Szabályozott holtág és a felszínalatti víz kapcsolata Szarvas területén

Szakdolgozat

Készítette:
RÁBA ISTVÁN
GEOLÓGUS MESTERSZAKOS HALLGATÓ

TÉMAVEZETŐK:

Mádlné Dr. Szőnyi Judit, *egyetemi docens, ELTE*

Dr. Czuppon György, *tudományos főmunkatárs, CSFK*

Dr. Farkas-Karay Gyöngyi, *adjunktus, BME*

Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Budapest 2020

1 BEVEZETÉS ... 4

2 VIZSGÁLT TERÜLET BEMUTATÁSA ... 5

2.1 KUTATÁSI TERÜLET BEMUTATÁSA ... 5
2.2 A HOLTÁG TÖRTÉNETE, MŰKÖDÉSE ... 6
2.3 ÉGHAJLATI VISZONYOK ... 8
2.4 FÖLDTANI VISZONYOK ... 9
2.4.1 Dél-Alföld fejlődéstörténete ... 9
2.4.2 Kutatási terület rétegsorának bemutatása ... 10
2.4.3 Kvarter üledékek és felszíni képződmények ... 13
2.5 VÍZFÖLDTANI VISZONYOK ... 15

3 MINTAVÉTELEZÉS, MÉRÉSI MÓDSZEREK BEMUTATÁSA ... 18

3.1 KUTATÁS SZAKASZAI ... 18
3.2 MINTAVÉTELEZÉS MEGVALÓSÍTÁSA, MINTAVÉTELI PONTOK BEMUTATÁSA ... 20
3.2.1 Csapadék ... 20
3.2.2 Kutak mintázása ... 20
3.2.3 Holt-Körös ... 21
3.3 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ... 24
3.3.1 Vízkémia ... 24
3.3.2 Stabilizotópos mérések ... 24

4 MINTAVÉTELEK ÉS MÉRÉSEK EREDMÉNYEI ... 26

4.1 KUTAK ÉS A HOLT-KÖRÖS VÍZSZINTJEI ... 26
4.2 FIZIKO-KÉMIAI PARAMÉTEREK MÉRÉSI EREDMÉNYEI ... 30
4.2.1 Fajlagos elektromos vezetőképesség mérés ... 30
4.2.2 Vízhőmérséklet ... 31
4.3 VÍZKÉMIA ... 32
4.3.1 Vizek pH-ja ... 32
4.3.2 Vízkémiai fáciesek ... 33
4.3.3 Vízkémiai paraméterek változása ... 34
4.4 STABILIZOTÓPOS VIZSGÁLATOK EREDMÉNYE ... 41

5 ELŐZETES ADATFELDOLGOZÁS: SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐ SZÁMÍTÁS ... 44

6 VÍZFÖLDTANI MODELLEZÉS EREDMÉNYEI ... 48

6.1.1 Modellezett terület lehatárolása ... 48
6.2 SEKÉLYVÍZFÖLDTANI MODELL ... 49
6.2.1 Egy réteges modell bemutatása ... 49
6.2.2 Egy réteges modell ellenőrzése ... 51
6.2.3 Két réteges modell bemutatása ... 52
6.2.4 Két réteges modell ellenőrzése ... 53

7 VÍZMÉRLEG SZÁMÍTÁS EREDMÉNYEI ... 54

7.1 VÍZMÉRLEG SZÁMÍTÁS ELMÉLETI HÁTTERE ... 54
7.2 FEBRUÁRI VÍZMÉRLEG EGYENLET TAGJAI ... 55
7.3 FEBRUÁRI VÍZMÉRLEG BECSLÉS ... 59

8 EREDMÉNYEK ÉRTELMEZÉSE, DISZKUSSZIÓ ... 60

8.1 VÍZMÉRLEG SZÁMÍTÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, ÉRTELMEZÉSE ... 68

9 KÖVETKEZTETÉSEK ... 69

10 ÖSSZEFOGLALÁS ... 70

11 ABSTRAKT ... 71

12 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ... 72

13 IRODALOMJEGYZÉK 73

14 MELLÉKLETEK: 78

1 Bevezetés

A globális vízkörforgalomban különböző folyamatok, „szállítószalagok” segítségével jut a víz egyik rezervoárból a másikba. A felszíni vízből párolgás révén jut az atmoszférába, ahol szállítódás, felhőképződés, majd csapadékképződés során visszajut a felszínre. Különféle lefolyási folyamatok által a felszínen, míg beszivárgást követően egy része a felszín alatt mozog. A felszínalatti víz áramlása fontos szerepet tölt be a víz felszíni rezervoárokba való jutásában. Dolgozatomban ezen felszínalatti vízáramlást vizsgáltam Szarvas város környezetében a Holt-Körös viszonylatában.

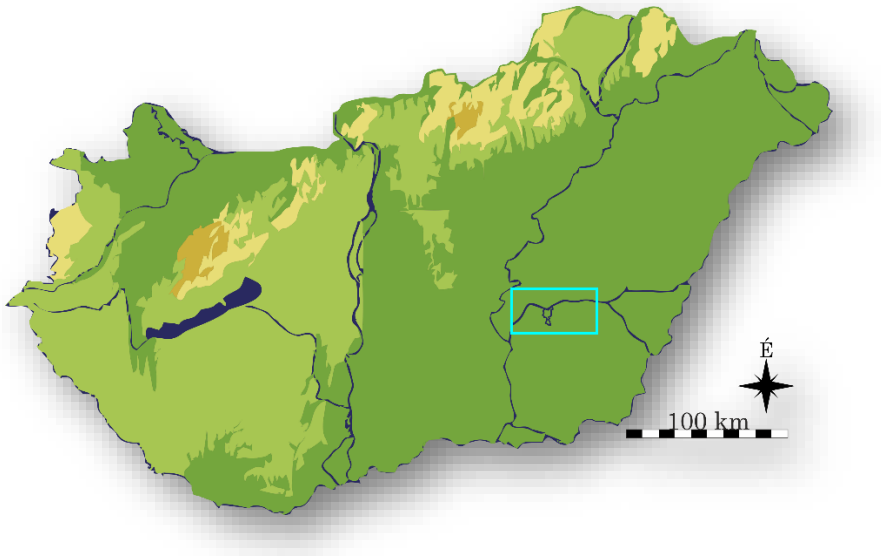
A Hármas-Körös már évezredek óta létező folyónk, melyet mesterségesen kényszerítettek a mai főmedrébe. A kanyarulatok levágásával lecsökkentették a folyó által megtett távolságot, azaz, ugyanazon vízmennyiség nagyobb sebességgel halad végig az „új” medrén, mint az önmaga által természetesen kialakított medernyomvonalán. A folyószabályozás elengedhetetlen volt, a mai Alföldi táj, termőföldek, mezőgazdaság fejlődéséhez. De az elvitathatatlan tény, hogy a Szarvasi-Békésszentandrási Holt-Körös környezetében megváltozott az 1900-as évek elejétől a felszíni vizek, és ennek következtében a felszínalatti víz helyzete is. A területről az 1980-as években készült Rónai A. Alföld térképezése (Rónai A. 1980) óta nem készült újabb, átfogó kutatás, melyben a felszínalatti víz helyzetét tárgyalnák.

Jelen szakdolgozatom egy megkezdett kutatás folytatásaként jöhetett létre (Rába I. 2019.), melyben Szarvas tágabb környezetében a csapadék és a felszíni vizek kapcsolatát vizsgáltam a felszínalatti vízzel való kapcsolatoknak különös figyelmet szentelve. Diplomamunkámban kibővítem az eddigi információimat a 2020 tavaszán történt mintavételek adataival, azért, hogy a területen történő évszakos változásokat megfigyelhessem.

A dolgozatom céljai közé tartozik, hogy összehasonlítsam a nyári-őszi és a tavaszi időszak vízjárását Szarvas területén. Továbbá, hogy a 2019-es kutatás eredményeit is felhasználva a felszínalatti víz és a Holt-Körös kapcsolatát több évszakos megfigyelésre alapozottan értékeljem. Bemutatok két vízmérleg számítást a nyári (Rába, I. 2019 után módosítva) és tavaszi időszakra, így vizsgálva a felszínalatti víz hozzájárulás szerepét. A Holtág vízmérlegének alakulásában szerepet játszó felszínalatti víz jelentőségét, egy sekélyföldtani vízáramlási modell felépítésével kvantitatívan is értékelni kívánom. Ezt a feladatot Processing Modflow szoftverrel fogom végrehajtani.

2 Vizsgált terület bemutatása

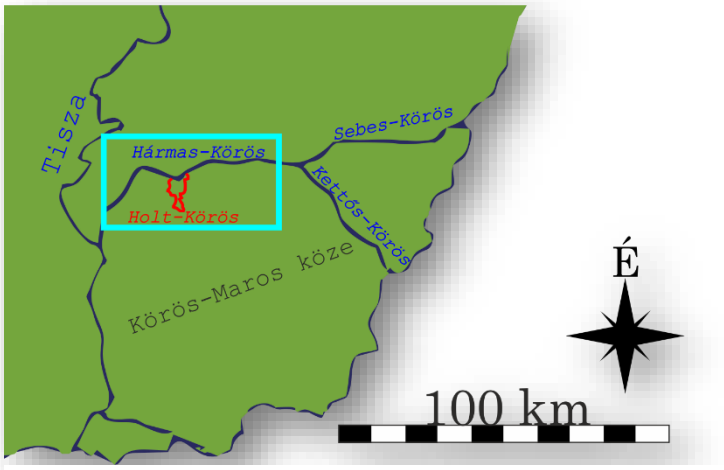
2.1 Kutatási terület bemutatása



1. ábra Kutatási terület lehatárolása Magyarországon belül (világoskék négyzettel)

Az Alföld dél-nyugati részén fekvő Körös-Maros közének északi határfolyója a Hármas-Körös. A Hármas-Körös a Romániából érkező Sebes-Körös és a Kettős-Körös összefolyásából keletkezett és a Tiszába torkollik (1. ábra). A Hármas-Körös 91,3 km hosszú az összefolyástól a torkolatig. Kutatási területem ezen folyó bal parti levágott kanyarulata a Szarvas-Békésszentandrási Holt-Körös, mely 29,2 km-ével a Hármas-Körös leghosszabb és egyben a Tisza vízgyűjtőjének legnagyobb ármentesített holtága (2. ábra).

A holtág átlagos szélessége 71 m, területe 207 ha, átlagos vízmélysége 2,2 m és 4,5 millió m^3 a víztérfogata. A terület fejlett belvíz- és csapadék elvezető rendszere több főcsatornával torkollik bele, ezért a vízgyűjtő területe 833 km^2. Az állami tulajdonban lévő holtág kezelője a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság.



2. ábra Holt-Körös tágabb környezete, nagyobb folyók és a Körös-Maros közének elhelyezkedése

A holtág vizét mezőgazdasági vízkivétel mellett főleg csapadék- és belvíz elvezetésre használják. Az öntözési igények kielégítése végett mesterségesen szabályozzák a vízszintet a holtágban.

2.2 A holtág története, működése

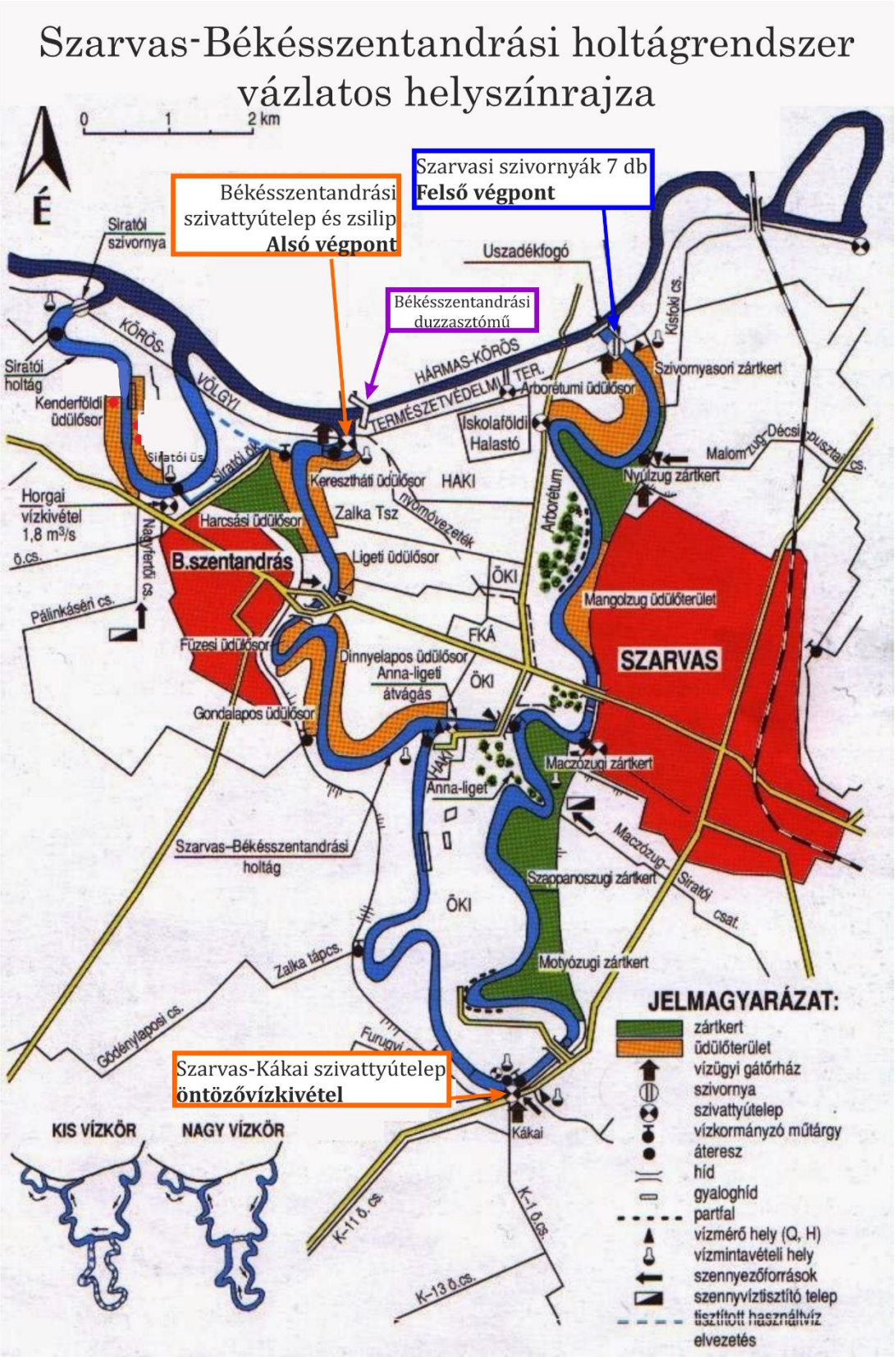
Kialakulása antropogén hatásra történt, a folyószabályozások eredménye. A Körösök szabályozásai az 1830-as években kezdődtek, majd a holtág végleges formáját az 1888-ban történt kanyarulat átvágás során nyerte el (3. ábra). 1942-ben épült meg a Hármas-Körös (továbbiakban élő-Körös) békésszentandrási szakaszán a duzzasztómű (3. ábra, lila négyzettel jelzett), mellyel lehetővé vált gravitációsan és szivattyúk használatával a holtág vízszintjének szabályozása.

A mezőgazdasági öntözési vízigény biztosítása érdekében az öntözési idényben 80,7 mBf-i „nyári szinten” tartják a holtág vízszintjét februártól novemberig. A többi hónapban, lecsökkentik a vízszintet 79,4 mBf-i „téli szintre”.

A holtág felső végpontja (3. ábra kék négyzettel jelölve) az élő-Körösből származó víz betáplálási helye. Itt alacsony vízszint esetén 7 darab szivattyú, összesen maximum 8 m^3/s teljesítménnyel juttatja be a vizet a holtágba (továbbiakban szivornyák). Duzzasztás esetén a víz gravitációsan jut át a csőrendszeren a Hármas-Körösből a holtágba.

Alsó végpontja a békésszentandrási duzzasztóműtől nyugatra található (3. ábra), narancssárga négyzettel jelölve. Árvízmentes időszakban gravitációsan, zsiliprendszeren keresztül távozik a „felesleges” víz a holtágból (továbbiakban áteresz). A két település területére eső csapadékon kívül számos csatorna több 10 km-ről vezeti bele a csapadék- és belvizet a holtágba. Ezek közül a legjelentősebbek a Szarvas északi határán lévő Malom-zug-Décsi-pusztai csatorna és a várostól délre található Maczózug-Siratói csatorna.

A holtág aszerint, hogy az évnek mely szakaszában járunk két vízkörre bontható (3. ábra) A nagy vízkör a „nyári vízszint” tartásakor használt, mert ilyenkor nagyobb mennyiségű víznek kell rendelkezésre állnia a holtágban a mezőgazdasági vízigény kielégítése végett. A legfőbb öntözővíz kivétel helye itt található (Szarvas-Kákai szivattyútelep -a 3. ábraán narancssárga négyzettel jelölve). A kis vízkörben tél idején áramlik a víz, mikor nem öntöznek. Az Anna-ligeti mesterséges átvágás vízkormányzó műtárgya segítségével rövidítik le a víz útját a holtágban (3. ábra).



