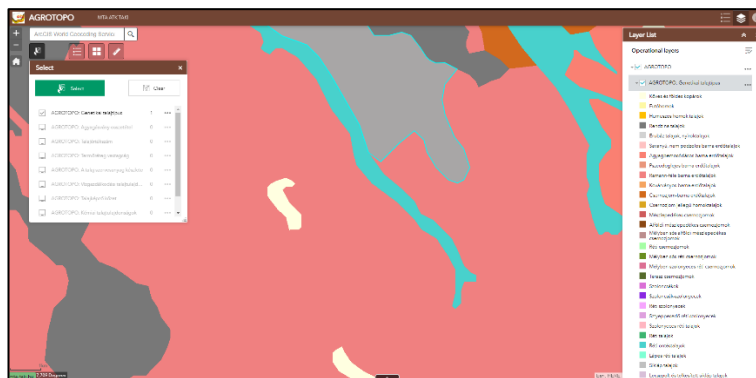
9.ábra: A mintaterület domborzati viszonyainak bemutatása a Sentinel-1A műhold által rögzített műholdradar-interferometria (InSAR) adatainak feldolgozásával előállított digitális felszínmodell (DSF) alapján

Forrás: Saját szerkesztés SNAP 9.0 és Qgis 3.28.4.

A sasbércekre erdőtakaró-borítás jellemző, míg a medencedombságon mezőgazdasági hasznosítás jellemző. A szántók és az erdők területhasznosítása a kistáj teljes területének százalékában 54% és 25%. Mérsékelt hűvös- mérsékelt száraz éghajlati kategóriába tartozik, a napsütéses órák száma 1930, az éves középhőmérséklet 10°C, a tenyészidőszaké 16°C, az éves csapadékösszege 550 mm, a tenyészidőszaké 320 mm. A mintaterületre jellemző ariditási index 1,2. A jellemző talajtípus a löszös üledéken képződött, vályog mechanikai összetételű kedvező vízgazdálkodású barna erdőtalaj [28].

Az AGROTOPO adatbázis 1991-ben készült el a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetében (MTA TAKI). A térinformatikai

adatbázis 1:100.000 méretarányú talajtérképek digitalizálásával készült, ami a mintaterület méretét figyelembe véve kielégítő pontosságú információt biztosít. Az adatbázis az ATK TAKI adatbázis szerverén keresztül érhető el.



10.ábra: Az AGROTOPO adatbázis szerver online felülete

Forrás: AGROTOPO adatbázis

<https://maps.rissac.hu:3344/webappbuilder/apps/2/>

Az adatbázis alapján a mintaterület talajviszonyaira az alábbi talajtani tulajdonságok jellemzőek:

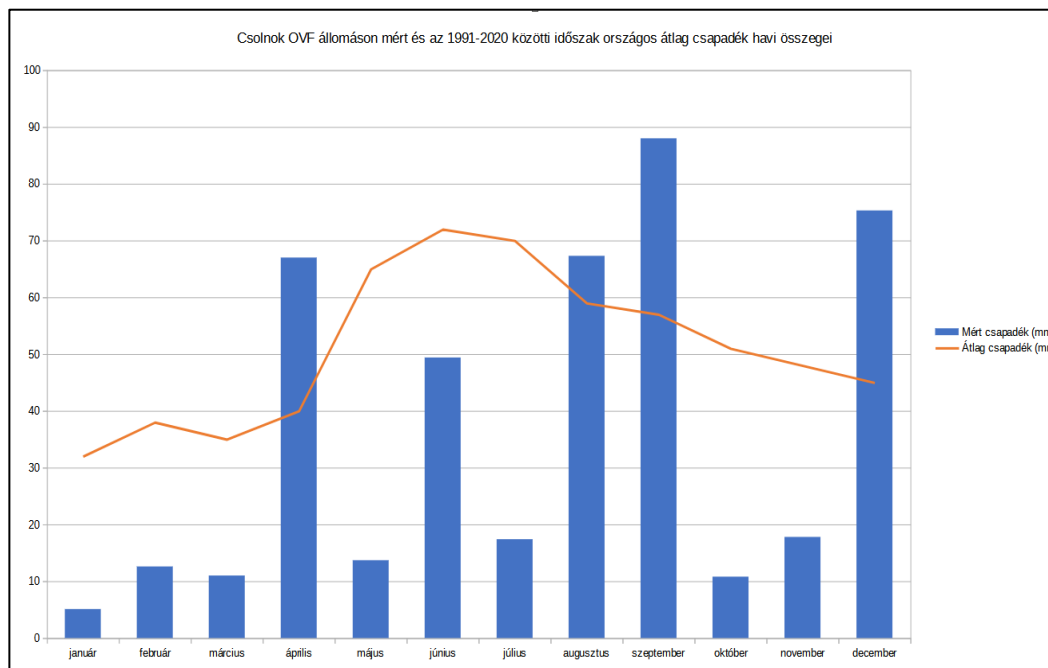
Genetikai talajtípus	Ramann-féle barna erdőtalaj
Vízgazdálkodási tulajdonság	Közepes víznyelésű és vízvezető-képességű
Talajképző kőzet	Harmadkori és idősebb üledék
Kémiai talajtulajdonság	Gyengén savanyú talajok
Fizikai talajtulajdonság	Vályog
A talaj szervesanyag készlete	100 - 200 tonna/hektár
Termőréteg vastagság	> 100 cm
Agyagásvány összetétel	Illit klorit, szmektit

11.ábra: Az AGROTOPO adatbázis mintaterületre vonatkozó adatai

Forrás: AGROTOPO adatbázis alapján saját szerkesztés

A mintaterület jellemző meteorológiai viszonyai a 2022-es évben a következőképpen alakultak. A 2022-es aszályos évet megelőző két évben száraz időszak volt tapasztalható országos szinten. A folyók vízhozama kisebb volt a megszokottnál, ami alapján rögzíthető a hidrológiai aszály ténye, az utolsó árhullám 2017-ben vonult le. Súlyosan aszályos évek a XX. század során az 1990-es, az 1952-es, az 1935-ös és az 1904-es évet minősíthetjük. [29]

Csolnokon 2022-ben az éves csapadék összeg 435 mm volt, elmaradva az 550 mm-es sokéves átlagtól, azonban az év közbeni csapadékeloszlás az esztendő során rendhagyó módon alakult, súlyos aszályt okozott, aminek következtében a terméshozamok elmaradtak a sokéves átlagtól. [30]

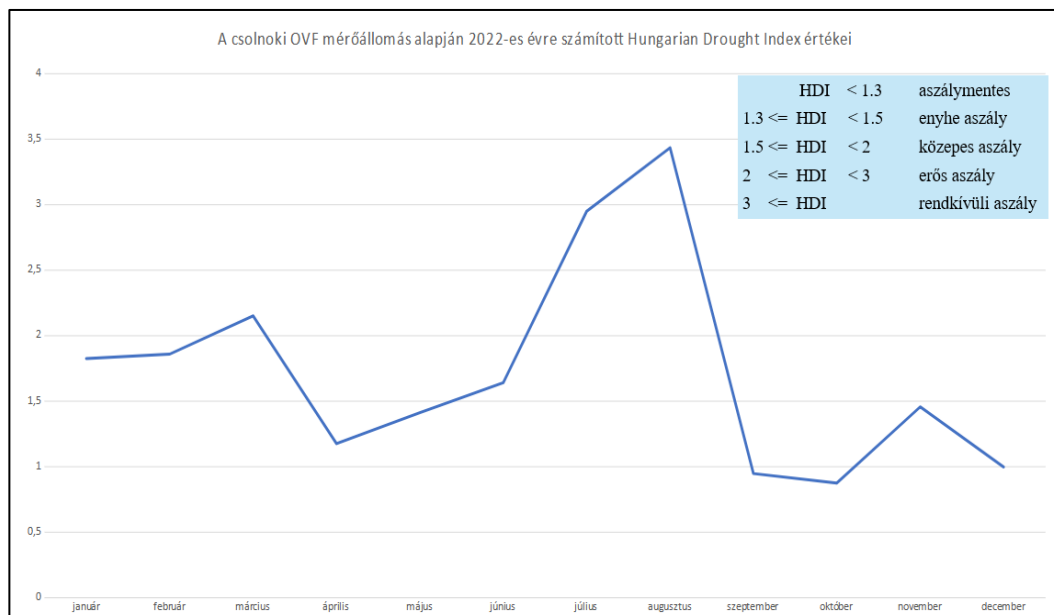


12.ábra: A csolnoki OVF mérőállomás által a 2022-es év során rögzített csapadék adatok és az 1991-2020 közötti időszak országos átlagos havi csapadékösszegeinek egymáshoz való viszonyulása

Forrás: OVF mérőállomás adatai alapján saját szerkesztés

Az év első három hónapjában átlag alatti elszórt csapadék hullott, ezzel az év kezdeti időszaka rekordot döntött a csapadékhiány tekintetében. Ennek következtében elmaradt a talaj mélyebb rétegeinek nedvességgel való feltöltődése. [30]

Márciusban a melegedés hatására megindult a párolgás, így a hónap végére az ország teljes területén enyhe, közepes vagy nagy fokú aszály volt jellemző.



13.ábra: A csolnoki OVF mérőállomás által rögzített HDI index adatok a 2022-es év során Forrás: OVF mérőállomás adatai alapján saját szerkesztés

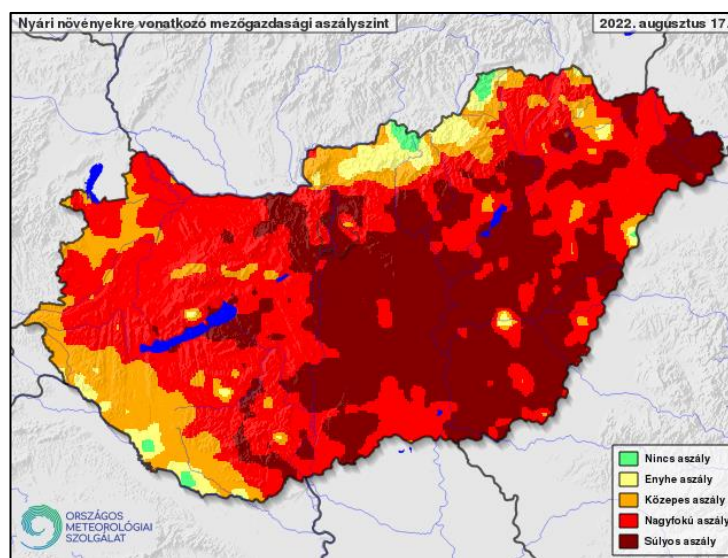
Az áprilisi hullámokban érkező mennyiségét tekintve jelentős, sokéves átlag feletti csapadékot hozott. A talajtakaró felső rétegeiben nedvesség gyarapodás volt kimutatható. [30]

Májustól augusztus közepéig, országos viszonylatban elszórtan záporos-zivataros csapadékesemények voltak jellemzőek, melyek magas fokú területi változékonyságot mutattak. A felhőszakadások által érintett területeken bőséges csapadék hullott, azonban az csapadékesemények tágabb környezetében megmaradt a szárazság. Csolnokon a május csapadéokban rendkívül szegény volt. [30]

A június közepi Medárd napi esők mennyiségben elmaradtak az átlagtól, ennek következtében újra emelkedésnek indult az aszálymutató. [30]

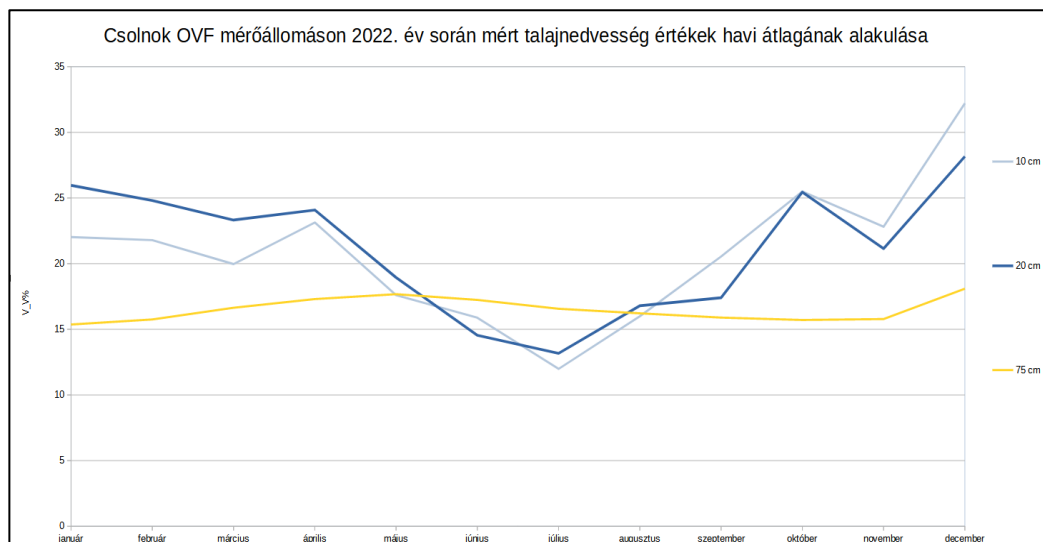
A július folyamán folytatódott az aszály mértékének növekedése, a nyári kultúrákban visszafordíthatatlan károk keletkeztek. [30]

Augusztus elejére kritikussá vált az aszályhelyzet, nagyfokú és súlyos aszály pusztított az ország jelentős részén. [30]



14.ábra: Az OMSZ aszálytérképe 2022. augusztus 17.-én Forrás: OMSZ

Augusztus végén csapadékosabb periódus kezdődött, és egész szeptemberben kitartott, melynek eredményeképpen átlag feletti csapadékmennyiség hullott. [30]



15.ábra: A csolnoki OVF mérőállomás által különböző mélységekben rögzített talajnedvesség értékek a 2022-es év során Forrás: OVF mérőállomás adatai alapján saját szerkesztés

Október első napjaiban csapadékos időjárás volt tapasztalható, majd a folytatásban száraz időjárás következett. Az időjárási mérések kezdete óta a 2022-es év októberére a 8. legszárazabb október volt. Novemberben és decemberben érkező csapadék megkezdte a talaj csapadékraktárainak feltöltését, így az őszi vetések számára kedvező viszonyok alakultak ki. [30]

7. A TEREPMUNKA BEMUTATÁSA

A választott mintaterületen in situ terepi talajnedvesség méréseket végeztem. A mintavételi hely koordinátáit rögzítettem. A talaj nedvességtartalmának megállapítása műszeres méréssel a felszíntől számított 10 cm és 20 cm mélységben történt. A kívánt mélység eléréséhez egy rajnai fejű kőműveskalapácsot használtam, az eszköz nyelén (a nyél szabad végétől számítva) előre bejelöltem a két mélyíteni szánt hosszúságot. Ásás közben a nyél mélyedésbe helyezésével ellenőriztem az elért mélységet.



