



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai
Intézet

SZAKDOLGOZAT

A TALAJ SZERVES SZÉNTARTALMÁNAK TÉRKÉPEZÉSE SZŐLŐÜLTETVÉNYEN TÁVÉRZÉKELT ADATOK ALAPJÁN

OE-AMK

2023

Hallgató neve: Babcsányi Izabella

Hallgató törzskönyvi száma: T000707/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Babosányi Izabella

Szakterület neve: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000707/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: geoinformatika szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: A talaj szerves széntartalmának térképezése szőlőültetvényen, távérzékelési adatok alapján

A dolgozat címe angolul: Mapping soil organic carbon emissions in a vineyard based on remotely sensed data

A feladat részletezése:

Ismeresse átfogóan a távérzékelés mezőgazdasági alkalmazásait! A témában kiemelten foglalkozzon a szőlőültetvények esetével!

Egy mintaterületen mutassa be a módszer gyakorlati lehetőségeit, a talaj egyes hozamot befolyásoló összetevőinek, valamint a topográfiai jellemzőknek a kapcsolatát, mint például szervesanyag tartalom és erózió!

Összegezze tapasztalatait, értékelje a munka során alkalmazott technológia alkalmasságát a szőlőtermesztés területén!

Intézményi konzulens neve: Balózsik Valéria

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

Beadási határidő: 2023. 05. 15.

A szakdolgozat: Nem illik.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 04. 05.



[Signature]
Intézetigazgató

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

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai
Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem.

Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

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

Kelt: Szeged, 2023.05.13.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'B. ...'.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	4
Summary	6
1. BEVEZETÉS.....	7
2. IRODALMI MEGALAPOZÁS	10
2.1. Távérzékelés mezőgazdasági alkalmazási lehetőségei	10
2.2. Szervesanyag-térképezés szőlőültetvények feltalajában kémiai mérések és távérzékelte adatok alapján	13
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	17
3.1. Mintaterület leírása (Hétszőlő Birtok, Tokaj)	17
3.2. Talajmintavétel és szervesanyag-mérés	19
3.3. Talajtérképezés mért szervesanyag-tartalmak alapján (ordinary kriging módszerrel).....	21
3.4. Domborzatmodell elkészítése	25
3.5. Szervesszén-térképezés távérzékeléssel drónfelvételek és PlanetScope műholdfelvételek alapján	25
3.6. Vegetációs indexek alapján növényfejllettség (szőlő+sorköztakaró növények) térképezése	29
3.7. Statisztikai adatelemzés	29
4. EREDMÉNYEK.....	30
4.1. Domborzatmodell a kijelölt mintaterületről és lejtőviszonyok	30
4.2. Szervesanyag-eloszlás a mintaterület feltalajában (távérzékelte adatok és helyszíni mérések összehasonlítása)	34
4.3. Vegetációs indexek időbeli és térbeli változásai az ültetvényen a 2020-as és a 2022-es évek vegetációs időszakában	41
5. KÖVETKEZTETÉSEK	46
5.1. A domborzat és a feltalaj szervesanyag-tartalmának összefüggései mért szervesanyag-tartalmak és távérzékelte adatokból számolt szerves szén index alapján 46	
5.2. Összefügg-e a szervesanyag-tartalom a vegetációs indexekkel szőlőkultúra esetén?	46
6. KONKLÚZIÓ.....	48
Irodalomjegyzék.....	49

Összefoglaló

A talaj szerves anyagai fontos szerepet töltenek be annak szerkezeti stabilitásában, valamint a víz- és tápanyaggazdálkodásban is. A domboldalakra telepített szőlőültetvények talajai fokozott eróziós hatásnak vannak kitéve, amelyet az egyre intenzívebb esőzések tovább súlyosbíthatnak. Ezért a szőlőültetvények talajai általában szerves anyagokban és tápanyagokban elszegényednek. A domborzati viszonyok befolyásolhatják az ültetvények talajösszetételét, amely hatással lehet a szőlő hozamaira. Jelen tanulmány célja vizsgálni egy ültetvényen belül a domborzati hatásokat a feltalaj szervesanyag-tartalmainak térbeli mintázataira valamint kipróbálni egy távérzékelésen alapuló szerves szén index (SOCi) alkalmazhatóságát szerves szén térképezésére szőlőültetvényekben, továbbá kideríteni, hogy vajon az ültetvény térben változatos szervesanyag-tartalmai hatással vannak-e a szőlő fejlődésére.

A geoinformatika a jelen dolgozatban kulcs szerepet játszik a térbeli adatok feldolgozásában és statisztikai kiértékelésében. Ehhez a munkához összesen 71 talajminta szervesanyag-mérési eredményét, drónfelvételek alapján fotogrammetriai módszerrel előállított domborzatmodellt és összesen 11 PlanetScope képet vettem alapul. A PlanetScope képek spektrális sávjai lehetővé tették, hogy egyrészt előállítsam a vizsgált ültetvény talajának szerves szén index térképét, másrészt nyomon kövessem a szőlő fejlődését NDVI-értékek által.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a látható hullámhosszúságú sávokban detektált reflektancia-adatokra kidolgozott SOCi statisztikai kapcsolatot mutat a mért szervesanyag-tartalmakkal. Ezzel a távérzékelte adatokon nyugvó módszerrel tehát egyszerűen előállítható egy szőlőültetvény szervesanyag-tartalmainak térbeli mintázata. Az elemzést tovább folytatva, összevettem a mintavételi pontokban jellemző lejtőszögekkel a szervesanyag-eredményeket és a SOCi értékeket. Az elemzés alapján negatív korrelációs kapcsolat áll fenn a talaj szervesanyag-tartalma és a lejtő meredeksége között. Ezzel szemben a vegetációs index értékei és a talaj szervesanyag-tartalmai pozitív kapcsolatot mutatnak azokban az időpontokban, amikor a szőlőt nem terheli vízstressz. Összegezve elmondható, hogy a lejtőre telepített ültetvények talajait érő eróziós hatások következtében térben változatos szervesanyag-tartalmak alakulnak ki. Ezek a

talajösszetétel-különbségek a szőlő fejlődésére is hatnak, leginkább olyankor, amikor jelentősebb vízhiány nem gátolja a növényfejlődést.

Summary

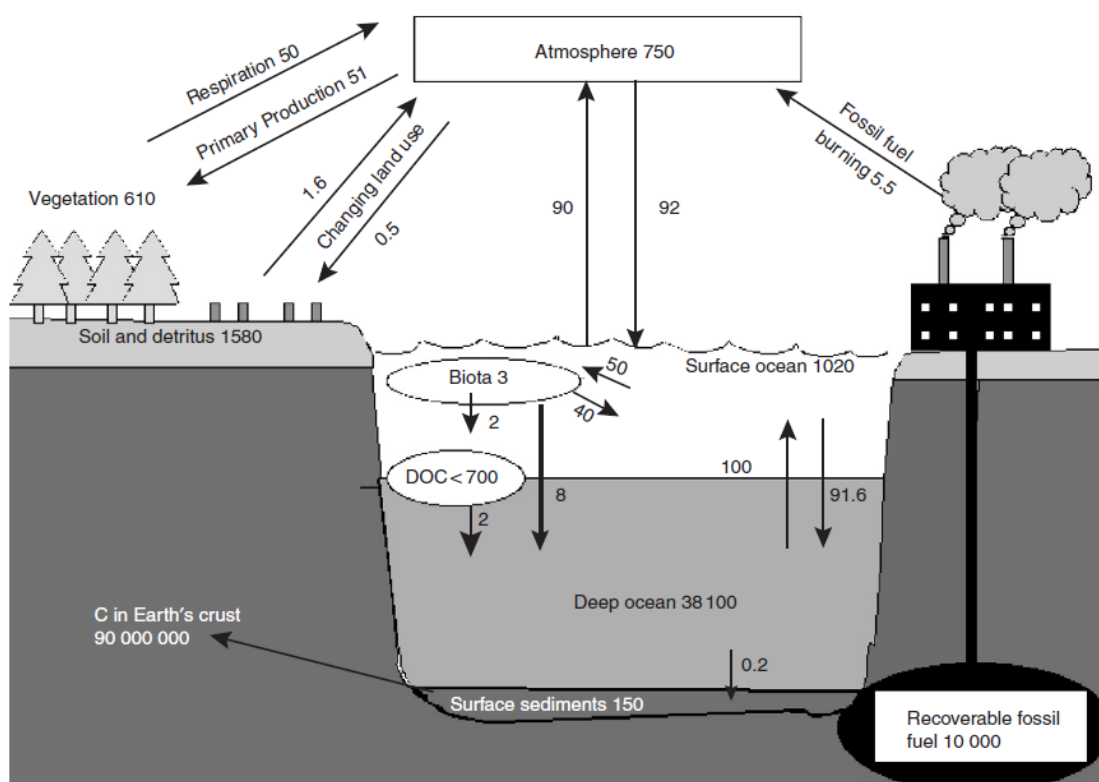
Soil organic matter plays an important role in the structural stability of soils, as well as in their water and nutrient management. The soils of vineyards planted on hillsides are exposed to increased erosion, which can be further aggravated by increasingly intense rains. Therefore, vineyard soils are usually depleted in organic matter and nutrients. Topographical conditions can affect the soil composition of plantations, which can also impact grape yields. The aim of this study is to investigate the effects of topography on the spatial patterns of the topsoil organic matter contents within a plantation and to test the applicability of a remotely sensed organic carbon index (SOCi) for mapping organic carbon in vineyards, and to find out whether the spatially varied organic matter contents have an effect on the development of grapes.

In this thesis, geoinformatics play a key role in the processing and statistical evaluation of spatial data. For this work, I used the results of the measured organic matter contents of a total of 71 soil samples, a digital elevation model produced by the photogrammetric method based on drone images, and a total of 11 PlanetScope images. The spectral bands of the PlanetScope images allowed me, on the one hand, to create a map of the soil organic carbon index, and on the other hand, to monitor the development of the grapes through NDVI values.

According to the results, it can be concluded that the SOCi based on reflectance data in the visible wavelength bands shows a statistically significant relationship with the measured soil organic matter contents. With this method based on remotely sensed data, the spatial pattern of the organic matter content of a vineyard can be easily explored. I also compared the organic matter results and SOCi values with the slope degrees in the sampling points. According to the analysis, there is a negative correlation between the organic matter content of the soil and the steepness of the slope. On the other hand, the vegetation indices and the soil organic matter contents show a positive relationship when the grapes are not under water stress. In summary, because of the erosion effects on the vineyard's soil, spatially diverse organic matter contents are formed. These differences in soil composition also affect the development of grapes, especially when a significant lack of hydration does not inhibit plant development.

1. BEVEZETÉS

A talaj tartalmazza az egyik legnagyobb szénkészletet globális szinten, mely több mint kétszerese a légköri vagy a vegetáció szénraktárainak (1. ábra) (Carlson et al. 2001). A mezőgazdasági művelés alatt álló földterületek fontos szerepet játszanak a szárazföldi szénkészlet tárolásában (Zomer et al. 2017), azonban az emberi művelés hatása és az intenzív növénytermesztés labilissá teszi ezt a jelentős szénraktárat. A talaj szerves szénkészlete hozzájárul annak termékenységéhez, hiszen tápanyagokat köt meg s ezáltal támogatja a termesztett növények fejlődését. Ráadásul a szerves szén képes nagy mennyiségű szén-dioxidot megkötni és tárolni, ezáltal mérsékelve a légköri szén-dioxid-kibocsátást (Jobbágy and Jackson 2000). Ezért fontos kiemelt figyelmet szentelni a talaj, különös tekintettel a megművelt talajok szén-egyensúlyának, hiszen a talaj globális szénkészletében bekövetkező kismértékű változás is nagy hatással lehet a légköri CO₂ szintjére és ezáltal a klímára.



1. ábra: A szén globális körforgásának egyszerűsített diagrammja. A nyilak a szénáramokat jelzik a különböző szénkészletek között: atmoszféra, litoszféra, bioszféra, pedoszféra, óceánok. A nyilak által jelzett mennyiségek 10⁵ g C/év-ben értendők. [Carlson et al., 2001]

A tápanyaggazdálkodás mellett, a talaj szerves széntartalma hozzájárul annak nedvességmegkötő képességéhez is, amelynek egyre nagyobb jelentősége van a magyarországi szárazodó klíma és az elhúzódó aszályos időszakok miatt. Mindazonáltal a szerves szén megkötésének és növénytermesztésre fordítható hasznosításának egyensúlyát nehéz megteremteni az intenzíven művelt mezőgazdasági talajokban és azon belül is az erózió által fokozottan sújtott szőlőültetvények talajaiban. A szőlőültetvényeket gyakran meredek lejtőkre telepítik, így azok talajai fokozott talajerózióknak vannak kitéve. A talajerózió termékenységet csökkentő mivolta leginkább abban nyilvánul meg, hogy az esővíz és vagy a szél elmozdítja a feltalaj termőrétegét, amely egyrészt tápanyagvesztésként jelenik meg, másrészt a szervesanyag-vesztés szerkezetromlást idéz elő a talajban, amely végső soron talajtömörödéshez vezet (Novara et al. 2018). Novara és munkatársai egy 2018-ban megjelent tanulmányukban összefüggést találtak egy szicíliai szőlőültetvény talajának szerves széntartalma és a szőlő vegetációs indexei között, ezáltal bizonyítva, hogy a talajerózió által lemosódó és a völgytalpi térszíneken kiüledő szerves anyag fontos szerepet játszik a szőlő fejlődésében. Annak érdekében, hogy tisztább képet kapjunk egy-egy szőlőültetvény talajállapotáról, fel kell mérni annak szervesanyag-tartalmát és annak térbeli változatosságát, amely az utóbbi években távérzékelte adatok alapján is kivitelezhető.

A talaj szerves széntartalmának térképezése számos kihívást rejt. A helyszíni mintavételezés és a laboratóriumi mérések alapján történő szervesszén-térképezés jelentette sokáig a legkézenfekvőbb módját a talajállapotok felmérésének. A talaj szervesszén-tartalmának nagymértékű heterogenitása azonban nehézkessé teszi annak hagyományos módszerek alapján történő felmérését terepen. A talaj szervesszén-tartalmának meghatározására alkalmazott laboratóriumi mérések, úgy, mint a C-analízis vagy a vegyszeres roncsolás, időigényesek és költségesek. Újabb ezért előtérbe kerültek a távérzékelésen alapuló, szenzorok által regisztrált jelek elemzésének technológiái, amelyek lehetővé teszik a szervesszén-tartalom és egyéb talajtulajdonságok gyors meghatározását. Ezek közül a látható és közeli infravörös 350–2500 nm-es (VIS-NIR) sáv tartományokban detektált jelek, többváltozós kalibrációval kombinálva, ígéretes alternatív módját jelentik a talajok szervesszén-tartalmának terepi feltérképezésének (Ladoni et al. 2010, Bellon-Maurel and McBratney 2011). A jelen dolgozatban a talaj

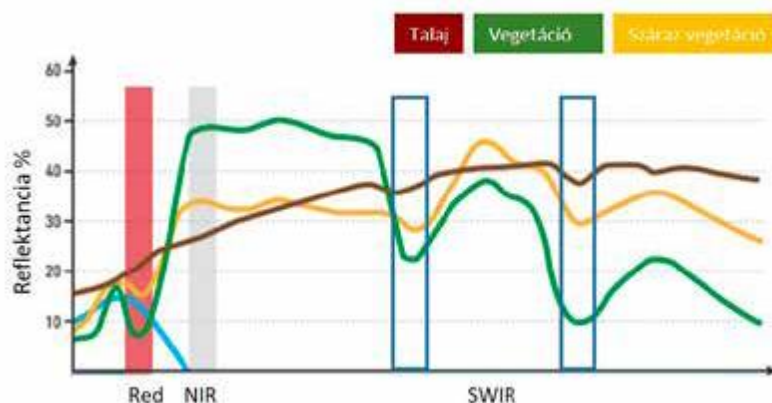
szervesszén-tartalmának távérzékeléssel történő felmérését járom körbe látható hullámhosszúságú sávtartományok alapján számolható ún. talaj szerves szén index (Soil Organic Carbon Index=SOCI) alapján, amely indexet egy 2019-es amerikai tanulmányban dolgoztak ki (Thaler et al. 2019). Az eredeti tanulmány szerzői az új indexet szántó területek talajaira alkalmazták. A szántókkal összehasonlítva egy szőlőültetvény valamelyest összetettebb talajhasználatot jelent, ugyanis az új telepítésű ültetvényeket leszámítva, egy régebbi ültetvényben kevés az összefüggő fedetlen talaj. Kérdés, hogy a szőlősorok és/vagy a sorköztakaró növényi maradványok mennyire befolyásolják a SOCI indexet. Ez függhet az index számolásához használt képfelvételek térbeli felbontásától is. Ezt vizsgálom meg 2019-es, cm-es felbontású drónfelvételek és 3×4,5 m-es térbeli felbontású Plabet Scope műholdfelvételek alapján. A pár cm-es felbontású drónfelvételek jelentik a fotogrammetriai módszer alapján készült domborzatmodell alapját is.