3. ábra Holt-Körös vázlatos helyszínrajza (KÖVIZIG, módosított)

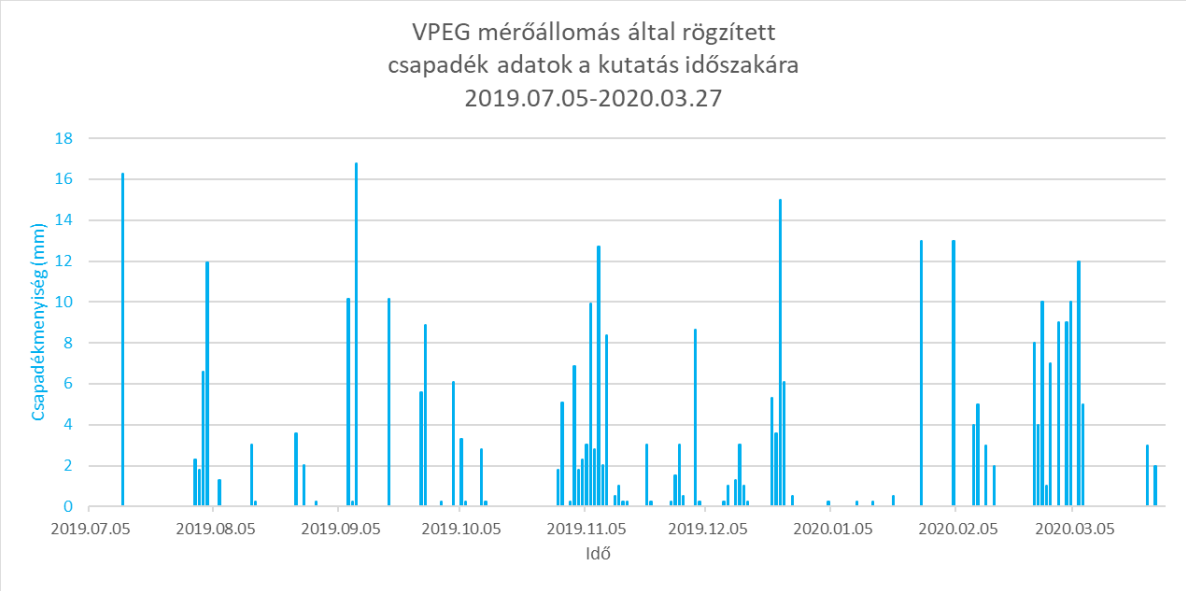
2.3 *Éghajlati viszonyok*

A Körös-Maros közének területének éghajlatára az alföldi klímajelleg mellett jellemző az Erdélyi-szigethegység által gyakorolt hatás is. A terület ÉNy-i fele meleg, száraz, forró nyarú, DK-i része mindezen jellemzők mellett kedvezőbb vízellátottsággal rendelkezik.

A terület Ny-i peremén 2100 óra, míg DK-en 1900-2000 óra az évi napfénytartam. Szélsőséges hőmérsékletjárását bizonyítja a januári átlag 1,5-2 °C. Ezen a területen a tél hideg, száraz, a tavasz viszonylag korán köszönt be, április elején már 10 °C fölé emelkedik az átlagos napi hőmérséklet. A nyár forró, a júliusi középhőmérséklet 22 °C. Hazánkban a Körös-Maros közi területen a legmagasabbak az átlagos évi hőmérséklet maximumok. Az ősz hosszú, október közepétől süllyed 10 °C alá az átlagos napi hőmérséklet.

A csapadék mennyisége ÉNy-ról DK felé növekszik. 500-600 mm az évi átlagos csapadékmennyiség. Szarvas környékére jellemző az 500 mm éves átlagos csapadék. A havi átlagos csapadék mennyisége 55 mm Szarvas területén. A legtöbb csapadék júniusban hullik, az októberi őszi másodmaximum elmosódott. Télen kevés hó hullik és ritka a vastag tartós hótakaró. (Rónai A. 1969).

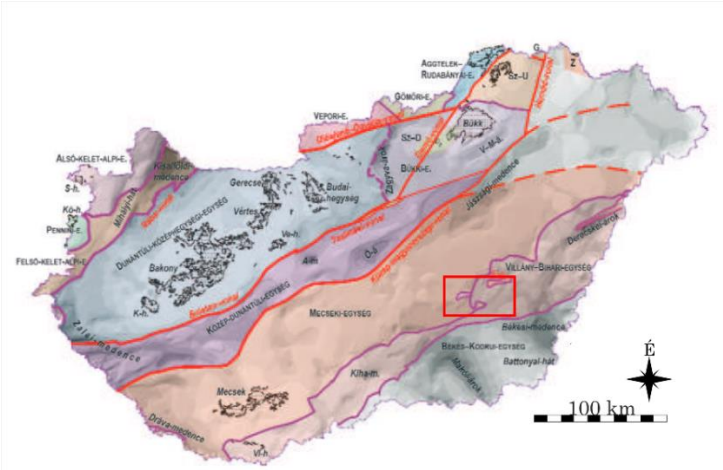
Szarvas területére vonatkozóan a képen látható a mintázási időszakra (2019-2020) az átlagos havi csapadékösszeg (4. ábra). A diagram adatai a VPEG mérőállomás által rögzített adatokat ábrázolja. Ez is alátámasztja, hogy a legtöbb csapadék nyáron és ősszel hullik.



4. ábra Mért csapadékmennyiségek a 2019-2020 (VPEG mérőállomás adatai)

2.4 *Földtani viszonyok*

Szarvas és környéke földtanával az 1860-as évek óta foglalkoznak kutatók, akik közül legjelentősebb munkákat Szabó József (1861), Mendöl Tibor (1928) és Sümeghy József (1944) készítették el. Megállapításaik fontos alapot képeztek a felszínalatti térrész megismeréséhez. A terület aljzattérképe alapján a Tiszai-főegységhez tartozik, azon belül a Villány-Bihari egység középső részén helyezkedik el az egység északi határához közel (5. ábra)



5. ábra Prekainozoós aljzattérkép a kutatási terület lehatárolásával (vörös négyzet) (Haas és társai 2010)

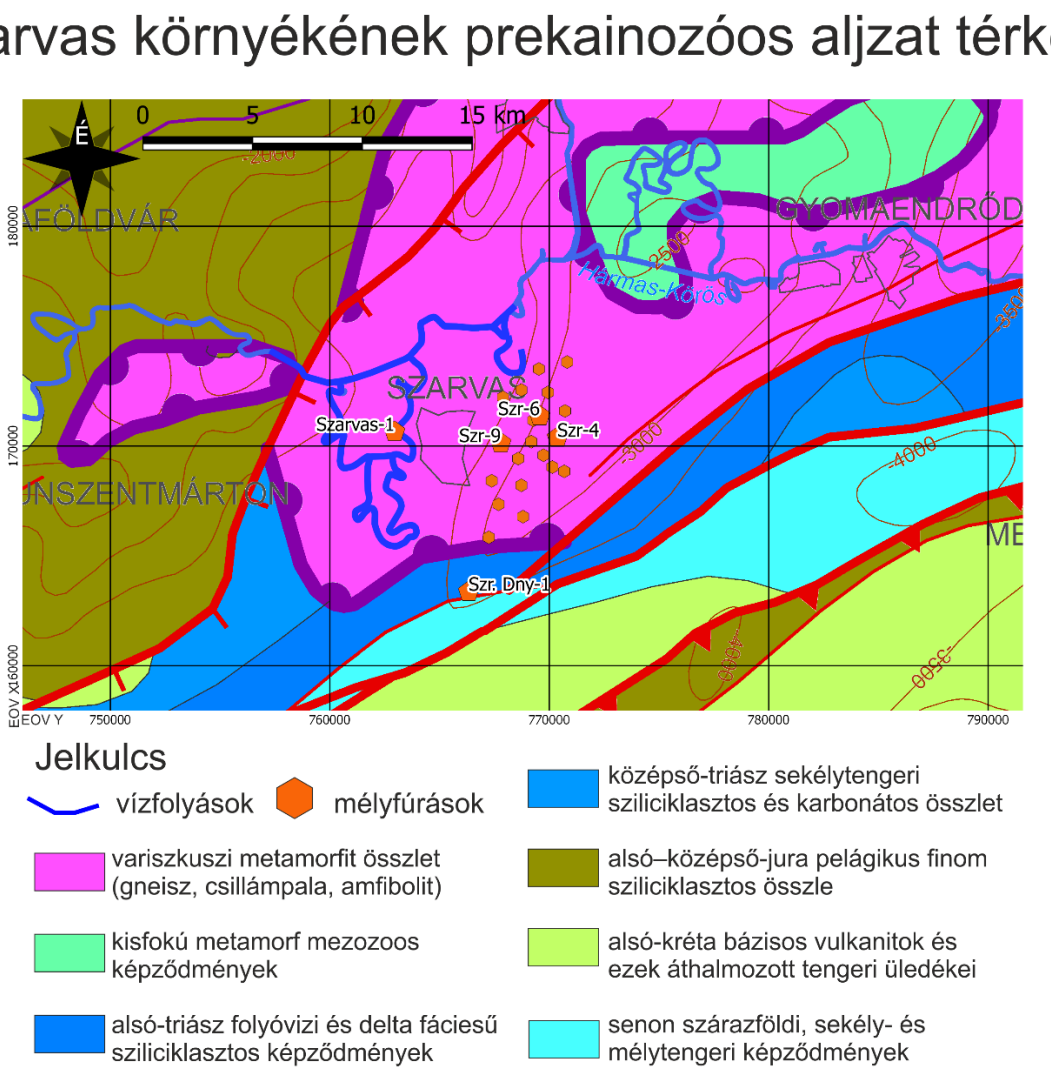
2.4.1 *Dél-Alföld fejlődéstörténete*

Az egész Alföldre jellemző, hogy erősen deformálódott Pre-Neogén medence aljzata van, mely Mezozóos karbonátokból, vulkano-szediment üledékekből és Paleozóos metamorf kőzetekből épül fel (Haas és társai, 2010). A Pannon-medence fejlődése során erre az aljzatra a miocén elejétől egy szinrift és egy posztrift fázisban ülepedtek le Neogén-Kvarter üledékes sorozatok max. 7 km-es vastagságban a medence mélyebb részein. Először a kora-miocén során a medencefejlődés szinrift fázisában gyorsan ülepedtek le ezen üledékek (Bérczi és társai 1988). Az Alföld területén maximum 300 m vastag üledéksorozat alakult ki a kora-miocén során, de a középső-miocén inverziót követő erózió hatására hiányozhatnak is a rétegsorból (12-9 Ma) (Bérczi és társai 1988). A késő-miocén végén a medencefejlődés posztrift fázisában, mintegy 9,5 millió évvel ezelőtt az Alpok és a Kárpátok által körülvett Pannon-tó területe gyors ütemben zsugorodni kezdett (Magyar és társai, 1999). Az északnyugatról és északkeletről érkező deltarendszerek progradálásuk során egyre nagyobb részét töltötték fel a medencének, ezért először a medence északi részén, majd a déli részén is deltasíkságok és alluviális síkságok alakultak ki (Juhász és Magyar 1992). A pliocénben már folyóvízi képződési környezetben jöhettek létre a kitöltő üledékek a Pannon-medence legnagyobb

részén (Magyar és társai 1999). A medence belsejében a pliocén tavi–folyóvízi üledékek folyamatosan mennek át a kvarter folyóvízi üledékekbe, melyek együttes vastagsága akár 1800–2000 m-t is lehet az Alföld déli részein (Nádor &Sztanó 2011).

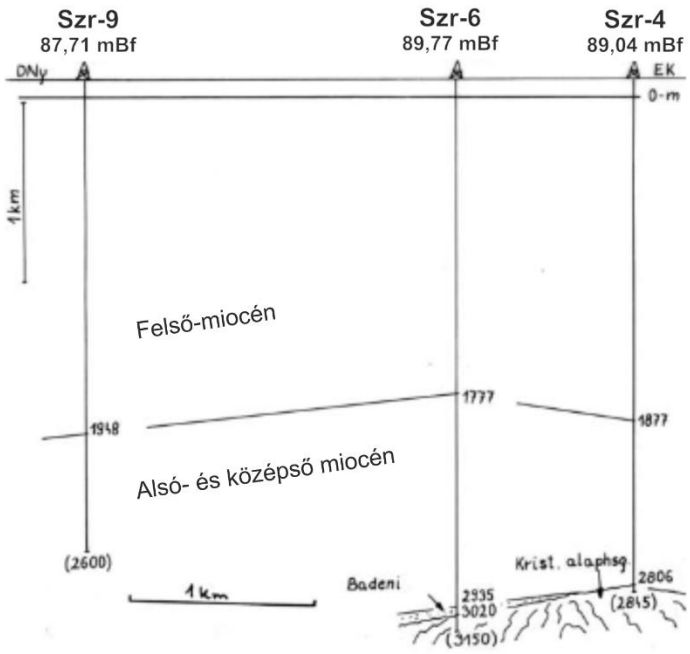
2.4.2 Kutatási terület rétegsorának bemutatása

Az 1970-es évektől állami kutató fúrások mélyültek a területen, melyeket a 6. ábra segítségével mutatok be, melyen a prekainozóos medence aljzat képződményei láthatók Szarvas tágabb környékén. A területet az ábrán jelölt fúrásokból származó rétegsorok alapján mutatom be. Az első olajkutató fúrások a térségben 1961-1982 között mélyültek le, melyek közül neogén képződményeket a 4. sz. (2845 m), a 6. sz. (3150 m) és a Szr.DNy-1.sz. (3479 m) fúrások fúrták át (Kőrössy L., 2005) (6. ábra).



6. ábra Prekainozoós medencefelszín képződményei, a Szarvas területén lemélyült mélyfúrások helyzetével (Magyarország prekainozoós térképe, MÁFI 2010)

A területen a medencealjzat dél-nyugat felé mélyül (7. ábra). Ezt a geofizikai mérések is alátámasztják, melyek egy délnyugat felé mélyülő gerincszerű alakzatként értelmezték a medencealjzat geometriáját (Szanyi B. 1976, 1980). Továbbá ez a nagyjából 3 km-es mélység viszonylag közepes magasságú medencealjzatnak felel meg, ezért nem tudott kifejlődni a mélymedencékben reprezentált teljes neogén rétegsor.



7. ábra Mélyfúrások dél-nyugat-észak-kelet irányú szelvénye (Kőrössy L., 2005)

A 8. ábra szemlélteti az Alföld sztratigráfiai- és hidrosztratigráfia egységeit, azok általános vastagságával.

A rétegsor kezdetén világosszürke csillámos gneisz található. Efölött az Szr-6. fúrás 3047-3051 m mélységközében enyhén palás, világosszürke metahomokkő következik. Több fúrás rétegsorában is ez a kristályos pala törmelék folyamatosan megy át bádeni breccsába (Kőrössy L., 2005).

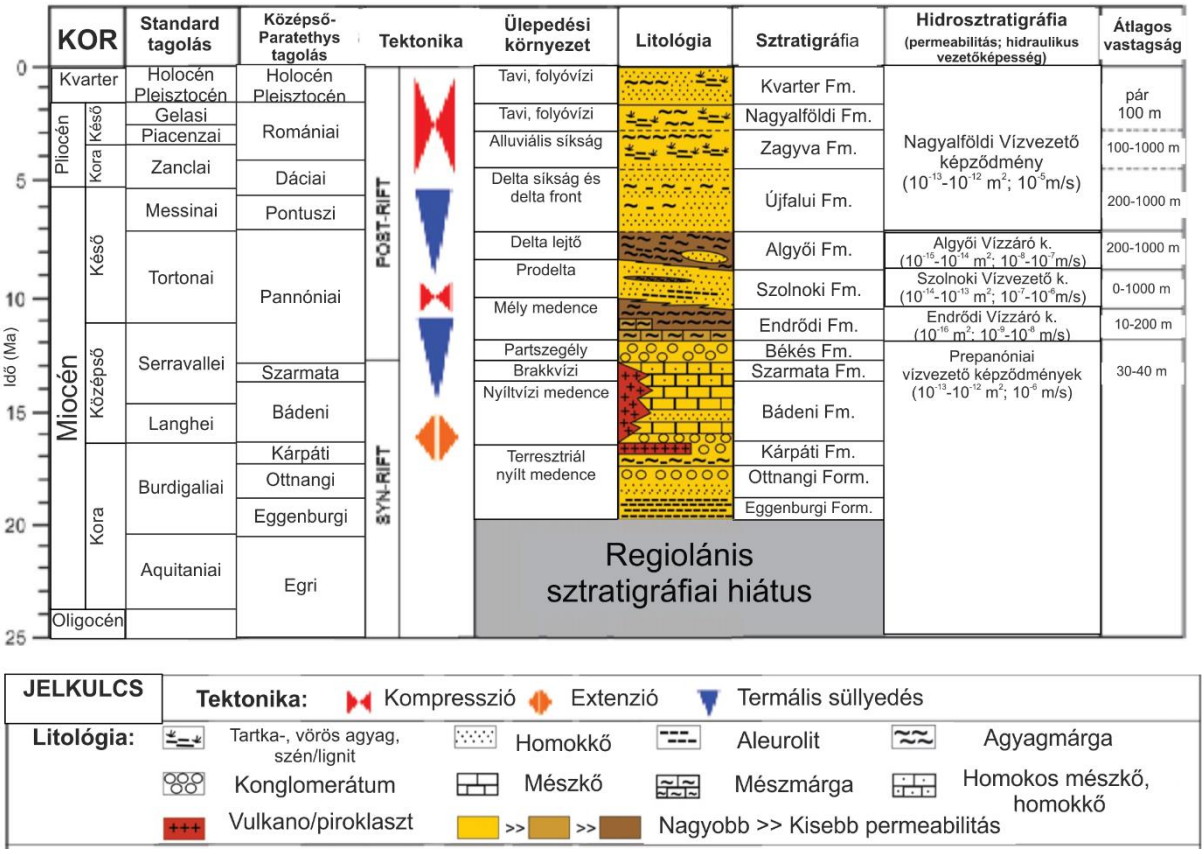
A bádeni (középső-miocén) korú agyagmárga, tufás-meszes homokkő, konglomerátum breccsa rétegek mutatkoznak néhány fúrásban. A vulkáni tufa szürkészöld, távolabbi kitörésből származó, finomszemű, bontott, bentonitos, valamint agyagosodott. A homokkő és a konglomerátum metamorf kőzettörmelékből áll (Kőrössy L., 2005).

