

A Hajdúsági-löszhát hidrodinamikai modellezése MIKE SHE környezetben

Pásztor Dávid^{1,2}, Fehér Zsolt Zoltán¹, Budayné Bódi Erika¹, Tamás János¹

¹Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debreceni Egyetem, 4032 Debrecen Böszörményi út 146/B.

² E-mail: pasztor.david@agr.unideb.hu

Kivonat

Döntés született Debrecen térsége és a Hajdúhát vízhiányát megoldani hívatott Civaqua projekt megvalósításáról. Ahhoz azonban, hogy egy térségi projekt eredményes legyen és a vizet oda juttassuk, ahol a legnagyobb társadalmi és természeti hasznot eredményezi, az adott térség folyamatos monitorozása és közel valós idejű hidrodinamikai modellezése szükséges. A Hajdúhát területén fő talajtípus az alföldi mészlepedékes csernozjom, emellett megjelenik a területen a réti csernozjom és a mélyben szolonyeces réti csernozjom talajtípus. Felszíni vízfolyásokban nem bővelkedik, a legtöbb vízfolyás elkerüli a területét a környezetéhez képesti kiemeltsége miatt. Mezőgazdasági szempontból a terület minél optimálisabb felhasználásához komplex vízgazdálkodási megoldásokra van szükség, még a jó vízgazdálkodású talajjal fedett területeken is szükséges időszakosan öntözni. Az öntözés vízforrása a Keleti-főcsatorna, illetve a jövőben a Civaqua projekt keretében megvalósuló infrastruktúra. A jelen tanulmánynak a Keleti-főcsatorna képezi részét, mivel annak keresztszelvényei, vízhozama, vízszintje, vízi műtárgyai és vízkivételi pontjai is adottak. A modellezés alapjául két, csapadék szempontjából kontrasztos időszakot választottunk, 2018 a választott csapadékszegény időszak és 2020 a választott csapadékban gazdag év. A kutatásunk eredménye egy olyan alapmodell lett, amely megfelelő kiindulópontot nyújt a jövőbeli Civaqua-fejlesztések különféle alternatíváinak (öntözőfürtök, ideális csatornanyomvonalak, ideális öntözővíz-elosztás) kijelölésében, illetve a hidrodinamikai rendszerre gyakorolt hatásának további elemzésében.

Kulcsszavak

Hidrológiai modell, Mike Hydro River, Mike SHE, Hajdúsági-löszhát, Civaqua projekt, öntözésfejlesztés

BEVEZETÉS

A globális klímaváltozás és annak hatásai évről évre látványosabban vannak jelen. Ennek egyik legnagyobb elszennvedője a mezőgazdaság (FAO, 2018). A dinamikus környezeti elemek eloszlása térben és időben egyaránt kaotikus (Fehér Zs. 2015, Kemény G. et al. 2013). A Föld növekvő népességét a mezőgazdaságnak ki kell szolgálnia élelmiszerrel, a tavalyi év élelmiszeri és gazdasági válságai pedig rámutattak arra, hogy milyen sürgető alkalmazkodnunk a társadalmi és éghajlati változásokhoz (IPCC 2014). A növekvő termelést és a stabil termésátlagot vagy termésváltással tudjuk kezelni, vagy változatlan termelési módok mellett, megfelelő öntözési stratégiával és precíziós gazdálkodással lehet kivitelezni hosszútávon, a csökkenő csapadék mennyiség és növekvő gyakoriságú aszályok miatt (Rakonczai és Fehér 2015, 2019).

Debrecen térsége különösen kitett a rendelkezésre álló vízkészletek csökkenő tendenciája következtében. A város és a környező termőföldek vízigénye már manapság sem biztosítható

kizárólag a helyi megújuló rétegvizekből. A szárazság okozta növekvő mezőgazdasági vízigény mellett a manapság zajló ipari beruházások által prognosztizálható népességnövekedés a társadalmi és gazdasági vízfelhasználás növekedését vetíti előre. A fejlődő gyári termelés, a debreceni akkumulátor gyár üzemeltetése egy rendkívül komplex ám annál izgalmasabb mérnöki kihívás elé állítja az illetékes vízügyi szakembereket (Győrffy D., 2023).

Az egyre nagyobb igénybevételnek kitett helyi vízkészletek és az aszályal sújtott debreceni Nagyerdő helyzetét hivatott javítani a CivAqua projekt. A projekt célja az öntözésfejlesztési lehetőség biztosítása a Hajdúhátságon és Debrecen környezeti állapotának javítása. A projekt tervezete alapján a Keleti-főcsatornából szállítanak el a Tisza vizét egy földalatti vezetéken keresztül egészen Debrecenig (Orbán E., 2010).

A fentartható gazdálkodás részét képezi a környezeti változások nyomon követése és az adatok felhasználásával történő hatékony beavatkozás (Aubert et al., 2012). Fejlett technológiák segítségével manapság már nem csak a lokálisan kihelyezett szenzorok által mért adatok elérhetőek, hanem a műholdfelvételek kiértékelésével hozzájuthatunk olyan területi adatokhoz, ahol nem található helyi szenzorállomás (Waheed et al 2006). Az idősoros műholdfelvételek felhasználásával nagyobb területi változásokat nyomon tudunk követni (van Leeuwen et al., 2020).

A mért környezeti paraméterek felhasználásával különböző környezeti modelleket tudunk létrehozni. A modellek segítenek megérteni a végbemenő környezeti folyamatokat. Különböző paraméterek megváltoztatásával jövőbeli eseményeket is képesek vagyunk szimulálni (IPCC, 2013).

A bemenő adatok mennyisége, minősége, térbeli és időbeli felbontása hatással van a szimulált modell eredményeire. Egy komplex hidrológiai modell elkészítése esetén igen sok bemeneti paraméterre van szükség. A sok és pontos környezeti adat felhasználása a modell és a természet közti kapcsolatot erősíti (Sasvári 2020, BUTTS, M.B. et al. 2004)). A manapság széles körben alkalmazott hidrológiai modellező szoftverek nem mások, mint a már legalább 150 éve megalkotott Saint-Venant egyenletek variánsai.

A hidrológiai modellezésben élen jár a DHI (Danish Hydraulic Institute) cég által létrehozott MIKE hidrológiai modellező szoftver. A MIKE HYDRO River új generációs világszerte ismert hidrodinamikai modellező szoftver. A MIKE szoftvercsalád különböző moduljai modellek sokaságának készítését teszik lehetővé. Egyes modulokban létrehozott modellek összekapcsolhatóak, ezzel pontosítva a komplex hidrológiai modellek eredményét (DHI, 2023). A szoftver használatát az Országos Vízügyi Főigazgatóság manapság kezdi beépíteni a döntést támogató rendszereibe (Hop et al 2022).

