

**Soproni Egyetem**  
**Erdőmérnöki Kar**  
**Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet**

## **Az Ohati sziki tölgyes talajvízforgalmának modellezése**

**Tudományos Diákköri Dolgozat**

**Készítette: Kele Zsombor István okleveles erdőmérnök hallgató**

**Témavezetők:**  
**Dr. Kalicz Péter**  
**Prof. Dr. Gribovszki Zoltán**

**Sopron, 2024.**

## **Tartalomjegyzék**

### **3.o: Absztrakt**

### **4.o: Bevezetés**

### **5.o: Területi és történeti áttekintés**

Az Ohati-erdő elhelyezkedése, története

A vegetáció, állatvilág múltja, jelene, jövője

### **10.o: Szakirodalmi áttekintés-A talajvíz és az erdő kapcsolata az Alföldön**

Ökológiai, hidrológiai modellezési módszerek

A vegetáció és a talajvíz kapcsolata

A visszatöltődés és a talajvíz-evapotranspiráció számítása

Egyéb potenciális és aktuális evapotranspiráció-számítási módszerek

### **19.o: Anyag és módszer**

Mérőrendszer, adatbeszerzés

A talajvíz-párolgotatás és a napi talajvízfogyás számítási módszere

Sy vizsgálat szemeloszlással, illetve párolgásbecslési módszerekkel

Elemzés az R-el

Meteorológiai vizsgálat

Vizsgált időszakok kiválasztása

### **26.o: Eredmények, értékelés**

A talajvízszignál alakulása

A kalkulált Sy értékek összehasonlítása

### **33.o: Összegzés**

### **33.o: Köszönetnyilvánítás**

### **34.o: Irodalomjegyzék**

### **38.o: Mellékletek**

## Absztrakt

A kutatás egy alföldi sziki tölgyes, az Ohati-erdő talajvízforgalmát és ennek környezeti tényezőkkel való kapcsolatát elemzi, különös figyelmet fordítva a talaj fajlagos hozamának szerepére, a tölgyes vízfelvételi sajátosságaira és. Az aszályos évek és az alföldi talajvízszint növekedése különösen időszerűvé teszi a talajvízforgalom vizsgálatát, hiszen az erdők vízfelvételi kapacitásai alapvetően meghatározzák a terület ökológiai stabilitását. A kutatási területen, az Ohati-erdőben telepített talajvízkutak segítségével folyamatosan mértük a talajvízszint napi ingadozását. A White-módszer, a napi talajvízdinamika, és potenciális evapotranspiráció becslési módszerek alkalmazásával a fajlagos hozam különböző számítási módszereivel kísérleteztem. Az eredmények azt mutatták, hogy érdemes foglalkozni a fajlagos hozam meteorológiai paraméterekkel, illetve távérzékelte módszerek segítségével történő becslésével a megszokott szemeloszlás-meghatározásos módszer helyett, vagy azt kiegészítve. Az erdő vízforgalmának és talajvízfelvételeének megismerése olyan új adatokat szolgáltat, amelyek hozzájárulhatnak az alföldi erdők fenntarthatósági stratégiáinak kidolgozásához.

## Abstract

The research analyzes the groundwater dynamics of an alkaline oak forest, the Ohati-forest, and its relationship with environmental factors, with a special focus on the role of specific yield, the water uptake characteristics of the oak forest, and related variables. The dry years and the increasing groundwater depth in the lowlands make the study of groundwater dynamics particularly relevant, as the water absorption capacity of forests fundamentally determines the ecological stability of the area. Using groundwater wells installed in the Ohati-forest, we continuously measured daily fluctuations in groundwater levels. By applying the White-method, daily groundwater dynamics, and potential evapotranspiration estimation methods, I experimented with different calculation methods of specific yield. The results indicate that it is beneficial to estimate specific yield using meteorological parameters and remote sensing techniques instead of, or in addition to, the traditional particle size distribution determination method. Understanding the water dynamics and groundwater uptake of the forest provides new data that can contribute to the development of sustainability strategies for lowland forests.

## Bevezetés

Az egyre sokasodó meteorológiai, klimatológiai elemzések azt mutatják, hogy az elmúlt évtizedekben jelentős mértékű szárazodás, felmelegedés történt, ami az elkövetkező évszázadban csak súlyosbodni fog. Magyarországon, várható a további elmozdulás az erdősztyepp klíma felé a sztyeppi klíma felé, ami már igen nehezen elviselhető a nagy kiterjedésű zárt faállományok számára.

Kutatások kimutatták, hogy a síkvidéki erdők talajvízfelhasználása jelentős, a létük talajvíz nélkül jóval nehezebben elképzelhető, ami akár meghatározó vízforrásként is szolgálhat (Ijjász 1939). Ezek mellett évről évre egyre mélyebbre süllyed a talajvízszint az emberi tevékenységeknek és a klímaváltozásnak köszönhetően. Fontos megértenünk, hogy ebben a folyamatban milyen szerepe van az erdőnek, mennyire is használja el a számára elérhető vízforrásokat.

Az utóbbi évszázadok során rengeteg változás történt a klímaváltozáson felül, az emberi térhódításnak köszönhetően a lecsapolásoktól és erdőirtásokon át sok minden másig. Az erdőknek egyre több szerepük és feladatuk van, fontosságuk felértékelődik a biodiverzitás megőrzésében, szénmegkötésben, gazdaságban. Létfontosságú ezért, hogy megértsük, hogyan lehet fenntartani az erdőket a várható viszonyok között, aminek része, hogy minél mélyebben, pontosabban értelmezzük az az alföldi erdők vízforgalmát.

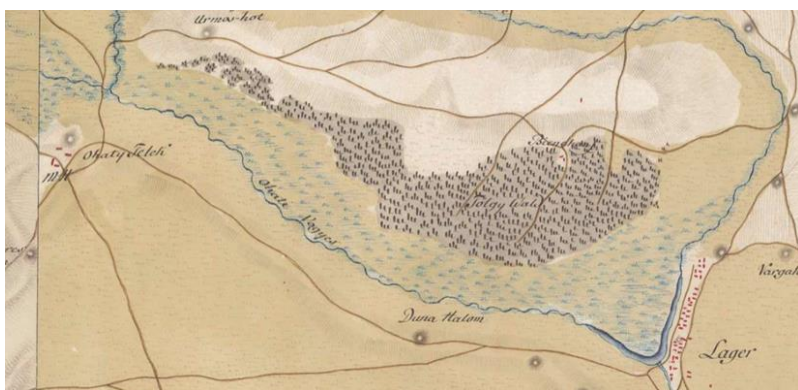
Ha a jövőben tenni szeretnénk valamit ezeknek a folyamatoknak a megfordítására, elengedhetetlen, hogy rendelkezünk megfelelő modellekkel a rendszerek leírására. Az ökoszisztéma-modellezés az elmúlt évtizedekben rengeteget fejlődött, egyre részletesebb, és pontosabb eredményeket vagyunk képesek létrehozni, de sajnos még továbbra is szükség van további kutatásokra, mert rengeteg tisztázatlan változó van, amiket ennek következtében sokszor kihagynak a modellekből, vagy csak egy durva becsléssel határozzák meg őket annak ellenére, hogy sokszor kritikus fontosságúak.

Ilyen változó a dolgozatomban tárgyalt fajlagos hozam, azaz a gyorsan leürülő gravitációs póruster meghatározása, ez egyben fő célkitűzése is a munkámnak. Ezt a változót a távérzékelési és meteorológiai párolgásszámítási módszerek segítségével fogom kalkulálni. Emellett a korábbi tudományos munkáimnak megfelelően az idei talajvíz-adatsorokat is elemzem.

## Területi és történeti áttekintés

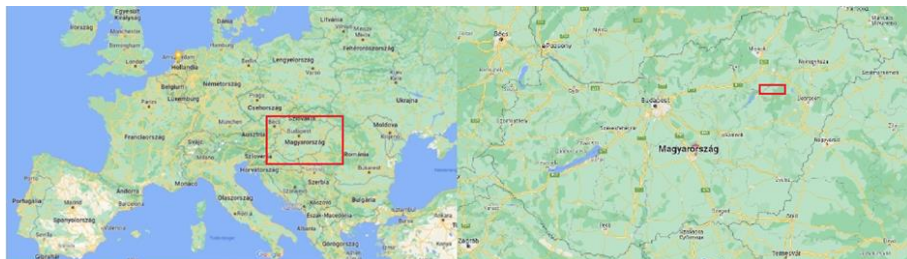
### Az ohati erdő elhelyezkedése, története

Az általam vizsgált terület az Ohati erdő, egy reliktum sziki tölgyes (Bartha 2012) a Tisza mentén, amely a régen nagy kiterjedésű ártéri keményfás ligeterdők egy apró maradéka. Története évszázadokkal ezelőttre nyúlik vissza (1. ábra), még a nagy lecsapolások előtti idősakra. Azt tudjuk leírásokból, hogy a terület már 1679-ben is Debrecenhez tartozott, ez sokáig így is maradt (Mathé 1933, Zoltai 1911). Az erdőt már abban a korban is minden erővel védték, tekintve, hogy közel és távol ez volt az egyetlen valamirevaló faforrás, például a Hortobágyi Kilenclyukú híd tégláit is az innen vitt faanyaggal égették ki. Valószínűleg ennek köszönhető fennmaradása is.



1. ábra: Az Ohati erdő az Első Katonai Felmérés térképén (forrás: mapire.hu)

Szervezett és tervezett erdőgazdálkodásról ekkoriban természetesen szó sem volt, sarjztatás, rövid vágásforduló, erdei legeltetés, rőzsegyűjtés, makkoltatás volt a jellemző (Gencsi 2008). Az erdők ekkor is már igencsak kezdtek eltűnni erről a vidékről, ezt jelzi, hogy a sokszor egyes fáknek, facsoportoknak is külön nevet adott a nép, azokat tájékozódási pontul használták. Végül 1973-ban, a Hortobágyi Nemzeti Park megalapításakor lett védett terület, az ezredfordulón emellé még egy 85 hektáros rész erdőrezervátummá, 22 ha pedig ennek a magterületévé lett nyilvánítva. Sokszor még ma is a kék vércsék erdejeként emlegetik, Homoki Nagy István természetfilme után, bár sajnos mára már a vércsék eltűntek a területről.



2. ábra: Az Ohati erdő és a kutak elhelyezkedése

A tölgyes jelenlegi területe 196,9 ha, a Közép-Tiszai körzet, Eger 14-21 erdőtagjában található. Körülötte néhány akácos, nyaras is található, ezek egyfajta véderdőként is funkcionálnak. Ha jobban megvizsgáljuk a műholdképet, láthatjuk, hogy maga az erdő, és a környezete is a Tisza egy korábbi, azóta levágódott és feltöltődött kanyarulatát mintázza (2. ábra). Mára már a folyó 6-7 km távolságban folyik. Királyi biztosok 1829-es beszámolója alapján még gyakran állt itt a víz, a rendszeres áradásokkal még gyakran került ide víz, amit általában a Völgyes-ér hozott.

