

A TALAJNEDVESSÉGI-ÁLLAPOT SZEZONÁLIS VÁLTOZÁSAINAK VIZSGÁLATA NÉGY SZIGETKÖZI MÉRŐHELYEN

Macher Gergely Zoltán¹, Dr. Kozma Katalin², Dr. Giczi Zsolt³, Dr. Koltai Gábor⁴

¹tanszéki mérnök, Környezetmérnöki Tanszék, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar,
Széchenyi István Egyetem, Győr.

²egyetemi docens, Környezetmérnöki Tanszék, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar,
Széchenyi István Egyetem, Győr.

³egyetemi adjunktus, Víz- és Környezettudományi Tanszék,
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Széchenyi István Egyetem, Mosonmagyaróvár.

⁴tudományos főmunkatárs, Víz- és Környezettudományi Tanszék,
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Széchenyi István Egyetem, Mosonmagyaróvár.

KIVONAT

A talajnedvesség a hidrológiai folyamatok egyik legfontosabb eleme. Szerepe egyaránt meghatározó mezőgazdasági, hidrológiai és környezettudományi szempontból. Általánosságban elmondható, hogy ismereteink túlnyomó többsége a pontmérések eredményeinek köszönhető. Jelen összefoglaló tanulmányban ezen elvek mentén végzünk összehasonlító elemzést a 2021-es vizsgálati évben folytatott terepi mérésekből származó talajnedvességi értékek és a Szigetközi Környezeti Monitoring 1995 és 2021 közötti összefüggő talajnedvesség-monitoring négy mérőhelyén (szántó: T-03, T-09, erdészeti megfigyelőhely: T-16, T-17). Vizsgálataink során egyértelműen beigazolódott azon feltevés, miszerint a talajnedvesség értékek általános vertikális eloszlása mindegyik mérőhely esetében jelentős változáson ment keresztül. A két szántó művelés alatt álló terület esetében elmondható, hogy a T-03-as mérőhely értékei között növekvő tendencia, a T-09-es esetében csökkenő tendencia mutatható ki. Ezzel szemben a két erdészeti megfigyelőhely állapothatározói között csökkenő változás, erősebb differencia volt vizsgálható. Az egyes állapotjelzők idősoros elemzésén túlmenően tapasztalhatóak voltak a tendenciákat leíró lineáris regressziós egyenletek eltérései is. Jelen tanulmányban összefoglalt kutatási áttekintő alátámasztja, hogy a talajnedvességi értékek eltérései már kimutathatók a 26 évvel előtti állapotokhoz képest, melyek elsődleges okai lehetnek a mikrometeorológiai jelenségek és a talajfizikai jellemzők pillanatnyi állapota és azok változása, a növényi vegetáció hatása, a nem vertikális, oldallirányú nedvességmozgás jelensége, a kavicsagy leszívó hatása, a talajvíz szintjének emelkedő hatása, s természetesen nem utolsó sorban a klímaváltozás hatása.

KULCSSZAVAK: talajnedvesség, pórustér, nedvességtartalom, Szigetköz.

1. BEVEZETÉS

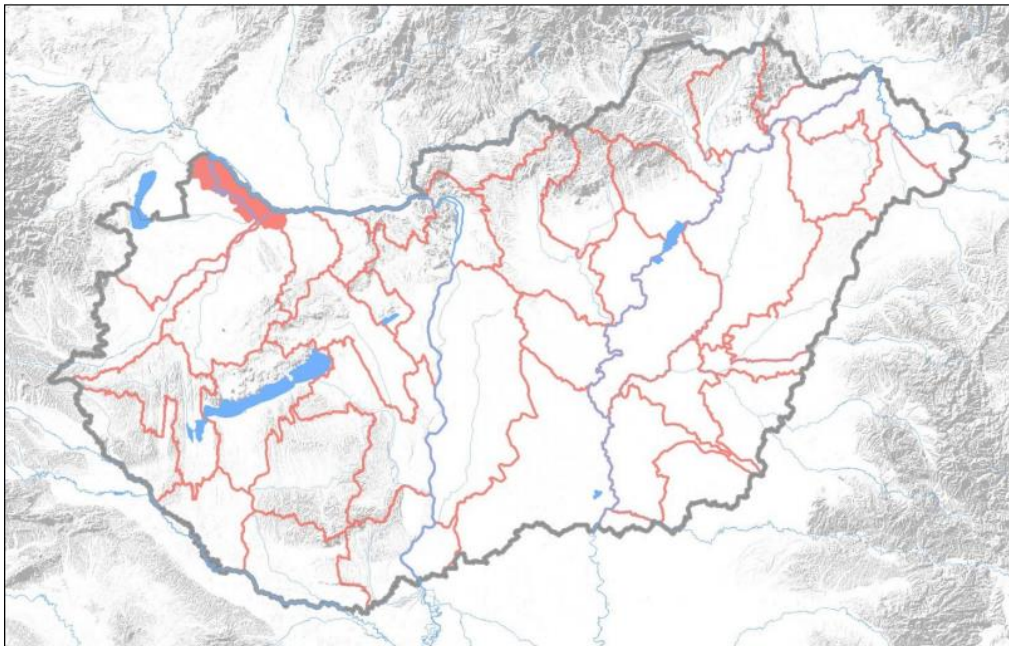
A talaj termékenységében kiemelkedő szerepe van a talaj vízgazdálkodásának. A Szigetközben a talajképződés alapanyagát szinte teljes mértékben a folyóvízi üledékek képezték. Jellemző a nagy vertikális és horizontális változatosság. Meghatározók a humuszos öntés, a réti talajok és a terasz csernozjom talaj. A többletvíz-hatással rendelkező területeken a fedőréteg vízutánpótlása a talajvízből évi 100–150 mm (Várallyay 1992). A talajok vízháztartásának alapvető mérőszáma a talajnedvesség, amely definíció szerint az a vízmennyiség, amelyet a talaj időjárás által érintett legfelső rétege tartalmaz (Hillel, 1982). A talajok vízháztartása a hidrológiai ciklus részeként az éghajlati rendszer egyik fontos eleme (Entekhabi et al., 2010). Emellett hatással van a természetes erdőtársulásokra és az erdőgazdálkodás volumenének alakulására is. Egy erdőterület talajnedvességét az ökohidrológiai folyamatok kritikus változójának tekintjük, amely jelentős hatással van a növényzet növekedésére, a lefolyás alakulására, a szárazföld-légkör kölcsönhatásokra, valamint a szén- és vízkörforgás alakulására is (Xu et al., 2022). A talajnedvesség anomáliák az extrém időjárási eseményeket, pl. aszályokat, árvizeket, vagy nyári hőhullámokat is fenntarthatják vagy erősíthetik, ami fontos a szezonális időjárás-előrejelzések tekintetében (Hohenegger et al., 2009). Ebből kifolyólag jelen tanulmány célja, hogy

jellemezze a 2021. évi talajnedvesség alakulását Szigetközben úgy, hogy összehasonlíttja a terepi bejárások alkalmával elvégzett pontmérések eredményeit, az 1995 és 2012 közötti Szigetközi Környezeti Monitoring során nyert eredményekkel.

2. SZAKIRODALMI ELŐZMÉNYEK RÖVID ÁTTEKINTÉSE

2.1. A Szigetköz tájféldrajzi tulajdonságai

Magyarország kistájainak katasztere (Dövényi 2010) a következőket írja le a területről: a Szigetköz a Kisalföld nagytájának, azon belül is a Győri-medencének, mint középtájnak Szigetköz nevű kistája (1. ábra). Magyarország területének 0,4%-át, a nagytáj 7,2%-át, míg a középtáj 15,3%-át teszi ki. 395 km²-es területi kiterjedésével Magyarország legnagyobb szigetének is nevezhetjük. Lejtési viszonyait vizsgálva két részre osztható a Szigetköz területe (Felső- és Alsó-Szigetköz). Teljes szárazföldi magassága északnyugaton 115-125 m, délkeleten 110-115 m között van. Legmagasabb pontja Sérfenyősziget mellett található, mintegy 126 m, míg legalacsonyabb pontja Ásványráró mellett helyezkedik el (110 m). Szigetköz két vége Rajka és Vének magasságát vizsgálva 15 m-es térszíni esés tapasztalható, melyből 10 m jut a Felső-Szigetközre, míg 5 m az alsó területekre.