16.ábra: A terepi adatfelvétel során alkalmazott eszköz

Forrás: saját fotó

A műszeres nedvességmérés nem bolygatott talajban történt. A méréseket két időpontban, csapadékeseményeket követő napokban hajtottam végre. A mérésekre 2022.augusztus 26.-án és 2022.október 10.-én került sor.

7.1 AZ ALKALMAZOTT MŰSZER ISMERTETÉSE

A pontmérések kivitelezéséhez használt mérési eszközök a következők voltak:

- Műszer: FieldScout Soil Sensor Reader
- Szenzor: WaterScout SM100 Soil Moisture Sensor



17.ábra: A terepi adatfelvétel során alkalmazott műszer

Forrás: Műszer specifikáció alapján saját szerkesztés

A műszer hat különböző üzemmódban képes működni, melyek közül az első négy adatnyerési mód, melyekben a műszer a memóriájában tárolt állandók segítségével mértékegységekre konvertálja a nyers mérési eredményeket. Az ötödik módban a szenzor nyers mérési értékeit jelzi ki, míg a hatodik mód a műszer kalibrációját szolgálja.

A mérések során a műszert a „Spectrum Standard” módban használtam, amely az ásványi talaj térfogati víztartalmát térfogatszázalékban jelzi ki. A kijelzőn folyamatosan frissülve jelennek meg az adatok a szenzor környezetének a körülményeinek a változásai szerint.

A szenzor vezetékkel kapcsolódik a műszerhez. A szenzor működésének alapja a lapjában elhelyezkedő két elektróda, amelyek kondenzátorként működnek, miközben a talaj az elektromosan szigetelő anyag, vagyis a dielektrikum szerepét tölti be. A műszer 80 MHz-en elektromágneses impulzusokat továbbít a szenzornak, és a talaj dielektromos permittivitásával arányos jelet kap vissza. A dielektromos állandó esetünkben a talaj kölcsönhatása a műszer által gerjesztett elektromos mezővel. A műszerbe visszatérő jel, vagyis a dielektromos állandó mérése alapján a víztartalom változásait nyomon követhetjük.

7.2 A TÉRINFORMATIKAI HÁTTÉR BEMUTATÁSA

A méréshez használt eszköz és szoftverek a következők voltak:

- GPS: Xiaomi Redmi Note 9T mobiltelefon GPS vevője
- Mobilalkalmazás: Qfield - verzió: 2.2.3 – Coordinated Capiybara
- A mérési CRS: EPSG:4326
- Szoftver: QGIS - verzió: 3.22.8-Białowieża CRS: EPSG:4326

Az első mérésnapot megelőzően előkészületekre volt szükség. Az Androidot futtató mobiltelefonra telepítettem a Qfield alkalmazást a Google Play áruházból. A következő lépés a projektkonfigurálás volt, amit a Qgis szoftverben készítettem el. Az új projektfájl létrehozása után beállítottam a méréshez használandó koordinátarendszert EPSG:4326-ra. Azért választottam a WGS84-et, mert a mobiltelefon is ebben a rendszerben működik, és el akartam kerülni, hogy a Qfield mobilalkalmazás mérés közben transzformálja a mobil GPS vevője által szolgáltatott koordinátákat EOVS-be. A transzformációt később, az adatfeldolgozás során kívántam végrehajtani. Alaptérképet adtam a projektfájlhoz, amihez a Google Satellite és a Bing Virtual Earth web map service (WMS) szolgáltatásait választottam. A WMS szolgáltatás terepen mobilinterneten keresztül használható.

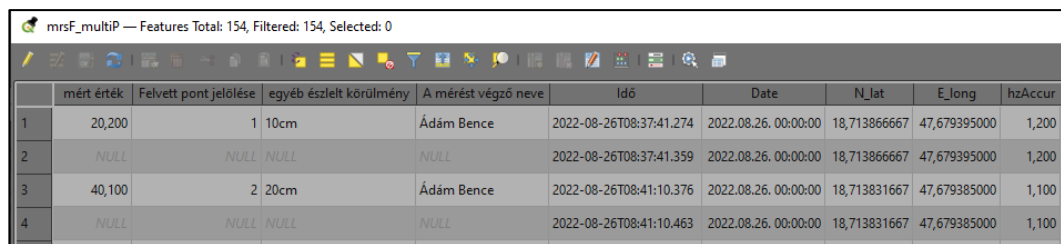
Meghatározott volt, hogy a terepi adatfelvétel pontmérésekkel fog történni, ezért egy új shape fájlt hoztam létre a projektfájlban multipont geometriával „mrsF_multiP” néven. Az új pont réteg mezőit az alábbi ábra szerint alakítottam ki.

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length	Precision
1.2 0	érték	mért érték	Decimal (double)	Real	6	3
123 1	Pontjel	Felvett pont jelölése	Integer (32 bit)	Integer	3	0
abc 2	jegyzet	egyéb észlelt körülmény	Text (string)	String	100	0
abc 3	KeszitoNev	A mérést végző neve	Text (string)	String	30	0
abc 4	Idő		Text (string)	String	60	0
 5	Date		Date	Date	10	0
1.2 6	N_lat		Decimal (double)	Real	20	9
1.2 7	E_long		Decimal (double)	Real	20	9
1.2 8	hzAccur		Decimal (double)	Real	20	3

18.ábra: A terepi adatfelvételhez készített fájl mezőinek főbb tulajdonságai

Forrás: Saját szerkesztés

Az új réteg létrehozásakor megadtam a mezők nevét és alias-át, az adattípust és a maximális karakterszámot, valamint a lebegőpontos (Real) adattípus esetében a tizedesvessző után következő maximális karakterek számát is. Az attribútum elemek létrehozásakor megadtam, hogy bizonyos mezők kézzel, bizonyos mezők automatikusan kerüljenek a Qfield adatfelvételi űrlapjának kitöltése során rögzítésre az összes mérési ponton. Az „érték”, a „Pontjel”, a „jegyzet” és a „KeszitoNev” nevezetű mezők esetében kézi kitöltést választottam. A 17. ábráról leolvasható ID4 - ID8 közötti mezők esetében automatikus kitöltést állítottam be. Az „Idő” és a „Date” nevezetű mezőket a Qfield alkalmazás az Android operációs rendszer beépített órájától kapott információk alapján automatikusan tölti ki. Az „N_lat”, az „E_long” és a „hzAccur” mezőket a mobiltelefonba épített GPS műszertől kapott adatok alapján automatikusan tölti ki az alkalmazás.



	mért érték	Felvett pont jelölése	egyéb észlelt körülmény	A mérést végző neve	Idő	Date	N_lat	E_long	hzAccur
1	20,200	1	10cm	Ádám Bence	2022-08-26T08:37:41.274	2022.08.26. 00:00:00	18,713866667	47,679395000	1,200
2	NULL	NULL	NULL	NULL	2022-08-26T08:37:41.359	2022.08.26. 00:00:00	18,713866667	47,679395000	1,200
3	40,100	2	20cm	Ádám Bence	2022-08-26T08:41:10.376	2022.08.26. 00:00:00	18,713831667	47,679385000	1,100
4	NULL	NULL	NULL	NULL	2022-08-26T08:41:10.463	2022.08.26. 00:00:00	18,713831667	47,679385000	1,100

19.ábra: A mérés után a készített pont réteg attribútumtáblája

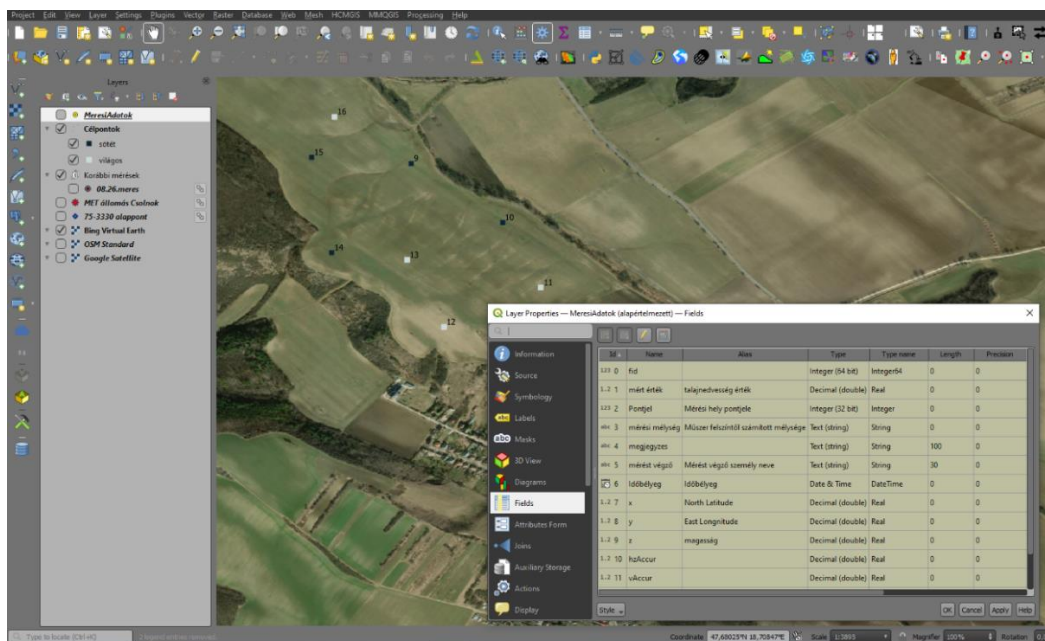
Forrás: Saját szerkesztés

Adatfelvételkor lehetőség van bizonyos rekordokat fixálni, mint például ahogy az első adatfelvételkor a „KeszitoNev” nevezetű „Amérést végző neve” alias-ú mező esetén tettem. Abban az esetben, ha nem került beállításra az egyedi attribútum kikényszerítése az adott mező esetében, nem kell ismétlődően ugyanazt az információt többször felvinni.

A Qfieldben történt minden adatfelvételt 2 rekord reprezentál. Az első rekordban a felvett (kézi és automatikus kitöltésű) adatok találhatók, míg a másodikban a geometria kerül rögzítésre. A két összetartozó rekord automatikusan kitöltött attribútumai az időbélyeget kivéve megegyeznek. Az adatfeldolgozás során az időbélyeg mező alkalmas a tábla rendezésére, mivel ezredmásodperc pontossággal rögzít. A projektfájlt a „QField Sync” nevű Qgis pluginnal exportáltam, és a Qfield mobilalkalmazásba importáltam.

Az első mérési nap tapasztalatai alapján bővítettem a korábbi projektfájlt. Az október

10-ei második mérésnapra új projektfájlt készítettem az első analógiáján, de kiegészítve azt. Mérési célpontokat határoztam meg a Sentinel-2 valószínűségi műholdfelvétel vizuális interpretációjával, a mintaterületen elkülöníthető sötét és világos tónusú területek alapján, majd pont réteggént kategorizált szimbológiával (sötét, világos kategóriák) a projektfájlhoz adtam. Hozzáadtam a projektfájlhoz az első mérési napon rögzített mérési helyszíneket, a mintaterületen az első mérési napon észlelt 75-3330 azonosítójú alappont helyzetét és a csolnoki OVF állomást is. Az alaptérképeket kiegészítettem az Open Street Map WMS rétegével. A mérési adatokat rögzítő korábbi ESRI shape fájl (.shp, .shx, .dbf, .cpg, .prj) lecseréltem, és az új fájl geopackage (.gpkg) kiterjesztésben hoztam létre pontZ geometriával, UTF-8 karakterkódolással, EPSG:4326 - WGS84 CRS-ben, „MeresiAdatok” megnevezéssel. Az új fájl mezőit kiegészítettem, illetve változásokat hajtottam végre a könnyebb terepen történő használhatóság okán. Újdonságként jelenik meg, hogy a mintavételi mélység legördülő menüből választható ki. Az automatikusan töltődő mezők bővültek, magassági értéket és magassági érték pontosságát rögzítő mezőkkel, ahogy az alábbi ábrán látható.