Mára már az eret korábban övező nádas-mocsaras vizenyős részt is szántóként hasznosítják, a korábbi vízfolyás is csak egy árok csupán. Érdekes, és egyben szomorú is, hogy tavasszal, amikor ott jártunk, az erdőből egy árkon keresztül kiömlő víznek köszönhetően megint csordogált egy kicsit (3. ábra). Ez rávilágít napjaink vízgazdálkodásának arra a nagy problémájára, hogy sok helyen néhány jászol-gáttal, kisebb beavatkozásokkal lokálisan egész sok vizet be lehetne tárolni, hogy utána maradjon belőle a szárazabb időszakokra is. Ilyen megoldásokra példa a Kaszói vízvisszatartásos projekt (Eötvös et al. 2018), a Körös völgyi erdészeti célú vízpótlás (Puskás, 2006), vagy akár a Dongér-Kelőr Vize Egyesület munkájának eredményei is.



3. ábra: Az erdőből kifolyó víz

A Hortobágy és környékének kálváriája, kiszáradása a folyószabályozásokkal kezdődött. Korábban a javarészt a Dobi-foknál kilépő vizek rendszeresen átöblítették a vidéket. Ez feltöltötte, felfrissítette a mocsarakat, nádasokat, morotvákat. A változatos élőhely rengeteg hálnak, nagy biodiverzitásnak adott otthont, ami ellátta élelemmel, menedékkal, építőanyaggal az itt élő népeket évszázadokon át. Ezek megszűnésével felgyorsult a már korábban is jelen lévő szikesedés, kialakult a Hortobágy mai képe, elterjedtek sziki növényfajok. Ezek minden bizonnyal már előtte is a területen voltak, különben nem tudtak volna ilyen fajgazdagsággal ennyi idő alatt idekerülni. (Gencsi 2008) Néprajzi leírásokból is tudjuk, hogy a nép gyakran járt ki szikes területekre sziksót gyűjteni, stb.

A vidék ezután leginkább legelőként hasznosították, néhol szántóföldi művelés is megjelent. Trianon után, mivel az ország területe az egyharmadára csökkent, felmerült ezeknek a szinte értéktelen területeknek a valamilyen irányú hasznosítása. Amellett, hogy halastavakat, öntözőcsatornákat ástak, 1924 megalapították a Püspökladányi Szikkísérleti Állomást, ahol magas szintű erdészeti tudományos munka kezdődött el. Ez még ma is működik, az állomás az ERTI hálózatának a részét képezi. Hortobágy- szerte sok helyen megpróbáltak erdőt telepíteni, különböző fajokkal kísérleteztek, de az erős szikhatás miatt a gyakorlatban ez sehol nem működött igazán, ezt sok árnyalóerdő senyvedése bizonyítja. A Tisza felé közeledve viszont egyre homokosabb, levegősebb a talaj, egyre jobbak a lehetőségek az erdők számára. Ezt magának az Ohati-erdőnek, és a körülötte lévő telepítéseknek a léte is bizonyítja.

### A vegetáció, állatvilág múltja, jelene, jövője

Mint korábban írtam, a 19. században az erdő aljában még gyakran állt a víz a Tisza kiöntéseinek köszönhetően. Azóta jóval mélyebbre, körülbelül 4-5 m mélységbe süllyedt a talajvíz. Az állandó szárazodás következtében az erdő felnyílt, elvesztette a folyómenti keményfás ligeterdő jellegét, sokkal inkább hasonlít egy pusztai tölgyeshez (1. táblázat).

1. táblázat: az Ohati erdő területi megoszlása az erdőtérkép alapján (2022)

| Erdő     | Tisztás | Terméketlen terület | Út, nyiladék |
|----------|---------|---------------------|--------------|
| 82%      | 11%     | 4%                  | 3%           |
| 161,4 ha | 22,8 ha | 7,5 ha              | 5,2 ha       |

A sziki tölgyes állományalkotó fafaja alapvetően a kocsányos tölgy, de a természetes elegyességnek, telepítéseknek, invazív fajoknak köszönhetően sok minden más is megtalálható benne. Látni néhol kocsánytalan tölgyet, csert, mezei és vénic szilt, magas és magyar kőrist. Az erdő sok részen eléggé nyílt, szépen felveszi az erdősztyepp jelleget, főleg a fokozottan védett magterületen. Ez nem volt mindig így, leginkább a huszadik század során alakult ki a folyamatos szárazodás miatt. Néhol azért még, főleg a jobb termőhelyi viszonyok közt, még felfedezhetők a kétszintesség nyomai is (Bartha 2012). A cserjeszintben található csíkos kecskerágó, fekete bodza, veresgyűrű som, tatárjuhar, egy- és kétbibés galagonya, vesszős fagyal, kökény. (Gencsi 2008) Az erdőtelepítési kísérletezések idején voltak próbálkozások kis parcellákba ültetett idegenhonos fajokkal, ezekből sokat ma is láthatunk. Van a mindenhol jelen lévő akác, bálványfa, amerikai kőris, de csörgőfa, ezüstfa, lepényfa, japán akác, nemesnyár, tamariska, vasma, stb. is. (Gencsi 2008) Ezekből sokat mi is megtaláltunk a területbejárás során, találkoztunk például korai és hegyi juharral is, ami egyértelműen csak a korábbi emberi tevékenységnek köszönhetően kerülhetett ide. Néha még mostanság is felbukkan a korábban gyakoribb törpemandula (Gencsi 2008, Mathé 1933). Sok, a korábbi ligeterdei jelleget mutató lágyszárú faj is megtalálható itt, mint például a lila csillagvirág, odvas keltike, sárga tyúktarély. A xeromezofil fajok is sok helyen felbukkanak, mint például erdei szálkaperje, széleslevelű salamonpecsét, erdei gyöngyköles. (Bartha 2012) Szerke az erdőtömbben felbukkannak a nitrogén- és bolygatáskedvelő fajok, mint például a

nagy csalán, tyúkhúr, zamatos turbolya. Az erdősztyeppi jellegnek köszönhetően sok tisztás, felnyíló folt található az erdő ölelésében. (1. táblázat) Ezeken a foltokon több helyen védett, igen értékes fajok fedezhetők fel, úgymint a sziki kocsord, hamvas sziki üröm, bárányüröm, réti őszirózsa. (Gencsi 2008)

## Szakirodalmi áttekintés

### Ökológiai, hidrológiai modellezési módszerek

Az ökológiai, azon belül is a komplexebb hidrológiai modellezés kezdetei az 1960-as évekre tehetőek, amikor a különféle számítástechnikai eszközök sokkal nagyobb mennyiségű adatsor feldolgozását tették lehetővé. Azóta ezek hatalmas fejlődésen mentek keresztül, és az alábbi 3 fő csoportjukat különítjük el (Solomatine-Wagener, 2011) :

1. Empirikus modellek, melyek általában szigorúan csak a megfigyelt adatok alapján készült matematikai összefüggéseket, például regressziós modelleket alkalmaznak, hogy kapcsolatot találjanak az input és output adatok között. Ilyen modell például az ARIMA modell.

2. Konceptcionális modellek, melyek a hidrológiai folyamatokat különböző "tározókra" osztják fel, amelyek az adott folyamatokat szimulálják, ezekhez félig empirikus egyenleteket használnak, és a paraméterek kalibrációját igénylik. Ide tartozik például a Stanford Watershed Model IV (SWM), amely az egyik első nagy konceptcionális modell volt.

3. Fizikai alapú modellek (fehér doboz modellek): Ezek a modellek a hidrológiai folyamatokat a fizikai törvények alapján írják le, például a talajnedvesség és vízmozgások kapcsolatát differenciálegyenletekkel. Ezek számos fizikai adatot igényelnek, például a talajnedvesség, felszín alatti víz mélysége, topográfiai adatok, de képesek pontos szimulációkat végezni a vízgyűjtőkben. A MIKE SHE modell tipikus példa erre a modellre.

A számítástechnika fejlődésével a modellek továbbfejlődése várható, melynek fontos elme az, hogy a bemeneti adatokat pontosítanunk kell. Ilyen tényező a fajlagos hozam is, mellyel a dolgozatomban foglalkozom.

### A vegetáció és a talajvíz kapcsolata

A vegetáció és a talajvíz kapcsolatával nagyon sokan foglalkoztak, világszerte hatalmas irodalma van. Ezekből most inkább a hazai irodalmat emelném ki, mert ebből is igen sok következtetést le lehet vonni, illetve a máshol született eredmények sokszor nem relevánsak a másféle viszonyok, eltérő növénytakaró miatt.

Az erdők vízforgalmát Magyarországon már a 19. században elkezdték behatóbban vizsgálni, erre példa, hogy az 1862-es Erdészeti lapok (1864-től Erdészeti lapok) egyik cikkének egy jelentős részét a vízháztartással kapcsolatos megfigyelések teszik ki (Mérei 1862). A vízforgalommal kapcsolatos témák azóta is benne vannak a szakmai köztudatban.

A magyarországi talajvízkutatások kezdete a 20. század elejére tehető, amikor is Roth Gyula 1908-ban beindította az első méréseket. A trianoni sokk után 1920-tól állt fel egy új, az egész Alföldet behálózó rendszer, amiből azt a fő következtetést vonták le, hogy a talajvíz sok helyen az erdőállományok számára elérhető mélységben található (Ijjász 1936).

A számunkra fontos szikfásítással kapcsolatban Magyar Pál végzett gyökérfeltárásos kísérleteket a Püspökladányi Szikkísérleti Telepen. Arra az eredményre jutott, hogy gyengén szikes talajon már a 3 éves csemeték is képesek lehetnek elérni a 3,5 méter mélyen lévő talajvizet, de említette például a kétéves mezei szikeket, amik 5,15 méter mélyre eresztették le gyökereiket (Magyar 1929). Magyar kidolgozott ajánlásokat is, hogy a szikfásítás során milyen fajokot lehet ültetni, amik esetleg egy erősebb szikhatást is kibírnak. Köztük volt az őshonos kocsányos tölgy is, mint ajánlott, és jól használható faj.

Egyik cikkében (Szodfridt 1990) ajánlásokat tesz, hogy milyen mély talajvíz esetén melyik fajfaj ültethető, például a kocsányos tölgyet csak 80-150 cm talajvízmélységig tartja relevánsnak a fatermesztésben. Egy korábbi publikációjában (Szodfridt-Faragó 1968) azt állapítja meg, hogy az általa vizsgált erdők alatt 0,5-0,6 m-el volt mélyebben a talajvíz a kontroll gyepterületekhez képest. Hasonló eredményre jutott Gribovszki Zoltán is (Gribovszki et al 2017), aki szintén 0,4-0,6 m-el mélyebb talajvíztükröt mért az Alföldön erdők alatt.

