

Szőlőterületek eróziójának térbeli modellezése a Neszmélyi borvidéken felszínközeli távérzékelés segítségével

TAKÁTS Tünde – ALBERT Gáspár

DOI: 10.30921/GK.73.2021.6.3

Absztrakt: A kutatás során három szőlőterület egyéves megfigyelése zajlott 2019 júliusa és 2020 júniusa között a Gerecse északi részén található Neszmélyi borvidéken. A területekről minden évszakban pilóta nélküli repülőgépről készültek fényképsorozatok. A felvételek fotogrammetriai feldolgozásával nagy felbontású digitális terepmodelleket állítottunk elő, melyeket a talajerózió becslése során használtunk fel. A talajerózió mértékének meghatározásához az általános talajvesztés-becslési egyenletet (USLE) alkalmaztuk. A becslés során különös figyelmet kapott az évszakonként változó növényborítottság, illetve csapadékmennyiség hatása. A gazdálkodás során a szőlészet által használt eróziócsökkentő lépések egyikének, a sorok közötti gyepesítésnek a hatékonyságát is vizsgáltuk. A talajvesztésre vonatkozó kvantitatív eredmények alapján számszerűsítettük, hogy a nyári intenzív esőzések mennyivel jelentősebb eróziót váltanak ki, mint az őszi vagy téli csapadék.

Abstract: In this study, three vineyards in the Neszmély Wine Region, northern part of the Gerecse Hills were investigated. The one-year monitoring of vineyards began in July 2019. A series of photographs were taken of the vineyards from an unmanned aerial vehicle in all seasons. The images were used for photogrammetric analysis to produce high-resolution digital terrain models (DTMs) and orthophotos. The USLE (Universal Soil Loss Equation) model was used to determine the extent of soil erosion. During the estimation, particular attention was paid to the effect of seasonal variation in vegetation cover and rainfall. We also modelled the erosion control effect of the inter-row grassing that is already used by the vineyards. The results confirm and quantify that intense summer rainfall has a more significant effect on erosion compared to autumn or winter rainfall.

Kulcsszavak: szőlőültetvények, talajerózió, UAV, USLE

Keywords: vineyards, soil erosion, UAV, USLE

1. Bevezetés

A talajerózió természetes folyamatát az emberi tevékenység erőteljesen befolyásolja a mezőgazdasági területeken. Degradációról akkor beszélünk, amikor a talajképződés már nem képes lépést tartani az emberi tevékenység által felgyorsított talajpusztulás mértékével (Stefanovits 1992). A talajerózió vizsgálata napjainkban is fontos kutatási téma nem csak nemzetközi, de hazai szinten is (Waltner et al. 2018, 2020; Dezső et al. 2020).

Az erózió elleni védekezés módja a kiváltó tényezők hatásának csökkentése, illetve a módosító tényezők pusztulást csökkentő befolyásolása (Stefanovits 1992). Számos módszer ismert a talajpusztulás mértékének csökkentésére:

- a lejtő tagolása vagy a teraszolás
- művelési ág változtatása
- a lejtőirányra merőleges táblásítás
- a megfelelő talajművelési módok alkalmazása
- talajvédő fasorok kialakítása (Szendrei 1998).

A szőlészetben gyakran alkalmazott módszer a sorközök gyepesítése, ami lehet állandó vagy időszakos. A tartós gyepesítés alkalmazható az összes vagy minden második sorközben, továbbá minőségét tekintve lehet vetett gyp vagy természetes gyomflórával meghagyott. Mivel a gyp növényzete is vizet igényel, ezért általában ezt a módszert akkor ajánlják, ha a területen az évi csapadék mennyiség meghaladja a 600-800 mm-t, ebben az esetben nem jelent konkurenciát a szőlő számára. Nem kizárólag a csapadék mennyiség határozza meg a módszer alkalmazhatóságát, hanem a lejtéviszonyok is. A mintaterületeken az utóbbinak van nagyobb szerepe.

A Gerecse területén napjainkban is több felszínfejlődési vizsgálat zajlik, amelyek kimutatták, hogy mind a talajerózió, mind pedig a csuszamlás mértéke jelentős (pl.: Schweitzer 1989, Albert 2013, Kis-Balogh 2013, Ruzkiczay-Rüdiger et al. 2016, Gerzsenyi-Albert 2017, Takáts 2018, Gerzsenyi-Albert 2021). A vizsgált területen található hazánk egyik ismert

borvidéke, a Neszmélyi borvidék. Ennek a borvidéknek az egyik jelentős szőlőbirtoka és borászata a Hilltop Neszmély Zrt., amelynek a területén több ültetvény is az erózió által veszélyeztetett (Takáts 2020).

A talajerózió mértékének kiterjedtebb térbeli becslését műholdas távérzékelési adatok és meteorológiai mérések felhasználásával, valamint a terület talajtani ismeretében térinformatikai módszerek segítségével oldják meg (Waltner et al. 2020). Ezeket az eljárásokat sikerrel alkalmazták felszínközeli távérzékelési adatokkal is, amelyek nagy felbontású (pár cm/pixel) modellek előállítására is alkalmasak (Pijl et al. 2020, Waltner 2018). Utóbbi módszer értelemszerűen kisebb, de szintén összefüggő területre vonatkozóan alkalmazható. Fernandez és munkatársai (2020) Spanyolországban vizsgálták eróziós barázdák kialakulását olajfaültetvényeken, Pijl és munkatársai (2020) pedig Észak-olaszországi szőlőterületeken alkalmazták ezt az eszközt talajerózió becslésére. Kanadában hasonló modellezéseket

mezőgazdasági területeken végeztek (Meinen–Robinson 2021). Nepálban teraszos művelés erózióvizsgálata során használtak fel felszínközeli távérzékelésből származó adatokat (Chidi et al. 2021). Az itt említett kutatásokban különféle eróziós modelleket alkalmaztak szubméteres felbontásban pl: USLE, RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), SIMWE (SIMulated Water Erosion).

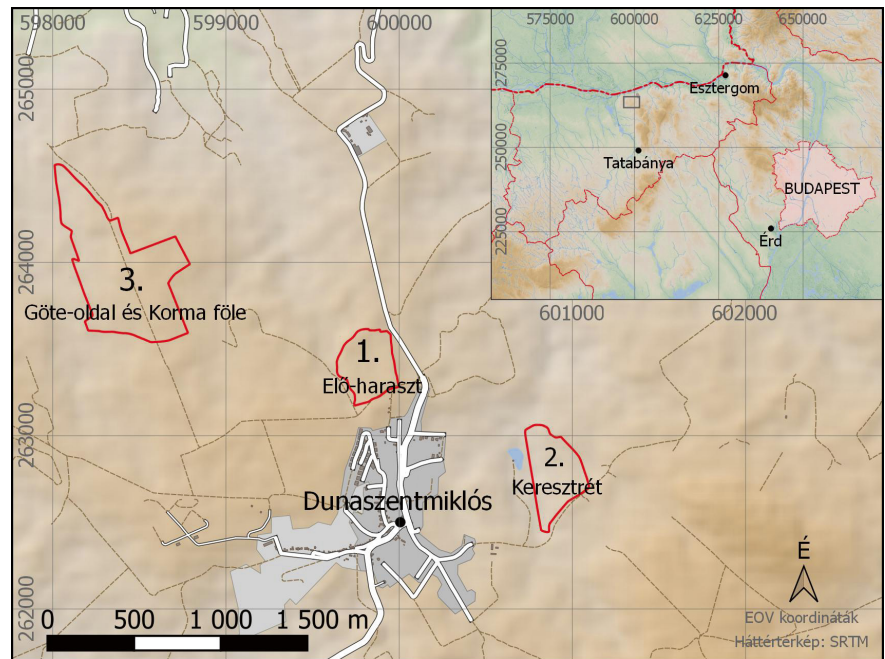
Jelen kutatás során kiemelten erózióveszélyes szőlőművelési területek rövid és középtávú megfigyelését végeztük el, melynek révén évszakonként nagy felbontású (10 cm/pixel) talajpusztulási térképeket készítettünk a mintaterületekről, melyek segítségével a térben megbecsültük az egyes területeken a talajpusztulás mértékét és változásának dinamikáját az év során.

