

DIPLOMADOLGOZAT

Szép Ferenc

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

**Mezőgazdasági vízgazdálkodási mérnöki
mesterképzési szak**

Az Ős-Dráva Program

mezőgazdasági vízgazdálkodási potenciálja

Belső konzulens: Dr. Futó Zoltán
tanszékvezető

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Környezettudományi Intézet
Öntözésfejlesztési és
Meliorációs Tanszék

Külső konzulens: Udud Péter
vezérigazgató
AQUAPROFIT Zrt.

Készítette: Szép Ferenc

Szarvasi Képzési hely

2024

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzések	1
1.1.	Az Ormánság vízgazdálkodásának története és az Ős-Dráva Program	1
1.2.	A megvalósult vízkormányzási rendszer felépítése.....	3
1.2.1.	Csatornahálózat.....	3
1.2.2.	Dráva vízkivételi mű	4
1.2.3.	Távvezérelt duzzasztók, oldalműtárgyak.....	4
1.2.4.	Kézi vezérlésű műtárgyak	4
1.3.	A megvalósult fejlesztés mezőgazdaságra gyakorolt hatása.....	5
1.4.	A projekthez kapcsolható további fejlesztési lehetőségek	5
1.5.	A dolgozat célkitűzése	6
2.	Szakirodalmi áttekintés	7
2.1.	Domborzati és talajviszonyok.....	7
2.2.	Klimatikus tényezők.....	9
2.3.	Az evapotranspiráció és ET_0 becslési módszerei	10
2.4.	Növényi tényezők (Kc)	15
2.5.	Korszerű öntözési technológiák áttekintése	17
3.	Alkalmazott módszerek	21
3.1.	Mezőgazdasági területek lehatárolása.....	21
3.2.	Elméleti öntözővíz igény meghatározása	22
3.3.	Öntözési célra fordítható vízmennyiség meghatározása	24
3.4.	Öntözési technológiák összehasonlítása	25
4.	Eredmények és értékelésük	28
4.1.	Elméleti maximális öntözési vízigény	28
4.2.	Öntözésre fordítható maximális vízmennyiség és öntözhető terület	31
4.3.	Javasolt öntözési technológiák.....	32
5.	Következtetések és javaslatok.....	34
6.	Összefoglalás	35
7.	Irodalomjegyzék	36

1. Bevezetés és célkitűzések

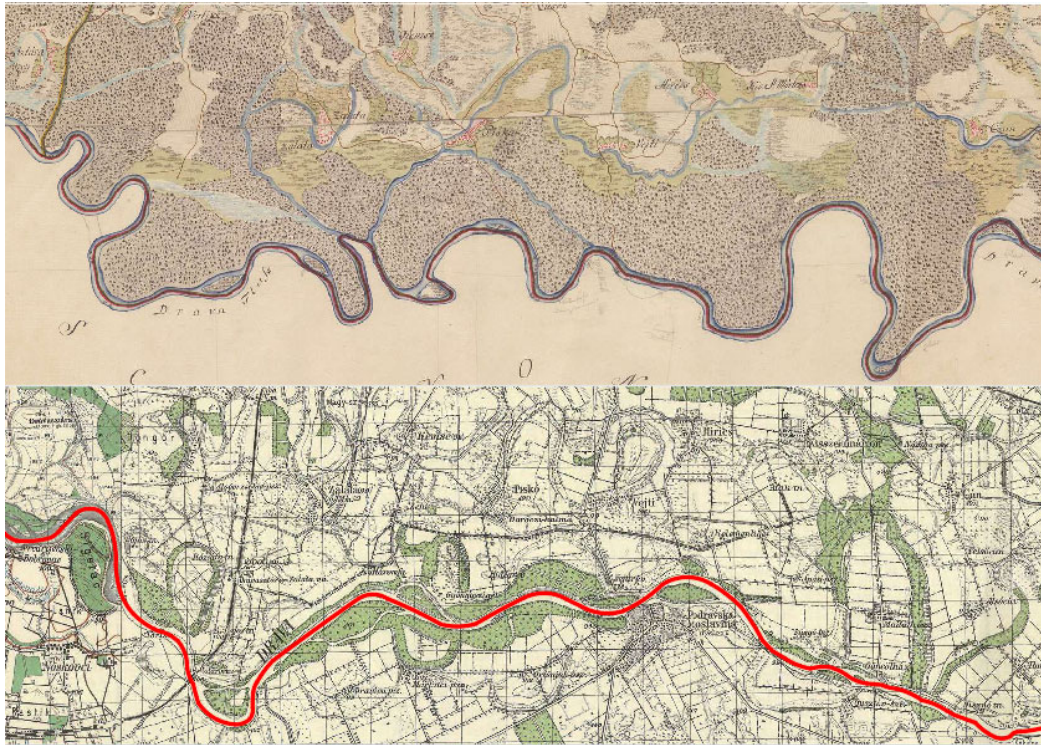
1.1. Az Ormánság vízgazdálkodásának története és az Ős-Dráva Program

Az Ormánság a Dunántúl déli részén, a Drávát északról határoló, annak árterében elhelyezkedő tájegységünk, amely mind természeti, mind pedig néprajzi vonatkozásban rendkívül sokszínű vidékünk. A területen egykoron a táji adottságokkal tökéletes összhangban zajlott az élet, az itt élő emberek az időszakosan elöntött ártéren foggazdálkodást végeztek, illetve kihasználták a területet beborító erdők adta lehetőségeket. Jelentős foglalkozások voltak a halászat, az állattartás, a faipar, illetve a Dráva adottságait kihasználva a hajózás és a folyón elhelyezett számos hajómalom működtetése (Wágner, 2009).

A 18. század végére ezek a területek főként nagy földbirtokosok tulajdonában álltak, akiknek az érdekeit az szolgálta, hogy az ártéri területek is szántóföldi művelésbe vonhatóak legyenek. Az ártéri gazdálkodás szemlélete egyre inkább háttérbe szorult és felváltotta a jó minőségű termőterületek „visszaszerzésére” irányuló igény és ennek elérése érdekében a folyószabályozás tervezése, melyet Mária Terézia kezdeményezett. A Dráva szabályozási munkálatai a 18. század végén kezdődtek, amelyek az 1827-es árvíz eseményt követően felgyorsultak. 1784 és 1848 között mintegy 62 átvágás jött létre, ezáltal a folyómeder hossza 182 km-rel csökkent. 1848-ban a Dráva szabályozását irányító társulatokat megszüntették és így további fejlesztés és karbantartás hiányában a felépült mesterséges szakaszok egyre rosszabb állapotba kerültek. Ezt követően a 19. század végén és 20. század elején a Dráva hajózhatósága vált elérendő céllá Baross Gábor szorgalmazásával, amely újra fellendítette a szabályozási munkálatokat, azonban az I. Világháború kitöréséig a tervezett 86,5 km-es szakaszból mindössze 32 km épült meg (Remenyik, 2005). Az I. Világháborút követően rendkívül nehéz pénzügyi helyzetbe kerültek a vízi munkálatokat végző társaságok, ám ennek ellenére a Dráva mellékfolyóinak szabályozása sikeresen megtörtént. A II. Világháború volt a legsúlyosabb időszak e tekintetben is, mivel az 1940-es években árvizek és mellette háborús műveletek rombolták az eddig kiépült rendszert, aminek következtében a háború végére a vízügyi hivatalok nem tudták ellátni tovább feladataikat. A XX. század második felében folytatódtak a szabályozási munkálatok és együttműködés kezdődött az akkori Jugoszláviával, melynek tárgya volt a szabályozáson túl új vízierőművek építése is. Azonban a tervezett barcsi vízierőmű forráshiányból fakadóan nem épült meg, míg a határ túloldalán 3 létesítmény került

üzembe. Jelenleg a további vízierőművek építése rendkívül kontroverzális tárgyalási pont (Remenyik, 2004) (Kiss, et al., 2021).

1. ábra: Kivágat az Első Katonai Felmérés 1782-1785 (fent) és az 1941-es Katonai Felmérés (lent) térképeiről a Dráva egy szabályozással érintett szakaszán
[Forrás: Saját szerk., Arcanum térképek alapján]



Az elmúlt mintegy 2 évszázad folyószabályozási munkálatairól mára világossá vált, hogy a természetszerű tájhasználat megváltoztatását eredményezték, ami hosszú távon fenntarthatatlan. Az 1. ábra jól szemlélteti a természeti környezet visszaszorulását az antropogén beavatkozások következtében.

Az ellenműködő tájhasználat során az ember a táji folyamatokat figyelmen kívül hagyja, és azokra tekintet nélkül használja a tájat, amellyel jelentős szerkezeti változásokat okoz. Így például, adott esetben az erdők használata lehet együttműködő, ha egy-egy nagyobb törzset veszünk ki az erdőből, szálaló vágást végzünk anélkül, hogy a területek jelentős részén megváltoztatnánk a táj, az erdő szerkezetét, vagy ellenműködő, amikor nagy területen végzünk „felújító-vágást”, azaz végső soron felszámoljuk az erdőt, jelentősen módosítva ezzel a tájszerkezetet, ahogy azt az 1. ábra is szemlélteti. Az Ős-Dráva program területén ugyanilyen ellenműködő tevékenység volt a vizek levezetése (terület lecsapolása), illetve az árterek víztől való megfosztása, vagy a tényleges földrajzi adottságokat figyelmen kívül hagyó iparszerű szántóföldi növénytermesztés.

Az Ős-Dráva Program célja olyan vízgazdálkodási infrastruktúra létrehozása volt, amely lehetővé teszi a fenntartható területhasználati gyakorlat kialakítását és így hosszú távú megélhetést biztosíthat a helyi lakosság számára, miközben mérsékli a környezeti szélsőségeket. Ennek központi eleme a természetes felszíni vízrendszer helyreállítása, a táji szintű vízvisszatartás biztosítása. A projekt során, a fenti célok elérése érdekében részben a térség meglévő vízelvezető rendszereinek elemei kerültek felhasználásra, részben pedig új vízelvezetőrendszerek építése valósult meg. Az érintett területen, a vízjárástól és vegetációs időtől függően jelentkező különböző vízpótlási, víztározási, és vízkárelhárítási feladatok ellátására vízkormányzó rendszer létesült, ami lehetővé teszi a vízrendszerek közti vízelosztást, a vízvisszatartást, a csapadék és belvízelvezetést, illetve a helyi vízkivezetések működtetését (OVF, 2022).

1.2. A megvalósult vízkormányzási rendszer felépítése¹

1.2.1. Csatornahálózat

Az Ős-Dráva Program vízkormányzási rendszer árokhálózatát a hét vízrendszer fontosabb vízfolyásai alkotják. A terület az alábbi hét alrendszerre bontható:

- Siópusztai-árok alrendszer
- Korcsina-csatorna alrendszer
- Körcsönye-csatorna alrendszer
- Sellyei-Kápolnai-Gürü alrendszer
- Vejti-Lúzsoki alrendszer
- Fekete-víz vízrendszer
- Pécsi-víz vízrendszer

A Főcsatorna a vízkormányzási rendszer főága, mely a vízkivételi mű nyomóvezetéknek becsatlakozásától vezeti a Drávából szivattyúzott vizet keleti irányba, érintve a projektterület egyes alrendszereit, végül a befogadó Fekete-víz vízrendszert. Az árokhálózat menti vízkormányzó műtárgyak biztosítják a csatornába táplált víz gravitációs elvezetését, igény szerinti visszatartását, tározását, valamint a megfelelő üzemvízszintek tartásával a kapcsolódó területek vízellátását.

¹ Az Aquaprofit Zrt. által készített egyes rendszerelemek kiviteli tervei alapján készített összefoglaló

1.2.2. Dráva vízkivételi mű

A rendszer legfontosabb eleme a Dráva vízkivétel, mellyel maximálisan 5000 l/s hozam juttatható a vízkormányzási rendszer árokhálózatába.

A vízkivételi műtárgy a Dráva bal partján, a 141,6 fkm szelvény környezetében épült. A műtárgy jellemzően tíz méter mély, a bevezető csatorna négy méter szélességű párhuzamos oldalfalakkal és tölcészerű végkialakítással. A műtárgy négy szivattyúhely kialakítását tartalmazza, az első ütemben megépült három szivattyús üzemmód a későbbiekben igény esetén bővíthető. Az igényelt $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ vízmennyiséget a vízkivételi műtárgyban elhelyezett 3 db függőleges tengelyű, félaxiális átömlésű, patronba épített propeller szivattyú biztosítja. A 3 db patronos szivattyú egy közös DN1600 névleges méretű nyomóvezetéken juttatja a vizet a Főcsatorna legnyugatibb szakaszára a Siópusztai-árokba. A vízszállítás a Dráva folyó vízszintjétől függően $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ és $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ értékek között mozoghat, a szivattyúk fordulatszám szabályozása frekvenciaváltókkal történik. A szivattyúk működése a központi irányítórendszeren keresztül nyomon követhető és vezérelhető.