Szarmata korú (középső-miocén) képződményeket nem találtak a fúrásokban (Kőrössy L., 2005).

A késő-miocénből származó üledékek közül területünkön se a Békési Konglomerátum Formáció (abráziós törmelék) se az Algyői Formáció (delta lejtő fáciesű üledékei) nem találhatók meg. (Budai és Konrád 2013)

A késő-miocén képződményeket az Endrődi Formációt mészmárga és agyagmárga üledékei képviselik, melynek általános vastagsága 20-300 m. A képződmény két tagozatával is megtalálható egymás felett a területen. Először a Tótkomlósi Tagozat világosszürke, sárgásszürke márga, mészmárga, majd a Nagykörűi Tagozat sötétszürke agyagmárga rétegeit jelennek meg a rétegsorban (Kőrössy L., 2005)

Efölött található a Szolnoki Formáció, mely prodelta fáciesű turbiditekből felépülő képződmény, mely a megnövekedett üledékbehordási ráta miatt alakult ki (Sztanó és társai. 2013). A medence mélyebb részein akár az 1000 m-t is elérheti vastagsága, de gyakran kivékonyodik az aljzat magaslatok felé. Területünkön 800-900 m vastagságban található meg (Kőrössy, L. 2005). Ez a formáció konszolidált homokkő ágyakból aleuritból és agyagmárgából épül fel ciklikus váltakozást mutat (Juhász Gy., 1992)



8. ábra Az Alföld Neogén generalizált sztratigráfiai és hidrosztratigráfiai egységei, feltüntetve a fő tektonikai eseményeket (Tóth és Almási 2001; Horváth 2007; Czauner 2012 után módosítva)

Erre az Újfalui Homokkő F. Törteli Tagozata települ homokos agyagmárga, márga, pirites márga, agyagos, finomszemű homok lignites csíkokkal fölfelé finomodó üledékciklusosságot mutatva. A képződmény konszolidálatlan durva klasztos üledék, mely gazdagon tartalmaz homoklencséket (Pogácsás Gy., 1988). Ez a képződmény a dél-kelet felé progradáló selfperemen rakódott le 5 millió évvel ezelőtt. Az eddigi mélyvízi környezet helyett, egy viszonylag lapos, alacsony fekvésű, vízzel borított terület maradt (Magyar és társai, 2012, Sztanó és társai 2013).

A pliocén korú üledékek a területen kékesszürke agyag, tarka (vörös, barnásvörös) agyag, homok-agyag és vastagabb édesvízi homokrétegek váltakozásából álló képződményként jelennek meg. Nehéz elkülöníteni a pleisztocén korú üledékektől. A Szarvas-1 fúrásban ezt a határt 600,5 m mélységben határozták meg (Rajetzky M. 1976), de általánosságban véve 600-700 m vastag ez a képződmény területünkön (Kőrössy, L. 2005).

2.4.3 Kvarter üledékek és felszíni képződmények

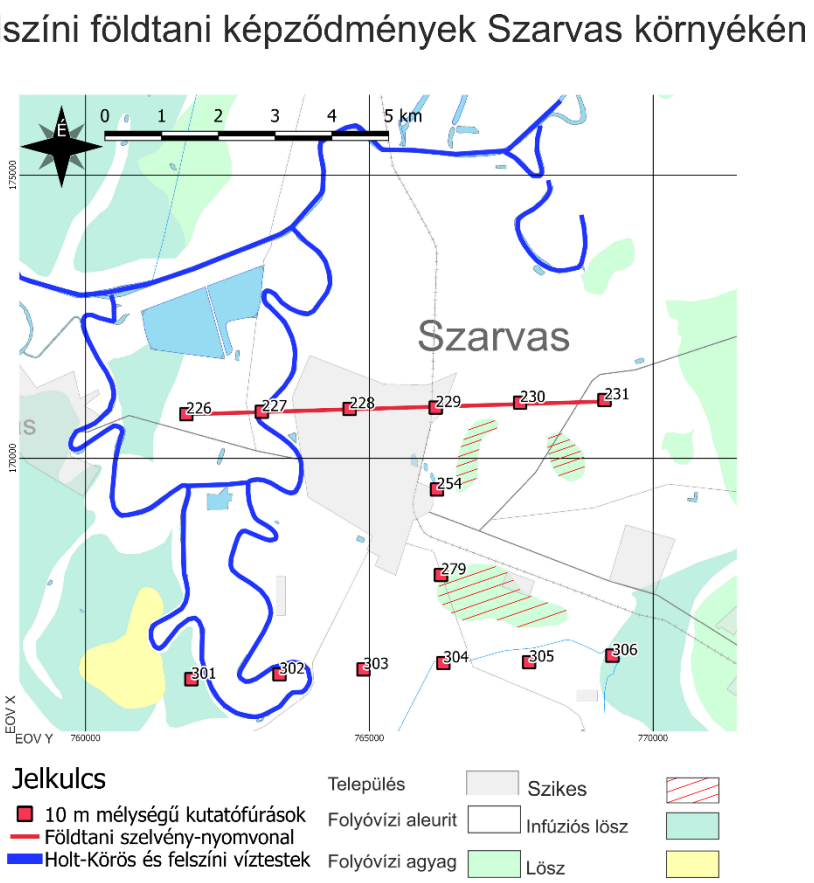
A medence belsejében a pliocén tavi–folyóvízi üledék folyamatosan mennek át a kvarter folyóvízi üledékekbe, melyek együttes vastagsága akár 1800–2000 m-t is elérheti az Alföld déli részein (Nádor és Sztanó, 2011).

A Körös-medencét a pleisztocén idején a kanyargó Ős-Tisza foglalta el, mely mai folyásirányától dél-keletebbre volt megtalálható. Közel 500 m vastag folyamatos kvarter rétegsor található meg itt, mely a részmedence folyamatos süllyedését jelzi (Nádor és társai. 2003). Ezen képződményeken végzett nehézásvány vizsgálatokból bizonyított az, hogy az üledékanyag részben az Északkeleti-Kárpátokból származik. A délkeleti behordás az Erdélyi-középhegységből csak kb. 1,9 millió éve vált számottevővé a területen a Körösök megjelenésével (Thamó-Bozsó és társai. 2002, 2007).

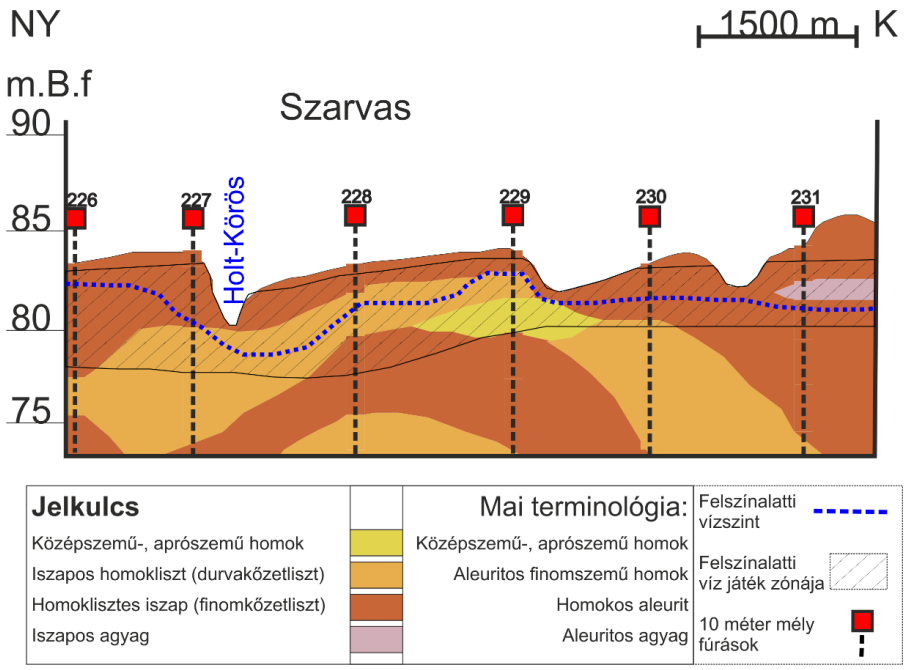
A keleties behordású üledékanyag nehézásvány összetétele a Körös és/vagy Berettyó ősének, mint a Tisza mellékfolyójának jelenlétét is bizonyítja már ez időben. A terület déli részén délkeleties szállítási irányú, fiatalabb (10–15 ezer éves), a mai Fehér-Köröshöz hasonló ásványi összetételű, fonatos mintázatú mederövet azonosítottak. A tektonikai eredmények rávilágítottak, hogy ebben az időszakban a Dévaványa-Szarvas balos eltolódási zóna mozgása okozta az Érmellék intenzív szinszediment süllyedését és ezért hagyta el területünket az Ős-Tisza (Nádor és társai 2007). A medernyomok korai arra utalnak, hogy a Tisza nagy áthelyeződése a mai mederövébe 14 ezer évnél korábban történhetett, illetve, hogy a mai,

modern vízrajzi kép csak a holocén során alakult ki a Körös-medencében (Thamó-Bozsó és társai 2007)

A területen holtágak feltöltéséből származó üledékek és pleisztocén lösz van jelen. A lösz vastagsága 2 — 3 m, ritkán 4 m (Miháltz I. 1966). A holocén üledékét találjuk a felszínen, mely folyami agyag/aleurit és infúziós lösz formájában fedi a tájat. A felszínen megjelenő képződményekről a 9. ábra térképe nyújt információt. Továbbá ezen a térképen feltüntettem az Alföld komplex térképezése során lemélyítésre került 10 m mély kutatófúrásokat (Rónai, A. 1980). Ezen fúrások segítségével szerkesztett szelvényt a 10. ábra mutatja meg, melyen a terület sekélyföldtani felépítését vehetjük szemügyre.



9. ábra Szarvas környékének felszíni földtani képződményei, 1980-as térképezés sekély fúrásai és azokból szerkesztett szelvény-nyomvonal feltüntetésével (Magyarország felszíni földtani térképe MÁFI, 2020)

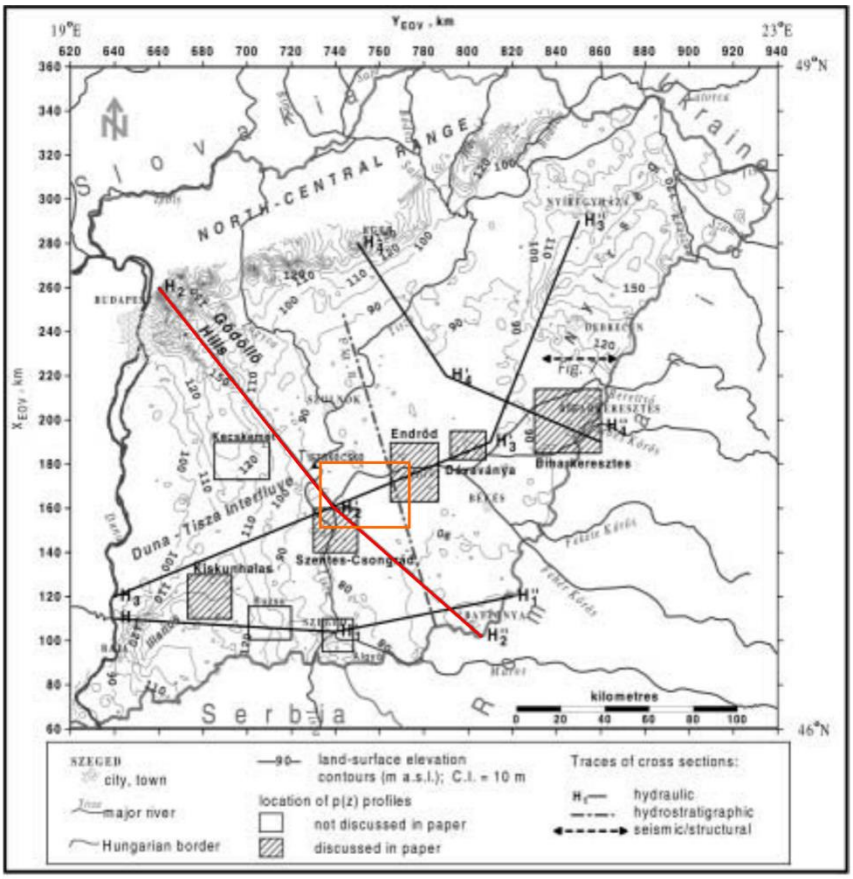


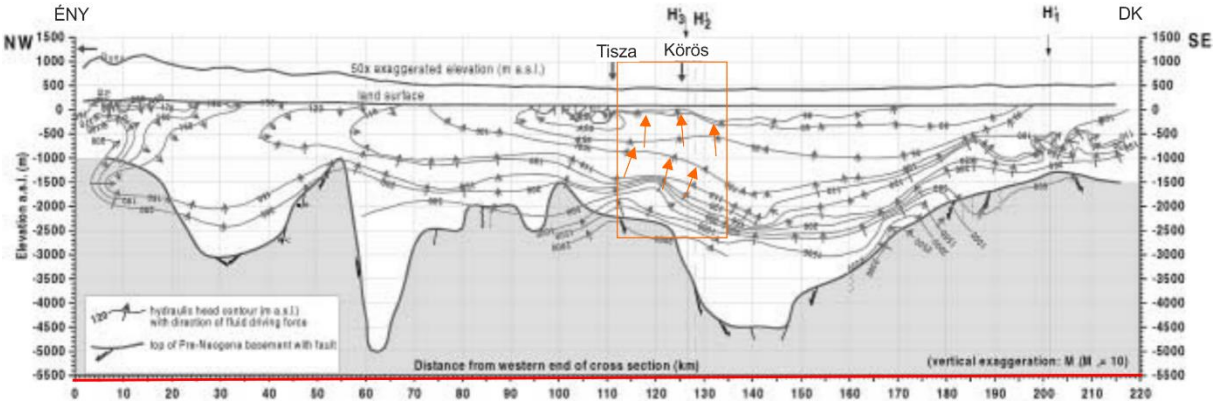
10. ábra 1980-as Rónai térképezés sekély fúrásainak adataiból szerkesztett szelvény (Rónai A. 1980 után módosítva)

2.5 *Vízföldtani viszonyok*

A Neogén medencét kitöltő képződmények öt regionális egységre bonthatók kronosztratigráfiai felosztás, litológiai fácies típusok és a permeabilitás értékek alapján (Tóth és Almási, 2001; Mádl-Szőnyi és Tóth, 2009). A hidrosztratigráfiai egységeket és jellemzőiket a már bemutatott 8. ábra mutatja.

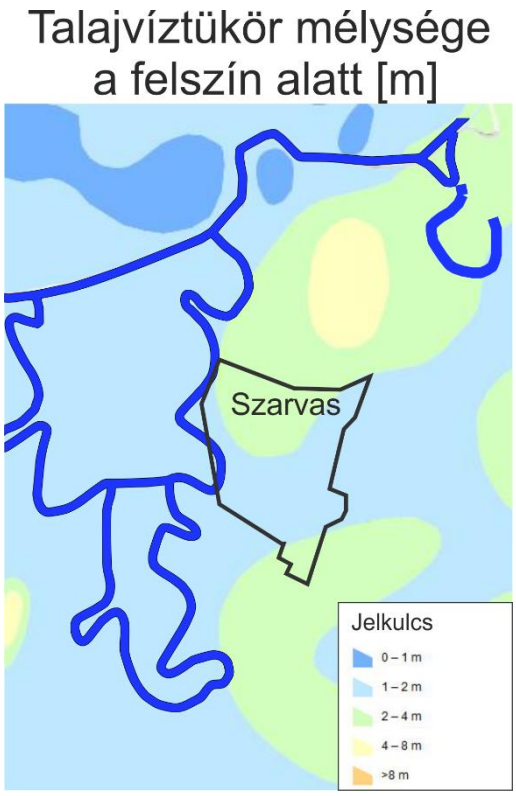
A medence kitöltés legalsó egysége a Pre-Pannóniai Vízvezető képződmény, amibe a Pre-Pannóniai Neogén formációk és a Békés Formáció is beletartozok K=10^{-6} m/s hidraulikus vezetőképesség értékkel. Efölött korellációban az Endrődi, Szolnoki és Algyői Formációkkal található az Endrődi Vízfogó (K=10^{-9}-10^{-8} m/s), Szolnoki Vízvezető (K=10^{-7}-10^{-6} m/s) és az Algyői Vízfogó (10^{-8}-10^{-7} m/s) képződmények. A legfelső Nagyalföldi Vízvezető képződmény (K=10^{-5} m/s) magába foglalja az Újfalui és a Zagyva formációkat és a Kvarter üledékeket, melyekre jellemző az aleurit, a durvaszemű homok és az igen permeabilis kavics testek térbeli összekapcsoltsága. Míg ezen vízvezető kéződmény alsó részéből termálvíz nyerhető, addig a felső részéből nagy mennyiségű felszínalatti víz termelhető ki. Összefoglalva, a medence Neogén üledékkitöltéseire jellemző a hidraulikus folytonosság geológiai időskálán (Tóth és Almási, 2001). A regionális áramlási rendszereken gravitációs áramlási rendszerek hierarchikusan fészkelnek. A Körös területére jellemző a feláramlás minden mélységben (Tóth és Almási 2001). Ezt az áramlást szemlélteti a 11. ábra .