A hidrológiai modellek fontos elemét képezik a vízkészlet gazdálkodásnak. A döntéstámogatási funkció a mezőgazdasági öntözés, a víz szétosztás, a vízhálózat kialakítás és a fentartható vízgazdálkodás továbbfejlesztéséhez járulnak hozzá. A mezőgazdaságban

továbbá a felhasznált öntözővíz felhasználás optimalizálásához járulhatnak hozzá. (Hafezparast, M. et al. 2013).

A komplex kérdések komplex megoldást igényelnek. Morfológiája miatt a Hajdúhát felszíni vízfolyásokban gyér. Csatornákkal sűrűn átszőtt domborzata és porózus löszös-homokos üledékei miatt a MIKE SHE hidrológiai modellt választottuk a térség vízkészletváltozásainak komplex természeti, mezőgazdasági, ipari és társadalmi jellegű értékelésére. Vizsgálatunkban kitüntetett figyelmet kapott a terület öntözéses mezőgazdaság előzetes tervezési és esetvizsgálatai. A vizsgálataink eredményeit az utóbbi időszak két szélsőségesnek tekinthető évének adathalmazai (2018 és 2020) adatai alapján szemléljük.

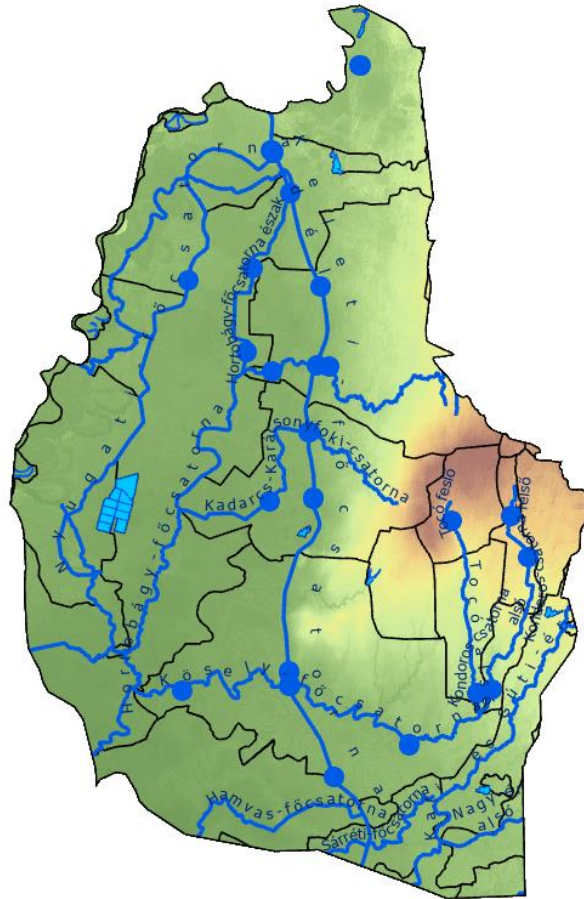
A HAJDÚHÁT KÖRNYEZETI VISZONYAI

A Hajdúhát területe a pleisztocén földtörténeti kor végén és a holocén elején alakult ki. A területet felszíni litológiaiilag kvarter felső-pleisztocén lösz, löszös homok, infúziós lösz és folyóvízi aleurit, valamint holocén deluviális aleurit jellemzik (Papp & Kertész, 1979).

Ez, a Hajdúhátat jelentős részben fedő homokoslösz- illetve lösztakaró vastagsága helyenként eléri a 4 métert. Ennek a löszel-iszappal fedett hordalékkúp síkságnak 93-162 méter közötti a tengerszint feletti magassága, és az üledékein képződött talajok jó termékenységűek (Rónai, 1985).

A kistáj a Nyírség és a Hortobágy között helyezkedik el, viszonylag keskeny, de észak-dél irányban elnyúló alakja van (kb. 10 km x 70 km) (1. ábra). A fő talajtípus az alföldi mészlepedékes csernozjom, emellett megjelenik a területen a réti csernozjom és a mélyben szolonyeces réti csernozjom talajtípus. A csernozjomtalajok jó vízgazdálkodású talajok, de a foltszerűen megjelenő homokos jellegű talajjal fedett részek a rossz és a közepes vízgazdálkodású kategóriákba esnek (Rónai, 1963).

Ez a mozaikosság kihívást jelent a növénytermesztés számára. A talajvízszint mélysége is változatosan alakul a területen: jellemzően 4-8 méteren húzódik, de kisebb foltokban sekélyen, akár 1 m-nél is sekélyebben okozhat szikesedést, míg máshol nagyobb kiterjedésű foltokban a növényzet számára szinte elérhetetlen, 8 méteres mélységben. A terület a környezetéhez képesti kiemeltsége miatt felszíni vízfolyásokban nem bővelkedik, a mezőgazdasági vízigényt a Keleti illetve Nyugati főcsatorna vízkészlete adja (Rónai, 1975).



1. ábra: a modellezett terület elhelyezkedése

A MIKE MODELLKÖRNYEZET

Az infokommunikáció térnyerése és a távmérő állomások elterjedésének köszönhetően a valós idejű hidrológiai modellek lassacskán a 21. század nélkülözhetetlen eszközeivé válnak. A vízkészletekkel való gazdálkodás döntéshozatalában, az árvizek előrejelzésében, a hidrológiai előrejelzések elkészítésében és ezáltal az árvízi katasztrófák elkerülésében és a hasonló negatív kimenetű hidrológiai hatások enyhítésében már ma is fontos szerepet töltenek be (Irimuş et al., 2015)

A hidrológiai modellezés egy nagyon hatékony eszköz lehet a vízgazdálkodási szakemberek számára, hogy feltárják a potenciális veszélyeket, megismerjék a még nem tapasztalt természeti szituációkat és ezáltal képesek legyenek megfelelően reagálni a környezeti változásokra. Az informatika képes segíteni a döntéseinket a vízkészletek hatékony felhasználásával kapcsolatos pénzügyi források felhasználásában, megtérülésének elemzésében. Hidrológiai módszerek, amelyek megbecsülik a vízgyűjtő területről történő lefolyást és a víznek a különböző pontra való eljutásához szükséges időt, magában foglalják mind a lefolyási adatok statisztikai elemzését, mind a csapadék adatokat, amelyek a fő bemeneti változót jelentik. (Diez-Herrero et al., 2009).

A modell megbízhatósága nagymértékben függ az alkalmazott hidrodinamikai modelltől, a bemenő adatok léptékétől, minőségétől, mennyiségétől és térbeli felbontásától (Fehér, 2015, Leandro et al. 2009).