2. Anyag és módszer

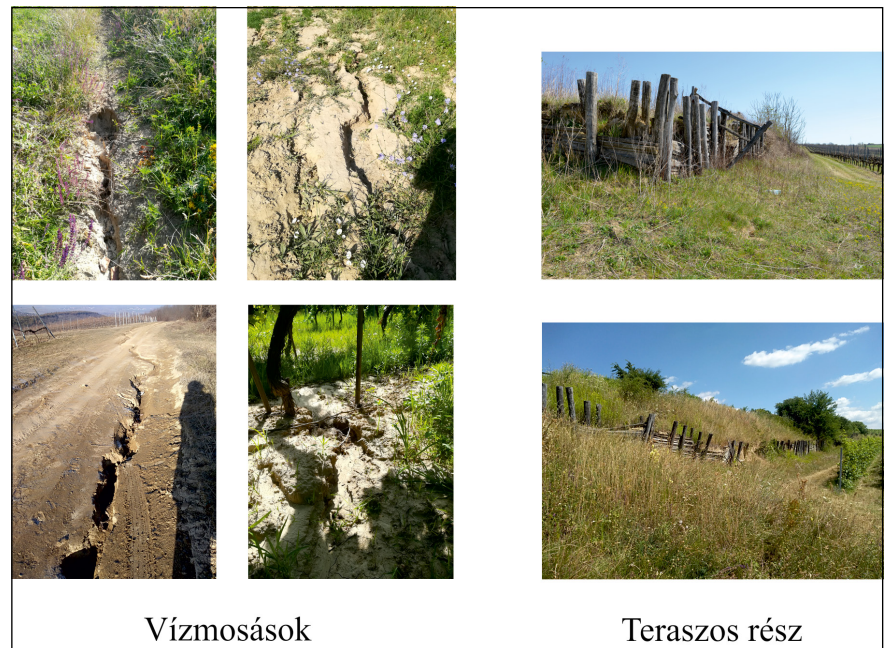
2.1. A mintaterületek

A mintaterületek a Neszmélyi borvidéken, Dunaszentmiklós környékén, a Hilltop szőlészet területén található (1. ábra). Az első terepbejárásra 2019 júliusában került sor. A szőlészet munkatársai érdeklődve fogadták a kutatási témát, és segítségünkre voltak a mintaterületek kiválasztásában. Elmondták, hogy mely területeken okoz számukra problémát a nagymértékű és gyors talajpusztulás. Ezeket az információkat összevetettük a Térképtudományi és Geoinformatikai Intézetben folyó korábbi közepes léptékű alapadatokkal végzett eróziós és csuszamlásvizsgálatok eredményeivel (Gerzsenyi–Albert 2017, Takáts 2018, Gerzsenyi–Albert 2021). Végül a vizsgálat során összesen 63,4 hektáron, három mintaterületen végeztünk talajerózió-bebecslést, melyeken a közepes léptékű modellek és a helyi tapasztalatok szerint is nagymértékű a talajpusztulás.

A területek elnevezései a dűlő nevekből származnak, valamint a szőlészet által használt táblanevekből (3. ábra). 1. terület Elő-harasztt, 2. terület Kereszt-rét, 3. terület Göte-oldal és Korma főle. A későbbiekben a sorszámuk alapján történik rájuk a hivatkozás.



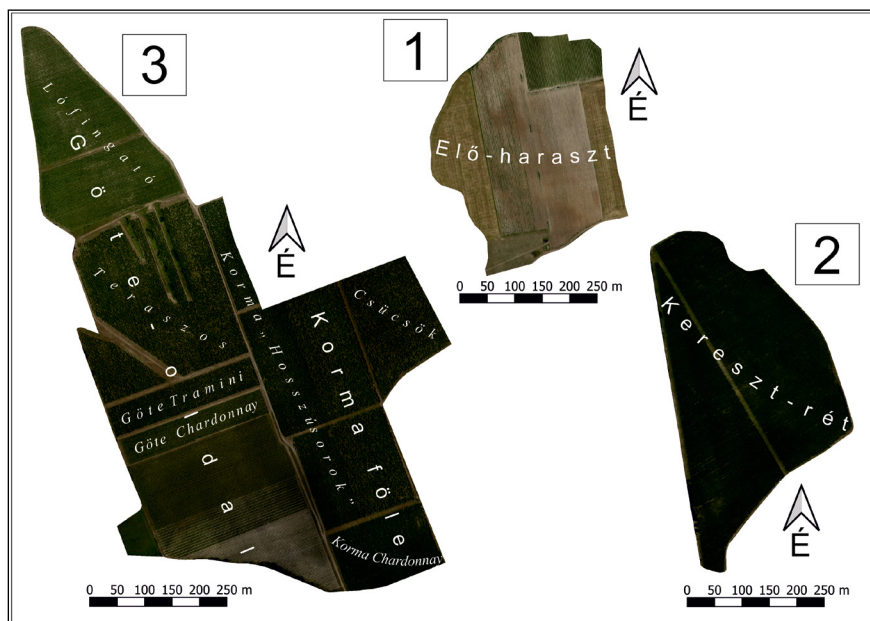
1. ábra. Áttekintő térkép a mintaterületek (számokkal jelölt) tágabb és szűkebb környezetéről.



2. ábra. Eróziós nyomok a 3. területen

Az 1. területen, az Elő-harasztt azon része került a figyelem középpontjába, ahol 2018-ban telepítettek fiatal tőkéket. Ezért ezen a területen még kis méretűek a tőkék, így itt megfigyelhető, hogy mi történik a fedetlen talajjal. Az 1. terület keleti és nyugati részén szántó található. A 2. területet egy nagyobb vízmosás szeli át, és a tőkesorok között begyepesítették a talajt. A 3. terület esetében változatos a talajfelszín. Vannak olyan parcellák, ahol a tőkesorok köze gyepesített, máshol pedig

nem. Ezen a területen több vízmosás is megfigyelhető (2. ábra). A terület egy kiemelten veszélyes részén három terasz található, ahol a szőlőket nem tudják géppel művelni, mert félnek, hogy megindul a föld a munkagépek alatt (2. ábra). A szőlőtőkehiány mértéke a Teraszos parcellában a legnagyobb. A Csücsök elnevezésű parcellában (3. ábra) 2019 ősszén szedték ki a tőkéket, és 2020 tavaszán telepítették újra. A szőlészet több intézkedéssel is igyekszik lassítani a talajerózió mértékét. Az egyik védekezési mód,



3. ábra. A mintaterületeken (számokkal jelölt) található parcellák.

hogy 2017 óta a szőlősorok között állandóan gyepesítenek. A kezelők megfigyelése szerint, azóta szemmel láthatóan kisebb mértékű a talajerózió.

2.2. A légi felmérések

A projekt egy egész évet átölelő megfigyeléssorozatra épül, amelynek során minden évszakban drónfelvételek készültek a mintaterületekről. A terepi mérések időpontjait, időjárásviszonyait és a mérések sikerességét a 1. táblázat mutatja be. A felmérések során három különböző típusú UAV-eszközt használtunk. Az első két alkalommal egy házilag fejlesztett drónra szerelt Ricoh GR II kompakt fényképezőgép segítségével készültek a felvételek. Az eszközhöz tartozott egy RTK (Real-Time Kinetic) GPS-vevő, mely a nagy pontosságú helymeghatározást biztosította. A repülések megkezdése előtt egy bázisállomást helyeztünk el a szőlészeti telephelyén, mely a korrekciós adatokat szolgáltatta. A feldolgozás során az első, azaz a 2019. nyári

méréshez lett igazítva a többi mérés. A téli felméréskor egy DJI Phantom 4 Pro típusú drónnal készültek a felvételek. Ezen az eszközön is van egy GPS-vevő, amely az egyes fényképekhez csatolja az aktuális koordinátákat, de ez nem alkalmas a nagy pontosságú helymeghatározásra. Pontatlansága főleg a magassági adatokban volt megfigyelhető, azonban ez a képek elemezhetőségét nem befolyásolta. A tavaszi mérés során egy újabb UAV-eszköz került alkalmazásra, melyre egy Fujifilm X-T20-as MILC (Mirrorless Camera) fényképezőgép volt szerelve. Az utóbbi két eszköz esetében a fényképezőgép egy háromtengelyű stabilizátorra (gimbal) volt rögzítve. Mivel mindegyik kamera optikája nagy látószögű volt, ezért az UAV-ok a terepfelszín felett 130-140 m magasan repültek és 4-5 másodpercenként készítettek felvételeket a felszínről. A repülési terv minden esetben egy autonóm repülést tervező szoftverben (ArduPilot, Pix4D Capture) készült, amely révén élőben,

1. táblázat. A terepi mérések adatai és fényképek a mintaterületekről.

	Időpont	Időjárás	Sikeresség
Terepbejárás	2019. 07. 05.	meleg, napos idő	✓
Nyári mérés	2019. 07. 24.	meleg, napos idő	✓
Őszi mérés	2019. 11. 14.	tavaszi meleg, napos idő	✓
Téli mérés	2020. 01. 24.	hűvös, napos, erősen szeles idő	✗
	2020. 01. 25.	hűvös, ködös idő	✗
	2020. 02. 19.	hűvös, enyhén szeles, napos idő	✓

repülési információkkal (sebesség, magasság stb.) együtt lehetett követni az UAV-eszközt.

2.3. Az adatok feldolgozása

Az elkészült drónfelvételekből fotogrammetriai módszerekkel ortofotó és felszín-, majd terepmodell készült (MetaShape, illetve Cloud Compare programok segítségével). A nyári mérés feldolgozása kis mértékben eltért a többitől. Ekkor a képekhez tartozó koordinátákat a drónra szerelt RTK GPS-ből nyertük ki, amelyek alapján a fotók előbb a valós térbeli pozíciójukba kerültek, és ezt követően történt a képek átfedéselemzése majd a térbeli pontfelhőmodell előállítás SFM-elv (Structure From Motion) alapján. A sűrű pontfelhő magasság szerinti kategorizálása alapján leválogathatók a talajpontok, azaz kiszűrhető a növényzeti fedettség, és így előállítható a nagy felbontású digitális terepmodellt (DTM), valamint ennek geometriája alapján az ortofotó. A mintaterületek lehatárolásához egy-egy shape-fájl alkalmaztunk következetesen minden évszakos felvételnél.

