



MISKOLCI EGYETEM
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
Doktori Iskola vezetője:
Prof. Dr. Dobróka Mihály
egyetemi tanár

FOLYÓ ÉS TALAJVÍZ KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:

Kolencsikné Tóth Andrea
okl. környezetmérnök

TUDOMÁNYOS TÉMAVEZETŐ:

Prof. Dr. Szűcs Péter
egyetemi tanár

TÁRSTÉMAVEZETŐ:

Dr. Kovács Balázs
címzetes egyetemi docens

Környezetgazdálkodási Intézet
Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék
Miskolc, 2017.

BEVEZETÉS

A folyók megcsapolhatják és táplálhatják a velük kapcsolatban álló talajvízadókat, és a kapcsolat erősségétől függő mértékben határozzák meg az ott lezajló vízáramlási folyamatokat is. A folyó vízállásának változása miatt a talajvízadóban a potenciálszint is folyamatosan változik egy sajátos, dinamikus rendszert képezve. A folyó hidraulikai hatása összetett, nemcsak a vízkivétel, és vízátadás miatti keskeny partmenti zónát érinti, hanem a felszín alatti vízáramlás sebességét, ebből adódóan az áramlás gradiensét és irányát is befolyásolja a folyótól akár nagy távolsáig. A vízfolyások medre hazai viszonyok között többé-kevésbé bevágódik a talajvíztartó rétegbe [Rózsa 2000], teljes harántolás ritkán fordul elő [Léczfalvy 2004]. A hidraulikai kapcsolat jellemzően fennáll a folyó és a felszín alatti víz között. Folyóink természetes állapotukban az év nagy részében a talajvíz megcsapolói, nagyvizes időszakok alatt azonban a felszíni víz betáplál a vízadó rétegbe.

A folyó hidraulikai hatásainak, a hatástávolságoknak és vízadóval való kapcsolatának részletes vizsgálata mérések elvégzésével, feldolgozásával, és az ezeken alapuló numerikus modellezésekkel segíti a parti szűrésű vízbázisaink, és a folyóval kapcsolatban álló felszín alatti vízkészleteink védelmét. Magyarországon a lakosság 40%-ának napi vízigényét fedezik parti szűrésű vízbázisokból, amelyekből a legtöbb a Duna mentén található [Léczfalvy 2004]. Távlati ivóvízbázisainknak 75%-a parti szűrésű, vagyis a jövőbeli vízkészlet-gazdálkodásban is nagy szerepet játszanak. A felszíni és felszín alatti vizek kontaktzónájában bekövetkező szennyeződésterjedési folyamatok megértéséhez is szükséges az ott zajló hidrodinamikai folyamatok jobb ismerete. Iparterületeink nagy hányada található ugyanis felszíni víztest közelében, ahol a felszín alatti víz potenciális, vagy meglévő szennyezése felszíni vízzel kapcsolatba léphet.

A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

Hazánkban a folyóvíz-talajvíz kapcsolatára irányuló kutatások nagy része szorosan kötődik a parti szűrésű vízbázisokhoz. Ezen kutatások során olyan kérdéseket vizsgáltak, hogy a kitermelt vízben mekkora a felszíni folyóvíz eredetű víz és a háttérvíz részaránya, hogyan alakul a termelt víz minősége, távlati vízbázisok megvalósításakor a kijelölt szakaszok alkalmasak-e parti szűrésű vízbeszerzésre, milyenek a depressziós terek és az áramlási viszonyok. Ehhez mederfúrásokat [Kontur 1988], később sekélyszeizmikus geofizikai méréseket, mederbeszívárgási vizsgálatokat [Rózsa A., 2000], kísérleti telepeken végzett próbaszivattyúzásokat [Völgyesi 1992], nyomjelzéses vizsgálatokat [Kármán et al. 2013, Deák et al. 1992, Kármán–Deák, 2012] végeztek. Emellett a témában olyan kisebb volumenű, szórványos vizsgálatok történtek, amelyek zömmel statisztikai eszközöket alkalmaznak a folyó-talajvíz kapcsolat feltárására [Csoma –Gálos 2009, Csoma et al. 2012, Fejes I. 2014, Molnár - Hajdú 2003]. Továbbá hidrológiai kutatások foglalkoznak érintőlegesen a talajvízzel való kapcsolattal [Bezdán M. 2011].

Összességében a kutatások jellemzően egy időpontra, vagy csak egy szűk időszakra vonatkoznak, és érvényesek. Ritkán tükrözik a rendszer időbeli változását. Szűk területet vizsgálnak, jellemzően a folyóparton. Nem értelmeznek különböző hidraulikai hatásokat, és a hatások távolságát. Nincs információ a talajvízáramlás sebességviszonyainak tér-és időbeli válto-

zásáról. A modellezési gyakorlatban a permanens közelítés az elfogadott és használt, amellyel nem veszik figyelembe a vízáramlási rendszer változásait, vagy csak a rendszer jellemző állapotait ragadják ki (átlagos, kisvizes, nagyvizes állapot).