A hidrodinamikai modellek olyan matematikai modellek, amelyek fizikai alapot biztosítanak a széleskörű áramlási helyzetek és az üledékszállítás modellezéséhez. Ezek a modellek fizikai törvények alapján megfogalmazott irányadó egyenletek megoldásával képesek előrejelezni a vízmozgást. A Mike Hydro River képes egydimenziós (1D) áramlás szimulációt végezni, de ezt a modellt futtathatjuk akár kettő és háromdimenziós szinteken is (2D/3D) (Teng et al. 2017)

A DHI (Dán Hidraulikai Intézet) által kifejlesztett MIKE HYDRO River az egyik legszélesebb körben használt 1D folyómodellező szoftvercsomag. Számos csapadék és felületi lefolyás modellt kínál, beleértve az egységnyi vízrajz-módszert, amely az egyedi csapadékeseményből származó felszíni lefolyás becslésének alapvető eszköze. A modellező rendszer emellett hatékony eszköz 1D hidrodinamikai és hidraulikai szimulációkhoz mind a természetes és mesterséges csatornahálózatokra (Győri et al, 2016)

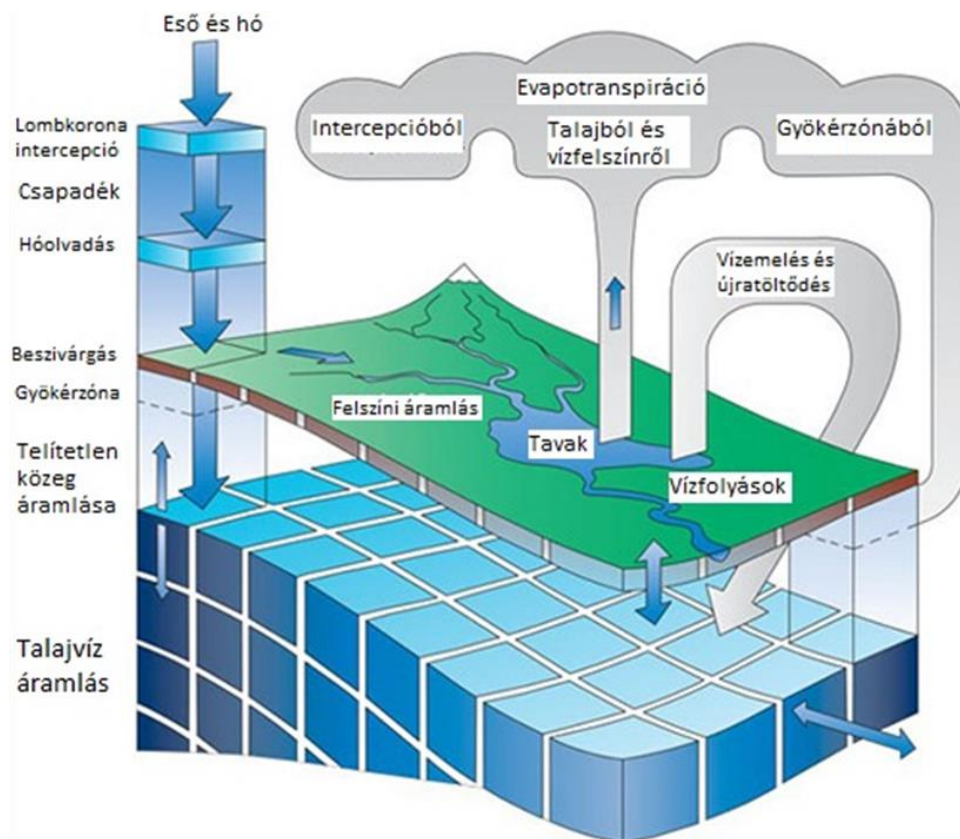
A két és háromdimenziós a legalkalmasabb az összetett hidrológiai modellek szimulációjához, összetett folyórendszerek hidrodinamikai modellezéséhez, mint az árvízi elöntések térképezéséhez (Chen és Liu, 2017).

A MIKE SHE modellt a Dán Hidraulikai Intézet (DHI) fejlesztette ki SHE, mint Systeme Hydrologique Europeen. Ez egy fizikai alapú, felszíni-felszín alatti integrált, telítetlen-telített áramlással összekapcsolt, osztott hidrológiai modell. Átfogóan képes szimulálni hidrológiai ciklus minden lényeges folyamatát (1. táblázat) (Refsgaard et al., 2010).

Bemenő adatok	Folyamatok	Eredmények
Hidrometeorológiai adatok	Csapadék-lefolyás modellezés	Vízvezetés
Folyók keresztmetszései	Hidrodinamikai szimuláció	Vízminőség
Talaj típus térkép	Üledékszállítás	Térképek
Földhasználat térkép	Vízminőség analízis	Grafikonok
Vegetációs tulajdonságok		Táblázatok
Digitális magasság modell		
Talajfizikai adatok		
Vízfolyás áramlási adatok		

1. táblázat: Mike SHE által felhasznált adatok és az ebből szimulált hidrológiai folyamatok és eredményei

A felszíni és felszín alatti vizeket integráló MIKE SHE fizikai alapú, osztott hidrológiai modell jelentős előnye a fizikai modell három dimenziójában mutatkozik meg. A fő és összekapcsolt, egymást követő hidrológiai folyamatoknak a tömeg, az energia és az impulzus megmaradásának törvényein alapuló leírásán alapszik. A vízgyűjtő paraméterek, az éghajlati változók és a hidrológiai tényező térbeli eloszlása egy ortogonális rácshálózaton és a vízszintes rétegek oszlopán keresztül jelenik meg minden egyes rácsnégyzetben, vízszintesen és függőlegesen egyaránt (2. ábra). A MIKE SHE képes kombinálni a koncepcionális és a fizika-alapú módszereket az adatok rendelkezésre állása és a projekt lehetőségei alapján (Graham és Butts, 2005).



2. ábra: Mike SHE által szimulált hidrológiai folyamatok. (Saját szerkesztés)

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Mike modell igen sokféle bemenő adatot igényel. Emellett oda kell figyelni a bemenő adatok struktúrájára és a kiterjesztésekre is.

A bemenő adatok az alábbi forrásokból származnak:

- Országos Vízügyi Igazgatóság monitoring hálózata, beleértve a Tisza-Körös-völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer és az Aszálymonitoring adatbázisát
- OMSZ Meteorológiai Adattár
- KITE mezőgazdasági szolgáltató által szolgáltatott adatok

A Hajdúhát területére létrehozott hidrológiai modell a Mike szoftvercsalád két modellkomponenséből épül fel. Elsőként a Mike Hydro River vízhalozati modellt kell létre, mely modellt össze tudjuk kapcsolni a Mike SHE környezeti modellel.