A későbbi alkalmakkor az egyes képekhez nem mindig tartoztak megfelelő GPS-adatok, ezért a nyári felvételeken jól azonosítható (nem változó) objektumok alapján illesztőpontokat (Ground Control Points – GCP) határoztunk meg, amelyek adatait egy szöveges fájlban (txt) tároltunk. Az őszi, téli és tavaszi képek térbeli illesztésekor ezeket a pontokat használtuk fel, bejelölve helyüket a felvételeken. Így a nyári méréshez igazított térbeli elhelyezkedését kaptuk meg a felvételeknek. A térbeli illesztést követően a felszínmodellek pontfelhője készült el, majd ezek után a feldolgozás menete már megegyezett a korábban ismertekkel. Az elkészült terepmodelleket és ortofotókat 10 cm/pixel felbontásban exportáltuk.

Az eredményül kapott terepmodelleket a talajpusztulás becslése során a morfometriai tényező és a talajművelési mód meghatározásánál használtuk. A DTM feldolgozása és a mintaterületek kezelése QGIS szoftverkörnyezetben történt. Az ortofotókat a növényborítottsági osztályok meghatározásánál alkalmaztuk.

2.4. Erózió becslése az általános talajvesztés-egyenlettel

Az elsődleges cél az volt, hogy a kiemelten erózióveszélyes szőlőterületekre olyan nagy felbontású talajpusztulási térképek készüljenek, melyek segítségével mérni lehet a talajerózió mértékének az egyes évszakok közti változását.

A talajvesztés területegységre vonatkozó mértékének meghatározásához az általános talajvesztés-egyenletet (USLE) alkalmaztuk. Az egyenletet alkotó egyes tényezők kifejezik azt, hogy az éghajlat, a talaj, a felszín morfológiája, a felszínborítottság, valamint az alkalmazott művelési mód hogyan befolyásolja a talajpusztulás mértékét. Az egyenlet segítségével átlagbecslést lehet készíteni egy adott terület éves (vagy más meghatározott időszakra vonatkozó) talajpusztulására. Az egyenletet az Amerikai Egyesült Államokban dolgozták ki az 1940-es években (Wischmeier–Smith 1978). Kezdetben angolszász mértékegységeket használt a módszer, majd 1981-ben elkészült az egyenlet SI (Systeme International d’Unites – Nemzetközi Mértékegységrendszer) változata is (Foster et al. 1981). Azóta igen elterjedt az egyenlet, vagy annak továbbfejlesztett változatai a talajpusztulás becslésére (Fantappiè et al. 2014, Odongo et al. 2013, Lahloi et al. 2015, Confortiet al. 2015). Az egyenlet hat térbeli változót tartalmaz, amelyek szorzataként áll elő az időegységre (a képletben év) vonatkoztatott talajerózió mértéke:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

A = az évi átlagos talajvesztés

$$\left[\frac{t}{ha \cdot év} \right]$$

R = a csapadék eróziós potenciálja

$$\left[\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot b \cdot év} \right]$$

K = a talaj erodálhatósági tényezője

$$\left[\frac{t \cdot ha \cdot b}{ha \cdot MJ \cdot mm} \right]$$

L = a lejtő hosszát kifejező tényező (dimenzió nélküli)

S = a lejtő meredekségét kifejező tényező (dimenzió nélküli)

C = a növényi fedettség tényezője (dimenzió nélküli)

P = az alkalmazott talajművelési mód tényezője (dimenzió nélküli)

Jelen kutatásban az A értéke az egyes évszakokra vonatkozik, így a csapadék-adatokat a nyári (júniustól–augusztusig), az őszi (szeptembertől–novemberig), a téli (decembertől–februárig) és a tavaszi (márciustól–májusig) időintervallumokra vettük figyelembe. A nagy felbontású DTM-nek köszönhetően a területegység mérete is kisebb (10×10 cm), ezért az erodált talaj mennyiségét is kisebb súlymérték érzékelteni megfelelően. A talajerózió (A), az eróziós potenciál (R) és az erodálhatósági tényező (K) így a következő módon alakult:

A = az évszakonként átlagos talajvesztés

$$\left[\frac{kg}{dm^2 \cdot évszak} \right]$$

R = a csapadék eróziós potenciálja

$$\left[\frac{MJ \cdot mm}{dm^2 \cdot b \cdot évszak} \right]$$

K = a talaj erodálhatósági tényezője

$$\left[\frac{kg \cdot dm^2 \cdot b}{dm^2 \cdot MJ \cdot mm} \right]$$

2.4.1. R-faktor

A talajpusztulás függ a csapadék intenzitásától és az esőcseppek nagyságától. Az R-faktor az eső kinetikus energiáját fejezi ki, amely tartalmazza az egyes csapadékesemények eróziós indexét, valamint a lefolyásuk anyagmozgató képességét. Az R tényező értékét $\left[\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot b} \right]$ -ban adják meg

(Wischmeier–Smith 1978).

Az R-faktor kiszámításához az óránkénti csapadékadatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) biztosította. Két mérőállomás adatai

álltak rendelkezésünkre: 1) Gerecsetető és 2) Tata, Új út. A Gerecse tetőn 581,6 mm, míg a Tata, Új út állomásnál 471,4 mm csapadékot mértek az egy év során.

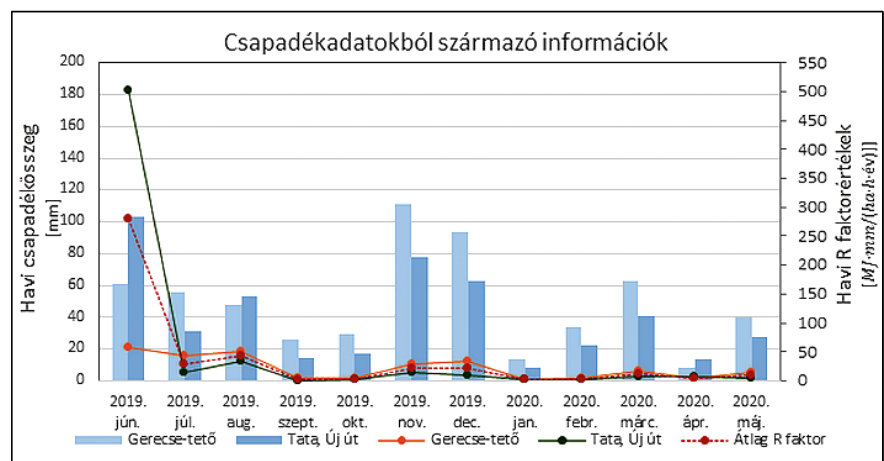
Az eróziós egyenlethez szükséges volt a lehullott csapadék havi összesített mennyiségét és az R-faktor értékét (4. ábra) kiszámítani. Az adatokból leolvasható, hogy mikor volt jellemző a hosszabb ideig tartó gyenge esőzés és mikor a hirtelen lezúduló nagy mennyiségű, de rövid ideig tartó esőzés. Az erózióbecslés során az R-faktor értéket évszakonként összegezve használtuk fel.

A legcsapadékosabb hónapok a június, a november és a december voltak. A havi R értékekből kiderül, hogy júniusban sokkal nagyobb hatással volt az esőzés a talajerózióra, mint novemberben vagy decemberben. Ennek az oka, hogy novemberben és decemberben hosszabb ideig tartó lassú esőzések voltak, míg június 22-én az esti órákban bekövetkezett egy hirtelen lezúduló, nagy mennyiségű csapadékesemény.

Az egy évszakon belüli, azaz három hónapos eróziós indexek összegzésével kaptuk az évszakai R-faktort, amit a talajerózió becslése során használtunk fel (2. táblázat).

2. táblázat Az évszakai R értékek.

Évszak	R-faktor $\left[\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot b \cdot évszak} \right]$
Nyár	351,59
Ősz	27,19
Tél	26,22
Tavaszi	27,02



4. ábra. A két mérőállomás csapadék adatokból származtatott információk: havi csapadékösszeg és a havi R-faktorértékek.

2.4.2. K-faktor

A K tényező megmutatja, hogy egy adott talaj mennyire hajlamos az erózióra, egyszerűen: a talaj erodálhatóságát, amelyet a talaj több tulajdonsága is befolyásol pl.: a talaj szerkezete, a talajban található szemcsék összetétele, a talaj vízáteresztő képessége, a szervesanyag- és agyagásvány-tartalma (Wischmeier–Smith 1978). Ezen elsődleges talajjellemzők alapján becsülhető K értéke, melynek Pásztor és munkatársai (2016) által szerkesztett egyhektáros felbontású térképi állományát használtuk jelen vizsgálatunk során. A mintaterületre vonatkozó K-faktorértékek a következő intervallumokban estek (3. táblázat):

3. táblázat. A K-faktor értékei az egyes mintaterületeken

Mintaterület	K-faktor értékek
1. Elő-haraszt	$\left[\frac{t \cdot ha \cdot b}{ha \cdot MJ \cdot mm} \right]$ 0,027–0,029
2. Kereszt-rét	0,028–0,030
3. Göte-oldal/ Korma föle	0,026–0,030

2.4.3. LS-faktor

Az USLE-egyenlet morfolometriai eleme az LS-faktor. Ez két tényezőtől tevődik össze, az L a lejtőhossz (slope length), és az S meredekség (steepness) változóból, melyek szorosan összefüggnek egymással, ezért szokás őket egybevonat LS-faktornak nevezni. Ez a faktor megmutatja, hogy a felszín egyenlőtlenségei mekkora hatással vannak a talajerózió mértékére.