1. ábra. A szigetközi alegység földrajzi elhelyezkedése
(Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 2016)

2.1.1. A szigetközi vízháztartást meghatározó adottságok

Domborzati viszonyok: Szigetköz a Duna kisalföldi hordalékkúpjának gerincén helyezkedik el, ahol a durva szemcseméretű allúviumon legyezőszerűen szétágazó és összefutó fonatos folyószakasz alakult ki. A Duna közvetlen tájalakító hatása az egész Szigetközben, a Mosoni-Dunáig kiterjed (Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság 2016). A szigetközi kistáj területét tekintve többségében alacsonyártéri, tökéletes síkságnak tekintendő. A folyószabályozás következtében előálló árvédelmi töltések elkülönítik a területet hullámtérre és mentett oldalra, ahol egyaránt megtalálhatóak az egykori folyómedrek és azok maradványai is, melyek belvízlevezető és vízpótló csatornaként funkcionálnak jelenleg is, másik részük pedig lefűződő mellékág, illetve feltöltött és beszántott területek. A domborzat a területhasznosítást a

talajvízmélység révén befolyásolja, ami már kisebb magasságkülönbség esetén is érezhető (Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság 2016).

Éghajlati jellemzők: Szigetköz éghajlata mérsékelten hűvös (ÉNy-i rész) és mérsékelten meleg (DK-i rész). Napfénytartam 1900 és 1950 óra között alakul, mely nyáron 770 óra körüli, télen mintegy 190 óra napfénytartamra oszlik. Az évi középhőmérséklet 9,7 °C - 10,0 °C közé esik (Dövényi 2010). A csapadék évi összege általában 650 mm körüli, a tenyészidőszak csapadéka 330 mm, a téli félévé 253 mm körül alakul. A legcsapadékosabb hónap a június és a július, (átlag 72 mm), a legkevesebb csapadék januárban hullik (35 mm) (Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 2016). A téli hótakarós napok átlagos száma 30 nap körül alakul. Az uralkodó szélirány leggyakrabban ÉNy-i, melynek átlagos szélessége 3 m/s körüli, relatív gyakorisága pedig 35% körül tendál. A mosonmagyaróvári szélesség-megfigyelések alapján megállapítható, hogy Magyarország egyik legszelesebb vidéke a Szigetköz.

Földtan és talajtan: a kistáj szerkezetileg jelenleg is süllyedő fiatal medencerészlet, amit a Duna hordalékkúpja tölt ki (Dövényi 2010). Szigetköz talajképző kőzete a lerakódott üledék, a Duna által lerakott fiatal, jellemzően homokos-iszapos öntésképződmények. Emellett a területen aktuálisan előforduló talajtípusok kialakulásában a geológiai viszonyok is fontos szerepet játszottak. A táj talajképző kőzetét a legfelső üledék adja, mely nem tekinthető egységesnek, összetétele alapján pleisztocén korú, löszös, alsó pleisztocén kavics, öntéshomok, öntésiszap. Ezek közös jellemzője a könnyű mechanikai összetétel mellett a karbonátos jelleg, mely a szerves anyagok felhalmozódása révén kedvező humuszanyagok képződéséhez vezetett. A hullámtéren a talajképződés fontos meghatározója a napjainkra már csak alkalmanként jelentkező árvízi elöntések. Az árvízmentes és felszínközeli talajvízszintű területeken a réti folyamatok a meghatározóak, míg a mélyebb talajvízű területeken már a csernozjom talajképződési folyamatok érvényesülnek (Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság 2016).

Vízföldtan: a képződés során több ezer méter mélységbe süllyedt alaphegység miatt, a kristályos kőzetek vízzáróak, azok felett pedig nagy vastagságban kitöltő üledékek rakódtak le. A felső pannon homokrétegek jó vízáteresztő képességének és a kedvező geotermikus adottságoknak köszönhetően ezekből termálvíz is nyerhető. E felett pleisztocén folyóvízi üledékek települtek több száz méter vastagságban, amik nagy mennyiségű vizet tárolnak (Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság 2016). A szigetközi talajvízszintek alakulása a felszín alatti víz áramlási és utánpótlódási viszonyainak függvénye. Jellemzően befolyásolja a csapadékból történő beszivárgás, párolgás, a folyóból történő utánpótlódás és elszivárgás, illetve a felszín alatti áramlással érkező vizek mennyisége. A terület földtani felépítése miatt nehezen lehet különválasztani a talajvíz- és a rétegvízszintet, mivel nincs vízzáró réteg az üledék összetételében a rétegvízszint felett (Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság 2016).

2.1.2. A legfontosabb szigetközi víztestek és vízbázisok jellemzése

A kistajat egyedülálló módon, egy folyók által lehatárolt területtel határozzuk meg, melyet északról a Duna (Öreg-Duna, Nagy Duna), nyugatról a Lajta, valamint szintén nyugatról és délről a Mosoni-Duna határol. Északról a Duna (más néven: Nagy-Duna vagy Öreg-Duna) határolja

le a Szigetközt mintegy 57,6 km-es hosszúságban, míg annak déli határát a Mosoni-Duna jelenti, mely a szlovákiai Oroszvár (Rusovce) és Dunacsún (Čunovo) között ágazik ki a Dunából és 125 kilométer megtétele után Véneknél ömlik vissza a fő folyóba. Mivel a többi folyó nem rendelkezik akkora vízhozammal - és azok is főképp az Öreg-Duna állapotától függenek - azok felszínformáló hatása is csupán töredéke a fő folyóénak. A szigetközi alegység területén 10 db felszíni víztest és 2 db felszín alatti víztest található. A felszíni víztestekből 9 db vízfolyás, míg 1 db állóvíz, melyek a következő vízgazdálkodási besorolások szerint oszlanak meg: folyó (Duna, Lajta), mentett oldali holtág (Lipóti-morotvató), mellékág (Mosoni-Duna felső, Mosoni-Duna középső, Mosoni-Duna alsó, Szigetközi HTVP főág), kettős működésű csatorna (Rét-árok, Szigetközi Mentett Oldali Vízpótló Rendszer) és belvízcsatorna (Szivárgócsatorna) (Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság 2016).

2.2. A talaj vízháztartásának jellemzői és összefüggései

A talajok a szárazföldi növények számára vizet és tápanyagforrást biztosító élőhelyek (Rajkai 2004). A talaj vízháztartása meghatározza a talaj levegő- és hőgazdálkodását, biológiai tevékenységét és – ezeken keresztül – annak tápanyag-gazdálkodását is. Hat a talaj technológiai tulajdonságaira és sokféleségére, meghatározva ezzel egyes agrotechnikai műveletek szükségességét, optimális időpontját, ill. lehetséges időtartamát, gépigényét, energiaszükségletét (Várallyay 2008). Végül meghatározza, hogy a talaj, az ökoszisztéma, vagy a terület a környezet „stresszhatásait” milyen mértékig képes pufferni, s melyek a túrés határt meghaladó „terhelés” esetén a talajban vagy a talajjal érintkező felszíni vagy felszín alatti vízkészletekben várhatóan bekövetkező károsodások rövid vagy hosszú távon, az adott területen vagy annak környezetében (Várallyay 1987).