Az adatelőkészítés első lépése a vizsgálati terület kijelölése. A legegyszerűbb módja ennek, ha egy térinformatikai szoftverben végezzük el ezt a műveletet. A modell építése során az ArcGis Pro térinformatikai szoftvert alkalmaztam a Mike modell bemenő adatainak előállításához. A lehatárolt vizsgálati területet shape fájlban kiexportálva, közvetlenül képesek vagyunk a Mike szoftverben importálni. A létrehozott shape fájl segítségével el lehet kezdeni az adatelőkészítést. A shape fájlt, mint egy kivágó formaként alkalmazva az ArcGis Pro szoftverben, meg lehet kezdeni a vizsgálati terület szerinti rétegek lehatárolását. De a Mike Hydro river-be beolvasott vizsgálati terület shape fájl is definiálja a modellezni kívánt területet, így nem muszáj minden bemenő réteget kivágni, a szoftver csak a shape-en belüli adatokat használja fel. A nagy térbeli kiterjedésű bemenő térinformatikai réteget érdemes kivágni, hogy minél kisebb fájl mérettel dolgozzon a szoftver, megkönnyítve a beolvasást és modellezés folyamatát.

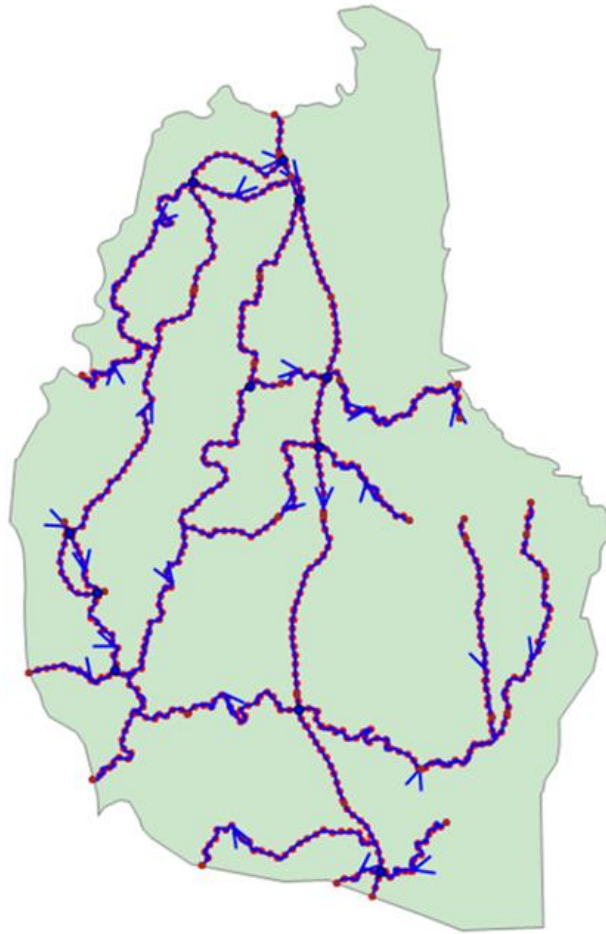
A kutatási terület shape fájlt felhasználva az alábbi rétegeket vágtam ki:

- Vízhalozat
- Domborzat
- Vízi műtárgyak helye
- Mérőállomások helye

A domborzat réteget .tiff, a többi réteget pedig .shp fájl formátumban exportáltam ki.

A modellezés első lépései, hogy meghatározzuk a modellezési időszakot, a bemenő adatok felhasználásának időbeli felbontását és modellezéshez használt koordináta rendszert.

A vízhalozat shape betöltése után létre kell hozni a folyókapcsolatokat, ahol a folyók egymásba torkollnak külön jelölni kell, illetve a torkolat után is folytatódó folyókat szintén jelölni kell. Ez a folyamat azért fontos, hogy a Mike Hydro River szoftver létre tudja hozni a vízhalozat részeit és képes legyen értelmezni az összefüggő szakaszokat a kapcsolatok ellenére is (3. ábra). Ezen folyószakaszok kapcsolatát a Folyóágak (Branches) menüpont listázza, kezdeti és végpontokkal.



3. ábra: a vizsgálati terület shape vízfolyásokkal, folyási iránnyal és a vízfolyások keresztmetszésvonalakkal

A domborzat réteg megadásával a Mike Hydro River képes értelmezni a felszíni magasságváltozást a lehatárolt területen. Ennek ismeretében képes meghatározni a folyási irányt és a felszíni lefolyás irányát. A modellhez felhasznált domborzat réteg 100 m felbontású.

A határfeltételek (Boundaries) menüpont alatt a vízhálózatra vonatkozó határfeltételeket kell megadni. A folyó szakaszokon pontokkal jelölve tudjuk definiálni a vízállás, vízhozam, feltöltés és vízkivétel értékeit.

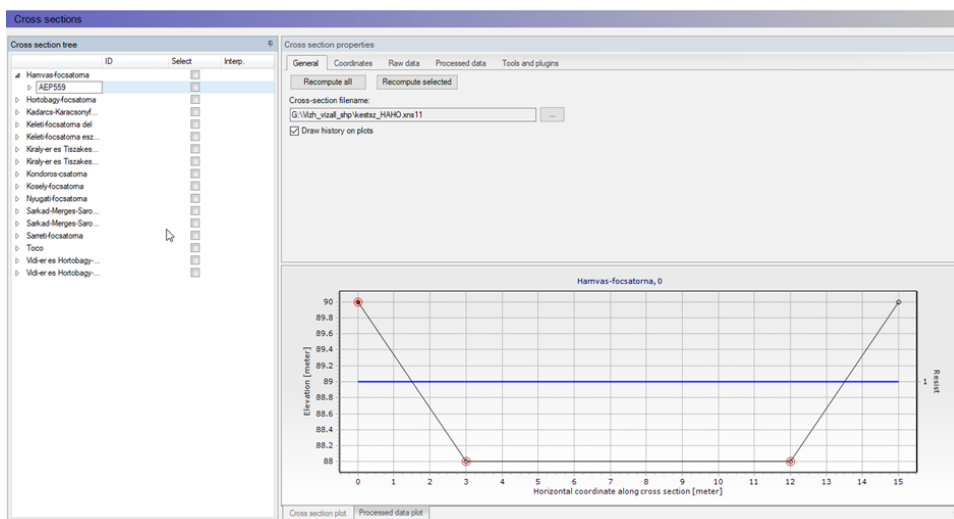
A vízi műtárgyak helyének megjelölése után, a műtárgyának megfelelően meg kell határozni a működési szabályokat (zsilip, gát, szivattyú).

A mérőállomások helyének meghatározása pontokkal történik a vízhálózat területén. Ezekhez kell hozzákötni a mérőállomások által mért adatokat.

Az előző három bekezdésben említett adatok lehetnek állandó értékek, de sok esetben idősor adatok szükségesek a definiáláshoz, mint vízszint és vízkivétel. Ezeket az értékeket a Mike saját idősor szerkesztőjében tudunk létrehozni, az összegyűjtött adatbázisokból az adatokat

könnyedén át tudjuk másolni és azonosító (ID) alapján összelehet kötni a térképen meghatározott ponttal. Az említett paramétereket megadva tudjuk elkészíteni a .dfs0 kiterjesztésű idősoros adatokat.