Az LS-faktort GIS-eszközökkel az egységre vonatkoztatott terület (unit contributing area – UCA) elve alapján digitális terepmodellből lehet kiszámítani (pl. Brychta–Brychtová 2020). A drónfelvételtől előállított, nagy felbontású DTM-ből levezetett lejtőmeredekség és lefolyásakkumuláció cellákra vonatkoztatott értékeinek felhasználásával állítottuk elő az L és a S értékeket. Az L-faktor számítása (Wischmeier–Smith 1978) alapján történt:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m$$

λ = a lefolyásakkumuláció.

Az egyenletben szerepelő m hatványkitevő egy konstans érték, amely a lejtő százalékban megadott mértékétől függ (Presbitero 2013).

$$m = 0,5, \quad s > 5\%; \quad m = 0,4, \quad 3 < s \leq 5\% \\ m = 0,3, \quad 1 < s \leq 3\%; \quad m = 0,2, \quad s \leq 1\%$$

Az S-faktor kiszámítása szintén Wischmeier–Smith egyenlete (1978) alapján történt:

$$S = 65,41 \cdot \sin^2 \theta + 4,56 \cdot \sin \theta + 0,065$$

θ = lejtő meredeksége (radiánban).

Minden egyes időszakra elkészültek a mintaterületek lefolyásakkumulációs térképei és a lejtőszögtérképei, amelyek segítségével meghatározható volt az L- és az S-faktor is. A két faktort rasteres adatként felhasználva, azok célkénti összesorozásával készült el az LS-térkép.

Az elkészült térképek alapján kirajzolódnak a nagyobb vízfolyások és azok hatása a talajpusztulás mértékére. Az egyes évszakok közötti különbség is megfigyelhető, melynek egyik fő oka a morfológia változása, a lehullott csapadék, illetve a területeken folyó mezőgazdasági munkák hatása.

2.4.4. C-faktor

A C-faktor megmutatja, hogy a talajfedettségnek és a talajhasználatnak mekkora szerepe van a talajerózió mértékében. Ez a tényező mind időben mind pedig térben igen változatos lehet, és mivel a növényfedettségnek jelentős szerepe van a talajerózió mérséklésében, a C-értékek különböző sűrűségű és típusú növényborítottságra lettek meghatározva (4. táblázat). A különböző felszínborítások C értéke akár nagyságrendekkel is különbözhetnek egymástól, de 0 és 1 közé kell esniük (Panagos et al. 2015). Minél sűrűbb és nagyobb kiterjedésű a növénytakaró, annál jobban lassítja az eróziót. Ennek oka, hogy a növények gyökerei megkötik a talajt, valamint a levelek felfogják a lehulló csapadékot, ezáltal csökkentik a többi tényező hatását is.

A C-faktor meghatározásához az évszakonként készített ortofotókat használtuk. Mivel általában csak három különböző kategóriát kellett elkülöníteni (szőlős, füves terület, csupasz talaj), így jól működött a látható színek (RGB-sávok) szerinti irányított osztályozás, amely a Minimum Distance módszert követte. Az osztályozott képeken kimutatható az évszakos fedettségváltozás mind a szőlő, mind pedig a füves területek vonatkozásában.

4. táblázat. C-faktorértékek a különböző fedettség típusokra (Panagos et al. 2015)

Fedettség típus	C-faktorérték
Csupasz talaj	1
Szőlő	0,3605
Mezőgazdasági terület	0,1491
Füves terület	0,0564
Átmeneti fás, bokros	0,0306
Köves, sziklás	0

2.4.5. P-faktor

Ez a változó megmutatja, hogy az alkalmazott talajművelési mód hogyan befolyásolja a talajerózió mértékét. Ez azt jelenti, hogy milyen arányban van jelen a területen a vízszintes, sávos vagy teraszos művelés a lejtő irányú műveléshez képest (Wischmeier–Smith 1978).

A többi faktor nagy felbontásának köszönhetően a P-faktor meghatározását is próbáltuk minél pontosabban elvégezni. A P-faktor számértékeit Fehér és munkatársai (1986) alapján származtattuk (5. táblázat). A vizsgált szőlőterületeken elsősorban a vízszintes sávos művelés fordult elő, de néhol a lejtőirányú művelés is megjelent. A mintaterületeken az egyéb mezőgazdasági területek esetében alkalmazták a vízszintes művelést. Azokon a területeken, ahol nem tudtuk pontosan meghatározni és/vagy nem történik művelés a P-faktor 1-es értéket kapott, azaz nem volt eróziócsökkentő szerepe.

5. táblázat. A P-faktor számértékei művelési típus és lejtőszög alapján (Fehér–Horváth–Ondruss 1986).

Lejtő %	Lejtőirányú művelés	Vízszintes művelés	Vízszintes sávos művelés
1,1–2,0	1	0,60	0,30
2,1–7,0	1	0,50	0,25
7,1–12,0	1	0,60	0,30
12,1–18,0	1	0,60	0,40
18,1–24,0	1	0,90	0,45

2.5. A talajfedés

hatásának vizsgálata

A talajfedés eróziócsökkentő hatását vizsgáló forgatókönyvben a 2. és a 3. terület kapta a nagyobb figyelmet. Ennek kiszámítása során azt vizsgáltuk, hogy ezeken a területeken mekkora a gyepesítés jelentősége a talajpusztulás szempontjából.

Ehhez a forgatókönyvhöz készítettünk egy új C-faktor-térképet, amelyen az addig füves területeket felváltja a csupasz talaj, azaz a C-érték 0,0564-ről 1-re nőtt. A 6. táblázat tartalmazza a mintaterületek teljes méretét és a területén található gyepp nagyságát, amely a C-faktor modellezése során változott. A modellezett C-faktorról is megbecsültük a talajerózió mértékét.

3. Eredmények és diszkusszió

3.1. Az éves talajpusztulás alakulása

Mind a négy időszakra elkészültek a becsült talajpusztulási térképek az egyes mintaterületekre (5. ábra). A térképek azt szemléltetik, hogy egy cellában, azaz egy dm^2 -en egy évszak alatt hány kg talaj erodálódik (7. táblázat).

A 7. táblázat bemutatja az egyes mintaterületek évszakonkénti talajpusztulását, illetve az egy dm^2 -re jutó átlagos talajpusztulás mértékét. Mind a négy mintaterületen a nyári időszakban volt a legnagyobb a talajpusztulás mértéke annak ellenére, hogy ekkor a legnagyobb a növényborítottság az egyes területeken. Az átlagos erózió egy nagyságrenddel tért el az őszi, a téli, illetve a tavaszi talajpusztulási értékektől (nyáron: 6,8–16,39 kg/cella illetve télen: 0,9–1,81 kg/cella). Ennek oka a nyári folyamán lehulló, intenzív eső. A tavaszi mérés során egyedül a 2. mintaterületen volt alacsonyabb a talajpusztulás mértéke az őszi és a téli méréshez képest, de az eltérés mértéke nagyságrendben belüli. Az 1. és a 3. mintaterületek esetében ekkor volt a nyári után a legnagyobb az erózió (1,22 és 1,81 kg/cella), ez az őszi és téli hónapokhoz képest kevesebb, de intenzívebb csapadéknak köszönhető.

Magyarország területén 15 t/(ha év) a talajpusztulás maximálisan elfogadható mértéke Ez átszámítva az általunk

6. táblázat. A mintaterületek nagysága és a füves területek mérete ha-ban meghatározva

Mintaterület	Évszak	Teljes mintaterület mérete (ha)	Füves terület mérete (ha)
1. Elő-haraszt	2019. nyár	10,94	1,37
	2019. ősz		3,32
	2019–2020. tél		2,48
	2020. tavasz		1,49
2. Kereszt-rét	2019. nyár	12,94	8,31
	2019. ősz		6,49
	2019–2020. tél		5,86
	2020. tavasz		7,61
3. Götte-oldal/Korma föle	2019. nyár	39,52	23,28
	2019. ősz		18,68
	2019–2020. tél		16,90
	2020. tavasz		16,06

használt mértékegységre 0,15 kg/(dm^2 év). Az évszakos eredmények összesítésével meghatároztuk a talajpusztulás éves mértékét is a vizsgált időszakra (6. ábra). A térképeken a piros árnyalataival jelölt területeken a talajpusztulás mértéke meghaladja a szakirodalom által elfogadható mennyiséget. Mindegyik mintaterületre jellemző, hogy ezek a kiemelten veszélyeztetett területek az utak mentén, illetve a vízfolyásoknál találhatók. Az 1. mintaterületen a legmagasabb értékek nem a szőlő területen figyelhetők meg, hanem a két szélén található szántóföldi részekben. A 2. területen, a területet átszelő ÉÉNy-DDK-i csapású út közepe táján az útra DK-felől betorkolló időszakos vízfolyás jelent kiemelten veszélyeztetett területet, ami az út mentén a növényzet hiánya miatt még hangsúlyosabb. A 3. területen az északnyugati Lófangató, és a középtájon található Götte Chardonnay parcellákban

figyelhetők meg magasabb értékek. Ezeken a területeken a szőlőtökeket a lejtővel megegyező irányba telepítették. A teraszos részen (nyugati oldal felső harmadánál) a legmagasabb értékek a teraszok rézsűje mentén találhatók. A délnyugati rész ezen a területen is szántóföldi művelés alatt állt.