11. ábra Az Alföld ÉNY-DK-i hidraulikus keresztszelvénye, melyen kutatási területemet jelöltem narancssárga négyzettel (Tóth és Almási 2001 után módosítva)

Az Alföld legnagyobb területén a felszínalatti víz átlagos mélysége 2 méter körüli, viszont vizsgálati területünkön 2–4 méter közötti. Többek között a folyók mentén gyakori, és nagy kiterjedésben található 1–2 méteres mélységintervallumban a talajvíztükör (12. ábra). A Holt-Körös mindkét oldalán 1-2 m mélységben helyezkedik el, míg Szarvastól északra eső területen láthatunk egy lokális süllyedést a vízmélységben, 2-4 m mélységig (Kuti L 2005). Továbbá a már bemutatott szelvényen (10. ábra) bejelöltem a felszínalatti víz nyugalmi szintjét, és a felszínalatti víz ingadozásának zónáját, amely átlagosan 1-2 m változást jelent a területen.



12. ábra Talajvíztükör mélysége a felszín alatt (MBFSZ Magyarországtalajvíz térképei 2020, után módosítva)

A Nagyalföldi Vízvezető képződmény felső része folyóvízi eredetű kőzetekből áll. Az övzátonyok és ártéri fáciesek magas agyagtartalma miatt a vertikális vízvezető képessége romlik a képződményeknek (Tóthné H. K. 1997).

A kutatási területének 40-50%-át regionálisan jó vízvezető képességű hidrosztratigráfiai egységek építik fel. Hidrodinamikai szempontból a terület regionálisan feláramlási területként tartható számon (Erdélyi, M. 1976, Tóth és Almási 2001), de lokális leáramlás és vegyes áramlási területek is elkülöníthetők. Az áramlás iránya a domborzat esésviszonyait követi, DK felől ÉNy felé a síkság belsőbb területei felé áramlik a víz a felszín alatt (Almási I. 2001).

A csapadékból táplálkozó felszínalatti víz - a késő ősztől kora tavaszig lehulló csapadékoknak és az időszakra jellemző minimális párolgásnak köszönhetően - márciusban éri el a legmagasabb szintet, majd a nyári félévben az erőteljes párolgás következtében fokozatosan egyre mélyebbre süllyed és kora őszre (szeptember, október) kerül a legmélyebbre. A holtág környékének talajvízszintjét az erőteljes emberi beavatkozások - mesterséges vízkormányzás, öntözés, vízkivétel, csatornázás, belvízlevezetés - alapvetően befolyásolják. A holtágtól K-re vízzáró, agyagos felszínközeli képződményeket, Ny-ra pedig viszonylag jó vízfelvevő képességű és víztartó jellegű, infúziós lösz és folyóvízi aleuritos képződményeket találunk. A felszínalatti víz hőmérsékletének legalacsonyabb értékei tavasz végén (a hóolvadásból származó „hideg” vizek), míg hőmérsékleti maximuma - a rétegek

hőátadása, illetve a víz nagyobb fajhője miatt csak szeptember hónapban jelentkezik, pedig az évi legmagasabb középhőmérsékleti érték általában augusztusban fordul elő (Tóthné H. K. 1997)

Általánosságban elmondható, hogy a talajvíz oldott anyag tartalma az Alföld peremétől a belső részek felé növekszik, hiszen a lerakott üledék a középső tájak felé egyre finomabb frakciójú, így ebből sokkal több ásványi anyag oldható ki, mint a durva homok- és kavicsrétegekből. A koncentráció növekedéséhez hozzájárul a talajvízszint időszakos vertikális ingadozása is (Kuti és társai 2005).

A Tiszától keletre lévő területek nagy részére a nátrium-hidrogénkarbonátos, kisebb mértékben a nátrium-szulfátos vizek fordulnak elő A Szarvas környéki talajvizek kémiai összetétele igen változatos képet mutat: A legfelső felszínalatti vízréteg összes-sótartalma akár 1000-2000 mg/l is lehet a területen (Kuti és társai 2005).

A felszínalatti víz minőségét legjobban az antropogén hatások (műtrágyázás és szerves anyagok talajszennyezése) befolyásolják és ez a hatás leghamarabb az oldott anyag tartalom és a sókoncentrációk megnövekedésében tapasztalható (Tóthné H. K. 1997)

6-10 méter mélység alatt viszont már hígabb felszínalatti vizeket találunk. A nátriumgazdag feszínalatti vizek szerepet játszanak a talajképződésben, szikes talajok kialakulásában (Rónai A. 1961).

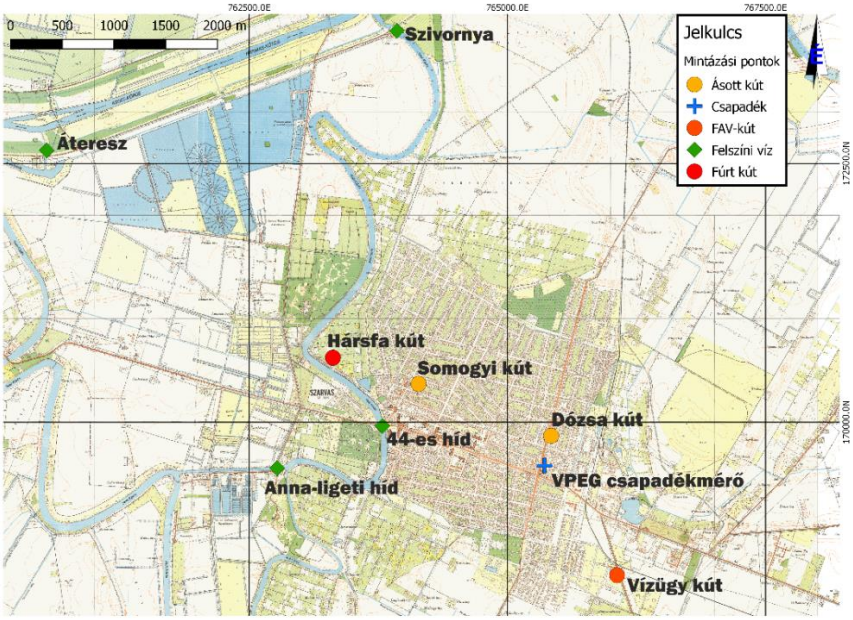
3 Mintavételezés, mérési módszerek bemutatása

3.1 Kutatás szakaszai

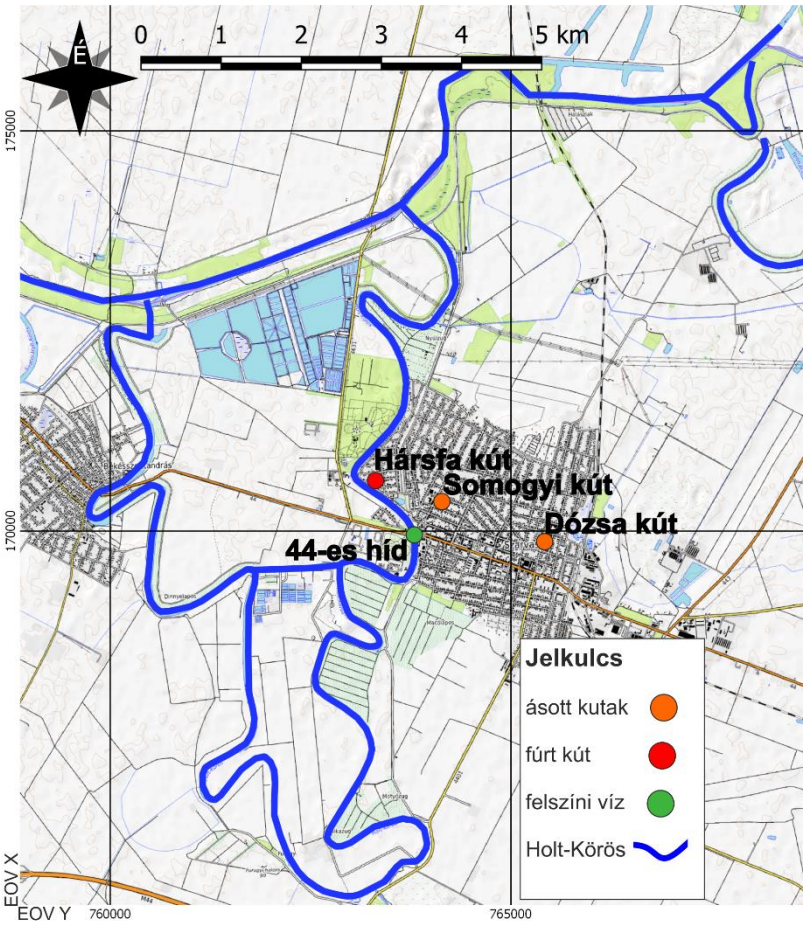
A kutatás első szakaszában vízmintavételezés történt csapadékból, sekély mélységű kutakból (4 db) és a Holt-Körös 4 pontjáról. Az első szakasz 2019. június 30.-tól 2019. október 14.-éig tartott. Ez a szakasz lefedi egy évből a nyári-őszi időszakot. A mintavételek 12-14 naponta történtek. Az 13. ábra szemlélteti a mintavételi pontokat Szarvas környékén a kutatás 1. szakaszára, mely fázist a Vajda Péter Evangélikus Gimnáziummal munkatársaival, tanulóival végeztem.

A kutatás második szakasza 2020.január 30.-ától 2020. március 27.-éig tartott. A mintavételezést a járványügyi vészhelyzet miatt kellett befejezni. Ez a szakasz megfeleltethető egy év tél végi kora tavaszi időszakának. A kutatás ezen szakaszában végzett

mintavételezést a 2019-es év eredményeire alapozva csökkentett mintavételi ponttal, egyenlő időközönként (14 naponta), kevesebb mérést végezve hajtottam végre. A 14. ábra szemlélteti a mintavételi pontokat a kutatás második szakaszára.



13. ábra Szarvas környezetének térképén feltüntetve a mintavételi pontok a. kutatási 1.szakaszában (Rába I. 2019)



14. ábra Szarvas környezetének térképe, melyen feltüntettem a kutatás 2. szakaszában használt mintavételi pontokat

3.2 Mintavételezés megvalósítása, mintavételi pontok bemutatása

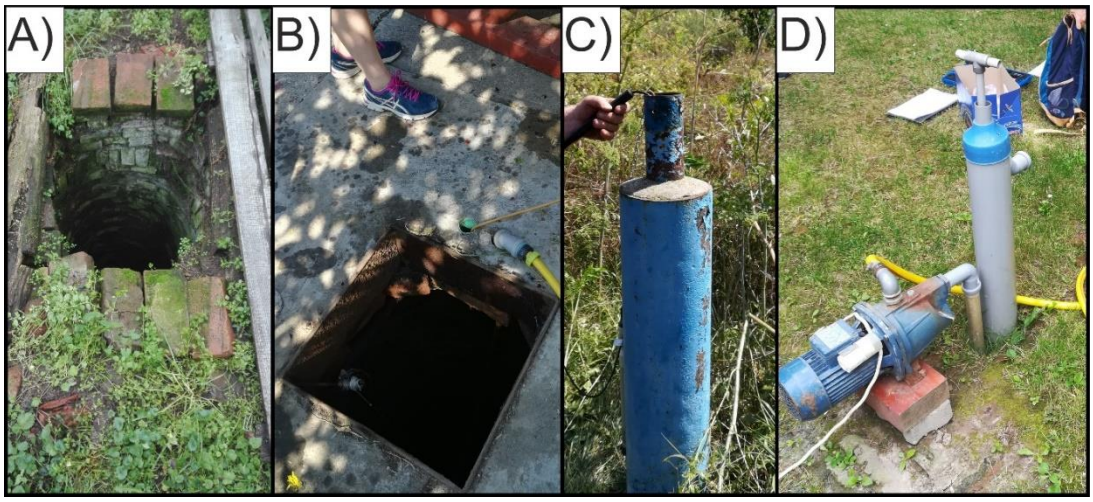
3.2.1 Csapadék

A területen lehullott csapadékról a Vajda Péter Evangélikus Gimnázium automata meteorológiai mérőállomása (továbbiakban *VPEG csapadékmérő* /15. ábra/) szolgáltatott információt. A kutatás mindkét szakaszában folyt csapadékgyűjtés.

15. ábra VPEG csapadékmérő műszer az iskola tetején (Rába, I. 2019 után módosítva)

3.2.2 Kutak mintázása

A felszínalatti vizek megmintázása érdekében a Holt-Köröstől távolodva négy kutat jelöltünk ki mintavételezésre (16. ábra). Ez az elrendezés elméletben arra szolgál, hogy képet kapjunk a felszínalatti víz áramlásáról és a Holt-Körössel való szelvénymenti kapcsolatáról. Fontosnak tartottam, hogy a csapadék mérés közelében is legyen egy kutunk, ezt a feladatot a Dózsa György utca 17. szám alatt található ásott kút látta el. A kútra „*Dózsa kút*”/ A)/-ként hivatkozom. A következő ásott kút a Somogyi Béla utca 9. házszám alatt helyezkedik el, amit innentől fogva „*Somogyi kút*” / B)/-ként említek. A KÖVIZIG felügyelete alá tartozó T02778-as jelzésű vízszint megfigyelő kút 3,4 km-re található a Köröstől, melyre a dolgozatban az egyszerűség végett „*Vízügy kút*” / C/-ként fogok hivatkozni. A Holt-Köröshöz közel nem volt lehetőségünk ásott kutat találni, ezért egy fúrt kutat jelöltem ki a Hársfa utca 25. számú ház udvarában, melyről „*Hársfa kút*” / D)/-ként beszélek a továbbiakban.



16. ábra Kutak bemutatása képekben (balról jobbra Dózsa kút, Somogyi kút, Vízügy kút, Hársfa kút)(Rába I. 2019)

Terepi méréseket is végeztem, melyek magukba foglalják, a hőmérséklet, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, (WTW Multiparaméteres mérőműszerrel) mérését és továbbá a fúrt kút kivételével vízszint adatok is rögzítésre kerültek. A kutak mintavételezése a második szakaszban annyival változott, hogy a mintázott kutak közül kikerült a Vízügy kútja, mivel a kút igen bizonytalan eredményeket mutatott. Tehát mintavételenként 3 vízmintám származott az ásott-, illetve fúrt kutakból.

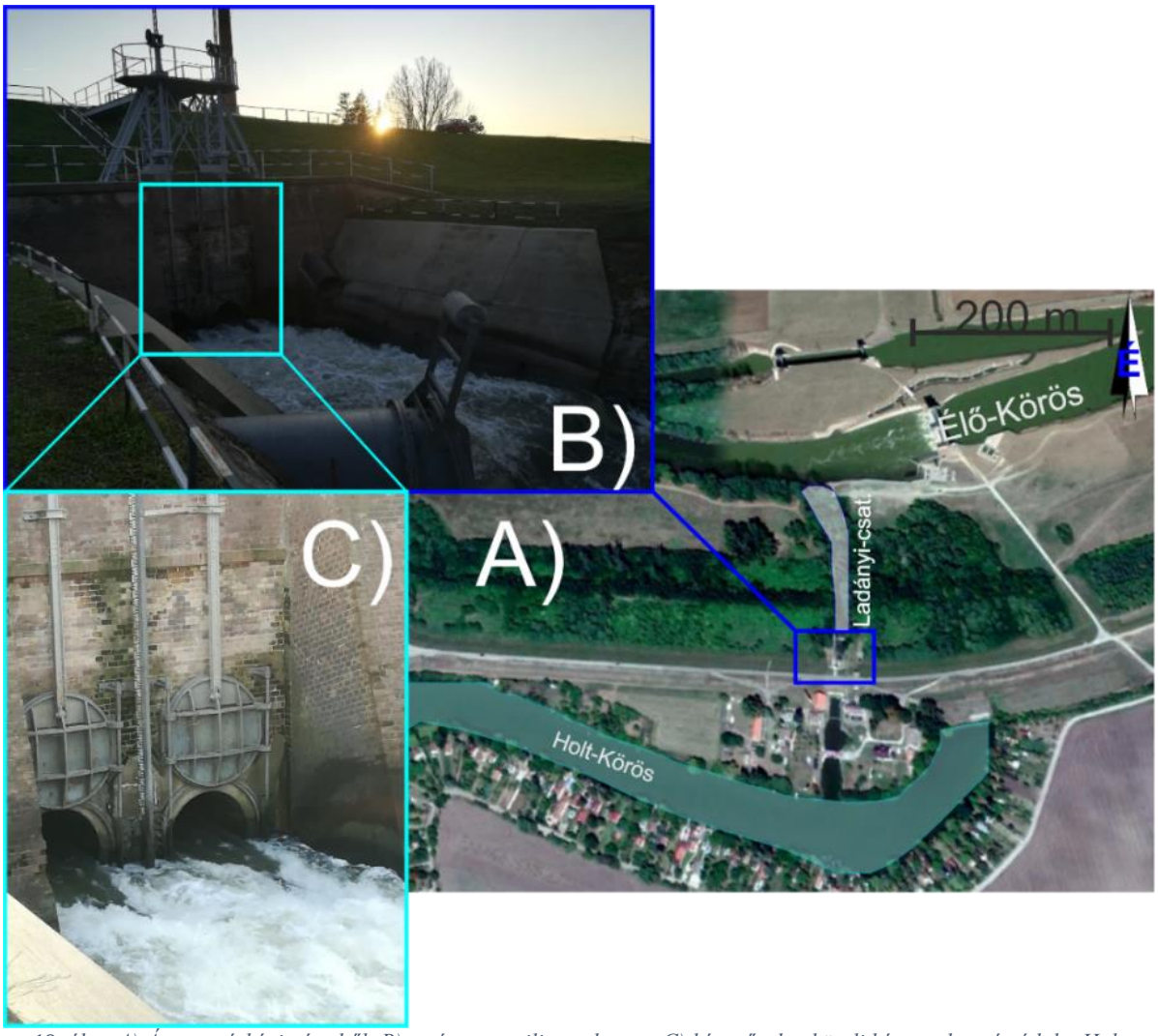
3.2.3 Holt-Körös

A kutatás első szakaszában a felszíni víz mintavételi pontokat a Holt-Körös különböző pontjain jelöltem ki, azért, hogy információt nyerhessek a holtágba belépő (*Szivornya*) és onnan kilépő (*Áteresz*) víz összetétel változását illetően. A 17. ábra a *szivornya* tágabb környezetét mutatja be a. Mivel a mintákat a folyó „sodorvonalából" kell vételezni célszerű volt a holtágon átívelő *44-es hidat /*18. ábra *A/) és Annaligeti hidat /* 18. ábra *B*)/ kijelölni. Mindkét híd Szarvas határán helyezkedik el. Az *átereszt*, ahol kiengedik a holtág vizét vissza az Élő-Körösbe a 19. ábra szemlélteti, ahol az A) térképen az áteresz tágabb környezete látható, a B) kivágaton a zsilipszerkezet és a C) kivágaton a két cső látszik, melyeken történik a vízáteresztés. A felszíni vízminták sodorvonalból, a felső 0,5 m mélységből származnak, szintén vízkémiai- és stabilizotóp vizsgálatok céljából is lett véve minta és el lettek végezve ezeken is az előző bekezdésben felsorolt terepi mérések.