Móricz et al (2012, 2016) több tanulmányt is készítettek az erdők talajvízfogyasztásával, és a talajvíztükrök napi ingadozásával kapcsolatban. Egy kocsányos tölgyes és a mellette fekvő parlagterület tanulmányozása során a kocsányos tölgyesre háromszoros vízfogyasztást számítottak (Móricz et al 2012). Egy nagyjából fenyőből álló erdő és a talajvíz közti kapcsolatot vizsgálta Major Pál (2002) a Kiskunságon. Amellett, hogy 0,8-1,1 m süllyedést tapasztalt a környező fátlan területekhez képest, összesen 712 mm éves párolgást számított, ami 130 mm-el múlta felül az éves csapadékösszeget. Fontos a témakör kapcsán megemlíteni Járó Zoltán 1981-es cikkét, melyben a különböző fafajok párolgtatása és szervesanyag-produkciója közti kapcsolatot taglalja. Összességében arra jutott, hogy az

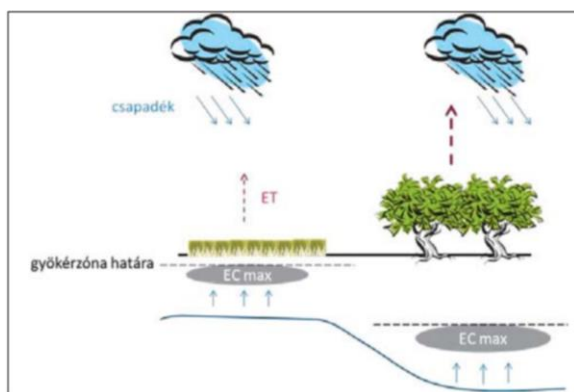
alföldi erdők egységnyi szervesanyagra jutó párologtatása jelentősebb, mint a hegyvidékieké. Ezek mind azt mutatják, hogy az alföldi faállományok számára elengedhetetlen az elérhető talajvíz.

2. táblázat: A különböző fafajok evapotranspirációja Járó és Csáki nyomán

| Fafaj | ET (Járó 1981) | FATI    | ET tartomány (Csáki 2020) |
|-------|----------------|---------|---------------------------|
|       | mm/év          |         | mm/év                     |
| B     | 440            | B       | 421-661                   |
| KST   | 459            | T       | 352-634                   |
| KTT   | 633            |         |                           |
| CS    | 524            | CS      | 340-626                   |
| A     | 504            | A       | 343-621                   |
| NNY   | 884            | NNY/NFÜ | 322-664                   |
| EF    | 463            | EF      | 372-612                   |
| FF    | 452            | FF      | 245-535                   |

Fafaj: B: bükk, KTT: kocsánytalan tölgy, KST: kocsányos tölgy, CS: csertölgy, A: fehér akác, NNY: nemes nyár, EF: erdeifenyő, FF: feketefenyő, LF: lucfenyő. Faállomány típusok (FATI): B: bükkös, T: tölgyes, CS: cseres, A: akácos, NNY/NFÜ: nemes nyáras vagy nemes fűzes, EF: erdeifenyves, FF: feketefenyves (forrás Csáki 2020), Járó (1981) adatai eredetileg transpirációra vonatkoztak ezt Csáki (2020) egészítette ki az intercepciót is figyelembevéve ET-re.

Az Alföld csapadékvizonyait vizsgálva és összevetve a fafajok átlagfogyasztásával, könnyen ki tudjuk következtetni, hogy ahol nem elérhető a talajvíz, ott nem igazán lehet hatékony erdőgazdálkodást folytatni. Feketefenyveseknek, akácosoknak, fehér nyarasoknak vannak lehetőségeik enélkül, viszont ezek se fognak igazán eredményes termelést lehetővé tenni.



4. ábra. Talajvízszint és sótartalom egy síkvidéki erdő és szomszédos mezőgazdasági terület alatt. ET: evapotranspiráció, EC max: a talaj elektromos vezetőképességének (sótartalmának) maximuma (Szabó et al. 2012)

Az alföldi talajvízcsökkenés kapcsán több vita is volt arról, hogy tulajdonképpen mi is az okozója ennek a süllyedésnek. Több kutatás is volt az elmúlt évtizedekben ezzel kapcsolatban. Pálfai István (2010) komplex módon vizsgálta a problémát, és arra jutott, hogy az erdők csak kb. 10%-ban felelősek a vízhiányért, leginkább a klímaváltozás, a rétegvíz-kitermelés és a tájhasználat változása okozza ezt.

Fontos megemlíteni, hogy az erdészeti termőhelyértékelés csak 2 m mélységig veszi figyelembe a talajvizet, mint többletvizet. Bár az tény, hogy ennél mélyebben, főleg 4-5 m környékén már csak egyre korlátozottabban képesek a faállományok elérni azt, még mindig nagyon sokat tud jelenteni számára, ha megfelelő talaj esetén el tudja érni. Véleményem szerint az erdészeti termőhelyértékelésnek jól jönne ez a kis korrekció a precízebb meghatározás érdekében. A 3-5 méter mélységben lévő talajvíz erdő általi felhasználását többen bizonyították, illetve én is ezzel foglalkoztam a 2022-es és 2023-as TDK dolgozataimban, ahol evapotranspirációt, visszatöltődést elemeztem, és hasonlítottam össze meteorológiai paraméterekkel. A 2022-es év azért volt különleges, mert körülbelül feleannyi csapadék volt, mint előző években, ellenben 2023 tavaszi és kora nyári időszakában kimondottan sok, és így kiválóan lehetett vizsgálni, hogy hogyan viselkedik az állomány száraz és nedves viszonyok esetén. A fő következtetés az volt, hogy az ohati tölgyes még 5,4 m

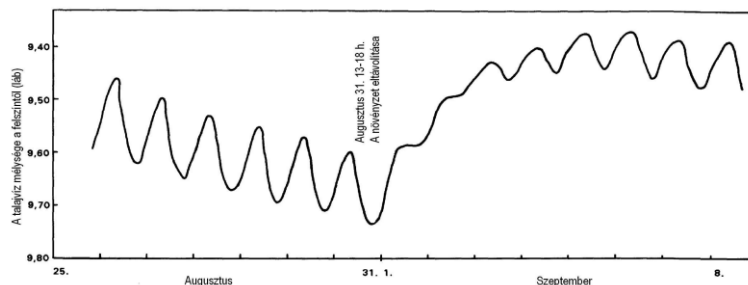
mélységből is képes vizet felvenni, de már csak töredék mértékben, mint egy fél méterrel magasabb vízállás esetén.

#### A visszatöltődés és a talajvíz-evapotranspiráció számítása

Az 1930-as években kezdődtek el Amerikában a talajvíz-evapotranspirációval kapcsolatos mérések, vizsgálódások. Blaney et al. (1930, 1933) vizsgálatai során felfedezte az összefüggést a napi vízállás, a napi hőmérséklet ingadozás és kádpárolgás közt. Azt találta, hogy este 20h és reggel 8h közt a napi párologtatásnak csak a 6% jelenik meg. Ezután White (1932) fedezte fel, hogy ezt a vízálláskülönbséget a növények párologtatás okozza, aminek számítására később egy módszert is kidolgozott (1. képlet). Ezt jól szemlélteti az alábbi ábra, melyen egy lucernás kaszálás előtti és utáni vízfogyasztása látható (5. ábra).

$$1. \text{ képlet: } ET_{GW} = S_y(24r \pm s)$$

A White módszer azonban van két fő gyengesége. Ez a kettő a fajlagos hozam ( $S_y$ ) pontos meghatározásának nehézségei, illetve a vissztöltődés napon belül nem állandó mértéke (Gribovski 2023). Az előbbi okból kifolyólag, a dolgozatomban fő témája az  $S_y$  néhány, eddig még nem vizsgált módszerrel történő meghatározása lesz.



5. Ábra. A talajvízszint napi amplitúdójának csökkenése és a talajvízszint növekedése a növényzet (lucerna) eltávolítása után Escalante-völgy, Utah (White 1932 nyomán)

Alapvetően a White-módszer azon alapul, hogy az éjszakai órákban 0-nak vesszük a vízfelvételt. Ezzel ellentétben az éjszakai nedváraamlás a nappalnak a 30 %-át is elérheti (Novick et. al. 2009). Én a számításaim során ezt nem fogom figyelembe venni, mert úgy vettem észre, hogy a mérsékelt égövben, a mienkhez hasonló klímában végzett mérések 0-nak találták ezt a párologtatást (Daley és Philips 2006, Herczeg 2011).

Mivel a kutakhoz a legközelebbi vízfolyás is 2 km-re van, az is eléggé időszakos, így Zhu et al (2011) és Johnson et al (2013) kutatásai alapján úgy gondolom, a vízfolyás nincs hatással a napi talajvízdinamikára.

Az mindig fontos kérdés, hogy pontosan honnan is jön a talajvíz, ami még csapadégmentes időszakban is tölti felfele a rendszert. Erre több válasz is lehetséges, valószínűleg valamennyire mindegyik belejátszik. Egyrészt jöhet közeli utánpótlódási zónákból, ahol a talajvíz abszolút szintje magasabb, köszönhetően annak, hogy már néhány 100 m-es távolságon belül is különböző tényezőknek köszönhetően több deciméteres különbségek jelenhetnek meg (Major 2002, Gribovszki 2017). Ilyen lehet például egy parlagterület és a mellette lévő erdő esete, ahol a parlag az utánpótlódási, az erdő pedig feláramlási zóna. Léteznek az úgynevezett Tóth-féle áramlási rendszerek is (Tóth 1963), amik a Kárpát-medencét írják le medencehidraulikai szempontból, és amelyek szerint gyakorlatilag az egész Alföld egy feláramlási zóna, szóval sok helyen számolhatnánk plusz vízzel ennek köszönhetően, ha ismernénk a mértékét. Ezek mellett a vízfolyásoknak, tavaknak is lehet utánpótló hatása, amelynek mértékét csak igen komoly modellezéssel lehetne meghatározni. Ha vízvisszapótlást akarnánk végezni, érdemes lenne az utóbbival részletesebben foglalkozni, mert amúgy lenne rá lehetőség a Tisza (6 km távolság), illetve az egyik kisebb csatorna felől (2 km távolság).

#### **Egyéb potenciális és aktuális evapotranspiráció-számítási módszerek**

Howard Penman 1948-ban alkotott meg egy formulát az aktuális evapotranspiráció (ET) számítására, és elsősorban a napsugárzásból származó energiát használta fel, valamint a talaj és a levegő közötti nedvességmozgást vizsgálta (Penman 1948). Ezt John Monteith fejlesztette tovább, aki már belevette a képletbe a növények ellenállását és a növényi pórusok viselkedésének módosító hatásait (Monteith 1965). Ennek köszönhetően a Penman-Monteith módszert mára széleskörűen használják, és az egyik legpontosabb módszerként tartják számon.