2. IRODALMI MEGALAPOZÁS

2.1. Távérzékelés mezőgazdasági alkalmazási lehetőségei

A távérzékelés egy hatékony módja annak, hogy különféle földmegfigyelést végezzünk. A távérzékelési technológia mezőgazdasági célú alkalmazása az elmúlt években egyre nagyobb teret nyert, mivel költséghatékony módot kínál nagy területeken történő adatgyűjtésre és termésfigyelésre. A műholdfelvételek és más távérzékelte adatok elemzésével a gazdálkodók és kutatók értékes információhoz juthatnak a termesztett növények egészségéről, a talaj nedvességtartalmáról és egyéb olyan tényezőkről, amelyek befolyásolhatják a terméshozamot és a minőséget (Weiss et al. 2020). A gyűjtött adatok feldolgozása által olyan információhoz jutunk, amely felhasználható adat-orientált döntések meghozatalára az ültetésről, öntözésről, műtrágyázásról és egyéb termesztési gyakorlatokról, elősegítve a terméshozam javítását és a környezeti hatások csökkentését. A távérzékelési technológia folyamatos fejlődésével várhatóan mezőgazdasági felhasználása csak tovább fog növekedni az elkövetkező években, különösen a precíziós mezőgazdálkodási gyakorlat térnyerésével.

A távérzékelés egy földi célpontról (növény, épület, talaj, stb.) visszavert és kibocsátott elektromágneses sugárzás mérésén, rögzítésén és feldolgozásán alapszik. A jellemzően műholdakra vagy drónokra telepített érzékelő műszerek mérik és rögzítik a földfelszínről visszavert és/vagy kibocsátott elektromágneses sugarakat. A távérzékelésen alapuló földmegfigyelés a jellemzően Napból eredő látható és láthatatlan (UV, gamma, röntgen, infravörös mikrohullámú és rádió) elektromágneses sugárzás és a különböző földi célpontok (növényzet, talaj, víz, épületek, stb) közötti eltérő kölcsönhatáson alapul (2. ábra) (Wojtaszek et al. 2020). A technológia folyamatos fejlődése folytán a műholdképek egyre jobb térbeli, spektrális és időbeli felbontásokban állnak a rendelkezésünkre. Az amerikai Landsat és az Európai Űrügynökség által üzemeltetett Sentinel műholdak mellett, amelyek 10-30 m-es térbeli felbontásban készítenek többsávos felvételeket, 2016 óta jobb (3 m-es) felbontású és szinte napi szintű képeket szolgáltatnak a PlanetScope program keretében üzemeltetett Dove és újabban SuperDove műholdak.



2. ábra: A növényzet (zöld görbe), a talaj (barna görbe) és a száraz növényzet (sárga görbe) reflektancia görbéi a látható vörös és a közeli illetve a rövid hullámhosszú infravörös tartományokban. [(Wojtaszek et al. 2020)]

A távérzékelés mezőgazdasági felhasználási lehetőségei:

- Növénymonitoring: A távérzékelés segítségével nyomon követhető a növények egészségi állapota a vegetációs indexek elemzésével. A vegetációs indexek számításához a látható vörös (Red) és a közeli infravörös (NIR) tartományokba eső sávokban mért reflektanciákat vesszük figyelembe, ugyanis ebben a két tartományban a legnagyobb a növényi felületek reflektancia különbsége (2. ábra). A vegetációs indexek közül a leggyakrabban használt index a Normalizált Különbség Vegetációs Index (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI), melyet a következő képlettel számolhatunk ki (Giovos et al. 2021):

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

,ahol a NIR a közeli infravörös tartományban mért reflektancia érték, a RED pedig a látható vörös hullámhosszúságú tartományban detektált reflektancia értéket jelöli. Minél magasabb az NDVI érték, annál fejlettebb és egészségesebb a zöld növényzet.

Az NDVI-értékek információt szolgáltathatnak a tábla növényzetének mennyiségéről és egészségi állapotáról, amelyek segítségével azonosíthatók a szárazabb területek vagy a potenciális terméskiesés. Még az olyan haszonnövények mint az avokádó fenológiai fázisainak (rügyezés, levélfejlődés, virágzás, gyümölcsérés) nyomon követésére is alkalmas lehet a vegetáció távérzékelés-alapú vizsgálata Rahman és munkatársai (2022) szerint. Ezáltal

lehetővé válik a művelési és értékesítési munkafolyamatok (öntözés, trágyázás, növényvédelem) optimalizálása; a termésbecslés, a szüret és a marketing megfelelő tervezése.

- Talajnedvesség-térképezés: A távérzékelés (jellemzően műholdak szenzorai által regisztrált reflektancia adatok) segítségével feltérképezhető a talaj nedvességtartalma a szenzorok által detektált és a talajfelszínről visszavert vagy kibocsátott sugárzás mennyiségének elemzésével, amely által optimalizálható az öntözés és megelőzhető a túlóntözés egy nagyobb területen (Van Leeuwen et al. 2019) vagy akár egy mezőgazdasági táblán belül is (Verőné et al. 2021). Az optikai és a termális infravörös tartományokban mért reflektanciák módszere azon alapszik, hogy egy hosszabb perióduson (jellemzően 16 nap) keresztül regisztrált vegetációs index maximumok és a mért termális adatok közötti térbeli eltérések hasonló vegetáció esetén a talajfelszín nedvességtartalmának változásai okán jelentkeznek (Van Leeuwen et al. 2019). Egy kisebb terület mint egy mezőgazdasági tábla esetén viszont jól alkalmazhatóak olyan modellek, amelyek pixel szinten próbálnak kapcsolatot teremteni a talajfelszíni hőmérséklet és a vegetációs indexek térbeli eloszlásai között például az ún. optikai trapéz modell alkalmazásával (Verőné et al. 2021).
- Terméshozam becslés: A távérzékelés segítségével megbecsülhető a terméshozam a vegetációs indexek és a közeli infravörös spektrális tartományon belüli terméshozam-függő reflektancia értékek alapján. A közeli infravörös hullámhossz reflektancia értékei a betakarítás során a kombájn által mért hozamadatokkal kombinálva olyan hozammodell létrehozását teszi lehetővé, amely pontos becsléseket adhat az adott területen várható jövőbeli terméshozamokról (Gudmann et al., 2021).
- Betegségek és kártevők felderítése: A távérzékelés segítségével a növényekben előforduló betegségek és kártevők kimutathatók a vegetációs mutatók és egyéb adatok változásának/anomáliáinak elemzésével. A korai felismerés segíthet a gazdálkodóknak abban, hogy mihamarabb megakadályozzák a fertőzés terjedését, csökkentve a termésvesztést. Adott esetben a célzott vegyszeres kezelések

lehetővé teszik, hogy a kezelt területek kiterjedését minimalizáljuk, illetve kevesebb kezeléssel érjük el a termés kiesés elkerülését. Általában az egészséges növények magasabb reflektancia értéket adnak a közeli infravörös tartományban, míg a látható tartományban alacsonyabbak a detektált reflektancia értékek, szemben a stressz által ért (például szárazság) vagy megfertőződött növényekkel (Sudha Rani et al. 2018). Ez jelenti a távérzékelésen alapuló növényegészség-monitoring alapját.

- **Területhasználati térképezés:** A távérzékelés segítségével feltérképezhető a területhasználat és a felszínborítás időbeli változása. A felszínborítás a Föld felszínének biofizikai borítását jelenti, azonosítva a növényzetet, a belvizeket, a csupasz talajt vagy az ember által épített infrastruktúrát. Ez az információ felhasználható azon területek azonosítására, amelyeket mezőgazdasági felhasználásról városi használatra alakítottak át, nyomon követhetővé válnak az erdőirtások, erdőtüzek és felmérhetőek a földhasználat változásai, továbbá azok hatása a terméshozamokra és az ökoszisztéma-szolgáltatásokra. A nemzeti és nemzetközi ügynökségek elkezdtek regionális felszínborítási térképeket készíteni, pl. EOSD 2000 Kanadában; CORINE Land Cover 2000 Európában, a Landsat műholdképek alapján (Gómez et al. 2016).

Ez csak néhány példa arra, hogyan használható a távérzékelés a mezőgazdaságban. A távérzékelési technológia alkalmazása tovább terjed, új lehetőségeket kínálva a gazdálkodóknak és a kutatóknak a termésgazdálkodás és a termelékenység javítására egy ökológiai és környezetbarátabb mezőgazdálkodás érdekében.

2.2. Szervesanyag-térképezés szőlőültetvények feltalajában kémiai mérések és távérzékelte adatok alapján

A talaj a globális szénkészletek közül az egyik legjelentősebbnek számít. Ezért a talaj szervesszén-szintjének időbeli változása fontos tényezője a globális szénkörforgásnak. A talajok szervesszén-készletének számszerűsítése és feltérképezése kulcsfontosságú az agroökoszisztémák fenntartható működése és a talaj erőforrásainak megőrzése szempontjából. A talaj szervesszén-tartalma ugyanis a talaj termékenységének egyik

kulcsfontosságú összetevője és kritikus szerepet játszik az agroökoszisztémák működésében. A mezőgazdasági művelésbe bevont talajok szervesszén-szintjének növelése potenciálisan hozzájárulhat az éghajlatváltozás mérsékléséhez a talajba beépülő szerves anyag megkötése révén, és javíthatja a talajok minőségét. Az agroökoszisztémák közül a szőlőültetvényeket általában alacsony szervesszén-tartalmú talajokra telepítik, ráadásul az ültetvények fokozott talajerózióknak és degradációs folyamatoknak (pl. rézszennyezés) vannak kitéve (Payen et al. 2021). Ezért a szervesszén-készletek növelése ezekben a termesztési rendszerekben nagy kihívás elé állítja a gazdálkodókat.

A szervesszén-tartalom megoszlása a lejtőre telepített szőlőültetvények talajaiban nagy térbeli változatosságot mutathat, különös tekintettel az ültetvények különböző talajtípusaira és a domborzati viszonyokra. A dombvidéki szőlőültetvényeken a szervesszén-tartalom térbeli változatosságát számos tényező befolyásolja, beleértve a talajerózió mértékét vagyis a talaj degradáltságát (Costantini et al. 2018), a talaj fizikai féleségét vagy más néven textúráját (Burke et al. 1989) és az alkalmazott termesztési/talajművelési technológiát (Šimanský 2013, Belmonte et al. 2018). Általánosan elmondható, hogy a dombok tetején lévő talajok szervesszén-szintje általában alacsonyabb a felső talajréteg folyamatos eróziója miatt, míg a dombok alján, a völgytalpi térszíneken elhelyezkedő talajok szervesszén-tartalma általában magasabb a lehordott talajanyag szervesanyag-tartalmának felhalmozódása miatt (Novara et al. 2018). Manaljav és munkatársai 2021-es tanulmányukban egy tállyai szőlőültetvény feltalajában folytattak talajtani vizsgálatokat, és mérték többek között a talaj szervesanyag-tartalmának térbeli változatosságát. A tanulmány szerzői megállapították, hogy a talaj számos paramétere, köztük a szervesanyag-tartalmak is jelentős térbeli különbségeket mutattak, az ültetvény lejtőviszonyai között tapasztalható eltérő eróziós dinamikáknak betudhatóan.

A dombvidéki szőlőültetvények szervesszén-tartalmának térbeli változatosságát a domborzati viszonyok mellett olyan gazdálkodási gyakorlatok is befolyásolhatják, mint a takarónövények használata a sorközökben, a talajművelés és a szerves trágyázás. Például azokban a szőlőültetvényekben, ahol hosszú ideje alkalmaznak sorköztakaró növényeket általában megnövekszik a talaj szervesszén-szintje a megnövekedett szervesanyag-bevitel miatt (Abad et al. 2021).

Különbféle módszerek és technikák alkalmazhatók a talaj szervesszén-tartalma térbeli változatosságának vizsgálatához. Az egyik gyakran alkalmazott módszer a talajmintavétel laboratóriumi mérésekkel kombinálva és a mérési eredmények geostatistikai (interpolációs módszerek) kiértékelésével nyert talajtérképezés (Panagos et al. 2013, Manaljav et al. 2021). A talajmintavétel lehetővé teszi a talaj bizonyos pontjaiban a szervesszén-tartalom pontos meghatározását, míg a geostatistika felhasználható a pontokban mért szervesszén-szintek modellezésére és interpolálására a teljes szőlőültetvényre. A hagyományosnak számító mérésen és statisztikai kiértékelésen alapuló módszer mellett, újabban távérzékelésen alapuló módszerek is előtérbe kerültek (Nocita et al. 2013, Rodionov et al. 2014, Thaler et al. 2019). A távérzékelés, akár műholdképek, akár drónfelvételek alapján, értékes információt szolgáltat a talaj szervesszén-tartalmának térbeli eloszlásáról azáltal, hogy egyrészt felmérhető a vegetáció fejlettsége egy területen, amely összefüggésbe hozható a szervesanyag-tartalmakkal, másrészt spektrális adatokat alapul véve a talaj szervesszén-tartalma is direkt módon feltérképezhető.

Thaler és munkatársai (2019) egy új ún. SOCI (Soil Organic Carbon Index) indexet számoltak nagyfelbontású WorldView-2 képek alapján egy iowai szántóra, ahol korábban történtek szerves szénmérések és tesztek a szervesszén-koncentráció távérzékeléses becslésére vonatkozóan. Az új szerves szén index a vizsgált 7916 darab mintára 1,5%-os négyzetes hibát eredményezett, ami összehasonlítható a SWIR/NIR (rövid hullámhosszúságú infravörös/közeli infravörös) tartományban detektált szervesszén-mérésekkel (RMSE = 1,3%), és felülmúlja a NIR és látható vörös hullámhosszon mért szervesszén-indexet (RMSE = 2,8%). Regressziós modellek helyi kalibrációs adatokkal és anélkül pontosan előrejelezték a mért szervesszén-koncentrációt, ~0,5% RMSE-értékekkel. Tekintettel a látható hullámhosszúságú spektrumadatok elérhetőségére, az ezek alapján számított szerves szén index (SOCI) számos talaj-agronómiai probléma feltárására ad kézenfekvő megoldást. Ezért érdemes kipróbálni a SOCI index alkalmazhatóságát szőlőültetvények talajaira is.

Összességében a szerves szén térbeli változatosságának megértése domboldalakra telepített szőlőültetvényekben fontos az ültetvény-gazdálkodási gyakorlatok

optimalizálása, a talaj termékenységének javítása és a szőlőültetvények ökoszisztémáinak hosszú távú fenntarthatóságának megőrzése szempontjából.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

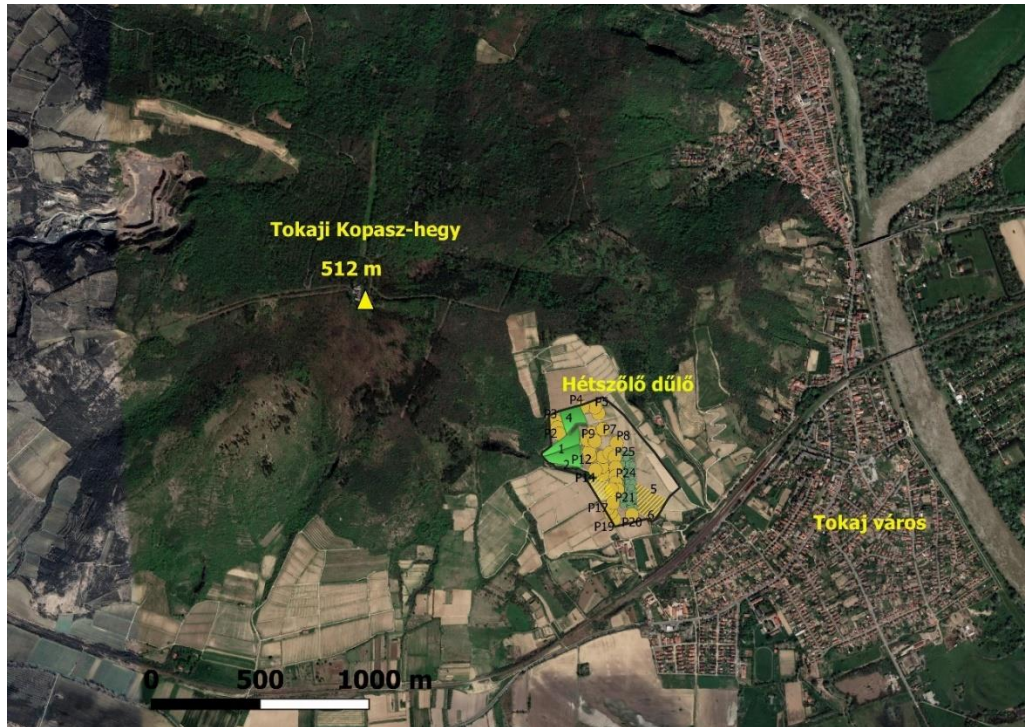
3.1. Mintaterület leírása (Hétszőlő Birtok, Tokaj)

A vizsgált terület a Hétszőlő Birtokon található, amely a tokaji Kopasz-hegy, vagy más néven Tokaji-hegy déli-délkeleti kitettséű domboldalain fekvő szőlőültetvény (ÉK Magyarország) (3. ábra). A Tokaji-hegy a Zempléni-hegység része és egyben az egyik legkeletibb tagja az Északnyugati-Kárpátok belső vulkáni vonulatának. A vulkanizmus által keletkezett hegy alapkőzete piroxén dácit és piroxén dácit tufa (Zelenka et al. 2004). A hegy magmás alapkőzetét néhány centimétértől 20 m-ig terjedő vastagságú lösz borítja, amely egyben a rajta kialakult talaj alapkőzete (Novák et al. 2014). Egy külszíni fejtésű dácitkőbánya (Binét-bánya) található a vizsgált szőlőültetvények közvetlen közelében, amelynek művelését felhagyták az 1980-as években. A területre jellemző éghajlat nedves kontinentális 590 és 610 mm között változó átlagos éves csapadékmennyiségekkel. A csapadékeloszlást tekintve a legtöbb csapadék a nyári hónapokban esik (360 mm) (Dövényi et al. 2010). Az átlag évi hőmérséklet 8,5°C a hegycsúcson, míg a völgytalp közelében a 10 °C-ot is elérheti (Novák et al. 2014).