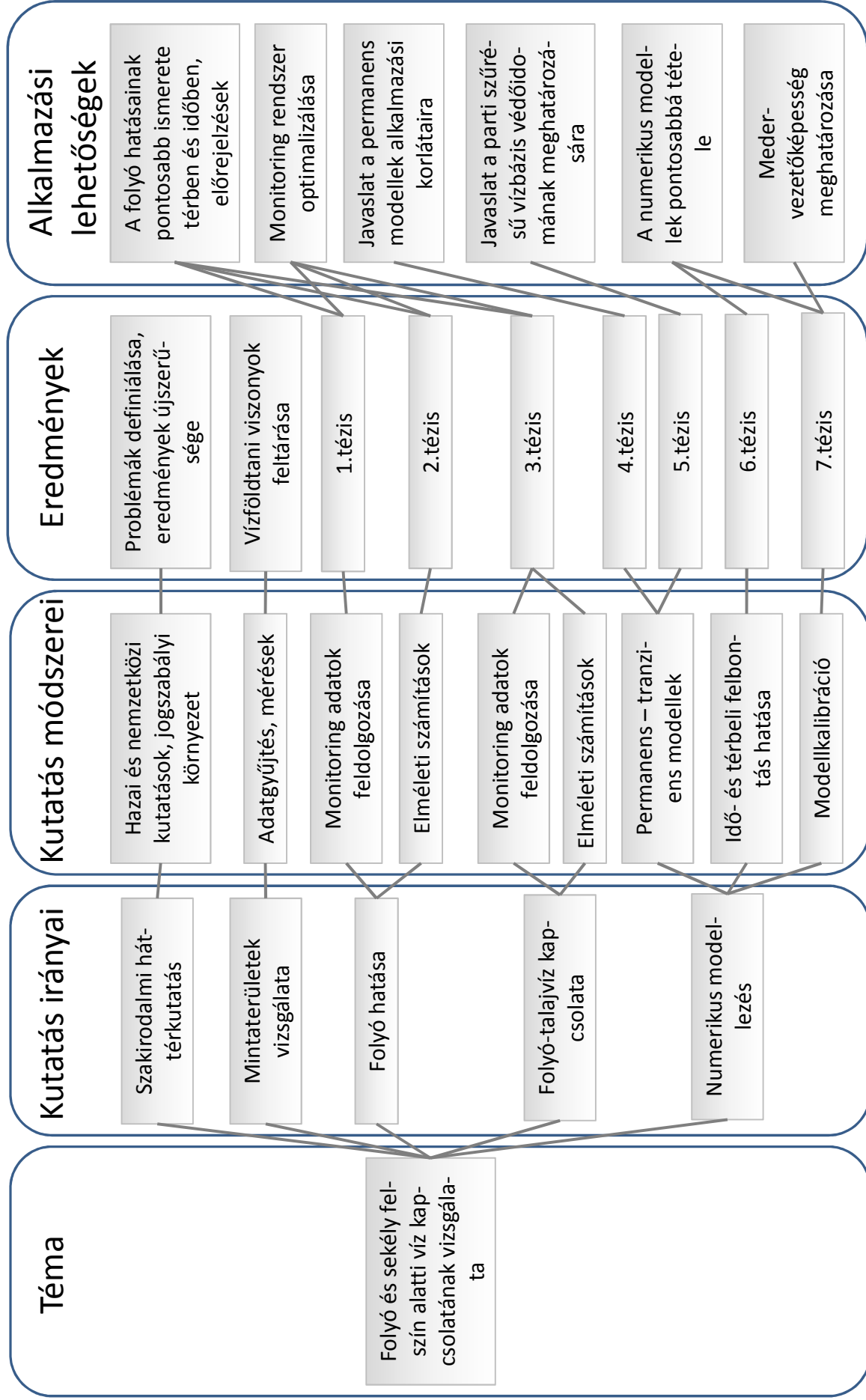
CÉLKITŰZÉSEK. PROBLÉMAFELVETÉS

A tudományos értekezéssel egyik célkitűzésem annak vizsgálata, hogy a folyó-felszín alatti víz kölcsönhatásának dinamikus változása milyen hatással van a talajvíz áramlási viszonyokra. A folyó hidraulikai hatásának megállapítása a vele kapcsolatban álló felszín alatti vízre leggyakrabban egy közelítő távolság meghatározására korlátozódik, ameddig a folyó „hatással van” a talajvízre. Hatás alatt általában a talajvízszint változását értik. Nincs pontosan definiálva, hogy milyen hatásról van szó, ez változhat-e időben, és hogyan. A kutatásaim során ezért részletesen vizsgáltam a folyó hidraulikai hatásait a felszín alatti víz áramlási viszonyaira, olyan kérdésekre keresve választ, hogy pl. hogyan definiálható pontosan a folyó hidraulikai hatása, a hatástávolság, és ezek időben hogyan változnak.

További célom volt a folyó-talajvízszint közötti kapcsolat részletes vizsgálata, mivel az eredmények azt mutatták, hogy a két változó közötti lineáris kapcsolat nem mindig áll fenn, a kapcsolat időben változik. A kutatások során arra kerestem választ, hogy a kapcsolat jellege a folyó és talajvízszint között hogyan változik időben, a folyó árhullámai során, és hogyan változik a folyótól mérhető távolsággal.

Fontos kutatási feladatombnak tartottam a folyó hatásai és a folyó-talajvízszint kapcsolatáról nyert ismereteknek a felhasználását a vízáradó rendszer numerikus modellezésében, javítva a modellek reprezentativitását. Különösen a modellezési gyakorlatban megszokott permanens modellezés problémáira, korlátaira kezdtem el elsőként fókuszálni. Megvizsgáltam a parti szűrésű vízbázisok védőidomában adódó különbséget permanens és tranziens vízáramlási helyzet feltételezése között. A kezdetben kisebb, majd nagyobb időbeli felbontású tranziens modelleket alkalmazva újabb nehézségekbe ütköztem, amelyekre nem találtam kielégítő megoldásokat. Így további kutatási irányként megvizsgáltam a tranziens modell időbeli felbontásának hatását a modell pontosságára, valamint új eszközöket teszteltem a modellkalibrálás hatékonyabbá tételéhez.

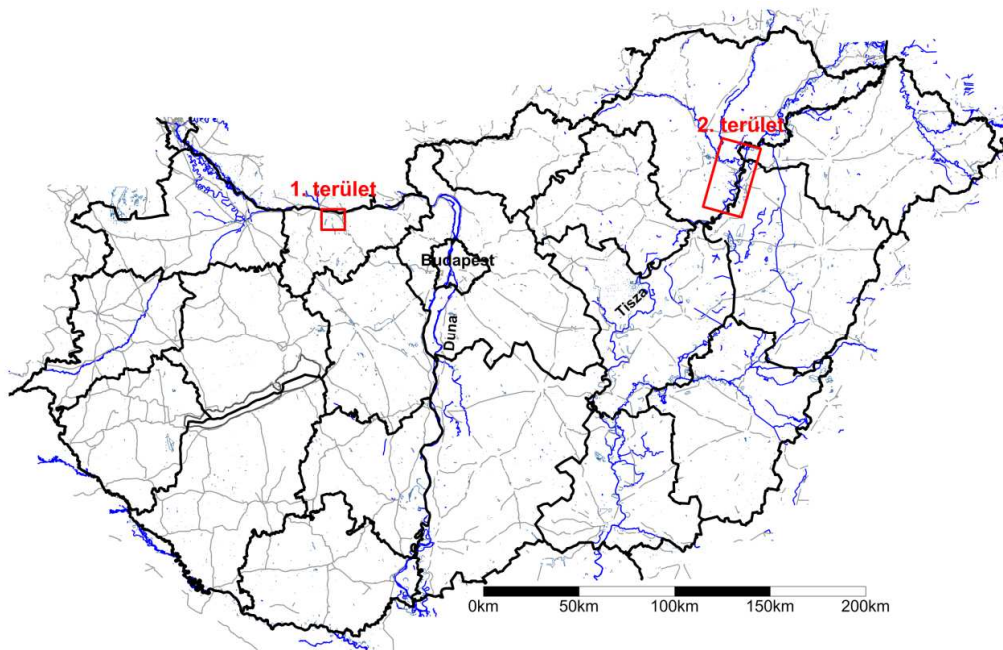
A kutatás módszertanának áttekintését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A kutatás módszertana

VIZSGÁLT TERÜLETEK, MÓDSZERTAN

A vizsgált területek elhelyezkedését a 2. ábrán mutatom be. Az egyik terület a Duna Komárom - Neszmély közötti szakaszán, a part mentén helyezkedik el, déli irányban a folyótól kb. 7 km-es távolsáig. A további területek a Tisza-folyó mentén, annak Tiszadob és Ároktő között húzódó szakaszán, elsősorban annak jobb partján helyezkednek el. Kiindulásként a területekről rendelkezésre álló földtani és vízföldtani információk összegyűjtése, háttérkutatás történt. A disszertációban felhasznált adatok webes és nyomtatott adatbázisokból, valamint projekt adatbázisból származnak [K.Tóth et al. 2015, K.Tóth-Madarász 2014].



2. ábra: A vizsgált területek elhelyezkedése

Vizsgálataimat monitoring adatok feldolgozásával kezdtem, hiszen magát a problémafelvetést is a kutatási területek vízszint- (és egyéb) észleléseiből származó megfigyeléseim generálták, és következtetéseket elsőként mért adatokból kívántam levonni. Az adatok feldolgozása alatt értem az egyszerű grafikus ábrázolásokat, a leíró statisztikai számításokat, krigelést és interpolációkat, korrelációs és regressziós számításokat, és egyéb az adatrendszer kezeléséhez, szűréséhez stb. tartozó tevékenységeket. Mért adatokból csak olyan pontossággal tudtam a folyó-talajvíz kapcsolatot, a folyó hatásait meghatározni, amilyen sűrűségű figyelőkút hálózat rendelkezésre állt. Ezért térben és időben a rendelkezésre álló adatoknál sűrűbb információt numerikus számításokkal nyertem, amelyekkel vizsgálhattam a folyóhatások tér- és időbeli változását.

Numerikus számításokat két megközelítésben is alkalmaztam. Az első esetben olyan „sematikus” modelleket építettem fel, amelyek nem köthetők konkrét területhez. A folyó hatását vizsgáltam velük a felszín alatti vízáramlásra különböző paraméter-együttesek, scenáriók, tér- és időbeli felbontások mellett. A másik esetben a bemutatott vizsgálati területek kalibrált numerikus modelljeit alkalmaztam, és azok segítségével végeztem célirányos vizsgálatokat.