Széleskörűen elterjedt módszerek a potenciális párolgás becslésére az ún. kádpárolgáson alapuló metódusok. Ennek során egy szabvány méretű kádban mérik a napi párolgás, és ennek mértékét igyekeznek meteorológiai jellemzőkkel párhuzamba hozni. Ezek alkalmasak aktuális evapotranspiráció becslésére is, ha rendelkezésre áll hozzájuk

talajnedvesség adat. Ilyen módszer a dolgozatban általam is használt Dunay-Posza-Varga-Haszonits módszere (továbbiakban Varga-Haszonits módszer), mely a napi átlagos relatív nedvesség és a napi középhőmérséklet segítségével számol kádpárolgást (Dunay et al. 1968;1969).

$$2. \text{ képlet: } EK\acute{A}D = \frac{1-rn}{2-rn} \cdot t_k$$

*Ahol EKÁD az A-kád napi párologtatása, rn a napi átlagos relatív nedvesség századokban kifejezett értéke, tk a napi középhőmérséklet.*

Az 1960-as évek Amerikájában különösen nagy volt az igény az egyszerű evapotranspiráció-számítási módszerekre, az ország nagy kiterjedése következtében sok volt az adatkorlátozott régió. Ez vezetett a Hamon-módszer kidolgozásához, amihez az egyetlen szükséges bemeneti adat a napi átlaghőmérséklet, amivel arányos a telített vízgőz koncentrációja, ami pedig már könnyen felhasználható az evapotranspiráció számításához (Hamon 1963).

$$3. \text{ képlet: } PET_H = 29,8 * D * \frac{e^a}{T_a + 273,2}$$

*Ahol D az aznapi napsütéses órák száma, az  $e^a$  levegő telítési gőznyomása az adott hőmérsékleten, a  $T_a$  pedig a napi átlaghőmérséklet.*

A dolgozatomban a gyorsan leürülő gravitációs pórustér kalkulálásához távérzékelt adatokat is felhasználok. Ehhez a NASA által fejlesztett APPEARS applikáció szabadon hozzáférhető adatbázisát használtam. Ez az oldal javarészt MODIS adatok felhasználásával számít rengeteg felszíni jellemzőt, a PET számítástól kezdve a hóborítottságon át az NDVI értékekig (AppEEARS Team 2024). A munkámban 3 jellemzőt használtam, a potenciális evapotranspirációt (PET), az aktuális evapotranspirációt (ET), illetve levélfelület indexet (LAI).

Természetesen a fent említetteken kívül sok más további párolgásszámítási módszer is létezik, azonban ezek tárgyalása messze túlfeszítené a dolgozat kereteit, így megelégszem a számomra fontosak áttekintésével.

## Sy meghatározási módszerek

Az utánpótlódás és az evapotranspiráció White-módszerrel való számításakor az egyik legkritikusabb pont az Sy (fajlagos hozam) értékének a meghatározása. Ennek számítására sokféle módszert kidolgoztak már a teljesség igénye nélkül jellemezni fogom a legfontosabbakat.

A fajlagos hozam meghatározható diurnális módszerekkel melynek során a talajnedvesség és talajvízszint mérések párhuzamos használatával az Sy dinamikusan becsülhető a nettó beáramlási sebesség alapján. A dinamikus módszerek azért lehetnek különösen hasznosak, mert valójában az Sy valós mértéke a nap folyamán is változik, és mivel ezek a mérések nagy felbontásúak, ezért könnyen használhatók napon belüli részletességű adatsorok felállítására (Gribovszki et al., 2018)

Emellett van több hagyományos, de továbbra is viszonylag pontos módszer az Sy meghatározására. A talán legismertebb a szemeloszlással történő meghatározás, amihez Loheide et. al. (2005) elkészítettek egy nomogramot, amiből a homok, iszap, és agyag %-ok arányából ki lehet olvasni az Sy értékét. Meyboom (1965) a vizsgálatai során arra jutott, hogy ha a teljes gravitációs pórustérrel számolunk az evapotranspiráció számítások során, akkor jelentősen túlbecsüljük azt, ezért az Sy értékének a felét javasolja a számítások során. Én is ezzel a Meyboom-féle korrekcióval dolgoztam az elmúlt két évben.

Használják még az úgynevezett slug-tesztet is, melynek során hirtelen vízszintkülönbséget okoznak pl. egy kútban, és mérik, hogy a vízszint milyen sebességgel áll helyre, ami információt ad a talaj hidraulikus vezetőképességéről és a fajlagos hozamról. Elterjedt továbbá a pF görbék alapján történő Sy becslés, melynek során a nedvesség karakterisztikai görbéből kiszámítható a talaj víztároló képessége. Gribovszki és munkatársai (2018) azt találták, hogy a legpontosabb eredményt a diurnális módszerek adják, ezután következik a slug-teszt, majd a pF görbével történő becslés, illetve a szemeloszlás alapján történő becslés. Természetesen a diurnális módszerekkel történő számítás nem éppen egyszerű, sok élőmunkával, és eszközigénnyel jár, így a tradicionális módszerek továbbra is relevánsnak tekinthetők a tudományos kutatások során.

## Anyag és módszer

### Mérőrendszer, adatbeszerzés

A kutak létesítése toldható kézi talajfúróval történt, ami lehetővé tette a talajminták kivételét, ezáltal a későbbi Sy számítást is. A kút bélése 5 cm átmérőjű PVC cső, a legalsó részén (2m) szűrőzve. A kutak koordinátái a következők: 1. sz. talajvízkút: EOY X = 258191, EOY Y = 793361; 2. sz. talajvízkút: EOY X = 257006, EOY Y = 794577. A két kút azonos jellemzőkkel bíró helyre lett telepítve, hasonló az állomány, a talaj, illetve az erdő széle is hasonló közelségben van hozzájuk, így parlagterületek távolságának különbözősége nem módosítja a számítási eredményt (Kiss 2021).

A talajvízszint mérése DA-S-LTRB 122-es típusú adatrögzítővel történt, melyek 10 percenként dokumentálták a pillanatnyi vízállást. Ezek az eszközök a víz nyomásának a légköri nyomással történő fizikai kompenzációjával számítják ki a felettük lévő vízoszlop magasságát. A talajvízszint idősor jellegzetes vegetációs időszakbeli napi ingadozását mutatja az alábbi ábra.

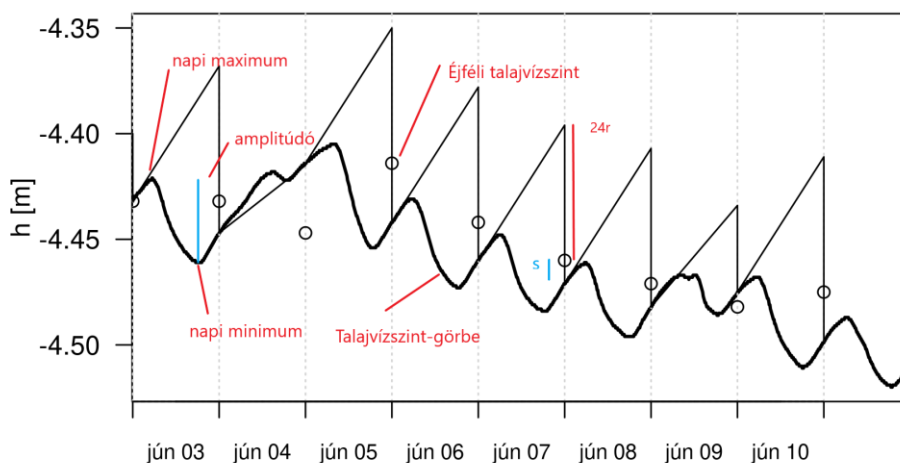
A meteorológiai adatokat javarészt az egyeki aszálymonitoring állomás adatbázisából szereztem meg, ami az erdőtől 5 km-re található meg. Ezeknek az adatsoroknak a megerősítéséhez, kiegészítéséhez használtuk még a Debreceni meteorológiai állomás, illetve a görbeházai, szentistváni, kunmadarasi aszálymonitoring állomások eredményeit. Az innen nyert meteorológiai adatokat használtam fel a különféle párolgási modellek számításánál is. A dolgozatban a hőmérséklet és csapadék elemzéséhez az egyeki aszálymonitoring-állomás adatait használtam, ami körülbelül 5 km-re van az erdőtől, aminek köszönhetően az adatai elég jól alkalmazhatóak a területre. Felmerült viszont az a probléma, hogy az egyeki állomás egy automata állomás, és nincs rendszeres ellenőrzés, karbantartás alatt, szóval nem lehetett tudni, hogy mennyire megbízhatóak az adatok. Ehhez felhasználtuk a Debreceni meteorológiai mérőállomás adatait, mely 1901-től kezdve folyamatosan szolgáltat nyilvánosan elérhető, bizonyítottan helyes adatsorokat. Excelben egymás mellé kiírtuk a napi adatokat, így könnyen összehasonlíthatóvá vált a két időszak. Összességében az mondható, hogy elég jó egyezések voltak, csak néhol volt nagyobb hiba a csapadékban, de azok könnyen betudhatóak köztük lévő 55km-es távolságnak.

A földfelszíni mérőrendszerek mellett használtam távérzékelte adatokat is. Ezt, mint korábban kifejtettem a NASA MODIS felvételei alapján az űrhivatal APPEARS elnevezésű eszközével készítették. Innen a kimeneti követelmények megadásával kértem le a nyolcnapos felbontással elérhető ET és PET adatokat. A képek felbontása sajnos csak 0,5\*0,5 km-szeres, de mivel egy nagy erdőtükről beszélünk, ez is lehetővé tette, hogy nagyjából azonos jellemzőkkel bíró pixeleket használjunk.