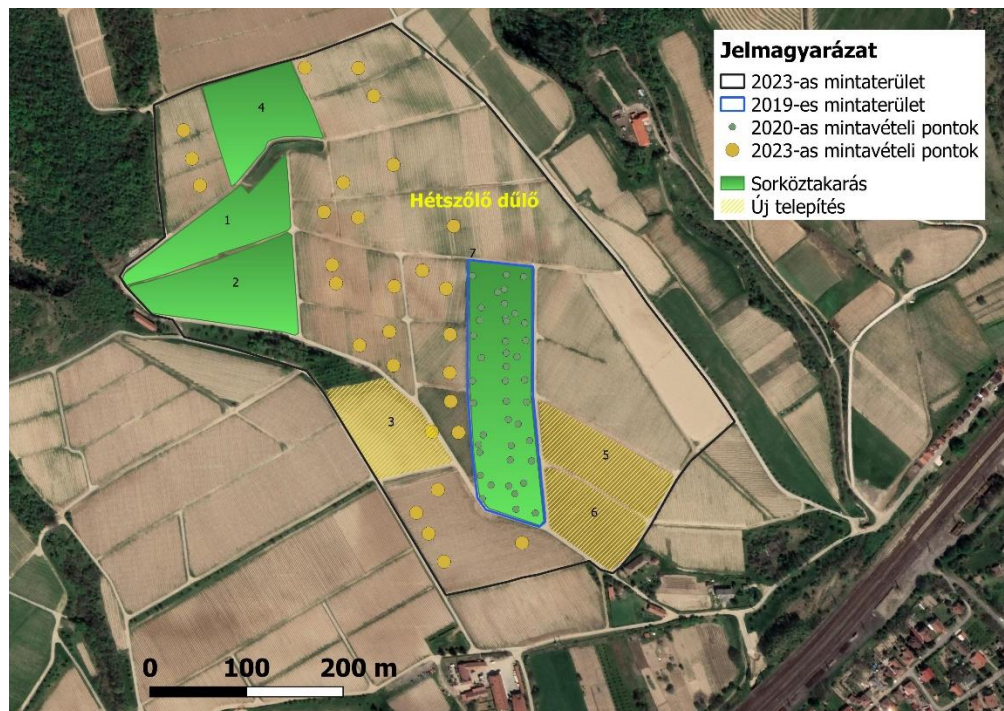
A 2023-ban vizsgált mintaterület 20,6 ha, amely több parcellából áll. A területen jellemző a karbonátos földes kopár talajtípus, amely a váztalajok közé tartozik. A lösz, köztudottan könnyen erodálódik, ezért a lösszel borított dombvidéki területekre jellemző ez a talajtípus. A talajok itt csekély mértékben fejlettek, mivel az állandó erózió gátolja a talajképző folyamatok kiteljesedését. Így a humuszos szint csak a talaj legfelső, szántott rétegére korlátozódik, amelynek vastagsága nem haladja meg a 20 cm-t. A talaj fizikai félesége homokos vályog, a kémhatása enyhén lúgos a közepes mésztartalomnak köszönhetően (Pham et al. 2022).

A szőlőültetvényt az ökológiai gazdálkodás irányelvei alapján művelik, ezért nem alkalmaznak szintetikus vegyszereket. A talajokat 3-4 évente szerves marhatrágyával kezelik (0,3 t/ha). Ezen felül használnak réz- és kénalapú növényvédő szereket, továbbá makro- és mikroelemeket tartalmazó lombtrágyákkal is rendszeresen kezelik a szőlőt. Ami a talajművelést illeti, az ültetvény parcelláit nem kezelik egységesen. Egyes parcellákat nem szántanak, csak kétévenként lazítják a talajt, míg más parcellákat rendszeresen művelnek. Sorköztakaró növényeket is csak bizonyos parcellákon

alkalmaznak. E célból egy speciális magkeveréket használnak, mely javarészt pillangósokból áll (szarvaskelep, komlós lucerna, fehérhere, vöröshere és lándzsás utifű).



3. ábra: A Hétszőlő szőlőültetvény mintaterület elhelyezkedése a tokaji Kopasz-hegyen, Tokaj város szomszédságában a Tisza és a Bodrog összefolyásánál.



4. ábra: A 2023-as mintaterület és a 2019-es mintaterület, valamint a sorköztakarásos és frissen újratelepített parcellák, a mintavételi pontokkal.

Emellett az ültetvény parcelláit rendszeresen újratelepítik (kb. 30 évente), hogy az erózió és a fertőzések miatt foghíjas, továbbá a kiöregedett ültetvényrészeket frissítsék (4. ábra).

Az ültetvényen található két meteorológiai állomás, mely folyamatosan méri a levegő hőmérsékletét, a lehulló csapadék mennyiségeit és intenzitását, a légnyomást és a páratartalmat. A csapadékmennyiség adatokat fel fogom használni a dolgozatomban a vegetációs indexek kiértékelésénél.

3.2. Talajmintavétel és szervesanyag-mérés

Az ültetvényt 2019-ben kezdtem el vizsgálni egy kutatási pályázat keretében, amelynek célja a talajerózió és a vegyszerhasználat talajra gyakorolt hatásainak kutatása volt. Ekkor a Hétszőlő dűlőben egy 4 parcellarészből álló 1,8 ha-os, egységesen kezelt részt jelöltem ki (4. ábra) a kutatás mintaterületének. 2020-ban történt egy részletes mintavétel ezen a területen, amely során összesen 42 db feltalajmintát gyűjtöttünk kézi ásóval (4. ábra). A mintavétel a talaj felső 10 cm-es rétegére terjedt ki. A szakdolgozathoz a mintaterületet egy 20,6 ha-os területre terjesztettem ki a talaj további szervesanyag-vizsgálataihoz. Ennek keretében 2023.03.16-án gyűjtöttem erről a kiterjesztetett mintaterületről feltalajmintákat 29 pontban. A mintavételi pontok pontos elhelyezkedését RTK-val is felmértem. Ezúttal is kézi ásóval gyűjtöttem a talaj felső 10 cm-es rétegéből mintáimat.

A mintaterületről begyűjtött nedves talajmintákat először szobahőmérsékleten légszárazra szárítottam. A kiszáritott mintákat ezt követően dörzsmozsárban összetörtem, hogy a talajaggregátumok széteszenek, majd egy 2 mm átmérőjű szitán átszitáltam. A 2 mm-en átszitált talajt vetettem alá kémiai roncsolásnak a szervesanyag-méréshez.

A szerves-anyag-meghatározást a MSZ 21470-52:1983-as szabvány alapján végeztem. A mintákból $1,00 \pm 0,005$ g-nyit mértem ki analitikai mérlegen Erlenmeyer lombikokba. Ezt követően elszívó fülke alatt üvegpipettákkal hozzáadtam a mintákhoz $10,0 \text{ cm}^3$ -nyi $1/6 \text{ mol/dm}^3$ koncentrációjú kálium-dikromát oldatot ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), majd $20,0 \text{ cm}^3$ -nyi tömény kénsavat. Ezek a reagensek oxidálják el a talajban található szerves anyagokat, ugyanis a kénsavas közegben a $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -oldat Cr^{6+} ionjai Cr^{3+} ionokká redukálódnak a talajban található szervesszén-tartalommal egyenértékben. A reakció során hő keletkezik, ezért óvatosan kell eljárni a kénsav-adagolásnál. Miután lehűltek az így előkészített minták,

hozzáadtam 100 cm³ desztillált vizet. Jól összeráztam a mintákat, majd a talajszemcsék leülepedéséig kb. 24 órát állni hagytam őket.

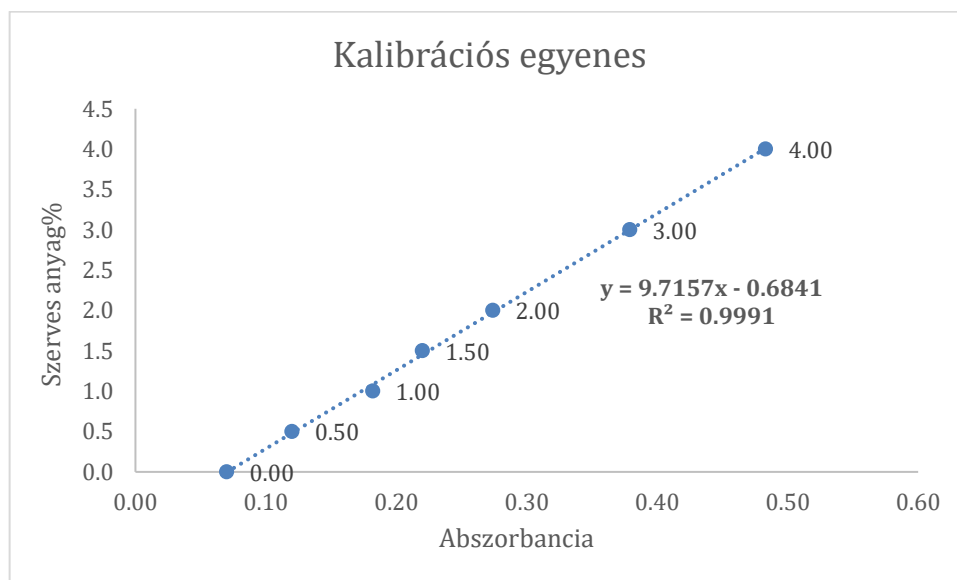
A mintaelőkészítést követően, elkészítettem a kalibráló oldatokat. A szervesanyag-mérés kalibrálásához kristályvizes glükózt (C₆H₁₂O₆*H₂O) oldottam fel desztillált vízben. A törzsoldatom koncentrációja a szabvány alapján lett beállítva 2,91 mgC/ml-re. A kalibráló oldatsor előállításához a törzsoldatból 0,0 - 1,0 - 2,0 - 3,0 - 4,0 - 6,0 - 8,0 cm³-nyit pipettáztam Erlenmeyer lombikokba. Ezután a kénsavas és K₂Cr₂O₇-os szervesanyag-oxidációhoz ugyanúgy jártam el mint a minták esetében, majd lehűlést követően 100 – 99 – 98 – 97 – 96 – 94 – 92 cm³ desztillált vizet adagoltam hozzájuk. Az így kapott kalibrálósor 0,0 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 3,0 – 4,0% szervesanyag-tartalomnak felel meg talajra számolva 1,0 g-os bemérés esetén (5. ábra).



5. ábra: A kalibráló oldatok koncentrációja balról jobbra növekvő sorrendben: 0,0 - 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 - 3,0 - 4,0 % szervesanyag-tartalomnak megfelelően.

A kalibráló oldatokat és az előkészített talajmintákat UV-VIS spektrofotométerrel (Jenway 6300) mértem meg. A mérés alapja, hogy a szerves anyag oxidációja során redukálódott Cr³⁺ ionok koncentrációját 590 nm-es hullámhosszon detektálva határozzuk meg abszorbanciák alapján. A szerves anyag oxidációja során keletkezett Cr³⁺ ionok koncentrációja egyenesen arányos a mintákban található szerves szén mennyiséggel. A

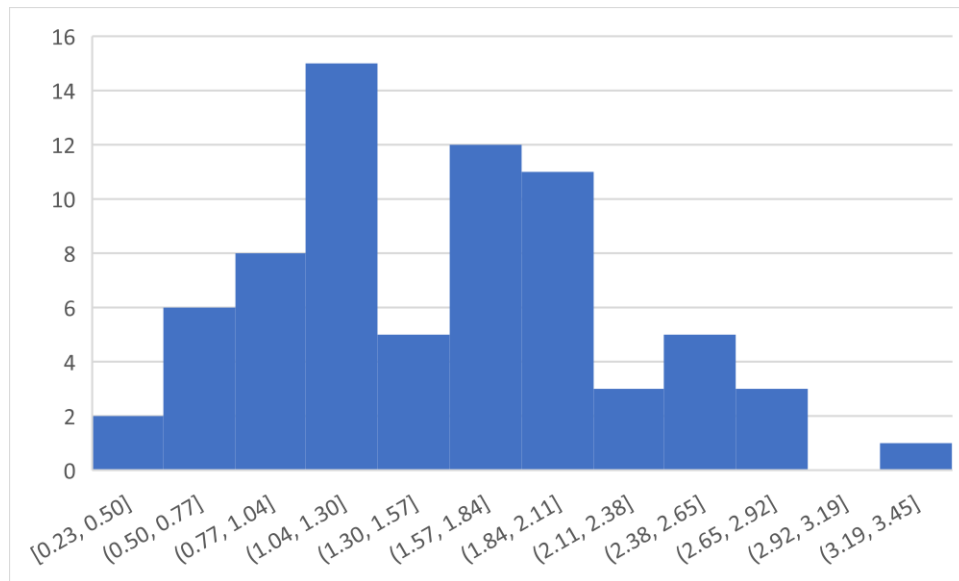
kalibráló oldatok abszorbanciái alapján felállított kalibrációs egyenes alapján egyszerűen meghatározható a minták szervesanyag-tartalma (6. ábra).



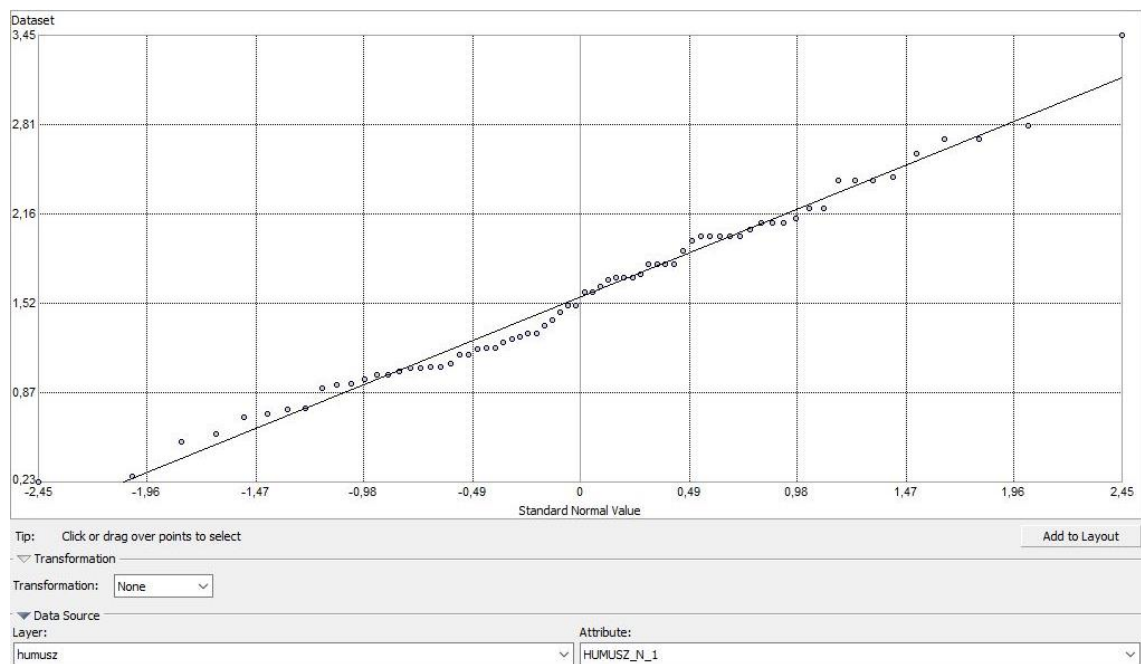
6. ábra: A glúkóz oldatokkal végzett kalibráció egyenese.