20.ábra: A második projektfájl készítés közben Forrás: Saját szerkesztés

7.3 A FELHASZNÁLT ADATOK BEMUTATÁSA

A távérzékelési adatokat felhasználásának tekintetében a következőkben részletezett adatokat használtam fel. A Földmegfigyelési Információs Rendszer (FIR) eFöld űrtávérzékelési portálról ügyfélkapus bejelentkezés után letöltöttem a terepi mérések szempontjából releváns műholdfelvételeket.

A műholdfelvételek keresése során a következő szempontokat vettem figyelembe:

- a terepi méréseket megelőző csapadékesemény után készüljön
- a terepi mérések időpontjához a legközelebbi rögzítési időponttal rendelkezzen
- a termék típusa S2MSI2A legyen (Sentinel-2 MSI műszer által rögzített, 2A előfeldolgozottsági szint)
- felhőborítással és felhőárnyékkal ne legyen érintett a mintaterület
- a kiválasztott összehasonlítandó felvételek azonos csempéjük legyenek

Az eFöld felületen szűrőfeltételeket adtam meg, annak érdekében, hogy a keresési szempontjaimat érvényre juttathassam. A felületen megadott szűrőparamétereim a következők voltak:

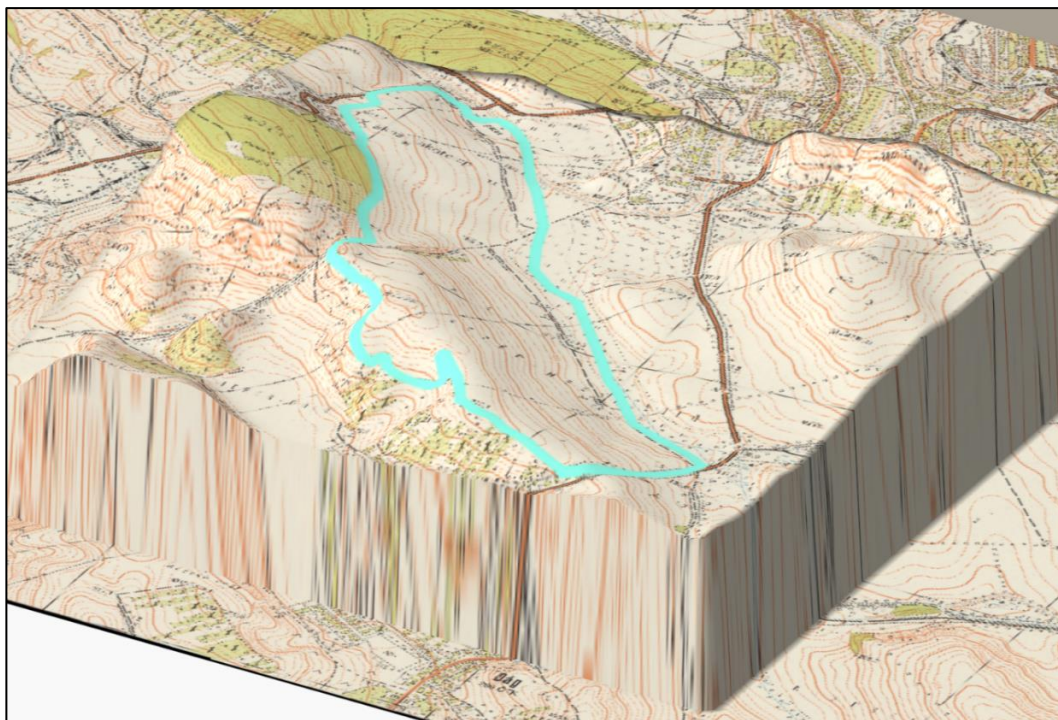
- | | |
|---|---------------------------|
| • időszak: | 2022.08.01. – 2022.10.30. |
| • célterületet azonosító EOVS koordináta: | 625066, 259192 |
| • termék típusa: | S2MSI2A |
| • felhőborítottság mértéke: | 30% |

A keresési paraméterek alapján 27 db műholdkép állt rendelkezésre. További kritikus, kizáró okot jelentő paraméter, hogy a vizsgálni kívánt mezőgazdasági tábla nem lehet felhővel borított vagy felhőárnyékkal érintett. A keresési szempontjaim alapján kiválasztott és letöltött két felvétel mind a 13 spektrális sávot tartalmazza. Az űrfelvételek azonosítói a következők:

S2A_MSIL2A_20220827T093601_N0400_R036_T33TYN_20220827T155159_EOV.tif
 S2A_MSIL2A_20221009T094921_N0400_R079_T33TYN_20221009T142105_EOV.tif

A választott felvételek geometriai, radiometriai és atmoszférikus korrekciós előfeldolgozáson átestek, ezzel az esetlegesen előforduló hibák, zajok és torzítások kijavításra kerültek. A felvételek EOVS (EPSG:23700) koordináta rendszerbe transzformáltak és tiff formátumban kerültek letöltésre.

Az egyéb térinformatikai adatfelhasználás tekintetében a mintaterületre vonatkozóan digitális domborzatmodellt igényeltem Lechner Nonprofit Kft.-től, a mellékletbe illesztett igénylőlap szerint. Az igényelt DDM-5 digitális domborzatmodellt kétféle szolgáltatási formátumban ASCII xyz fájlként és georeferált 32 bit-es .tiff formátumban is megkaptam. A GRID típusú fájl esetében a magassági értékeket tartalmazó pontok 5x5 méteres szabályos rácshálón helyezkednek el. A rastergrafikus fájlformátum esetében a pixelek mérete 5x5 méter és a magassági értéket a pixel színkódja tartalmazza. Az adatkészlet magassági megbízhatósága 70 cm. Az igényelt és részemre átadott adatállományokat, valamint a szabadon elérhető topográfiai térképet a Qgis szoftverben jelenítettem meg a rasteres adatállomány felhasználásával. Türkiz színnel a csolnoki mintaterület táblahatára került kijelölésre.



21.ábra: A DDM-5 és az 1963. évi topográfiai térkép 3 dimenziós megjelenítése

Forrás: saját szerkesztés

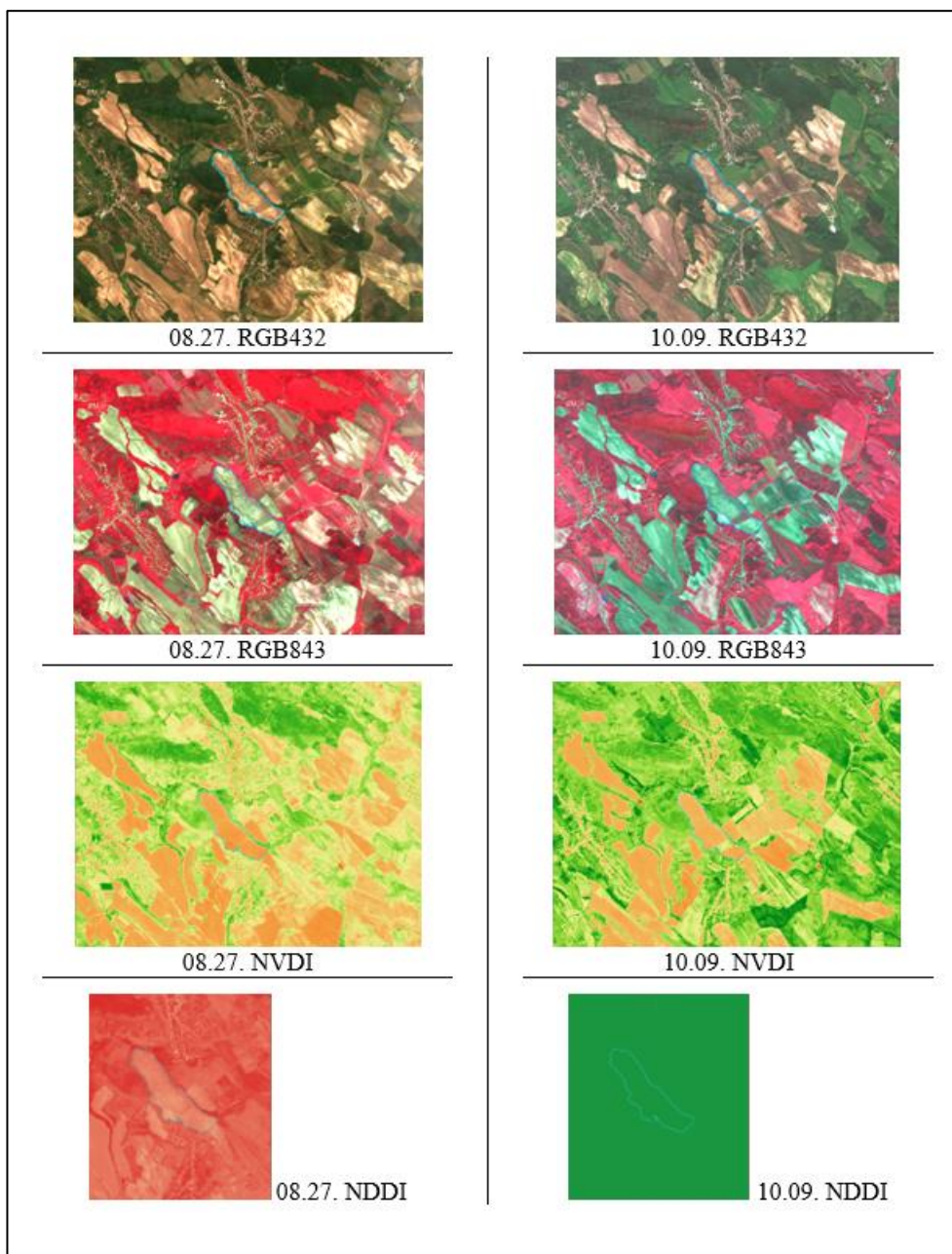
8. A TÁVÉRZÉKELÉSI ÉS A TEREPI ADATOK KIÉRTÉKELÉSE

A FIR rendszerből letöltött, mind a 13 spektrális sávot tartalmazó műholdképeket Qgis 3.28. verziójú szoftverrel jelenítettem meg vizuális interpretáció céljával. A 2022.08.17-ei és a 2022.10.09-ei felvételekből két sávkombináció alkalmazásával előállítottam valós színes (RGB:432) és hamis színes (RGB:843) színekompozitokat. Majd NDVI és NDDI indexeket számítottam a Raster Calculator eszközzel. Mindehhez négy spektrális sávot - a kék (Band 2), a zöldet (Band 3), a vöröset (Band 4) és a közeli infravörös tartományt (Band 8) - használtam fel. A mintaterületnek választott csolnoki szántó körvonalát világos kékkel ábrázoltam. Az eredmények a 22. ábrán láthatóak, bal oldali oszlopban az augusztusi, jobb oldali oszlopban az októberi felvételekből előállított termékek láthatóak a felhasznált spektrális sávkombinációval, illetve az indexszámítás megjelölésével. A felvételpárokat azonos méretarányal a mintaterület környezetét is bemutatva vágtam ki, és illesztettem az ábrába.

Az első sorban a valós színes felvételek (RGB432) között különbségek láthatóak. Az augusztusi felvételen az aszály okozta stressz nyomait érzékelhetjük a lágyszárú üdezőld vegetáció hiányán keresztül. A szántóföldtől északra és nyugatra erdők és mezők találhatók, amelyek októberre a csapadék hatására ismét kizöldültek. A felvételek tetején és alján az üde zöld foltok jelzik az őszi vetések kelését. A felvételeken jól kirajzolódnak a szántótól északra lévő Csolnok és a délre elhelyezkedő Dág települések.

A valós színes felvételeken felfedezett különbségek a közeli infravöröst tartalmazó hamisszínes színekompozíton (RGB843) is jól elkülönülnek. A két hamisszínes felvétel közötti érdekes különbség a türkiz színben megjelenő csupasz talajfelszínek árnyalatbéli különbsége, amit a talajban lévő nedvességkülönbség okoz. Az ugyanazon felvételen jelentkező türkiz szín árnyalatbéli különbsége pedig a talajpusztulás miatt kialakult, a talaj fizikai tulajdonságaiban bekövetkezett változásokat mutatja. A valószínűs és az infravöröst tartalmazó hamisszínes felvételek összevetésével az erdő borította területeken megkülönböztethetjük a lombhullató (világosabb piros) és a tűlevelű (sötétvörös) részeket. Az indexek esetében a két időpontban készült felvételek közötti különbségek szembetűnőek.

Az NVDI esetében a narancstól zöldig terjedő színskálát használva jelenítettem meg az értékeket, a zöld színű magasabb ($0 < 1$), a narancsszínű alacsonyabb ($-1 < 0$) NVDI értékeket jelöl.