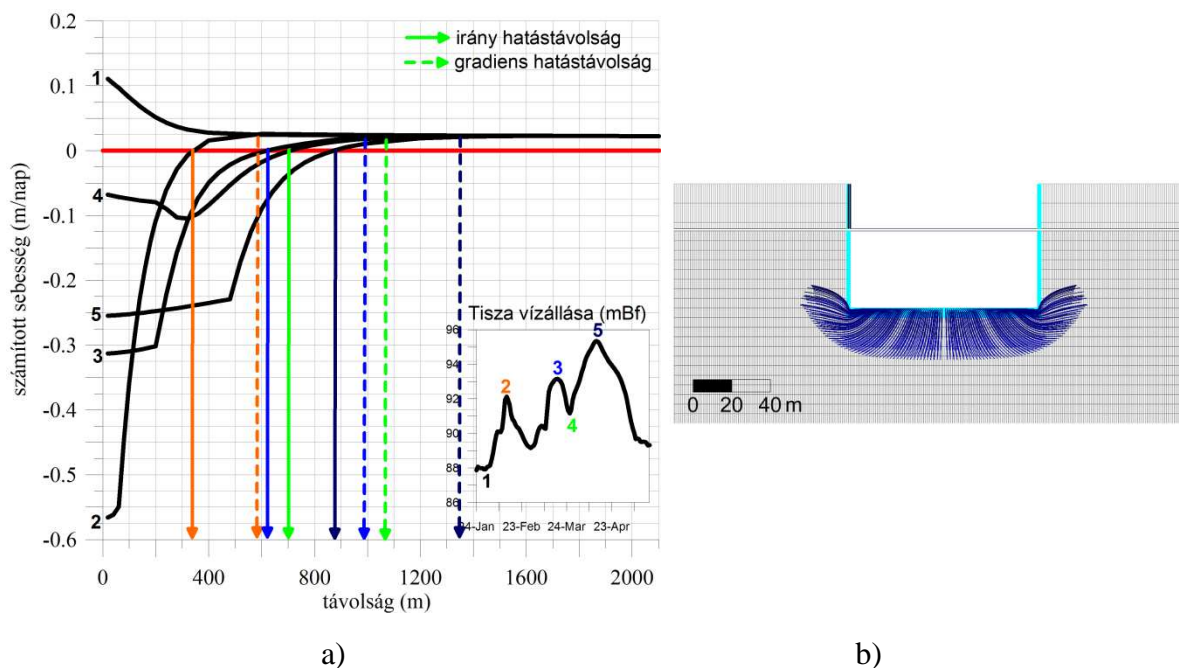
TÉZISEK

1. tézis

A folyó talajvízáramlásra gyakorolt hatásait, és a hatások távolságát mért és számított adatokon vizsgáltam. **A hatások alapján hidraulikailag három hatástávolságot definiáltam:**

- az a távolság ameddig a folyó hatással van a vízáramlási sebességre, és ebből fakadóan a potenciálszintre; ezt **gradiens - hatástávolságnak** neveztem el,
- az a távolság ameddig a folyó emelkedő vízállása miatt a vízáramlási sebesség előjelet vált, megfordul az áramlás, a folyó felől mutat a vízadó irányába; ezt **irány-hatástávolságnak** neveztem el,
- és végül az a távolság ameddig a folyó emelkedő vízállása alatt a mederből a vízadóba lépő vízrészecske eljut; ezt **tározási távolságnak** neveztem el.

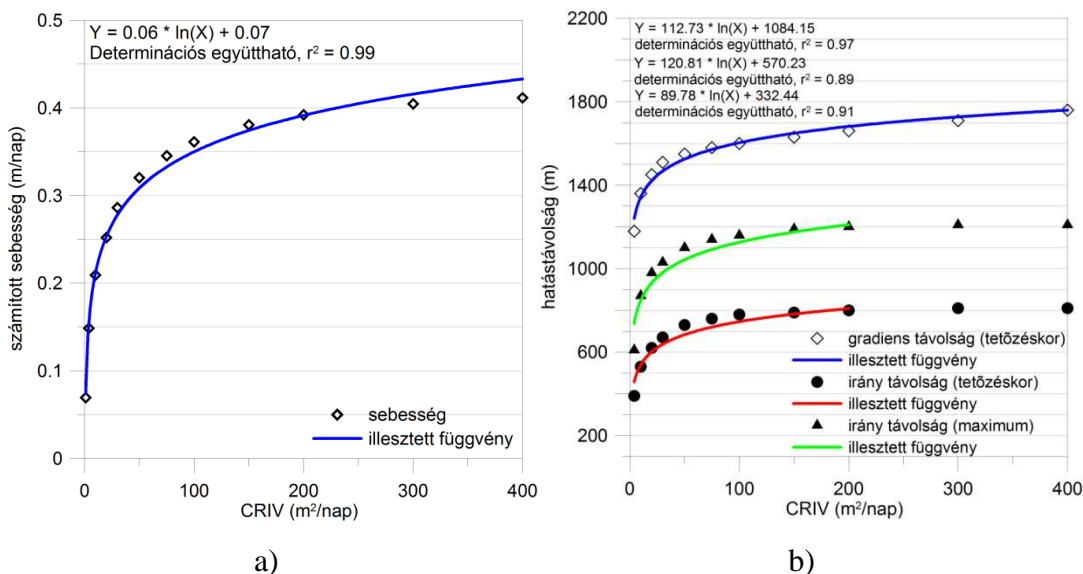
A definiált hatástávolságokra megállapítottam, hogy azok minden időpillanatban a folyótól egyre nagyobb távolságok a következő sorrendben: tározási-, irány-, gradiens távolság.



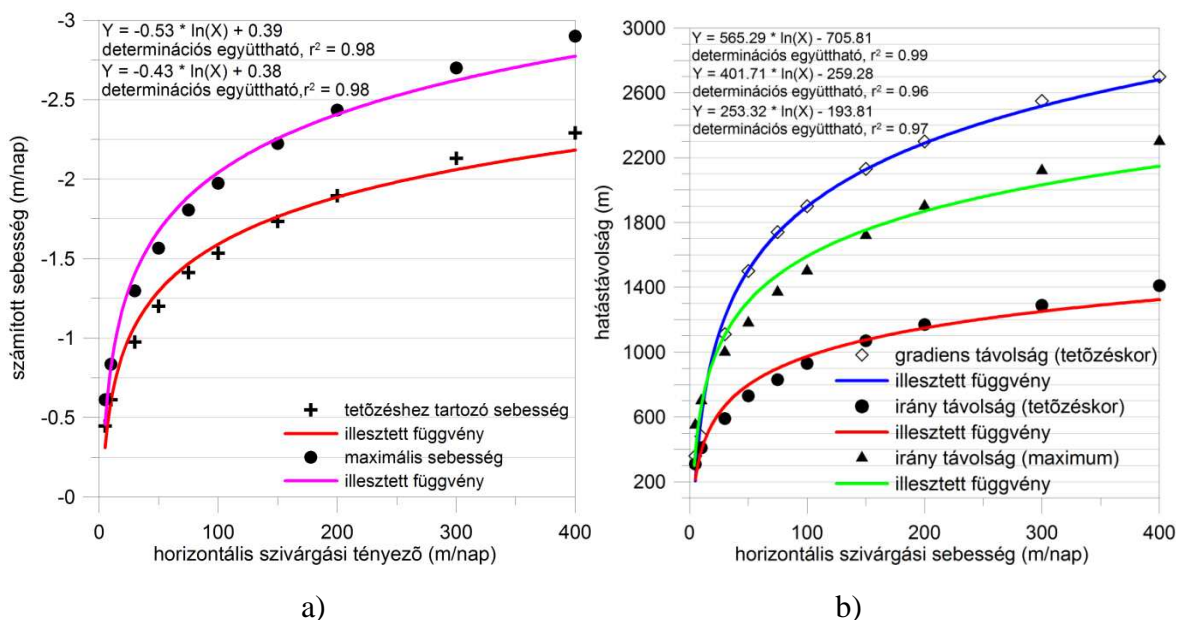
3. ábra. a) egy Tisza árhullám során számított áramlási sebességek a hatástávolságok feltűnésével, b) vízrészecskék pályája az árhullám alatt

2. tézis

Numerikus nagy időbeli felbontású számításokkal vizsgáltam az időben és térben változó talajvíz-áramlási sebességvektor-teret. Megállapítottam, hogy a különböző folyó-vízálláshoz tartozó, a folyótól különböző távolságokban kialakuló sebességek abszolút értékei, valamint az irány- és gradiens hatástávolságok a meder-vezetőképesség és a szivárgási tényező növelésével logaritmikus függvény szerint nőnek. A meder-vezetőképesség növelésével ez a függés megszűnik, amikor elérjük a folyó-vízadó közötti ellenállásmentes állapothoz tartozó maximális sebességet.