3.3. Talajtérképezés mért szervesanyag-tartalmak alapján (ordinary kriging módszerrel)

A különböző térbeli jellemzők és jelenségek változékonyságának vizsgálatára fejlődött ki a geostatisztikai eszköztárak sokasága a XX. században. A krigelés egy geostatisztikai eljárás, amelyet az 1950-es években D. Krige, egy dél-afrikai bányásmérnök dolgozott ki, aranyérc-készletek becslésére (Bárdossy 1997). A krigelés azóta egy elterjedt térbeli interpolációs eljárás. Egy becsült felületet generál valamely paraméter értékére a tér olyan helyein, amelyeken nem történt helyszíni mérés és/vagy mintavétel. Az interpolációs eszközkészlet más interpolációs módszereivel ellentétben a krigelés hatékony használata magában foglalja a z-értékekkel reprezentált jelenség, vagyis esetünkben a talaj szervesanyag-tartalmának térbeli viselkedésének előzetes vizsgálatát (Bohling 2005). Mielőtt kiválasztanánk a legjobb becslési módszert a kimeneti felület létrehozásához meg kell vizsgálni a nyers adatainkat. Ehhez először is megvizsgáltam a mért adatok eloszlását. Kétféleképpen végeztem a vizsgálatot: hisztogrammal (7. ábra) és úgynevezett Q-Q plot-tal (8. ábra).



7. ábra: A mért szervesanyag-tartalmak hisztogramja közel normal eloszlást mutat.

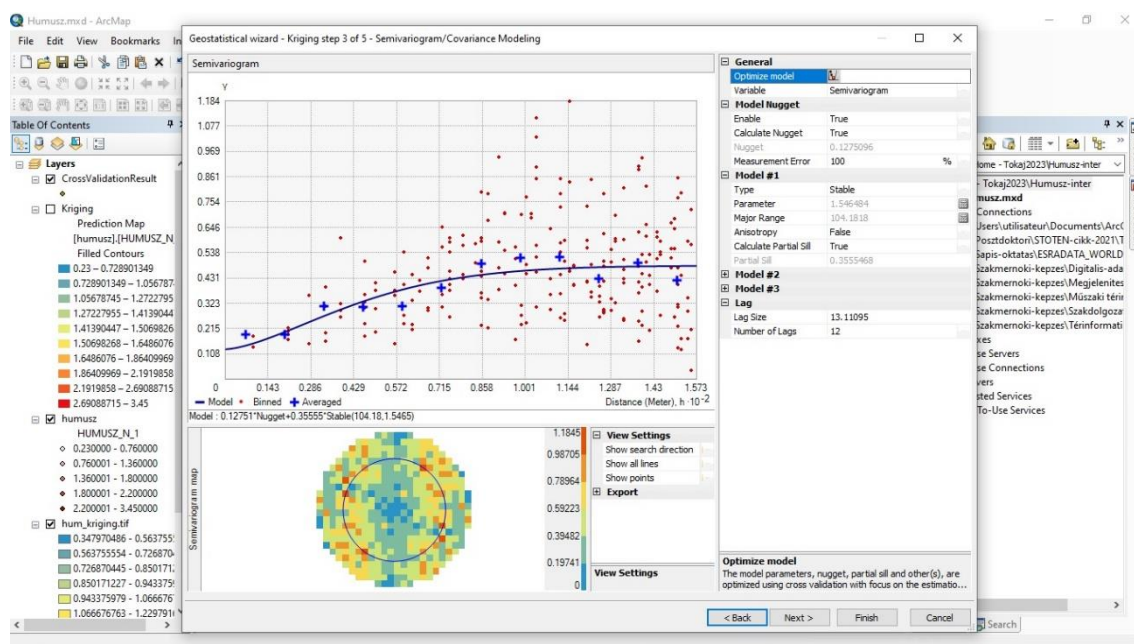


8. ábra: A mért szervesanyag-tartalmak Q-Q plot-ja alapján az adatok közel normál eloszlást mutatnak.

Az előzetes statisztikai vizsgálat alapján a szervesanyag-tartalmak közel normál eloszlást mutatnak, ezért a térbeli interpolációt a nyers adatokkal végeztem transzformáció nélkül normál krigeléssel.

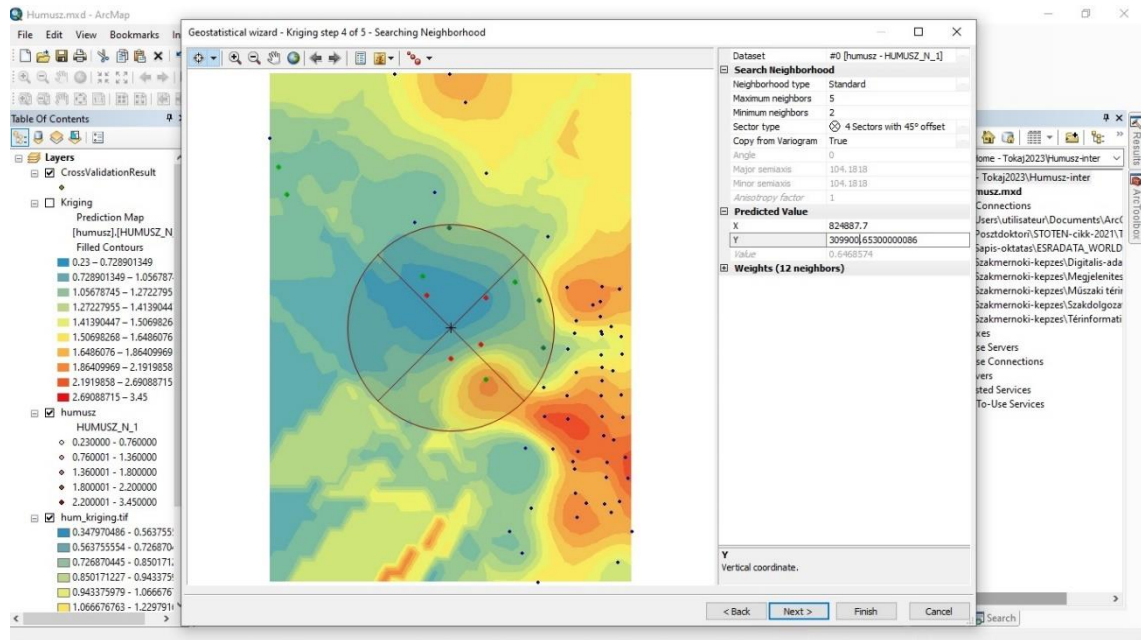
A normál krigelés (angolul ordinary kriging) egy robusztus és az egyik leggyakrabban használt térbeli interpolációs módszer, amely a szomszédos pontok súlyozott átlagának felhasználásával végzi a z értékeinek becslését a tér azon pontjaiban, ahol nem történt

mérés (Bárdossy 1997). Ebben a tanulmányban a szervesanyag-tartalmak térbeli eloszlásának interpolációs térképét az ArcMap 10.8 Geostatistical Analyst vagyis geostatisztikai elemző eszközkészlettel végeztem. A normál krigelés során beállítandó paramétereket alapértelmezetten hagytam. A feladat elvégzésének egyes lépéseit képernyőmentésekkel dokumentáltam. A geostatisztikai elemző eszköztáron belül kiválasztottam a krigelés módszert, majd beállítottam a mért adatokat tartalmazó fedvényt, mint adatforrást és a szervesanyag-tartalmakat adatmezőnek. A következő lépésben kiválasztottam az „ordinary kriging”-et. A program ezt követően létrehozta az adatok alapján a semivariogramot (9. ábra). A semivariogram az a függvény, amely alapján a program kiszámolja a becsült értékeket a tér azon helyein, ahol nem történt mérés.



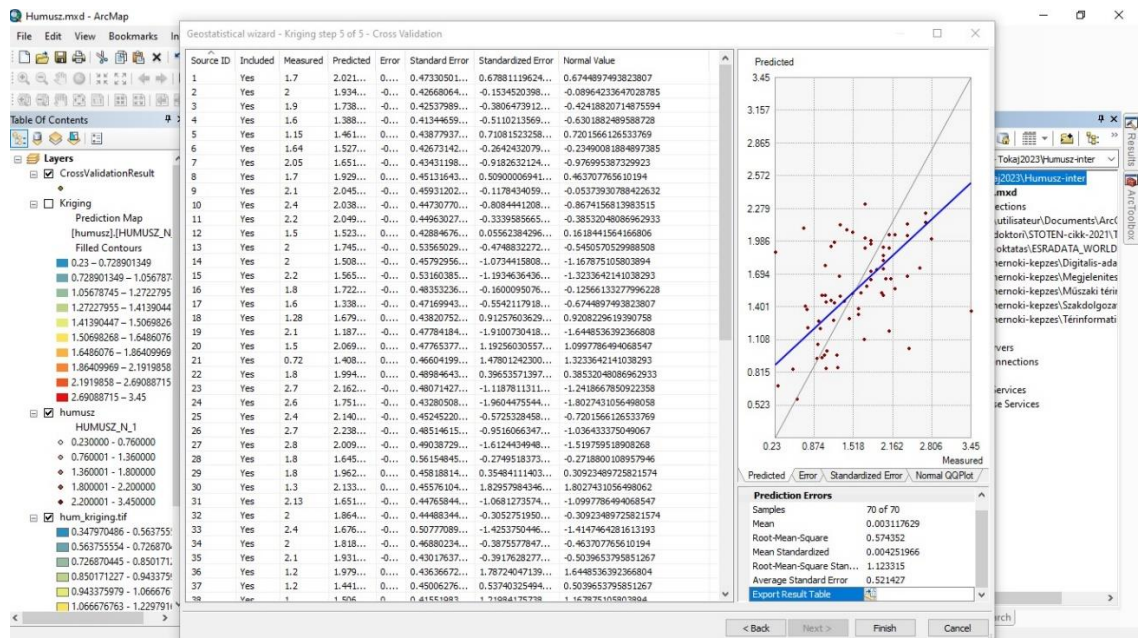
9. ábra: A normál krigelés első lépéseként létrehozott semivariogram.

Ezután lehet beállítani, hogy a kereső sugáron belül mennyi szomszédos pontot vegyünk figyelembe a becsült értékek kiszámolásához (alapértelmezetten min 2 és max 5) (10. ábra).



10. ábra: A krigelés során alapértelmezetten beállított paraméterek.

Legutolsó lépésben a program kiszámolja a mért és a becslt értékek közötti eltéréseket (11. ábra) és létrehozza az interpolációs talajtérképet.



11. ábra: A krigelés során becslt szervesanyag-tartalmak és a mért adatok összevetve.

3.4. Domborzatmodell elkészítése

A terület domborzatmodelljét dr. Tobak Zsolt, tanszéki munkatársam készítette el 2019-ben. Ezért ennek a módszertanát jelen dolgozatban nem részletezném, csak röviden írom le. Valós színes légifelvételek alapján sztereofotogrammetriával készült el a szőlőterület egy részének digitális domborzatmodellje. A módszertanról részletes leírás a Szatmári és munkatársai (2011)-es cikkében található. A légifelvételek egy légi fényképezési kampány során készültek DJI Phantom 4 drónnal (12 MP-es RGB kamerával felszerelve) 2019.03.05-én, 13 cm-es térbeli felbontásban. A légifényképek feldolgozása a domborzatmodell előállításához egy online platformon történt: <https://support.dronesmadeeasy.com/hc/en-us/articles/115000124023-Quick-Start-Guide>.

A lejtéstérképet a domborzatmodellből állítottuk elő a Raszter menü→Elemzés (Analysis)→GDAL Slope.. eszközzel.

3.5. Szervesszén-térképezés távérzékeléssel drónfelvételek és PlanetScope műholdfelvételek alapján

A dolgozatom egyik célkitűzése, hogy a vizsgált mintaterületen távérzékelte adatokat is felhasználva próbáljam meg a talaj szervesszén-tartalmát felmérni. Először is itt szeretném tisztázni a szerves szén és a szerves anyag fogalmak közötti különbséget. A talaj szervesszén-készlete tulajdonképpen a szerves anyag részét képezi. A kettő közötti összefüggés a következő:

$$\text{Szerves anyag}\% = 1,72 \times C_{\text{szerves}}\% \quad (2)$$

ahol a C_{szerves} jelöli a szervesszén-tartalmat. Ez egy általános összefüggés, amely azon alapszik, hogy a talaj szerves anyagainak 58%-át alkotja szén (C) (Stefanovits et al. 1999). Ebből következik a 2. egyenletben szereplő 1,72-es szorzó, amely 100/58-ból adódik. Mivel az előző fejezetben tárgyalt szabványos mérés szervesanyag-tartalomról szólt, ezért ott ezt a fogalmat használtam. A távérzékelés lehetőségeit bemutató tanulmányok viszont a szerves szén fogalmát használják általában. Ebben a fejezetben ezért a szerves szén térképezésének módszerét írom le. S mivel ezt egy index segítségével

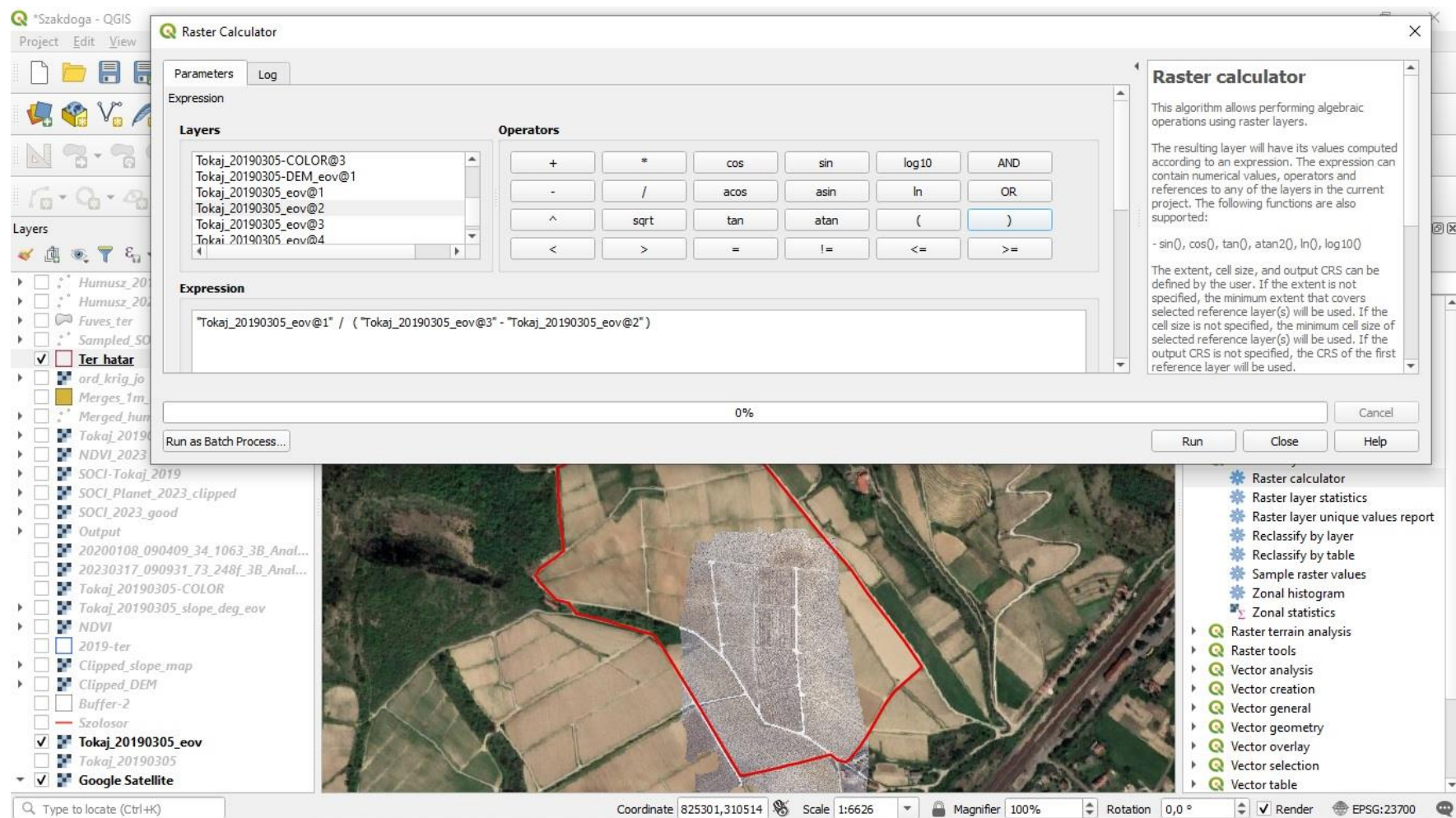
teszem, nem konkrét szervesszén-tartalmakat határozok meg, ezért nincs jelentősége annak, hogy mikor mely fogalmat alkalmazom.