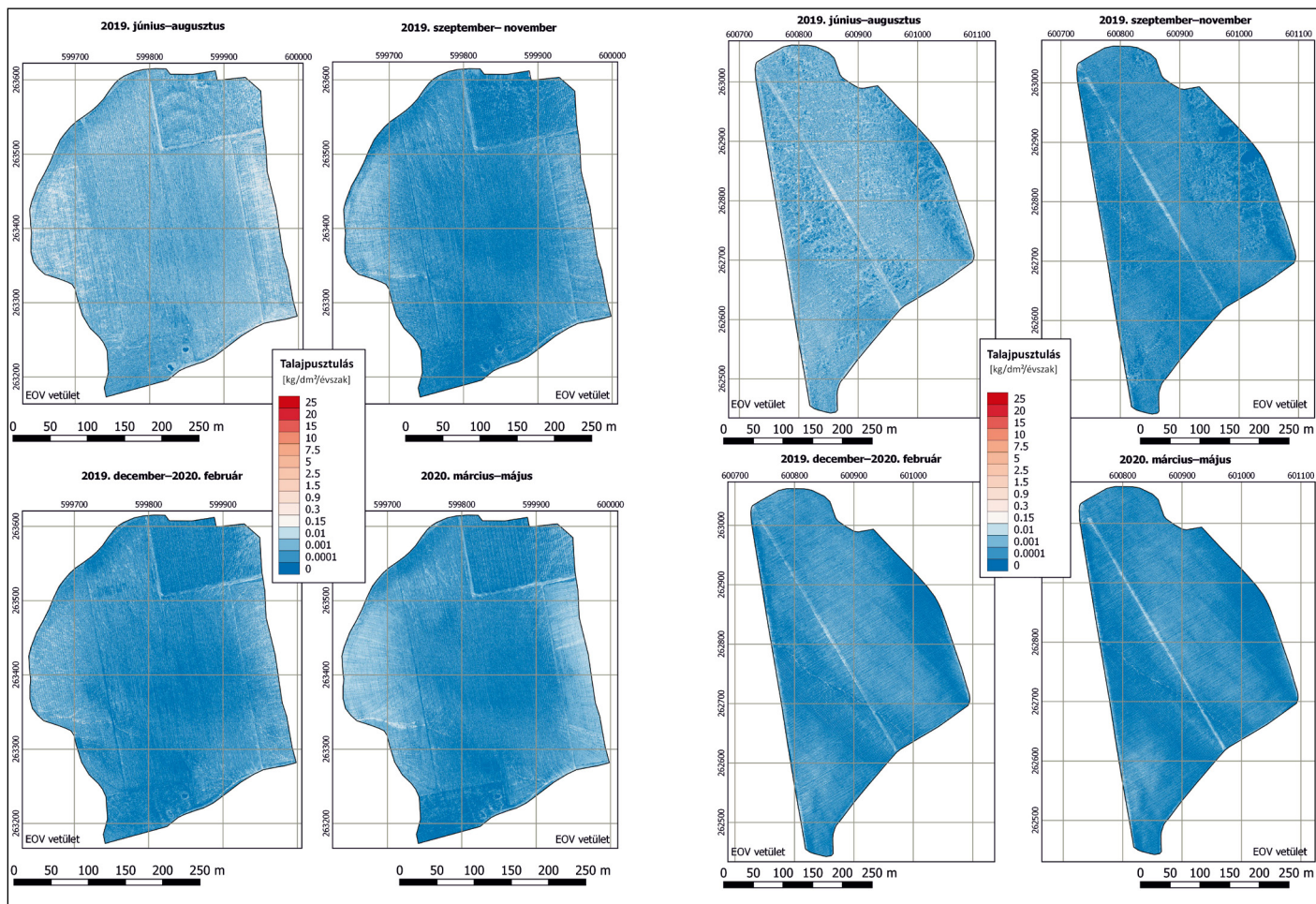
3.2. A talajfedés hatása az erózió mértékére

A talajfedés hatását a forgatókönyv szerint előállított C-faktor értékekkel mértük fel. Ezzel az új C-faktorról becsült évszakonkénti talajpusztulás egy-egy kivágata a 2. és 3. mintaterületről a 8. táblázat térképein láthatók.

A modellek eredményeit összehasonlítva a felmérésen alapuló térképekkel megállapítható, hogy mennyi talaj védhető meg a lepusztulástól célként a füvesítéssel. Mivel az 1. terület esetében nagyon kevés gyepes terület volt az eredeti állapot szerint is, itt

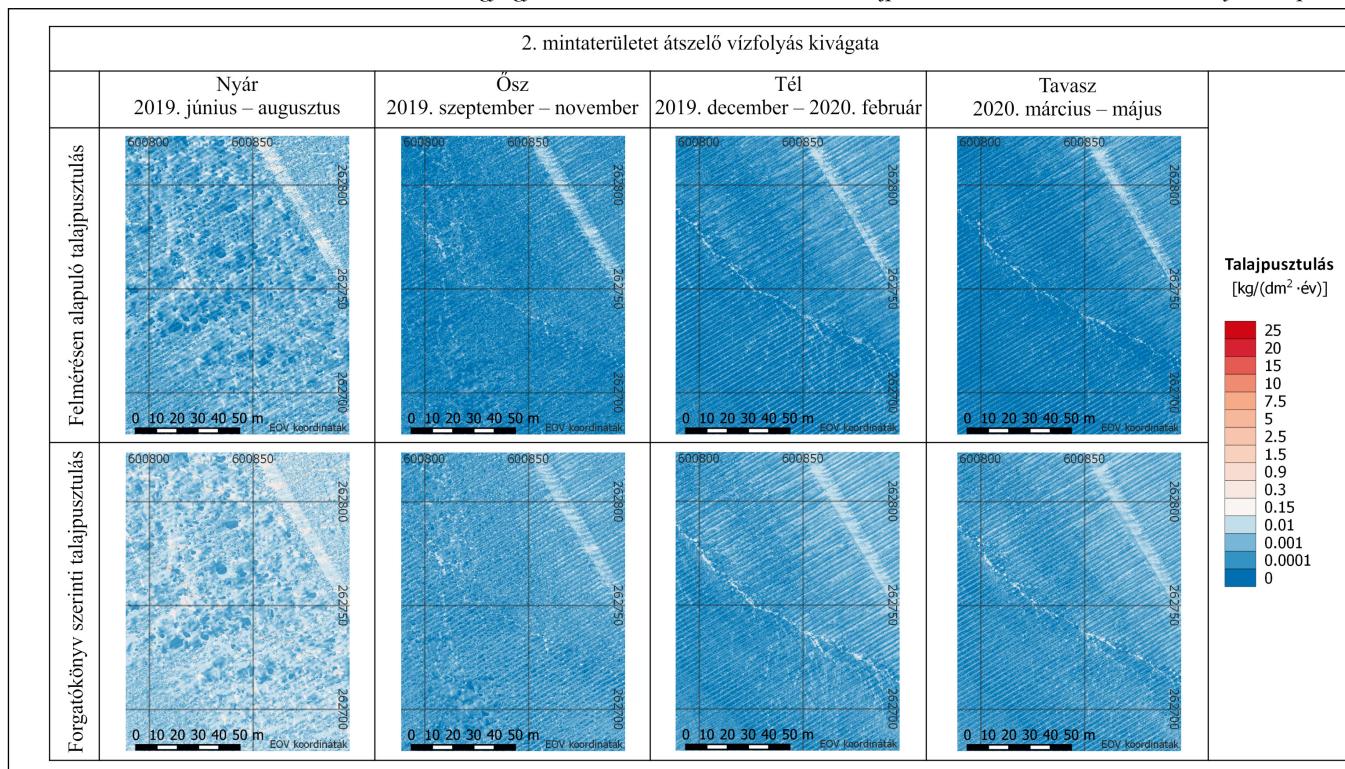
7. táblázat. A mintaterületekre vonatkozó talajpusztulás évszakonkénti összege és az egy négyzetdeciméterre (cellára) jutó átlagértéke kg-ban.