22.ábra: A mintaterület vizuális interpretációjához készült kompozitok és indexképek

Forrás: Sentinel-2 műhold ürfelvételei alapján saját szerkesztés Qgisben

Az NDDI index esetében is színskálát használó ábrázolási mód látható, az index értékeit (-1; +1) a zöld, nincs aszály – a piros, súlyos aszály tengelyen értelmezhetjük.

Az augusztusi aszályos időszak végén készült felvételen a vörös árnyalat (0,3 feletti index érték) jelzi a vízhiány okozta stresszhatást, az árnyalatok közti eltérések a felszínborítás különbségeire vezethetőek vissza. Az októberi felvételen az NDDI index aszály jelzésére alkalmas index érték tartományától (0,1 index érték felett), oly mértékben kisebb index értékű eredmények születtek, hogy mindennemű különbség értelmezése lehetetlenné vált, emiatt homogén zöld képet kaptunk.

A mintaterülettől 3,5 km távolságban található csolnoki OVF mérőállomás rögzítette a csapadék eseményeket, a műholdfelvételek készítését és a terepi mérések napját megelőző időszakban. A hullott csapadékmennyiségekre vonatkozó adatok az alábbi ábrán szerepelnek:

Dátum (2022)	08.17.	08.18.	08.19.	08.20.	08.21.	08.22.	08.23.	08.24.	08.25.
Napi csapadék (mm)	0	0	17,3	3,8	4	33	0,4	3	0
Dátum (2022)	09.25.	09.26.	09.27.	09.28.	09.29.	09.30.	10.01.	10.02.	10.03.
Napi csapadék (mm)	18,4	4,2	2,7	0,8	7,7	18,1	10	0	0,2

23.ábra A méréseket megelőző napok csapadékeseményei és a csolnoki OVF mérőállomáson mért napi összegei milliméterben

Forrás: Saját szerkesztés

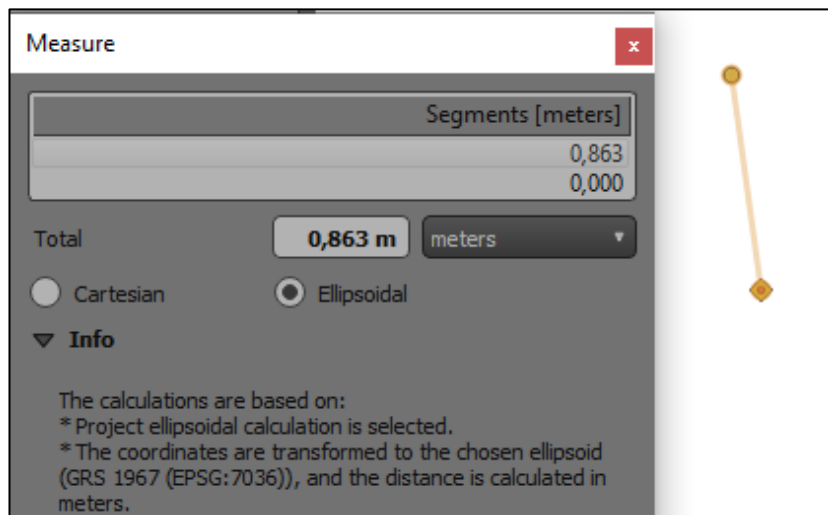
A csapadék eseményeket követően néhány napos beszivárgási időablakot meghagyva az in situ terepi talajnedvesség méréseket terepbejárás során hajtottam végre. A mérések célja az volt, hogy in situ talajnedvesség adatokat szerezzek a mintaterületre vonatkozóan. Az első mérésnapon, az augusztusi terepbejárás során a Qfield térinformatikai applikációt használva 22 db mérési ponton (10 cm és 20 cm mélységben) rögzítettem a talajnedvesség adatokat. Minden adatfelvételkor 2 rekord került rögzítésre automatikusan a Qfield applikációban. Az adatfelvétel egyik rekordja a felvett nedvesség érték, pontjel, mérési mélység mezőket tartalmazza - ezeket kézzel adjuk meg a terepen-, míg a másik rekordban a geometria kerül tárolásra. A Qfield applikáció a geometria eltárolását automatikusan végzi a futtatást végző eszköz gps antennája által szolgáltatott

hely adatok alapján. Az attribútum tábla szerkezetét a korábban bemutatott 19. ábra szemlélteti.

A mérések a délelőtti folyamán 8:37-11:30 között kerültek sor. Látható volt, hogy a mintaterület talajfelszíne alapvetően csupasz, tarlóhántással borított, néhol az aratás során elhullajtott magoknak a másodkeleése történt. A 19-ei zápornak a vízeróziós nyomai voltak láthatóak, markáns talajlemosódás, felszíni vízfolyások hordalékszállításának formájában. A szántón található a 75-3330 jelű alappont, melyen pontfelvételt végeztem, a méréshez használt telefonba épített gps pontosságának megállapításához. A pontosság megállapítását az eszköz alapontra helyezésekor történt pontfelvétel koordinátáinak és az alappont FÖMI adatbázisban rögzített koordinátaival történő összehasonlításával végeztem Qgis szoftverben. A távolságmérés eszközt használva az EPSG:7030 ellipszoidra transzformált projektszámítással a távolság a terepen felvett pont és az adatbázisban lévő pont között

0,863 m.

A további mért pontok felvételei során a QField beépített pontosságmérése által megállapított értékek 1,1-3,8 m között változnak.



	WGS84 ϕ	WGS84 λ	EOV X	EOV Y
75-3330 alappont koordinátái	47.674049	18.71392	258966,94	624954,86
A terepi pontfelvétel koordinátái	47,674056667	18,713918333	258968,037	624954,829
Az EOV koordináták pozícióeltérései			-1,097	0,031

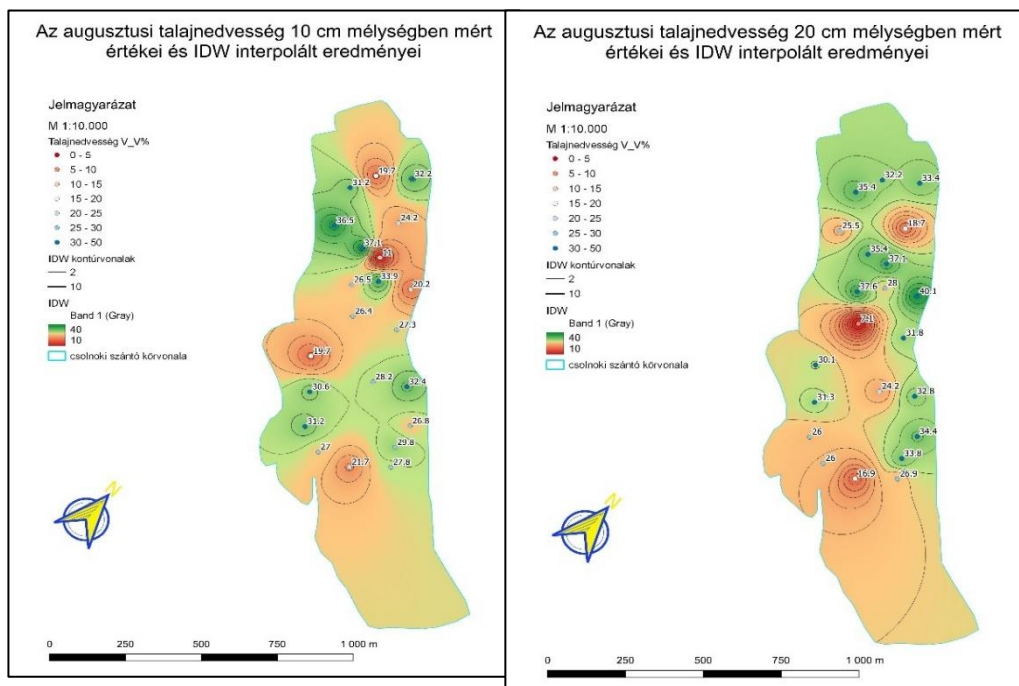
24. ábra Távolságmérés a Qgis szoftverben és a pozícióeltérések

Forrás: Saját szerkesztés

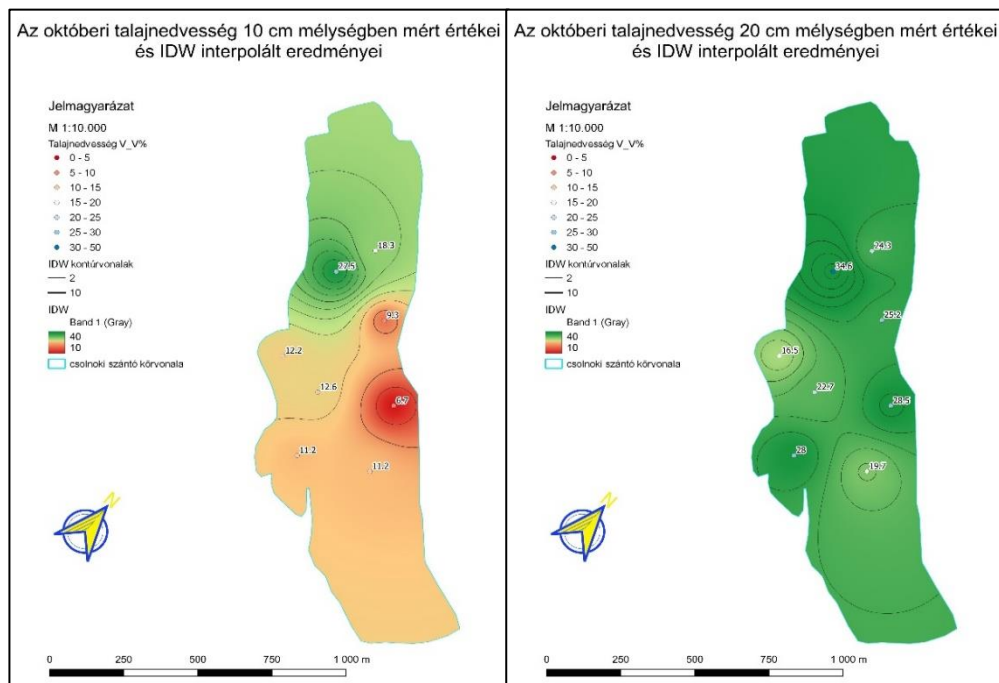
A második mérésnapon, az októberi terepbejárás során a Qfield applikációt új projektfájlal láttam el a TÉRINFORMATIKAI HÁTTÉR BEMUTATÁSA című fejezetben részletezett módon. A mérési pontok számát 8 db mérési pontra csökkentettem a Sentinel felvételen látható talajviszonyok változékonysága és a korábbi, nagyobb elemszámú mérés adatait figyelembe véve. A talajnedvesség adatokat a korábbi méréssel megegyező mélységben, 10 cm és 20 cm mélyen rögzítettem. A mérési pontokat a Qfield segítségével azonosítottam a terepen, majd a pontra állás után elvégeztem a talajnedvesség műszeres mérését, és a mért értékek és koordinátáik rögzítését az applikációban. A két mérésnap során a Qfield applikációval rögzített adatokat Qgis szoftverben dolgoztam fel. Először különválogattam a 10 és a 20 cm mélységben mért talajnedvesség adatokat, és EOVS koordináta rendszerben önálló shape fájlként vektoros pont rétegekként elmentettem. A mérésnapok adataiból készített térképek a mellékletben találhatóak.

Az alábbi műveletsort a két mérési időpont és a két különböző mélység szerint szétválogatott négy shape fájl mindegyikén végrehajtottam. A vektoros pont shape fájlból súlyozott számtani közép interpolációval (Inverz Distance Weighted - IDW) felületet hoztam létre, és tiff formátumban elmentettem. Az interpoláció paraméterezése az alábbiak alapján történt: az interpolációs attribútum a talajnedvesség érték mező, a távolság koefficiens 2 méter, az interpolációs keret a csolnoki szántót ábrázoló poligon, a kimeneti pixelméret 10x10cm volt. Az interpoláció lefutása után kapott raszteres állományt Clip Raster by Mask Layer eszközzel vágtam, ahol a maszk rétegnek a csolnoki szántó poligonját jelöltem ki.

A megjelenítés egységesen került beállításra egyes adattípusonként. A talajnedvesség pontszimbólumként egyedi értékek alapján, a mért talajnedvesség értékkészlete szerint egyenlő intervallumok módszerével került ábrázolásra. Az interpolációs felület megjelenítését egyenlő intervallumok módszerével, kvantálással, vagyis egyenlő számú objektumként ábrázoltam. Az interpolációs felületet megkettőztem, és a másodpéldányon a megjelenést átállítottam izovonalasra. Így előálltak a következő két ábrán látható térképek, amelyeken összehasonlíthatóak a két időpontban, különböző mélységekben mért talajnedvesség viszonyok.