A mintaterület talajának szerves szén térképezéséhez egy 2019-es drónfelvételt használtam fel első körben, ugyanazt mint a domborzatmodellezéshez. Ennek a felvételsorozatnak csak látható tartományú sávjai vannak, viszont nagyon jó térbeli felbontásban (13 cm-es). A szerves szén térképezéshez egy a Thaler és munkatársai (2019) által kidolgozott ún. SOCI (Soil Organic Carbon Index) vagyis talaj szerves szén indexet számoltam a lerepült területre. A SOCI indexet a következő képlet alapján állapítjuk meg:

$$SOCI = \frac{\rho_{kék}}{\rho_{vörös} - \rho_{zöld}} \quad (3)$$

ahol $\rho_{kék}$ a kék tartományban, vagyis 478 nm körül, a $\rho_{vörös}$ a látható vörös tartományban, vagyis 659 nm körül, a $\rho_{zöld}$ a zöld, vagyis 546 nm körül reflektált intenzitásokat jelenti.

Az általunk előállított valós színes drónfelvétel minden egyes képpontjában Raster calculator segítségével számoltam ki a SOCI indexet a 3. egyenlet alapján. A drón kamerájának látható kék, zöld és vörös sávjaiban detektált jelek jelentették az index előállításának kiinduló adatait. Ehhez először behívtam a valós színes drónfelvételt a QGIS 3.4.12-esbe, majd a Raster calculator segítségével kiszámoltattam a drónfelvétel minden képpontjára a SOCI-t (12. ábra). A számolás eredményeképpen létrejött a terület nagyfelbontású SOCI indexen alapuló szervesszén-térképe.



12. ábra: A talaj szerves szén indexének (SOC) kiszámítása a 2019-es drónfelvétel látható tartományai alapján.

A PlanetScope földmegfigyelő műholdflottája – amely több mint 180 Dove műholdból áll – által készített műholdfelvételek a jó térbeli ($3 \times 4,5$ m-es) és időbeli (szinte napi) felbontásuknak köszönhetően egyre nagyobb népszerűsége tesznek szert a felhasználók körében. A 2016 óta működő műholdflotta felvételei kutatási és edukációs célból ingyen hozzáférhetőek egy bizonyos letöltési korlátig. Új generációs SuperDove műholdakra épülő PlanetScope Scene a korábbihoz képest négy extra sávval bővített képeket szolgáltat 2021 óta. A négy új sáv: Coastal Blue, Green I, Yellow, Red edge. A korábbi és a legújabb felvételek spektrális sávjait az 1. táblázatban részleteztem. A felvételek elérhetőek radiometrikus és szenzor korrekciókkal ellátva, ortofotóként UTM vetületi rendszerben (earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope#data-section). A Planet képeket hasonló módon dolgoztam fel, hogy kinyerjem a SOCI index térképeket a szörlőültetvényről, mint a drónfelvételeket vagyis Raster Calculator-ral egyszerűen kiszámoltattam QGIS programmal az indexeket. Ehhez a tanulmányhoz három PlanetScope képet használtam fel, amelyek a következő dátumokon készültek: 2020.01.08., 2020.03.17., 2023.03.17. Fontos szempont volt a képek kiválasztásánál, hogy a vegetációs időszakon kívül essenek és ezáltal a talaj minél inkább fedetlen legyen a felvételek elkészültekor.

Sávok (bands)	Hullámhossz-tartományok (nm)	2020-as felvétel	2023-as felvétel
Coastal blue (partmenti kék)	431 – 452		☒
Blue (kék)	465 – 515	☒	☒
Green I (zöld I)	513 – 549		☒
Green (zöld)	547 – 585	☒	☒
Yellow (sárga)	600 – 620		☒
Red (vörös)	650 – 680	☒	☒

RedEdge (vörösszél)	697 – 713		☒
NIR (közeli infravörös)	845 – 885	☒	☒

1. táblázat: A PlanetScope keretében üzemeltetett Dove és SuperDove műholdak spektrális sávjai a 2020-as és a legújabb 2023-as felvételein

3.6. Vegetációs indexek alapján növényfejllettség (szőlő+sorköztakaró növények) térképezése

A PlanetScope képek közeli infravörös sávja lehetővé teszi, hogy vegetációs indexeket is kinyerjünk belőlük (1. táblázat). Ehhez, a vegetációs időszakot lefedő PlanetScope képeket használtam fel a következő időpontokból a csapadékosabbanak számító 2020-as és a rendkívül aszályos 2022-es évekből: 2020.06.01., 2020.07.01., 2020.08.01., 2020.08.31., 2022.06.03., 2022.07.03., 2022.08.04. és 2022.08.30. A vegetációs indexek közül a leggyakrabban használt NDVI indexet számoltam ki Raster Calculator-ral az 1. egyenlet alapján a QGIS-be behívott Planet Scope képek képpontjaira. Így létrejött egy 3×4,5 m-es felbontású NDVI térkép a mintaterületről a kiválasztott 8 időpontra.

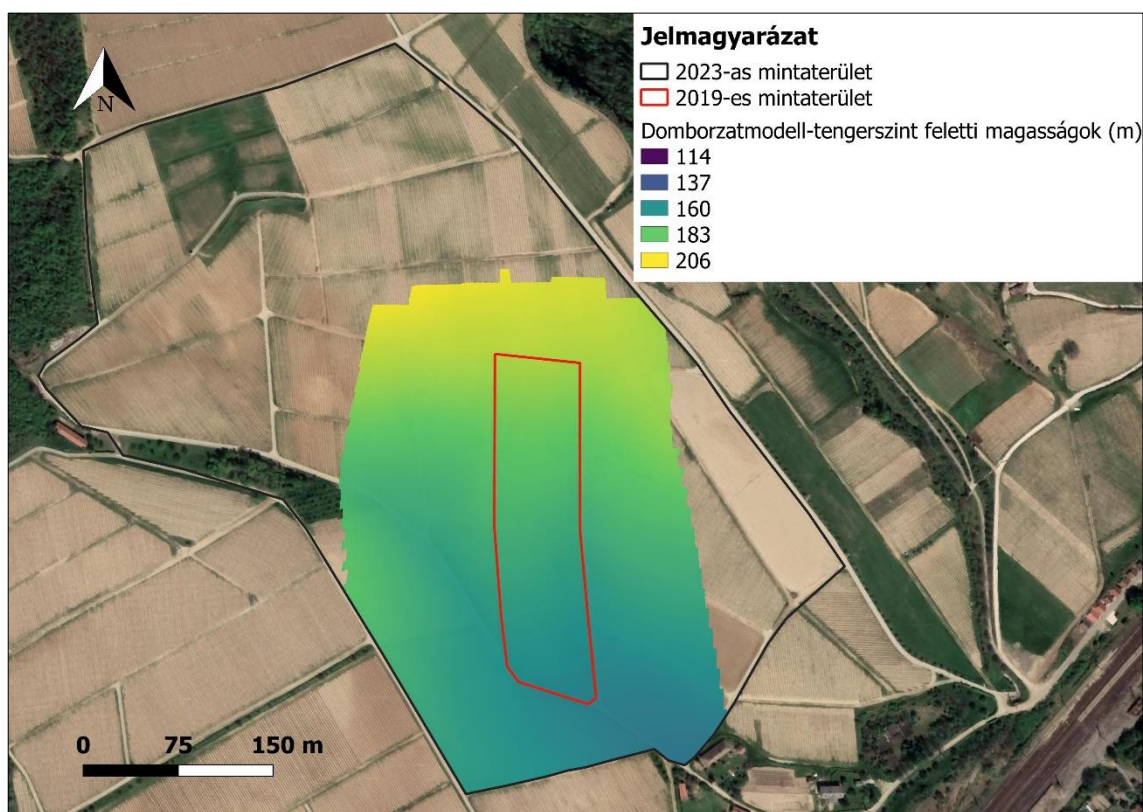
3.7. Statisztikai adatelemzés

Elemeztem a mért adatok alapstatisztikáit (jellemző középértékek, szórás, normál eloszlás vizsgálata). A kiszámolt SOCI és NDVI indexeket összevetettem a mért szervesanyag-értékekkel a mintavételi pontok helyén nem parametrikus Spearman rang korrelációs vizsgálattal. A statisztikai vizsgálatokat a Statgraphics Centurion XVI 16.1.11. programmal végeztem.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Domborzatmodell a kijelölt mintaterületről és lejtőviszonyok

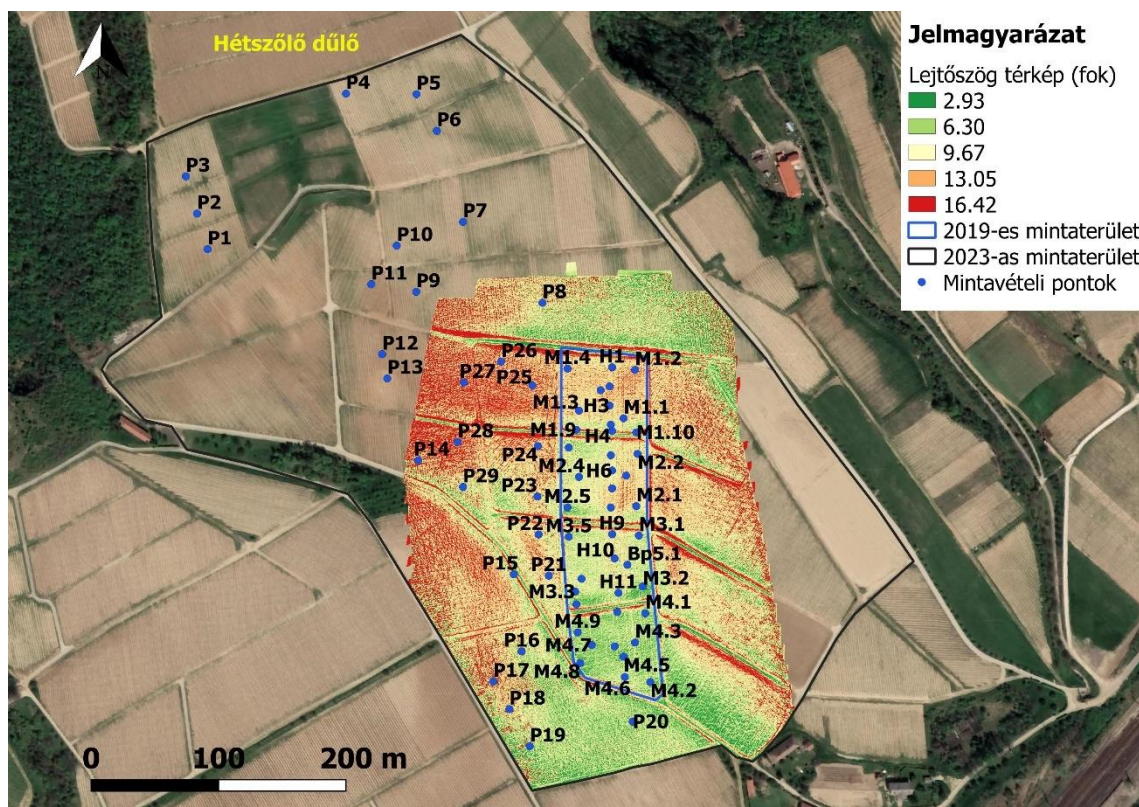
A szőlőültetvények talajainak szervesszén-tartalma három fő tényezőtől függ: i) a domborzati viszonyoktól, ii) a szerves trágyázástól, iii) és a talajtakaró növények alkalmazásától. Ezek közül én ebben a dolgozatban a domborzati viszonyok szerves széntartalmakra gyakorolt hatását vizsgálom.



13. ábra: A 2019-es drónfelvételek alapján készült domborzatmodell a mintaterület egy részéről.

A Hétszőlő Birtokon kijelölt mintaterület azon részére terjed ki a domborzati viszonyok talajra gyakorolt hatásának vizsgálata, amelyről 2019-ben drónfelvételek készültek. Hiszen erről a területrészről készülhetett el egy nagyfelbontású domborzatmodell (13. ábra).

A domborzati viszonyok, különösen a lejtő meredeksége, kitettsége és hossza meghatározó szerepet játszanak a talajerózióban, mivel befolyásolják a felületi lefolyást és annak energiáját. A lejtőmenti talajerózió csak akkor jelentkezik, ha a felületen víz tud lefolyni. A meredekebb lejtőkön a víz nagyobb energiával mozog, ami növeli az erózió



14. ábra: A mintaterület lejtőszög-térképe (fokokban) és a talajmintavételi pontok elhelyezkedése.

és talajmozgás kockázatát, így minél nagyobb a lejtő meredeksége, annál jelentősebb a talajpusztulás mértéke (Stefanovits et al. 1999). A mintaterületem domborzati viszonyainak hatását a talajerózióra és ezáltal a talaj szervesszén-tartalmára nézve úgy vizsgáltam, hogy a mintavételi pontok köré szerkesztett 1 m sugarú övezetben kérdeztem le a domborzatmodell alapján elkészült lejtőtérképről (14. ábra) az egyes mintavételi pontokban jellemző lejtőszögeket (2. táblázat). A pontok körül mért lejtőszögek lejtőkategóriákba sorolását Stefanovits Pál Talajtan könyve (Stefanovits et al. 1999) alapján végeztem. Az említett szakirodalom alapján az 5%-nál kisebb meredekségű felszín nincs kitéve különösebb eróziós veszélynek. Az 5-12%-os lejtőn már jelentkeznek talajpusztulást előidéző, közepes energiájú vízfolyások, amelyek leginkább felületi rétegeróziót idézhetnek elő. A domborzatmodell által lefedett területen található mintapontok 15%-a sorolható be ebbe az enyhén lejtős kategóriába (lásd 2. táblázat). A 12-17%-os lejtő a közepes lejtésű területek meredekségét jellemzi. Ilyen lejtőviszonyok között már a felületi rétegerózió mellett, barázdás erózió is jelentkezhet. A mintavételi pontjaim 39%-a tartozik a közepes lejtésű területek közé, míg további 34% az erősen

lejtős kategóriába sorolható be. Ez utóbbit 17-25%-os meredekségű lejtés jellemez és erőteljes rétegerózió alakulhat ki ilyen domborzati viszonyok között. Továbbá, gyakori lehet a barázdás és a vízmosásos eróziós formák kialakulása is. Hét mintavételi pont 25%-nál is nagyobb lejtésű területen található, amely már meredek lejtőnek számít, erős eróziós hatásnak kitéve.

Mintaszáma	Átlag lejtőszög (°)	Átlag lejtőszázalék (%)	Medián lejtőszög (°)	Min lejtőszög (°)	Max lejtőszög (°)
M4.8	5.3	9.3	5.6	0.7	9.0
M2.5	5.6	9.8	5.6	1.6	8.7
M4.1	5.7	10.0	5.8	2.9	9.2
Bp6.1	6.0	10.6	5.7	3.0	11.0
M3.2	6.1	10.6	6.0	3.0	8.7
M4.5	6.1	10.7	6.0	1.5	12.8
M4.9	6.4	11.1	6.4	3.0	9.8
M3.3'	6.6	11.6	6.7	1.4	10.2
P19	6.6	11.7	6.5	2.9	12.6
M4.2	6.9	12.2	7.0	2.9	15.4
M4.7	7.0	12.3	7.0	3.1	10.6
P20	7.1	12.5	6.5	1.7	12.9
M4.4	7.5	13.1	7.6	3.6	10.5
M3.3	7.7	13.5	7.6	3.7	11.8
M4.6	7.8	13.7	7.9	3.6	11.2
H11	7.8	13.7	7.6	2.6	13.4
M2.6	8.0	14.0	7.9	3.1	14.0
M4.3	8.1	14.2	8.5	3.5	13.0
M3.1	8.1	14.2	8.1	5.0	11.1
P16	8.1	14.3	7.6	0.5	13.6
M3.5	8.1	14.3	7.9	4.0	15.3
M3.4	8.6	15.2	8.5	5.0	14.3
M2.4	8.8	15.5	8.7	5.8	12.2
P29	8.8	15.5	8.4	5.0	15.9
Bp5.1	8.9	15.7	8.9	5.0	11.7
P18	8.9	15.7	8.8	3.3	16.7
H9	9.1	16.0	9.4	5.2	11.0
H4	9.2	16.2	9.3	5.8	12.0
H5	9.4	16.5	9.5	5.6	13.1
H10	9.5	16.7	9.3	5.5	16.7
H8	9.5	16.7	9.0	6.4	15.0
H6	9.6	16.8	9.6	6.9	12.4