A második szakaszában nem történtek mind a négy pontján mintavételek a Holt-Körösnek. A kutatás második szakaszában csak a 44-es számú közúti hídnál történtek vízmintavételek, a kutatás első szakaszából levonható következtetések miatt (nem történik jelentős változás a holtág hosszában a vízminőségben) (Rába, I. 2019)

17. ábra Az Élő-Körösből a szivornyán át juttatják a Holt-Körösbe a vizet, a kivágaton a szivornya-ház látható (Rába I., 2019)

18. ábra A) 44-es híd; B) Annaligeti híd (Rába I., 2019)



19. ábra A) Áteresz térképi nézetből; B) az áteresz zsilipszerkezete; C) két csőrakat közeli képe melyen átzúdul a Holt-Körösből a víz a csatornába, majd onnan az Élő-Körösbe jut (Rába I., 2019)

3.3 *Vizsgálati módszerek*

A vizsgálati módszerek megegyeztek a kutatás mindkét szakaszában ezért diákköri dolgozatomban tárgyaltak szerint mutatom be a módszereket (Rába I 2019).

3.3.1 Vízkémia

A vízmintákat az ELTE TTK, FFI Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékére szállítottam, ahol főelem analízisnek vetettem alá azokat.

Alkalmazott módszerek:

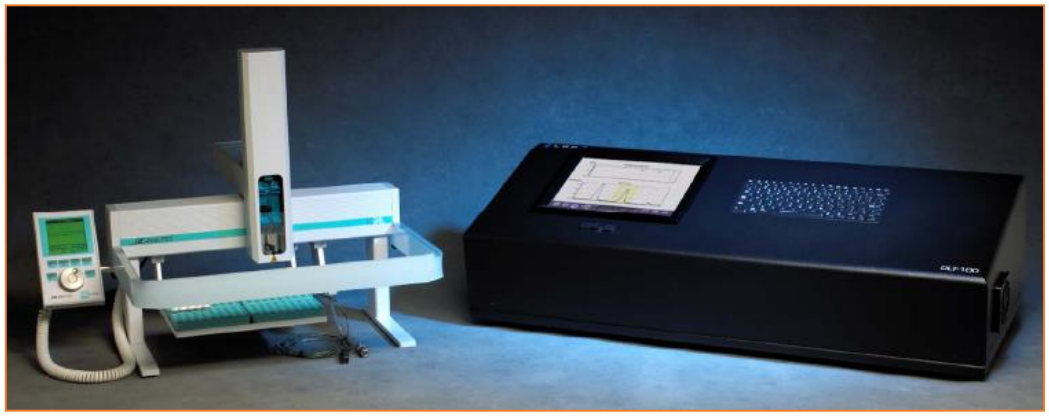
- HCO_3^- meghatározása titrálással
- Cl^- argentometria
- Ca^{2+}-, Mg^{2+} komplexometria
- SO_4^2 fotometria
- K^+-, Na^{2+} lángfotometria

A kutatás első szakaszában 8 alkalommal történt mintavétel, ezért 8 időpontból vannak elérhető vízkémiai eredményeim mind a kutakból, mind a felszíni vízből.

A kutatás második szakaszában vett vízmintákból vízkémiai eredményeim a 2020.jan. 31, 2020. február 14., 2020. február 28. dátumokra érhetők el.

3.3.2 Stabilizotópos mérések

A vízminták hidrogén- és oxigénizotóp összetételének elemzését LGR LWIA- 24d lézer analizátorral (*20*. ábra) végeztük az MTA Csillagászati Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézetében. Ennek a mérési eljárásnak nagy előnye a korábbi tömeg spektrométeres eljárással szemben, hogy műszer egyidejűleg méri a hidrogén és oxigénizotóp összetételét közvetlenül a vízmintából különösebb minta előkészítés nélkül.



20. *ábra LGR LWIA- 24d lézer analizátor*

A mérés folyamata a következő: 1 ml vizet pipettázunk 2ml-es menetes nyakú üvegedénybe, majd szeptumos kupakkal lezárjuk. A PAL automata mintaadagoló fecskendő segítségével a 2 ml-es edényből 1 µl vizet szív ki, majd fecskendez be egy szeptumon keresztül az LGR LWIA-24d lézer analizátor párologtatójába. A párologtató gyenge vákuumban (≈0,01 bar) 80 °C-on elpárologtatja a vizet, ahonnan a pára eljut az analizátor mérőüregébe. A mérés lézerfénnyel történik és alapja, hogy a, $^{1}H^{1}H^{16}O$, $^{1}H^{1}H^{18}O$ és $^{1}H^{2}H^{16}O$ izotopológok eltérő frekvenciákon abszorbeálják a fényt.

Minden minta esetében 6 befecskendezés történik, ahol a memóriahatás kiküszöbölése érdekében csak az utolsó 4 befecskendezés mérési eredményét használjuk. Az analizátor időbeli érzékenységváltozására korrigálunk. A mérésekhez a BWS1, BWS2 és BWS3 laborsztenderdeket használtuk (Czuppon et al., 2018), amelyeket korábban nemzetközi sztenderdekhez (VSMOW= Vienna Standard Mean Ocean Water, SLAP= Standard Light Antarctic Precipitation) kalibráltak. Az eredményeket a nemzetközi VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) etalonhoz viszonyítva ezrelékben adjuk meg a szokásos delta (δ) jelöléssel:

$$\delta D / \delta 18O = \frac{R\text{minta} - Rsztenderd}{Rsztenderd} * 1000‰$$

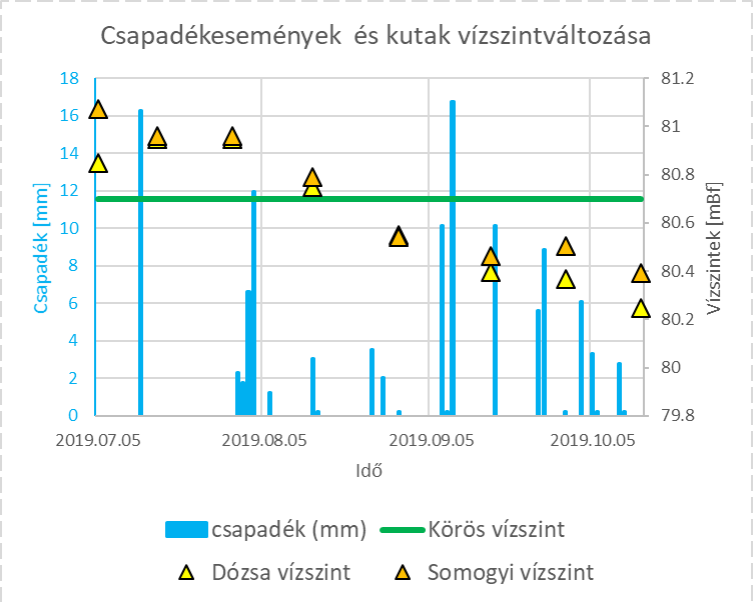
ahol R_{minta} és $R_{sztenderd}$ a minta és a sztenderd $^{2}H/^{1}H$ (D/H), illetve $^{18}O/^{16}O$ aránya. A δ D mérések bizonytalansága (minta-előkészítés+mérés) ±0,6 [‰]VSMOW, a δ ^{18}O a mérése bizonytalansága (minta-előkészítés+mérés) ±0,1 [‰]VSMOW.

4 Mintavételek és mérések eredményei

4.1 Kutak és a Holt-Körös vízszintjei

Amilyen egyszerű megmérni a kutak és a felszíni vizek vízszintadatait, annál nehezebb megfelelően értelmezni azokat, mivel igen sok tényező befolyásolja ezen szintek változását. Kezdve az évszaktól függő csapadékmennyiségtől, a felszínalatti víz áramlási irányán és sebességén át, egészen a mesterségesen változtatott tényezőkig (lásd Holt-Körös vízszintje).

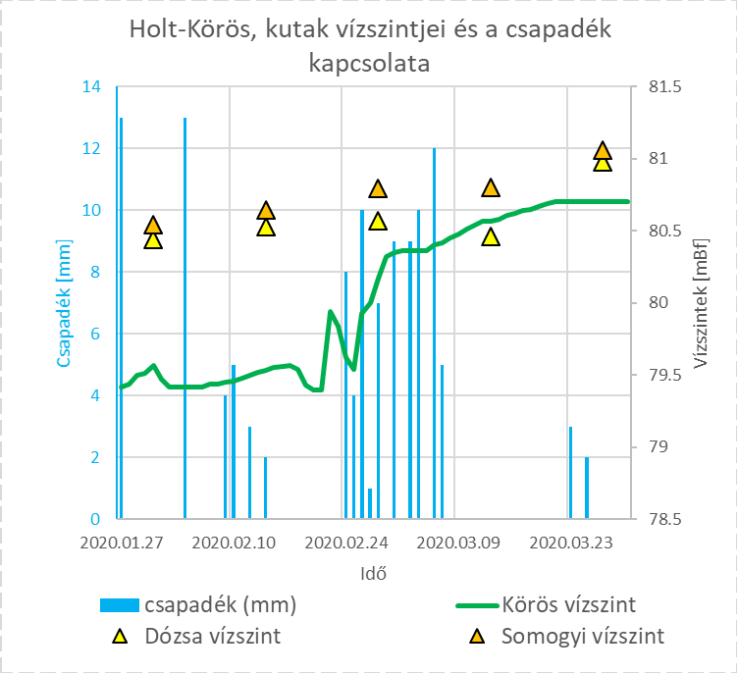
A kutatás első szakaszában (júniustól októberig) egy nyolc mintás méréstartományból szerkesztettem a 21. ábra diagramját, mely megmutatja, hogy a folyamatosan nyári szinten tartott holtág vízszintjéhez képest, hogyan alakulnak a kutak vízszintjei. A már említett befolyásoló tényezők közül a területre hullott csapadékot (világoskék oszlopokkal) és a Holt-Körös folyamatosan 80.7 mBf-en tartott vízszintjét (zöld vízszintes vonallal) is ábrázoltam. (Rába I., 2019). A diagramról látszik a kutak vízszintcsökkenésének féléves trendje, a mintázás júniustól októberig folyamatos csökkenés látható a vízszintekben.



21. ábra A Somogyi- és Dózsa kút vízszintváltozása a Holt-Körös szintjéhez viszonyítva, csapadékesemények feltüntetésével a kutatás 1. szakaszában (Rába I. 2019 után módosítva)

Ezen ábrázolásmódot követve, a kutatás második szakaszában történt mérések adatait az 22. ábra szemlélteti. Ezen az ábrán ugyanazt a jelölést alkalmaztam, mint a 21. ábra szerkesztésénél, viszont itt nem egy vízszintes vonal jelöli a holtág vízszintjét, mivel ebben az időben történt a téli szintről való átállás a nyári 80,7 mBf-es szintre. A zöld görbe 79,4 mBf körüli szinten morog február közepéig, ahol a vízszintekben csökkenést először egy kisebb hirtelen vízszintemelés, majd február 24.-étől folyamatos vízszint növekedés figyelhető meg.

A kutakban viszonylag folyamatos és egymással párhuzamos a vízszintnövekedés (kivéve március közepén, amikor a Dózsa kút vízszintemelkedése kissé lemarad a Somogyi kútétól).

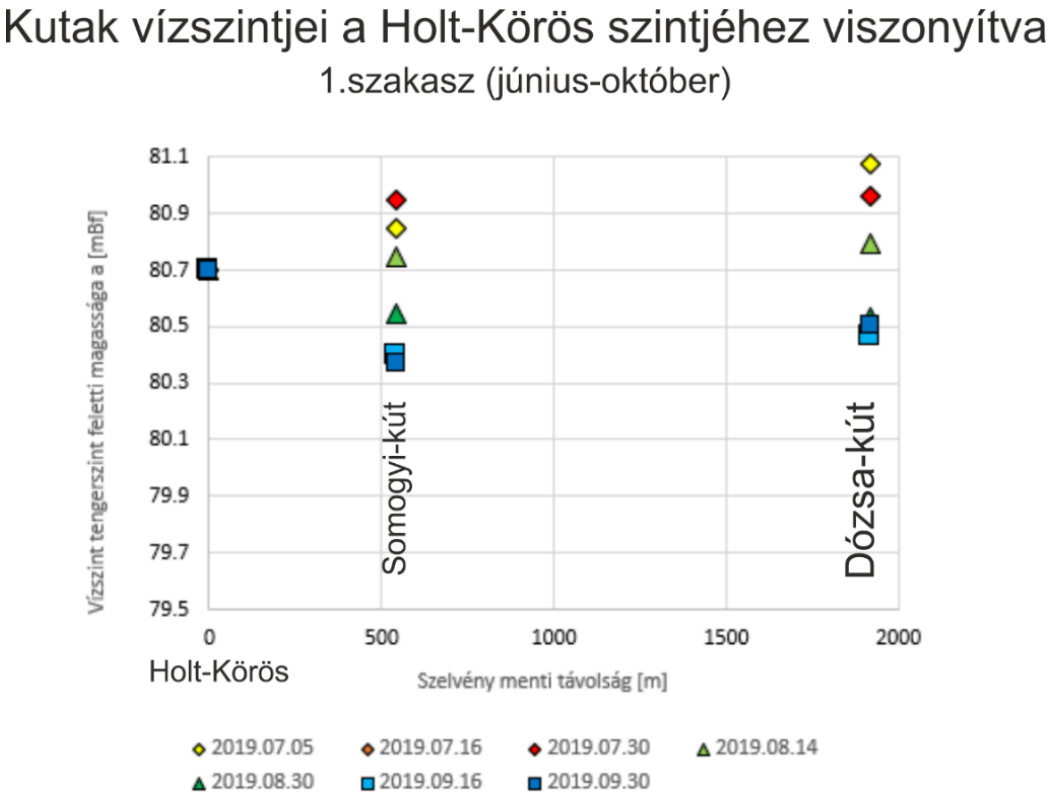


22. ábra A Somogyi- és Dózsa kút vízszintváltozása a Holt-Körös szintjéhez (vízügy adatsorából) viszonyítva, csapadékesemények feltüntetésével a kutatás 2. szakaszában

A mintavételi pontokat eleve úgy jelöltem ki, hogy a megmintázott kutakat egy szelvény mentén lehessen ábrázolni, melyből a felszínalatti vízáramlás irányára következtethetek. Ezt a szelvény-nyomvonalat a 23. ábra térképe szemlélteti:

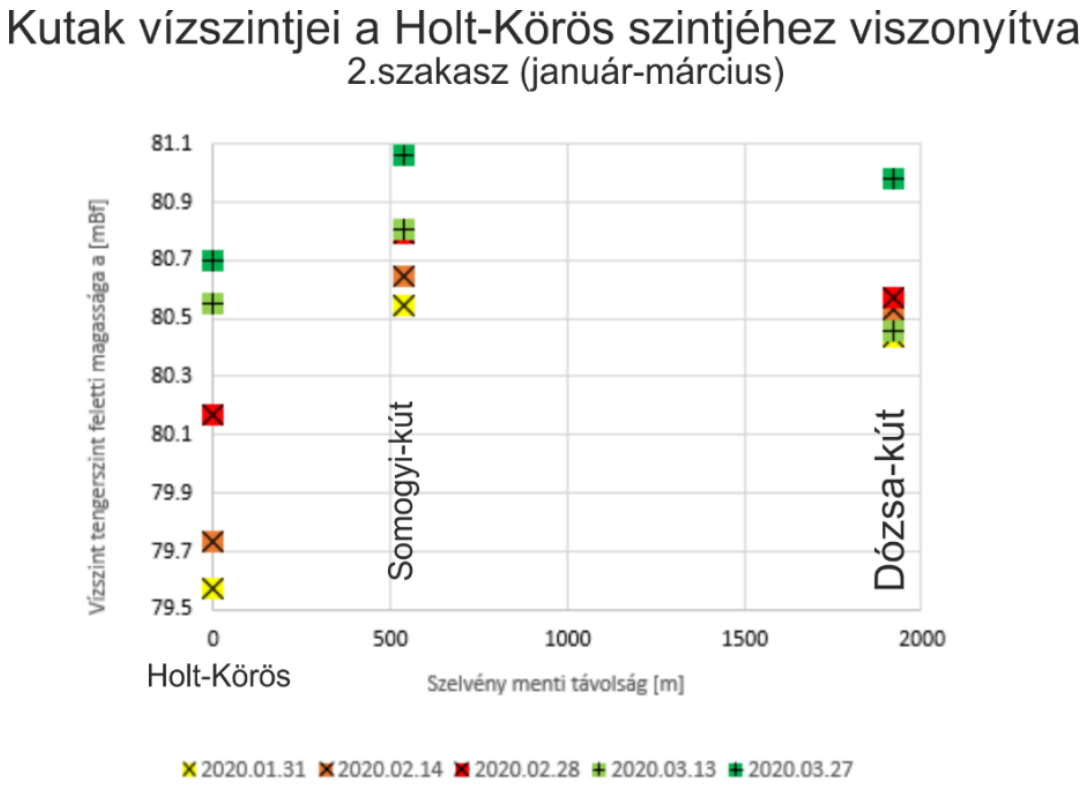
23. ábra Mintavételi pontokon keresztül húzott szelvény-nyomvonal Szarvas területén (Rába I. 2019 után módosítva)

A következő 24. ábra a júniustól-októberig történt mintavételek vízszintmérési eredményeit ábrázolja a szelvény-nyomvonal mentén. A diagramról az olvasható le, hogy az idő előre haladtával folyamatosan csökkenő kútvízszintek augusztus közepétől a mesterségesen 80,7 mBf-es szinten tartott holtág vízszintje alá csökkennek. (Rába I., 2019).