A folyóhálózat hossz szelvényének definiálása után meg kell adnunk az ahhoz tartozó keresztmetszeteket (Cross sections) is. A meder alakját a legegyszerűbben négy pont megadásával határozhatjuk meg (4. ábra). Egy táblázatban négy sorban kell megadni a pontok magasságát és távolságát. Az első pont a bal part, a második pont a meder fenék bal pontja, a harmadik a meder fenék jobb pontja a negyedik pont pedig a jobb part. A bal és jobbpárt magasságát a domborzati réteg alapján határozza meg a szoftver. A mélységet és rézsúhajlást a TIVIZIG-től kapott műszaki rajzok alapján határoztam meg. A rézsúhajlás általában 1:1,5 és 1:2 arányú, ami függ a meder anyagától, a meder anyaga pedig meghatározza az érdességet. A vízfolyás medrének fenékszélességét és mélységét a vízfolyás nagysága határozza meg.



4. ábra: keresztmetszvények megadása Mike Hydro river szoftverben

A modellezés első fázisaként elkészült a Mike Hydro River modellt, a következő fázisban bemeneti adatként fogjuk megadni a környezeti modell létrehozása során. A Mike SHE modell több környezeti elem alakító hatásával egészíti ki a hidrológiai modellt.

A bemenő adatok előkészítésénél hasonlóan jártam el, mint a vízhálózati modell esetében. Az ArcGis Pro térinformatikai szoftvert alkalmaztam, hogy a kutatási terület shape fájlal kivágyjam a szükséges bemenő térbeli adatokat:

- Vízyűjtő terület
- Vízhálózat
- Felszínborítás
- Levélfelület index (LAI)
- Vízfolyások geometriai adatai
- Domborzati modell

A domborzatot és levélfelület index-et (LAI) .tiff fájlként a többi felsorolt térinformatikai réteget pedig .shp formátumban mentettem el.

A folyóhálózatot és a tavakat a Mike Hydro River projekt megadásával kell meghatározni, ebben a formában lehet összekötni a hidrológiai és környezeti modellt.

Mivel a mérőállomások pontszerűen adnak adatot a Mike SHE pedig területre lebontva kéri a környezeti adatokat, ezért a mérőállomások helyét felhasználva Thiessen-sokszögeket hoztam létre. Ezek a sokszögek területet kijelölve értelmezik a mérőállomás adatait. Minden sokszög egyedi azonosítóval (ID) lett ellátva.

A környezeti adatok és a terület azonosítók felhasználásával idősoros adatokat hoztam létre a már említett módon, az alábbi adatokból:

- Vízállás
- Vízhozam
- Talajvízszint
- Csapadék
- Hőmérséklet

A környezeti tényezőkön belül ki kell térni részletesen a talajtani viszonyokra, meg kell határozni a különböző geológiai rétegeket. A beszivárgás és a felszín alatti áramlás modellezéséhez a felszínborításon kívül még meg kell adni a talajtípusokat is különböző mélységekben és a növényzetre jellemző gyökerezési mélységet is.

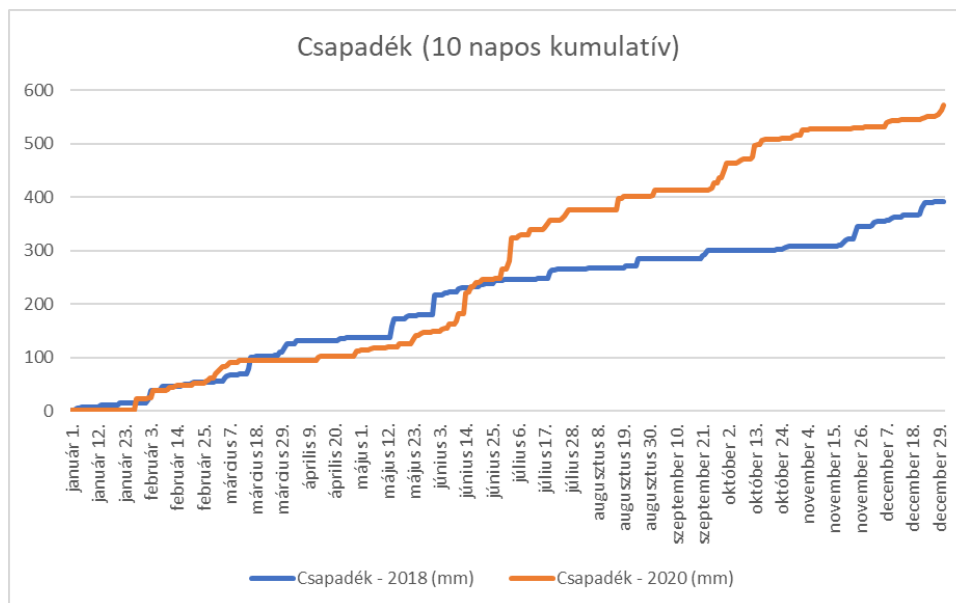
EREDMÉNYEK

(A jelen fejezetben ismertetettek csupán előzetes eredmények, a valódi szimulált eredmények az előadásra fognak elkészülni!)

Az eredmények kiértékelésénél a választott 2018 és 2020 modell év eredményeit hasonlítottam össze. A Hajdúhát területén a 2018 igen csapadékos évnek bizonyult, a 2020 pedig nagyon aszályos évnek tekinthető. A modellek eredményei alapján az alábbi paramétereket hasonlítottam össze:

- Interpolált csapadék gridek egységnyi területre vetített alakulása
- Interpolált evapotranspiráció gridek egységnyi területre vetített alakulása
- Interpolált hőmérséklet gridek egységnyi területre vetített alakulása
- Keleti-főcsatorna vízhozama Tiszalöknél
- Keleti-főcsatorna vízállása Tiszalöknél

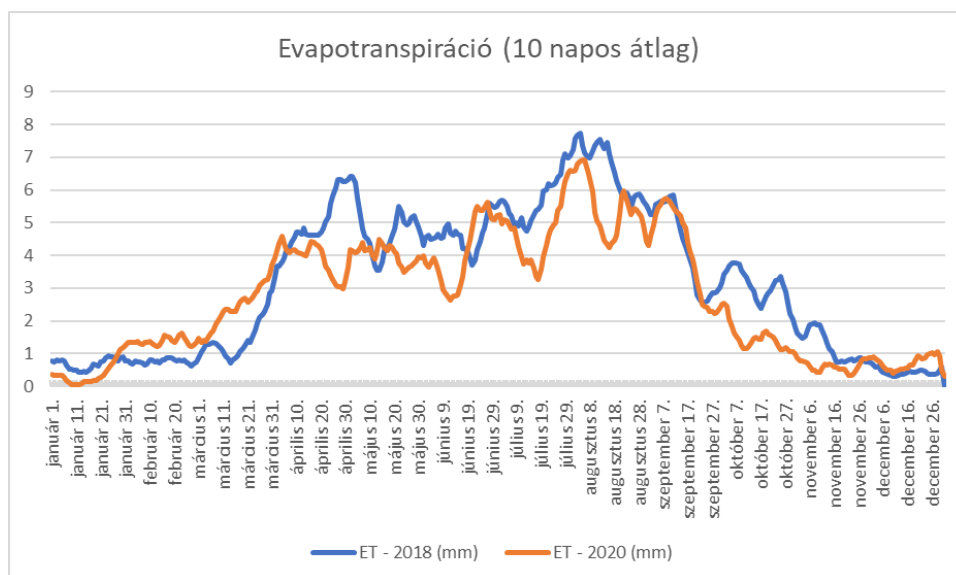
Csapadék



5. ábra: kumulatív csapadék értékek alakulása 10 napos felbontásban a 2018 és a 2020 években