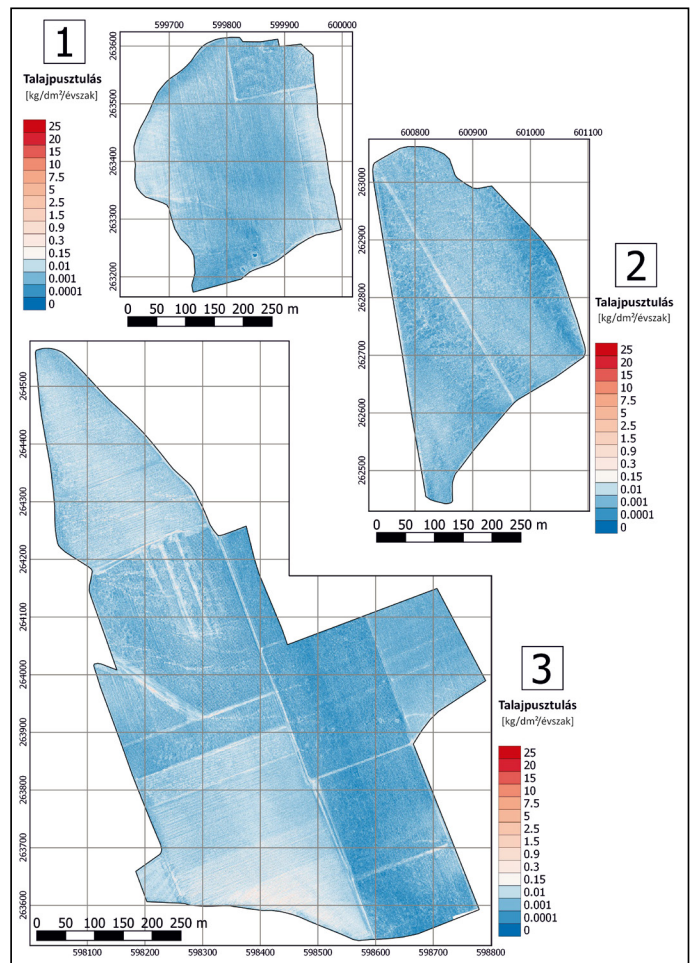
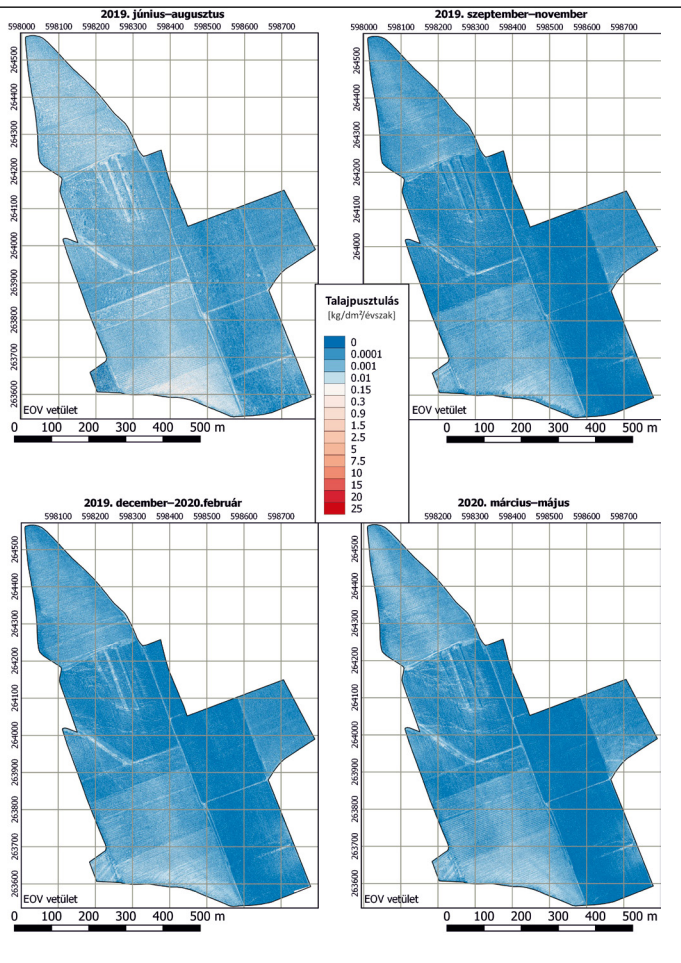
Mintaterület	Időszak	Talajpusztulás $\left[\frac{kg}{mintaterület \cdot évszak} \right]$	Átlagos talajpusztulás $\left[\frac{kg}{dm^2 \cdot évszak} \right]$
1. Elő-haraszt	2019. nyár	103859,63	0,0949
	2019. ősz	11879,41	0,0109
	2019–2020. tél	9900,02	0,009
	2020. tavasz	13350,12	0,0122
2. Kereszt-rét	2019. nyár	87939,25	0,068
	2019. ősz	9568,85	0,0074
	2019–2020. tél	8432,08	0,0065
	2020. tavasz	6365,22	0,0049
3. Götte-oldal/Korma föle	2019. nyár	647561,67	0,1639
	2019. ősz	61756,76	0,0155
	2019–2020. tél	65165,59	0,0165
	2020. tavasz	71339,35	0,0181



5. ábra. A talajpusztulás becsült értéke évszakonként az 1., a 2. és a 3. mintaterületen $\left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^2 \cdot \text{évszak}} \right]$ -ben meghatározva.

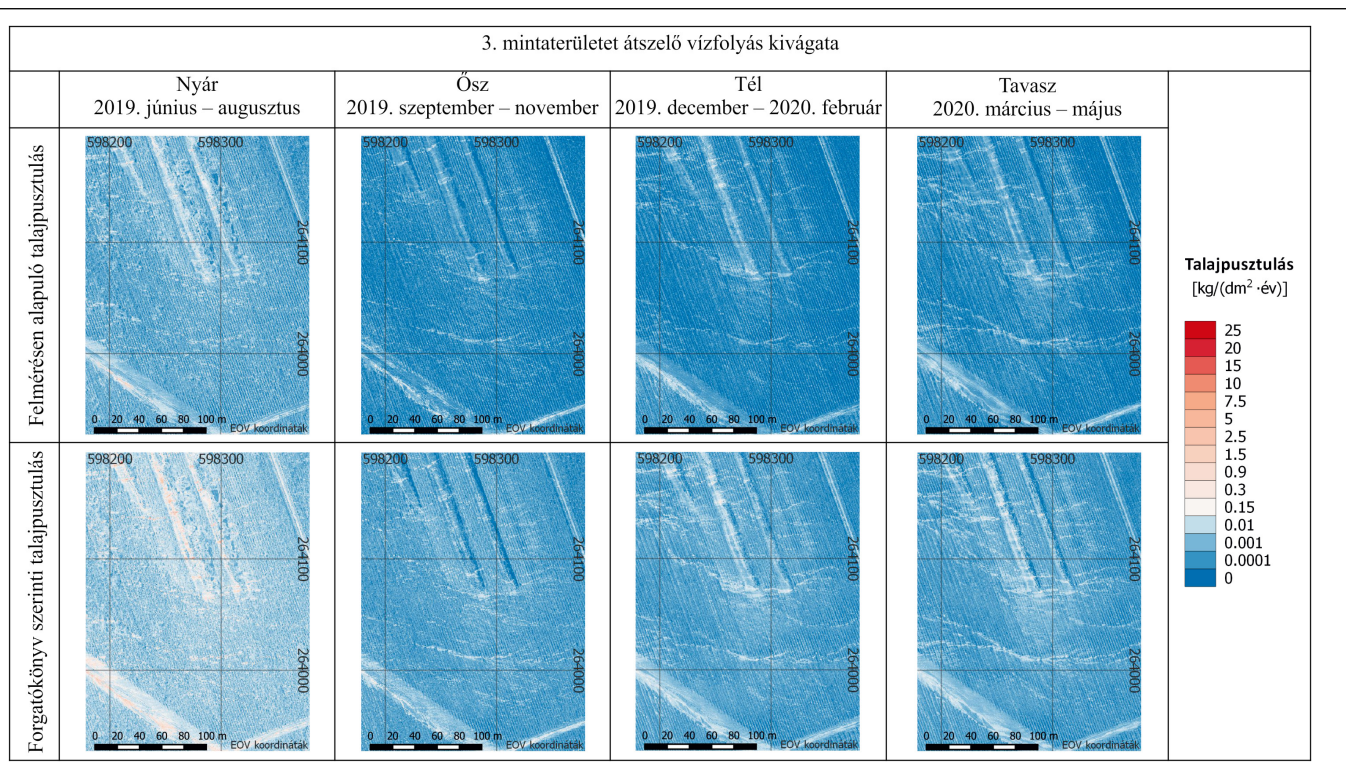
8. táblázat. A 2. és 3. mintaterület egy-egy kiemelt részének az évszakonkénti talajpusztulás mért és modellezett eredményei térképeken





6. ábra. A becsült éves talajpusztulás az egyes mintaterületeken

$$\left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^2 \cdot \text{évszak}} \right] \text{-ben meghatározva.}$$



9. táblázat. Felmérésen alapuló és modellezett talajpusztulás mértéke az egyes mintaterületeken

Mintaterület		Talajpusztulás mértéke $\left[\frac{kg}{mintaterület \cdot \acute{e}vszak} \right]$			
		Nyár	Ősz	Tél	Tavaszi
1.	Felmérésen alapuló	103859,63	11879,41	9900,02	13350,12
	Forgatókönyv szerinti	122851,36	17549,72	12667,99	14374,29
2.	Felmérésen alapuló	87939,25	9568,85	8432,08	6365,21
	Forgatókönyv szerinti	358282,54	24347,06	21388,16	20013,91
3.	Felmérésen alapuló	647561,67	61074,50	65165,59	71339,35
	Forgatókönyv szerinti	1976134,52	137683,33	138353,08	121945,28