24. ábra Kutak vízszintváltozása júniustól októberig (Rába I. 2019)

Az első szakasz mintavételezéseit folytatva, ábrázolom a januártól márciusig tartó időszakban történt mintavételek eredményeit ugyanezekre a mintavételi pontokra. Ebben a helyzetben viszont nem beszélhetünk állandó holtág vízszintről, mivel éppen a téli szintről történő átállás ekkor zajlott, ezért látható több vízszintet ábrázoló pont a Holt-Körösnél (25. ábra). A diagramról leolvasható, hogy a kutak vízszintjei párhuzamosan emelkedtek a Holt-Körös mesterséges szintemelésével. A Somogyi kútban, ebben az időszakban szisztematikusan magasabb volt a vízszint, mint a Dózsa kútban és mint a Holt-Körösben. Az egész időszakban a Somogyi kút felől a Holt-Körös felé áramló vizet igazolnak az eredmények. A vizsgált időszakban csupán a gradiens tér el. A gradiens értékei február közepéig szinte konstans értéket mutattak: 2020.01.31.-én 0,00187 m; 2020.02.14.-én 0,00199 m; 2020.02.28.-án kissé lecsökken 0,00115 m-re; majd 2020.03.14.-én 0.000189 m-re visszatér; végül 2020. 03.27.-én az utolsó méréskor, amikor már elérte a nyári szintet a Holt-Körös a gradiens értéke lecsökkent 0.00067 m-re.

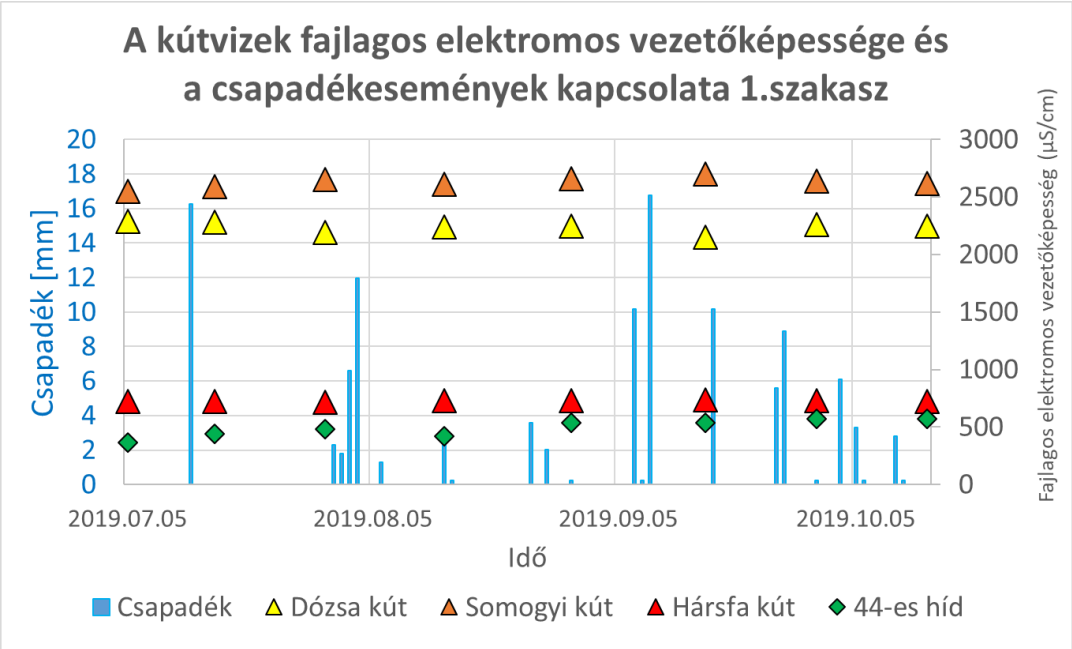


25. ábra Kutak vízszintváltozása januártól márciusig

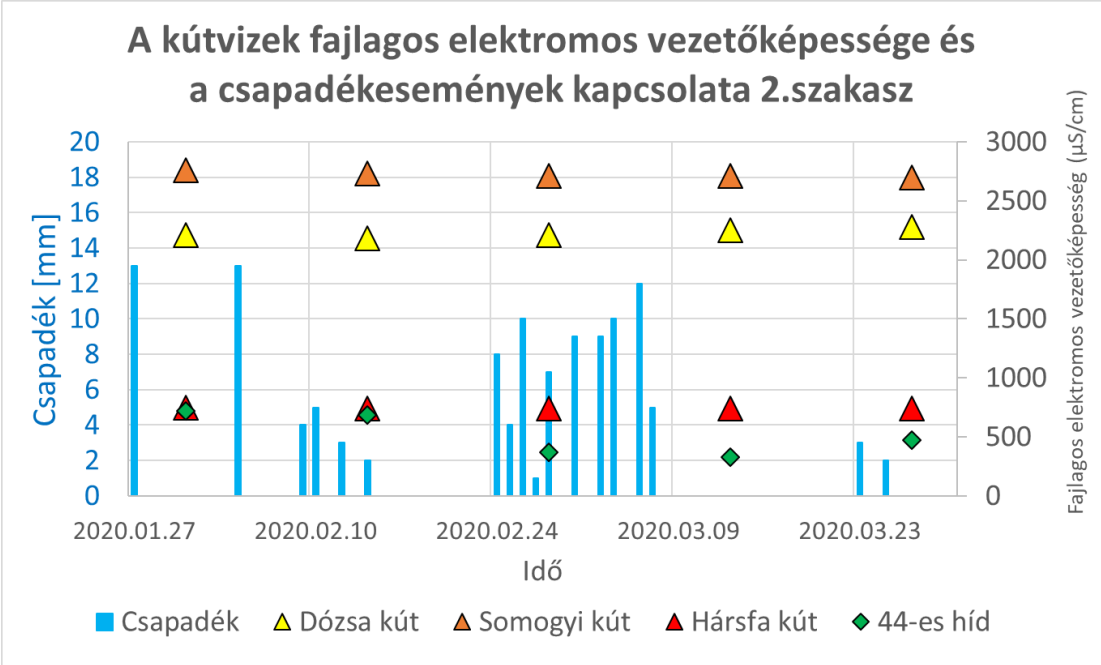
4.2 Fiziko-kémiai paraméterek mérési eredményei

4.2.1 Fajlagos elektromos vezetőképesség mérés

Tudományos Diákköri dolgozatomban a feltett kérdések arra vonatkoztak, hogy milyen kapcsolatot lehet kimutatni a területen a lehulló csapadék és a felszíni vizek (Holt-Körös) között (26. ábra). Ezen vizsgálatokat egészítettem ki a kutatás 2. szakaszában mért adatokkal. Minden mintavételi ponton helyszíni méréseket végeztem, hogy megvizsgálhassam a vizek fajlagos elektromos vezetőképesség változását. Ezen változásokat szemlélteti a 27. ábra



26. ábra Fajlagos elektromos vezetőképesség értékek a kutak- és a Holt-Körös vizében júniustól októberig (Rába I. 2019 után mdosítva)

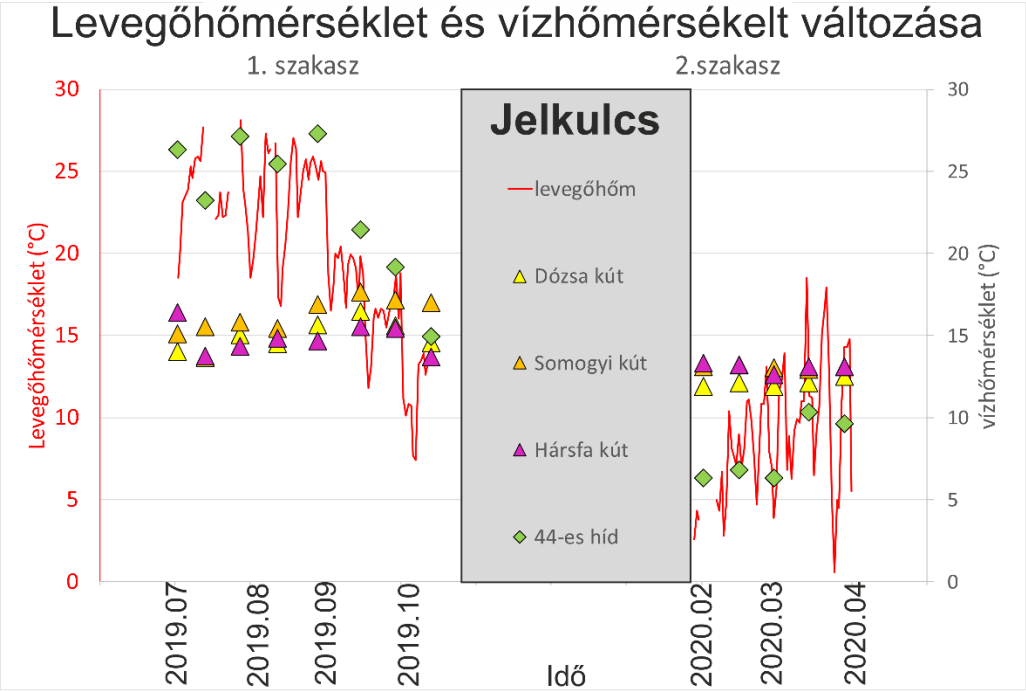


27. ábra Fajlagos elektromos vezetőképesség értékek a kutak- és a Holt-Körös vizében januártól-márciusig

Ezen diagramokból láthatjuk, hogy a Somogyi és a Dózsa kút értékei jóval magasabbak, mint a Hársfa kúté. A kutak egész évben szinte állandó fajlagos elektromos vezetőképesség értékeket mutatnak. A holtág fajlagos elektromos vezetőképessége az év során több megváltozik. Nyártól őszig emelkedő tendenciát mutat, és bár a téli időszakból nem áll rendelkezésünkre adat, ősszel biztosan elérte a felszíni víz a Hársfa kút értékeit. Viszont tavasszal a Holt-Körös értékei február végén jelentősen csökkennek.

4.2.2 Vízhőmérséklet

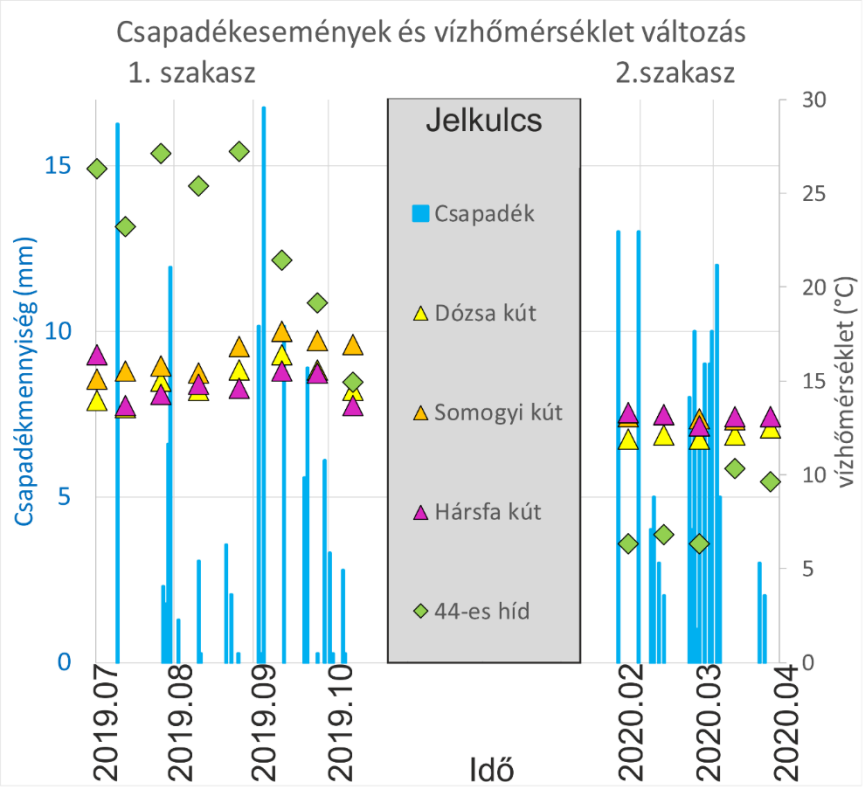
Vízhőmérséklet méréseket végeztem azért, hogy képet kaphassak annak időszakos változásáról és az egyes vizek (felszíni víz, kútvíz) éves stabilitásáról. A vizek hőmérsékletváltozását két tényezővel hasonlítottam össze. Egyrészt a levegő hőmérsékletének változásával vetettem össze a vizsgált időszakban (VPEG mérőállomás adatai) (28. ábra).



28. ábra Levegőhőmérséklet és a vízhőmérsékelt változása I. és II. kutatási szakaszra

A diagram szemlélteti azt, hogy a Holt-Körös vízhőmérséklete igen gyorsan reagál a levegő hőmérséklet változására, viszont a kutakban késleltetett reakciót láthatunk, ahogy az augusztusi kútvíz hőmérsékletek szeptember végéig lassan emelkednek, majd októberben csökkenni kezdenek. A tavaszi időszakban nem figyelhető meg hasonló változás a kutakban. Továbbá március jelentős növekedés figyelhető meg a felszíni víz vízhőmérsékletében is.

A vízhőmérséklet változását feltüntettem a területre hullott csapadék tekintetében (29. ábra) (Rába, I. 2019 után módosítva). A kutak nem mutatnak sem a nyári-őszi időszakban jelentős változást (Rába I. 2019) sem pedig a tavaszi időszakban.



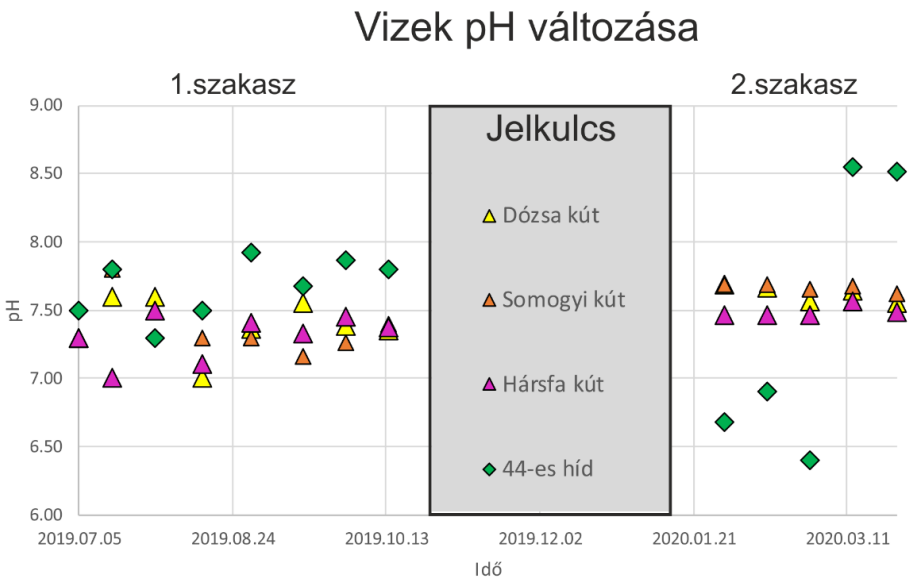
29. ábra Csapadékesemények és vízhőmérséklet változása a kutakban és a Holt-Körösben 1. szakasz (Rába I. 2019 után módosítva) és 2. szakasz

4.3 Vízkémia

4.3.1 Vizek pH-ja

A híg vizes oldatokban a pH egyenlő az oxóniumion-koncentrációjának tízes alapú logaritmusának ellentettjével. A tiszta víz pH-ja 7 a víz autopropolízise (egyensúlyi reakciója) miatt. Az esővíz pH-ja 5,6 körüli, míg a felszíni vizek pH-ja 6,5-8,5 között változhat. A felszínalatti vizek pH-ja (jelen esetben talajvízé) 6-8,5-ig változhat természetes esetben.