M2.1	9.6	17.0	10.3	4.7	12.9
P21	10.0	17.6	10.3	6.2	14.0
M2.2	10.0	17.7	9.8	6.7	16.0
H7	10.2	18.0	10.3	6.1	13.6
H1	10.7	18.9	10.5	5.9	18.4
M1.3	10.7	18.9	10.9	5.0	16.6
H3	10.8	19.1	10.8	6.8	15.4
M1.4	10.9	19.3	10.9	6.2	17.1
M2.3	11.1	19.5	10.7	7.1	15.8
Bp3.1.1	11.3	20.0	11.3	7.0	15.4
H2	11.5	20.4	11.5	7.0	16.0
P23	11.6	20.5	11.3	2.0	21.1
M1.1	11.8	20.9	11.7	7.9	17.0
M1.11	12.1	21.5	12.5	5.2	17.9
P8	12.2	21.7	11.7	5.2	25.2
P24	12.3	21.8	12.8	4.7	16.9
P15	12.5	22.1	12.4	3.0	26.0
P22	12.7	22.6	12.8	8.0	19.2
P26	13.4	23.8	12.8	5.3	22.9
P25	13.4	23.8	13.6	7.9	19.6
P27	14.7	26.2	14.1	6.0	26.6
M1.2	14.9	26.6	14.0	9.7	24.4
M1.10	15.4	27.5	14.8	8.3	23.1
P14	15.4	27.5	14.3	4.6	43.0
M1.9	16.1	28.9	15.8	11.6	22.6
P17	16.5	29.5	15.2	3.2	44.3
P28	20.3	37.0	19.3	10.3	44.0

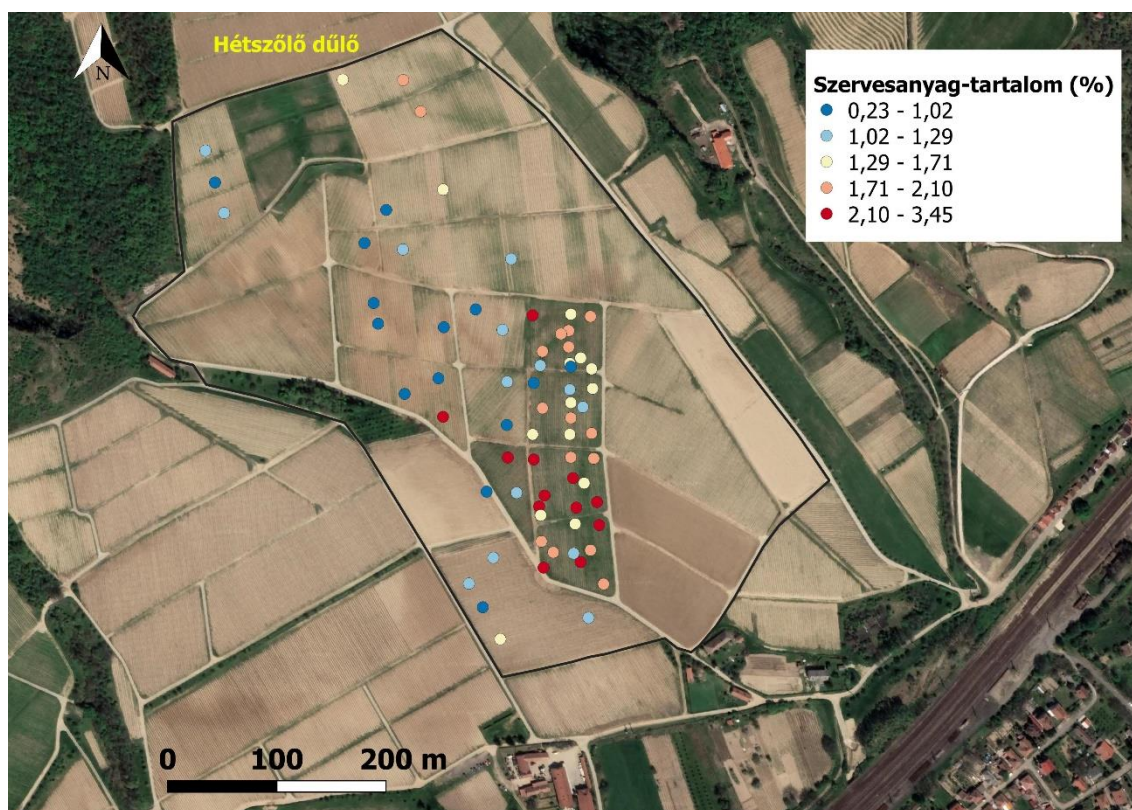
2. táblázat: A mintavételi pontok 1 m sugarú övezetében jellemző átlag, medián, minimum és maximum lejtőszögek. A cellák színezése a lejtőkategóriák alapján : zöld -enyhén lejtős, sárga - közepesen lejtős, mályva – erősen lejtős, piros – meredek lejtő.

Összességében megállapítható, hogy a mintaterületet jelentős meredekség jellemzi, ezért várható, hogy a talajpusztulás az adott lejtőszögek és lejtőhosszak függvényében kisebb nagyobb mértéket ölt. Ennek tudatában a szőlőültetvény szőlészei igyekeztek erózióvédő tereprendezést kialakítani az ültetvény telepítése előtt, amely leginkább a lejtőhosszak megtörését és belső vízelvezető vápás betonúthálózat kialakítását jelenti. Továbbá, egyes parcellákon sorköztakaró növényeket is rendszeresen vetnek, amely biztosítja a talaj takarását a vegetációs időszakban, mérsékli a talajpusztulást, és szerves anyagot is juttat a talajba. Ennek ellenére a meredek domborzati viszonyok között látható jelei vannak a

termőrétég lemosódásának az ültetvényen. Ezt vizsgáljuk a szerves anyag térbeli eloszlásán keresztül a következő fejezetben.

4.2. Szervesanyag-eloszlás a mintaterület feltalajában (távérzékelte adatok és helyszíni mérések összehasonlítása)

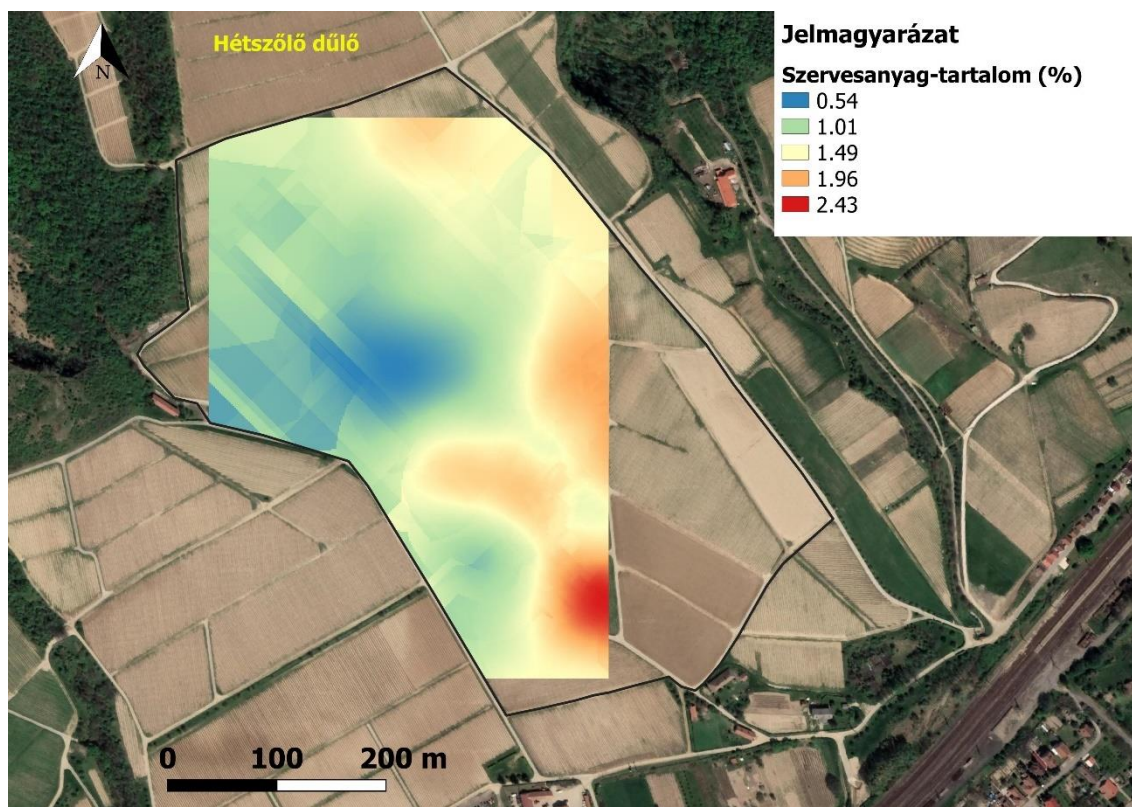
A szervesanyag-tartalmak mérési eredményeit a 15. ábra tartalmazza térképen megjelenítve. A mért szervesanyag-tartalmak jelentős térbeli eltéréseket mutatnak a területen, mért értékei 0,23 és 3,45 % között mozognak. Az átlag szervesanyag-tartalom 1,57%, míg a medián 1,60%. Összehasonlítva egy közeli, Tállya település mellett található szőlőültetvénnyel, a Hétszőlő szervesanyag-tartalmai hasonló értékeket mutatnak a környék talajaival. A tállyai ültetvény közel azonos átlag szervesanyag-tartalma (1,5 %) mellett, kisebb kilengéseket mutat, ugyanis 0,9 és 2,3 % között mozog a szervesanyag-tartalom az ültetvény feltalajában (Manaljav et al. 2021).



15. ábra: Az egyes mintavételi pontokban mért szervesanyag-tartalmak a Hétszőlő dűlőben.

A mért szervesanyag-tartalmakat normál krigeeléssel interpoláltam és megszerkesztettem a terület szervesanyag-térképét (16. ábra). Látható, hogy a terület domborzati viszonyai, különös tekintettel a lejtőviszonyokra, jelentősen befolyásolják a feltalaj szervesanyag-

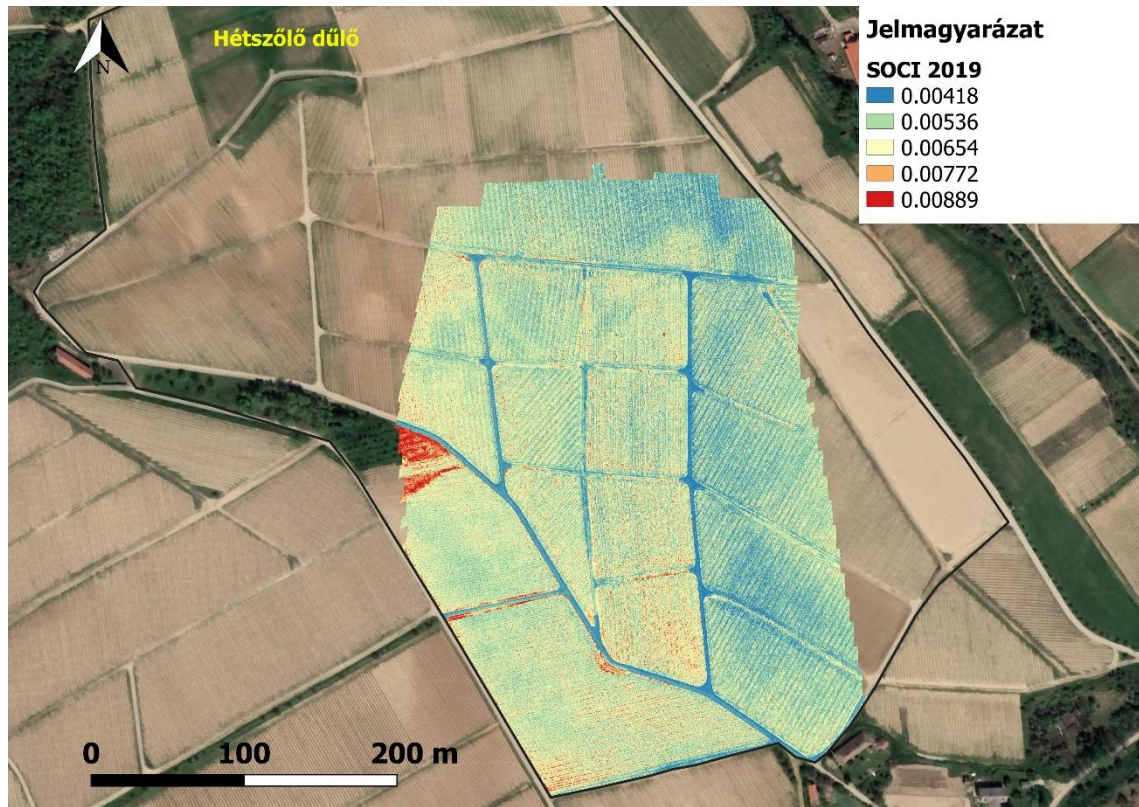
tartalmait. Raster calculator segítségével kinyertem azon pontokat az interpolált térképről, amelyek értéke nagyobb egyenlő 2-vel. Ugyanis Stefanovits Talajtan könyve alapján a talajokat szervesanyag-tartalmuk szerint a következőképpen osztályozzuk: 2%-nál kisebb szervesanyag-tartalommal rendelkező gyenge talajok, 2 és 4% közötti közepes szervesanyag-tartalmú talajok és 4%-nál nagyobb szerves anyagban gazdag talajok. Ezen osztályozás alapján, a vizsgált terület kevesebb mint 2%-a, vagyis csak mindössze ~2800 m² bír közepes szervesanyag-tartalommal. Az interpolációval lefedett 14,2 ha-os mintaterületrész több mint 98%-a tehát gyenge szervesanyag-ellátottságú. A lejtőre telepített szőlőültetvények talajaira jellemző a lecsökkent szervesanyag-tartalom, ugyanis az ültetvények jelentős eróziós hatásnak vannak kitéve. Egy korábbi európai tanulmány megállapította, hogy a szőlőtermesztés az egyik leginkább talajerózióra hajlamosító területhasznát (Cerdan et al. 2010). Ezzel összefüggésben egy másik tanulmány szerzői arra a következtetésre jutottak a Tokaji-hegy korábban szőlőművelés alatt álló talajait vizsgálva, hogy minél régebben hagyták fel egy-egy ültetvény művelését, annál nagyobbak a talaj szervesanyag-tartalmai, vagyis idő kell a talaj szerves anyagainak a talajba történő visszaépüléshez (Novák et al. 2014, Novák et al. 2020).



16. ábra: A mért szervesanyag-tartalmak alapján normál krigeléssel létrehozott szervesanyag-térkép a mintaterületről.

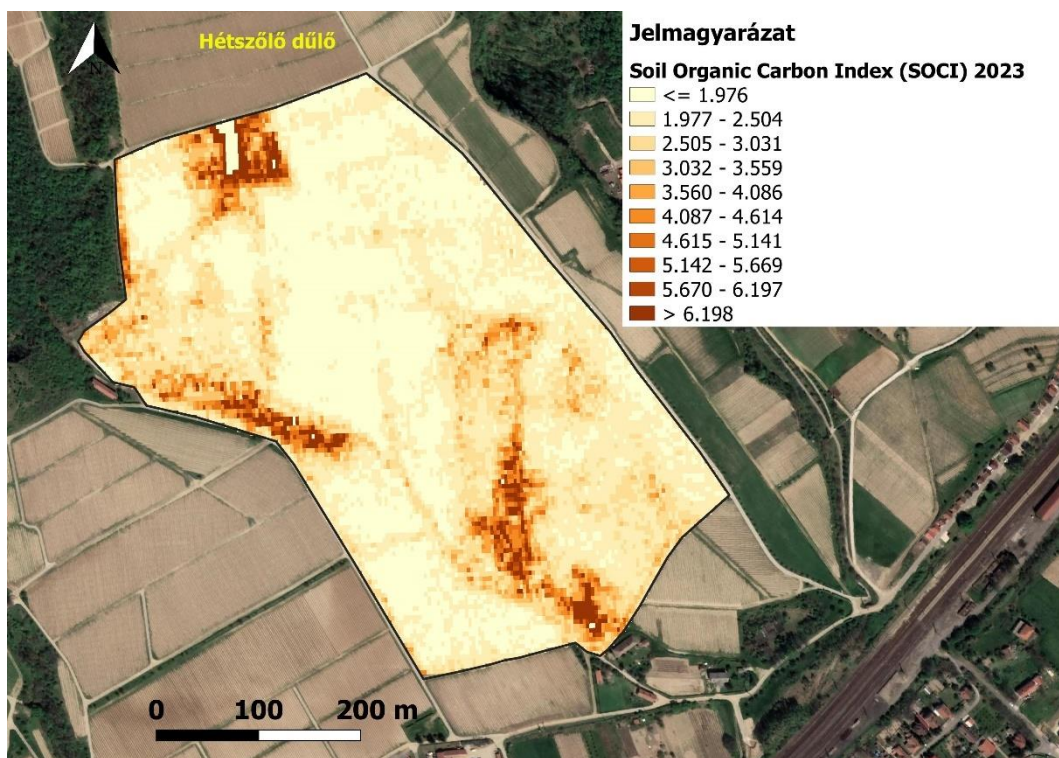
A távérzékelte adatok alapján számolt talaj szerves szén index (SOCi) térképeit a 17. ábra, 18. ábra és 19. ábra mutatja be. A SOCi index egy kísérlet arra, hogy a talaj szerves szén mintázatainak térbeli változatosságát távérzékelte spektrális adatok alapján láthatóvá tegyük. A SOCi hatékony lehet a talaj szerves szén mintázatainak becslésében, mert nyomon követi a vörös és zöld hullámhossz reflektanciáinak változásait, amelyekről bebizonyosodott, hogy relevánsak a szerves szén spektroszkópiás becslése szempontjából (Bartholomeus et al. 2008). Mivel a SOCi csak a látható spektrumra támaszkodik, szélesebb körben alkalmazható, mint a szerves szén távérzékelte detektálására gyakran alkalmazott SWIR/NIR index, mert a SWIR vagyis a rövid hullámhosszúságú infravörös és a NIR (közele infravörös) gyakran nem állnak rendelkezésre, vagy sokkal drágább a műholdképek beszerzése a nagy térbeli felbontású érzékelőkkel ellátott műholdak esetén. A SOCi módszerét kidolgozó tanulmány szerzői szerint a SOCi egy gyors és robusztus lehetőséget kínál arra, hogy feltárjuk a jelentősen degradált talajfoltok eloszlását egyfajta minőségi becslés által az intenzíven művelt mezőgazdasági területeken, valamint

bizonyos keretek között (előzetes kalibrációt követően) a talaj szerveszén-tartalmait is mennyiségileg megbecsülhetjük (Thaler et al. 2019).