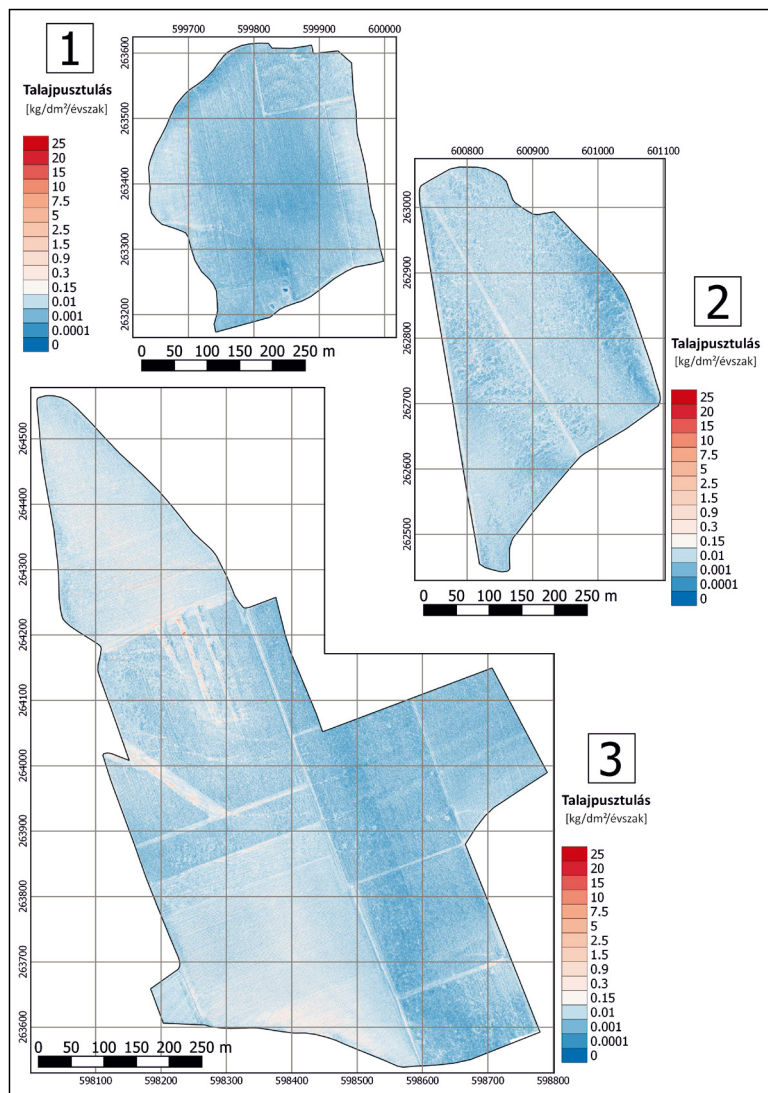
található a legkisebb eltérés a modell és felmért erózió között. A különbségek elsősorban a mintaterületre belógó idősebb szőlőparcella területén találhatók. A másik két mintaterület esetében már jelentősebb volt a különbség. A 2. terület esetében jelentős változás van a területet átszelő vízfolyás mentén, míg a 3. terület esetében több kiemelt terület is van: a teraszos parcella; a nagyobb vízfolyások; és azok a parcellák, ahol a lejtőre nem merőleges művelés zajlik. A mintaterületek évszakos változását a 9. táblázat foglalja össze.

A forgatókönyv szerinti évszakos eredmények összesítésével éves talajpusztulás becslés is született (7. ábra). Az eredmények alapján minden mintaterületen nagyobb lenne a talajpusztulás mértéke, ha nem füvesítenék a sorközöket. A 10. táblázatban a különböző mintaterületekre vonatkozó valós és a forgatókönyv szerinti éves talajpusztulási-értékek összehasonlítása látható. A számítás a talajerózió cellánkénti értékeinek területenkénti összesítését mutatja. Az 1. mintaterület esetében nem számottevő ez a változás a füvesítés hiánya miatt (1,2-szeres). A kettes és hármast területen ez jóval számottevőbb (3,78 és 2,8-szoros). Az éves talajpusztulás mértékében a legnagyobb változás tehát a 2. mintaterületen lenne, ahol a teljes területre vonatkozóan mintegy 311,7 tonnával több lenne az erodált talaj.

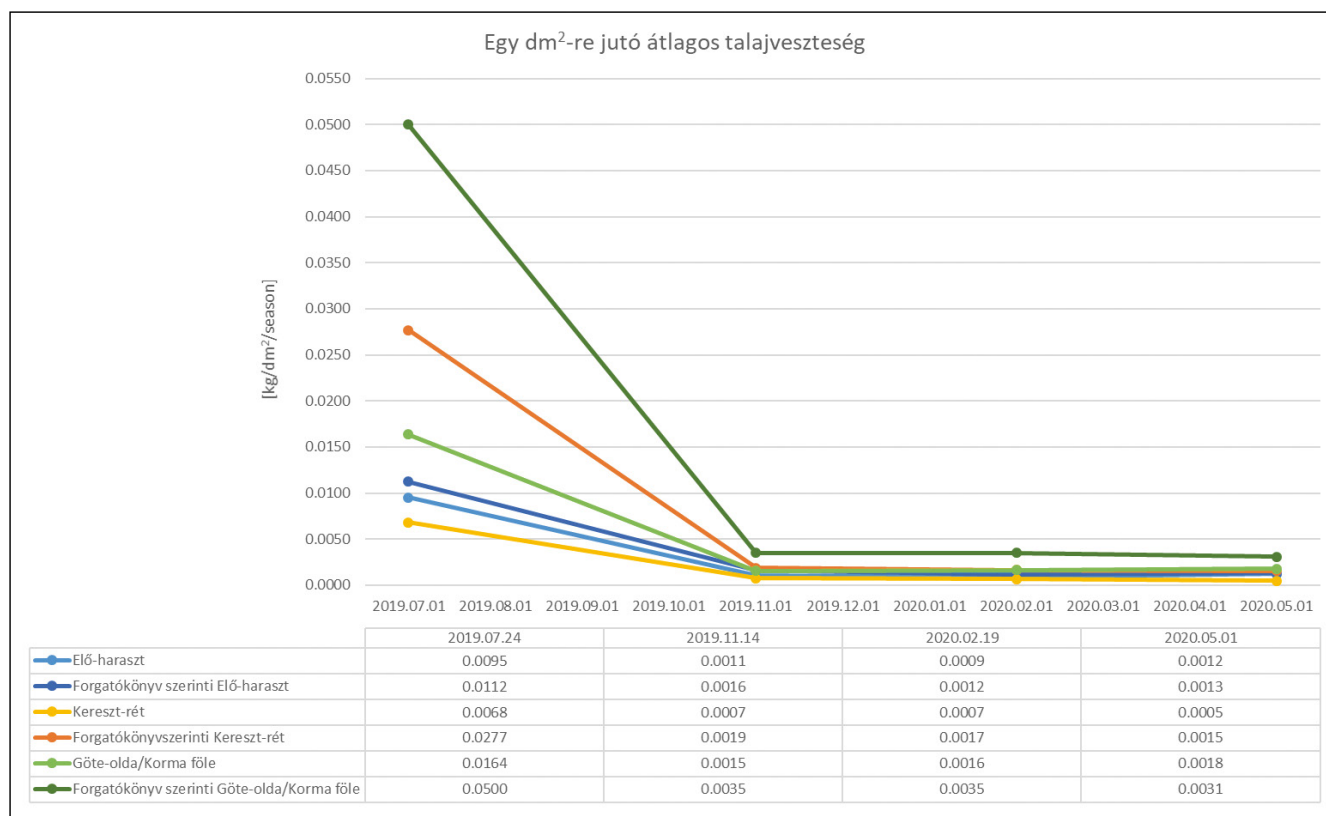
Mintaterületenként kiszámítottuk az egy dm²-re jutó átlagos talajpusztulás mértékét mind az eredeti, mind pedig a forgatókönyv szerint modellezett értékekkel (8. ábra). A 2. mintaterületen minimum 2,54-szoros és maximum 4,07-szoros, míg a 3. mintaterület esetében minimum 1,71-szoros és maximum 3,05-szoros lenne a talajpusztulás mértéke. A legnagyobb eltérés minden esetben nyári időszakban tapasztalható.

10. táblázat. Az éves talajpusztulás és a modellezett éves talajpusztulás mértéke mintaterületenként.

Mintaterület	Éves talajpusztulás $\left[\frac{kg}{mintaterület \cdot \acute{e}v} \right]$	Forgatókönyv szerinti éves talajpusztulás $\left[\frac{kg}{mintaterület \cdot \acute{e}v} \right]$
1. Elő-haraszti	138989,18	167443,36
2. Kereszt-rét	112305,39	424031,67
3. Göte-oldal/Korma föle	845141,11	2374116,29



7. ábra. Az forgatókönyv szerinti éves talajpusztulás az egyes mintaterületeken $\left[\frac{kg}{dm^2 \cdot \acute{e}v} \right]$ -ben meghatározva.



8. ábra. Az egy négyzetdeciméterre jutó átlagos talajpusztulás értékei.

4. Összegzés

A kutatás a talajerózió ismeretének fontosságára, és mértékének meghatározására irányult kiemelten veszélyeztetett szőlőterületeken a Gerecse északi területén. A kitűzött cél az volt, hogy az egyes mintaterületekről nagyfelbontású talajpusztulási térképek készüljenek, melyek segítségével szolgálhatnak a szőlészet számára. Összesen három mintaterületen, 63,4 hektáron végeztük a vizsgálatokat Dunaszentmiklós területén. A talajpusztulás megfigyelését évszakos időskálán végeztük, így az erózió éven belüli változása is tanulmányozható volt.

A kutatómunka során a nagyfelbontású adatok (10 cm/pixel) előállítására UAV-eszköz felvételeit használtuk fel. A talajpusztulás becslésére az USLE-egyenletet alkalmaztuk. Az LS-, C-, P- és R-faktorok térképei saját felmérések alapján készültek. Az UAV által készített képek segítségével határoztuk meg az LS értékeket, mely a lejtő hosszának és meredekségének a hatását mutatja meg, a C értékeket, mely a különböző növényborítottság befolyásoló mértékét mutatja meg és a P-faktort, mely az alkalmazott talajművelési mód hatását

vizsgálja. Az R-faktor meghatározása a terület közelében található két meteorológiai állomás adataiból történt. A K faktorra vonatkozó térbeli állományt a Talajtani Intézet bocsátotta rendelkezésre.

Az egyes mintaterületekre elvégeztük a talajpusztulás évszakos, valamint az egész évre vonatkozó mértékének számítását. Elkészült egy modell is, melyben a tőkesorok közötti gyepesítés hatását vizsgáltuk.