2.2.1. A talajnedvesség és a pórustér viszonya

A talaj szilárd fázisát az ásványi és/vagy élő/holt szerves anyagok együttese adja. A szilárd fázisok közti teret pórustérnek nevezzük, melyet víz (talajoldat) vagy levegő tölt ki. A növényi vegetáció, így a szántóföldi növénykultúra számára is az az ideális arány, ha a pórustér kétharmadát vagy háromnegyedét víz, a fennmaradó tér egyharmadát vagy egynegyedét pedig levegő tölti ki. Amennyiben ez az arány felborul, akkor vízhiány vagy víztöbblet jelentkezik, mely előbbi esetében aszályt, utóbbi esetében pedig belvizet eredményez. A víz- és levegőgazdálkodást alapvetően meghatározza a pórusok összterfogata és a szilárd fázis között kialakuló különféle méretű hézagok aránya (Stefanovits et al. 1999). Egységnyi talajban, a pórustert alkotó pórusok, azaz a szilárd részek által lehatárolt köztes tér összes terfogatának mértékét összporozitásnak nevezzük. A homoktalajok esetében összporozitási érték 40%-ra tehető, a vályogtalajoké 45%, az agyagtalajoké pedig 55% körüli. Stefanovits (1999) szerint a vízgazdálkodási szempontokat figyelembe véve a szilárd talajszemcsék közti pórusteret az alábbi mérettartományokra lehet felosztani: 0,0002 mm (0,2 mikrométer) alatti, 0,0002- 0,01 mm közötti, 0,01- 0,05 mm közötti és 0,05 mm fölötti. A talaj pórusrendszerét alkotó hézagok alakja közel sem szabályos, így a megadott átmérő-paraméterek csak átlagnak tekinthetők. Stefanovits (1999) úgy fogalmazza ezt meg, hogy a talajpórusokat a velük azonos víztartó képességű, szabályos henger alakú kapilláris csövek átmérőjével jellemezzük. Általános konzekvencia, hogy a nagyobb talajszemcsék között jelentősen több a nagyobb átmérővel rendelkező hézagok kiterjedése, míg ezzel szemben az agyagban jellemzően a kisebb pórustér a jellemző. Akkor és amennyiben a nagyobb pórusokban levegő, a kisebbekben pedig víz van, akkor azt a

vízmennyiséget talajnedvességnek nevezzük. A mezőgazdasági növénytermesztés szempontjából a talajnedvességet két megkülönböztetett vízmennyiség képviseli: szabadföldi vízkapacitás és holtvíz. Az egyes vizsgálati körülmények között megkülönböztetjük a szabadföldi, a maximális és a minimális vízkapacitás mértékét, mely utóbbi kettőt laboratóriumi körülmények között lehet megállapítani (1. táblázat). Vagyis, a talaj nedvességtartalma annál nagyobb, minél kisebbek a talaj szemcséi, de fontos azt is megjegyezni, hogy a nedvességtartalom a talajfajtától és a rétegzettségtől is függ. A talajnedvességet képviselő másik vízkategória inkább a talaj–víz–növény kapcsolatrendszerben játszik meghatározó szerepet növényéletteni szempontból. Ugyanakkor a holtvíztartalom fogalmának megértéséhez megkülönböztetik még a hasznosítható vízmennyiséget is.

Fizikai talajfé- leség	Szabadföldi vízkapacitás	Hasznosítható (diszponibilis) víz	Holtvíz	Hasznosítható (diszponibilis) víz	Holtvíz
	Térfogat%			A szabadföldi vízkapacitás %-ában	
Homok	10	8	2	80	20
Vályog	31	16	15	51	49
Agyag	46	13	33	28	72

1. táblázat. A szabadföldi vízkapacitás, a diszponibilis víz és a holtvíz különböző talajokban
Forrás: Stefanovits et al. 1999 alapján, saját szerkesztés

2.2.2. A talajnedvesség és a vízháztartási mérleg

Egy adott talaj vagy talajmetszet vízháztartásának meghatározása a víz összehasonlító alapon történő mérlegelésének módszerével történik. Vagyis, ha számszerűsítjük az input (beáramló/bejövő) és az output (kiáramló/kilépő) vízmennyiségek mértékét, akkor azokat aktív és passzív tényezőkre is tudjuk csoportosítani:

- **aktív tényezők/befolyás komponensei:** csapadék, felszíni hozzáfolyás, felszín alatti hozzáfolyás, antropogén import (bevezetett víz, öntözés);
- **passzív tényezők/kifolyás komponensei:** evaporáció + transzspiráció (evapotranszspiráció), felszín alatti elfolyás, felszíni elfolyás, antropogén export (elvezetett víz, vízkivétel, kút);
- vagyis a vízmérleg megközelítés alapösszefüggése a hidrológiai egyenlet, mely megemlíti még a tározást is:

$$\text{Befolyás} = \text{Kifolyás} \pm \text{Tározás (Akkumuláció)}$$

- **tározás (készletváltozás):** a felszín alatti vízmennyiség megváltozása, amely lehet a talajnedvesség, a vízszint vagy a vízhozam megváltozásának eredménye.

2.3. A talajnedvesség fogalom- és tárgyköre

A talaj alapvetően porózus szerkezetű és az adott talajtípustól függően alakul az arra jellemző porozitási érték. Ugyanakkor a talajban lévő víz mennyisége egyáltalán nem tekinthető állandónak sem időben, sem pedig térben. Ez a fokozott változékonyság főképp környezeti hatásokra változik, melynek dinamikája és mértéke az adott talajra és az abban uralkodó természetes, féltermészetes és antropogén folyamatok sebességének és irányának eredményeképpen áll elő. A talajnedvesség fogalmát a szakirodalom többféle formában határozza meg.

Boronyák (2018) szerint azt a vízmennyiséget értjük, ami a talaj telítetlen szeletében helyezkedik el, azaz a felszín és a talajvíz szintjei között, ugyanakkor Koltai (2003) a talaj nedvességtartalma alatt a talajban levő víz (pontosabban különböző töménységű és összetételű vizes oldat) mennyiségét érti. A talajnedvesség változása és a változékonyság mértékének meghatározása nélkülözhetetlen a táji folyamatok megismeréséhez (Somlyódy 2011), valamint a használati mód, az esetleges rehabilitációs és a revitalizációs lépések megtervezéséhez (Stanturf et al. 2012). A talajok vízgazdálkodását a bennük tárolható víz mennyisége, annak mozgékonyasága (növények általi felvehetősége), valamint a nedvesség térbeli és időbeli változása alapján lehet jellemezni (Stefanovits et al. 1999). A vízpótló beavatkozások sikeres végrehajtásában, a fenntartható árterhasználatban, illetve annak ökológiai szemléletű kivitelezésében elengedhetetlen a talajnedvesség dinamika eloszlásának ismerete (Koltai et al. 2019). A helyes vízgazdálkodás döntő szereppel bír egy talaj termékenységének megőrzésében, hiszen közvetve vagy közvetlenül meghatározza az adott talaj biológiai aktivitásának mértékét és befolyásolja a természetett hasznos növény víz- és levegőellátását. A talajnedvességet az különbözteti meg a talajvíztől/kétfázisú talajtól, hogy utóbbiról akkor beszélünk, ha a talajhézagok mindegyikét, vagy legalábbis túlnyomó többségét víz tölti ki, ekkor voltaképpen megszűnik a talaj háromfázisú mivolta. Stefanovits (1999) szerint a talajnedvesség (a folyékony fázis) közvetlen kapcsolatban áll a talaj szilárd és légnemű fázisával, valamint a növény gyökérrendszerével. A talaj termékenységére gyakorolt hatása elsősorban három tényezőtől: a talajnedvesség mennyiségétől, a nedvesség mozgékonyaságától és kémiai összetételétől függ.

2.3.1 A talajnedvesség számszerűsített mértékének kifejezése

A talaj nedvességtartalmát több különböző mértékegységekben egyaránt meg lehet határozni. Kifejezhetjük:

Nedvességtartalom tömeg%-ban ($m/m\%$): az adott talajminta szárítás előtti és utáni tömegkülönbségének és a szárított minta tömegének hányadosa 100 g talajra vonatkoztatva (tömeg %-ban). Legegyszerűbben e módon határozható meg a talajnedvesség mértéke.

Nedvességtartalom térfogat%-ban ($tf\%$): a talajnedvesség térfogatszázalékban kifejezett értéke azt mutatja, hogy 100 cm³ talajmintában hány cm³-nyi nedvesség van, mely nedvességtartalom tömeg%-nak és a talaj térfogattömegének (g/cm³) szorzata. Stefanovits (1999) megemlíti még, hogy egyes gyakorlati feladatok megoldásához ismerni kell a talaj **mindenkori vízkészletét** mm-ben is (θ_{mm}). $1 \theta_{tf\%} = 1$ mm nedvességet jelent 10 cm vastag rétegben, a $\theta_{tf\%}$ számértéke egyben megadja a 10 cm vastag rétegben tárolt nedvességtartalmat mm-ben. A nedvességtartalom kifejezhető még m³/ha-ban is.