4. ábra. a) az árhullám kezdetéhez tartozó áramlási sebesség, b) és a gradiens - és irány - hatástávolságok a meder-vezetőképesség függvényében



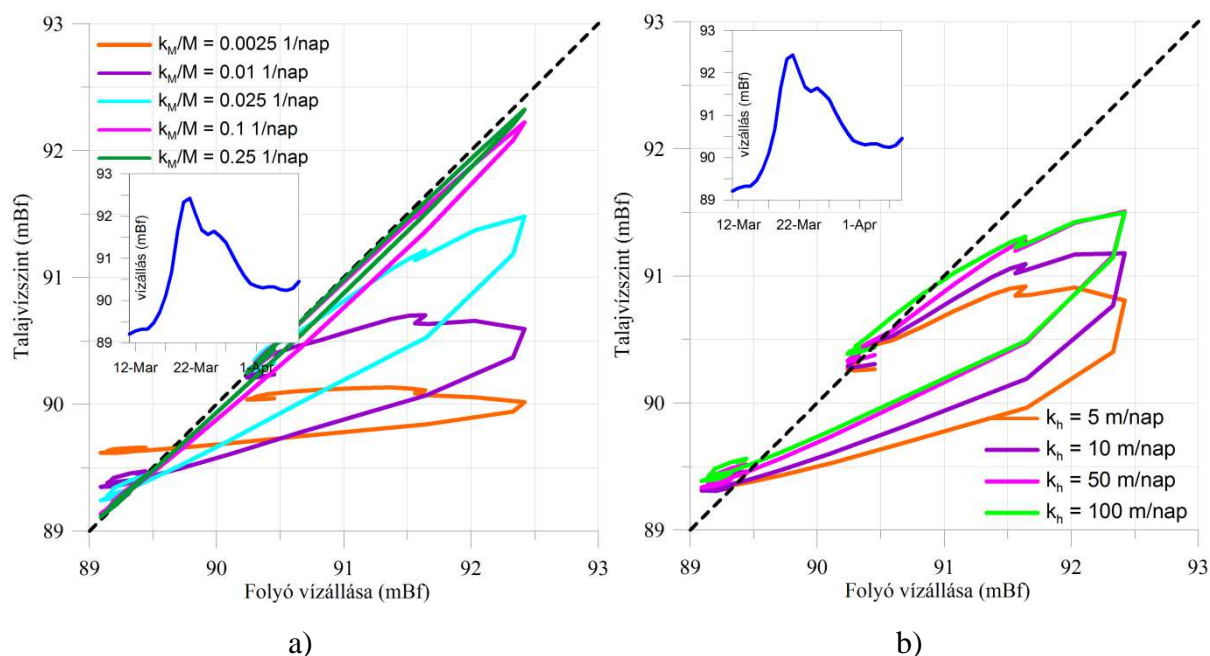
5. ábra. a) az árhullám tetőzéséhez tartozó és a kialakuló legnagyobb áramlási sebesség, b) és a gradiens - és irány - hatástávolságok a horizontális szivárgási tényező függvényében

3. tézis

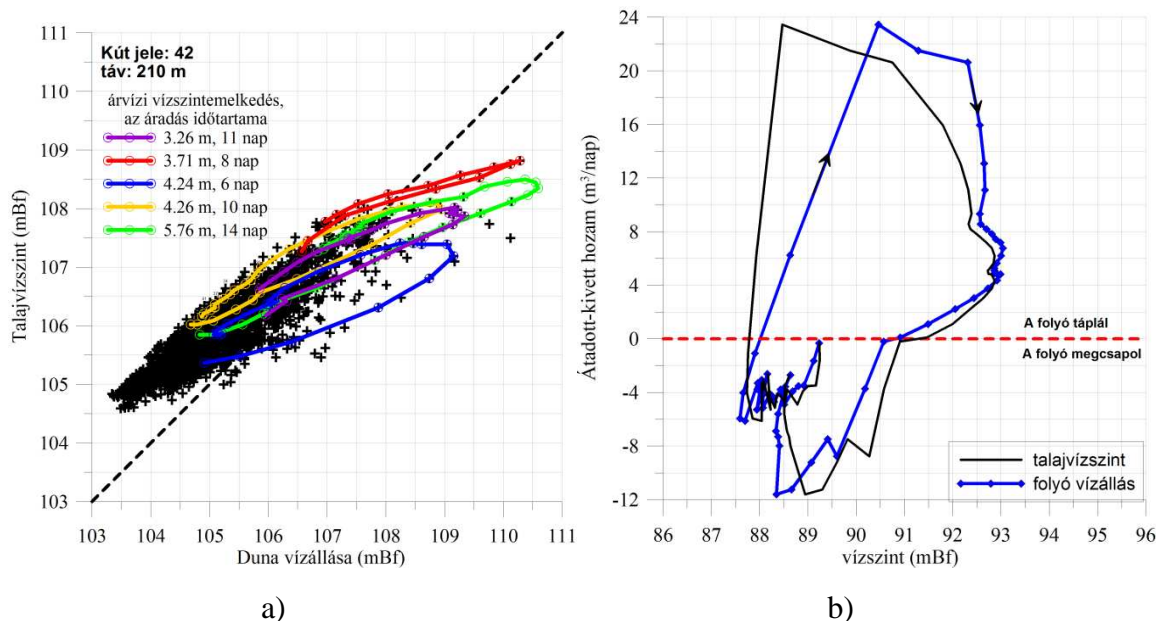
A folyó- és talajvízszint napi kapcsolatában kialakuló hiszterézis jellegét mért és számított adatokon vizsgáltam, és megállapítottam, hogy:

- (1) az áradó és apadó ág meredeksége csökken, míg a hiszterézis szélessége nő a meder-vezetőképesség csökkenésével. Ez azt jelenti, hogy egy adott árhullámhoz kisebb talajvízszint-emelkedés és nagyobb késleltetés tartozik. Az érzékenység a meder-vezetőképességre a folyótól távolodva és a szivárgási tényező csökkenésével csökken.
- (2) az áradó és apadó ág meredeksége és a hiszterézis szélessége a szivárgási tényezővel a folyótól mért távolságtól és a meder-vezetőképességtől függően változik. A folyóhoz közel a szivárgási tényező növekedésével csökken a meredekség és nő a szélesség, míg a folyótól távolabb nő a meredekség és csökken a szélesség.
- (3) a hiszterézisgörbe emelkedő és csökkenő ágának meredeksége nem feltétlenül azonos, ami azt jelzi, hogy a talajvízadó leürülési és feltöltődési folyamata nem egyforma ütemben zajlik.
- (4) a hiszterézisgörbék áradó ágának meredeksége nagy árhullámokra azonos, azaz az áradó ágon a folyó- és talajvízszint közötti lineáris kapcsolat meredekségét az árhullám tulajdonságai nem befolyásolják.

Kimutattam továbbá, hogy a folyó vízállása, vagy a talajvízszint és a hozam között is hiszterézis tapasztalható, azaz egy árhullám során a folyóból a vízadóba átadódó hozam hamarabb tetőzik, mint a folyó- vagy a talajvízszint.



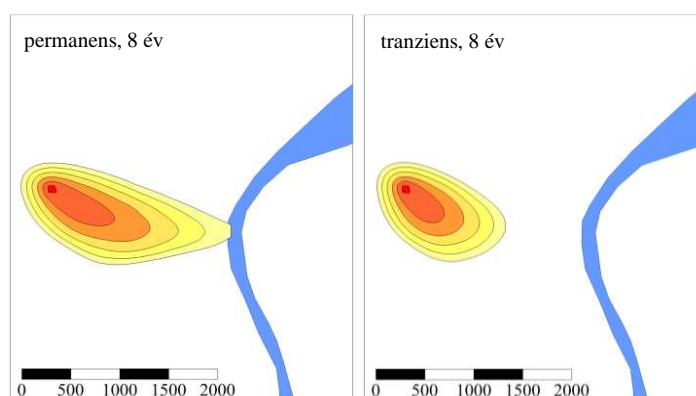
6. ábra. számított hurokgörbék egy árhullámra a) különböző meder átszivárgási tényezők b) és vízadó szivárgási tényezők esetén