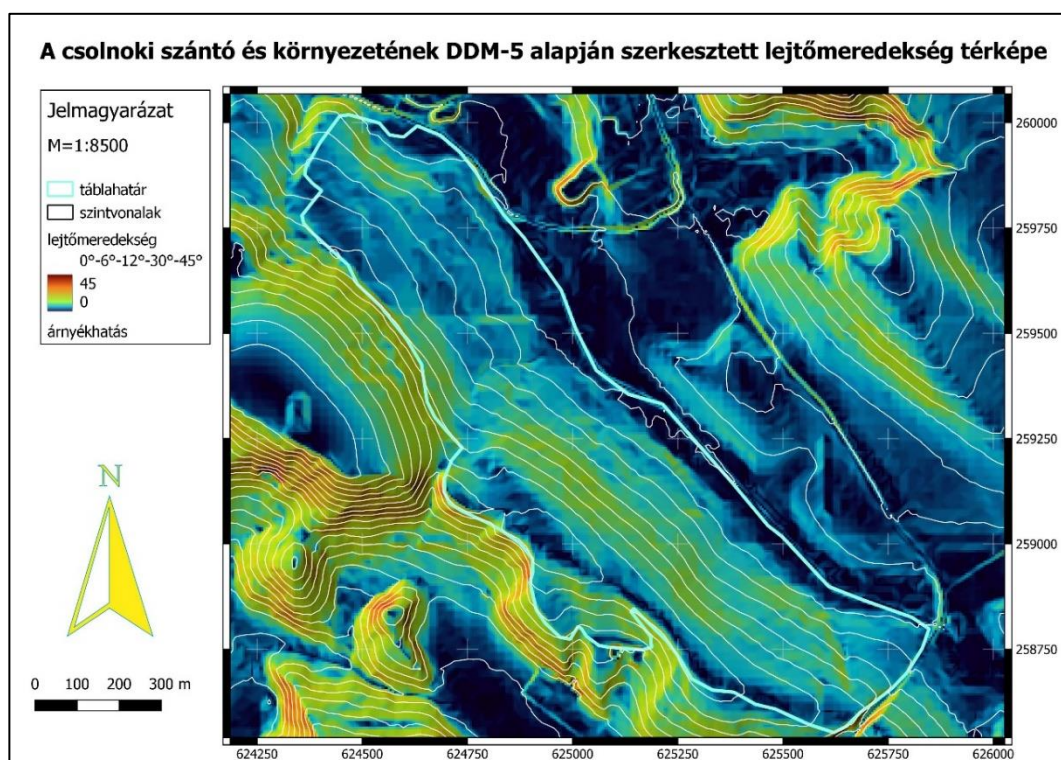


25.ábra Az augusztusi mérési eredmények IDW interpolációja Forrás: Saját szerkesztés



26.ábra Az októberi mérési eredmények IDW interpolációja Forrás: Saját szerkesztés

A rendelkezésemre álló digitális domborzatmodell (DDM-5) alapján a Qgis szoftverkörnyezetben elkészítettem a mintaterületre vonatkozó lejtőmeredekség térképet a szoftverbe épített Raster Analysis Slope eszközzel. A lejtőszögek kategorizálását és a kategóriák határait az adatkészlet hisztogramja alapján 0, 6, 12, 30 és 45 fokos kategória határoknál határoztam meg. Az eredmény az alábbi ábrán látható.



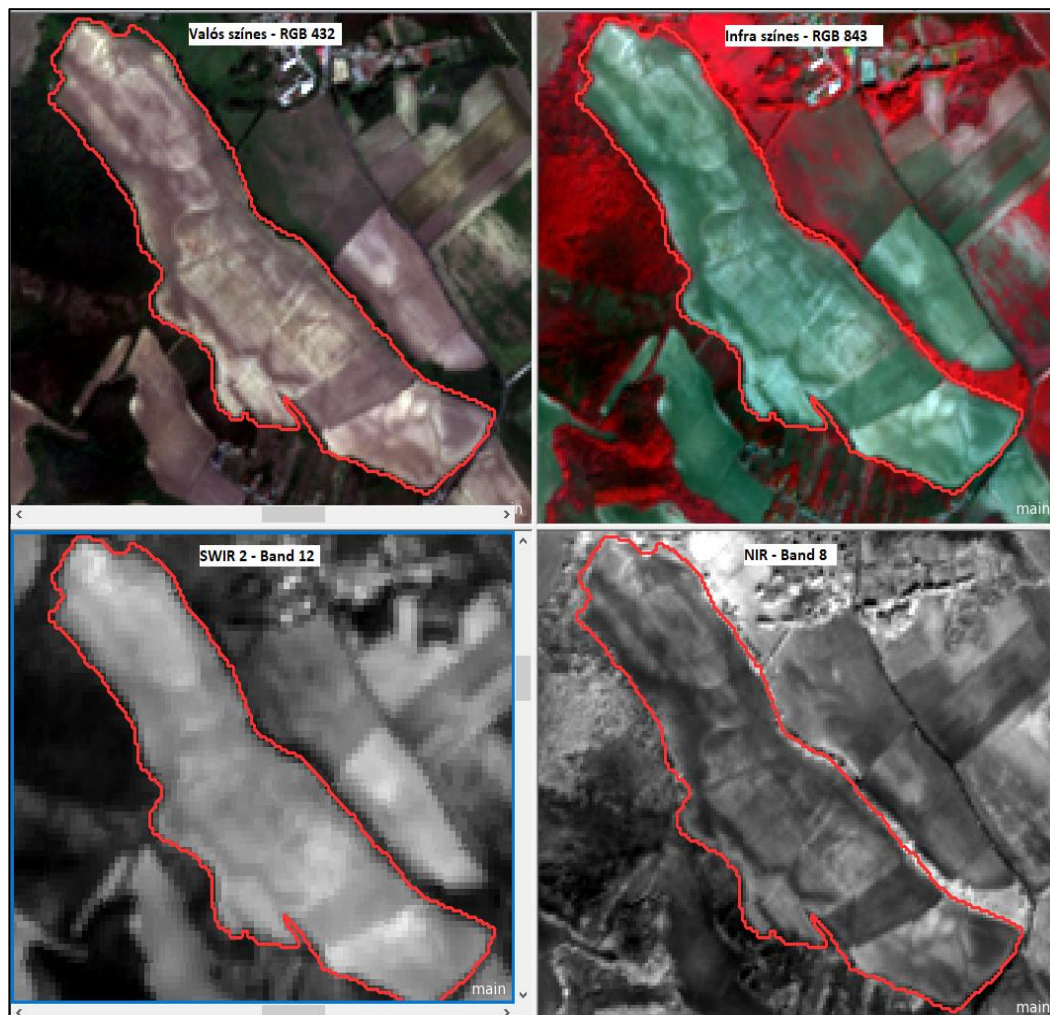
27.ábra A DDM-5 derivátumaként készített lejtőmeredekség térkép

A terepbejárások alkalmával szemrevételezéssel ellenőrizve győződtem meg a lejtőmeredekség térkép által mutatott domborzati viszonyok pontosságáról. Az 5x5 méteres felbontás a hangsúlyos változásokat pontosan és jól bemutatja, a mikrodomborzat rejtve maradása mellett.

A korábban bemutatott két Sentinel-2 felvétel feldolgozásával az OPTRAM modellhez szükséges adatok előállítását az eCognition szoftverkörnyezetben a 9.0 verzióban végeztem el.

Az új projekt létrehozását követően a feldolgozandó műholdfelvételnél a kék (Band 2), a zöld (Band 3), a vörös (Band 4), a közeli infravörös (Band 8) és a közép

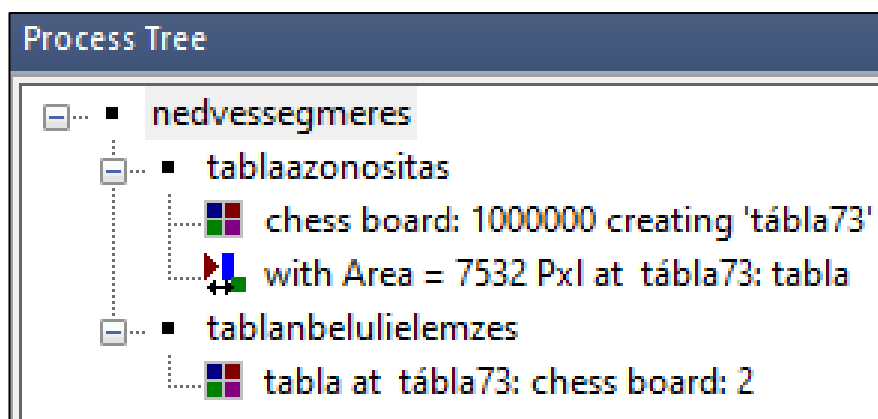
infravörös (Band 12) sávjait importáltam. A sávok mellett a korábban már többször felhasznált csolnoki szántót leképző poligont is behívtam a projektbe, annak érdekében, hogy a teljes műholdképből kivágatként használhassam.



28.ábra Az eCognition-ban behívott műholdkép megjelenítése valós színes és hamisszínes sávkombinációkban, valamint a közeli és a közép infravörös tartományokban Forrás: Saját szerkesztés

A projektgenerálást követően az OPTRAM modellszámításhoz szükséges változókat határoztam meg. A változók közül a módosított SWIR, az STR és az NDVI értékét a szabadon meghatározható object feature művelet során számoltam, míg a nedves és száraz élek értékeit az STR-NDVI intenzitástérben leolvasott értékek alapján kaptam meg.

Az STR érték kiszámíttatása előtt módosítani kellett a SWIR sáv eredeti értékét, mely szerint minden pixel értékét 0,001-el megszoroztam. Az így előállt módosított SWIR alkalmassá vált az STR értékének aritmetikai kiszámítására. Az SRT mellett az NVDI index számítási képletét is definiáltam „object feature”-ként, így az aritmetikai műveletek eredményeképpen objektumonként kerülnek kiszámításra az STR és NVDI értékek. következő lépésként felépítettem az osztályozás folyamatát, meghatároztam a végrehajtandó műveletek sorrendjét a következő ábra szerint.



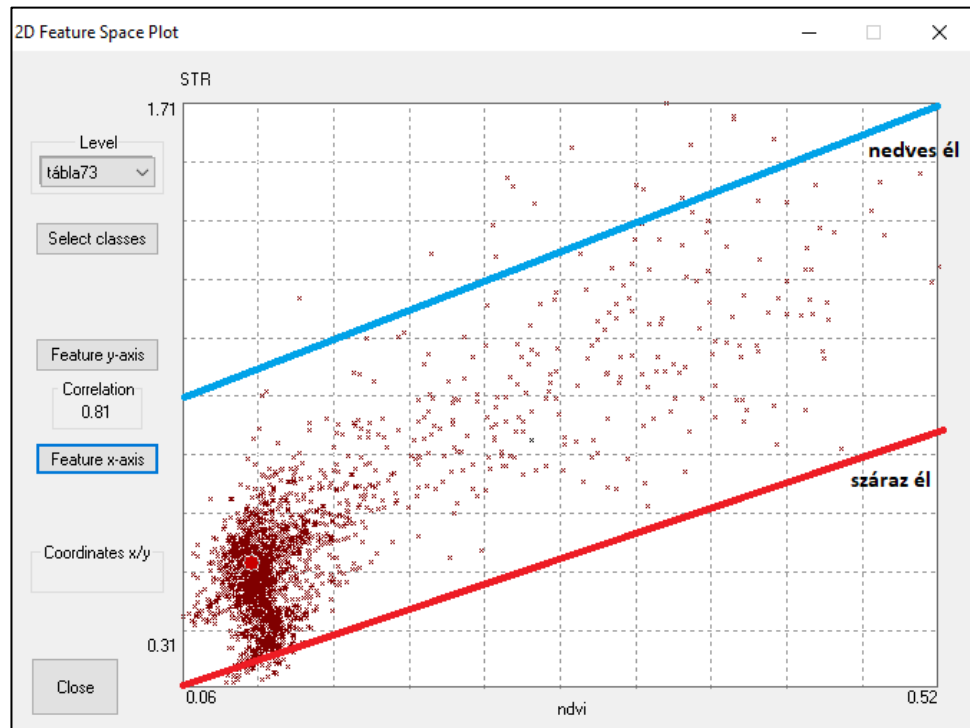
29. ábra Az eCognition-ban felállított osztályozás folyamata

Forrás: Saját szerkesztés

A képfeldolgozási folyamatokat két hierarchia szinten hajtottam végre. A táblaazonosítás a műholdfelvétel sakktáblás szegmentációjának segítségével történt. A sakktáblás szegmentáció során szabályos méretű négyzetekre kerül felbontásra a műholdkép. A csolnoki szántót leképző poligon sakktáblás szegmentációból elfoglalt pixelszáma alapján került beazonosításra.

A táblaazonosítást követően a következő hierarchikus szinten a táblán belüli elemzés történt ismét a sakktáblás szegmentáció algoritmusával. Az algoritmusban meghatározható az objektum mérete, több pixel felhasználásával növelhető az objektumméret. Az objektum méretének meghatározása után az objektumra vonatkozóan hajtódnak végre az „object feature”-ként korábban meghatározott műveletek. Ebben az esetben az objektumméretet kettes értékkel határoztam meg, így a feldolgozás során egy objektumot 4 pixel átlagértéke határoz meg. Az objektum mérete így 20x20 méteres lett, ami megegyezett a SWIR sáv térbeli felbontásával.