A terepi mérések során végeztem pH mérést, melynek eredményeit 30. ábraán mutatom be. Ezen diagramon látszik, hogy a felszíni víz (holtág) pH értékei sokkal nagyobb tartományban változnak, mint a kutak értékei. Márciusban markáns növekedés látható a holtág vizének pH értékeiben.

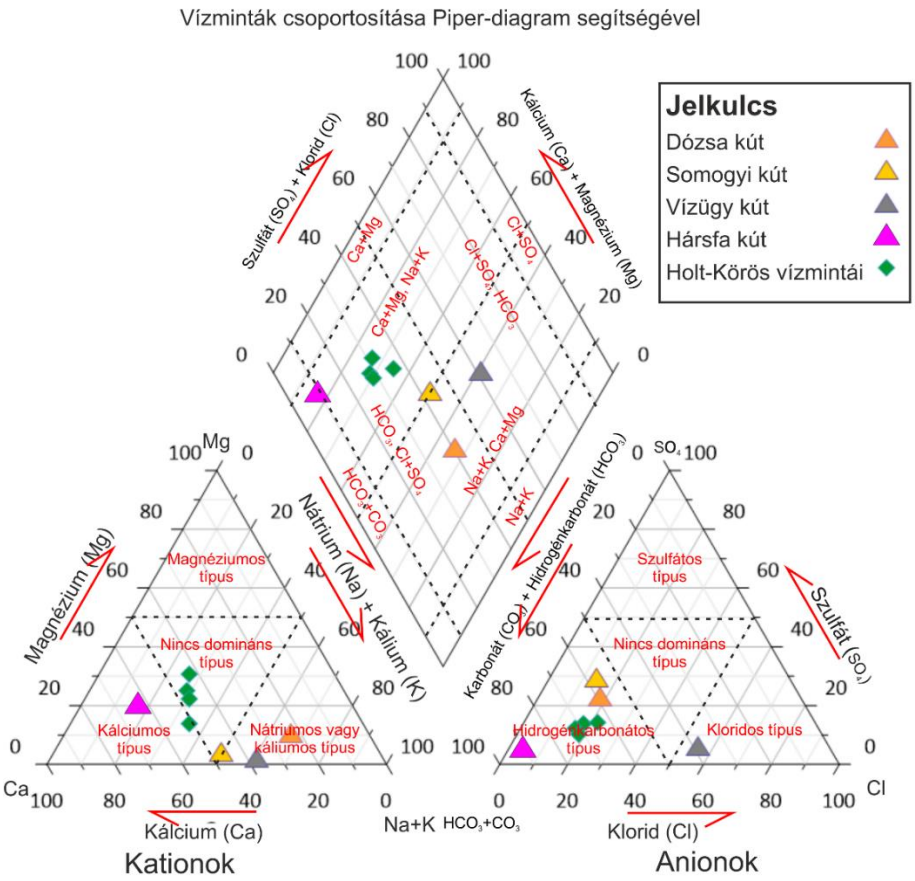


30. ábra Kutakban és Holt-Körös vizében pH változás a kutatási időszakban

4.3.2 Vízkémiai fáciesek

A vízkémiai elemzéséből származó adatok alapján vízkémiai fáciesekbe soroltam Szarvas területén megmintázott vizeket. Ezt a csoportosítást ábrán Piper-diagramon bemutatva láthatjuk. A Piper-diagram három mezőből áll, a bal alsó sarokban a kationok háromszög-diagramja, jobbra alul az anionoké, míg középen egy rombusz alakú diagram összegzi a kationok és anionok meq%-ban kifejezett mennyiségét. A háromszögek egy-egy csúcsa a megfelelő ion (vagy ionok összegének) normalizált koncentrációjának 100%-os értékét képviseli, meq/l értéket %-ban kifejezve. A kationok és az anionok százalékos (normalizált meq/l) mennyisége alapján minden egyes vízmintát egy-egy pontként ábrázolunk a jobb és baloldali háromszögben. Az összetartozó – anionok és kationok mennyiségét mutató – pontokat a – háromszögek külső élével párhuzamosan – a rombusz alakú diagramba vetítve, megkapjuk a vízminta főion-összetételét reprezentáló pontot.

A felszíni vizek hasonló vízkémiai összetételt mutatnak (zöld rombuszokkal jelölve), közel helyezkednek el a diagramon. A kutaknál viszont eltérések jelentkeznek. A Somogyi kút kálcium-nátrium-hidrogénkarbonát-szulfát-klorid fáciesbe tartozik. A Dózsa kút nátrium-kalcium-hidrogénkarbonát-szulfát-klorid fáciesű. A Vízügy kútja nátrium-kalcium-klorid-szulfát-hidrogénkarbonát fáciesű, míg a Hársfa kút vize kálcium-nártium-hidrogénkarbonát fáciesbe tartozik. A Holt-Körös vize kalcium-nátrium hidrogénkarbonát vízkémiai fáciesbe tartozik (Rába I., 2019) (31. ábra).

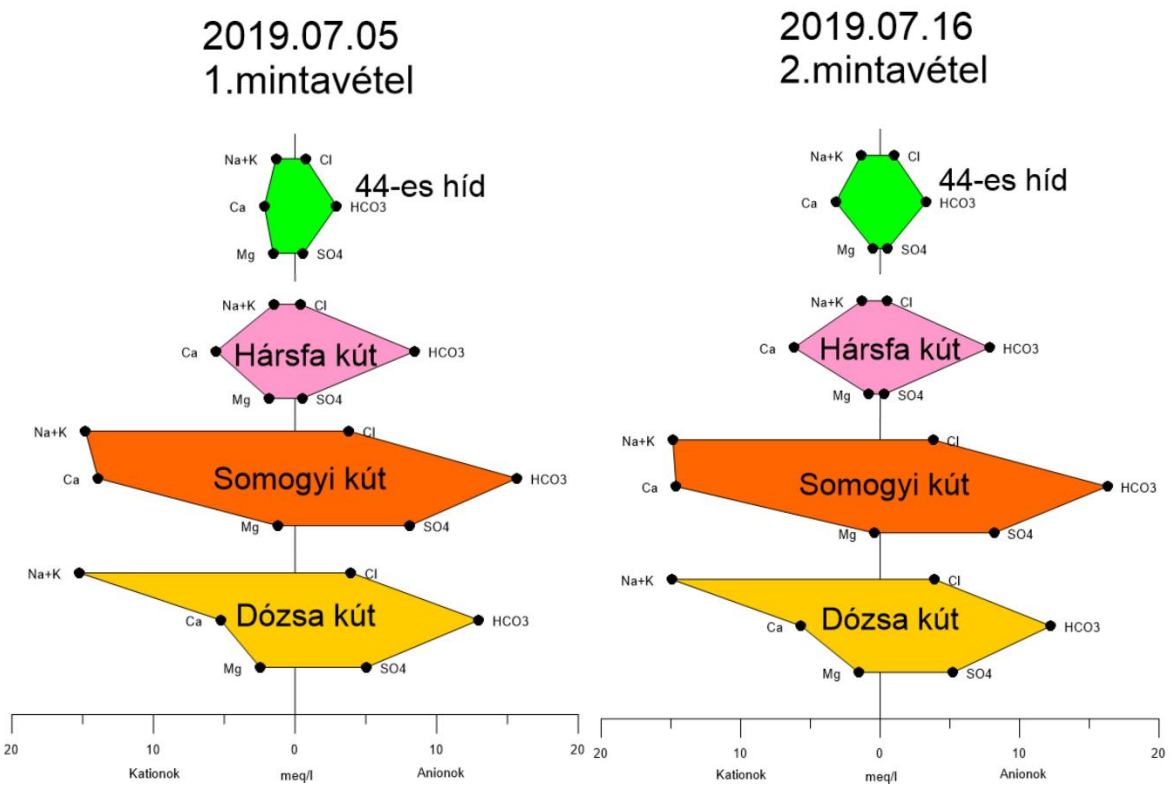


31. ábra Szarvasi vízminták vízkémiai fáciesei Piper-diagramon bemutatva (Rába I. 2019)

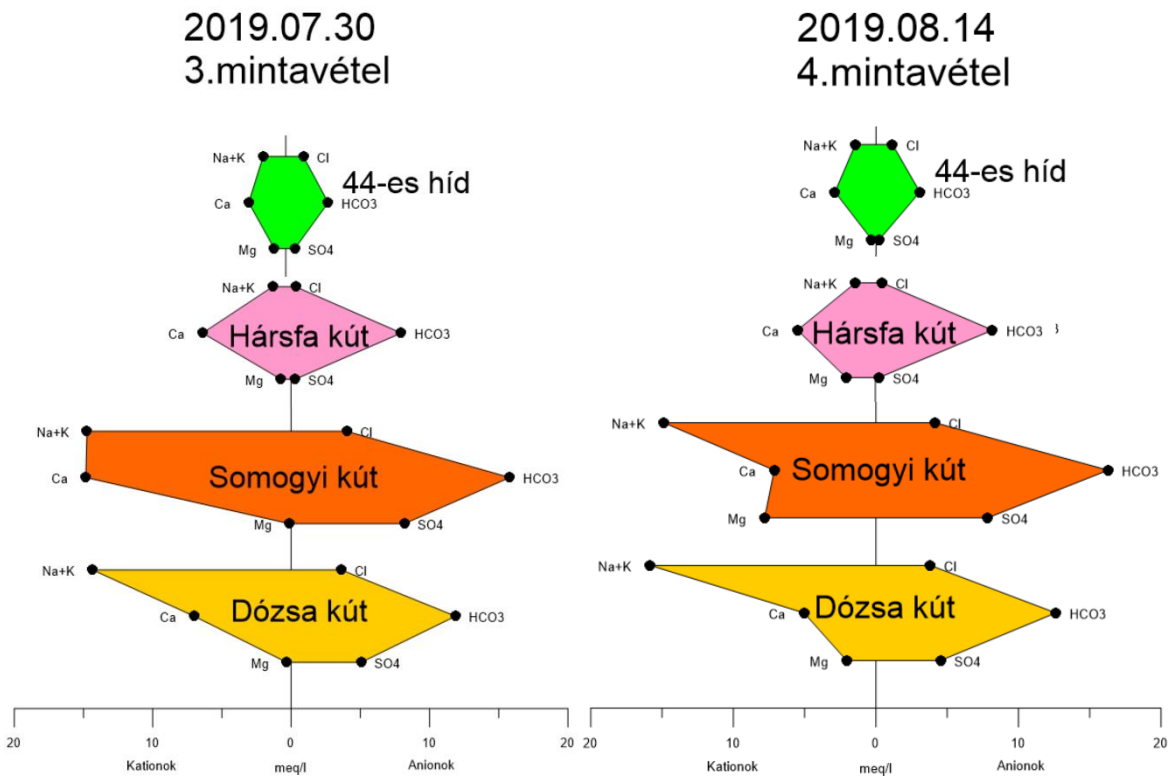
4.3.3 Vízkémiai paraméterek változása

Miután behatároltam az alapvető összetételét a vizeknek, arra is kíváncsi voltam, hogy az évszakos változás kimutatható-e a vízkémiai paraméterek változásában? Ezen kérdés megválaszolására Stiff-diagramokon tüntettem fel az egy időpontban vett vízminták vízkémiai paramétereit. Ebben a diagramban a valós koncentráció értékeket ábrázoljuk meq/l mértékegységben. A koncentráció értékeket adott anion-kation párhoz tartozó vízszintes koordinátatengelyen ábrázoljuk. A kationokat a tengely bal oldalán, míg az anionokat a jobb oldalon tüntetjük fel. A legfelső tengelyen a Na^+ és Cl^-, a másodikon a Ca^{2+} és a HCO_3^-, a harmadikon a Mg^{2+} és a SO_4^{2-} koncentrációkat ábrázoljuk. A koncentrációértékeket képviselő pontokat egyenes vonalakkal összekötve a kémiai összetételre jellemző sokszöget kapunk. E sokszögek az egyes vízminták összetételének vizuális összehasonlítását teszik lehetővé. A Stiff-diagram előnye, hogy a valós koncentráció értékek közvetlenül leolvashatók róla.

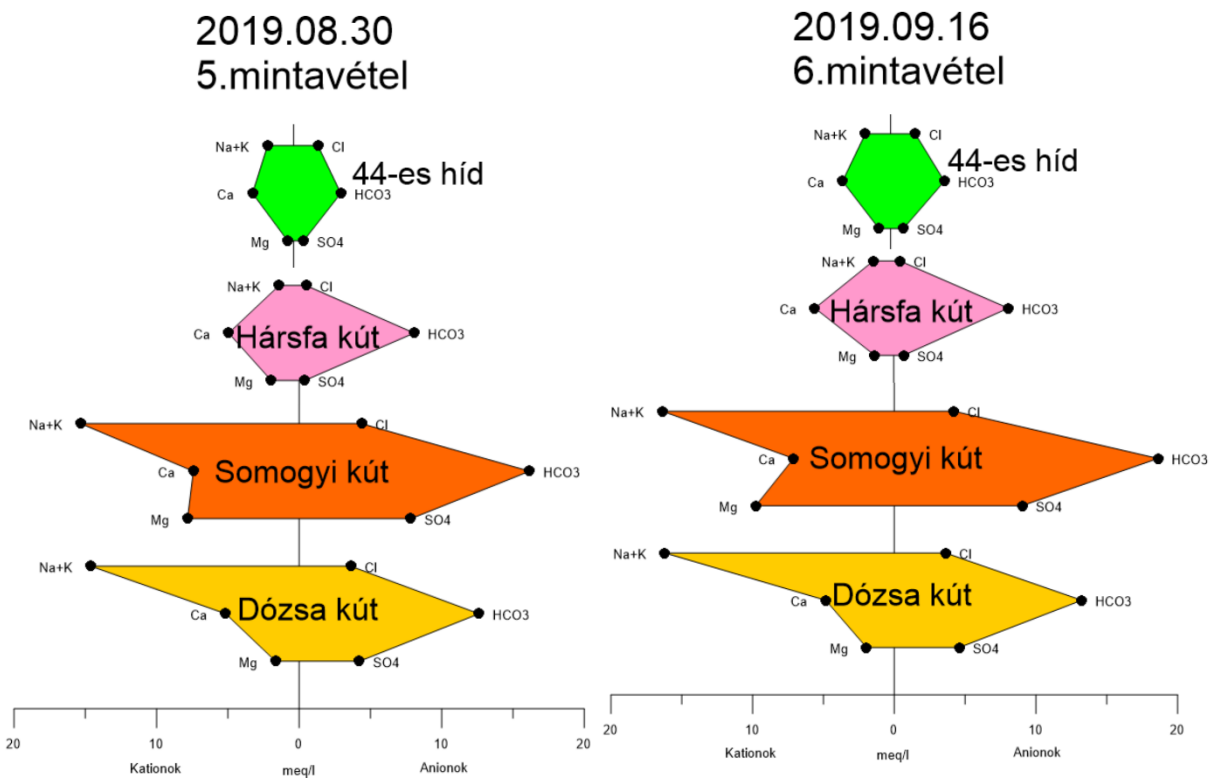
A kutatás első és második szakaszából származó adatokat bemutató Stiff-diagramokat a következőkben szemléltetem (32. ábra,33. ábra,34. ábra,35. ábra,36. ábra,37. ábra).