Az 5. ábrán a kumulatív csapadék értékek alakulása látható 10 napos felbontásban, 1 éves időintervallumot vizsgálva. A 2018 év csapadék értékei narancssárga, míg a 2020 év értékei kék színnel vannak megjelenítve és görbékhez tartozó érték mm-ben van kifejezve. A görbék alakulását nyomon követve megállapítható, hogy július 1-től a narancssárga görbe, azaz a 2020 év kumulált csapadék értékei meghaladják a 2018 év értékei. Ez a tendencia a további hónapokat esetében is megfigyelhető. A kumulált csapadékösszeg a vizsgált 2018 évben 392 mm és vizsgált 2020 évben pedig 571 mm volt. A 2020-as évben 179 mm-el több csapadék hullott, mint a 2018-as évben.

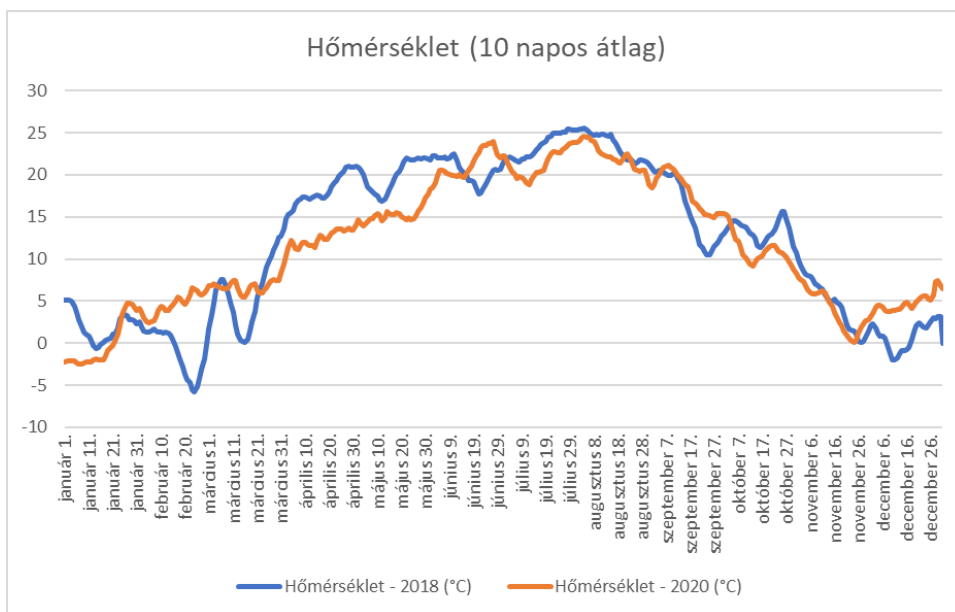
Evapotranspiráció



6. ábra: evapotranspiráció 10 napos átlag értékeinek alakulása a vizsgált 2018 és 2020 években

A 6. ábrán a vizsgált területen történt evapotranspiráció értékek láthatóak egy éves periódusban, mm-ben kifejezve a 2018 és a 2020 évre egyaránt. A kék színű görbe a 2018-as év, míg a narancssárga a 2020-as év evapotranspiráció 10 napos átlag értékeit jelöli. Az ábrán jól látható, hogy április 9-én a 2018 év ET értéke meghaladja a 2020 év értékeit és ez a tendenciát nagyrészt követi egészen november 29-ig. A kumulált evapotranspiráció értéke 2018-ban 1176 mm és 2020-ban pedig 1015 mm volt. A kumulált értékeket összehasonlítva megállapítható, hogy 2018-ban 161 mm-el nagyobb volt az evapotranspiráció, mint a 2020-as évben.

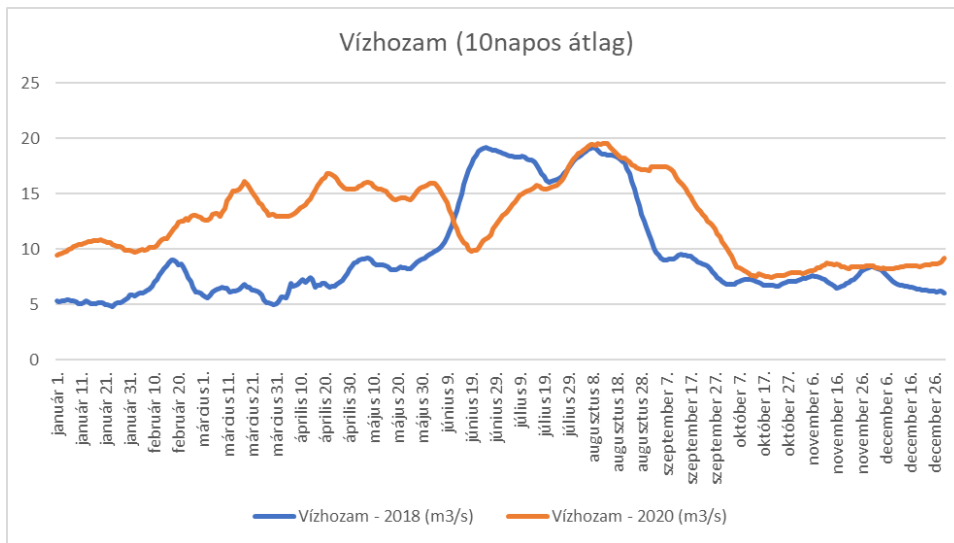
Hőmérséklet



7. ábra: hőmérséklet 13 napos átlag értékei a vizsgált 2018 és a 2020-as évben

A 7. ábrán a 2018 és a 2020-as év hőmérséklet °C-ban kifejezett 10 napos átlag értékei láthatóak egy éves vizsgált periódusban. A kék 2018-as év, míg a narancssárga görbe a 2020-as év hőmérséklet átlag értékeit rajzolja ki. Az ábrán jól észrevehető módon leolvasható, hogy március 25-én a kék görbe, azaz a 2018-as hőmérséklet értéke nagyobb, így a 2020-as értékek felé kerül. Ez a különbség pár időszakos kivételtől eltekintve egészen november 26-ig megfigyelhető. A kumulatív hőmérséklet érték 2018-ban 4514 °C, míg 2020-ban 4263 °C volt. A kumulatív hőmérséklet értékeket összehasonlítva megállapítható, hogy 2018-ban 251 °C hőmérsékletösszeggel nagyobb volt a kumulatív hőmérséklet, mint 2020-ban.