Az osztályozási folyamat futtatásával a szükséges STR érték és NVDI index a szegmentálás során előállított minden objektumra kiszámításra került és az STR-NVDI intenzitás térben ábrázolhatóvá vált. Az OPTRAM modellszámításhoz szükséges nedves és száraz élek értékeit az eCognition eszköztárban található 2D Feature Space Plot eszköz segítségével olvastam le.



30.ábra Az STR-NVDI tér koordináta-rendszerben meghatározott nedves és száraz élek Forrás: Saját szerkesztés

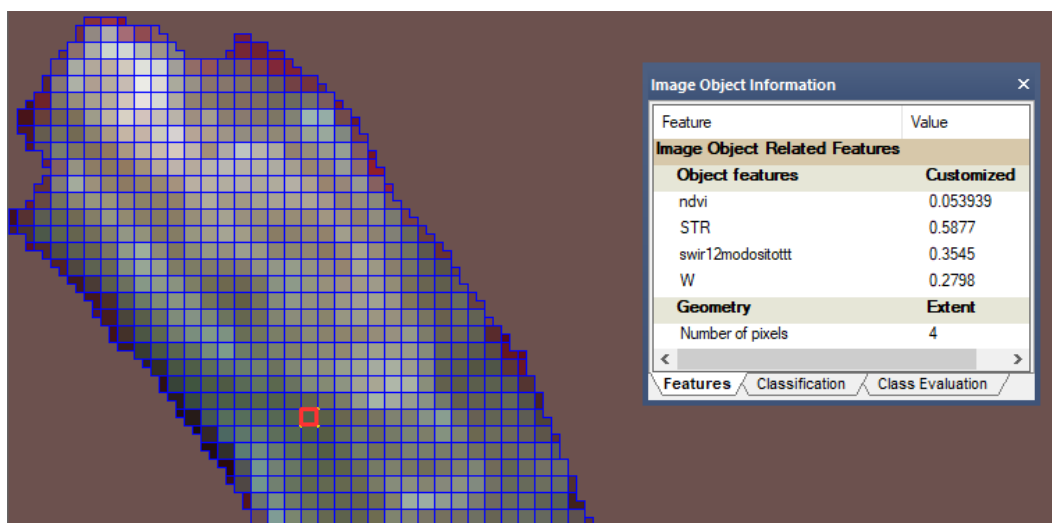
Az STR-NVDI intenzitás térben leolvasott nedves és a száraz élek koordinátaiból meredekséget számítva egészítettem ki a hiányzó modellparaméter értékeket. Az OPTRAM modellszámításhoz következtetett értékeket a következő táblázat tartalmazza. Az értékeket mindkét időpontban készült műholdfelvétel esetében meghatároztam.

Dátum	Száraz él (id)	Száraz él (sd)	Nedves él (iw)	Nedves él (sw)
2022.08.27	0,3	2	0,7	2,25
2022.10.09.	0,4	2,8	0,7	6,5

31.ábra az OPTRAM modellszámításhoz használt paraméterek Forrás: Saját szerkesztés

$$W = \frac{i_d + s_d NDVI - STR}{i_d - i_w + (s_d - s_w) NDVI}$$

A modellszámításhoz rendelkezésre állt az összes paraméter, így a képlet alkalmazhatóvá vált. Object feature-ként a fenti képlet alapján aritmetikai műveletbe helyeztem az OPTRAM modellparamétereket és a felállított osztályozási folyamatot újra lefuttattam. A modell lefuttatását követően minden objektumra kiszámításra került a talajnedvesség (W érték). A következő ábrán látható egy kijelölt objektum és az objektumot leíró tulajdonságok.



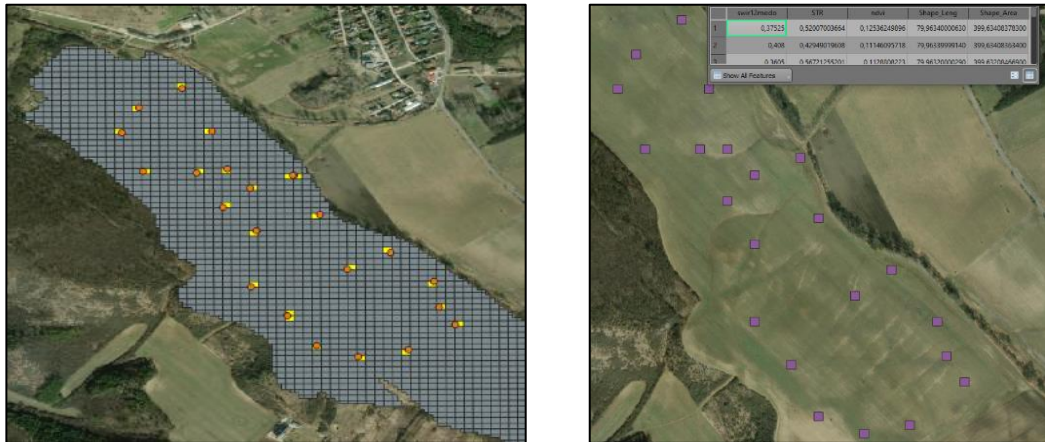
32.ábra Az eCognition-ban a szegmentálás eredménye

Forrás: Saját szerkesztés

Az eCognition szoftverből történő exportálás esetén több választási lehetőség is rendelkezésre áll. A szegmentálás eredményeit többféle formátumban is van mód exportálni, ebben az esetben shape fájlformátumot választottam. A geometria típusának poligont választottam, amely megegyezik a sakktáblás szegmentáció objektumainak méretével. Az attribútumtáblába kerülő mezőknek a W értéket, az STR értéket és az NDVI értéket jelöltem ki. Az így kapott vektoros poligon shape fájl térinformatikai szoftverbe importálható.

Az eCognition-ból exportált adatállományt Qgis-be importáltam, majd a terepi mérések vektoros pontrétegét használva select by location eszközzel intersection típusú térbeli kapcsolatuk alapján kiszelektáltam az OPTRAM eredményeket

tartalmazó vektoros poligonokat. A szelektált elemeket külön réteggként mentettem.



33.ábra A select by location eszközzel a terepi mérések pozíciójához tartozó OPTRAM modellszámítás eredményeit tartalmazó vektoros poligonok szelektálása

Forrás: Saját szerkesztés

A Qgisben shape fájlként mindkét mélységben (10 cm és 20 cm) és mindkét időpontban (2022. 08. 26. és 2022. 10. 10.) rendelkezésre álló terepi mérések adatait és a mindkét időpontra leválogatott OPTRAM eredményeket .xlsx formátumba exportáltam. Az előállt adatok statisztikai elemzését a Microsoft Excel programmal végeztem.

A terepi mérések adatsorát összevettem az adott pontra az OPTRAM modellel becsült adatsorral. A lineáris kapcsolat erősségének meghatározásához Pearson korrelációt használtam.

A korrelációs eredményeket az alábbi ábra szemlélteti.

augusztus			október		
10cm	20cm	W	10cm	20cm	W
11	7,1	-0,242799568	6,7	16,5	-0,492539003
19,7	16,9	-0,23133975	9,3	19,7	-0,215083704
19,7	18,7	-0,211558851	11,2	22,7	-0,180587166
20,2	24,2	-0,207494664	11,2	24,3	-0,094233741
21,7	25,5	-0,203976777	12,2	25,2	0,12008608
24,2	26	-0,20162519	12,6	28	0,12597996
26,4	26	-0,08461995	18,3	28,5	0,299855586
26,5	26,9	-0,009468904	27,5	34,6	0,481198679
26,8	28	0,014628648			
27	30,1	0,046135048	Pearson: 10 cm - W		0,900170641
27,3	31,3	0,080244107	Pearson: 20 cm - W		0,971120131
27,8	31,8	0,104775354			
28,2	32,2	0,105100347			
29,8	32,8	0,134867114			
30,6	33,4	0,144796686			
31,2	33,8	0,148337604			
31,2	34,4	0,249605868			
32,2	35,4	0,269062895			
32,4	35,4	0,315511376			
33,9	37,1	0,386820702			
36,5	37,6	0,486709269			
37,1	40,1	0,53935856			
Pearson: 10 cm - W		0,926576953			
Pearson: 20 cm - W		0,877088646			

34.ábra A korrelációs számítás adatai és eredményei

Forrás: Saját szerkesztés

Pearson korreláció esetében a mértékegység nélküli eredmény +1 és -1 közötti értéket vehet fel, azt is mutatva, hogy pozitív vagy negatív lineáris kapcsolat áll fenn a vizsgált két adatsor között. Az eredmények azt tükrözik, hogy erős pozitív lineáris kapcsolat áll fenn a terepbejárások során mért talajnedvesség adatok és a távérzékelési adatokon nyugvó OPTRAM modellszámítás alapján becsült talajnedvesség adatok között.

9. ÖSSZEFOGLALÓ

Szakdolgozatom során távérzékelési módszerek alkalmazásával történő talajnedvesség becslést végeztem, és a kapott eredmények pontosságát közvetlen in situ mérésekkel vetettem össze. A talajnedvesség térbeli változékonyságának távérzékelési alapokon történő becslése hozzájárul az aszály következtében beálló vízhiányos állapotok megfigyeléséhez, jobb megértéséhez, valamint információt szolgáltat a jövőbeli aszályos helyzetekre adott reakciókat megelőző döntéshozatalban. A szakdolgozatom első részében a szakirodalom alapján összefoglaltam és bemutattam az aszály jelenségét a fogalmi meghatározásokon és a folyamat tipizálható állomásainak az ismertetésén keresztül. A jelenleg üzemelő európai aszálymonitoring hálózatok közül bemutattam a Copernicus program aszálymegfigyelő központjának legfőbb aszálymutatóit, továbbá a lengyel és a magyar aszálymonitoring-hálózatokat. Kitekintettem a hagyományosnak mondható, talajmintán végezhető talajnedvesség mérési módszerekre, majd áttekintettem a távérzékeléssel történő talajnedvesség becslési eljárásokat. Ezt követően a szakdolgozatom mintaterületének választott Csolnok település mellett elhelyezkedő szántóra és környezetére vonatkozó meteorológiai, talajtani és topográfiai jellemzőket tártam fel adatbázisok adatai alapján. A szakirodalmi feldolgozást követően a terepi bejárás adatnyerési módszerét és a terepmunka részletes bemutatását a terepen végzett mérések, a mérések során alkalmazott műszerek, illetve a térinformatikai háttér ismertetésén keresztül tettem meg. A felhasznált szabad hozzáférésű távérzékelési adatokat külön szekcióban mutattam be. A távérzékelési adatok kiértékelését multispektrális Sentinel űrfelvételeken hajtottam végre. A képfeldolgozás során a sakktáblás szegmentációval és az intenzitás tér elemzésével nyertem ki az OPTRAM modellszámításhoz szükséges adatokat. A modellszámítás eredményét összevettem a terepi mérések során gyűjtött adatokkal korrelációanalízis használatával. A statisztikai adatok vizsgálatával megállapítottam, hogy a távérzékelési módszerek alkalmazásával megbecsülhető a talajnedvesség térbeli változékonysága.

10.SUMMARY

The purpose of the investigation is to support my thesis for the comparison of soil moisture measurement data with Sentinel 2 data and examines co relations between satellite and survey data for the sample area.

The investigated area is located in one of the mountainous regions of Hungary, in Komárom Esztergom County. The field is located in territory of Kelet-Gerecse. The landscape unit is characterized by terraced erosional valleys. The upthrusts are cover with forest. The periodic streams running on the valley floor belong to the catchment of the river Duna. In the 1960s, coal mines operated in the area for the mining of Eocene-Oligocene brownstone.

The study area is near Csolnok settlement. It is located in hilly areas. Erosion is evident in the case of sites. The agricultural field area is 75.000 square meter. The average annual amount of precipitation is 550 mm, 320 mm during the growing season.

Field moisture content data collection with WaterScout SM100 Soil Moisture Sensor and FieldScout Soil Sensor Reader. The sensor was calibrated for mineral soil and the Volumetric Water Content (VWC%) of soil was measured.

Multispectral ESA Sentinel-2 satellite images acquired from the FIR Data Hub. The used spectral resolution VIS, NIR, SWIR (bands: 2, 3, 4, 8, 12). Satellite data analyses steps for mapping surface soil moisture with OPTRAM modell. The optical trapezoid modell developed by Morteza Sadeghi and fellow researchers in 2015. The analyses was performed in eCognition Developer software.

The relationship between the results obtaine was investigate by Pearson correlation analysis. The study was successful and soil moisture can be estimated using remote sensing methods.

11.IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Entekhabi, Dara, „The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission.,” *Proceedings of the IEEE*, %1. szám98.(5), pp. 704-716, 2010.
- [2] Z. Bihari, „Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ – DMCSEE projekt beszámoló,” Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 2012.
- [3] S. Szalai, „Az aszály definíciói,” in *Összefoglaló a projekt eredményeiről*, Drought Management Centre for Southeastern Europe, 2012, pp. 7-10.
- [4] European Environment Agency, „Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought,” European Environment Agency, Copenhagen, 2/2009.
- [5] V. L., Hogyan dolgozzuk ki az aszály csökkentési stratégiáját? ICID Útmutató, Budapest: ICID Európai Regionális Aszály Munkacsoport, 2000.
- [6] B. van Leeuwen, „Talajnedvességen alapuló aszálymonitoring távérzékelés és terepi adatok alapján,” in *Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék*, Szeged, 2019.
- [7] European Drought Observatory, „European Drought Observatory,” European Drought Observatory, 26 03 2023. [Online]. Available: <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>. [Hozzáférés dátuma: 26 03 2023].
- [8] Institute of Soil Science and Plants Cultivation, „ADMS - Agricultural Drought Monitoring System,” State of Poland, [Online]. Available: <https://susza.iung.pulawy.pl/en/system/>. [Hozzáférés dátuma: 26 03 2023].
- [9] Anna Jędrejek, Piotr Koza, Andrzej Doroszewski, Rafał Pudelko, „Agricultural Drought Monitoring System in Poland,” *MDPI*, 09 04 2022.