#### **A talajvíz-párologtatás és a napi talajvízfogyás számítási módszere**

A számításom alapja a White-módszer, amely talajvízből származó párolgás számítására készült (White 1932). Az eljárás nagyon praktikus, a terepi szakemberek számára is jól használható módszer, mert viszonylag alacsony az eszközigénye, és nem szükséges hozzá túlzottan komoly statisztikai tudás. Alapvetően a White-módszer azon a feltételezésen alapul, hogy éjjel 0 és 4 óra közt gyakorlatilag nullának vehető a növényzet párologtatása, így az ekkor megjelenő visszatöltődési ütemből kiszámítható az egész napos visszatöltődés (24r). Tehát ha 0 és 4 óra közt egy óra alatt r magasságot töltődik, akkor 24 óra alatt 24 r magasságba emelkedene a talajvíz. Ha ebből a visszatöltődést korrigáljuk a napok közti éjszakai talajvízszintváltozással, megkapjuk, hogy a növényzet mennyi vizet vett fel a talajvíztérből. Természetesen a módszer rengeteg változtatáson esett át az utóbbi időszakban kezdve az  $S_y$  mérésétől kezdve az éjszakai nedváraamlás számbavételén keresztül a különféle egyéb bonyolultabb számítási módszerig. A White-módszer képlete lent látható: az  $S_y$  jelenti a könnyen leüríthető gravitációs pórusteret, a 24r a napi visszatöltődési rátát, az s pedig az adott és az előző napi éjszakai talajvízszint közti különbséget (6. ábra). Emellett amikor az fajlagos hozam értékére akarok visszakövetkeztetni más párolgásadatok használatával, akkor az  $S_y$  nélkül számolt adatokat használok, mert így a képlet megadja a napi talajvízszint-visszatöltődést.

$$4. \text{ képlet: } ET_{GW} = S_y(24r \pm s)$$



6. Ábra Napi ingadozás és annak karakterisztikus jellemzői

Az ábrán a görbe jelöli a talajvízállást, a napi hullámvázban a felfelé tartó ívek az éjszakai visszatöltődést jelentik, míg a lefelé tartók a napközben megjelenő evapotranspirációt. (6. ábra) Látható még a 0 és 4 óra közti szakaszhoz húzott érintő is, én ezeknek a segítségével számolható a napi talajvízfogyasztás. Több helyen is látszanak „rendellenességek” a szignálon, ezek a különféle csapadékeseményeknek, néha mérési hibáknak köszönhetők. Ezeket az adatelemzés során ki kell venni a számításból, mert túl- illetve alulbecslést okozhatnak, ehelyett valamilyen statisztikai simítást kell alkalmazni. Azt is fontos eldönteni, hogy biztosan 0 és 4 óra közé esik-e az az időszak, amivel jól meg tudjuk becsülni a visszatöltődést, mert előfordulhat a szignál késése is. Erre példa a Szabó et al (2023) által végzett kutatás, ahol a késés miatt módosítani kellett referenciaidőszak figyelembevételének idejét. Én nem figyeltem meg késést az adatsorokban, így nem módosítottam a referenciaidőszakot.

A módszer emellett igényel egy manuális ellenőrzést is, melynek során a görbére ráillesztett 24r-eket megnézzük, hogy a rendszer nem számított-e irreális értéket valami mérési hiba, vagy csapadékeseményből származó zavarás folytán. Ennek során néhány napos felbontásúra kellett nagyítanom az idősort, és utána kiszűrni a látványosan rossz napokat.

[ZK1] megjegyzést írt: Ez megjelent végül, és hol?

[GZ2R1] megjegyzést írt: Szabó, A.; Gribovski, Z.; Szolgay, J.; Kalicz, P.; Balog, K.; Szalai, J.; Hlavčová, K.; Bolla, B. Groundwater Recharge from Below under Changing Hydro-Meteorological Conditions in a Forested and Grassland Site of the Great Hungarian Plain. *Forests* 2023, 14, 2328. <https://doi.org/10.3390/f14122328>

### Sy vizsgálat szemeloszlással, illetve párolgásbecslési módszerekkel

Mint korábban említettem, a munkám fő célja az Sy meghatározása különböző módszerekkel. Ennek 3 módját fogom tárgyalni, az egyik a szemeloszlás meghatározásával történik, a másik kettő pedig a kalkulált párolgás és a napi talajvízszint-visszatöltődés segítségével történik. Ez úgy fog pontosan történni, hogy a Hamon-, és a Varga-Haszonits módszerrel kiszámolom a vizsgált időszakok napi párolgásértékeit, majd ezeket leosztom a napi talajvízszint-visszatöltődéssel. A talajvízszint-visszatöltődést fontos elkülöníteni a talajvíz-visszatöltődéstől, mert az előbbi a nap során az elméletben párolgás nélkül történő teljes vízszintváltozást jelöli mm-ben, míg az utóbbi egy sokkal kisebb érték, mivel az azt jelöli, hogy a visszatöltődött vízszint az mennyi lenne, ha nem a talajban lenne, és nem a réseket kitöltve emelkedne az esetünkben kb. 10-szer magasabbra. Így tehát a napi talajvízszint-változást a White-képletből (1. képlet) az Sy kihagyásával számoljuk.

Az Sy kalkulálásánál a napi talajvízszint-visszatöltődést megszoroztam 1,25-el, aminek az oka, hogy több, hasonló, vagy még szárazabb körülmények között élő tölgyeseket vizsgáló kutatás is kimutatta, hogy a meleg, száraz periódusokban, mélyen fekvő talajvíz esetén is csak a vízfelvétel kb. 80%-a jön a talajvízből, a maradékot a felsőbb talajrétegekből préseli ki a faállomány (T. David et. al. 2007, G. Miller et. al. 2010)

Az eljárásban, mint korábban említettem, egy nagyon kardinális pont az Sy-nak a meghatározása. Ahhoz, hogy ezt az értéket meg tudjuk határozni Loheide et al. (2005) által meghatározott háromszögdiagrammot használtuk fel. Először meg kellett határozni a szemeloszlást, amiből azután a diagram segítségével meghatározható a fizikai talajféleség. Ezt a feladatot a kutatás beindítója, Kiss Csaba László (Kiss et al 2021) végezte el. A fúrás során kivett talajminta összetételét szitálással, és 0,63 mm alatt hidrometrálással határozta meg. Összesen 4 (2-2 minta a két talajvízkútból) a talajvíz ingadozási zónájában talajható talajrétegből származó talajminta szemeloszlása lett ezzel a módszerrel meghatározva.

[ZK3] megjegyzést írt: Itt pontosan hogyan is történik utána az Sy becslése?

3. táblázat  $S_y$  értékek a jellemző talajvízszint ingadozás tartományában

| Talajminta | Rétegmélység(m) | $S_y$ | $S_y/2$ | Fizikai talajféleség |
|------------|-----------------|-------|---------|----------------------|
| 1/8.       | 2,7-3,9         | 0,210 | 0,105   | vályogos homok       |
| 1/9.       | 3,9-6,3         | 0,134 | 0,67    | homokos vályog       |
| 2/8.       | 2,9-3,7         | 0,260 | 0,130   | vályogos homok       |
| 2/9.       | 3,7-5,3         | 0,170 | 0,85    | homokos vályog       |

A Hamon-módszer, mint fentebb említettem, azon alapul, hogy az evapotranspiráció arányos a telített vízgőz koncentrációjával a napi középhőmérsékleten, melyet a nappali órák hosszával korrigálnak (képlet). A nappali órák hosszát egy, a tanszéken külön erre kidolgozott excel táblázattal határoztam meg, mely pontosan kiszámolja a nappali órák számát az év minden napjára. A párolgás értékeket a 2. képlet segítségével számoltam. A Varga-Haszonits módszerrel számolt párolgást a 3. képlet segítségével kalkuláltam.

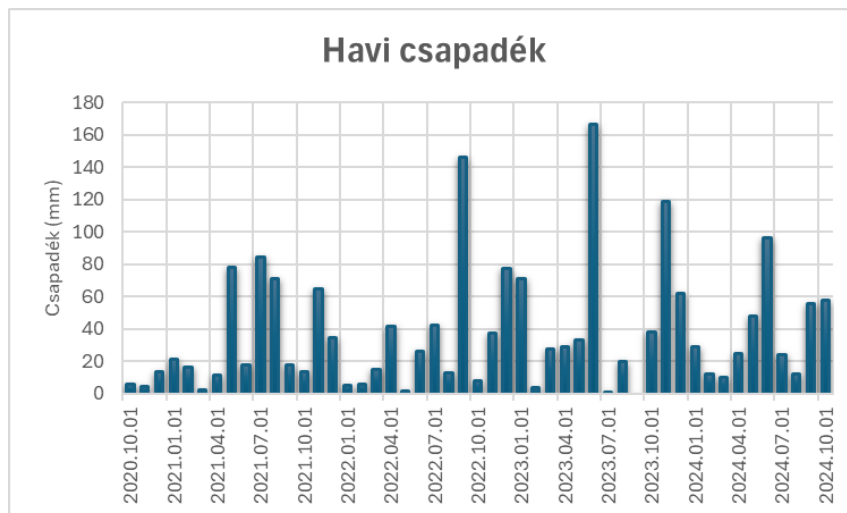
#### Elemzés az R-el

Az R egy nyílt forráskódú, szakterületspecifikus, statisztikai és adatkezelési célokra alkotott programozási nyelv, ami azt jelenti, hogy különféle kutatási területekre készített, specifikus függvényeket találhatunk meg benne (R Core Team 2021). Széleskörben használják tudományos és ipari környezetben, köszönhetően annak, hogy kiváló grafikus megjelenítéseket lehet készíteni vele, illetve rengeteg specializált függvényt alakított már ki a fejlesztői.

Az R-rel történő statisztikai elemzést a konzulensemmel, Kalicz Péterrel valósítottuk meg (Kele et al. 2022, 2023). A koncepciót, leprogramozandó dolgokat az előző években én fogalmaztam meg, ezután tekintettel egy programnyelv elsajátításának a nehézségeire, a parancssorokat közös munka keretében írtuk meg. Az idei évben a parancssorok bővítését, a

teljes adatfeldolgozást én végeztem már el, aminek a végeredménye a korábbi évek munkájával együtt egy körülbelül 700 soros szkript lett.

#### Meteorológiai vizsgálat

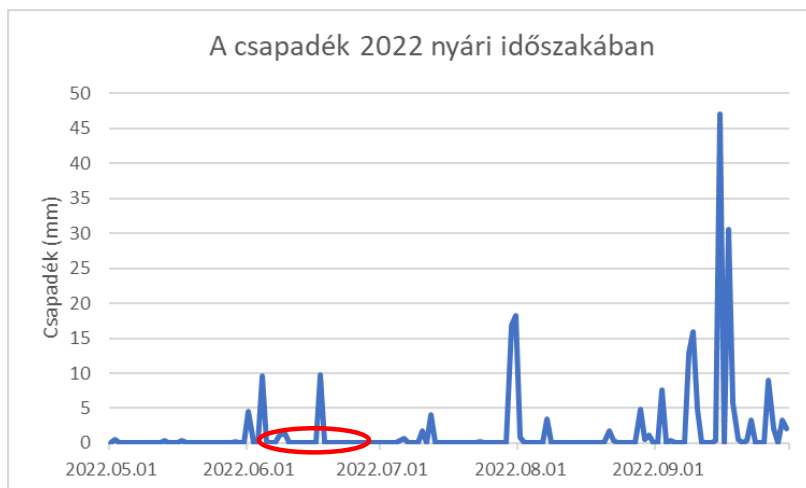


7. ábra: a havi csapadékok alakulása 2020 októberétől

A fenti ábrának (7. ábra) a talajvízviszonyok tárgyalása során jut majd nagy szerep. Amit látni kell, hogy a 2021-22-es hidrológiai évben a vegetációs periódusban nagyon kevés csapadék esett, csak szeptemberben voltak nagyobb csapadékesemények, amik valamelyest visszatöltötték a rendszert. Ezzel szemben a 2022-23-asban tavasszal végig volt sok csapadék, ráadásul júniusban kimondottan sok esett, ami nagyon jó hatással volt a növényzet életlehetőségeire. Az idei év viszonylag kiegyensúlyozott volt, tavasszal-kora nyáron jelentős mennyiségű csapadék esett

Érdemes még összehasonlítani az elmúlt hidrológiai évek csapadékértékeit is. Ami érdekes, hogy a 2022-es évet tekintjük nagyon száraznak, viszont az is látszik, hogy 2020/21-ben még kevesebb csapadék volt. Ez összességében könnyen érthető, tekintve, hogy meg kellett valaminek alapoznia a 22-es év aszályát. A víztartalékok már az előző évben kifohtak, így érvényesülni tudott a csapadékhiány hatása a rákövetkező évben.