17. ábra: A 2019-ben készült drónfelvételek alapján előállított talaj szerves szén indexek (SOCi).

A jelen dolgozat keretében végzett SOCi-alapú szerveszén-térképezés célja egyfajta minőségi becslés, hogy feltárjuk a domborzati viszonyok és az ültetvényművelés hatásait a talajra, a szerveszén-tartalmak térbeli mintázatain keresztül. Az elkészült SOCi-térképek rámutatnak a terület jelentős térbeli különbségeire a SOCi értékeiben, jelezvén a talaj VIS-ben változó reflektanciáit az ültetvényen belül (17. ábra, 18. ábra, 19. ábra). A SOCi-térképeken jól látni, hogy a növényzettel borított területek kiugróan magas értékeket mutatnak. A zöld növényzet zavaró hatása jelen esetben nem jelent akadályt, ugyanis a műholdképek a vegetációs időszakon kívül készültek (január-március), amikor a szőlőkön még nincs levélzet és a sorköztakaró fű sem kezd növekedni. Ez utóbbi némi zavaró hatást jelenthet, ugyanis a SOCi teljesen fedetlen, szántott talajokra lett kidolgozva.



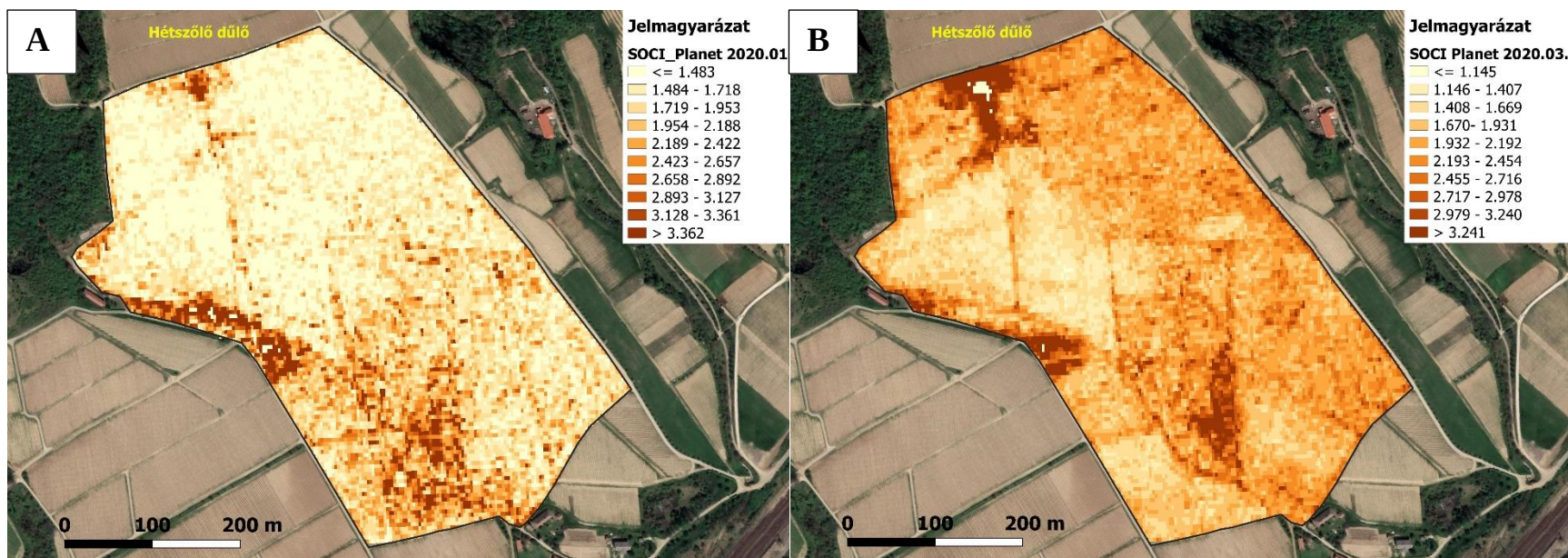
18. ábra: A 2023.03.17-ei Planet képre számolt SOCI.

A talaj szervesanyag-tartalma közel állandónak tekinthető, ha nem változnak meg jelentősen a körülmények (pl. változó vegetáció, területhasználat, stb.). A jelentősebben bolygatott parcellákra nem terjesztettem ki a vizsgálatot, ugyanis például egy régi ültetvény kivágása és újraterelítése, adott esetben tereprendezéssel jár és olyan mértékű talajbolygatást jelent, amely jelentősen megváltoztathatja egy talaj tulajdonságait. Feltételezhető, hogy a korábbi (2020-ban vizsgált) mintaterületrész (4. ábra) nem esett át jelentősebb bolygatáson, amely megváltoztatta volna a talaj szervesanyag-tartalmait. Ezért megvizsgáltam az összes mért szervesanyag-adat (2020-as és 2023-as) és a távérzékeléssel kapott SOCI értékeinek kapcsolatát. A mért szervesanyag-tartalmak és a SOCI talajmintavételi pontokban Sample raster values algoritmus segítségével kinyert értékeinek statisztikai kapcsolatát Spearman rang korrelációs együtthatóval vizsgáltam. A cm-es felbontású drónfelvételekből számolt SOCI értékek esetében a mintavételi pontok köré illesztett 1 m sugarú övezetet hoztam létre és az Övezet statisztika eszközzel határoztam meg az átlag és medián SOCI értékeket a mintavételi övezetekben. A Spearman rang korrelációs együtthatókat a 3. táblázat tartalmazza. A korrelációs együtthatók statisztikailag alátámasztható kapcsolatot mutatnak a talajban mért szervesanyag-tartalmak és a távérzékeléssel kinyert reflektanciákon alapuló talaj szerves

szén indexek között. A legerősebb kapcsolat a 2023-as mintavételt követő napon készült PlanetScope műholdkép spektrális adataival van. A mintavételt megelőzően frissen szántották a sorközöket, amely befolyással lehet a SOCI értékeire, ugyanis ez utóbbi a szántott, teljesen fedetlen talajokra lett kidolgozva. Érdekes, hogy nem a legjobb térbeli felbontással rendelkező drónfelvételek alapján számolt SOCI értékek mutatták a legerősebb korrelációs kapcsolatot a mért szervesanyag-adatokkal. Pedig a jobb térbeli felbontással kiküszöbölhető a szőlősorok zavaró hatása, amely a 3×4,5 m²-es PlanetScope képpontokban összeolvad a talaj reflektanciáival. Összességében elmondható, hogy a SOCI az általam vizsgált szőlőültetvény talajára is alkalmazható a talaj szerves szén mintázatainak feltárására. A következő fejezetben azt járom körbe, hogy a talaj szervesanyag-tartalmai és a SOCI összefüggésbe hozhatóak-e a szőlők és a sorköztakaró vegetáció fejlettségével egy-egy vegetációs időszak több időpontjában mért NDVI vegetációs indexeivel összevetve.

	Drón (2019.03.05)	Planet (2020.01.08)	Planet (2020.03.17)	Planet (2023.03.17)
	SOCI	SOCI	SOCI	SOCI
Mért szervesanyag- tartalom (%)	0,40 (p- érték<0,01)	0,44 (p- érték<0,01)	0,41 (p- érték<0,01)	0,65 (p- érték<0,01)

3. táblázat: A talajmintavételi pontokban mért szervesanyag-tartalmak és a SOCI közötti korrelációs kapcsolat Spearman rang korrelációval vizsgálva.



19. ábra: A 2020.01.08-ai (A) és a 2020.03.17-ei (B) Planet képekre számolt SOCI.

4.3. Vegetációs indexek időbeli és térbeli változásai az ültetvényen a 2020-as és a 2022-es évek vegetációs időszakában

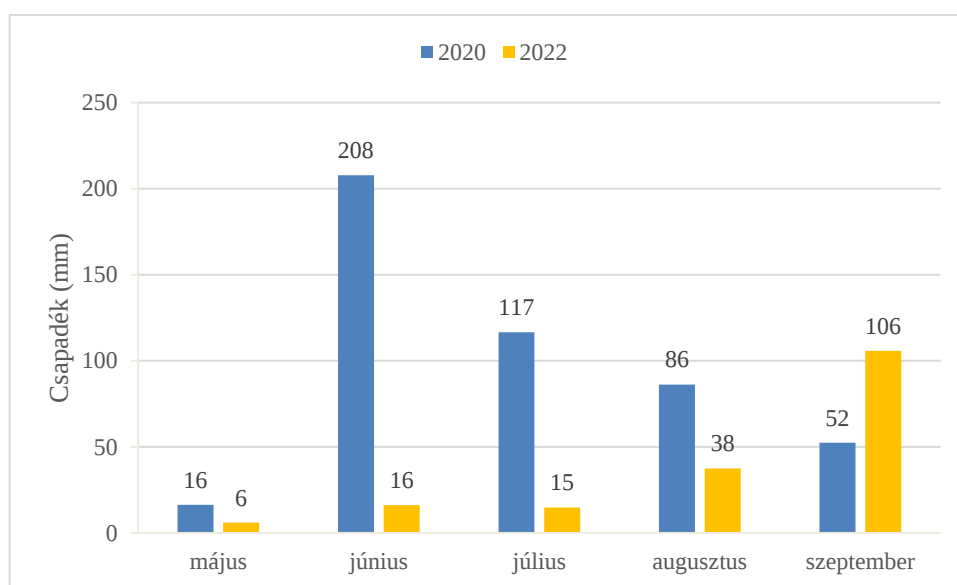
A vegetációs indexek alkalmasak a vegetáció fejlődésének/fejlettségének nyomon követésére térben és időben. Egy nemrég megjelent review cikkben foglaltak alapján, a szőlőművelés témakörében publikált tanulmányokban leggyakrabban használt vegetációs index az NDVI. Az NDVI-t szőlőültetvényekben leginkább a szőlő vízhiányos állapotainak felmérésére és monitorozására alkalmazzák, valamint a kezelési zónák kijelölésére (Giovos et al. 2021). Én az NDVI indexeket jelen tanulmány keretében megpróbálom összefüggésbe hozni a talaj szervesanyag-tartalmaival és a SOCI indexek értékeivel, amelyet a következő fejezetben tárgyalok részletesen (lásd 5.2). Mielőtt rátérnék a szervesanyag-tartalmak és a vegetáció fejlettségének esetleges összefüggéseire, megvizsgálom az NDVI időbeli és térbeli változásait a kijelölt mintaterületen.

A PlanetScope műholdképek reflektancia-adataiból számolt NDVI értékek kiértékeléséhez először a Sample raster value algoritmus segítségével kinyertem a talaj-mintavételi pontokban számolt NDVI értékeit, amely értékek összesítő statisztikáit a 4. táblázatban mutatom be. A 4. táblázatban összesített adatok alapján egyértelmű, hogy a 2020. és a 2022. év vegetációs időszakai nagyon különböző NDVI értékeket és időbeli trendeket mutatnak. Míg a 2020-as évben a vizsgált időszakra vonatkozóan az NDVI június hónap elején mutatja a legalacsonyabb értékeket (átlag±szórás: $0,45\pm0,08$), addig 2022-ben pont a vegetációs időszak elején (júniusban) a legmagasabbak a vegetációs index értékei ($0,42\pm0,08$).

	NDVI 2020.06.01	NDVI 2020.07.01	NDVI 2020.08.01	NDVI 2020.08.31	NDVI 2022.06.03	NDVI 2022.07.03	NDVI 2022.08.04	NDVI 2022.08.30
Átlag	0,45	0,65	0,65	0,56	0,42	0,31	0,26	0,28
Szórás	0,08	0,08	0,09	0,05	0,08	0,04	0,03	0,04
Variációs együttható	17,2%	12,6%	14,0%	8,8%	18,9%	12,1%	11,1%	13,7%
Minimum	0,22	0,40	0,37	0,36	0,31	0,21	0,18	0,20
Maximum	0,66	0,75	0,78	0,68	0,68	0,44	0,35	0,40

4. táblázat: A 2020. és a 2022. évi vegetációs időszakokra számolt NDVI értékek havi mintavételi időpontokban PlanetScope képek alapján.

A 2020-as év többi időpontjában számolt NDVI nagyobb értékeket mutat július ($0,65 \pm 0,08$) és augusztus ($0,65 \pm 0,09$) hónapokra, mígnem augusztus végére enyhe csökkenés figyelhető meg ($0,56 \pm 0,05$). A 2022. évi nyári időszakban a vegetációs index egyre csökkenő mintázatot ad júniustól ($0,42 \pm 0,08$) augusztusig ($0,26 \pm 0,03$). A két megfigyelési időszak eltérő trendje az időjárási adatokkal magyarázható. Ugyanis a két vizsgált évben helyel-közzel azonos szintről indult a vegetáció fejlődése június hónapban, majd ezután teljesen eltérő forgatókönyvek valósultak meg az eltérő csapadékmennyiségek okán.



20. ábra: A Hétszőlőben lehullott csapadékmennyiségek havi bontásban 2020 és 2022 vegetációs időszakában.

A mintaterületen található meteorológiai állomás csapadékadatai magyarázzák a 2022-ben megfigyelt alacsony NDVI értékeket (20. ábra). A 20. ábrán szembevetendő a két vegetációs időszak közötti különbség csapadékmennyiségek tekintetében. Míg 2020-ban a májustól szeptemberig terjedő időszakban összesen 479 mm csapadék esett, addig 2022-ben rendkívüli aszály jellemezte a vegetációs időszakot mindössze 180 mm csapadékösszeggel május és szeptember között. 2022-ben május, június és július hónapokban szinte alig esett eső: összesen 37 mm! Ez a rendkívüli vízhiány a szőlőben is megmutatkozott, amelyet jól tükröznek az NDVI-térképek is (21. ábra, 22. ábra). A 21. ábra mutatja a 2020-ban havi időközönként megmutatkozó vegetációs index térbeli változatosságát. A 2020-as egy csapadékosabb nyár volt, amely jól tükröződik a július és

augusztus havi NDVI-térképek dominánsan zöld színárnyalatain. A zöld árnyalatok jelölik a magasabb NDVI értékekkel jellemezhető ültetvényrészeket. Megfigyelhető a 2020-as vegetációs térképeken, hogy a legnagyobb kiterjedésű zölddel jelölt terület a július 1-jei térképen található. Ez logikusan magyarázható a 2020 június hónapban lehullott bőséges csapadékmennyiséggel (20. ábra). Azonban ebben az időpontban is látni lehet jelentős térbeli különbségeket a vegetációs index értékeiben. Kérdés, hogy az NDVI térbeli változatossága mennyiben magyarázható talajtani adottságokkal. A 2022-es térképek az aszály miatt nem mutatnak jelentős térbeli változatosságot a vegetációs index értékeiben (22. ábra). Egy kis zöld folt figyelhető meg a kijelölt mintaterület nyugati szegletében. Ez azonban nem szőlőültetvényrész, hanem egy kis fás ligetes része a birtoknak, ahol az arra kirándulók piknikezhetnek. A sötétebb vörös árnyalattal színezett parcellák korábban kivágott és frissen újraterelített ültetvényeket jelölnek, ahol a csupasz talaj adja a vegetációs index alacsony értékeit. Összeségében elmondható, hogy a 2020-as év NDVI index értékei mutatnak nagyobb térbeli változatosságot, míg a 2022-es aszály a térbeli különbségeket szinte teljesen eltörölte az ültetvényen belül és vörös árnyalatokban tükrözi a szőlő rendkívül vízhiányos állapotát.



21. ábra: A mintaterület NDVI vegetációs indexei a 2020. év vegetációs időszakában havi időközönként.