- [10] K. Barta, B. Benyhe, I. Fehérvári, K. Fiala és J. Lábdy, Szerzők, *Operatív Aszály- és Vízhány Kezelő Monitoring Rendszer*. [Performance]. Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2018.
- [11] OVF-ATIVIZIG, „Integrált vízháztartási tájékoztató és előrejelzés.” Országos Vízügyi Főigazgatóság és Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, [Online]. Available: <https://www.vizugy.hu/index.php?module=documents&programelemid=108>. [Hozzáférés dátuma: 30 03 2023].
- [12] OVF, „Aszálymonitoring-Operatív Vízhány Értékelő és Előrejelző Rendszer,” Országos Vízügyi Főigazgatóság, [Online]. Available: <https://aszalymonitoring.vizugy.hu/index.php?view=pattern>.
- [13] Su, Z.–Zhang, J.–Wu, W.–Cai, D.–Lv, J.–Jiang, G.–Huang, J.–Gao, J.–Hartmann, R.–Gabriels, D, „Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China.” *Agricultural Water Management*, %1. kötet87.3, p. 307–314., 2007.
- [14] Lawes, R. A.–Oliver, Y. M.–Robertson, M. J., „Integrating the effects of climate and plant available soil water holding capacity on wheat yield.” *Field Crops Res.*, %1. kötet113, %1. szám3, pp. 297-305, 2009.
- [15] F. Károly, Szerző, *A talajnedvesség mérés módszerei és a mérési eredmények hasznosíthatósága*. [Performance]. Magyar Hidrológia Társaság XXXIV. Országos Vándorgyűlés Debrecen, 2016.
- [16] Keveiné Bárány Ilona, Farsang Andrea, Terep- és laborvizsgálati módszerek a természeti földrajzban., Szeged: JatePress, 1998.
- [17] D. H. Júlia, *Precíziós öntözés és vízgazdálkodás*, Szeged: Szegedi Tudományegyetem, 2016.
- [18] Stefanovics Pál, Filep György, Fülek György, Talajtan, Budapest: Mezőgazda Kiadó, 2010.

- [19] V. W. Małgorzata, Fotóinterpretáció és távérzékelés, Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem, 2011.
- [20] Vágó J - Seres A. - Hegedűs A., Alkalmazott térinformatika, 2011.
- [21] Genevieve Rondeaux, Michael Steven, and Frédéric Baret, „Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices,” *REMOTE SENS. ENVIRON*, %1. kötet55, %1. szám95, p. 107, 1996.
- [22] B.-C. Gao, „NDWI -A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space,” *REMOTE SENS. ENVIRON*, %1. kötet5, pp. 257-266, 1996.
- [23] Renza, D., Martinez, E., Arquero, A., & Sanchez, J. , „Drought Estimation Maps by Means of Multidate Landsat Fused Images,” *Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage*, p. 775–782, 2010.
- [24] Gu, Y., J. F. Brown, J. P. Verdin, B. Wardlow, „A five year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central,” *Great Plains of the United States, Geophysiscal Research Letters*, %1. kötet34, pp. 1-6, 2007.
- [25] V. D. W. Malgorzata, „A talaj és a növény vízellátottságának mérési lehetőségei távérzékelési módszerekkel,” *Agrofórum*, pp. 120-124, 08 2020.
- [26] V. D. W. Malgorzata, „A talaj és a növény vízellátottságának mérési lehetőségei távérzékelési módszerekkel (2.),” *Agrofórum*, pp. 38-41, 10 2020.
- [27] Iuliia Burdun, Michel Bechtold, Valentina Sagris, Annalea Lohila, Elyn Humphreys, Ankur R. Desai, Mats B. Nilsson, Gabrielle De Lannoy, Ülo Mander, „Satellite Determination of Peatland Water Table Temporal Dynamics by Localizing Representative Pixels of A SWIR-Based Moisture Index,” *Remote Sens*, %1. kötet12, 2020.

- [28] Z. Dövényi, Magyarország Kistájainak Katasztere, Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, 2010.
- [29] S. István, „Országos Vízügyi Főigazgatóság,” Országos Vízügyi Főigazgatóság, 07 09 2022. [Online]. Available: <https://www.ovf.hu/hu/korabbi-hirek-2/2022-evi-aszaly-ertekelese-a-tortenelmi-adatok-tukreben>. [Hozzáférés dátuma: 05 04 2023].
- [30] Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila , „OMSZ Tanulmányok,” Országos Meteorológiai Szolgálat, 11 01 2023. [Online]. Available: https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3261&hir=2022._a_tortenelmi_aszaly_eve_%E2%80%93_az_ev_agrometeorologiai_attekintese. [Hozzáférés dátuma: 06 04 2023].
- [31] OVF, „Aszálytérkép,” Országos Vízügyi Főigazgatóság, [Online]. Available: <https://vizhiany.vizugy.hu/>. [Hozzáférés dátuma: 2023].
- [32] C. Albergel, „Evaluation of remotely sensed and modelled soil moisture products using global ground-based in situ observations,” *Remote Sensing of Environment*, %1. szám118, pp. 215-226, 2012.
- [33] Morteza Sadeghi, Ebrahim Babaeian, Markus Tuller, Scott B. Jones, „The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations,” *Remote Sensing of Environment*, %1. kötet198, pp. 52-68, 2017.

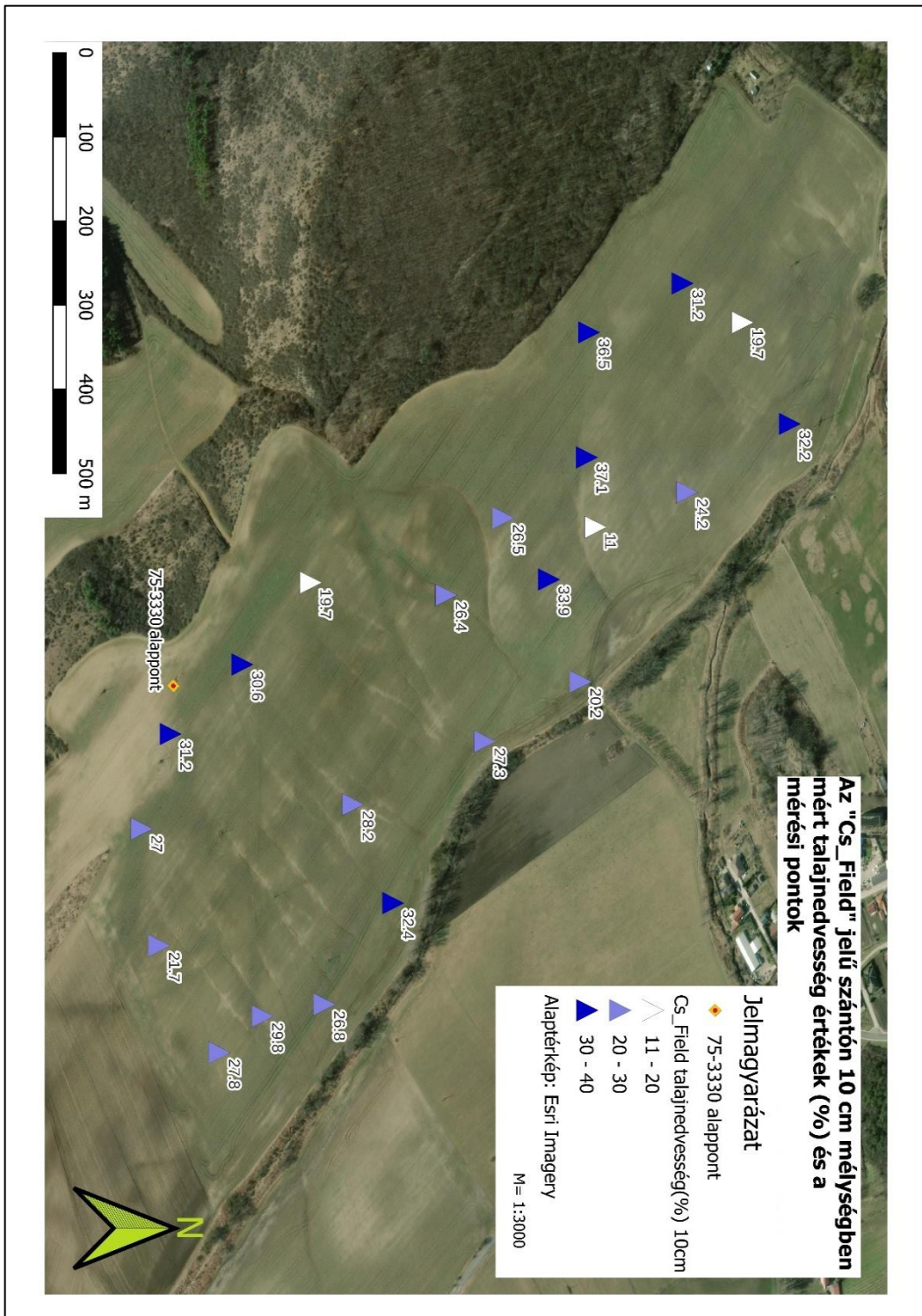
12.KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

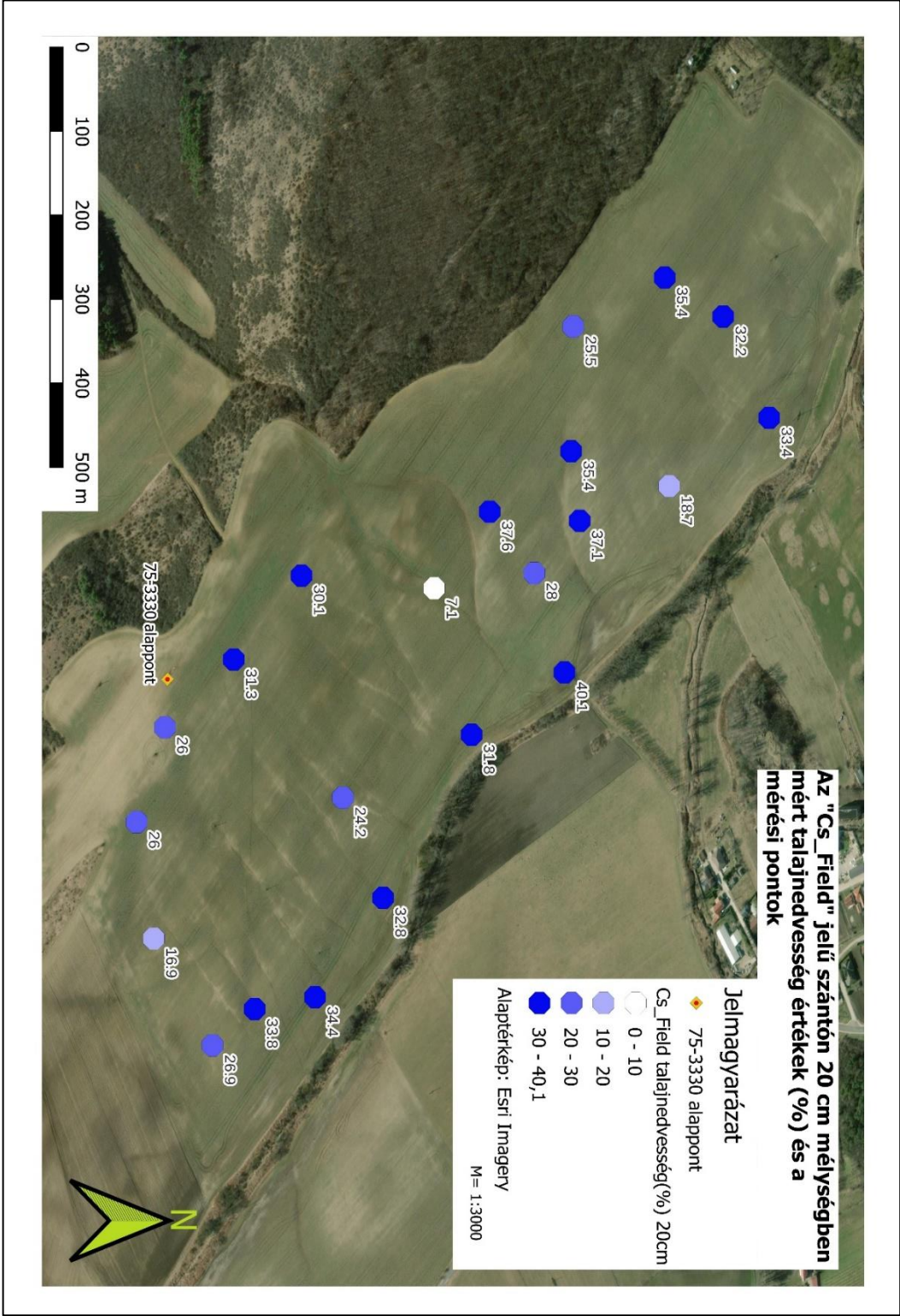
Szeretnék köszönetet mondani, témavezetőmnek, Verőné Dr. Wojtaszek Małgorzatának, hogy iránymutatást, támogatást és bátorítást nyújtott a dolgozat elkészítésének folyamata során. Szaktudása, éleslátó észrevételei és konstruktív visszajelzései felbecsülhetetlen értékűnek bizonyultak a szakdolgozat készítésekor.