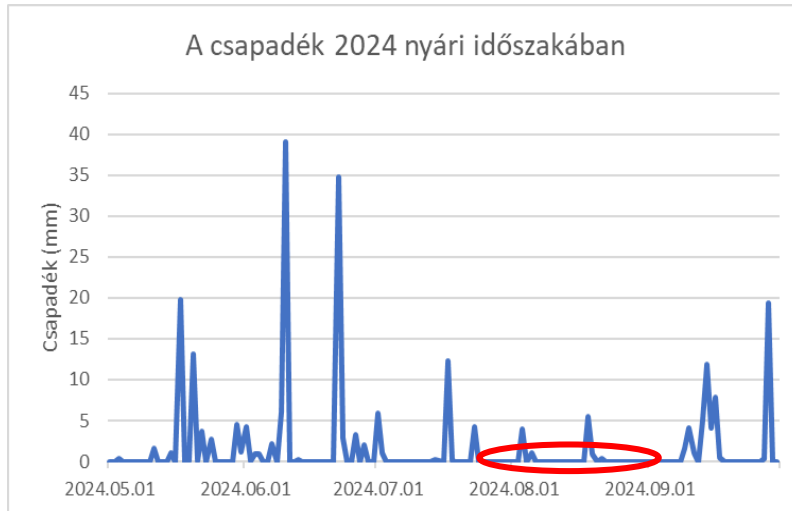
#### Vizsgált időszakok kiválasztása



8. ábra: a csapadék eloszlása 2022 nyári időszakában



9. ábra: a csapadék eloszlása 2023 nyári időszakában

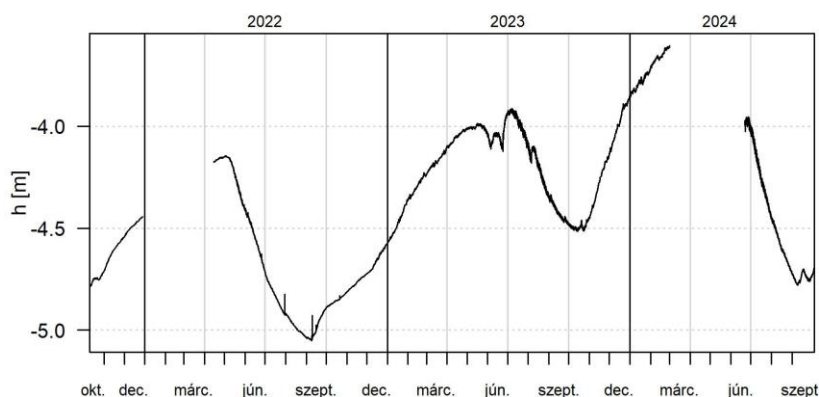


10. ábra: a csapadék eloszlása 2024 nyári időszakában

A fent látható három ábrán a napi csapadékokat ábrázoltam a nyári időszakban, májustól augusztus-szeptemberig. A bekarikázott időszakokban számítottam párolgást, majd azokból  $S_y$ -t. 2022-ben ez az időszak a nyár elején volt, míg a másik két évben a nyár második felében. Olyan időszakokat válogattam ki, amikor a télen és tavasszal a talaj felső rétegében felhalmozódott víztartalom már jó eséllyel elfogyott, illetve ahol nem volt rendszeres, 5-10 mm-nél nagyobb csapadék, ugyanis ezt a mennyiséget a lomb- és avarintercepció majdnem teljesen felfogja.

## Eredmények, értékelés

### A talajvízszignál alakulása



11. ábra: Talajvíz-idősor a kettes kútban

A fentebbi ábrán (11. ábra) a talajvízmélységek 3,5 és 5,2 m közt változnak. A hosszú távon emelkedő részek a téli visszatöltődési periódust jelentik, míg a lefelé menők a nyári párologtató periódust. A nyári periódusokban látható, hogy megvastagszik a vonal, ez a napi talajvízszint-ingadozásnak köszönhető, mivel emiatt sűrűn rajzolja ki a program a vonalakat.

Az elemzéseim során ezután a 2-es kút adatsorával számoltam, mert már a korábbi kutatásaim során bebizonyosodott, hogy a két kút adatsorai gyakorlatilag ugyanúgy mozognak, és nagyon közeli eredményeket produkálnak (Kele et al. 2022, 2023), emiatt szükségtelen volt mindkettőre elvégezni vizsgálatokat, és ábrázolni őket. Az 1-es kút esetében volt, hogy a műszer alá ment a talajvízszint 2022 augusztusában és szeptemberében.

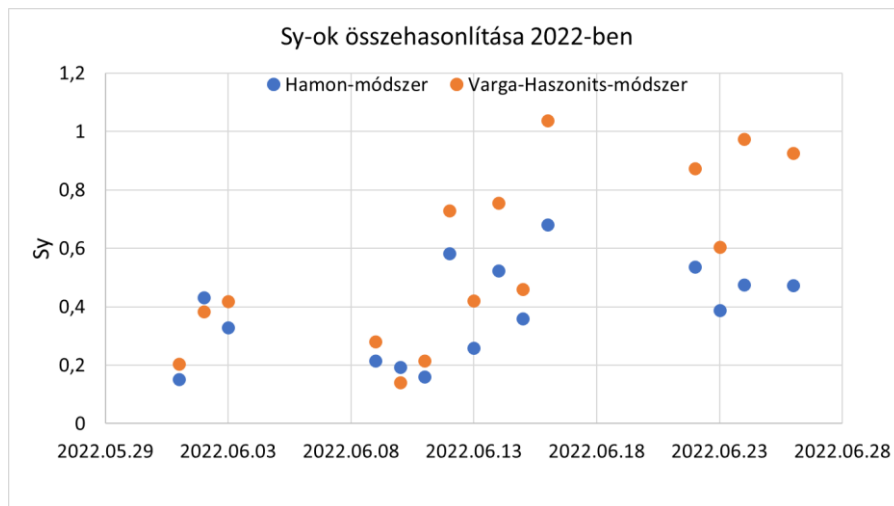
Az idősoron megfigyelhetőek különböző apróbb adathiányok, az ezeken a helyeken lévő adatokat torzító hatásuk miatt kivettem. A talajvíz-idősoron kiválóan látszik, hogy a 2022-23-as hidrológiai év jelentősen csapadékosabb volt, mint 2021-22-es. A két kút 2021-22-es 0,4-0,6m-es visszatöltődéséhez képest a 2022-23-as 1,0-1,1 m-es visszatöltődés szignifikáns különbséget mutat. Szintén érdekesség, hogy 2023 júliusában az aktív párologtatás ellenére is jelentős visszatöltődés történt a sok csapadéknak köszönhetően. A 2023-24-es hidrológiai

év különösen érdekes, mert most tavasszal ment fel az eddigi legmagasabb szintre a talajvízszint, 3,5 méter mélységbe.

A görbéken megfigyelhetőek még túszerű kiugrások is. Ezek pontos eredete nem ismert, nem lehetnek mérési hibák, mert közelebbi ábrákon látszik, hogy van lefutása ezeknek a rendellenességeknek. Ilyenkor valószínűleg valamilyen makropóruson keresztül víz szivárgott be a kútba, ami aztán gyorsan szét is oszlott.

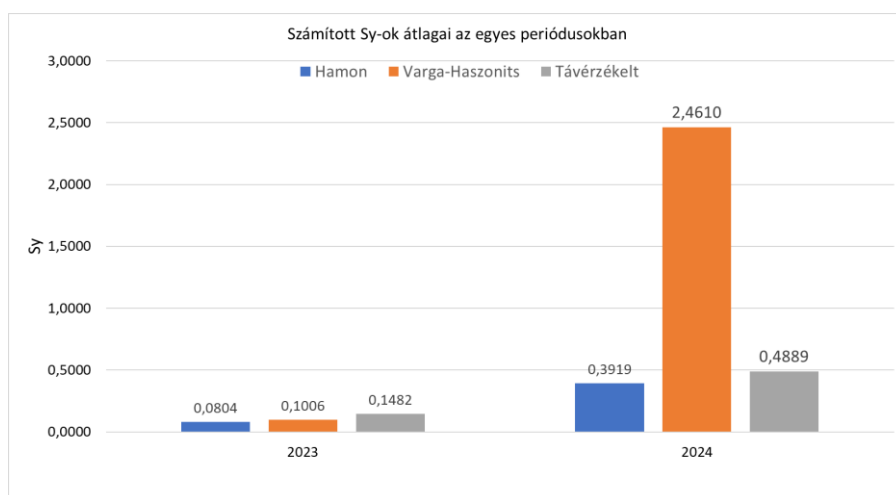
Sajnos nem állnak rendelkezésre igazán hosszú, több évtizedes talajvíz-adatsorok, de az utóbbi 10-12 évben megjelenő csapadékhány félig magyarázat tud lenni arra, hogy a fák miért nem tudják elérni a mélyebb talajrétegeket. Ilyen hosszú idő alatt igen sokat tud süllyedni a talajvíz, és az öreg fáknek már valószínűleg sokkal kevésbé plasztikus a gyökérzetük, nem tudnak utánanőni. Nyilván az is nagy kérdés, hogy tulajdonképpen milyen mélységeket képesek elérni a fák a gyökereikkel, ehhez Magyar Pál (1929) kutatásai nyújtanak egyfajta támpontot, de sokkal kiterjedtebb vizsgálatokra lenne szükség, hogy ezt meg tudjuk becsülni. A mi állományunk elérési határa 5 m környékén lehet, mert 2022-ben, amikor lesüllyedt a talajvíz 4,9-5m mélységbe, akkor kb. tizedakkora volt a napi amplitúdó és párologtatás, mint 30 cm-el feljebbi talajvízszint esetén.