A talajnedvesség vizsgálatánál további fontos paraméterek még:

Víztelítettségi % (relatív víztartalom%): ez a mutató a talaj levegőellátottságát, azaz a víz és a levegő arányát fejezi ki a talajpórusokban. Ehhez szükséges a térfogat%-ban kifejezett nedvességet az összporozitás %-ában kifejezett értékével hányadost képezni, mely megadja az ún. víztelítettségi mutatót/relatív víztartalmat ($VT\%$ vagy $RV\%$).

A talajból növények által felvehető vízmennyiség (Plant Available Water): mennyiségét úgy számítják ki, hogy a teljes potenciális talajnedvességből (telítettség) kivonják a növények hervadási időszakában fellépő nedvességértéket, mivel az ezen kívül jelenlévő nedvességet a talaj annyira leköti, hogy az már nem érhető el a vegetáció számára (Dorigo et al. 2011).

Jelen dokumentumban a vizsgálat során felhasznált adatok, továbbá a 2021-es évben elvégzett talajnedvességi mérések számadatainak mértékegysége térfogat%-ban kifejezett mutatók, ahol egy térfogat% 1 mm összes nedvességet jelent 10 cm vastag talajrétegben, ennél fogva az adott vastagságú talajrétegben és mintavételi pontokban lévő víz mennyisége könnyen kiszámítható, elemezhető és összehasonlítható.

2.3.2. A talajnedvesség „in situ” mérési módszerei

Napjainkra számos tudományterület igényel és egyben alkalmaz is talajnedvesség-adatokat, köztük az alkalmazott hidrológia, az agrometeorológia, az aszálymonitoring vagy a precíziós mezőgazdaság gyakorlati technológiai megoldásai. A talajnedvesség kifejezésére szolgáló mértékegységek gyakorlati alkalmazása azonban még nem nyújt kellőképp reprezentatív információkat egy adott talaj nedvességi viszonyainak meghatározhatóságára. A bevezetett mérőszámokon túl elengedhetetlen tisztázni, hogy a talajnedvesség mérését a talaj mely szegmensén végezzük, főként a geometriai kiterjedésre gondolva. Ez azért fontos, mivel a talajnedvesség nem csak horizontálisan, hanem vertikálisan is erősen ingadozik (Dorigo et al. 2011). Az in situ monitoring hálózatokból jelenleg rendelkezésre álló talajnedvesség-adatok többsége azonban egyetlen talajtakaró-típus, jellemzően gyep állapotát tükrözi, azonban a talaj-, talajvíz- és talajnedvesség viszonyok más közeli talajtakaró-típusok (például szántóföldek vagy erdők esetén) jelentősen eltérhetnek ezektől a mért értékektől (Wyatt et al. 2021). Az elmúlt évtizedek során jelentősen megnövekedett az igény a talajnedvességi paraméterek mérésére, az effajta adatok szolgáltatására. A megoldást a talajnedvesség közvetlen mérése jelentheti, mivel a műszerek elhelyezésük után azonnal képesek adatot szolgáltatni egy adott, néhány négyzetméteres területről (Wu- Liu 2012).

Annak ellenére, hogy ma már számos gyors, modern módszer (neutronszóródásos, gammaradációs módszer, tenziométerek, gipsz- vagy nejlonblokkos készülék stb.) alkalmazható a talaj nedvességtartalmának megállapítására, laboratóriumi munkáknál ma is a klasszikus és igen pontos gravimetriás (szárítószekevényes) eljárás a legelterjedtebb. Ezzel a módszerrel a talajminta nedves tömegének és 105–110 °C-on történt szárítása után mért tömegének különbségéből állapítjuk meg a nedvességtartalmat (Stefanovits et al. 1999). A mérési elv megválasztása alapján két nagy területről, a mintavételes – és az „in situ”, azaz terepi mérésből származó adatgyűjtésről beszélhetünk. A talajnedvesség mérésére szolgáló módszereket alapvetően két-két nagy csoportra oszthatjuk.

A mérés lebonyolításának módszereit meghatározva lehet laboratóriumi vagy helyszíni egy mérés, de a vizsgált talaj állapotának jellemzői is (bolygatott, bolygatatlan) meghatározzák azt, hogy mérésünk közvetve vagy közvetlenül szolgáltat eredményeket. Előbbi olyan fizikai paramétert mér, mely a víz mennyiségével van szoros összefüggésben (elektromos ellenállás, elektromos kapacitás stb.), míg utóbbi magát a víz mennyiségét méri. Említés szintjén még felsorolhatók a következő egyéb módszerek: távérzékelésen alapuló eljárások, karbidos módszer, klorimetrikus módszer, rádiófrekvenciás elektromágneses hullámok terjedésén, valamint mikrohullámú sugárzás mérésén alapuló módszerek.

3. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

A talajnedvességi állapot vizsgálataiba négy szigetközi mérőhelyet vontunk be, melyeken a talajnedvességi mérések a Szigetközi Környezeti Monitoring részeként rendszeresen monitorozásra kerültek. Az elvégzett elemzések során az 1995-2012 közötti mérések adatbázisát vettük alapul, melyet a 2021-es tárgyévben elvégzett monitorozás során nyert adatok vizsgálatának

eredményeivel hasonlítunk össze. A 2. táblázat a vizsgált mérőpontok földrajzi elhelyezkedésének fontosabb paramétereit jelöli.

Régi szám	Térképi jel	Észlelési hely	A mérések kezdete	EOVY	EOVX	WGS szélesség	WGS hosszúság
2617	T-03	Dunakiliti 16	1992	520279	291287	47-57-08.053	17-18-38.387
4501	T-09	Püski P14	1994	527630	284374	47-53-29.427	17-24-39.568
9994	T-16	Dunasziget 22B	1995	527295	288539	47-55-44.017	17-24-19.231
9972	T-17	Dunasziget 15D	1995	526473	290847	47-56-58.163	17-23-37.288

2. táblázat. A talajnedvességi mérőpontok geográfiai jellemzői

Adatok forrása: Szigetközi Környezeti/Ökológiai Monitoring Program¹ alapján, saját szerkesztés

A vizsgált terület folyóközeli, ártéri területein az egykori lefűződött folyómedrekben, a morfológiailag alacsonyabb térszíneken az energiáját vesztett folyó lerakja a hordalékot. A felszínközeli talajvízszintek és az említett szukcessziós folyamatok elősegítik a szerves anyag felhalmozódását. Azonban a többletvízhatás miatt az év jelentős részében reduktív viszonyok uralkodnak, melyek gátolják a valódi humuszosodást (Nagy, 2020).

T-03-as mérőpont (Dunakiliti): a talajnedvesség mérőhely Dunától mért távolsága közel 4 km, Dunakiliti község határában található a mentett oldali vízpótlást biztosító rendszer részét képező Zátonyi Duna-ág jobb partján. Az érintett terület területhasználati szempontból szántó művelés alatt áll. A mérőpont talajtípusa humuszos öntéstalaj, amely vályogra, homokra, durva homokra, vaskiválást tartalmazó homokra, iszapra és iszapos homokra tagolódik. Az adott körülmények között alkalmazható maximális vizsgálati mélység 300 cm.

T-09-es mérőpont (Püski): Püski község határában elhelyezkedő mérőhely Dunától mért távolsága megközelítőleg 2 km. A mérőpont talajtípusa humuszos öntéstalaj, amely vályogra, iszapos vályogra, iszapos homokra és több, mint 50%-nyi kavicsot tartalmazó homokra tagolódik. A 145 cm-es mélység alatt már homokos kavics található, ebből kifolyólag a maximálisan alkalmazható vizsgálati mélység 140 cm.

T-16-os mérőpont (Dunasziget): hullámtérben elhelyezkedő erdészeti megfigyelőhely, mely közigazgatásilag Dunasziget külterületén található. A mérőpont talaját vastag fedőrétegű karbonátos humuszos öntéstalaj képezi, így talajtípusa humuszos öntéstalaj, amely agyagos vályogra, vályogra, vaskiválást tartalmazó homokra, homokra és durva homokra tagolódik. Az adott körülmények között alkalmazható maximális vizsgálati mélység 300 cm.

T-17-es mérőpont (Dunasziget): hullámtéri erdészeti megfigyelőhely, mely földrajzilag Dunasziget külterületén található. A mérőpont talajtípusa humuszos öntéstalaj, amely homokos vályogra, homokra és több, mint 50%-nyi kavicsot tartalmazó homokra tagolódik.