1.2.3. Távvezérelt duzzasztók, oldalműtárgyak

A távvezérelt műtárgyak a Főcsatorna, valamint az alrendszerek főágai mentén biztosítanak vízkormányzási lehetőséget. Feladatuk, hogy szabályozzák az alrendszerek közötti vízelosztást és a fontosabb ágakba való vízkivezetéseket. A műtárgyak kialakításukat tekintve monolit vasbeton szerkezetű duzzasztók vagy oldalműtárgyak. A duzzasztási szint a duzzasztott térből nyíló tápcsatorna mentén szállítandó vízhozam, illetve a kapcsolódó vízhasználatoknak megfelelően megkívánt nyomásmagasság alapján került beállításra. A felvízi szintérzékelő jele automatikusan szabályozza a szerkezet állását, ami növekvő felvízi hozam esetén nyit, hozam csökkenés esetén zár. Szélső zárt állás, ha drávai vízkivételből kizárólag a tápcsatornába akarunk vizet juttatni, teljesen nyitott állás, ha a mértékadó vagy annál nagyobb árhullám vonul le a mederben. Az elzárószerkezet duzzasztóknál felső átbukású billenőtábla, az oldalműtárgyak esetében alsó átfolyású függőleges síktáblás zsilip. A mozgatószerkezetek és berendezések energiaellátása vezetékes áramellátással biztosított.

1.2.4. Kézi vezérlésű műtárgyak

Ezen létesítmények olyan helyi jelentőségű vízkormányzási célokat szolgálnak, mint például egy oldalág vagy egy-egy erdőterület, illetve vizes élőhely vízellátása. Kialakításukat tekintve lehetnek billenőtáblás duzzasztók, vagy síktáblás zsilipek, oldalműtárgyak. Egész évre, illetve

hosszabb időszakokra kiterjedő állandó üzemük miatt (nyílt/zárt állás vagy fix duzzasztás) kézi vezérléssel működtethetők.

Funkciójuk egy részről a vízpótlás szabályozott bejuttatása a főágról a területre másrészt a káros víztöbblet elvezetése a területről. Ahol az oldalműtárgy a főágból kivezetést jelent ott oldalműtárgyat a télidőszakban a helyi csapadékok visszatartása és a főágban levonuló árhullámok előntéseivel szembeni védelem érdekében zárt, a vízpótlási időszakban jórészt nyitott állásban lehet üzemeltetni.

1.3. A megvalósult fejlesztés mezőgazdaságra gyakorolt hatása

A visszatartott, illetve a Drávából szivattyúzott víz az árokhálózaton keresztül az Ormánság minden nagyobb területegységébe eljuttatható. A csatornák mentén kiépült zsilipek, oldalműtárgyak nyitásával lehet a mellékágakba, illetve a környező területekre a vizet kivezetni, ezáltal biztosítva a távolabbi területek vízellátását. A vízkormányzási rendszerből talajvízadóba táplált és talajban visszatartott víz kedvezően érinti a környező mezőgazdasági területek vízháztartását, azonban ahhoz, hogy a vizet ki lehessen vezetni az oldalsó területekre, a főprojekthez hasonló módon meg kell valósulnia a kapcsolódó kisebb helyi léptékű vízhálózatok fejlesztéseinek is.

1.4. A projekthez kapcsolható további fejlesztési lehetőségek

Az Ős-Dráva Programot megelőző felmérések során a jelenlegi vízhasználatok, illetve a további igények is vizsgálva voltak, annak érdekében, hogy a kiépülő felszíni vízrendszer kialakításánál figyelembe legyenek véve a távlati igények is, mint például az öntözési célú vízigények kielégítése. A projekt által érintett területen található 25 településhez kapcsolódóan kb. 2,7 millió m³/év öntözési vízigényt jeleztek. A már meglévő csatornákból ennek egy részének kielégítéséhez közvetlen vízkivétel is kialakíthatóvá vált, míg a távolabb eső mezőgazdasági területek ellátásához kisebb volumenű fejlesztésekkel szintén eljuttatható az öntözővíz (Cser, 2022).

1.5. A dolgozat célkitűzése

Jelen diplomadolgozat célja a megvalósult felszíni vízrendszer fejlesztés mezőgazdasági vízgazdálkodási potenciáljának feltárása. Ennek érdekében a területen fekvő szántóföldekre vonatkozó klimatikus viszonyok és az azok alapján becsülhető potenciális/referencia evapotranspiráció kerül meghatározásra. Ezt követően két szántóföldi növény, a csemegekukorica és a szója, került kiválasztásra, amelyekre meg lett határozva az a potenciális evapotranspirációs tényező, amely a jellemző éghajlati adottságok függvényében, de korlátlan vízellátottság mellett a maximális hozam eléréséhez szükséges standard körülmények között, amennyiben egyéb korlátozó tényező nem befolyásolja a termesztés folyamatát. Ezt összevetve a havi jellemző csapadékösszegekkel és tekintetbe véve a terület egyéb környezeti adottságait a vizsgálat célkitűzése egyrészt annak a vízmennyiségnek a becslése, melyet az Ős-Dráva Program keretein belül létrejött vízkormányzó rendszeren keresztül ezen szántóföldekre szükséges volna eljuttatni. Továbbá, a potenciális öntözési vízigények kielégítése kapcsán a vizsgálat tárgya az is, hogy a jelenlegi vízkivételi műtől kiindulva a jelenlegi rendszer milyen öntözéstechnológiai megoldásokkal volna alkalmas az öntözési lehetőségek hatékony és gazdaságos kiaknázásával az érintett terület mezőgazdasági fejlődéséhez hozzájárulni.

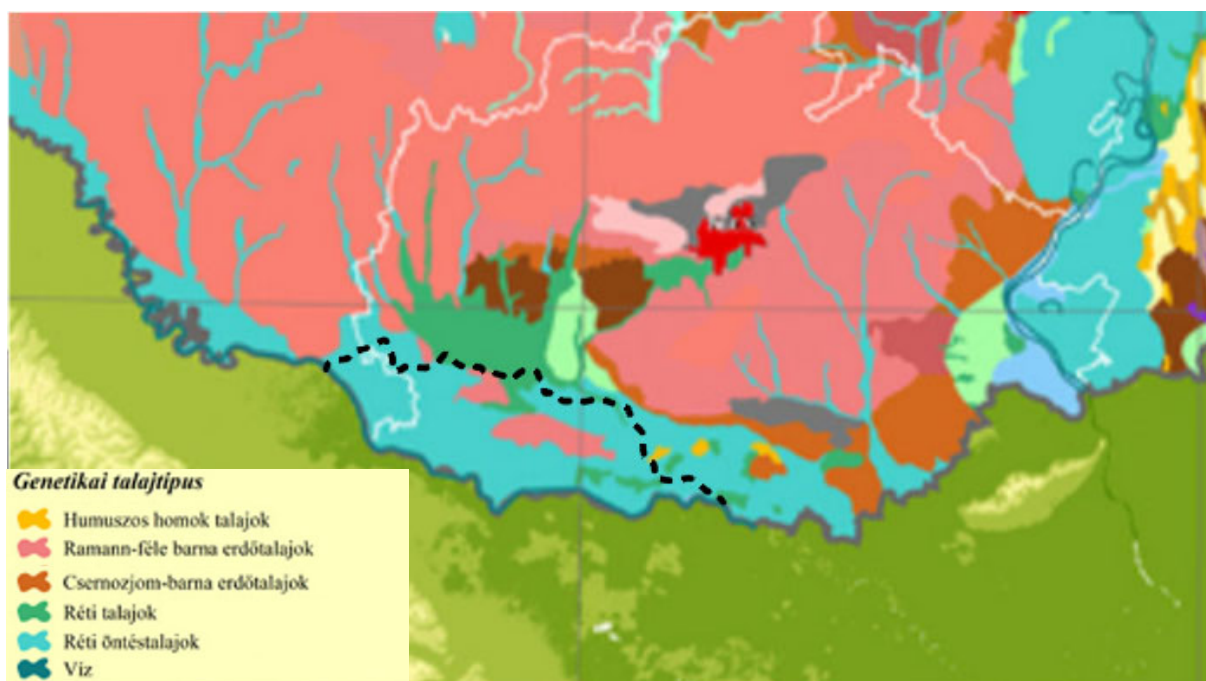
2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Domborzati és talajviszonyok

Földtani tekintetben a miocén korban a Dráva-árok süllyedése formálta jelentős mértékben a felszínt, majd a pliocén végén a feltöltődési folyamatok váltak jellemzővé. Ezt követően a pleisztocén időszakban alakult ki hazánk folyóvízhálózata és innentől a folyók, illetve a szél felszín formáló tevékenységei alakították a tájat elsősorban. Ami a talajtípusokat illeti, a fenti felszínformáló folyamatok következtében változékony a különböző talajtípusok elhelyezkedése. A területre jellemzőek az iszapos üledékek. A talajok többsége jellemzően jó termőképességgel rendelkezik, főként a Dráva-sík területén (Pollermann, 2014) (OVF, 2022).

Az Ős-Dráva program által érintett sík terület jellemző geodéziai magassága 96-110 mBf között alakul. A felszín több mint fele ártéri síkság, és harmada alacsony ármentes síkság orográfiai domborzattípusba sorolható, amelyet futóhomokkal fedett enyhén hullámos síksági részek tagolnak. Az átlagos relief a területen 2 m/km², ami K-Ny-i irányban csökkenő tendenciát mutat. A területen a Dráva egykori árterében jellemzőek a részben vagy teljesen feltöltődött elhagyott meanderekkel, morotvákcal borított ártéri síkság (HYDROTERV Bt., 2015).

2. ábra: Kivágat az MTA ATK TAKI által, az AGROTOPO és OTAB adatbázisok alapján készített genetikai talajtérképből az érintett területre vonatkozóan
[Forrás: Saját szerk., alaptérkép: www.agrobio.hu]



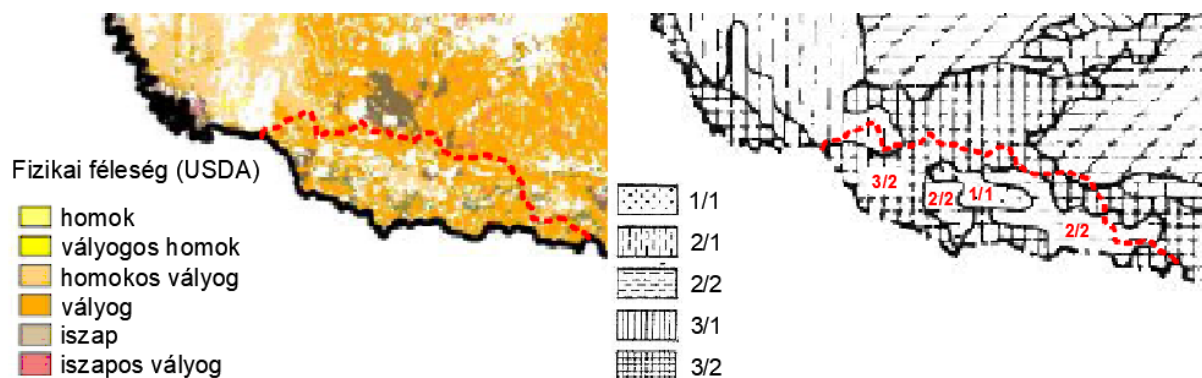
Alapvetően kétfajta genetikai talajtípusról beszélhetünk a területen, mint azt a 2. ábra is szemlélteti, a Dráva mentén elsősorban réti öntéstalajokról, míg a terület középső, Sellye és Vajszló közötti részén Ramann-féle barna erdőtalajokról.

A réti öntéstalajok képződésének fő tényezője a víz jelenléte. Az időszakos elárasztások következtében lerakódó hordalékrétegekből épül fel, ezáltal a különböző talajrétegek között genetikai kapcsolat nem alakul ki (Dr. Járó, 1963). A vályogos öntéstalajokon jellemző a sűrű erdők kialakulása, amely erre a területre is igaz volt a 18. század végéig, melyet az 1. ábra fenti képe is alátámaszt. Jellemzően a folyóvölgyekben képződnek és attól függően, hogy a hordalék milyen eredetű és milyen jellegű, rendkívül változatosak lehetnek. Ideális esetben jellemző rájuk a mély, humuszban gazdag „A” és „B” szint, így jó termőképességgel rendelkezhetnek és a legtöbb szántóföldi növény termesztésére alkalmasak (Lévai, 2000).