#### A kalkulált $S_y$ értékek összehasonlítása

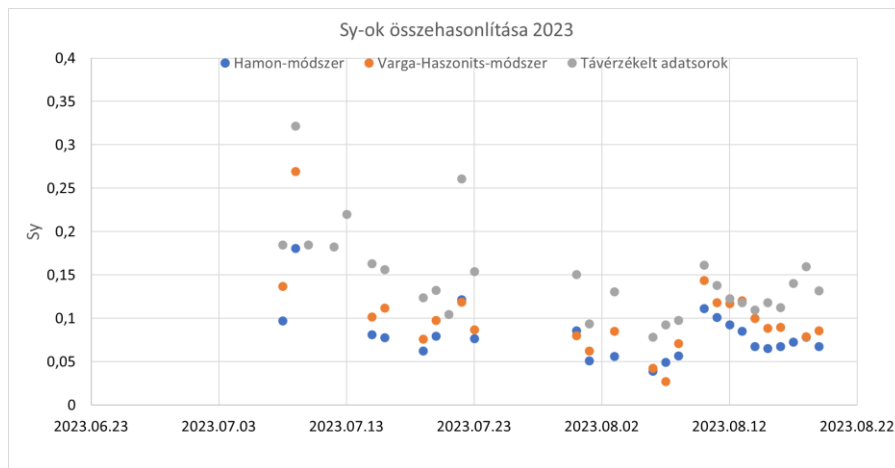


12. ábra: 2022-es  $S_y$  értékek

A fenti ábrán (12. ábra) a 2022-es elemzett időszak során számolt Sy értékek láthatók. Itt látványosan magas Sy értékek születtek, többszöröse a későbbi években számoltaknak (ábra). Az értékek emellett sokkal nagyobbak a szemeloszlás-vizsgálattal kalkulált Sy értékeknél is. A magas értékeknek valószínűleg az az oka, hogy hiába volt kevés a csapadék, a kora nyári időszakban a talaj nedvességtartalma még magas volt, és így az elpárologtatott víz jelentős része nem a talajvízből származott. A fentebb leírtak miatt úgy döntöttem, hogy a 2022-es adatokat nem használom fel a végső eredményekhez. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy a későbbi évek vizsgálata során csak nyár közepétől érdemes a párolgásadatokat Sy becslésre használni.

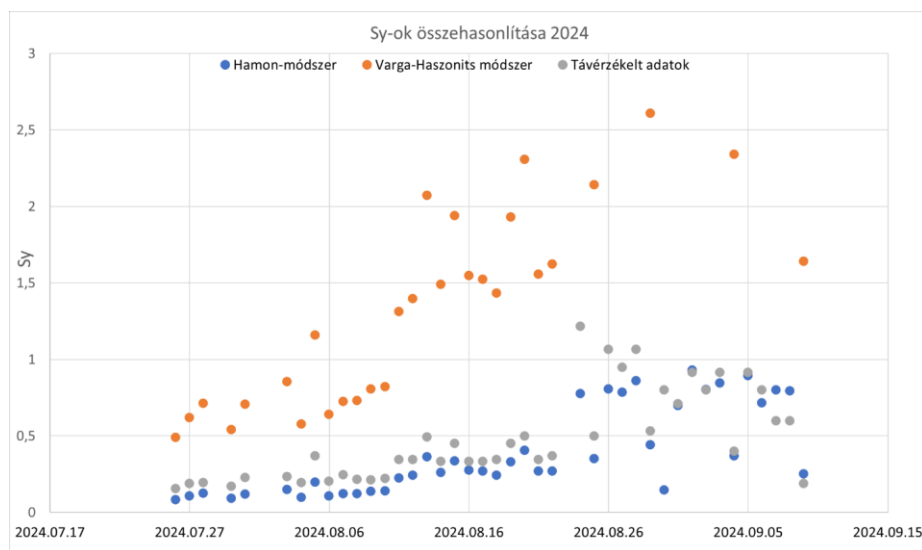


13. ábra: Számított Sy-ok átlagai a 2023-as és 2024-es vizsgált periódusokban



14. ábra: Számított Sy értékek 2023-ban

A 2023-as adatok már szignifikáns különbséget mutatnak a 2022-esekkel szemben, itt az Sy értékek már sokkal realisztikusabb, 0,05-0,4 sávban mozognak. Az ábrák szemlélésénél fontos, hogy míg ez a diagram 0,4-ig, a következő 3-ig van skálázva. Élesen elválnak a különböző módszerek segítségével számolt Sy-onok, legfelül látható a távérzékelt adatokból visszszámolt értékek, alatta a Varga-Haszonits módszerrel, legalul pedig a Hamon módszerrel számoltak. Érdekes nézni a fajlagos hozam számított értékeinek az átlagát is. Mivel ebben az időszakban igen magasan állt a talajvíz, ami miatt biztosan tudott felvenni a szükséges mennyiségben az állomány, és az is látható, hogy az értékek igen közel állnak a szemeloszlás-meghatározással számított Sy-hoz, ezért a felsoroltak miatt ezeket az értékeket lehet az adatsoraimból a legpontosabbnak feltételezni.

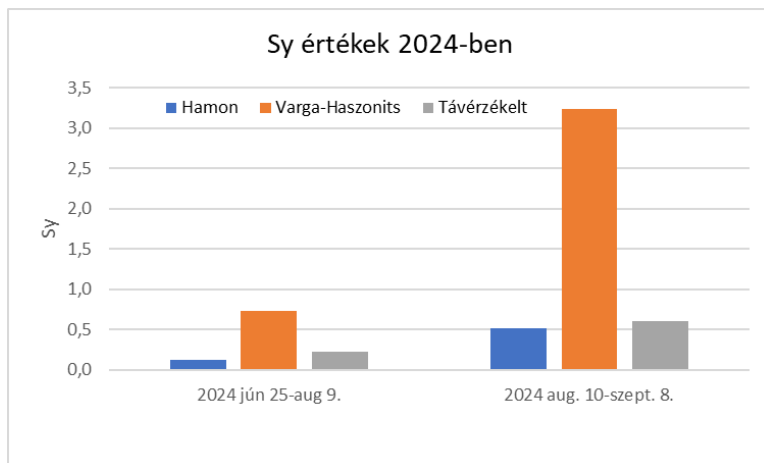


15. ábra: Számított Sy értékek 2024-ben

A 2024-es adatsorok elsőre hasonlóknak tűnnek a 2022-esekhez az eredmények nagysága miatt. Az ok ezzel szemben itt ellentétes, mert míg 2022-ben azért volt alacsony a talajvíz-párologtatás, és ezért magas az Sy érték, mert ekkor a felső talajréteg még sok vizet tartalmazott, 2024-ben viszont már a víztükör lesüllyedt egészen 4,5 m-es mélységig, ahonnan már jelentősen kevesebb vizet tudott felvenni az állomány, és ezért ért el sokkal magasabb értékeket az Sy. Az idei évben a Hamon-távérzékelte reláció megmaradt, ellenben a Varga-Haszonits módszerrel számoltak sokkal magasabb eredményekhez vezettek, ennek oka az lehet, az egyik, hogy ez, mint korábban említettem, egy egyszerű kádpárolgás-számítási módszer, ami viszont alacsony páratartalom és magas hőmérséklet esetén az egyéb tényezők figyelmen kívül hagyása miatt magas eredményeket produkál.

Sajnos a távérzékelte adatok pontossága ezen a területen kissé pontatlan, mert az erdőterület nem teljesen homogén, és a pixelei pedig 0,25 négyzetkilométeresek, ezért nem mondható ki, hogy az adott kútra ezzel pontosan lehet számolni. Ellenben ez azért rávilágít arra, hogy a szemeloszlással számított, majd a Meyboom-féle lefelezéssel korrigált 0,85-ös Sy érték minden bizonnyal egy alábecslés.

A fentebb felsoroltak miatt úgy gondolom, hogy a meteorológiai paraméterekkel és távérzékelte adatokkal történő Sy becslésnek van létjogosultsága, és egy fontos kiegészítője lehet a modellezési módszereknek.



16. ábra: Számított Sy értékek 2024 két elhatárolható időszakában

Az Sy értékeket vizsgálva (ábra) egy érdekes következtetést is levonhatunk, ami túlmutat a kutatás alapvető célján, az Sy meghatározáson. A 2024-es eredményeken megfigyelhető, hogy két csoportra oszlanak. Augusztus 10.-én és az azt körülvevő napokban megfigyelhető egy jelentős ugrás a kalkulált értékekben, ami később még tovább emelkedik. Ebben az időszakban a szárazság miatt a növényzet már biztosan csak minimális mértékben tud vizet felvenni a felső talajrétegből, így vízfelvétele nagy részét talajvízfelhasználással fedezi. Augusztus 10.-e környékén viszont elkezdi növekedni az Sy, ami azt jelenti, hogy a potenciális evapotranspiráció és a talajvízfelvétel, tehát a tényleges evapotranspiráció közti olló egyre szélesebbre nyílik. Az első időszakban az Sy a szemeloszlás-vizsgálattal megállapított, és a 2023-ban számított viszonylag pontosnak ítélt értékek körül marad, a második időszakban viszont az átlag a többszörösére nő, ami azt mutatja, hogy ez lehet a határ, amitől kezdve az állomány már jelentősen kevesebb vizet tud felvenni, így különösen ki van téve az aszálykárnak, illetve növekedéscsökkenésnek.

A fentebb említett következtetés alapja lehet egy gyakorlatban is könnyen alkalmazható módszernek erdeink aszályállóságával, aszálykárvizsgálatával kapcsolatban. A terepen kutakat könnyen lehet telepíteni, meghatározni a szemeloszlást, és a talajvízjárás vizsgálatával, illetve a dolgozatomban tárgyalt meteorológiai, távérzékelési módszerekkel meghatározható lenne, hogy az erdőnek mennyire van kapcsolata a talajvízzel, milyen mélységig tudja ezt hatékonyan elérni. Az eredményekből arra is lehetne következtetni, hogy

meddig szükséges emelni a talajvizet, vagy esetleg meddig lehet süllyeszteni ahhoz, hogy a fák még jól érezzék magukat. Ez különösen fontos lenne a mostani időkből, amikor a vízpótlás, talajvízszint-emelés a közbeszéd tárgyává vált, és jelentős állami beruházások is terveznek annak érdekében, hogy megállítsák az Alföldön az elsivatagosodást.

## Összegzés

Összességében kimondható, hogy a távérzékeléssel és meteorológiai paraméterekkel történő fajlagos hozam meghatározásnak van létjogosultsága, de ezen módszerek pontos eredménnyel való használatához további kutatások lennének szükségesek. A Hamon-módszerrel és a távérzékeléssel meghatározott adatok elég jó következtetésekre adtak lehetőséget, míg a Varga-Haszonits módszer csak nagyon speciális helyzetekben vezetett jó és használható eredményekre. Érdemes lenne további párolgásshámítási módszereket is megvizsgálni, és egy több bemenettel bíró Sy számítási módszert kidolgozni. Egy ilyen metódus nagy segítséget jelenthetne a fajlagos hozam meghatározásában, a nem feltétlenül megbízható, és munkaigényes szemeloszlás alapú meghatározás helyett.