Az egyes vizsgálati pontokon elvégzett mérések BR150 típusú, kapacitív elven működő mélyszondás műszerrel történtek. A mérési időszak a vegetációs időszakban kéthetes időközönként, a vegetációs időszakon kívül pedig havi rendszerességgel került kialakításra. Az alkalmazott BR150 típusú műszer mérőfrekvenciája 80 MHz, ahol a nedvességtartalom mérése oszcillátor frekvencia-változáson alapszik. A terepi bejárásokon elvégzett vizsgálatok során az esz-

¹ Szigetközi Ökológiai Monitoring Program: Jelentések – Nemzeti jelentések: Talajnedvesség. Elérhető: <http://szigetkozimonitoringprogram.hu/node/295> (A letöltés dátuma. 2021.11.21.)

köz a talajfelszíntől 10 cm-es rétegenként mér és szolgáltat adatokat, mely az adott réteg nedvességtartalmát térfogatszázalékban (tf%) fejezi ki. A Szigetközi Monitoring Program 2018-as újraindításaként, több vizsgálati ponton Campbell CS616 nedvességmérők kerültek kihelyezésre, ezáltal a talajnedvességi viszonyok alakulása automatizáltan és programozottan nyomon követhető. A terepi bejárások során nyert primer adatok feldolgozását követően vált lehetősség az egyes szekunder adatok előállítására, és azok összehasonlítására. Vizsgálataink során meghatároztuk az összehasonlító időszak egyes szelvényeinek átlagos talajnedvességi értékét, így ebből származtatva annak vertikális eloszlásának alakulását. A középértékeken túlmenően, megvizsgálásra kerültek a minimális és maximális talajnedvességi-értékek, a változás értékek alakulása, valamint az egyes eloszlások lineáris regressziós egyenlete szerinti tendenciális megfelelés mértéke is.

4. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

4.1. A mérőhelyek típusazonos összehasonlító elemzése: szántóterület

4.1.1. T-03-as mérőpont (Dunakiliti) talajnedvesség eloszlása

Az 1995. évi átlagos talajnedvességi érték nagysága 21,5 tf% volt a vizsgált talajréteg felső 1 méteres rétegében. A maximális talajnedvességi átlagérték 24,3 tf% volt, míg a minimális átlagérték 18,2 tf%-ra volt kimutatható. Az 1,1 és 3,0 méter közötti talajmélység évi átlagos értéke e tekintetben 20,8 tf%, ahol a maximális átlagérték 42,8 tf%, míg a minimum érték 6,67 tf% körül tendált. Az egész éves átlagos vertikális talajnedvesség-eloszlás mértéke mindösszesen 21,06 tf%-ra számítható.

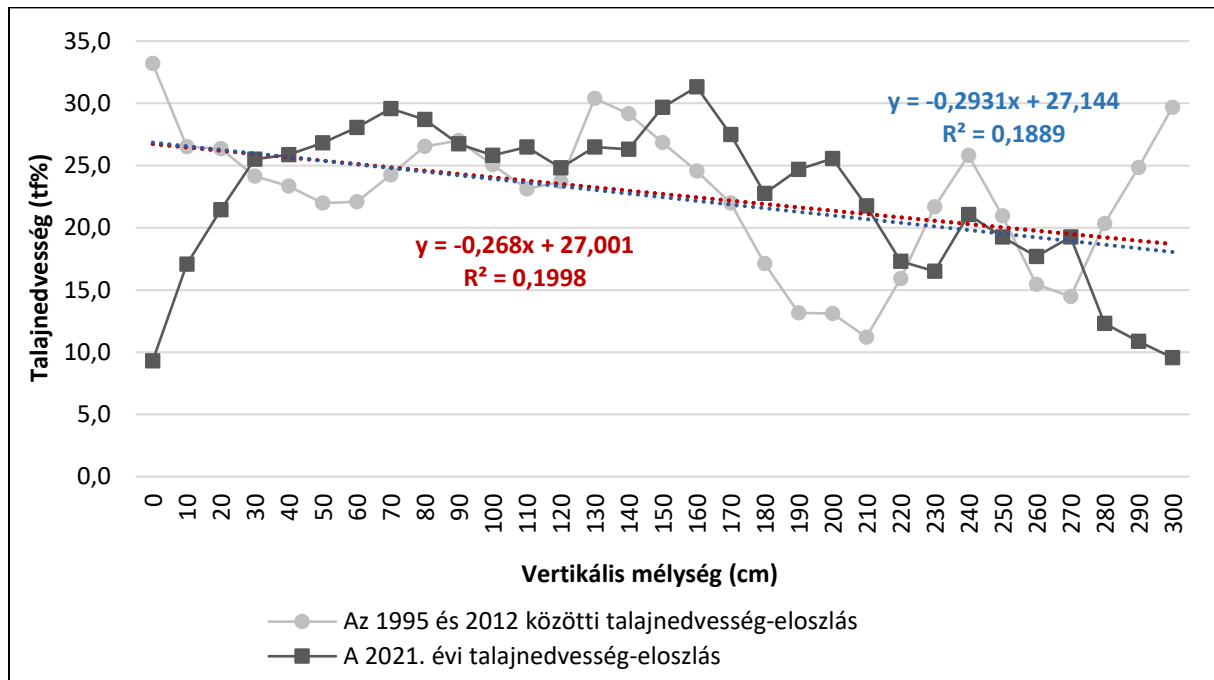
A 2012. évi átlagos talajnedvességi érték nagysága 23,7 tf% volt a T-03-as mérőpont talajrétegének felső 1 méteres zónájában. A maximális talajnedvességi érték átlagos nagysága 32,5 tf%, míg a minimális talajnedvesség mértéke 21,2 tf%. Az 1,1 és 3,0 méter közötti mélységben az átlagos éves érték meghaladta a 18,5 tf%-ot, ahol az átlagos maximum nagysága 31,5 tf%, míg a minimum 8,03 tf% volt. Az egész éves átlagos vertikális talajnedvesség-eloszlás mértéke 20,3 tf%-ra számítható.

A 2. ábra az 1995 és 2012 közötti időszak átlagos értékeinek alakulását hasonlítja össze a 2021-es vizsgálati év adataival. A mérőhely felső 1 méterig terjedő rétegének talajnedvességi eloszlásának átlagos értéke az 1995-2012 közötti időszakban 24,7 tf% volt. Az átlagos maximum nagysága 27,0 tf%, míg a minimum értéke 22,0 tf%. Ezzel szemben az 1,1-3,0 méter közötti zónában a talajnedvesség vertikális eloszlásának átlagos értéke 21,2 tf%, ahol a maximum érték 30,4 tf%, míg a minimum 11,2 tf%. *A vizsgált időszak két határévének átlagos talajnedvességi állapotértékei között +4,64%-os növekedés ment végbe.* Az átlagos adatsor lineáris regressziós egyenlete: $y = -0,268x + 27,001$, a kapcsolaterősség kifejezésére szolgáló determinációs együttható nagysága: 0,1998.

2021-ben a 0 és 100 cm közötti talajréteg egész éves átlagértéke 24,1 tf%, melynek maximumát a 2021. március 9-i terepi bejárás során, a 30 cm-es mélységű rétegből mutattuk ki, pontos értéke 36,0 tf%. A helyi minimumot, 2,00 tf%-ot a 2021. július 6-i mérés során mutattuk ki a legfelső 10 cm-es zónából. Az 1,1-3,0 méter közötti talajzónában a talajnedvesség éves átlagértéke 21,6 tf% volt. A mérőpont ezen mélységi tartományának helyi maximuma 34,0 tf%, melyet több mérési alkalommal is sikerült kimutatnunk. A 2021-es minimum érték 7,00 tf%. Az egész éves átlagos vertikális talajnedvesség-eloszlás mértéke mindösszesen 22,5 tf%-ra számítható. Az adatsor lineáris regressziós egyenlete:

$$y = -0,2931x + 27,144,$$

a kapcsolaterősség kifejezésére szolgáló determinációs együttható nagysága: 0,1889. A vizsgált 2021-es időszakban végzett mérésekből származó adatsor, továbbá az 1995 és 2012 közötti átlagos értékek közötti változás állapothatározói alapján a változás nagysága +5,89%-os növekedés volt.