A Ramann-féle barna erdőtalajok esetében is gazdag humuszréteggel találkozhatunk, amely alatt egyenletes vályogos réteg a jellemző, így vízgazdálkodási szempontból kiváló talajról beszélhetünk. Kiemelkedően jó a tápanyagfeltáródás és a tápanyagadszorpciója, azonban a termőréteg bizonyos esetekben sekély lehet (Dr. Járó, 1963).

A fizikai talajféleségeket illetően a vályog dominál a területen, ahogy azt a 3. ábra bal oldali képe jól szemlélteti. Mellette változó összetételű átmeneti vályogos talajféleségek fordulnak elő elsősorban, melyek közül a homok jelenléte a meghatározó. A Sellye-Vajszló közötti területen pedig inkább homoktalajokkal találkozhatunk.

3. ábra: Az érintett területre (piros vonallal jelölve) vonatkozó talajféleségek és vízgazdálkodási tulajdonságaik [Forrás: Saját szerk., alaptérképek: (Tóth, et al., 2015) és (Várallyay, et al., 1980)]



A talajok fizikai félesége alapvetően meghatározza azok vízgazdálkodási tulajdonságait, amelyeket (Várallyay, et al., 1980) foglaltak össze 1980-as művükben, melynek keretein belül

elkészítették Magyarország talajainak vízgazdálkodási tulajdonságait ábrázoló térképét, amelyből a mintaterületre vonatkozó részt a 3. ábra jobb oldali képe szemlélteti.

Ezek alapján a vizsgált terület taljai három fő vízgazdálkodási csoportra oszthatóak, amelyek (Várallyay, et al., 1980) osztályozása szerint az 1/1, 2/2 és 3/2 számkódokat kapták. Az 1/1 jelöléssel ellátott kategóriába a rendkívül magas víznyelési- és vízvezető képességgel rendelkező, de alacsony vízraktározó tulajdonságú talajok tartoznak, mint a vizsgált terület közepén elhelyezkedő homokos hátság. Az öntéstalajok esetében javíthat ezen a tulajdonságon az, ha az alsóbb rétegekben iszapos üledék helyezkedik el. A területen elhelyezkedő iszap fizikai féleségű talajok a 2/2 kategóriába tartoznak, melyek esetében a nagy víznyelési- és vízvezető képesség mellett már a közepes vízraktározó képesség a jellemző. A 3/2 csoportba tartozó talajok pedig kiemelkedően jó vízgazdálkodási tulajdonságokkal rendelkeznek minden tekintetben. Ezek jellemzően hazánk legtermékenyebb taljai közé tartoznak, azonban az öntéstalajok és réti öntéstalajok esetében előfordulhat kedvezőtlen rétegződés, ami ezt a tulajdonságot leronthatja. A kategóriák jelölésében a második tényező arra utal, hogy a vizsgált területen a teljes talajszelvényben egyenletesnek mondható a mechanikai összetétel.

2.2. Klimatikus tényezők

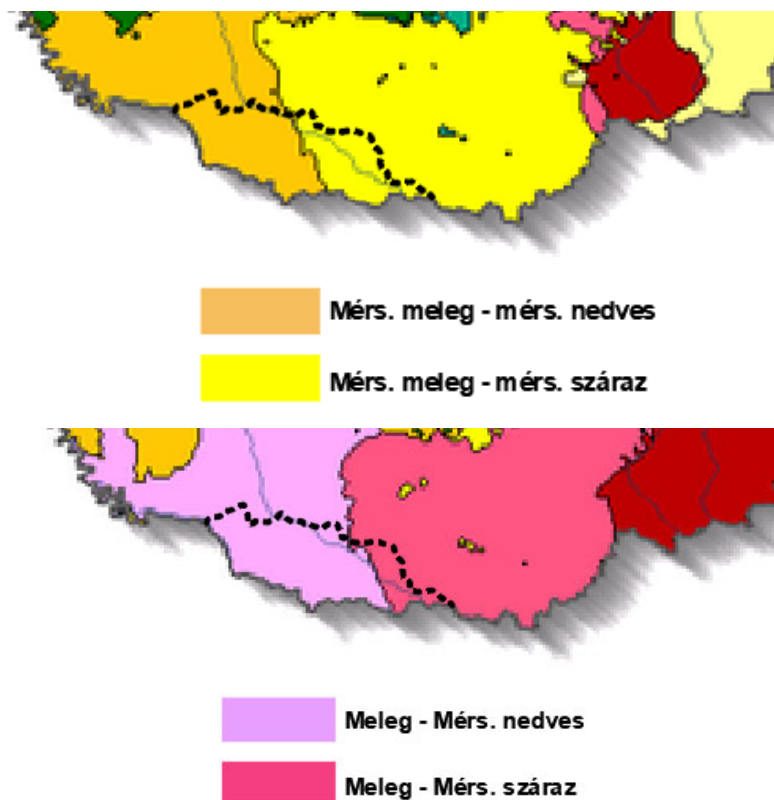
A Dráva-sík éghajlata mérsékelt meleg és nedves, kontinentális és mediterrán hatások érvényesülésével egyaránt. Magyarországi viszonylatban az átlagosnál több csapadék jellemzi és az átlagos hőmérséklet szintén az országos átlag felett van minimálisan. A legcsapadékosabb hónapok a május-július, a legszárazabb pedig az év első két hónapja. A jellemző évi csapadék összeg 700-800 mm között alakul, Ny-K-i irányban csökkenő gradienssel. Az évi középhőmérséklet jellemzően 10-12 °C körül alakul. Nyár közepén az átlagos középhőmérséklet kb. 21 °C, míg a tél enyhének tekinthető, mivel januárban is -1 °C felett marad a középhőmérséklet. Az uralkodó szélirány É-i, de a völgyekben előfordulhatnak D-i szelek is (HYDROTERV Bt., 2015) (OVF, 2022).

Mezőgazdasági szempontból fontos megemlíteni, hogy a fagyos napok általában október vége és április eleje között fordulnak elő és a tenyészidőszak kb. 250 nap körül alakul és erre az időszakra vonatkoztatva az átlagos középhőmérséklet 17,5 °C. A vegetációs időszakban átlagosan 400mm körüli csapadékmennyiség érkezik (HYDROTERV Bt., 2015).

Az Országos Meteorológiai Szolgálat által készített térképeken (3. ábra) jól nyomon követhető az éghajlatváltozás hatása erre a térségre vonatkozóan is. Látható, hogy az országos tendenciákkal összhangban ezen a területen is a növekvő hőmérsékleti értékek a jellemzőek, míg az átlagos csapadékviszonyok nem, vagy csak minimálisan módosulnak.

4. ábra: Az érintett területre (szaggatott vonallal jelölve) vonatkozó éghajlati körzetek Péczely osztályozása alapján az 1961-1990 és az 1991-2020 időszakokban

[Forrás: Saját szerk., alaptérképek: www.met.hu]



A terület éghajlatának az (OVF, 2022) és a (HYDROTERV Bt., 2015) általi jellemzése a frissített adatok alapján tehát már nem teljesen pontos. A mérsékelt jelző ma már csak a csapadék tekintetében bizonyul helyesnek és a Ny-K-i irányú hőmérséklet és csapadék gradiens egyre kevésbé meghatározó, amely hatások a jövőben egyre inkább erősödni fognak az éghajlat változás következtében. Ezen túlmenően fontos megjegyezni, hogy a szélsőséges napi csapadék és hőmérséklet értékek számának növekedésére lehet számítani a jövőben, ami mezőgazdasági és vízgazdálkodási szempontokból is jelentős kihívást jelent.

2.3. Az evapotranspiráció és ET_0 becslési módszerei

Az atmoszférába alapvetően két folyamat révén juthat vízgőz, ezek az evaporáció és a transpiráció. Az evaporáció egy fizikai folyamat, amely során a folyékony víz

gázhalmazállapotúvá alakul. Ez különböző forrásokból, mint például nyílt vízfelületekről, a talajról és növények felületéről történik. Az átalakuláshoz energia szükséges, amelyet főként a Napból érkező sugárzás és a levegő hőmérséklete biztosít. A víz halmazállapot-változásának hajtóereje a párolgó felület és a környező levegő vízgőznyomásának különbsége. Ha a levegő telítetté válik, a párolgás lelassulhat, vagy meg is állhat. A szélesebbesség jelentős hatással van a telített levegő helyettesítésére száraz levegővel, ezért a napsugárzás, a hőmérséklet, a páratartalom és a szélesebbesség fontos tényezők a párolgás mértékének meghatározásában. A talaj párolgása esetén a felszín borítottság is befolyásolja ezt a folyamatot. A transpiráció során a növények életfolyamatai által kerül a víz kibocsátásra a légkörbe. A víz és a tápanyagok a gyökereken keresztül felszívódnak és szállítódnak a növényben. A párolgás a levél belső terében, az intercelluláris terekben történik, a gőzcserét pedig a sztómák nyílásai szabályozzák. A transpiráció, hasonlóan az evaporációhoz, függ az energiaellátottságtól, a gőznyomáskülönbségtől és a szélről. A transpiráció értékelésekor ugyanúgy figyelembe kell venni a sugárzást, a levegő hőmérsékletét, a páratartalmat és a szélviszonyokat azonban a talaj víztartalma, vízvezető képessége, sótartalma szintén meghatározza ezen folyamat sebességét, továbbá a növényfajta jellemzői és a termesztési gyakorlatok szintén jelentős hatással vannak. Ezeknek a fizikai, biofizikai és biokémiai folyamatoknak az együttesét nevezzük evapotranspirációnak (Thornthwaite, 1948) (Allen, et al., 1998) (Varga-Haszonits, et al., 2019).

A vízmérleg számítások és a növénytermesztés szempontjából is elengedhetetlen a párolgás mértékének meghatározása. Ezt a mértéket alapvetően az adott területen rendelkezésre álló vízmennyiség, a klimatikus- és a talajviszonyok befolyásolják. A potenciális evapotranspiráció (PET vagy ET_0) és a tényleges evapotranspiráció (TET vagy AET) közvetlen mérési módszerei nem állnak rendelkezésre széles körben. Ehelyett elsősorban liziméterek alkalmazása jellemző ennek meghatározására, a tudományos irodalomban dokumentált különféle közvetett becslési módszerek mellett (Máté, 2022). A PET becslésére számos módszer került kidolgozásra különböző megközelítésekkel. Ezek a módszerek jelentősen eltérnek az adatbeviteli igényükben és a megbízhatósági szintjükben (Rácz, et al., 2014). A PET és TET értékek jelentős eltéréseket mutatnak a különböző régiók és időkeretek között, elsősorban a légkör-növényzet-talaj rendszerben az egyes helyekre és pillanatokra jellemző változó körülmények miatt.

Legkorábban a hőmérsékleti adatokra épülő módszerek alkalmazása volt a jellemző, mint például a (Thornthwaite, 1948) által vagy a (Blaney & Criddle, 1950) által kidolgozott becslési módszerek. A hazai kutatások közül (Antal, 1968) és (Szász, 1973) módszerei váltak széleskörben alkalmazottá, melyek közül az előbbi a hőmérsékleti paraméterek mellett a vízgőz telítettséget, utóbbi pedig a levegő nedvességtartalma mellett még a szélsébséget és a hőmérséklet advektív változását vonja még be az alkalmazott képletbe. A hőmérsékletre alapozott módszereken túl kidolgozásra kerültek sugárzás-alapú és tömegáram-alapú módszerek is. Ennek a számos változónak az egyidejű alkalmazására dolgozták ki a kombinált módszereket, melyek kiegészülnek a klimatikus tényezők mellett a növényzet változó paramétereivel úgy, mint a növények általi felszín borítottság vagy a levélfelület és a növénymagasság, amik a növényállomány aerodinamikai tulajdonságait befolyásolják (Rácz, et al., 2014).

1977-ben kidolgozásra került az eredeti Penman-egyenlet módosított változata (Doorenbos & Pruitt, 1977) által, ami a FAO 24 számú kiadásában volt publikálva és amelyet az ET_0 meghatározására javasoltak, azzal a céllal, hogy a növények vízigényének meghatározásához és azok öntözési projektekből történő tervezésében és üzemeltetésében rugalmasan alkalmazható legyen.

A módosított egyenlet az alábbi képlet szerint írható fel:

$$ET_0 = c [W * Rn + (1 - W) * f_{(u)} * (ea - ed)] \quad (1)$$

ahol:

ET_0 – a referencia evapotranspiráció [mm/nap]

W – hőmérsékleti súlyozási tényező

Rn – a földfelszín teljes sugárzási egyenlege [mm/nap]

$f_{(u)}$ – légmozgási függvény

$ea-ed$ – gőznyomási tényező [mbar]

c – korrekciós tényező a nappali és éjszakai időjárási viszonyok hatásának kompenzálására

A referencia evapotranspiráció meghatározásához először az egyes részelemek kiszámítására van szükség, melyek közül a gőznyomási tényezőt ($ea-ed$) a mért átlaghőmérséklethez tartozó telítési gőznyomás és az átlagos tényleges gőznyomás különbségeként szükséges meghatározni mbar mértékegységben.