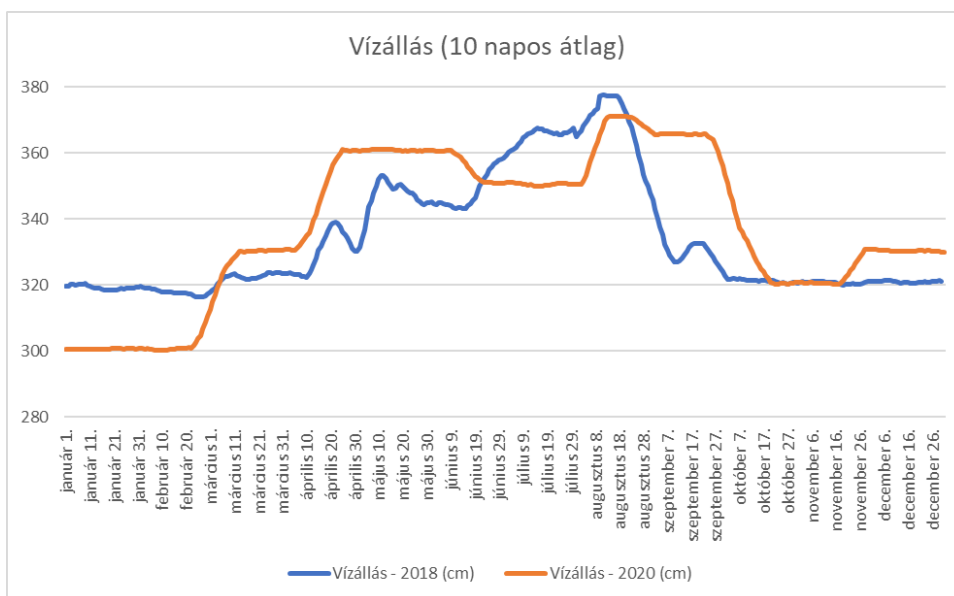
Keleti-főcsatorna vízhozama Tiszalöknél



8. ábra: Keleti-főcsatorna kezdeti szakaszának átlag vízhozam értéke 10 napos felbontásban 2018 és 2020-as vizsgált években

A 8. ábrán a Keleti-főcsatorna kezdeti szakaszának átlag vízhozam értékei figyelhetők meg m^3/s -ban kifejezve, 10 napos felbontásban a 2018 és 2020 vizsgált években. A kék görbe a 2018-as vízhozam értéket, a narancssárga pedig a 2020 vízhozam értékeket jelöli. A 2020-as értékeket követve két szakaszra osztható a narancssárga görbe. Az első szakasz január 1-től június 11-ig, a második szakasz pedig július 28-tól egészen az év végéig terjed. Ebben a két időszakban a 2020-as vízhozam érték nagyobbak voltak, mint a 2018-as értékek. A minimális vízhozam érték 2018-ban $1,84 \text{ m}^3/\text{s}$ és 2020-ban pedig $5,43 \text{ m}^3/\text{s}$ volt. A maximális vízhozam érték 2018-ban $20 \text{ m}^3/\text{s}$, 2020-ban pedig $20,7 \text{ m}^3/\text{s}$ volt.

Keleti-főcsatorna vízállása Tiszalöknél



9. ábra: Keleti-főcsatorna kezdeti szakaszának átlag vízállás értéke 10 napos felbontásban 2018 és 2020-as vizsgált években

A 9. ábrán a Keleti-főcsatorna kezdeti, a Tiszához közeli szakaszának vízállása figyelhető meg. Az értékek 10 napos átlagként vannak megjelenítve egy éves periódust vizsgálva. A kék szín a 2018-as év, a narancssárga szín pedig a 2020-as év értékeit jelöli. A 2020 év értékeit követve két szakaszt tudunk elkülöníteni, március 4-től június 25-ig és augusztus 20-tól egészen az év végéig. Ebben a két időszakban a 2020 vízállás értékei meghaladják a 2018 év értékeit. 2018-ban a vízállás minimum értéke 310 cm, 2020-ban pedig 299 cm volt. A maximális vízállás 2018-ban 379 cm, míg 2020-ban 372 cm volt.

ÖSSZEĞZÉS

A hatékony mezőgazdasági vízgazdálkodás előfeltétele a növényzet vízigényének optimális kielégítése mind aszályos, mind belvizes időszakokban. A Debrecen térségében és a Hajdúsági löszháton a közeljövőben várhatóan megnő a víz iránti igény. Mindazonáltal a folyamatos száradás következtében a csapadék, valamint a Tisza vízhozamának csökkenése egyaránt prognosztizálható. A mezőgazdasági, ipari, valamint lakossági vízigények együttes kielégítése érdekében pontosabban meg kell ismernünk a térség természeti elemei és a víz közötti kapcsolatot.

A környezeti elemek megfigyelésének pontosítása (pl. nagyobb felbontású térképek) ugyanakkor nem jelentik azt, hogy az elemek közötti kapcsolatrendszereket pontosabban fogjuk tudni definiálni a jövőre nézve. Fraktál-természetéből fakadóan a környezetben végbemenő folyamatokat sohasem tudjuk determinisztikus függvénykapcsolatokkal, egzakt módon definiálni, így a felállított modellek sem tökéletesek. A kapcsolatrendszerek valamivel pontosabb meghatározása segíthet ugyanakkor abban, hogy nagyobb valószínűséggel kerüljünk el hibás, visszafordíthatatlan mérnöki beavatkozásokat.

Az mára körvonalazódott, hogy bizonyos mértékű környezeti beavatkozás nélkül a térség már rövidtávon sem fog megfelelő mennyiségű és minőségű vízhez jutni (lásd: debreceni Nagyerdő száradó fáit). A Tisza csökkenő vízhozamai, a CivAqua projekt és a Debrecen környéki vízigényes nagyberuházások egy folyamatosan száradó térségben alsó hangon is igen jelentős környezeti kockázatot rejtenek magukban. A múltbeli nagy volumenű vízügyi beavatkozások tapasztalataiból tanulva (pl. a Duna-Tisza köze árokcsatornái) nem lehet eléggé hangsúlyozni, hogy a szűk látókörű, erőltetett környezeti beavatkozások komoly következményekkel járhatnak a jövő generáció számára. Nemzetközi példák ugyanakkor rámutattak, hogy az átgondolt infrastrukturális beavatkozások és a mesterséges intelligenciával, illetve "Internet of Things" valós idejű vízkormányzással ezeket a kockázatokat a 21. században jelentős mértékben mérsékelni tudjuk.