2. ábra. A talajnedvesség-eloszlás összehasonlítása a T-03 mérőponton

Adatok forrása: Szigetközi Környezeti/Ökológiai Monitoring, saját mérések alapján

4.1.2. T-09-es mérőpont (Püski) talajnedvesség eloszlása

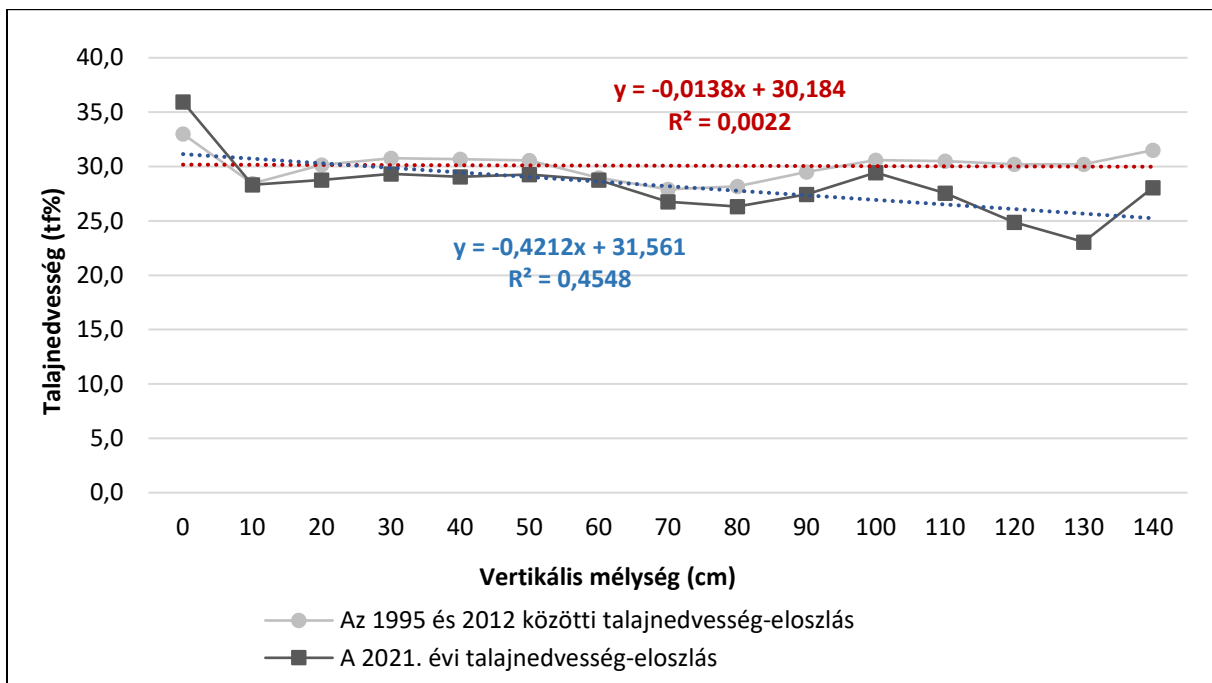
A vizsgált időszak kezdeti évére jellemző egész éves átlagos talajnedvesség-eloszlás érték 33,2 tf%-ra volt kimutatható Így az 1995. évi átlagos talajnedvesség maximális értéke a vizsgált talajszelelvény felső 1 méteres zónájában 34,2 tf%-ra volt tehető. Ezzel párhuzamosan a minimális érték is viszonylag magas értéken körvonalazódott, annak pontos mértéke 31,8 tf%. A felső 1 méteres átlagos érték 33,3 tf%. Az 1,1-1,4 méter közötti talajmélységben a talajnedvesség maximális átlagértéke 34,8 tf%, míg a minimum érték 31,8 tf%. Az évi átlagos érték 32,9 tf%.

A T-09-es mérőpont talajszelelvényének 2012. évi átlagos értéke 21,7 tf%. A felső 1 méteres réteg átlagos értéke 23,9 tf%, míg az 1,1-1,4 méter közötti eloszlás átlagos értéke 15,7 tf%. Előbbi esetén a maximum érték 32,0 tf%, míg a minimum 17,3 tf% körül tendált. Utóbbi esetén a maximum érték 18,8 tf%, míg a minimum 12,4 tf% volt.

A 3. ábra az 1995 és 2012 közötti időszak átlagos értékeinek alakulását hasonlítja össze a 2021-es vizsgálati év adataival a T-09-es mérőhely mintáján keresztül. A mérőhely felső 1 méterig terjedő rétegének talajnedvességi eloszlásának átlagos értéke az 1995-2012 közötti időszakban 29,6 tf% volt. Az átlagos maximum nagysága 33,0 tf%, míg a minimum értéke 27,9 tf%. Ezzel szemben az 1,1-1,4 méter közötti zónában a talajnedvesség vertikális eloszlásának átlagos értéke 30,6 tf%, ahol a maximum érték 31,5 tf%, míg a minimum 30,2 tf%. A vizsgált mérőpont átlagos talajnedvességi állapotértékei között -36,8%-os visszaesés volt kimutatható az 1995. és a 2012. évet elemezve. Az átlagos adatsor lineáris regressziós egyenlete: $y = -$

$0,0138x+30,184$, a kapcsolaterősség kifejezésére szolgáló determinációs együttható nagysága: $0,0022$.

2021-ben a 0 és 100 cm közötti talajréteg egész éves átlagértéke $29,0$ tf%, melynek maximum értékét a 2021. március 9-i mérés során, a 0 cm-es mélységű rétegből mutattuk ki, pontos értéke $45,0$ tf%. A felső 1 méteres zóna helyi minimumát ($23,0$ tf%) a 2021. április 27.-i terepi bejárás alkalmával mutattuk ki a 80 cm-es rétegből. Az 1,1-1,4 méter közötti talajmélységben a talajnedvesség éves átlagértéke $25,9$ tf% volt. A vizsgált zóna maximuma $34,0$ tf%, melyet a 2021. március 25-én mutattunk ki a 110 cm-es rétegből. A vizsgálati év minimum értékét ($15,0$ tf%-ot) 2021. július 20-án mértük a 130 cm-es mélységből. Az egész éves átlagos vertikális talajnedvesség-eloszlás mértéke mindösszesen $28,2$ tf%-ra számítható. Az adatsor lineáris regressziós egyenlete: $y = -0,4212x + 31,561$, a kapcsolaterősség kifejezésére szolgáló determinációs együttható nagysága: $0,4548$. A vizsgált 2021-es időszakban végzett mérésekből származó adatsor, továbbá az 1995 és 2012 közötti átlagos értékek közötti változás állapothatározói alapján elmondható, hogy az egész évre vonatkozó változás mértéke és iránya: $-6,30\%$ -os csökkenés.



3. ábra: A talajnedvesség-eloszlás összehasonlítása a T-09 mérőponton

Adatok forrása: Szigetközi Környezeti/Ökológiai Monitoring, saját mérések alapján