22. ábra: A mintaterület NDVI vegetációs indexei a 2022. év vegetációs időszakában havi időközönként.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

5.1. A domborzat és a feltalaj szervesanyag-tartalmának összefüggései mért szervesanyag-tartalmak és távérzékelte adatokból számolt szerves szén index alapján

A domborzat kapcsolatát az egyes mintavételi pontokban mért szerves anyaggal a mintavételi pontok köré szerkesztett 1 m sugarú körben jellemző lejtőszögek alapján vizsgáltam. A korrelációs együtthatók alapján megállapítható, hogy negatív korreláció áll fenn a mintavételi pontok körül jellemző lejtőszögek és a pontban mért szervesanyag-tartalmak között (5. táblázat). Ez a negatív kapcsolat erősebb a mért adatokkal, míg a SOCI-értékekkel csak alacsony korrelációs együtthatókat mértem. A domborzat hatással van tehát a talaj összetételére, vagyis annak szervesanyag-tartalmára, ugyanis minél meredekebb a lejtőszög egy domboldalszakaszon egy adott mintavételi pontban, annál kevesebb az ott található talaj szervesanyag-tartalma. A talajerózió a nagyobb lejtésű térszínekről lemossa a talaj szerves anyagait, míg a lankásabb területeken ez a hatás kevésbé érvényesül, vagy adott esetben a fentről elmozdított szerves anyagok az alacsonyabb térszíneken (völgytalpakban) ki is ülepedhetnek. Ott helyben tehát a területre jellemző szervesanyag-tartalmaknál valamelyest magasabb értékeket mérhetünk.

	Átl. Lejtőszög	Medián lejtőszög	Minimum lejtőszög	Maximum lejtőszög
Szervesanyag- tartalom	-0,43	-0,41	-0,08	-0,37
	p-érték : 0,001	p-érték : 0,0019	p-érték : 0,5218	p-érték : 0,0052
SOCI (2023.03.17)	-0,18	-0,17	0,03	-0,20
	p-érték : 0,000	p-érték : 0,000	p-érték : 0,03	p-érték : 0,000

5. táblázat: A talajban mért szervesanyag-tartalmak és a távérzékeléssel nyert szerves szén index (SOCI) Spearman korrelációs együtthatókkal számszerűsített kapcsolata a lejtőszögekkel.

5.2. Összefügg-e a szervesanyag-tartalom a vegetációs indexekkel szőlőkultúra esetén?

Ebben a részben azt szeretném körüljárni az eredmények alapján, hogy van-e statisztikailag alátámasztható kapcsolat a talajban mért szervesanyag-tartalmak, illetve a felhasznált műholdképek alapján távérzékelte adatokból számolt NDVI vegetációs index

értékei között. A szakdolgozatom egyik célkitűzése bemutatni a talaj hozamot befolyásoló összetevőit, különös tekintettel a szervesanyag-tartalomra. Jelen esetben feltételezem, hogy az NDVI értékei alkalmasak a vegetáció fejlettségének jelzésére és ezáltal a szőlőtermés hozamaival is összefüggésbe hozható. Ez utóbbira nincsenek számszerű adataim a vizsgált szőlőültetvényről, ezért ezt a feltételezést nem tudom itt bizonyítani. Korábbi tanulmányok alapján viszont létezik kapcsolat a szőlő vegetációs index értékei és a hozamok között (Ferrer et al. 2020).

	NDVI 2020.06. 01.	NDVI 2020.07. 01.	NDVI 2020.08. 01.	NDVI 2020.08. 31.	NDVI 2022.06. 03.	NDVI 2022.07. 03.	NDVI 2022.08. 04.	NDVI 2022.08. 30.
Szerves- anyag- tartalom (%)	0,14	0,40	0,43	0,29	-0,39	0,05	0,05	0,03
	p-érték: 0,2275	p-érték: 0,0009	p-érték: 0,0003	p-érték: 0,0157	p-érték: 0,001	p-érték: 0,6919	p-érték: 0,6568	p-érték: 0,8067

6. táblázat: A táblázat összesíti a Spearman korrelációs együtthatóit a talaj mért szervesanyag-tartalmai és a 2020 és 2022-es vegetációs időszak NDVI értékei között. A kapcsolatot 71 mintára vizsgáltam, a táblázat alsó sora a p-értékeket mutatja.

A 6. táblázatban foglaltam össze a statisztikai kapcsolatot a 71 mintavételi pontban mért szervesanyag-tartalom és a 8 időpontra számolt NDVI értékei között. A Spearman korrelációs együtthatók 4 időpont vegetációs index értékeire mutatnak szignifikáns kapcsolatot a talaj szervesanyag-tartalmával: 2020.07.01, 2020.08.01, 2020.08.31, 2022.06.03. Pozitív korreláció a 2020-as júliusi és két augusztusi időpontokban figyelhető meg. Ezek mindegyike tehát a csapadékos év vegetációs időszakát fedi le, alátámasztva, hogy a szőlő fejlődésére akkor lehet nagyobb hatással a talaj összetétele, jelen esetben a szervesanyag-tartalma, ha megfelelő a szőlő vízellátottsága.

6. KONKLÚZIÓ

A szakdolgozatom témája feltárni a domborzat és a talaj szerves anyagának térben változó mintázatai közötti összefüggéseket, továbbá megfigyelni, hogy a szerves anyag térbeli mintázata hatással lehet-e a szőlő fejlődésére. Ehhez egy új módszertant is kipróbáltam, amelyet amerikai kutatók dolgoztak ki távérzékelte adatok felhasználásával a talaj szervesszén-tartalmának meghatározására szántóföldeken. Az ún. SOCI, látható hullámhosszúságú sávokban (kék-zöld-vörös) detektált reflektanciákon alapuló új index, amely a talaj szerves szén mintázatait hivatott feltárni. Három időpontban készült PlanetScope képre számoltam raszter-adat kezelővel a SOCI értékeit a mintaterületnek kijelölt tokaji szőlőültetvényre, ahol 2020-ban és 2023-ban összesen 71 pontban történt talajmintavétel. További nyolc PlanetScope képet használtam fel vegetációs indexek előállítására a szőlőfejlődés nyomon követése céljából a 2020. és 2022. évi vegetációs időszakokban. A különböző adatok közötti kapcsolatokat Spearman rang korrelációs módszerrel tártam fel.

A következő következtetéseket tudtam levonni az adatok kiértékelése után:

- A SOCI alkalmas a szervesanyag-tartalmak térbeli mintázatainak feltárására szőlőültetvényeken is.
- A talaj szervesanyag-tartalmai trendszerűen annál alacsonyabbak, minél meredekebb a lejtő egy adott lejtőszakaszon.
- A talaj szervesanyag-tartalma hatással lehet a szőlő fejlődésére olyankor, ha a szőlőt nem terheli vízstressz.
- Aszály esetén az alacsony NDVI értékek nem mutatnak jelentős a talajösszetételhez kapcsolódó térbeli különbségeket ültetvényen belül.

Irodalomjegyzék

- Abad, J., Hermoso de Mendoza, I., Marín, D., Orcaray, L., Santesteban, L.G. 2021. Cover crops in viticulture. A systematic review (1): Implications on soil characteristics and biodiversity in vineyard. *OENO One* 55(1): 295-312. DOI: 10.20870/oeno-one.2021.55.1.3599
- Bárdossy, A. (1997). Introduction to Geostatistics. Stuttgart, Institute of Hydraulic Engineering, University of Stuttgart.
- Bartholomeus, H.M., Schaepman, M.E., Kooistra, L., Stevens, A., Hoogmoed, W.B., Spaargaren, O.S.P. 2008. Spectral reflectance based indices for soil organic carbon quantification. *Geoderma* 145(1): 28-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.01.010>
- Bellon-Maurel, V., McBratney, A. 2011. Near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopic techniques for assessing the amount of carbon stock in soils – Critical review and research perspectives. *Soil Biology and Biochemistry* 43(7): 1398-1410. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.019>
- Belmonte, S.A., Celi, L., Stahel, R.J., Bonifacio, E., Novello, V., Zanini, E., Steenwerth, K.L. 2018. Effect of Long-Term Soil Management on the Mutual Interaction Among Soil Organic Matter, Microbial Activity and Aggregate Stability in a Vineyard. *Pedosphere* 28(2): 288-298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60015-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60015-3)
- Bohling, G. (2005). Introduction to Geostatistics and Variogram Analysis, Kansas Geological Survey.
- Burke, I.C., Yonker, C.M., Parton, W.J., Cole, C.V., Flach, K., Schimel, D.S. 1989. Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils. *Soil Science Society of America Journal* 53(3): 800-805. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300030029x>
- Carlson, C.A., Bates, N.R., Hansell, D.A., Steinberg, D.K. (2001). Carbon Cycle. *Encyclopedia of Ocean Sciences* (Second Edition). J. H. Steele. Oxford, Academic Press: 477-486.
- Cerdan, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., Van Oost, K., Poesen, J., Saby, N., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F.J.P.M., Raclot, D., Ionita, I., Rejman, J., Rousseva, S., Muxart, T., Roxo, M.J., Dostal, T. 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. *Geomorphology* 122(1): 167-177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.06.011>
- Costantini, E.A.C., Castaldini, M., Diago, M.P., Giffard, B., Lagomarsino, A., Schroers, H.-J., Priori, S., Valboa, G., Agnelli, A.E., Akça, E., D'Avino, L., Fulchin, E., Gagnarli, E., Kiraz, M.E., Knapič, M., Pelengić, R., Pellegrini, S., Perria, R., Puccioni, S., Simoni, S., Tangolar, S., Tardaguila, J., Vignozzi, N., Zombardo, A. 2018. Effects of soil erosion on agro-ecosystem services and soil functions: A multidisciplinary study in nineteen organically farmed European and Turkish vineyards. *Journal of Environmental Management* 223: 614-624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.065>

- Dövényi, Z., Becse, A., Mezősi, G., Ádám, L., Juhász, Á., Marosi, S., Somogyi, S., Szilárd, J., Ambrózy, P., Konkolyiné Bihari, Z., Király, G., Molnár, Z., Bölöni, J., Csiky, J., Vojtó, A., Rajkai, K., Tóth, G., Tiner, T., Michalkó, G., Keresztesi, Z. (2010). Magyarország kistájainak katasztere. Budapest, MTA Földrajztudományi Intézet.
- Ferrer, M., Echeverría, G., Pereyra, G., Gonzalez-Neves, G., Pan, D., Mirás-Avalos, J.M. 2020. Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions. *Precision Agriculture* 21(1): 178-197. DOI: 10.1007/s11119-019-09663-9
- Giovos, R., Tassopoulos, D., Kalivas, D., Lougkos, N., Priovolou, A. 2021 "Remote Sensing Vegetation Indices in Viticulture: A Critical Review." *Agriculture* 11 DOI: 10.3390/agriculture11050457.
- Gómez, C., White, J.C., Wulder, M.A. 2016. Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 116: 55-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>
- Gudmann András Viktor, Nizom Farmonov, Bónus Krisztián, Mucsi László: *DESIŚ hiperspektrális űrfelvételek első magyarországi alkalmazása terméshozam becslésre*. In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 105-111. (2021) ISBN 9789633189771
- Jobbágy, E.G., Jackson, R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10(2): 423-436. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0423:TVDOSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0423:TVDOSO]2.0.CO;2)
- Ladoni, M., Bahrami, H.A., Alavipanah, S.K., Norouzi, A.A. 2010. Estimating soil organic carbon from soil reflectance: a review. *Precision Agriculture* 11(1): 82-99. DOI: 10.1007/s11119-009-9123-3
- Manaljav, S., Farsang, A., Barta, K., Tobak, Z., Juhász, S., Balling, P., Babcsányi, I. 2021. The Impact of Soil Erosion on the Spatial Distribution of Soil Characteristics and Potentially Toxic Element Contents in a Sloping Vineyard in Tállya, Ne Hungary. *Journal of Environmental Geography* 14(1-2): 47-57. DOI: 10.2478/jengeo-2021-0005
- Nocita, M., Stevens, A., Noon, C., van Wesemael, B. 2013. Prediction of soil organic carbon for different levels of soil moisture using Vis-NIR spectroscopy. *Geoderma* 199: 37-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.020>
- Novák, T.J., Incze, J., McLeod, A., Giani, L. 2020. Development of soil organic carbon pools after vineyard abandonment. *Soil Sci. Ann.* 71(3): 236-245. DOI: 10.37501/soilsa/127759
- Novák, T.J., Incze, J., Spohn, M., Glina, B., Giani, L. 2014. Soil and vegetation transformation in abandoned vineyards of the Tokaj Nagy-Hill, Hungary. *CATENA* 123: 88-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.017>
- Novara, A., Pisciotta, A., Minacapilli, M., Maltese, A., Capodici, F., Cerdà, A., Gristina, L. 2018. The impact of soil erosion on soil fertility and vine vigor. A multidisciplinary approach based on field, laboratory and remote sensing approaches.

Science of The Total Environment 622-623: 474-480. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.272>

Panagos, P., Ballabio, C., Yigini, Y., Dunbar, M.B. 2013. Estimating the soil organic carbon content for European NUTS2 regions based on LUCAS data collection. Science of The Total Environment 442: 235-246. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.017>

Payen, F.T., Sykes, A., Aitkenhead, M., Alexander, P., Moran, D., MacLeod, M. 2021. Soil organic carbon sequestration rates in vineyard agroecosystems under different soil management practices: A meta-analysis. Journal of Cleaner Production 290: 125736.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125736>

Pham, N.T.H., Babcsányi, I., Balling, P., Farsang, A. 2022. Accumulation patterns and health risk assessment of potentially toxic elements in the topsoil of two sloping vineyards (Tokaj-Hegyalja, Hungary). Journal of Soils and Sediments 22(10): 2671-2689. DOI: 10.1007/s11368-022-03252-6

Rahman, M.M., Robson, A., Brinkhoff, J. 2022 "Potential of Time-Series Sentinel 2 Data for Monitoring Avocado Crop Phenology." Remote Sensing 14 DOI:

10.3390/rs14235942.

Rodionov, A., Pätzold, S., Welp, G., Pallares, R.C., Damerow, L., Amelung, W. 2014. Sensing of Soil Organic Carbon Using Visible and Near-Infrared Spectroscopy at Variable Moisture and Surface Roughness. Soil Science Society of America Journal 78(3): 949-957. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.07.0264>

Šimanský, V. 2013. Soil organic matter in water-stable aggregates under different soil management practices in a productive vineyard. Archives of Agronomy and Soil Science 59(9): 1207-1214. DOI: 10.1080/03650340.2012.708103

Stefanovits, P., Filep, G., Füleky, G. (1999). *Talajtan*. Budapest, Mezőgazda kiadó.

Sudha Rani, D., Venkatesh, M.N., Naga Satya Sri, C., Anand Kumar, K. 2018. Remote Sensing as Pest Forecasting Model in Agriculture. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7(3): 2680-2689. DOI:

<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.310>

Szatmári, J., Tobak, Z., Van Leeuwen, B., Dolleschall, J. 2011. Data acquisition for inland excess water mapping and modelling using artificial neural networks. Földrajzi Közlemények 135: 351-363

Thaler, E.A., Larsen, I.J., Yu, Q. 2019. A New Index for Remote Sensing of Soil Organic Carbon Based Solely on Visible Wavelengths. Soil Science Society of America Journal 83(5): 1443-1450. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0318>

Van Leeuwen, B., Barta, K., Ladányi, Z., Blanka, V., Sipos, G. 2019. Talajnedvességén alapuló aszálymonitoring távérzékelés és terepi adatok alapján. Aszály és belvíz monitoring és menedzsment, valamint a kapcsolódó kockázatok a Dél-Alföldön és a Vajdaságban. Waterat Risk zárókötet: 23-33

Veróné, M.W., Szabó, V., Kauser, J., Kocsis, A., Lippmann, L. (2021). 55. Mapping of soil moisture variability within a field by the OPTRAM model. Precision agriculture '21, Wageningen Academic Publishers: 459-466.

- Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G. 2020. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment* 236: 111402. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>
- Wojtaszek, M., Szabó, V., Kauser, J. (2020). A talaj és a növény vízellátottságának mérési lehetőségei távérzékelési módszerekkel (1.). *Agrofórum*. **31**: 120-124.
- Wojtaszek, M., Szabó, V., Kauser, J. (2020). A talaj és a növény vízellátottságának mérési lehetőségei távérzékelési módszerekkel (2.). *Agrofórum*. **31**: 38-41.
- Zelenka, T., Balázs, E., Balogh, K., Kiss, J., et al. 2004. Buried Neogene volcanic structures in Hungary. *Acta Geologica Hungarica* 47(2-3): 177-219. DOI: <https://doi.org/10.1556/ageol.47.2004.2-3.6>
- Zomer, R.J., Bossio, D.A., Sommer, R., Verchot, L.V. 2017. Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. *Scientific Reports* 7(1): 15554. DOI: 10.1038/s41598-017-15794-8