A szél általi hatás az $f_{(u)}$ függvénnyel kerül kifejezésre az alábbi képlet alkalmazásával:

$$f_{(u)} = 0,27 * (1 + \frac{U}{100}) \quad (2)$$

ahol U a napi „széljárás” km/nap mértékegységben, amely a mért szélesség (m/s) alapján egyszerű átváltással megkapható.

A képletben szereplő W és (1-W) súlyozási tényezők az előbbi esetében a sugárzás, utóbbi esetében pedig a szél és a páratartalom hatásainak figyelembevételére alkalmazhatóak. Ezen értékeket a hőmérsékleti viszonyok és a tengerszint feletti magasság befolyásolják.

Végül a sugárzási egyenleg felállításához figyelembe kell vennünk a mérleg két oldalát, a beérkező rövidhullámú sugárzást és a visszaverődő hosszúhullámú kisugárzást. Elsőként a vizsgálandó terület földrajzi szélességi foka alapján meghatározható a Napból az atmoszféra külső határára érkező sugárzás mértéke (R_a). Ennek a sugárzásnak csak egy része érkezik a felszínre az atmoszferikus körülmények függvényében és egy része visszaverődik a felszínről, annak albedója alapján. Ezeket az összefüggéseket foglalja magába az alábbi képlet, amely a globálsugárzás értékét (R_s) adja meg párolgási egyenértékként, mm/nap mértékegységben:

$$R_s = \left(0,25 + 0,50 * \frac{n}{N}\right) * R_a \quad (3)$$

ahol:

- n – tényleges napsütéses órák száma [h]
- N – napi maximális napsütéses órák száma [h]

Ezt követően kiszámítható a rövidhullámú globálsugárzás (R_{ns}) és a hosszúhullámú visszavert sugárzás (R_{nl}), melyek közül az előbbit a területre jellemző albedó (α) értékek becslésével a következő képlet ad meg:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) * R_s \quad (4)$$

A hosszúhullámú kisugárzás pedig az alábbi összefüggések alapján számítható ki, amelyek a hőmérséklet (6), a gőznyomás (7), illetve a tényleges és maximális napsütéses órák arányának (8) hatását fejezik ki:

$$R_{nl} = f(T) * F(ed) * f\left(\frac{n}{N}\right) \quad (5)$$

$$f(T) = \sigma * T_k^4 \quad (6)$$

$$f(ed) = 0,34 - 0,044\sqrt{ed} \quad (7)$$

$$f\left(\frac{n}{N}\right) = 0,1 + 0,9 * \frac{n}{N} \quad (8)$$

Végül az így kapott sugárzás bevételi és kiadási tagok különbségeként megkapjuk az (1) jelű képletbe behelyezendő R_n értékét:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (9)$$

A teljes egyenlet az eddigiek alapján általános körülményeket feltételez a sugárzás, páratartalom és szél tekintetében, így a számítási folyamat végén egy korrekciós tényező került bevezetésre. A „c” együttható alkalmazásával a (2) egyenletben tovább pontosítható a referencia evapotranspiráció becslése a maximum páratartalom, a jellemző sugárzás és a nappali/éjszakai szélviszonyok ismeretében az adott területre vonatkozóan.

A FAO-24 számítási módszerről (Doorenbos & Pruitt, 1977) a kutatások előrehaladtával kiderült, hogy sok esetben felül becsüli az értékeket, így később a Penman-Monteith kombinált egyenlet (Allen, et al., 1998) vált a legszélesebb körben elterjedt és a FAO által javasolt referencia evapotranspiráció becslési módszerré, amelynek segítségével a referencia evapotranspiráció egy meghatározott mintaterületre kiszámítható és amely a következőképpen írható fel:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (10)$$

ahol:

- ET_0 – a referencia evapotranspiráció [mm/nap]
- Δ – a hőmérséklet és a telítési gőznyomás egymáshoz viszonyított mértéke [kPa/°C]
- R_n – a globálisugárzás összege [MJ/m²/nap]
- G – a talaj hőfluxusa [MJ/m²/nap]
- T – a napi középhőmérséklet 2m magasságban [°C]
- u_2 – a szélesebesség 2m magasságban [m/s]
- e_s – a telítési gőznyomás [kPa]
- e_a – a tényleges gőznyomás [kPa]
- γ – a pszichrometrikus állandó [kPa/°C]

A képletben az $(R_n - G)$ kifejezés a sugárzás által biztosított energiát jelöli, amely a nettó sugárzás és a felszín által elnyelt hőveszteség különbsége. Az $u_2(e_s - e_a)$ kifejezés a légköri keveredés hatására a troposzféra határán kialakuló potenciális vízgőz fluxust írja le. A korábbi egyenletet (1) kiegészítve a pszichrometrikus állandó (γ) és a telítési gőznyomás-hőmérséklet görbe meredeksége (Δ) kerül felhasználásra.

Az új módszer (FAO-56) igyekszik kiküszöbölni a Penman egyenlet (FAO-24) hiányosságait és az eredményei megfelelőbben reprezentálják a valósághoz közelítő becsült értékeket, mivel kisebb mértékben befolyásolják a számítást a különböző súlyozási tényezők és korrekciós faktorok esetleges pontatlansága. Továbbá integrálásra került a növényi tényező is, amelynek referenciaértéke egy feltételezett gyepes területre van vonatkoztatva, amelyen a növénymagasság 0,12 méter, a felületi ellenállás 70 s/m és az albedó értéke 0,23.

A termesztett növények sajátos jellemzőik miatt eltérő evapotranspirációs értéket mutatnak, amelyet a növényi tényezőket reprezentáló együttható (K_c) figyelembevételével pontosíthatunk. A K_c értéke a növény életciklusa során változik, és annak fejlődési szakaszaihoz igazodik. A termesztett növények referencia evapotranspirációhoz viszonyított eltéréseit a K_c értékek segítségével állapíthatjuk meg, amelyeket a növények magassága, albedója és a növekedési időszak fázisai befolyásolnak. A FAO Penman-Monteith módszer lehetővé teszi az ET_o és az ET_c értékek becslését az öntözési igények optimális meghatározásához (Varga-Haszonits, et al., 2019). A rendelkezésre álló módszertani lehetőségek közül elmondható, hogy ez a becslési módszer alkalmas arra, hogy egy adott terület párolgási veszteségeinek becsült értékét a lehető legjobban közelítsük a valósághoz (Doorenbos & Pruitt, 1977). Erre vonatkozóan számos összehasonlító tanulmány is készült, mint például (Zhou, 2011), (McMahon, et al., 2013), (Rácz, et al., 2014), (Efthimiou, et al., 2013) vagy (Varga-Haszonits, et al., 2019) vizsgálatai.

2.4. Növényi tényezők (K_c)

A területen elhelyezkedő szántóföldek potenciális vízigényének meghatározására két szántóföldi növény, a csemegekukorica és a szója, került kiválasztásra. Annak érdekében, hogy az adott növények evapotranspirációs tényezője (ET_c) meghatározható legyen, először a növények K_c tényezőit szükséges meghatározni azok különböző fejlődési fázisaira vonatkozóan. A FAO-56 (Allen, et al., 1998) útmutatók javaslatai alapján a kezdeti-, a

növekedési-, a középső- (teljesen kifejlett növény) és a késői-szakaszok különböztethetőek meg egymástól az adott fázisra jellemző felszín borítottság, növénymagasság és levélfelület változásainak figyelembevételével. A kezdeti időszakban, 10%-os felszínborítottságig, a talaj evaporációja a fő tényező, majd a növekedési időszakban fokozatosan egyre inkább a transpiráció válik meghatározóvá. A növekedési időszak végét általánosan a 70-80%-os felszínborítottság, vagy a 3-as levélfelületi index reprezentálja. Ezt követően a teljesen kifejlett növény evapotranspirációja határozza meg a középső időszakot, ami a teljes érettségig tart és a K_c tényező értéke ebben a fejlődési szakaszban a legmagasabb. Végül a késői- vagy zárószakasz időszaka a teljes terület betakarításával zárul. Ebben a szakaszban jelentős szerepet kap az öntözési igénye az adott növénynek, mivel a frissen betakarítandó növények esetében szükséges öntözés pozitív irányba befolyásolja a K_c tényezőt, míg azon növények esetében melyeket nem szükséges öntözni ez a faktor negatív irányba mozdul el (Doorenbos & Pruitt, 1977) (Allen, et al., 1998).

A Penman-Monteith egyenlet alkalmas volna a K_c tényező alkalmazása nélkül is az evapotranspiráció becslésére, azonban ehhez az adott növény felszíni ellenállásával és albedó értékével kellene helyettesíteni a referenciaértékeket. Ezekre a paraméterekre vonatkozóan nem állnak rendelkezésre megfelelő minőségű becslések, mivel a tenyészidőszak alatt folyamatosan változó tényezőkről beszélünk. (Allen, et al., 1998) útmutatója, illetve (Attafy, et al., 2017 January) és (Cadro, et al., 2024) vizsgálatai alapján a következő táblázat foglalja össze a javasolt értékeket:

1. táblázat: A kukorica és a szója K_c értékei

[Forrás: Saját szerk., (Allen, et al., 1998), (Cadro, et al., 2024) és (Attafy, et al., 2017 January) nyomán]

	$K_{c_{ini}}$	$K_{c_{mid}}$	$K_{c_{end}}$
Csemegekukorica	0,4	1,20	1,05
Szója	0,5	1,15	0,5

2.5. Korszerű öntözési technológiák áttekintése

Az öntözési technológiákat három részre oszthatjuk felületi öntözés, fixen telepített helyhez kötött öntözés, illetve önjáró öntözőgépek, amelyek közül korszerűnek a fixen telepített technológiák és az önjáró öntözőgépek tekinthetők.

5. ábra: Víztakarékos öntözési technológiák

[Forrás: Water Enviro Kft.]



A fixen telepített technológiák közül a legkorszerűbb és víztakarékosabb a csepegtető öntözés, amely rendkívül hatékony lehet az intenzív gazdálkodásokban (Futó & Bencze, 2017). Ez a technológia lehet felszíni vagy felszínalatti kivitelű is (Giddings, 2023).

Előnyei:

- Víztakarékos öntözés
- Könnyen automatizálható
- Precíz kijuttatás, napi többszöri kijuttatás is lehetséges
- Minimális talajerózió, még jelentős lejtéssel rendelkező területek esetén is
- Rugalmas telepítés – bármilyen alakú vagy akadályokkal tűzdelt táblán lehet telepíteni
- Csökkenti a növénybetegségek esélyét, mivel a levélfelület nem érintkezik az öntözővízzel
- Lehetőséget ad tápoldatok kijuttatására is

Hátrányai:

- Rendszeres karbantartási igény
- Érzékeny a víz fizikai szennyezettségére
- Csak a növények közvetlen közelében nedvesít, a talajréteg nedvességtartalmának növelésére nem alkalmas.
- Fagyvédő, virágzás késleltető, frissítő öntözésre nem alkalmas

A mikroszórófejes öntözés egy alapvetően kisebb térfogatáramú öntözési technológia, ami alacsony nyomáson képes üzemelni. Jellemzően a felszínre fektetett LPE műanyag csőre szerelt szórófejekkel történik. (Kemény, et al., 2018) (Yerasi, et al., 2024):

Előnyei:

- Víztakarékos öntözés
- Pontos adagolás, napi többszöri kijuttatás is lehetséges
- Rugalmas telepítés – bármilyen alakú vagy akadályokkal tűzdelt táblán lehet telepíteni
- Rossz vízgazdálkodású talajokon is alkalmazható

Hátrányai:

- Csepegtető öntözéssel összevetve nagyobb a párolgási veszteség
- Érzékeny a víz fizikai szennyezettségére
- Csak a növények közvetlen közelében nedvesít, a talajréteg nedvességtartalmának növelésére nem alkalmas
- Fagyvédő, virágzás késleltető, frissítő öntözésre nem alkalmas

A lineár és a körforgó (center pivot) berendezéseket is különböző öntözési technológiákkal lehet alkalmazni. Az alábbiakban ezek a technológiák kerültek áttekintésre:

A LEPA (Alacsony nyomású precíziós öntözés) egy olyan módosítása a klasszikus belógatott szórófej kialakításnak, ami során alacsony nyomás alkalmazásával a víz közvetlenül a felszínre folyik, így minimalizálva a párolgás és szél általi vízvesztést (Molaei, et al., 2021).