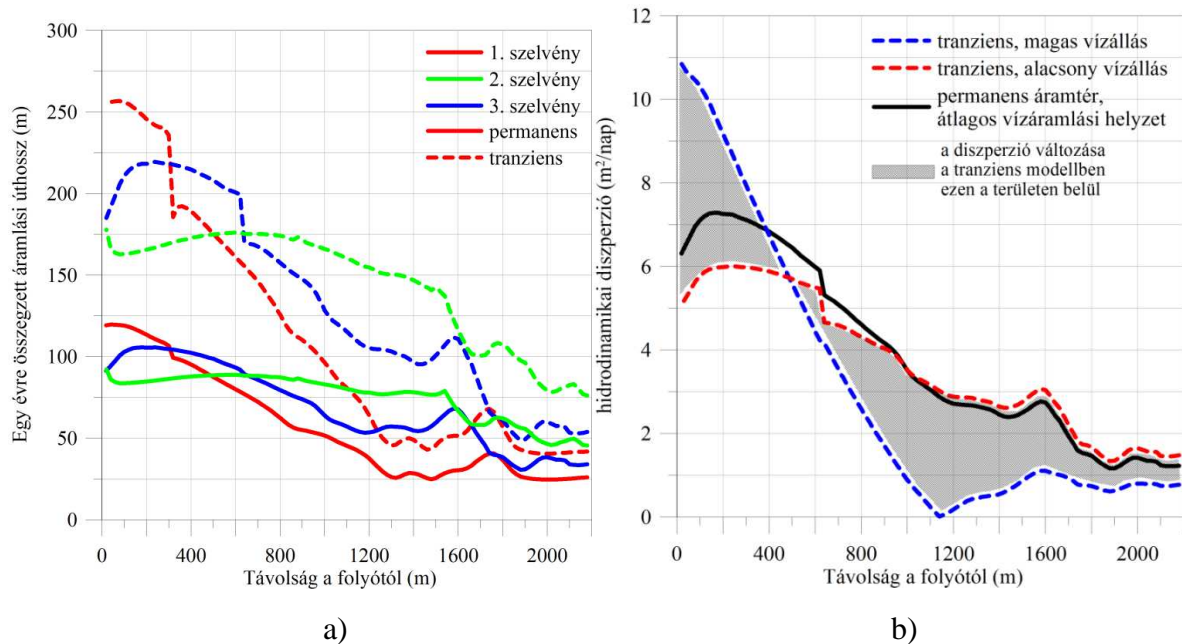
7. ábra: a) egy kútban kimutatható hiszterézisek különböző árhullámok esetén b) kapcsolat a talajvízszint és az átadott-kivett hozam között egy árhullám alatt

4. tézis

Összehasonlítottam több, folyóval befolyásolt felszín alatti vízáramlási rendszer permanens és tranziens numerikus modelljét és **megállapítottam, hogy a vízrészecskék által megtett terjedési útvonal, az árampályák eredő hossza, és eredő iránya is különbözik permanens és tranziens áramtérben, és ez a különbség a folyóhoz közeledve és a szimulációs idő növekedésével nő. Mindebből adódóan különböznek a permanens és tranziens modellel számított vízkivételek befogási zónái, a szennyezőanyag szóródását okozó hidrodinamikai disperzió, és az oldott szennyezőanyag csóvák terjedési iránya, üteme, térbeli kiterjedése és koncentrációi. Permanens hidrodinamikai modell és egy azon alapuló transzportmodell a folyó irány-hatástávolságán belül a folyóhoz közeledve egyre kisebb pontossággal képes a jelenségek leírására.**



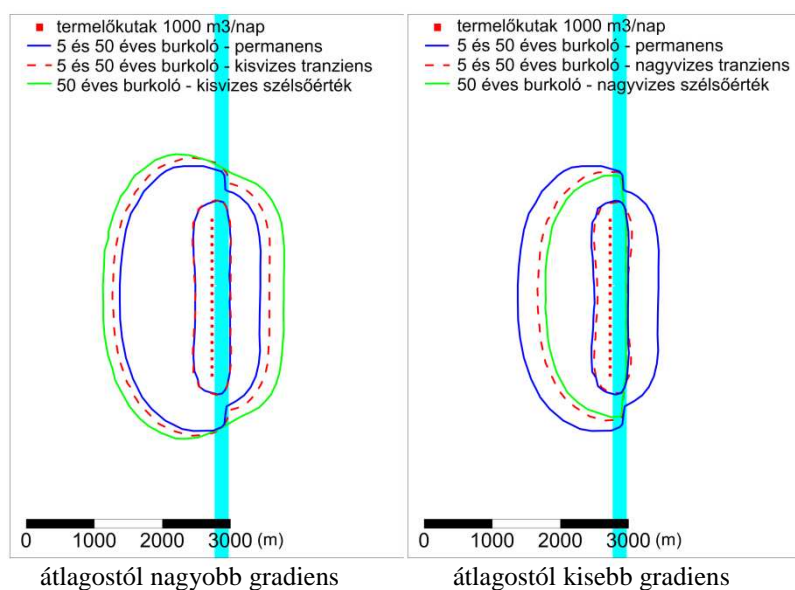
8. ábra: permanens és tranziens áramtérben (advekciónal) mozgó fiktív oldott szennyezőcsóvák kiterjedése 8 év után



9. ábra: a) az összegzett árampályák hossza b) és a diszperzió változása tranzien és permanens áramtérben

5. tézis

Megvizsgáltam fiktív parti szűrésű vízbázis védőidomát permanens és tranzien áramtérben több meder-vezetőképesség feltételezése mellett. **Megállapítottam, hogy partiszűrésű vízbázis tranzien védőidoma nem azonos a permanens védőidommal, alakjuk és kiterjedésük különbözik. Bizonyítottam, hogy ez a különbség attól függ, hogy a permanens védőidom kijelöléséhez alkalmazott vízáramlási helyzethez képest milyen vízáramlási helyzetek milyen arányú fennállását tételezzük fel a szimulált 50 év alatt. Megállapítottam továbbá, hogy a különbség a permanens és tranzien védőidom között a szimulációs idő előre haladtával, és a meder-vezetőképesség növelésével nő.**



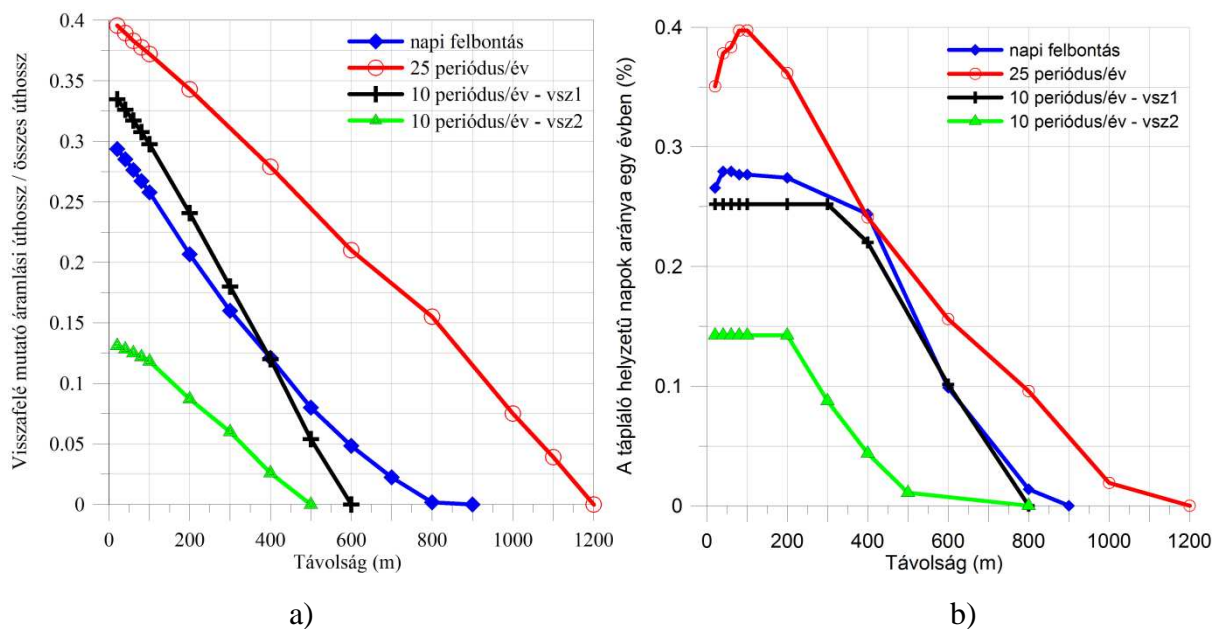
10. ábra: permanens és tranzien modellel kapott 5 és 50 éves elérési időhöz tartozó áramvonalak burkológörbéi

Másképpen fogalmazva a tranziens védőidom alakja, kiterjedése függ attól, hogy a folyó víz-állása hogyan fog változni az elkövetkezendő 50 év alatt, amelyre a védőidomot kijelöljük. Amennyiben a vízáramlási helyzetet állandóan megcsapolónak tételezzük fel, és az áramlási gradiens nagyobb, mint az átlagos gradiens, akkor a tranziens védőidom kiterjedése nagyobb-nak adódik, mint permanens esetben. Míg ha az áramlási helyzet állandóan tápláló, vagy megcsapoló, de az áramlási gradiens kisebb, mint az átlagos áramlási helyzetben, a tranziens védőidom kiterjedése kisebb lesz.