4.2. A mérőhelyek típusazonos összehasonlító elemzése: erdészeti megfigyelőhely

4.2.1. T-16-os mérőpont (Dunasziget) talajnedvesség eloszlása

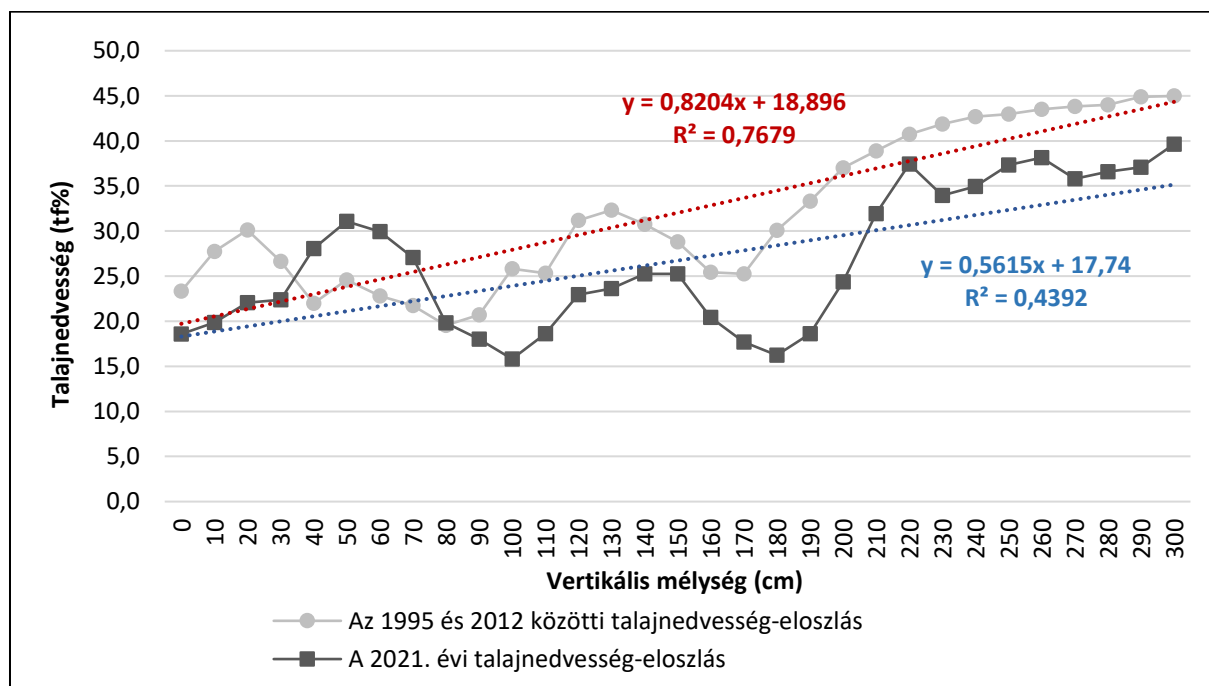
A T-16-os mérőhely 1995. évi átlagos vertikális talajnedvesség-eloszlás mértéke $27,5$ tf%. A felszín alatti felső 1 méteres talajzóna átlagos értéke $16,5$ tf% volt, melynek maximuma átlagosan $21,8$ tf%-on, minimuma pedig $10,3$ tf%-on volt datálható. Ezzel párhuzamosan az 1,1 és 3,0 méter közötti zóna átlagos értéke $32,9$ tf% volt, ahol a maximum érték $47,0$ tf%-on, míg a minimum érték $14,2$ tf%-on volt kimutatható.

A vizsgált talajszelvény 2012. évi átlagos eloszlása a teljes évre vonatkozóan $29,0$ tf%. A felső 1 méteres talajréteg értéke $20,1$ tf%, míg az 1,1-3,0 közötti zóna $34,0$ tf%. A maximum érték

előbbi esetében 30,5 tf%, utóbbi esetében 42,8 tf% volt. Ennek megfelelően a minimum érték a felső 1 méteren 14,4 tf%, 1,1-3,0 méteren 17,3 tf% volt.

Az 1995 és 2012 között a felső 1 méterig terjedő talajzóna átlagértéke 24,2 tf%, ahol a maximum 30,1 tf%-on, a minimum pedig 19,5 tf%-on volt kimutatható. Az 1,1 és 3,0 méter közötti talajmélységben az átlageloszlás 36,4 tf%-ra volt datálható. A maximum értéket a zóna 45,0 tf%-os értéke, minimumát pedig 25,3 tf%-os értéke jelentette. A vizsgált mérőpont átlagos talajnedvességi állapotértékei között +15,4%-os növekedés volt kimutatható az 1995. és a 2012. évet elemezve. Az adatsor (4. ábra) lineáris regressziós egyenlete: $y = 0,8204x + 18,896$, a kapcsolaterősség kifejezésére szolgáló determinációs együttható nagysága: 0,7679.

A 2021-es vizsgálati évben a felszín alatti 1 méterig terjedő talajzóna átlagértéke 23,0 tf%-os volt, ahol a maximum értékét a 2021. május 22-i mérés során, az 50 cm-es mélységű rétegből mutattuk ki, pontos értéke 39,0 tf%. A 0 cm és 100 cm közötti talajréteg helyi minimumát, 10,0 tf%-ot a 2021. augusztus 9-i mérés során mutattuk ki a 100 cm-es szintről. Az 1,1-3,0 méter közötti talajmélységben az éves átlagérték 28,8 tf% volt, ahol a helyi maximum 58,0 tf%, melyet 2021. július 20-án mértünk a 250 cm-es rétegből. A 2021-es minimum érték a T-16-os mérőhely esetében 11,0 tf%, amelyet a 180 cm-es szintről mutattunk ki a 2021. május 12-én végzett terepi bejárás alkalmával. Az adatsor lineáris regressziós egyenlete: $y = 0,5615x + 17,74$, a kapcsolaterősség kifejezésére szolgáló determinációs együttható nagysága: 0,4392. A vizsgált 2021-es időszakban végzett mérésekből származó adatsor, továbbá az 1995 és 2012 közötti átlagos értékek közötti változás állapotváltozói alapján elmondható, hogy az egész évre vonatkozó változás mértéke és iránya: -15,1%-os csökkenés.



4. ábra. A talajnedvesség-eloszlás összehasonlítása a T-16 mérőponton

Adatok forrása: Szigetközi Környezeti/Ökológiai Monitoring, saját mérések alapján

4.2.2. T-17-es mérőpont (Dunasziget) talajnedvesség eloszlása

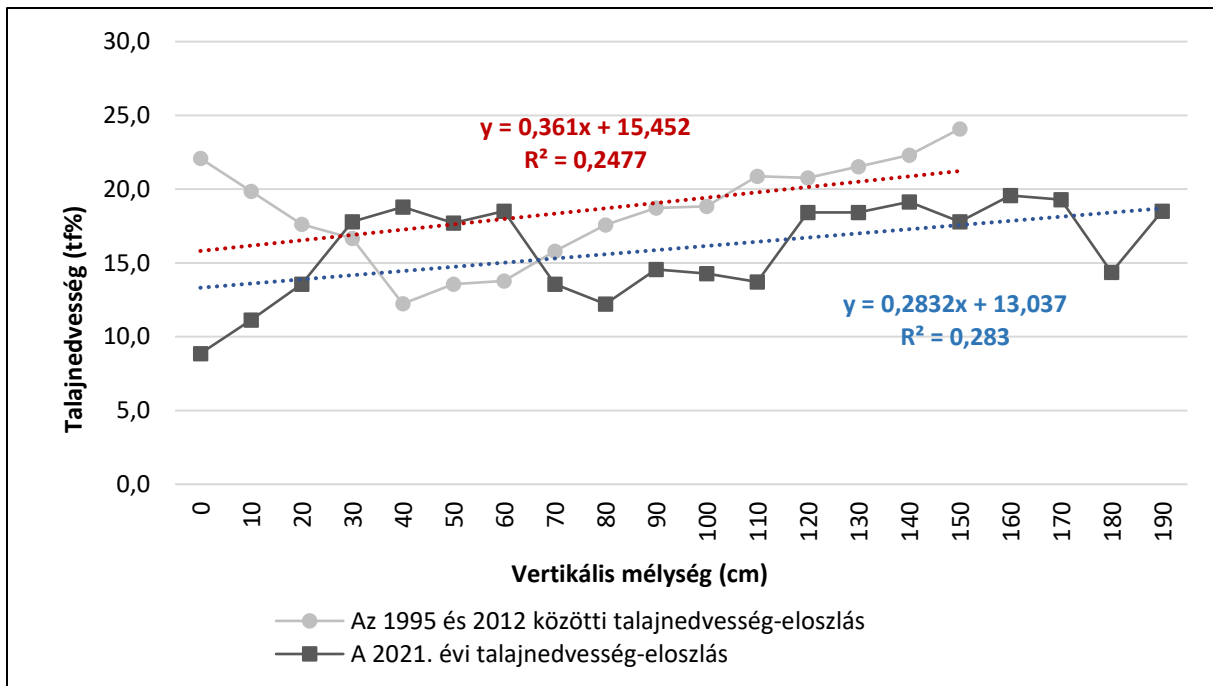
Az egész éves átlagos talajnedvesség-eloszlás mértéke a vizsgált mérőhely esetében 8,47 tf% volt, melynek felső 1 méteres zónájában ez az érték 16,8 tf%-on volt megállapítható. A minimális talajnedvesség érték átlagosan 6,17 tf%, míg a maximális érték 16,8 tf%. Az 1,1-1,4 méter

közötti talajmélységben a talajnedvesség maximális átlagértéke 17,7 tf% (140 cm, 1,1-1,5 méter: 20,7 tf%), míg a minimum érték 11,8 tf% (120 cm). Az évi átlagos érték e tekintetben pedig 14,3 tf% (1,1-1,5 méter: 15,5 tf%).