Előnyei:

- Víztakarékos öntözést tesz lehetővé
- Precíz kijuttatás
- Alacsony nyomásigény

- Nagy területek öntözése lehetséges
- Minimális párolgási veszteség

Hátrányai:

- Az öntözővíz kijuttatásának magas az intenzitása
- Kötétt talajokon, vagy nem sík táblákon való alkalmazása nem javasolt
- Nehézséget okozhat a művelő sorokat úgy kialakítani, hogy az öntözőberendezéssel összhangban legyenek, főleg körforgó esetén
- Fagyvédő, virágzás késleltető, frissítő öntözésre nem alkalmas

A LESA (Földközébe lógatott precíziós szórófejekkel való öntözés) technológia hasonlóan a LEPA rendszeréhez a felszínhez közel juttatja ki a vizet, de a fő különbség, hogy ezen szórófejek vagy víz porlasztó fúvókák kerülnek elhelyezésre (Bordovsky, 2019).

Előnyei:

- Vízta karékos öntözést tesz lehetővé
- Precíz kijuttatás
- Nagy területek öntözése lehetséges
- Mikroszórófejek alkalmazásával azonos párolgási veszteség
- Magas uniformitás

Hátrányai:

- Az öntözővíz kijuttatása alacsonyabb intenzitású, mint a LEPA esetében, de a többi technológiához képest magasabb
- Nagyobb lejtésű táblákon való alkalmazása nem javasolt

A MESA (Közép magasságra belógatott precíziós szórófejekkel való öntözés) az általánosan alkalmazott módszer a center pivot és lineár rendszerek esetében. Alapvetően a szórófejek vertikális elhelyezésében különbözik a LESA rendszerétől.

Előnyei:

- Vízta karékos öntözés
- Kis talajerózió, még jelentős lejtéssel rendelkező területek esetén is
- Nagy területeket képes lefedni

Hátrányai:

- A LEPA, LESA és csepegtető rendszerekhez képest valamivel nagyobb a párolgási veszteség
- Kis méretű táblákon való használata nem gazdaságos

A Mobil csepegtető öntözés során csepegtető csövek kerülnek felszerelésre a szórófejek helyett és azok húzásával valósul meg az öntözés (O'shaughnessy & Colaizzi, 2017).

Előnyei:

- Víztakarékos öntözést tesz lehetővé
- Precíz kijuttatás
- Alacsony nyomásigény
- Nagy területek öntözése lehetséges
- Minimális párolgási veszteség

Hátrányai:

- Az öntözővíz kijuttatásának magas az intenzitása
- Köttött talajokon, vagy nem sík táblákon való alkalmazása nem javasolt
- Nehézséget okozhat a művelő sorokat úgy kialakítani, hogy az öntözőberendezéssel összhangban legyenek, főleg körforgó esetén
- Fagyvédő, virágzás késleltető, frissítő öntözésre nem alkalmas

Végül sok helyen alkalmazott megoldás még a konzolos öntözés, amely esetén a megszokott végágyús kialakítású csévélődobos rendszer végére a szórófej kocsii helyett egy öntözőkonzol kerül elhelyezésre.

Előnyei:

- Víztakarékos öntözés
- Precíz kijuttatás, napi többszöri kijuttatás is lehetséges
- Akadályokkal szabdalt táblákon is lehet alkalmazni

Hátrányai:

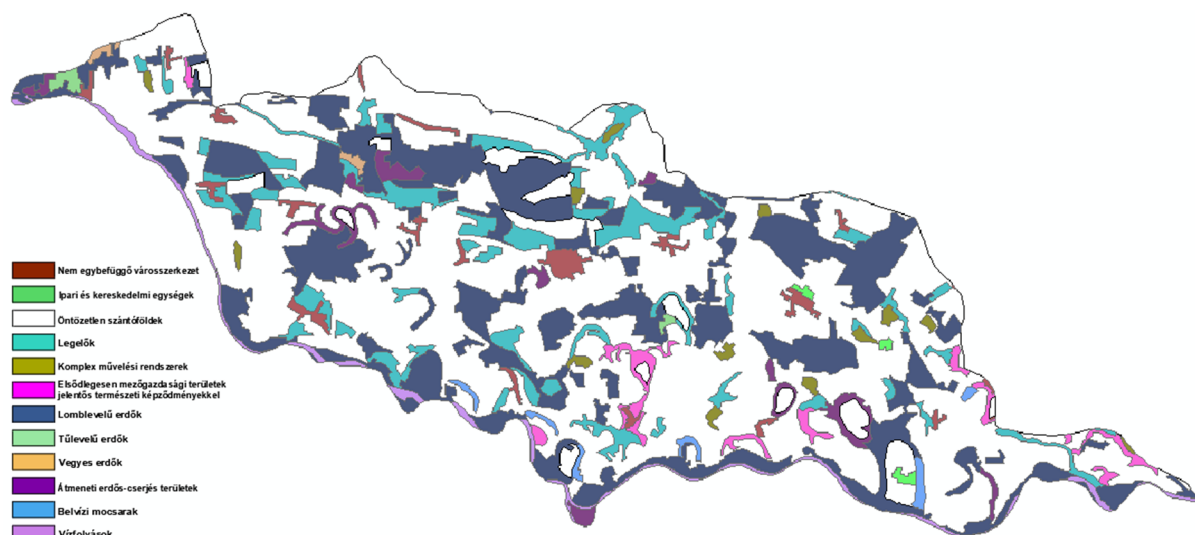
- Magasabb a humán erőforrás igénye a többi rendszerhez képest
- Naponta néhány csak hektár beöntözésére alkalmas

3. Alkalmazott módszerek

3.1. Mezőgazdasági területek lehatárolása

A mintaterületre vonatkozóan a földhasználati kategóriák és azok területi eloszlásának meghatározására az Európai Bizottság által kezdeményezett CORINE (Coordination of Information on the Environment) program keretein belül létrehozott felszínborítottsági és földhasználati adatbázis került felhasználásra, amely részletes osztályozásokat biztosít különböző szinteken a FAO felszínborítottság-osztályozási rendszerét követve. A területre vonatkozó raszteres térképi adatok az ArcGIS nevű térinformatikai szoftverrel kerültek feldolgozásra, aminek az eredményét a 6. ábra szemlélteti.

6. ábra: CORINE Land Cover kategóriák a mintaterületre vonatkozóan
[Forrás: Saját szerk., alaptérkép: land.copernicus.eu]



Az Ős-Dráva Program által érintett terület felszínborítottság és földhasználat szerinti területi bontása a CORINE Land Cover 2018-as adatbázisa szerint a következő:

2. táblázat: Az Ős-Dráva Program hatásterületének földhasználat szerinti eloszlása
[Forrás: Saját szerk.]

Kategória	CORINE kód	Terület [km ²]	Terület [ha]
Nem egybefüggő városszerkezet	112	10,0	1002,8
Ipari és kereskedelmi egységek	121	1,1	109,7

Öntözetlen szántóföldek	211	313,4	31341,5
Legelők	231	41,0	4104,4
Komplex művelési rendszerek	242	4,6	461,4
Elsődlegesen mezőgazdasági területek jelentős természeti képződményekkel	243	7,9	793,9
Lomblevelű erdők	311	126,3	12631,0
Tűlevelű erdők	312	1,4	141,1
Vegyes erdők	313	1,0	105,0
Átmeneti erdős-cserjés területek	324	9,5	948,7
Belvízi mocsarak	411	3,0	300,6
Vízfolyások	511	7,8	779,8
Összesen		527,2	52719,9

3.2. Elméleti öntözővíz igény meghatározása

Annak érdekében, hogy a mezőgazdasági területekre vonatkozóan a rendelkezésre álló és pótolni szükséges vízmennyiséget meg lehessen határozni, a területre hulló csapadék és az öntözés által képviselt bevételi oldal mellett szükséges a vízveszteségek figyelembevétele, melynek fő tényezője az evapotranspiráció folyamata során a légkörbe jutó vízmennyiség.

Ennek becsléséhez a sellyei automata meteorológiai mérőállomás adatsorai kerültek felhasználásra, melyek a Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. online adattárából [Forrás: www.odp.met.hu] publikusan elérhetőek. Sellye az Ős-Dráva Program által lefedett

területnek a középpontjában fekszik, ezáltal ezen vizsgálat tekintetében a jellemző klimatikus tényezők meghatározása szempontjából reprezentatívnak tekinthető. Az éghajlati adatsorok közül a havi bontású állomány tartalmazza a FAO Penman-Monteith egyenlet alkalmazásához szükséges információk közül a legtöbbet (átlagos közép-, minimum- és maximum hőmérséklet, átlagos relatív páratartalom, átlagos szélesebség, globálsugárzás), továbbá tartalmazza a havi csapadékösszegeket is. Az adatsor 2002. február 01-től áll rendelkezésre és folyamatosan frissítésre kerül azóta. A vizsgálatok és becslések során a 2002. január – 2024. szeptember időszakra vonatkozó havi adatsorok kerültek felhasználásra.

Az elmúlt közel 23 év klimatikus tényezőinek adatbázisa alapján a (Doorenbos & Pruitt, 1977) által módosított Penman egyenlet (1) és a FAO által jelenleg javasolt (Allen, et al., 1998) Penman-Monteith egyenlet (10) felhasználásával kiszámításra került a mintaterületre jellemző referencia evapotranspiráció (ET_0) értéke havi bontásban a rendelkezésre álló adatokkal lefedett teljes időszakra vonatkozóan. A FAO-24 kalkuláció a 2.3. pontban részletezett módszertan szerint, a FAO-56 kalkuláció pedig a „FAO 56 Irrigation and drainage paper” BOX 11 jelű havi adatokra vonatkozó módszertanát részletező táblázat szerint került meghatározásra.

Ezt követően a vizsgálatához két növény, a csemegekukorica, illetve a szója került kiválasztásra példaként, melyeknek a FAO-56 leírása alapján meghatározásra kerültek a különböző fejlődési időszakaikhoz tartozó K_c tényezők. A tenyészidőszak hossza a kukorica esetén 130 (Nagy, 2023), míg a szója esetén 120 (Hunyadi & Drexler, 2016) napban került meghatározásra és mindkét növény esetén áprilisi vetést feltételeznek a kalkulációk.

A Penman-Monteith egyenlet eredményeként kapott referencia-evapotranspirációs érték és a K_c tényezők alkalmazásával rendelkezésre áll az adott növényre vonatkozó ET_c érték, amely a napi evapotranspirációt fejezi ki mm/d mértékegységben.

Az így kapott ET_c értékeket a havi adatsorokhoz kapcsolódó kalkulációba integrálva, meg lett becsülve a potenciális evapotranspiráció mértéke, amelyet a lehullott csapadék összegével összehasonlítva meghatározható az az elvi vízpótlási igény, ami a termesztést befolyásoló egyéb tényezők figyelembevétele nélkül a maximális hozam eléréséhez szükséges volna.

3.3. Öntözési célra fordítható vízmennyiség meghatározása

A területen állandó vízfolyás kevés található, a vízfolyások többsége időszakos, ezért ezekből öntözővíz kivétel nem lehetséges. Számottevő öntözésfejlesztés a Dráva néhány kilométeres környezetén kívül eddig vízhiány miatt nem volt megvalósítható. Bár az Ős-Dráva Program eredeti célja nem a mezőgazdasági öntözésfejlesztés volt, ennek ellenére megteremtette a lehetőségét, hogy a Drávától távolabbi szántóföldeken is lehessen öntözéses gazdálkodásra berendezkedni. Ehhez azonban rendkívül nagy vízmennyiségek mozgatására van szükség, mivel ezekből a csatornákból számos különböző helyen jelentkező igényt ki kell elégíteni, mind mennyiségi, mind pedig minőségi szempontoknak megfelelően. A nagy vízmennyiség hosszú szakaszon történő átkormányzása során azonban jelentős veszteségek alakulhatnak ki a párolgási és szivárgási folyamatok következtében. Mivel az ŐDP projekt célja elsősorban ökológiai és környezetvédelmi vízpótlás volt, ezért a szivárgási veszteségek a projekt célját szolgálták.

Az Ős-Dráva Program során a jelen vizsgálat tárgyát képező területen kiépítésre került ez a vízkormányzó/vízelosztó rendszer az 1.2. fejezetben foglalt leírás szerint. A vízkivételi mű maximális kapacitása $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Azonban a teljes csatornahálózat hossza megközelítőleg 70 km és a vízfelület maximum vízszint esetén kb. 50 hektár [Forrás: AQUAPROFIT Zrt.], amely távolságon és felületen a szivárgási- és a párolgási veszteség is jelentősen csökkenti a potenciálisan öntözési célokra fordítható víz mennyiségét.