6. tézis

Különböző időbeli felbontású tranziens modellszámításokkal vizsgáltam a modell időbeli felbontásának hatását, és **megállapítottam, hogy a modell időbeli felbontása, valamint folyó csomag esetén a periódusokban alkalmazott folyó vízszintek jelentősen befolyásolják a modellnek azt a képességét, hogy időben és térben milyen pontosan tudja szimulálni a felszín alatti vízmozgás dinamikáját. A folyó vízállás emelkedésekor a folyótól a vízáadó irányába megtett áramlási úthosszakat, valamint a fordított áramlási helyzet fennállásának időtartamát alul-, vagy túlbecsülhetjük.**

A folyóhatás alul-vagy túlbecsülésének oka a folyó modellbeli és valóságos vízjárása közötti különbségekben keresendő, hiszen durvább felbontás esetén a pár napos nagy vízállások összevonásra kerülnek a hosszabb ideig tartó kisvízű időszakokkal, ami a valóságnál sokkal hosszabb, tartós kisvízes időszakokat eredményezhet, ugyanakkor például túl nagy folyó víz-állások feltételezése hosszabb ideig éppen ellenkező hatást okoz.



11. ábra: az időbeli felbontás hatása a vízrészecskék mozgására: a) a folyótól a vízáadó felé mutató áramlási úthossz aránya az összes úthosszhoz, b) a megfordult áramlási helyzetben megtett napok száma

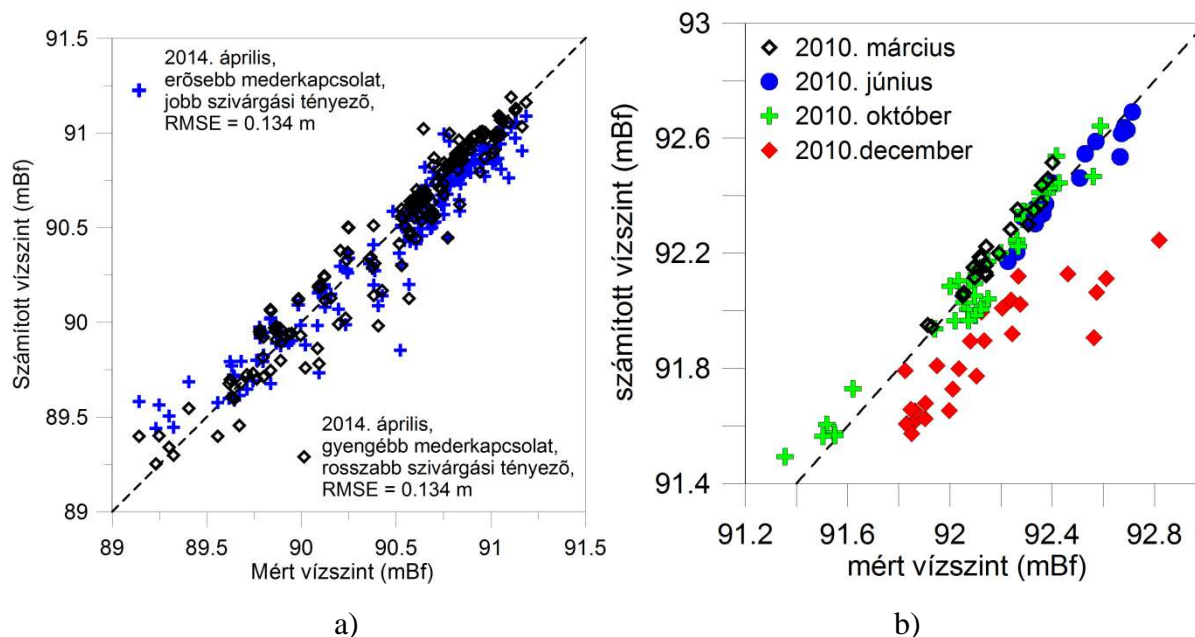
7. tézis

A folyóval befolyásolt felszín alatti vízáramlási rendszer numerikus permanens és tranziens modelljének kalibrációja során az elterjedten alkalmazott kalibrációs eszközök hatékonyságát vizsgáltam.

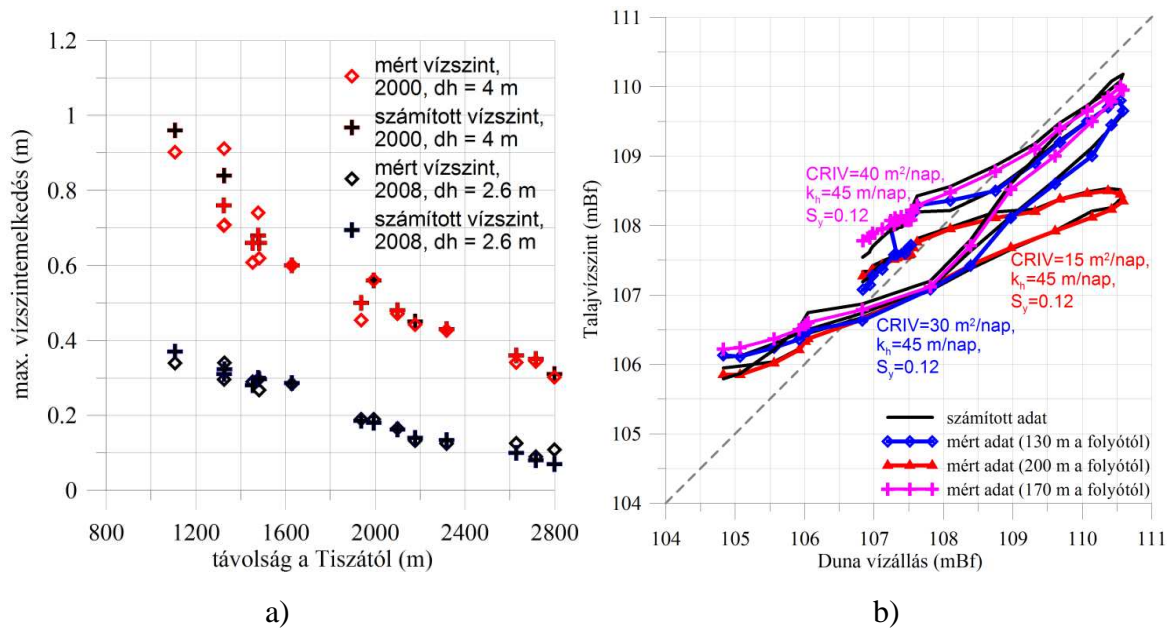
Megállapítottam, hogy az egyidejű mért- és számított vízszintek illesztési hibájának a minimalizálása akkor nem elfogadható kalibrációs eszköz, ha a szimulált időszakon belül csak egy időpontra, vagy több, de hasonló vízáramlási helyzetű időpontokra végezzük el az illesztést, mivel az így kapott paraméterekkel a modell nem feltétlenül közelíti legkisebb hibával a mért vízszint-változást a teljes szimulált időszakra.

Bizonyítottam, hogy a tranziens modell kalibrálását a folyó vízállás-változásához igazítva kell elvégezni, a modell kalibrálásához felhasznált időszak feltétlenül kell, hogy tartalmazzon legalább egy olyan időszakot, amikor a folyó megcsapoló helyzete tápláló helyzetűre vált.

A folyó tápláló helyzetében két új kalibrációs módszert vezettem be, amelyek hatékonyan alkalmazhatóak a megfelelő modellparaméterek megtalálásában: (1) az árhullám során kialakuló legnagyobb mért és számított vízszintemelkedések illesztése a folyóra merőleges szelvény(ek) mentén (2) a folyó- és talajvízszint között árhullámok során kialakuló mért és számított hiszterézisek illesztése.



12. ábra: a) tranziens modellel egy időpontra, két paraméteregyüttesel kapott ugyanakkora illesztési hiba b) három kisvizes időpontra elfogadható illeszkedés, a negyedik áradó időpontra nem jó illeszkedés



13. ábra: a) illesztett mért és számított maximális vízszint-emelkedések két árhullám alatt, b) három kút 2006-os árhullámra mért és a tranziens modellel számított hurokgörbéjének végleges illesztése az elfogadott paraméterekkel

AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

A doktori témán belül igyekeztem olyan kérdésekre keresni a választ, olyan problémákat felvetni, amelyek gyakorlatorientáltak. Emellett sok vizsgált kérdéskört a gyakorlatból hozott feladat generált. Közvetlen gyakorlati alkalmazási lehetőségei elsősorban azoknak az eredményeknek van, amelyek a folyóparti területek numerikus modellezésének témakörében születtek.