2012-ben a T-17-es mérőpont fenékküszöbe 120 cm-re módosult. A talajszelvény évi átlagos talajnedvességi értéke 9,16 tf%. A vizsgált mérőpont talajszelvény felső 1 méteres rétegének átlagos értéke 9,28 tf%, maximuma átlagosan 17,8 tf%. Ezzel szemben a minimum talajnedvességi érték átlagosan 6,56 tf%. Az 1,1-1,2 méter közötti vertikális talajnedvesség-eloszlásának nagysága 8,52 tf%. A maximális érték a 9,01 tf%, minimális értéke 8,03 tf%.

Az 1995 és 2012 között lehatárolt vizsgálati időszak adatai alapján (5. ábra) a mérőhely talajfelszíne alatti felső 1 méteres zóna talajnedvesség-eloszlásának átlagértéke 16,98 tf%, ahol a maximum érték ebben a zónában 22,1 tf%, míg a minimum érték 12,2, tf%. Ezzel szemben az 1,1 és 1,5 méter (fenékküszöb) közötti talajmélységben a talajnedvesség vertikális eloszlásának átlagos értéke 21,9 tf%, ahol a maximum érték 24,1 tf%, a minimum pedig 20,8 tf%. *Az 1995. és a 2012. évet vizsgálva a T-17 mérőhely állapotjellemzői között -3,31%-os csökkenés volt kimutatható.* Az adatsor lineáris regressziós egyenlete: $y = 0,361x + 15,452$, a kapcsolaterősség kifejezésére szolgáló determinációs együttható nagysága: 0,2477.

A 2021-es vizsgálati évben az átlagos vertikális talajnedvesség-eloszlás mértéke 16,0 tf%. A felső 1 méteres talajzóna átlagértéke 14,6 tf%, ahol a maximum értéket a 2021. június 08-i mérés alkalmával a 40 cm-es, az 50 cm-es és a 60 cm-es mélységű rétegből mutattunk ki, pontos értéke 26,0 tf%. A 0 és 100 cm közötti helyi minimumot 5,00 tf% jelentette, melyet a 2021. április 27-i mérés alkalmával sikerült detektálnunk a legfelső 10 cm-es zónából. Szemben az 1995 és 2012 közötti vertikális mélységtartománnyal, a 2021-es méréseket az újraterelítés következtében egészen a 190 cm-es mélységig végeztük. E zóna átlagos eloszlás-értéke 17,7 tf%, ahol a maximum értéket a 150 cm-es zónából mutattuk ki, pontos értéke 21,0 tf%. A 2021-es minimum értéket a T-17 mérőhely esetében 11,0 tf% jelenti, melyet 2021. április 27-én mértünk a 110 cm-es mélységű zónából. Az adatsor lineáris regressziós egyenlete: $y = 0,2832x + 13,037$, a kapcsolaterősség kifejezésére szolgáló determinációs együttható nagysága: 0,283. *A vizsgált 2021-es évben végzett mérésekből származó adatsor és az 1995 és 2012 közötti átlagos állapotjelzők alapján kimutatható, hogy -12,1%-os csökkenés ment végbe a talajnedvességi értékek eloszlása között.*



5. ábra. A talajnedvesség-eloszlás összehasonlítása a T-17 mérőponton

Adatok forrása: Szigetközi Környezeti/Ökológiai Monitoring, saját mérések alapján

5. ÖSSZEGZÉS

Összességében elmondható, hogy kutatásunk során sikerült jelentősebb eltéréseket is kimutatnunk a 2021. évi talajmérések során nyert adatok révén előálló adatsor és az 1995 és 2012 közötti időszakra rendelkezésre álló adatbázis adatainak vizsgálata során. Mind a négy mérőhely (T-03, T-09, T-16, T-17) talajszelvényének egészében, valamint annak felső 1 méteres, és az alatta elhelyezkedő zóna talajnedvességi értéke esetében is tapasztalható volt az elmozduló tendenciák jelenléte. Emellett az egyes vizsgálati mérőpontok szintjein jelentős változásbeli értékek azonosíthatók a talajnedvesség-tartalom tekintetében. A nedvességtartalmat csökkentő paraméterek figyelembe vétele mellett is elmondható, hogy ezen adatelemzések is alátámasztják azt a megállapítást, miszerint a talajnedvességi értékek átlagos középértékeinek elmozdulása az elmúlt 25 évben jelentősen előrelépett.

IRODALOMJEGYZÉK

- Boronyák V. (2018): Talajnedvesség-adatbázisok összehasonlítása a Kárpát-medencére vonatkozóan. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, Budapest (Témavezető: Dr. Kern Anikó), p. 61.
- Dorigo W. A. - Wagner W. - Hohensinn R. - Hahn S. - Paulik C. - Xaver A. - Gruber A. - Drusch M. - Mecklenburg S. - van Oevelen P. - Robock A. - Jackson T. (2011): The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, pp. 1675-1695.
- Dövényi Z. (ed.) (2010): Magyarország kistájainak katasztere. Budapest: MTA Földrajztudományi Kutató Intézet. p. 876.
- Entekhabi D. - Njoku E. G. - O'Neill P. E. - Kellogg et al. (2010): The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission. *Proceedings of the IEEE* 98.5.
- Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (2016): Vízügyi Igazgatóság Terv – 1-1 Szigetköz alegység. Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Győr pp. 9-18.
- Hillel D. (1982): *Introduction to Soil Physics*. Academic Press, San Diego.
- Koltai G. (2003): A talajvíz és talajnedvesség, valamint a tápanyagellátás hatása a növénytermesztési hozamokra a Szigetközben. PhD dolgozat, Mosonmagyaróvár, (Témavezető: Dr. habil. Szűcs Mihály), p. 208.
- Macher G. Z. (2022): A talajnedvességi-állapot szezonális változásainak vizsgálata négy szigetközi mérőhelyen. Diplomamunka (Témavezetők: Dr. Koltai Gábor, Dr. Giczi Zsolt, Dr. Kozma Katalin), Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár
- Rajkai K. (2004): A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. Talajtani Osztály, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, p. 155.
- Somlyódy L. (2011): Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiafeladatok. MTA, Budapest, p. 336.
- Stanturf J. - Lamb D. - Madsen P. (2012): *Forest Landscape Restoration: Integrating Natural and Social Sciences - World Forests 15 series*. Springer Netherlands, 337. ISBN: 9789400753266
- Stefanovits P. - Filep Gy. - Fülek Gy. (1999): *Talajtan*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 470.
- Várallyay Gy. (1987): *A talaj vízgazdálkodása*. MTA, Budapest, p. 14.
- Várallyay G. – Rajkai K. (1989): Model for the estimation of water (and solute) transport from the groundwater to overlying soil horizons. *Agrokémia és Talajtan*, 38, pp. 641-656.
- Várallyay Gy. (1992): A szigetközi talajtani kutatások eredményei. Szigetközi anket. A Magyar Hidrológiai Társaság kiadványa. 179–18
- Várallyay Gy. (2008): Talaj-víz kölcsönhatások a klímaváltozás tükrében. Talajtani Vándorgyűlés, Talajvédelmi különszám, Nyíregyháza, pp. 17-30.
- Wu X. - Liu M. (2012): In-situ Soil Moisture Sensing: Measurement Scheduling and Estimation using Compressive Sensing. IPSN'12, 2012. április 16-20., Kína, Peking.

- Wyatt B. M. - Ochsner T. E. - Zou C. B. (2021): Estimating root zone soil moisture across diverse land cover types by integrating in-situ and remotely sensed data. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 307
- Xu Zhipeng - Man Xiuling - Duan Liangliang - Cai Tijiu (2022): Improved subsurface soil moisture prediction from surface soil moisture through the integration of the (de)coupling effect. *Journal of Hydrology*, Volume 608.