Ezekre a veszteségekre jelenleg nem állnak rendelkezésre megfelelő tapasztalati adatok. A párolgási veszteség az előző pontokban taglalt módszertan alapján a referencia evapotranspiráció és a nyílt vízfelületekre vonatkozó K_c tényező alkalmazásával megbecsülhető. A szivárgási veszteségek azonban a rendszer egyes pontjai között nagy mértékben eltérhet a helyi talajviszonyok függvényében és a talaj összetétele mellett az is fontos szerepet játszik, hogy a medrek fenékszintjéhez képest a talajvízszint az adott pillanatban mekkora mélységben nyugszik. Ugyanakkor, ahogy korábban is említésre került, a tárgyi rendszer esetében a szivárgás során a csatornából távozó víz nem tekinthető valós veszteségnek, hiszen a talaj vízháztartását javítja, ami elősegíti a vizes élőhelyek fenntartását és a helyi természetes vegetáció vízellátását.

Jelen kalkulációk esetében a szivárgás mértéke a szállított vízmennyiség 50%-os arányában került meghatározásra. Ezek alapján az öntözési célokra maximálisan fordítható vízmennyiség egyenlő a vízkivételi mű által betáplált vízmennyiség, illetve a párolgási veszteség és ökológiai vízpótlási mennyiség összegének különbségével.

3.4. Öntözési technológiák összehasonlítása

Az öntözési technológiák vizsgálata során az első szempont az volt, hogy az öntözési technológia, milyen mértékben tudja minimalizálni a vízveszteségeket. A veszteségek egyrészt az adott körülményekhez helyesen megválasztott technológián, másrészt a telepített rendszer öntözésmenedzsmentjén múlik. Alábbi összevetésben (3. táblázat) látható, hogy a helyes és helytelen tervezés következtében, illetve jó vagy rossz menedzsment eredményeként mekkora szórása lehet a jelentkező veszteségeknek ugyanazon technológia alkalmazása esetén.

3. táblázat: A különböző öntözési technológiák vízhasznosításának összehasonlító táblázata
[Forrás: (Water Resources Program, 2020)]

Method		Application Efficiency, Ea (%) ⁷		%Total Evaporated	% Total Use Consumed	Return Flow
		Range	Average, Ea _{avg}	%Evap	%CU, Average ⁸	%RF, Average ⁹
Surface:	Graded Furrow	50 – 80	65	5	70	30
	w/ tailwater reuse	60 – 90	75	5	80	20
	Level Furrow	65 – 95	80	5	85	15
	Graded Border	50 – 80	65	5	70	30
	Level Basins	80 – 95	85	5	90	10
	Flood	35 – 60	50	5	55	45
Sprinkler:	Periodic Move (Handline)	60 – 85	75	10	85	15
	Side Roll (Wheelline)	60 – 85	75	10	85	15
	Moving Big Gun	55 – 75	65	10	75	25
	Solid-Set—Overtree	55 – 80	70	15	85	15
	Solid Set—Undertree	60 – 85	75	10	85	15
	Pop-Up Impact	60 – 85	75	10	85	15
Center-Pivot	Impact heads w/end gun	75 – 90	80	15	95	5
	Spray heads w/o end gun	75 – 95	90	10	100	0
	LEPA w/o end gun ¹⁰	80 – 98	92	5	97	3
Lateral-Move	Spray heads w/hose feed	75 – 95	90	10	100	0
	Spray heads w/canal feed	70 – 95	85	10	95	5
Microirrigation:	Trickle/Drip	70 – 95	88	5	93	7
	Subsurface Drip	75 – 95	90	0	90	10
	Microspray	70 – 95	85	10	95	5

A második szempont az, hogy a természeti kívánt növénykultúrákhoz kapcsolódóan mely technológiák illeszthetőek a legjobban. Erre vonatkozóan a KITE Zrt. tapasztalatai alapján rendelkezésre álló széleskörű információkat felhasználva (Kemény, et al., 2018) készítettek egy összefoglaló táblázatot, az alábbiak szerint:

7. ábra: A KITE Zrt. adatai alapján készült öntözési mód javaslatok
[Forrás: (Kemény, et al., 2018)]

Öntözendő szántóföldi növények	Öntözési mód (technika)
Vetőmagnövények	
Hibrid kukorica	Lineár, körforgó; Csévélődobos (konzolos)
Napraforgó	
Repce	
Lucerna	
Egyéb	
Nagymagvú zöldségek	
Csemegekukorica	Lineár, körforgó; Csévélődobos (konzolos)
Zöldborsó	
Zöldbab	
Aprómagvú zöldségek	
Paradicsom	Lineár, körforgó; Mikroöntözés (csepegtető-miniesőztető)
Paprika	Mikroöntözés (csepegtető-miniesőztető)
Hagyma	Lineár, körforgó; Mikroöntözés (csepegtető-miniesőztető)
Káposztafélék	Csévélődobos (konzolos); Kertészeti szórófejes öntözés
Dinnye	Mikroöntözés (csepegtető-miniesőztető)
Ipari növények	
Burgonya	Lineár, körforgó; Csévélődobos (konzolos); Kertészeti szórófejes öntözés
Cukorrépa	Lineár, körforgó; Csévélődobos (konzolos)
Szója	
Takarmánynövények	
Árukukorica	Lineár, körforgó; Csévélődobos (konzolos)
Silókukorica	
Gyümölcsfélék	
Gyümölcs, szőlő	Mikroöntözés (csepegtető-miniesőztető)

Az összehasonlított technológiákat további szempontok alapján javasolt osztályozni aszerint, hogy az adott termőhelyre milyen környezeti körülmények jellemzőek. Az alábbi táblázatok azt mutatják, hogy különböző körülmények esetén (táblaméret, talaj fizikai félesége, domborzati viszonyok) milyen technológiákat javasolt használni az alábbi értékeléssel: (0 – nem javasolt, 1 - feltételesen javasolt, 2 - javasolt)

A harmadik vizsgálati szempont az öntözésre szánt terület mérete és alakja. Az önjáró berendezések esetében a tábla alakja és mérete nagyon meghatározó, illetve a terepi akadályok jelenléte (pl.: villanyvezetékek, kunhalmok, egyedi tájelemek, magányos fák stb.). Amennyiben 10 hektár alatti táblákról van szó vagy olyan táblákról, amelyeket 10 hektárnál kisebb részekre szabdalnak terepi akadályok, akkor önjáró berendezések alkalmazása gazdaságosan nem megvalósítható, így nem javasolt ezen technológiák telepítése. Ez az a mérettartomány, ahol csepegtető vagy konzolos öntözés előnyösen használható.

4. táblázat: A táblaméret alapján javasolt öntözési technológiák

[Forrás: Saját szerk.]

Tábla méret	CP LESA	CP LEPA	CP MESA	CP CSEP	LIN LESA	LIN LEPA	LIN MESA	LIN CSEP	KONZOL	SDI	RDI	MIKRO
0-10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
10-25	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0
25-50	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	0	0
T>50	0	0	2	0	0	0	2	0	0	1	0	0

A negyedik szempont a talaj fizikai adottságai közül öntözés szempontjából a legfontosabb tulajdonságai víztartó és vízáteresztő képessége. A helyes öntözési technológia megválasztásánál az egyik legfontosabb tényező technológia által biztosítható minimális intenzitás. Olyan öntözési technológiát kell választani, ahol a kiöntözött víz intenzitása még nem okoz elfolyást, vagy a területen pangást, illetve nem idéz elő talajeróziót. Amennyiben az adott öntözési technológia képes a talaj beszivárogtató képességéhez képest megfelelően alacsony intenzitással kijuttatni az öntözővizet, akkor az a technológia ebből a szempontból javasolható az adott területre.

5. táblázat: A talaj kötöttsége alapján javasolt öntözési technológiák

[Forrás: Saját szerk.]

Talaj kötöttség Arany-féle k.sz.	CP LESA	CP LEPA	CP MESA	CP CSEP.	LIN LESA	LIN LEPA	LIN MESA	LIN CSEP	KONZOL	SDI	RDI	MIKRO
15-30	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
31-37	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2
38-42	1	0	2	0	1	0	2	0	2	2	2	2
43-50	0	0	1	0	0	0	2	0	2	2	2	2
>50	0	0	1	0	0	0	2	0	2	1	1	1

Az ötödik szempont a domborzati viszonyok, melyeket két szemszögből érdemes vizsgálni, egyrészt a különböző típusú öntözőgépek különböző meredekségű területeken képesek mozogni, ezért a telepítési feltételek alapvetően meghatározzák mely öntözőgépek vagy technológiák alkalmazhatóak. A másik szempont a lejtés és a talaj kötöttségének együttes vizsgálata során meghatározott maximális öntözés intenzitás, amelynél talajerózió és lefolyás elkerülése a cél.

6. táblázat: A jellemző lejtés viszonyok alapján javasolt öntözési technológiák

[Forrás: Saját szerk.]

Lejtés viszonyok	CP LESA	CP LEPA	CP MESA	CP CSEP.	LIN LESA	LIN LEPA	LIN MESA	LIN CSEP	KONZOL	SDI	RDI	MIKRO
0-2 %	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2%-5%	1	0	2	1	1	0	2	1	2	2	2	2
5%-10%	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	1
10%<	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Elméleti maximális öntözési vízigény

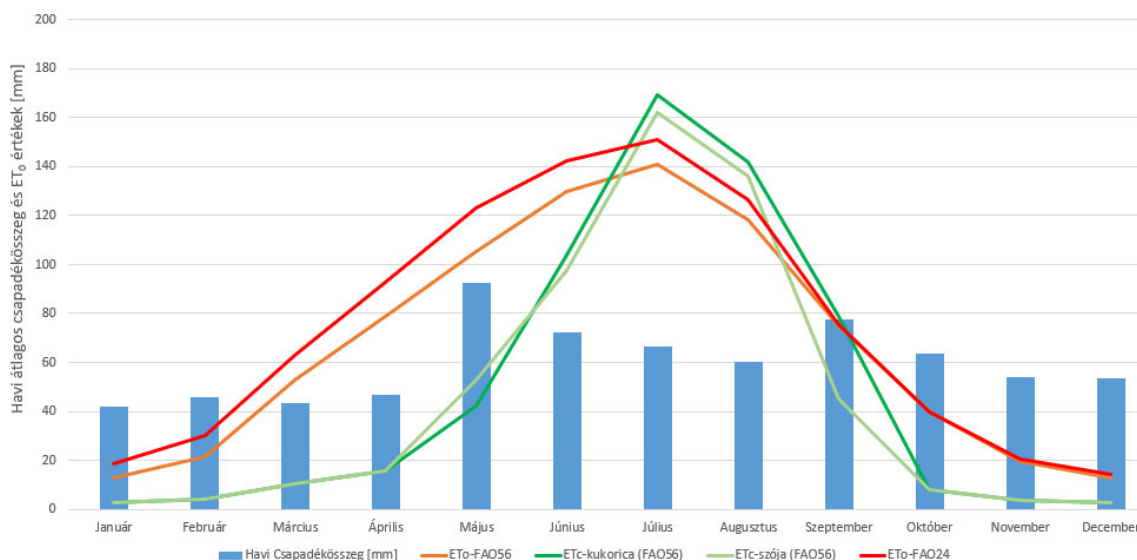
Az Ős-Dráva Program hatásterületének a 2002 és 2024 közötti időszak alapján kiszámított havi átlagos meteorológiai jellemzőit a 7. táblázat tartalmazza. A HungaroMet adataival összevetve elmondható, hogy a magyarországi országos átlagos éghajlati viszonyokat tekintve a terület hőmérséklete attól számottevő eltérést nem mutat. A globálisugárzás terén szintén nincs eltérés az országos átlagtól. A havi szélsőségek tekintetében az országos átlag (3 m/s) fele a jellemző a vizsgált időszak alapján. A havi csapadékösszegek pedig a januári és februári, illetve a szeptemberi hónapokban kis mértékben az átlag felettiek, míg a májusi értékek jelentősen meghaladják azt.

7. táblázat: Az ŐDP hatásterületére jellemző meteorológiai adatok a 2002-2024 időszak mérései alapján
[Forrás: Saját szerk.]