A jelen dolgozat keretében bemutatott, kezdeti fázisban lévő modell alkalmas arra, hogy valós idejű adatokkal, a vízgazdálkodási objektumokat interaktívan tudjuk vezérelni. A modell

további, a jelen dolgozatban nem ismertetett elemei képesek a városi víz- és szennyvízgyártás automatikus vezérlésére. A Vízgyártási Intézetben folyó mesterséges intelligencia, IOT, öntözés-optimalizációs és szennyvíz-kutatások fúziójával pedig látótávolságba került egy interaktív hidrológiai rendszer prototípusának elkészítése.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatásban felhasznált MIKE szoftverhez a DHI biztosított hallgatói licenst számomra.

A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Aubert, B.A., Schroeder, A., Grimaudo, J. (2012): IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems* 54 (1), 510–520.

Butts, M.B., Payne, J.T., Kristensen, M., & Madsen, H. (2004): An evaluation of the impact of model structure on hydrological modelling uncertainty for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 298:242-266.

Chen, W. B., & Liu, W. C. (2017). Modeling the influence of river cross-section data on a river stage using a two-dimensional/ three-dimensional hydrodynamic model. *Water*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/w9030203>.

DHI (2023) - <https://www.mikepoweredbydhi.com/>

Diez-Herrero, A., Laín-Huerta, L. & Llorente-Isidro, M., (2009). *A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies*. Geological Survey of Spain, Madrid, 190 pp.

FAO, (2018): The 10 elements of agroecology. Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/I9037EN/>

Fehér Zs. (2015): Talajvízkészletek változásának geostatistikai alapú elemzése – a rendelkezésre álló információk természete és feldolgozása. *Hidrol. Közl.* 85 (2): 15–31.

Fehér, Zs., Rakonczai, J. (2019). Analysing the sensitivity of Hungarian landscapes based on climate change induced shallow groundwater fluctuation. *Hungarian Geographical Bulletin*. (68) 4. 355-372. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.68.4.3>

Fiala K., Blanka V., Ladányi Zs., Szilassi P., Benyhe B., Dolin J., Pálfai I. (2014): Drought severity and its effect on agricultural production in the Hungarian-Serbian cross-border area. *Journal of Environmental Geography* 7. 3-4. pp. 43–51.

Graham, D.N., Butts, M.B. (Eds.), (2005). *Flexible Integrated Watershed Modelling With MIKE SHE*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Győri, M.M., Haidu, I. & Humbert, J., (2016). Deriving the floodplain in rural areas for high exceedance Probability Having Limited Data Source. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15, 8, 1879-1887.

Győrffy, Dóra (2023) Iparpolitika és akkumulátorgyártás Magyarországon és Svédországban. *KÖZGAZDASÁGI SZEMLE*, 70 (3). pp. 245-273. ISSN 0023-4346

Hafezparast, M., Araghijanad, S., Fatemi, S.E., Bressers, H. (2013): A conceptual rainfall-runoff model using the auto calibrated NAM models in the Sarisoo River. *Hydrology Current Research*, 4:1-6.

Hanyecz V. (2000): Öntözéses gazdálkodás az Alföldön. In: Pálfai, I. (szerk.) (2000): *A víz szerepe és jelentősége az Alföldön*. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba. 147-153.

Hop Q. T., Fehér Z. Z., Túri N., Rakonczai J. (2022): Climate Change as an Environmental Threat on the Central Plains of the Carpathian Basin Based on Regional Water Balances. *Geographica Pannonica*. Volume 18, Issue 4, 567–599. DOI: 10.5937/gp26-37271

IPCC, 2013: *Climate change (2013): the physical science basis*. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC 2014: Climate Change (2014) Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva, Switzerland, 151 p.

Irimuş, I.A., Rus, M.I., Cioban, T.D., Bilaşco, S., (2015). Quantitative Estimation of Annual Average Rate of Soil Erosion in the Almas Hydrographical Basin, Using USLE and GIS. In: 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Conference Proceedings/Vol.II, Geodesy & Mine Surveying, Cartography & GIS, STEF92 Technology Ltd 51"Alexander Malinov", Sofia, Bulgaria, 1071-1079.

Kemény G., Varga T., Fogarasi J., Nemes A. (2013): The effects of weather risks on micro-regional agricultural insurance premiums in Hungary. – Studies in Agricultural Economics 115. pp. 8–15.

Leandro, J., Chen, A. A., Djordjevic, S., & Savic, D. A. (2009). Comparison of 1D/2D coupled (sewer/surface) hydraulic models for urban flood simulation. Journal of Hydraulic Engineering, 135(6), 495–504.

Orbán, Ernő (2010) A CIVAQUA program jelentősége, megvalósításának feltételei Nagyerdő Konferencia 2010. szeptember 16. <https://slideplayer.hu/slide/2638685/>

Papp, F. & Kertész, P. (1979). Geológia. Budapest: Tankönyvkiadó.

Rakonczai J., Fehér Zs. (2015): A klímaváltozás szerepe az Alföld talajvízkészleteinek időbeli változásaiban. Hidrol. Közl. 95 (1): 1–15.

Refsgaard, J.C., Storm, B., Clausen, T., (2010). Système Hydrologique Européen (SHE): review and perspectives after 30 years development in distributed physically based hydrological modelling. Hydrol. Res. 41, 355–377

Rónai, A. (1963). Az Alföld negyedkori rétegeinek vízföldtani vizsgálata. Hidrológiai Közlöny, 43(5), 378–390.

Rónai, A. (1975). A talajvíz és rétegvizek kapcsolata az Alföldön. Hidrológiai Közlöny, 55(2), 49–53.

Rónai, A. (1985). Az Alföld negyedidőszaki földtana. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.

Sasvári P. (2020). Rendszerelmélet. Dialóg Campus Budapest. doi: 10.36250/00734.00

Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D., Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: a review of methods, recent advances and uncertainty analysis. Environmental Modelling and Software, 90, 201–216.

Van Leeuwen, B., Tobak Z., Kovács F. (2020): Sentinel-1 and -2 Based near Real Time Inland Excess Water Mapping for Optimized Water Management. Sustainability 2020, 12, 2854; doi:10.3390/su12072854

Várallyay Gy. (2000): Magyarország talajviszonyai a folyószabályozások előtt. In: Somogyi, S. (szerk.) (2000): A XIX. századi folyószabályozások és ármentesítések földrajzi és ökológiai hatásai. MTA Földrajztudományi Intézet, Budapest. 109-124.

Waheed, T., Bonnell, R.B., Prasher, S.O., Paulet, E. (2006): Measuring performance in precision agriculture: CART—A decision tree approach. Agriculture Water Management 84, 173–185.