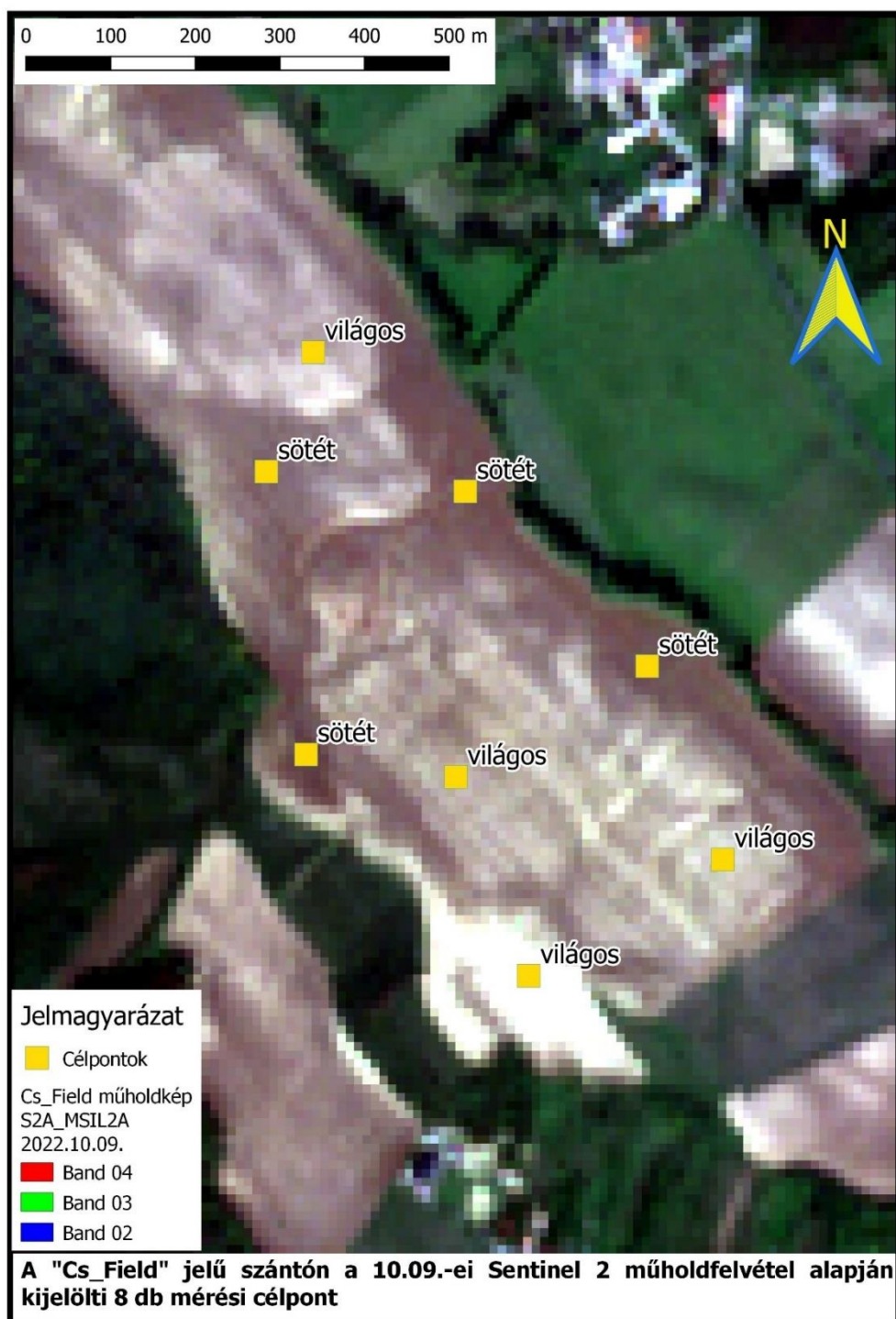
Köszönöm a Gyermelyi Zrt.-nek, hogy teret adott a mintaterületen folytatott méréseimhez.

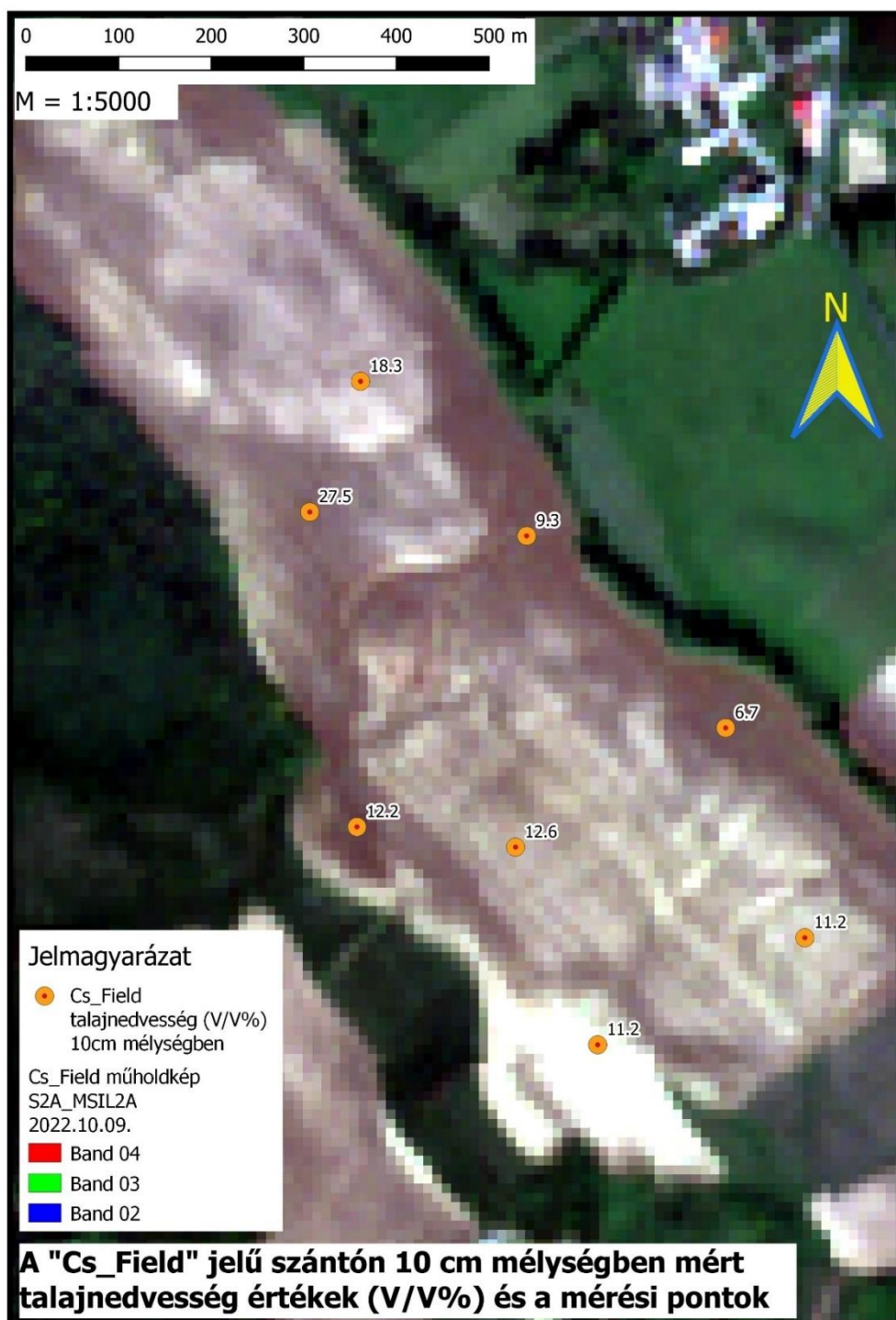
Hálás vagyok Biankának, hogy mindvégig bátorított és motivált.

13.MELLÉKLETEK







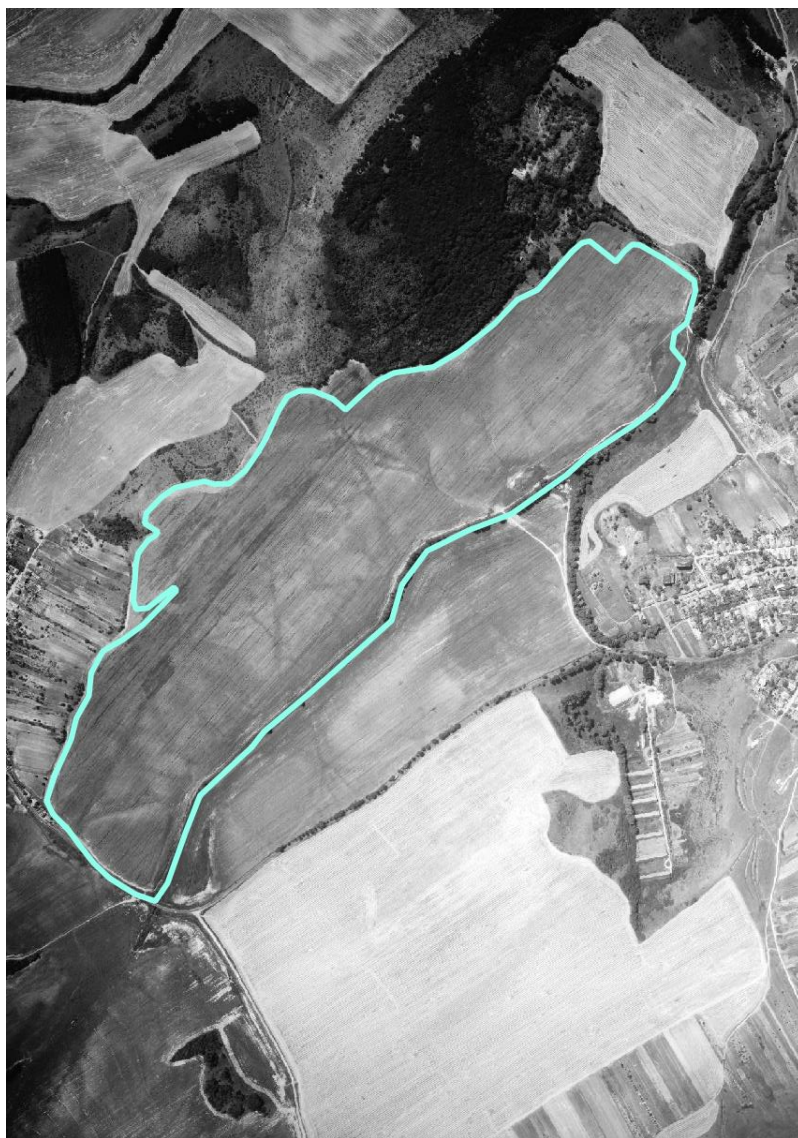






Ortofotó 1963 (fekete fehér); 1984 (színes)





Ortofotó 1990



iktatószám: 4926-3/2023
munkaszám: 20230426_01_1

Tárgy / Átadás-átvételi elismervény

A mai napon a(z) **Ádám Bence** az Óbudai Egyetem hallgatója, díjmentesen (továbbiakban Átvevő) átveszi a Lechner Nonprofit Kft-től (továbbiakban Átadó) az alábbi adato(ka)t:

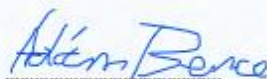
Sz	Adat	Formátu m
1.	Domborzatmodell 5 méteres felbontásban (DDM)	.xyz .tif

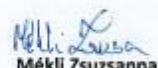
Az adat(ok) papír alapon / optikai lemezen / a megrendelő által biztosított adathordozón, **FTP-n** / postai úton / személyesen kerül(nek) átadásra.

A szolgáltatás alapját a z LTK/4926-2/2023 számú engedély képezi.

Kérjük, ellenőrizze az átvett adatállományokat! Javasoljuk, hogy készítsen róluk biztonsági másolatot! Az átadott adatokat az átvételtől számított 30. napig őrizzük meg. Reklamációt ezen időn belül fogadunk el, az adatállományokat díjmentesen cseréljük. Ezt követően csak a díj megfizetése esetén tudjuk az adatot ismételtén átadni.

Budapest, 2023. 05. 04.


Átvevő


Átadó

LECHNER TUDÁSKÖZPONT NONPROFIT KORLÁTOLT FELELŐSSÉGŰ TÁRSASÁG
Cím / 1111 Budapest, Budafoki út 59.
Postacím / 1507 Budapest, Pf.: 2.
Telefon / +361 222 5101
www.lechnerkozpont.hu
info@lechnerkozpont.hu