A kutatásaim kimutatták, hogy egy permanens hidrodinamikai modell, és egy azon alapuló transzportmodell nem, vagy csak korlátozottan alkalmas egyes jelenségek megfelelő pontosságú leírására. Hiszen ekkor feltételezzük az állandó irányú és gradiensű folyó felé történő vízáramlást. Mindezekből adódóan a **permanens modell alkalmazási korlátaira vonatkozóan az alábbi észrevételeket tettem:**

- Egy átlagos vízáramlási viszonyokra kalibrált permanens modellel a folyó hidraulikai távolhatásai túlbecsültek a valóságos helyzethez képest, ezért **egy paraméter-együttessel felruházott permanens modell nem alkalmas bármilyen folyó vízállás generálta vízáramlási viszonyok szimulálására.**
- Mentésítő-, szennyezésterjedést gátló kútsor megtervezésénél **a kutak egymástól való távolságának, és hozamának az optimalizálását befolyásolja, hogy permanens vagy tranziens áramteret alkalmazunk.** Hiszen a kutak befogási zónái még különböző folyó vízálláshoz tartozó permanens áramtérben is különbözhetnek, de egészen más képet mutatnak tranziens áramtérben. **Permanens modellel szimulált vízkivétel befogási zónája nem reprezentálja, hogy a folyamatosan változó vízáramlási irányok miatt a vízkivételi**

mű több irányból képes a vízrészecskék befogására. A folyóhoz közeledve a kutak folyóból érkező utánpótlása is eltér permanens és tranziens esetben.

- Egy átlagos vízáramlási viszonyokra kalibrált **permanens modellel a felszín alatti vízben oldott szennyezőanyag csóva terjedési üteme túlbecsült a folyó irányában. A terjedési irányok, a térbeli kiterjedés és a koncentrációk is eltérnek a valóságoshoz képest**, amelynek oka az egyirányú advektív transzport mellett a szennyezőanyag szóródását leíró diszperzió alulbecslése permanens modellel a folyóhoz közeledve.
- Mivel permanens modell **nem alkalmas az oldott szennyezőanyag csóva felszín alatti vízzel együtt történő különböző irányú mozgásának szimulálására**, ezért nem képes az ebből fakadó koncentrációváltozások (így pl. szennyező forrástól felvízi irányban fekvő megfigyelő pontokban a szennyezőanyag-koncentrációk időbeli változásának, vagy időszakos határérték-túllépéseknek) számítására sem.

1. Mindezek alapján azt a javaslatot teszem, hogy a folyó irány-hatástávolságán belül a leggyakoribb modellezési feladatokban a folyó vízállás-változásához igazodó időbeli felbontású tranziens modell alkalmazandó.

Megállapítottam, hogy partiszűrésű vízbázis tranziens védőidoma nem azonos a permanens védőidommal, alakjuk és térbeli kiterjedésük különbözik. Ez a különbség attól függött, hogy a permanens védőidom kijelöléséhez alkalmazott vízáramlási helyzethez képest milyen vízáramlási helyzetek milyen arányú fennállását tételeztem fel a szimulált 50 év alatt. Amikor a vízáramlási helyzetet állandóan megcsapolónak, és a lehető legnagyobb folyó felé mutató áramlási gradienssel szimuláltam, akkor adódott a legnagyobb a védőidom térbeli kiterjedése.

2. Ezért a parti szűrésű vízbázis permanens védőidomának kijelölésére azt a javaslatot teszem, hogy legnagyobb biztonsággal akkor járunk el, ha a védőidomot a folyó LKV szintjéhez (vagy a biztonságos üzemeléshez szükséges legkisebb vízszinthez) tartozó permanens vízáramlási helyzet feltételezésével jelöljük ki.

A tranziens modellek kalibrációja során fellépő nehézségeket vizsgálva megállapítottam, hogy az egyidejű mért- és számított vízszintek illesztéséből - ha csak egy időpontra végzem a kalibrálást – egyforma hibát kaphatok több szivárgási tényező - meder-vezetőképesség párossal. Emellett az egy időpontra illesztésből kapott paraméterekkel a modell nem feltétlenül közelíti legkisebb hibával a mért vízszint-változást a teljes szimulált időszakra. A modell paraméterérzékenysége paraméterpáronként változik, ugyanis a meder-vezetőképesség befolyásolja, hogy a szivárgási tényezőre mennyire lesz érzékeny a modell és fordítva. Emellett a megfigyelőpontok modellbeli elhelyezkedésétől, folyótól mért távolságától is függ a paraméterérzékenység.

3. Éppen ezért a tranziens modellek kalibrálására vonatkozóan azt a javaslatot teszem, hogy (1) több időpontra kell elvégezni az illesztést (ha egyidejű vízszintmérések állnak rendelkezésre), vagy egy időszak folyamatos vízszintmérését kell felhasználni a kalibrálásához (2) úgy, hogy a felhasznált időpontok vagy időszak(ok) feltétlenül kell, hogy tartalmazzanak olyan időszakot is, amikor a folyó megcsapoló helyzete tápláló helyzetűre vált.

4. **A folyó tápláló helyzetében további kalibrációs eszközök alkalmazása javasolható, úgy mint a következő mért és számított adatok illesztése: (1) az árhullám során kialakuló legnagyobb vízszintemelkedések változása a folyótól mért távolsággal, (2) a folyó- és talajvízszint közötti hiszterézis.**
5. **A mért- és számított árvízi hurokgörbék illesztésével végzett kalibráció alkalmas az esetek döntő többségében ismeretlen meder-vezetőképesség paraméterének becslésére.** Ez annál pontosabban végezhető el (1) a folyóhoz minél közelebbi kútban (2) a folyóparttól minél több távolságban (3) minél több, különböző karakterisztikájú árhullámra is rendelkezésre állnak hurokgörbék.

A dolgozatban bemutatott folyó-talajvízszint és talajvízszint-talajvízszint közötti korrelációs számítások, ill. ezek alapján készített korrelációs mátrix segítheti egy folyóparti **terület monitoring rendszerének optimalizálását:**

- Az eltérő hidrodinamikai jellegű területek lehatárolhatóak,
- a rendszer szempontjából kieső (eltérő viselkedésű) kutak gyorsan kiszűrhetőek, majd kereshető ennek oka (földtani, kúthiba, emberi tevékenység stb.),
- eldönthető melyik kútban érdemes folyamatos vízszint regisztrálás, egyes monitoring kutak kiválthatóak stb.

ABSTRACT

In my PhD thesis work river and groundwater interaction and the hydraulic effects of river flow on the connected aquifer were thoroughly examined. Monitoring data analysis and numerical calculations were performed in pilot sites along the Danube and Tisza rivers.

Based on the results of river and groundwater data analysis, and groundwater flow velocity calculations I separated the river's hydraulic effects and its distances. I studied the temporal and spatial variation of the flow velocities and its dependence on the aquifer's hydraulic conductivity and the riverbed's conductivity. Because of periodically changing river water level, groundwater flow velocity continuously (dynamically) changes in time within a certain distance from the river, and it depends on both parameters logarithmically. The daily groundwater level is delayed compared to river water level, which has constantly rising and falling stages. It causes hysteresis (looping curves) in daily correlation between the two levels with shapes dependent on the physical properties of the aquifer and river.

The results modify the earlier idea that the groundwater flow can be simulated with a constant flow gradient and flow direction in most of the year at riverside areas, because even though in gaining stages of the river the groundwater flow direction and gradient constantly changing in a certain distance. Based on the numerical calculations it is proved that the accuracy of permanent numerical simulations deteriorate in that distance from the river where the groundwater flow direction is constantly changing. Particle pathlines, capture zones of wells, contaminant plume's movement (direction and velocity) is different from reality in permanent simulation. I have shown that the shape and areal extent of capture zones for bank-filtered water resources depend on the river water level changes we assume in the simulation time. The largest spatial extent of capture zones is obtained for the lowest river water level.

The difficulties of transient numerical modeling are not only the needed large datasets, but also its temporal resolution and calibration. The time periods of the model must be fitted to the river stages in a way that the hydraulic effects of the river is simulated more precisely in time and space. During the model calibration, in addition to the hydraulic conductivity and specific yield of aquifer, the generally unknown hydraulic conductance of riverbed must also be changed. Meanwhile, the density of the measured data in space and time - which we used for calibration - is not enough. This leads to a high degree of uncertainty in calibration, which can be reduced only with multi-step process. This means the simultaneous execution of multiple, non-traditional fitting procedures, using different stage periods and floods of the river.