Az eredményekből megfigyelhető, hogy a mintaterületeken hogyan változott a talajpusztulás a különböző évszakokban. A legnagyobb talajpusztulás minden esetben a nyári időszakban volt. Ekkor az erózió mértéke kb. egy nagyságrenddel eltért a többi időszakétól. Ezzel szemben, az őszi és a téli időszakban nem tapasztalható nagymértékű eltérés. A 2020. tavaszi időszakában nem volt jelentős csapadék, így az erózió becslése során a téli és az őszi időszakhoz hasonló értékeket tapasztaltunk. Az R értékeket és a csapadék adatokat összehasonlítva elmondható, hogy nyáron az intenzív, míg a többi évszakban a lassú hosszabb ideig tartó esőzés volt jellemző. Ez az évszakos változás nemcsak a csapadék

hatásában mutatkozik meg, hanem a növényborítottság változásában is. Az alkalmazott talajművelési mód jelentősége is megjelenik az eredményekben. Azokon a területeken, ahol a lejtővel megegyező irányban telepítették a tőkét, ott nagyobb a talajerózió. A modellezés során, a gyepesítés fontosságára is számszerű eredményeket kaptunk. A gyepesítés jelentősége a 2. és a 3. mintaterület esetében mutatkozik meg. A 2. mintaterületen minimum 2,54-szoros és maximum 4,07-szoros, míg a 3. mintaterület esetében minimum 1,71-szoros és maximum 3,05-szoros lenne a talajpusztulás mértéke, ha csupaszon hagynák a talajt. A kutatás eredményei alapján tehát egyértelműen javasolható a sorok közötti füvesítés az eróziócsökkentés érdekében. A tanulmányban bemutatott precíziós módszerekkel végzett eróziótérképezés hozzájárulhat a szőlészetek a fenntartható gazdálkodás érdekében végzett munkájához.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásunkat a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alap Tématerületi kiválósági programja

(ED_18-1-2019-0030 és TKP2020-NKA-06), és az Információs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programja támogatta. Köszönjük a Hilltop Neszmély Zrt. munkatársainak, hogy engedélyezték és segítették a kutatási munkánkat, az ELKH ATK TAKI munkatársainak a közreműködést a drónok reptetésében, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a felhasznált csapadék adatokat.

Irodalom

- Albert, G. 2013. A kőpatak völgye. *Természet Világa*, 144(2), old.: 85-86.
- Brychta, J., - Brychtová, M. 2020. Possibilities of including surface runoff barriers in the slope-length factor calculation in the GIS environment and its integration in the user-friendly LS-RUSLE tool. *Soil and Water Research*, 15(4), pp. 246-257.
- Chidi, C.L. - Zhao, W. - Chaudhary, S. - Xiong, D. - Wu, Y. 2021. Sensitivity Assessment of Spatial Resolution Difference in DEM for Soil Erosion Estimation Based on UAV Observations: An Experiment on Agriculture Terraces in the Middle Hill of Nepal. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(1), 28.
- Conforti, M. - Buttafuoco, G. - Ragob, V. - Aucellic, P. - Robustelli, G. - Scarciglia, F. 2015. Soil loss assessment in the Turbolo catchment (Calabria, Italy). *Journal of Maps*, 815-825. DOI: 10.1080/17445647.2015.1077168
- Dezső, J. - Lóczy, D. - Rezek, M. - Hüppi, R. - Werner, J. - Horváth, L. 2020. Crop growth, carbon sequestration and soil erosion in an organic vineyard of the Villány Wine District, Southwest Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin*, 69(3), pp. 281-298. DOI: 10.15201/hungeobull.69.3.4
- Fantappiè, M. - Priori, S. - Costantini, E. 2014. Soil erosion risk, Sicilian Region (1:250,000 scale). *Journal of Maps*, 11(2), pp. 323-341.
- Fehér, F. - Horváth, J. - Ondruss, L. 1986. *Területi vízrendezés*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Fernández, T. - Pérez-García, J. L. - Gómez-López, J. M. - Cardenal, J. - Calero, J. - Sánchez-Gómez, M. - Delgado, J. - Tovar-Pescador, J. 2020. Multitemporal Analysis of Gully Erosion in Olive Groves by Means of Digital Elevation Models Obtained with Aerial Photogrammetric and LiDAR Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), p. 260.
- Foster, G. R. - McCool, D. K. - Renard, K. G. - Moldenhauer, W. C. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36(6), pp. 355-359.
- Gerzsenyi, D. - Albert, G. 2017. Landslide susceptibility estimations in the Gerecse hills (Hungary). In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (19), p: 4146.
- Gerzsenyi, D., - Albert, G. 2021. Landslide inventory validation and susceptibility mapping in the Gerecse Hills, Hungary. *Geo-spatial Information Science*, 1-11. DOI: 10.1080/10095020.2020.1870872
- Kis, É. - Balogh, J. 2013. A Gerecse felszínmozgásos területei. In É. Kis, *Terresztikus domborzatfejlődés a Vértes és a Gerecse környezetében a bérbaltaváriumtól a holocénig* (pp. 121-137). Budapest: Magyar Tudományos Akadémia- Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont.
- Lahloi, H. - Rhinane, H. - Hilali, A. - Lahssini, S. - Khalile, L. 2015. Potential erosion risk calculation using remote sensing and GIS in Oued El Maleh Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*, 7, pp. 128-139. DOI: 10.4236/jgis.2015.72012
- Meinen, B. U. - Robinson, D. T. 2021. Agricultural erosion modelling: Evaluating USLE and WEPP field-scale erosion estimates using UAV time-series data. *Environmental Modelling & Software*, 137, 104962.
- Odongo, V. - Onyando, J. - Mutua, B. - van Oel, P. - Becht, R. 2013. Sensitivity analysis and calibration of the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) for the upper Malewa Catchment, Kenya. *International Journal of Sediment Research*, 28(3), pp. 368-383.
- Panagos, P. - Borrelli, P. - Meusburger, K. - Alewell, E. - Lugato, E. - Montanarella, L. 2015. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48, pp. 38-50.
- Panagos, P. - Borrelli, P. - Meusburger, K. - van der Zanden, E. H. - Poesen, J. - Alewell, C. 2015. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. *Environmental Science & Policy*, 51, pp. 23-34.
- Pásztor, L. - Waltner, I. - Centeri, C. - Belényesi, M. - Takács, K. 2016. Soil erosion of Hungary assessed by spatially explicit modelling. *Journal of Maps*, 1-8.
- Pijl, A. - Reuter, L. E. - Quarella, E. - Teun, V. A. - Tarolli, P. 2020. GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices. 193, 104604. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104604
- Presbitero, A. L. 2013. *Soil erosion studies on steep slopes of humid-tropic Philippines*. Queensland, Australia: School of Environmental Studies, Nathan Campus, Griffith University.
- Rakonczás, N. 2014. *Szőlőtermesztés*. Debreceni Egyetemi Kiadó.
- Ruszkiczay-Rüdiger, Z. - Fodor, L. - Csillag, G. - Braucher, R. - Kele, S. - Novothny, Á., Thamó-Bozsó, E. - Virág, A. - Molnár, G. - Madarász, B. - Team, A. 2016. Spatially and temporally varying Quaternary uplift rates of the Gerecse Hills, Northern Pannonian Basin, using dated geomorphological horizons in the Danube valley. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (18), p. 6463.
- Schweitzer, F. 1989. Surface movements of the Gerecse Mountain's northern part. In J. Galamos, *Selected environmental studies* (pp. 34-35.). Budapest: Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences.
- Stefanovits, P. 1992. *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- Szendrei, G. 1998. XII. Talajpusztulás. In *Talajtan* (pp. 235-241.). Budapest: ELTE Eötvös Kiadó.
- Takáts, T. 2018. *Talajerózió és üledékfelhalmozódás térképezése távérzékelési adatok alapján, Szakdolgozat*. Budapest.
- Takáts, T. 2020. *Talajerózió vizsgálata egy hegylábi mezőgazdasági területen a Gerecse térségében, TDK dolgozat*. Budapest.
- Waltner, I. 2018. Eróziós potenciál becslése távérzékeléssel. In G. Áldorjai, & T. Tóth (Szerk.), *SZIE kiváló tehetségei" konferencia előadásainak összefoglaló kiadványa* (p. 136). Gödöllő, Magyarország: Szent István Egyetemi Kiadó.
- Waltner, I. - Pásztor, L. - Centeri, C. - Takács, K. - Pirkó, B. - Koós, S. - László, P. 2018. Evaluating the new soil erosion map of Hungary—A semiquantitative approach. *Land Degradation Development*, 29, 1295-1302. DOI: 10.1002/ldr.2916
- Waltner, I. - Saeidi, S. - Grósz, J. - Centeri, C. - Laborczy, A. - Pásztor, L. 2020. Spatial Assessment of the Effects of Land Cover Change on Soil Erosion in Hungary from 1990 to 2018. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11, 667. DOI: 10.3390/ijgi9110667
- Wischmeier, W. H. - Smith, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning*. USA: USDA, Science and Education Administration.



Takáts Tünde
doktorandusz

ELTE Természettudományi Kar,
Földtudományi Doktori Iskola
ELKH Agrártudományi Kutatóközpont
Talajtani Intézet
tunde.takats@gmail.com



Dr. Albert Gáspár
egyetemi docens

ELTE IK Térképtudományi és
Geoinformatikai Intézet
albert@ludens.elte.hu