	Havi Csapadék- összeg [mm]	Havi átl. Hőmérséklet [°C]	Havi min. Hőmérséklet [°C]	Havi max. Hőmérséklet [°C]	Relatív nedvesség havi átlaga [%]	Havi átl. Szél- sebesség [m/s]	Havi átl. Globál- sugárzás [MJ/m ²]
Jan.	42	0,6	-12,2	14,6	84,7	1,4	122,81
Feb.	46	2,7	-9,6	16,5	79,3	1,6	188,85
Már.	43	6,8	-6,4	22,3	70,3	1,7	347,45
Ápr.	47	11,6	-1,7	25,9	68,8	1,6	494,65
Máj.	93	16,0	3,2	29,6	73,9	1,5	595,05
Jún.	72	20,3	8,1	33,8	74,1	1,3	662,77
Júl.	66	21,9	9,5	35,2	72,3	1,3	686,04
Aug.	60	21,2	8,7	34,7	75,1	1,1	584,99
Szep.	77	16,1	3,9	30,8	80,0	1,1	416,59
Okt.	61	10,5	-1,4	24,6	80,7	1,0	247,15
Nov.	51	6,1	-4,4	19,2	83,1	1,2	125,29
Dec.	51	1,8	-9,4	14,6	83,3	1,3	901,6

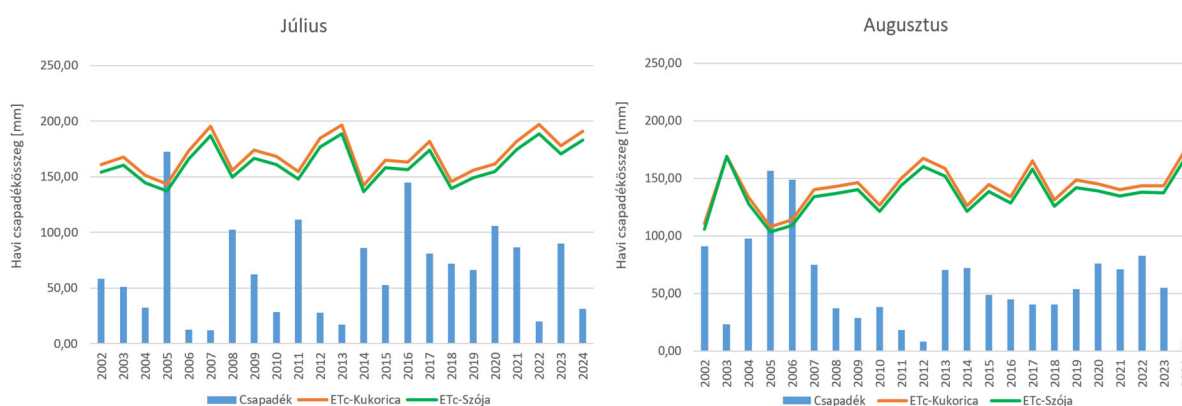
Az elmúlt közel 23 év adatsorai alapján minden hónapra meghatározásra került a havi referencia evapotranspiráció a két becslési módszer alkalmazásával, melynek havi átlagértékét a havi átlagos csapadékösszegekkel történő összevetését szemlélteti a 8. ábra. Szembetűnő, hogy a nyári hónapokban jelentősen elmarad a havi csapadékösszeg a referencia evapotranspiráció értékétől, míg a vegetációs időn kívül az átlagos értékeket figyelembe véve van lehetőség arra, ideális időbeli eloszlás esetén, hogy a talajok vízpótlása a csapadék által megtörténjen.

8. ábra: Átlagos havi csapadékösszeg és ET_0 értékek a 2002-2024 időszak adatai alapján
[Forrás: Saját szerk.]



Az eredmények alátámasztják azt, hogy a korábbi FAO-24 számítási módszer gyakran felülbecsüli a referencia evapotranspiráció értékét (Efthimiou, et al., 2013), ahogy az a január-augusztus időszakra vonatkozóan jól látszódik. A szeptember-december időszakban közel megegyezik a két számítási módszer végeredménye. A 7. táblázat adatait megvizsgálva ezekre a hónapokra egységesen magas páratartalom és minimális szélsőérték értékek a mérvadók, így nagy valószínűséggel megállapítható, hogy a felülbecslés oka az ezen paraméterek evapotranspirációra kifejtett hatásának becslésére használatos függvényekben és korrekciós tényezőkben rejlő bizonytalanság.

9. ábra: A júliusi és augusztusi csapadékösszegek és havi ET értékek a 2002-2024 időszakra vonatkozóan
[Forrás: Saját szerk.]



A 9. ábra a júliusi és augusztusi jellemző havi csapadék mennyiségeket, illetve a csemegekukoricára és a szójára becsült elméleti maximális havi evapotranspiráció értékeit

ábrázolja a vizsgált időszak egyes éveire vonatkozóan. Jól látható a természetes csapadék jelentős hiánya ezekben a hónapokban, amely időszak mindkét például szolgáló növény termesztése esetében a legkritikusabb időpont, így az öntözési lehetőségek megteremtése indokolt a megfelelő terméshozam és termésminőség elérése érdekében.

A 8. táblázatban kerültek összefoglalásra a vizsgált 23 év vonatkozásában a tenyésztési időszak egyes hónapjaira jellemző csapadékösszegek és a Penman-Monteith egyenlet (10) módszertana alapján meghatározott elméleti maximális vízigények és a 9. táblázatban a például szolgáló növények meghatározott átlagos ET_c értékei. Az eredmények jól közelítik a két növény valós vízigényét a hazai vizsgálatok és szakirodalom alapján a kukorica esetében (Nagy, 2023) és (Futó, et al., 2018), a szója esetében pedig (Miskucza, 2014) és (Hunyadi & Drexler, 2016) nyomán.

8. táblázat: A jellemző csapadékösszegek és számított ET mennyiségek a tenyésztési időszakban a 2002-2024 időszakra vonatkozóan
[Forrás: Saját szerk.]

Hónap	Minimum havi csapadékösszeg [mm]	Átlagos havi csapadékösszeg [mm]	Maximum havi csapadékösszeg [mm]	Csemegekukorica havi ET [mm]	Szója havi ET [mm]
Máj.	22,50	92,53	235,90	42,07	52,59
Jún.	5,30	72,35	132,60	103,79	97,30
Júl.	12,10	66,37	172,80	169,11	162,06
Aug.	8,40	60,21	156,30	141,89	136,28
Szep.	15,10	77,35	216,10	78,86	46,62

9. táblázat: A csemegekukorica és a szója becsült átlagos ET_c értékei a tenyésztési időszakban a 2002-2024 időszakra vonatkozóan
[Forrás: Saját szerk.]

Hónap	ET _c Csemegekukorica [mm/d]	ET _c Szója [mm/d]
Máj.	1,36	1,70
Jún.	3,46	3,24
Júl.	5,46	5,23
Aug.	4,58	4,39
Szep.	2,63	1,50

Az eredményeket összevetve az alábbi táblázatban került meghatározásra az az elméleti maximális vízigény, amivel elérhető a legjobb termésátlag standard körülmények között, amennyiben egyéb korlátozó tényező nem befolyásolja a termesztés folyamatát

10. táblázat: Átlagos havi csapadékösszegek és a két növény elméleti vízigénye

[Forrás: Saját szerk.]

Növény	Hónap	Átlagos havi csapadékösszeg [mm]	Átlagos havi elméleti öntözési vízigény	
			[mm]	[m ³ /ha]
Csemege-kukorica	Június	72,35	31,4	314
	Július	66,37	102,7	1027
	Augusztus	60,21	81,7	817
Összesen		198,9	215,9	2159
Szója	Június	72,35	25,0	250
	Július	66,37	95,7	957
	Augusztus	60,21	76,1	761
Összesen		198,9	196,7	1967

Az eredményeket illetően fontos megemlíteni, hogy azok a havi átlag értékek alapján és elsősorban a FAO útmutatója nyomán becsült növényi tényezők figyelembevételével lettek kiszámítva és későbbi konkrét szántóföldekre és növényekre vonatkozó számítások esetén javasolt a helyi megfigyelések segítségével ellenőrizni és validálni a kapott eredményeket az adott növényfajta vonatkozásán.

4.2. Öntözésre fordítható maximális vízmennyiség és öntözhető terület

A potenciálisan kiöntözhető vízmennyiség a 3.3. pontban leírt módszertannak megfelelően az alábbi összefüggés alapján került meghatározásra:

$$Q_{\text{öntözés}} = Q_{\text{betáp}} - (Q_{\text{párolgás}} + Q_{\text{öko}}) \quad (11)$$

A párolgás esetében azzal a kiegészítéssel, hogy a becsült veszteség alapjául a 2002-2024 időintervallum március és október közötti időszakának átlagos ET₀ értékei kerültek felhasználásra.

A (11) jelű képletbe behelyettesítve az eddigiek alapján megkapott becsült értékeket a következő eredményre jutunk:

$$Q_{\text{öntözés}} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s} - (0,002 \text{ m}^3/\text{s} + 2,75 \text{ m}^3/\text{s}) \quad (12)$$

Így a maximális öntözési célra fordítható vízmennyiség: 2,748 m³/s.

A vízelosztó hálózatban fellépő veszteségek, nagy távolságok és az ökológiai vízigények figyelembevételével tehát azzal lehet számolni, hogy maximális víz betáplálás esetén 2750 l/s vízhozam fordítható öntözési célokra a jelenlegi rendszerrel.

A napi öntözési normának egységesen 8 mm lett alapul véve, amely 0,925 l/s/ha vízhozamot jelent, ez alapján 2970 hektár szántó egyidejű öntözését tudja kiszolgálni ez a vízhozam.

Általában Magyarországon az öntözőtelepek 60-80%-os egyidejűsége épülnek ki, így jelen kalkuláció során átlagosan 70%-os maximális egyidejűséggel számolva, 4242 hektár berendezett öntözött területet lehetne létrehozni a meglévő vízelosztó rendszerre csatlakozva. Ez a CORINE adatbázisán alapuló kimutatás alapján a jelenlegi szántók, mintegy 13-14%-a.

4.3. Javasolt öntözési technológiák

Az önjáró berendezések nagy egybefüggő táblák öntözésére kínálnak gazdaságos és víztakarékos megoldást. Alkalmazásuk legnagyobb kihívása, hogy kis (10 ha alatti) táblák esetén már nem lehet gazdaságosan öntözni velük, illetve, hogy terepakadályokkal szabdalts területeken limitáltan alkalmazhatóak. 20 hektárnál nagyobb, sík táblák esetén, ahol laza talajok vannak LEPA, LESA technológiák alkalmazása javasolt. Amennyiben a talajok

kötöttebbek, illetve a lejtésviszonyok nőnek úgy tolódik el a javasolt technológia a LESA, majd MESA alkalmazásának irányába.

Amennyiben az önjáró berendezések alkalmazása nem lehetséges, akár a domborzati viszonyok akár a terület szabdaltsága miatt vagy kisebb területet szeretnénk öntözni, akkor a konzollal szerelt csévélődob, vagy csepegtető öntözés kiépítése lehet a legjobb választás.

A konzolos öntözés legnagyobb előnye, hogy mobilis, nem korlátozza a talajművelést és a növény fenológiai fázisaihoz igazított magasságban lehet öntözni. Sok kis tábla esetén valószínűleg a legjobb víztakarékos öntözési megoldást jelenti napjainkban.

Kertészeti kultúrák, gyümölcsösök, szőlészetek esetében a felszíni és a felszín alatti csepegtető öntözés lehet a leghatékonyabb. A felszínalatti csepegtető öntözésnek van egy új változata, az úgynevezett RDI (Responsive Drip Irrigation), amely olyan membránokat tartalmaz, amely a gyökerek által vízfelvételkor kibocsátott vegyületekre reagál és nyitja meg a pórusait, így biztosítva, hogy a növény által igényelt időszakban kapjon vizet. Ezt a folyamatot szemlélteti vázlatosan a 10. ábra. A módszer esetében azonban meg kell említeni, hogy ez egy feltörekvő technológia, amelynek validálására még nem állnak rendelkezésre megfelelő részletességű és minőségű információk.

10. ábra: Az RDI elvi működési sémája
[Forrás: www.poliext.hu]



5. Következtetések és javaslatok

Jelen dolgozatban elvégzett vizsgálatok és becslések eredményei alapján elmondható, hogy az Ős-Dráva Program során megvalósult fejlesztésekhez kapcsolódóan, illetve azokra épülve adott a lehetőség a mezőgazdasági célú vízhasználat feltételeinek megteremtésére. A meglévő vízelosztó hálózathoz megfelelő távolságban elhelyezkedő szántóföldek esetében a már meglévő csatornákra épülő öntözőtelepek volnának kialakíthatóak kb. 4000 ha mezőgazdasági terület öntözésének kielégítésére, míg a távolabbi területekhez további vízkormányzási rendszerfejlesztések révén lehetne az öntözővizet eljuttatni.

Az éghajlati körülmények, beleértve a várható éghajlatváltozási hatásokat is, egyre inkább indokolttá teszik az öntözéses gazdálkodás alkalmazását és a terület általánosan jó talaj adottságokkal rendelkezik mind növénytermesztési, mind vízgazdálkodási szempontokból, tehát a termőhelyi adottságok megfelelőnek tekinthetők.