The thesis work highlights the importance of continuous monitoring activity, since the research results presented as evidence that for investigations with all purposes is essential to track the system's changes in time. My research work were carried out based on pilot sites, but there are several general outcomes between the results, which can be applied in any similar river-groundwater interaction.

Potential applications of the results are audit of bank-filtered water resources, optimizing groundwater monitoring systems, exploration, remediation and monitoring activities of existing or potential pollution of groundwater at industrial sites. The results provide a basis for a later detailed development of new method by which flood hysteresis between the river and groundwater levels can be used for the calculation of riverbed hydraulic conductance without pumping tests. Continuation of the research is the involvement of other riverside areas, expanding the database, comparing the new results to the previous ones, as well as expansion of the quantitative impact assessment with qualitative analysis.

TÉZISFÜZETBEN SZEREPLŐ HIVATKOZÁSOK LISTÁJA

Bezdán M., 2011, A szabályozott Tisza vízjárása tulajdonságai a Tiszafüred alatti folyószakaszokon. Doktori értekezés, Szeged, p. 117.

Csoma R., Gálos M., 2009, A Duna vízjárásának hatása a talajvíz-viszonyokra az Infopark-Budapest térségében. Hidrológiai Közlöny 89 évf. 4. szám, pp. 1-8.

Csoma R., Emszt Gy., Gálos M., 2012, A Duna árhullámainak hatása a talajvízszint-változásra egy folyóra merőleges szelvényben. Mérnökgeológia - Kőzetmechanika Kiskönyvtár 7. Műegyetemi Kiadó

Deák J., Hertelendi E., Süveges M., Barkóczy Zs., 1992, Partiszűrészű kutak vizének eredete trícium koncentrációjuk és oxigén izotóparányaik felhasználásával. Hidrológiai Közlöny 72 évf. 4.szám, pp. 204–210.

Fejes I., 2014, A talaj-, és talajvízrendszer komplex környezeti szempontú értékelése városi területen, Szeged példáján, Doktori értekezés, Szeged, p. 123.

Kármán K., Deák J., 2012, A Szigetköz rétegvíz-áramlási rendszerének vizsgálata trícium modellezés alapján. XIX. Konferencia a felszín alatti vizekről, Absztrakt kötet. 20.

Kármán K., Maloszewski P., Deák J., Fórizs I., Szabó Cs., 2013, Transit Time Determination in Riverbank Filtrated System by Oxygen Isotopic Data Using the Lumped Parameter Model. Hydrological Sciences Journal.

Kontur Á., 1988, Szabadalmi leírás — Eljárás és berendezés folyó- vagy állóvízmedre alatti porózus anyagban uralkodó folyadéknnyomás meghatározására (Országos Találmányi Hivatal, lajstromszám: 187530)

K. Tóth A., Kovács B., Fekete Zs., Tóth M., Madarász T., 2015, Az almásfüzitői vörösiszap-tározók komplex geotechnikai, vízföldtani vizsgálata, Kutatási zárójelentés, TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projekt, Miskolci Egyetem

K. Tóth A., Madarász T., 2014, Felszín alatti vizekkel kapcsolatos kutatások a Miskolci Egyetemen: A Kútfő projekt, Mérnök Újság XXI:(2) pp. 17-19.

Léczfalvy S., 2004, Felszín alatti vizeink 1-2. Elte Eötvös Kiadó, p. 819.

Molnár B., Hajdú K., 2003, A földtani felépítés, a csapadék, a tiszai vízállás és a talajvízállás közötti összefüggések Szeged-Gyálarét környékén. Hidrológiai Közlöny 2003. évf., 5-6. szám

Rózsa A., 2000, Beszivárgási vizsgálatok a Szentendrei-Duna medrében. Hidrológiai Közlöny 2000. évf., 2. szám.

Völgyesi I., 1992, Folyók mederellenállásának meghatározása próbaszivattyúzással. MHT vándorgyűlés, Szeged, pp. 227-237.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

K. Tóth A., Kovács B., 2015, Calibration process for groundwater flow model of a river influenced shallow aquifer, Central European Geology, Vol. 58/1–2, pp. 186–198.

K. Tóth A., 2015, Folyó és talajvíz kapcsolata - változó talajvízszint hatásának vizsgálata esettanulmányok tükrében, Geotechnika 2015 Konferencia, Konferenciakötet, Absztrakt. p.49-50.

K. Tóth A., Kovács B., Fekete Zs., Tóth M., Madarász T., 2015, Az almásfüzitői vörösiszap-tározók komplex geotechnikai, vízföldtani vizsgálata, Kutatási zárójelentés, TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projekt, Miskolci Egyetem.

Madarász T., Szűcs P., Kovács B., Lénárt L., Fejes Z., Kolencsik-Tóth A., Székely I., Kompár L., Gombkötő I., 2015, Recent trends and activities in hydrogeologic reserach at the University of Miskolc, Hungary. Central European Geology, Vol. 58/1-2., pp. 171-185.

K. Tóth A., Szűcs P., 2014, Analysing the flood effect on relationship between the river Danube and a shallow aquifer, microCAD 2014, University of Miskolc, Paper 11., ISBN:978-963-358-051-6.

K. Tóth A., Madarász T., 2014, Felszín alatti vizekkel kapcsolatos kutatások a Miskolci Egyetemen: A Kútfő projekt, Mérnök Újság XXI:(2) pp. 17-19.

Turai E., Kolencsikné Tóth A., Kovács B., Madarász T., Szűcs P., 2014, A talajszennyezési csóvák kimutatásának új módszere az IP adatok TAU-transzformációjának alkalmazásával: New method for detection of soil contamination tails using TAU-transformation of IP data. X.

Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Kolozsvár, Románia, Ábel Kiadó, pp. 101-105.

K. Tóth A., Kovács B., Fekete Zs., 2013, The effect of riverbed colmatation (conductivity) for the transient flow pattern characteristics in a shallow aquifer. IX. Kárpát-medencei környezet-tudományi konferencia: Konferencia kiadvány. Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, pp. 414-419. ISBN: 978-963-358-032-5.

Kovács B., K.Tóth A., 2013, Evaluation of groundwater-surface water interaction along the Tisa river. Proceedings of the IAH Central European Groundwater Conference, Szeged: Szege-di Egyetemi Kiadó, pp. 118-121. ISBN: 978-963-306-217-3.

Kovács B., K.Tóth A., Szanyi J., 2012, Transient modeling of surface and subsurface water interaction at a riverbank aquifer. 39th International Association of Hydrogeologists Congress, Kanada, Congress Program and Abstract, p. 308.

Szűcs P., Tóth A., Virág M., 2006, A leggyakoribb érték (MFV) módszerének alkalmazása a hidrogeológiai modellezésben. Hidrológiai Közlöny 86:(4) pp. 29-36.

Szűcs P., Tóth A., Zákányi B., Madarász T., 2006, Inverziós módszerek a hidrogeológiában. Magyar Geofizika 47:(4) pp. 169-172.

Toth A., Szucs P., 2006, Parametric vs nonparametric statistics in case of environmental data analysis. microCAD 2006, C szekció: International Scientific Conference. Miskolc: pp. 135-140.

Tóth A., 2005, Spatial characterization of contaminant plumes. 5th International Conference of PhD Students. Miskolc: University of Miskolc, pp. 211-216. ISBN: 963 661 678 7.

Tóth A., 2005, Using statistical tools for environmental decision making at contaminated sites. microCAD 2005 International Scientific Conference. Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, pp. 77-82. ISBN:963-661-646-9

Szűcs P., Tóth A., 2005, A new geostatistical concept in hydrogeological calibration. microCAD 2005 International Scientific Conference. Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, pp. 65-70., ISBN: 963-661-646-9.

Szűcs P., Civan F., Tóth A., 2005, Application of Geostatistics in Calibration of Groundwater Modeling. Managing Matured Fields and Wells. 306 p. Budapest: Akadémiai Kiadó, pp. 195-209. (Progress in Oilfield Chemistry; 6.) ISBN:963 05 8301 1

Tóth A., 2005, Tényfeltárás, a kármentesítés első lépése - tervezéstől a döntéshozatalig. Doktoranduszok Fóruma: Műszaki Földtudományi Kar szekciókiadványa. Miskolc-Egyetemváros: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, pp. 108-114.

Szucs P., Toth A., Virag M., Fesus A., 2004, A new geostatistical tool ingroundwater modeling applications. Intellectual Service for Oil and Gas Industry: Analysis, Solutions, Perspectives. Proceedings. Ufa: Ufa State Aviation Technical University, pp. 225-232. Vol. 3. ISBN:5 98755 001 7.