Az Sy napi szinten történő kalkulálása segíthet az erdőállományok és a talajvíz kapcsolatának mélyebb megértésében, illetve az erdő aszálykár-veszélyes időszakainak meghatározásában.

## Köszönetnyilvánítás

A dolgozat a Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-2-I-SOE-48 ösztöndíjának támogatásával készült. A kutatást támogatta még a 143972SNN azonosítószámú OTKA pályázat, a Slovenian Research and Innovation Agency (N2-0313) pályázata és a kapcsolt TKP2021-NKTA-43 számú projekt. „A TKP2021-NKTA-43 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## Irodalmazás

- AppEEARS Team. (2024). Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS). Ver. 3.63. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota, USA. Accessed October 15, 2024. <https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov>
- Bartha D. (2012): Növényföldrajz- és társulástan. Egyetemi jegyzet, Sopron
- Blaney, H. F. –Taylor, C. A. – Young, A. A. (1930): Rainfall penetration and consumptive use of water in the santa ana river valley and coastal plain. Calif. Dept. Pub. Works, Div. Water Resorces Bull., 33:162.
- Blaney, H. F. –Taylor, C. A. –Young, A. A. –Nickle, H. G. (1933): Water losses under natural conditions from wet areas in southern cailifornia. Calif. Dept. Pub. Works, Div. Water Resorces Bull., 44 (1): 139.
- Bolla B. – Szabó A. (2020): A NAIK-ERTI hidro-meteorológiai monitoring rendszerének kezdeti eredményei a 2019. évi mérések alapján. Erdészettudományi Közlemények, 10. évf. 10. szám 41-54
- Bolla B. K. & Németh T. M. (2017): Monitoring of the Hydrological Balance in the Area of the Kiskunság National Park Directorate. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 13 (2). pp. 97-111. ISSN 1786-691
- Csáki P., Kalicz P., Zagyvainé K. K. A. & Gribovszki Z. (2020): „Erdők és természetközeli területek” vízháztartásának vizsgálata párolgástérképek segítségével p. 92-97. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap, Lakitelek 2020.11.10 Szerkesztő: Csiha Sára, ISBN 978-615-80594-7-3, Kiadja: az Alföldi Erdőkért Egyesület
- Daley, M.J., Phillips, N.G., 2006. Interspecific variation in nighttime transpiration and stomatal conductance in a mixed New England deciduous forest. Tree Physiology 26, 411–419. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.4.411>

- Dunai S., Posza I., - Varga-Haszonits Z. (1968): Egyszerű módszer a tényleges evapotranspiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. I. A párolgás meteorológiája. Öntözéses Gazdálkodás, Vol. VI., No. 2: 39-48. old.
- Dunai S., Posza I., - Varga-Haszonits Z. (1969): Egyszerű módszer a tényleges evapotranspiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. II. Tényleges párolgás. Öntözéses Gazdálkodás, Vol. 7, No. 2.:27-38. oldal.
- Eötvös, Csaba Béla és Horváth, László (2018) *A szentai-erdő talajvízszint változásai a KASZÓ-LIFE projekt hatására*. ERDÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK, 8 (2). pp. 17-23. ISSN 2062-6711
- Führer E. (2018): A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. Erdészettudományi Közlemények, 8(1): 27-42. DOI: 10.17164/EK.2018.002
- Gencsi Z. (2008): Erdők a Hortobágyon. Erdészeti Lapok CXLIII. évf. 7-8. szám: 234-240.
- Gretchen R. Miller, Xingyuan Chen, Yoram Rubin, Siyan Ma, Dennis D. Baldocchi 2010: Groundwater uptake by woody vegetation in a semiarid oak savanna <https://doi.org/10.1029/2009WR008902>
- Gribovszki Z., Kalicz P., Balog K., Szabó A., Tóth T., Csáfordi P., Metwaly M. & Szalai S. (2017): Groundwater uptake of different surface cover and its consequences in great Hungarian plain. Ecological Processes 6 : 1 Paper: 39.
- Herczeg, P., 2011. Nedváramlás vizsgálata erdei fák törzsében a Sopron melletti Hidegvíz-völgyben (diplomamunka). Nyugat-magyarországi Egyetem.
- Ijjász E. (1936): Az erdészeti altalajvízmegfigyelések eredményeinek rövid ismertetése.
- Járó Z. (1981): A hazai erdők vízfogyasztása. Agrártudományi Közlemények, 40., 353-356.
- Kiss Csaba László (2022): A vízviszonyok hatása az alföldi erdőkre az Ohati erdőtömb példáján Diplomamunka, Soproni Egyetem. Erdészeti Lapok LXXV. évf. 9–10. füzet: 820–829.
- Kele Zsombor, Prof. Dr. Gribovszki Zoltán, Kalicz Péter (2022): A talajvízviszonyok kapcsolata a hőmérséklettel, csapadékkal, illetve a vegetációval egy alföldi sziki tölgyes esetében - Tudományos Diákköri Dolgozat, Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar

- Kele Zsombor, Prof. Dr. Gribovszki Zoltán, Kalicz Péter (2023): Egy alföldi sziki tölgyes talajvízforgalmának vizsgálata - Tudományos Diákköri Dolgozat, Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar
- Loheide II., Steven P. – Butler, J. J., Jr. – Gorelick, S. M. (2005): Use of diurnal water table fluctuations to estimate groundwater consumption by phreatophytes: A saturated-unsaturated flow assessment. *Water Resources Research*, 41. doi: 10.1029/2005WR003942
- Major P. (2002): Síkvidéki erdők hatása a vízháztartásra. *Hidrológiai Közlöny* 82. 6: 319–324.
- Magyar Pál: Az Alföldfásítás elméleti és gyakorlati kérdéseiből (1929) *Erdészeti Lapok* 68. évf. 9. füzet, 1929. szeptember
- Mathé L.: A hortobágyi Ohat-erdő vegetációja[1]
- Meyboom, P., 1965. Three observations on streamflow depletion by phreatophytes. *Journal of Hydrology* 2, 248–261. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(65\)90040-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(65)90040-5)
- Méri K. (1862): Az erdők jelentősége a természet nagyszerű háztartásában. *Erdészeti Lapok*, 1. évfolyam, 1. szám, 1-14. O.
- Monteith, J.L. (1965) *Evaporation and the Environment*. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology, 19, 205-234.
- Móricz, N., Mátyás, C., Berki, I., Rasztoivits, E., Vekerdy, Z., Gribovszki, Z., 2012. Comparative water balance study of forest and fallow plots. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 5, 188–196. <https://doi.org/10.3832/ifor0624-005>
- Móricz, N., Tóth, T., Balog, K., Szabó, A., Rasztoivits, E., Gribovszki, Z., 2016. Groundwater uptake of forest and agricultural land covers in regions of recharge and discharge. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 9, 696–701. <https://doi.org/10.3832/ifor1864-009>
- Pálfi I. (2010): A Duna-Tisza közti hátság vízgazdálkodási sajátosságai. *Hidrológia Közlöny* 90 (1):40-44.
- Penman, H.L. (1948) *Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass*. *Proceedings of the Royal Society of London*, 193, 120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>

- Puskás, L. (2006): Ökológiaivízpótlás a mályvadítarozóban. AEE kutató nap kiadványa 39-47.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Solomatine, D. P., Wagener, T. (2011). Hydrological modelling (chapter 2.16). In: Treatise on water science, volume 2: The science of hydrology, 435–457.
- Szabó, A.; Gribovszki, Z.; Jobbagy, E. G.; Balog, K.; Bidló, A. & Tóth, T. Subsurface accumulation of CaCO<sub>3</sub> and Cl<sup>-</sup> from groundwater under black locust and poplar plantations Journal of Forestry Research, Springer Nature, 2018
- Szabó, A.; Gribovszki, Z.; Szolgay, J.; Kalicz, P.; Balog, K.; Szalai, J.; Hlavčová, K.; Bolla, B. Groundwater Recharge from Below under Changing Hydro-Meteorological Conditions in a Forested and Grassland Site of the Great Hungarian Plain. Forests 2023, 14, 2328.  
<https://doi.org/10.3390/f14122328>
- Dr. Szabó András-dr. Balog Kitti-dr. Bolla Bence-dr. Tóth Tibor-prof. dr. Gribovszki Zoltán: A telepített erdők és a talajvíz kapcsolata az Észak-Alföldön Erdészeti Lapok CLV. évf. 2. szám (2020. február)
- Szodfridt I. (1993): Erdészeti termőhelyismeret-tan. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Szodfridt I. 1990: Hozzászólás: Major Pál és Neppel Ferenc: A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedése című cikkéhez. (Megjelent a Vízügyi Közlemények 1988. évi 4. füzetének 605–626. oldalán.) Vízügyi Közlemények, 72 (3): 287–291.
- Szodfridt I. & Faragó S. (1968): Talajvíz és vegetáció kapcsolata a Duna–Tisza köze homokterületén. Bot. Közlem. 55. (1) 69–75.
- Tóth T., Balog K., Szabó A., Pásztor L., Jobbagy E. G., Nosetto M. D. & Gribovszki Z. (2014): Influence of lowland forests on subsurface salt accumulation in shallow groundwater areas, AoB PLANTS plu054, pp. 1-39. DOI: 10.1093/aobpla/plu054
- Tóth I. (1963): Közép és Alsó-Duna ártér erdőgazdasági táj. In. Danszky I. (ed.): Magyarország erdőgazdasági tájainak erdőfelújítási, erdőtelepítési irányelvei és eljárásai. Budapest, OEF

- T. S. David, M. O. Henriques, C. Kurz-Besson, J. Nunes, F. Valente, M. Vaz, J. S. Pereira, R. Siegwolf, M. M. Chaves, L. C. Gazarini, J. S. David Tree Physiology, Volume 27, Issue 6, June 2007, Pages 793–803, <https://doi.org/10.1093/treephys/27.6.793>

-White, Walter N. (1932): Method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil – results of investigation in escalante valley. Technical report, Utah – U.S. Geological Survey. Water Supply Paper 659-A.

-Zhu, J., Young, M., Healey, J., Jasoni, R., Osterberg, J., 2011. Interference of river level changes on riparian zone evapotranspiration estimates from diurnal groundwater level fluctuations. Journal of Hydrology 403, 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.04.016>

-Zoltai Lajos: A Hortobágy (1911)

## Mellékletek

A többi kép, az adatsorok az alábbi két drive-mappában található, az R-kód pedig a lenti GitHub linken található.

<https://github.com/kelezs2023/OhatGWData>

<https://drive.google.com/drive/folders/1zJpAjlXUIN7daYUX1VznV8K1HqzfwKH>

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1YLK0W9DKNk2OgFstwuRgPGYMnTTyqMR5>