Vetésforgók megfelelő alkalmazásával és víztározók kialakításával a fentebb említett 4000 ha potenciálisan öntözhető terület tovább növelhető lehet, ami hozzájárulna a Vízkeret Irányelv és a Kvassay Jenő Terv célkitűzéseinek teljesítéséhez is.

A jövőbeli öntözésfejlesztésekre vonatkozóan az öntözési technológiák tekintetében javasolt célul kitűzni a minimum 80%-os öntözővíz kijuttatási hatékonyság és a minimum 90%-os uniformitás elérését, annak érdekében, hogy a rendelkezésre álló vízkészlet minél nagyobb területen váljon hasznosíthatóvá. Ezen cél eléréséhez erősen javasolt az adat-vezérelt öntözésmenedzsment bevezetése, amely talajszondák, meteorológiai állomások és evapotranspiráció mérések adataira támaszkodva csökkenti a túl- és alulöntözésből származó negatív hatásokat és ezáltal a korszerű technológiák is maximális hatékonysággal üzemeltethetővé válnak.

6. Összefoglalás

Jelen diplomadolgozat tárgya az Ős-Dráva Program során megvalósult felszíni vízrendezési fejlesztések során létrejött vízkormányzó, vízelosztó rendszer és hatásterületének vizsgálata azzal a céllal, hogy annak mezőgazdasági potenciálja feltárásra kerüljön. A területre rendelkezésre álló meteorológiai adatok 2002-2024 időszakra vonatkozó adatsoraira alapozva kiszámításra került a FAO-24 és FAO-56 módszertanok alapján a referencia evapotranspiráció értéke, amelynek felhasználásával meghatározásra került az elméleti maximális öntözővíz igény, ami a jellemző éghajlati adottságok függvényében, de korlátlan vízellátottság mellett a maximális hozam eléréséhez szükséges standard körülmények között, amennyiben egyéb korlátozó tényező nem befolyásolja a termesztés folyamatát. Összevetésre kerültek ezzel a vízigénnyel a területre jellemző csapadékadatok és a megvalósult ŐDP rendszere által betáplálható öntözési célokra fordítható vízmennyiség, majd pedig ezek alapján a potenciálisan öntözővízzel ellátható mezőgazdasági területek mérete meghatározásra került. Továbbá, áttekintésre és értékelésre kerültek a jelenleg elérhető öntözési technológiák aszerint, hogy a jövőbeli öntözőtelep fejlesztéseknél milyen szempontokat szükséges figyelembe venni a lehető leggazdaságosabb és a területi adottságoknak legmegfelelőbb rendszer kiépítéséhez. Jelen dolgozatban elvégzett vizsgálatok és becslések eredményei alapján elmondható, hogy az Ős-Dráva Program során megvalósult fejlesztésekhez kapcsolódóan, illetve azokra épülve adott a lehetőség a mezőgazdasági célú vízhasználat hatékony és gazdaságos feltételeinek megteremtésére, így a rendszer mind ökológiai, mind pedig mezőgazdasági célokhoz képes egyidőben hozzájárulni.

7. Irodalomjegyzék

Allen, R., Raes, D., Smith, M. & Pereira, L., 1998. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). *Journal of Hydrology*.

Antal, E., 1968. *Az öntözés előrejelzése meteorológiai adatok alapján*, Budapest: Kandidátusi értekezés.

Attafy, T. M., Okasha, A. & El Metwally, W. F. A., 2017 January. Effect of sprinkler irrigation and land preparation systems on soybean crop production in clayey soil. *Journal of Agricultural Engineering*.

Blaney, H. & Criddle, W., 1950. *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*, Washington: U.S. Soil Conservation Service.

Bordovsky, J., 2019. Low-Energy Precision Appliaction (LEPA) Irrigation: A Forty-Year Review. In: *Transactions of the ASABE*, pp. 1343-1353.

Cadro, S. és mtsai., 2024. Upgrading Maize Cultivation in Bosnia and Herzegovina from Rainfed to Irrigated Systems: Use of Remote Sensing Data and the Dual Crop Coefficient Approach to Estimate Evapotranspiration. *Water*, 1797(16).

Cser, V., 2022. *Az Ős-Dráva Program vízgazdálkodási fejlesztésének eredményei*. : Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság.

Doorenbos, J. & Pruitt, W. O., 1977. *Guidelines for predicting crop water requirements*. 24 Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations.

Dr. Járó, Z., 1963. *Talajtípusok*. Budapest: Országos Erdészeti Főigazgatóság.

Efthimiou, N., Alexandris, S., Karavitis, C. & Mamassis, N., 2013. Comparative analysis of reference evapotranspiration estimation between various methods and the FAO56 Penman - Monteith procedure. *European Water*, 42., pp. 19-34.

Futó, Z. & Bencze, G., 2017. Új lehetőségek a kukorica (*Zea Mays* L.) öntözésében. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, XII. évfolyam(3. szám), pp. 67-79.

Futó, Z., Ollai, I. & Bencze, G., 2018. Különböző kukoricahibridek vízfelhasználásnak tesztelése eltérő években. In: *Alkalmazkodó Vízgazdálkodás: Lehetőségek és kockázatok*. Szarvas: Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar Tessedik Campus, pp. 51-58.

Giddings, J. A., 2023. *Planning a drip irrigation system*, Victoria: State Government Victoria.

Hunyadi, B. É. & Drexler, D., 2016. *Ökológiai szójatermesztés Európában*. első szerk. Budapest: ÖMKI, Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet.

HYDROTERV Bt., 2015. *Ős-Dráva Program - Aktualizált Területi Vízgazdálkodási Tanulmányterv*, Pécs: HYDROTERV Bt..

Kemény, G., Lámfalusi, I. & Molnár, A., 2018. *Az öntözhetőség természeti-gazdasági korlátainak hatása az öntözhető területekre*. Budapest: Agrárgazdasági Kutató Intézet.

Kiss, D., Dr. Kálnoki-Gyöngyössy, M. & Godzsa, A., 2021. *A Duna és a Dráva vidékén - A Dél-Dunántúl és Északkelet-Horvátország*. Budapest: Oktatási Hivatal.

Lévai, K., 2000. *Talajtan (Alkalmazott talajtan, talajismeret) jegyzet*. Mezőtúr

Máté, G., 2022. *Párolgásbecslő módszerek összehasonlító vizsgálata talajvízforgalmi modellezéssel*, Budapest: Közép-Duna-völgyi Vízügyi igazgatóság.

McMahon, T. A. és mtsai., 2013. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences*, pp. 1331-1363.

Miskucza, P., 2014. A szója öntözése. *Agro Napló*, 2014 június, pp. 48-49.

Molaei, B., Peters, R. T., Mohamed, A. Z. & Sarwar, A., 2021. Large scale evaluation of a LEPA/LESA system compared with MESA on spearmint and peppermint. *Industrial Crops and Products*, 159(113048).

Nagy, J., 2023. *A kukorica vízigénye, vízforgalma és öntözése*. 3. szerk. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház.

O'shaughnessy, S. & Colaizzi, P., 2017. Performance of precision mobile drip irrigation in the Texas High Plains Region. *Agronomy*2017, 68(7), pp. 1-13.

OVF, 2022. *Dráva részvízgyűjtő - Vízgyűjtő-gazdálkodási Terve*, Budapest: Országos Vízügyi Főigazgatóság.

OVF, 2022. *Magyarország Vízgyűjtő Gazdálkodási Terve - 8-1 háttéranyag*. Budapest: Országos Vízügyi Főigazgatóság.

Pollermann, D., 2014. *Hidrológiai és hidrogeológiai helyzetfelmérés az Ormánságban*. Keszthely: Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék.

Rácz, C., Dobos, A. & János, N., 2014. A referencia párolgás becslő módszereinek érzékenységvizsgálata. *Agrártudományi Közlemények 2014/61.*, pp. 51-56..

Remenyik, B., 2004. *A Dráva szabályozása és hajózása*, hely nélk.: Eötvös Lóránd Tudományegyetem.

Remenyik, B., 2005. Adatok a Dráva-szabályozás történetéből. *Földrajzi Értesítő*, Issue LIV. évf. 1-2. füzet, pp. 183-188.

Szász, G., 1973. A potenciális párolgás meghatározásának új módszere. *Hidrológiai Közlöny*, pp. 435-442.

Thornthwaite, C. W., 1948. An Approach toward Rational Classification of Climate. *Geographical review*, 38.(1), pp. 55-94.

Tóth, G. és mtsai., 2015. *Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (Soil property maps of the agricultural land of Hungary)*, EUR 27539: doi 10.2788/673710.

Várallyay, G. és mtsai., 1980. Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100 000 méretarányú térképe. *Agrokémia és Talajtan*, 1-2(29), pp. 77-112.

Varga-Haszonits, Z., Lantos, Z., Kalocsai, R. & Szakál, T., 2019. A párolgás fogalma, formái és meghatározásuk. *Acta Agronomica Óváriensis*, 60. Különszám. kötet, pp. 47-71.

Varga-Haszonits, Z. és mtsai., 2019. A referencia evapotranspiráció meghatározása a FAO Penman-Monteith módszerrel. *Acta Agronomica Óváriensis*, 60. Különszám. kötet, pp. 107-126.

Wágner, L., 2009. *Táj és ember, az Ormánság világa*. 3. szám szerk. Pécs: Paeonia 2009, a Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatóság értesítője.

Water Resources Program, 2020. *Program Guidance: Determining Irrigation Efficiency and Consumptive Use*, Washington: Department of Ecology State of Washington.

Yerasi, P. K. R., Jyothi, V. S., Reddy, K. M. & Reddy, B. S., 2024. *Advanced Micro Irrigation Techniques*. IntechOpen: IntechOpen.

Zhou, M., 2011. *Estimates of Evapotranspiration and Their Implication in the Mekong and Yellow River Basins*, Guangzhou: South China Agricultural University.

Ábrajegyzék

1. ábra: Kivágat az Első Katonai Felmérés 1782-1785 (fent) és az 1941-es Katonai Felmérés (lent) térképeiről a Dráva egy szabályozással érintett szakaszán	2
2. ábra: Kivágat az MTA ATK TAKI által, az AGROTOPO és OTAB adatbázisok alapján készített genetikai talajtérképből az érintett területre vonatkozóan	7
3. ábra: Az érintett területre (piros vonallal jelölve) vonatkozó talajféleségek és vízgazdálkodási tulajdonságaik	8
4. ábra: Az érintett területre (szaggatott vonallal jelölve) vonatkozó éghajlati körzetek Péczely osztályozása alapján az 1961-1990 és az 1991-2020 időszakokban.....	10
5. ábra: Víztakarékos öntözési technológiák	17
6. ábra: CORINE Land Cover kategóriák a mintaterületre vonatkozóan	21
7. ábra: A KITE Zrt. adatai alapján készült öntözési mód javaslatok	26
8. ábra: Átlagos havi csapadékösszeg és ET_0 értékek a 2002-2024 időszak adatai alapján.....	29
9. ábra: A júliusi és augusztusi csapadékösszegek és havi ET értékek a 2002-2024 időszakra vonatkozóan.....	29
10. ábra: Az RDI elvi működési sémája [Forrás: www.poliext.hu]	33

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A kukorica és a szója Kc értékei	16
2. táblázat: Az Ős-Dráva Program hatásterületének földhasználat szerinti eloszlása.....	21
3. táblázat: A különböző öntözési technológiák vízhasznosításának összehasonlító táblázata	25
4. táblázat: A táblaméret alapján javasolt öntözési technológiák	27
5. táblázat: A talaj kötöttsége alapján javasolt öntözési technológiák.....	27
6. táblázat: A jellemző lejtés viszonyok alapján javasolt öntözési technológiák.....	27
7. táblázat: Az ŐDP hatásterületére jellemző meteorológiai adatok a 2002-2024 időszak mérései alapján	28
8. táblázat: A jellemző csapadékösszegek és számított ET mennyiségek a tenyészidőszakban a 2002-2024 időszakra vonatkozóan	30
9. táblázat: A csemegekukorica és a szója becsült átlagos ETc értékei a tenyészidőszakban a 2002-2024 időszakra vonatkozóan	30
10. táblázat: Átlagos havi csapadékösszegek és a két növény elméleti vízigénye	31

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Szép Ferenc
A Hallgató Neptun kódja: CQGMP5
A dolgozat címe: Az Ős-Dráva Program mezőgazdasági vízgazdálkodási potenciálja
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
A konzulens tanszékének a neve: Környezettudományi Intézet Öntözésfejlesztési és Meliorációs Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

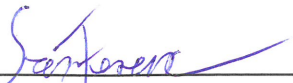
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védelmet követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: 2024.11.11.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Szép Ferenc (hallgató Neptun azonosítója: **CQGMP5**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2024. 11. 11.



Dr. Futó Zoltán
tanszékvezető
belső konzulens