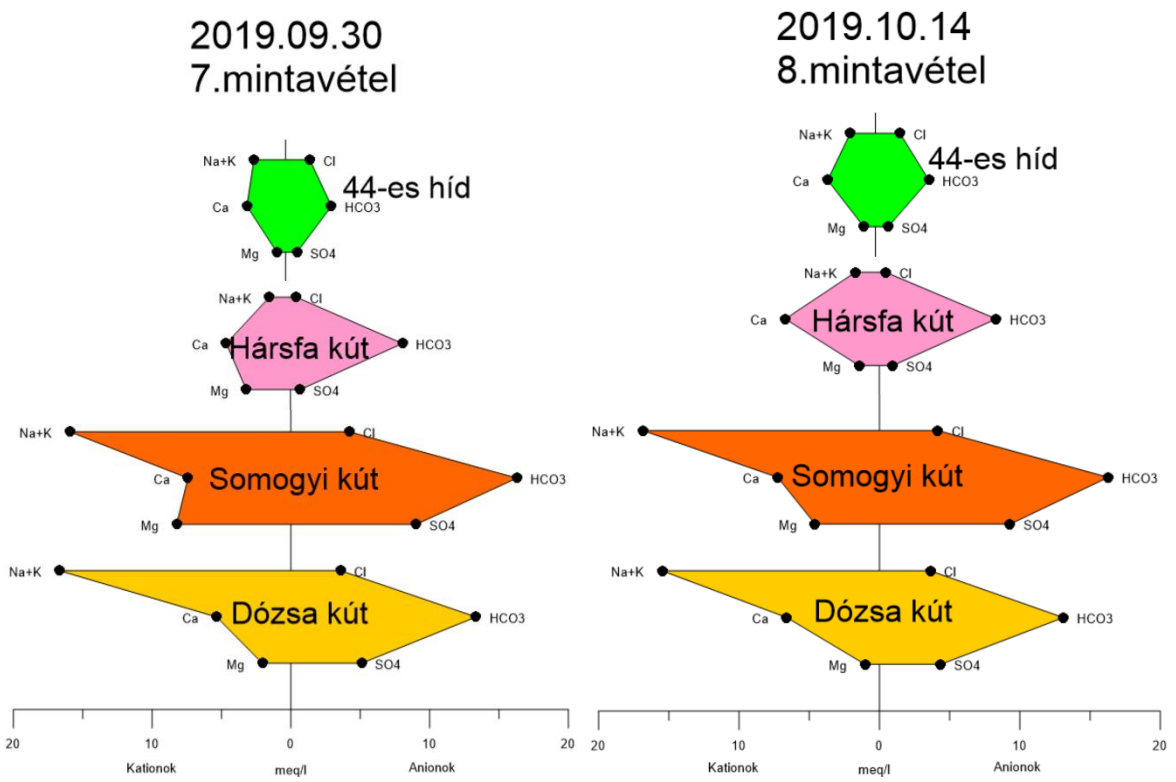
32. ábra 1. és 2. mintavétel vízkémiai paramétereinek bemutatása Stiff-diagramokon (Rába, I. 2019 után módosítva)



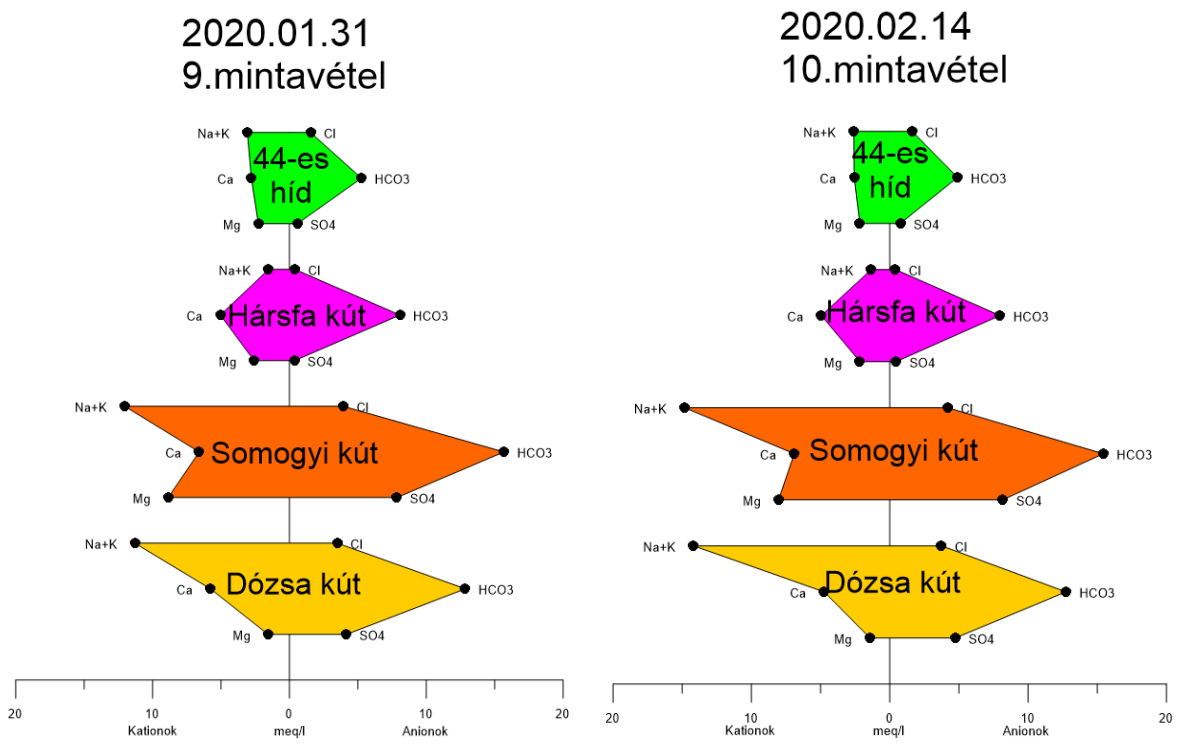
33. ábra 3. és 4. mintavétel vízkémiai paramétereinek bemutatása Stiff-diagramokon (Rába, I. 2019 után módosítva)



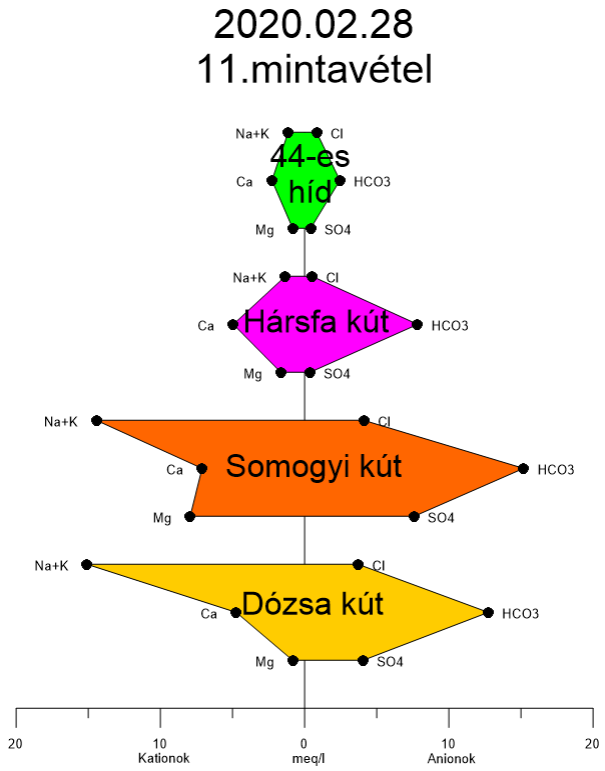
34. ábra 5. és 6. mintavétel vízkémiai paramétereinek bemutatása Stiff-diagramokon (Rába, I. 2019 után módosítva)



35. ábra 7. és 8. mintavétel vízkémiai paramétereinek bemutatása Stiff-diagramokon (Rába, I. 2019 után módosítva)



36. ábra 9. és 10. mintavétel vízkémiai paramétereinek bemutatása Stiff-diagramokon



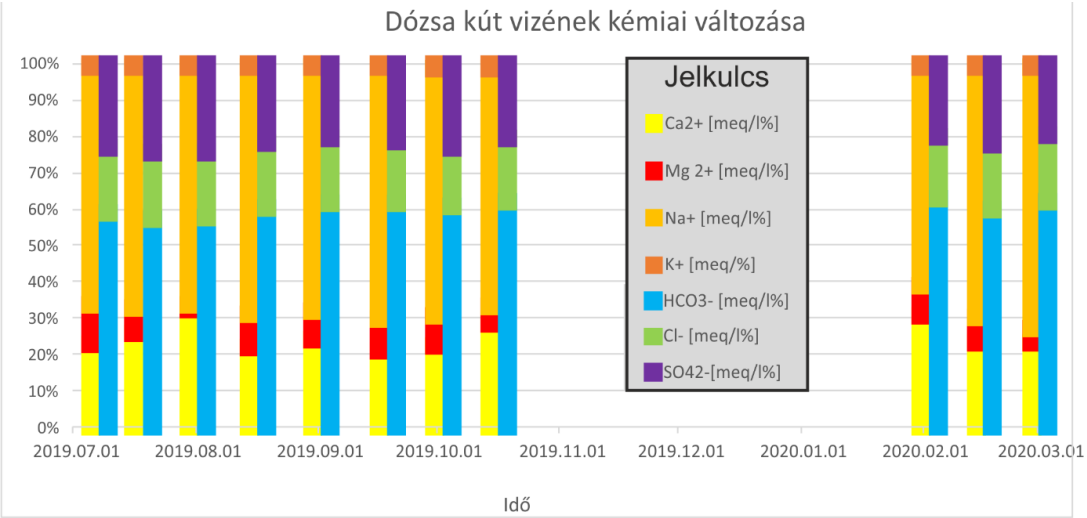
37. ábra 11. mintavétel vízkémiai paramétereinek bemutatása Stiff-diagramokon

A Holt-Körös (jelen esetben 44-es vízminta) kis mértékben, de egész évben változik vízkémiai összetétel szempontjából. Ez a változás főleg a hidrogén-karbonát- és a magnézium ionok koncentráció változásából következik.

A két ásott kút (Somogyi kút és a Dózsa kút) vízkémiai összetétele hasonló és hasonló változásokat mutat. A teljes vizsgálati időszakot tekintve a két kút vizében az anionok koncentrációja állandónak látszik, bár a hidrogén-karbonát koncentráció kis változásokat mutat a Somogyi kút vizében. A 3. mintavételt követően a Somogyi kút vizében erősen lecsökken a kalcium mennyisége és megnő a magnézium koncentrációja, de ez a változás a Dózsánál nem látszik. A nátrium és kálium koncentrációja a kutatás egésze alatt magas maradt a két kútvízben.

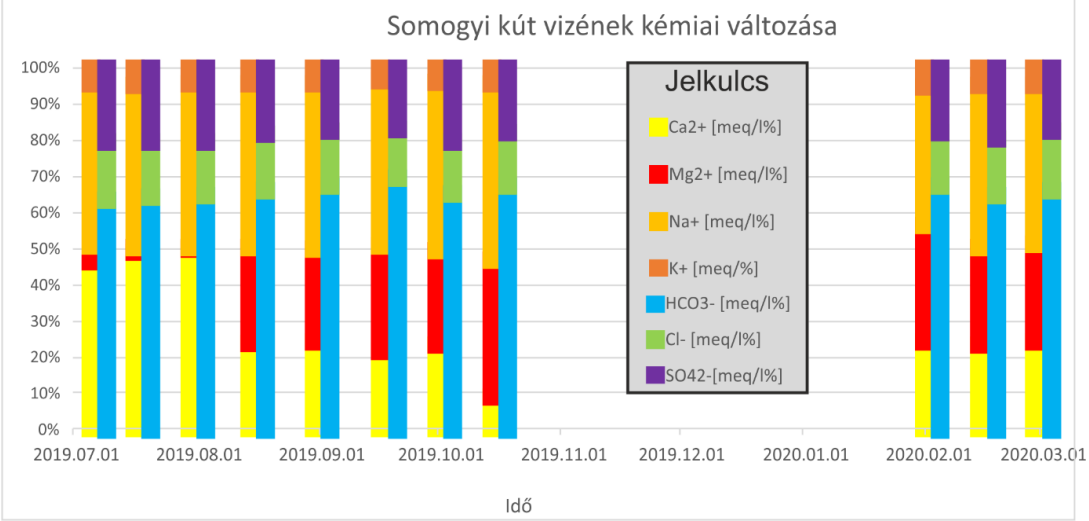
A fúrt kút (Hársfa kút) vízkémiai összetétele az ásott kutak (Somogyi és Dózsa) és a Holt-Körös vízkémiai összetétele közé esik. A vizsgálati időszakban ennek a kútnak a legstabilabbak a paraméterei. Változás egyedül a magnézium ionok koncentrációjában van és ez a változás sem jelentős.

Annak érdekében, hogy az egyes mintavételi pontokon vett vízminták vízkémiai összetétel változását jobban megvizsgálhassam, az idő függvényében oszlopdiagramokon is ábrázoltam. Az oszlopdiagramok egymás mellett két oszlopot tartalmaznak, a bal oldalin a kationok (100%-ra vonatkoztatott érték), a jobb oldalin az anionok (100%-ra vonatkoztatott érték) mennyiségét tüntettem fel meq/l% egységben. A második szakaszban is mintázott kutakat, illetve felszíni vizet ábrázoltam ezeken a diagramokon (38. ábra,39. ábra,40. ábra,41. ábra).



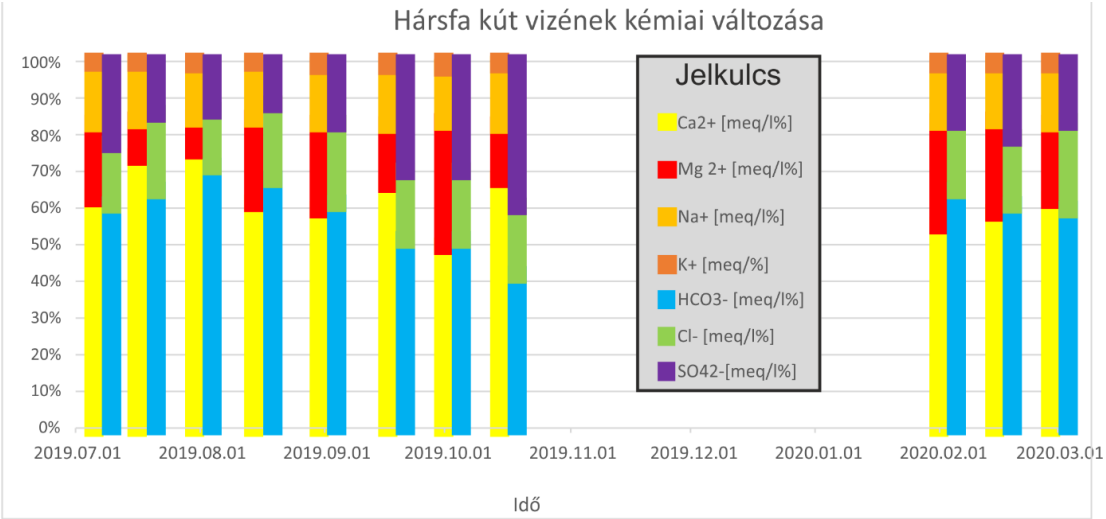
38. ábra Dózsa kút vizének kémiai változása (1. és 2. szakasz)

A Dózsa kút vizére jellemző változás ezen az ábrázoláson is látszik, miszerint 2019. júliusában lecsökken a magnézium és megnő a kalcium koncentrációja. Februártól márciusig ennek a változásnak az ellentéte látható, a kalcium mennyisége lecsökken, míg a magnéziumé megnő.



39. ábra Somogyi kút vizének kémiai változása (1. és 2. szakasz)

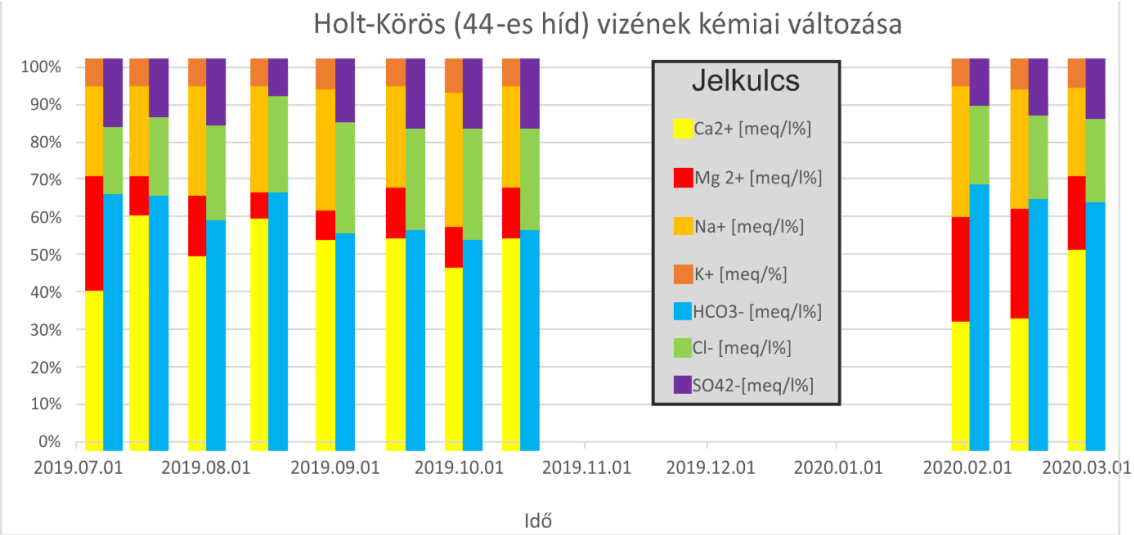
A Somogyi kút vizénél az első három mintavételnél igen alacsony magnézium koncentrációk jelennek meg, majd augusztus közepétől jelentősen megnő a magnézium aránya a vízben. Ez a növekvő tendencia augusztus közepétől október közepéig figyelhető meg. Tavasszal a magnézium koncentrációja csökkenő tendenciát mutat.



40. ábra Hársfa kút vizének kémiai változása (1. és 2. szakasz)

A Hársfa kút vize ezen ábrázolásmódban nagyobb változékonyságot mutat, mint a Stiff-diagramokról az leolvasható volt. Folyamatosan változik a kationok közül a magnézium és a kalcium ionok koncentrációja. 2019 júliusában megnő a kalcium mennyisége, míg a

magnézium lecsökken. Az anionok közül a szulfát koncentráció augusztus közepéig csökken, majd augusztus végétől folyamatosan növekvő tendenciát mutat. Februártól márciusig tartó időszakban hasonló változások látszanak a vízkémiában, mint 2019 júliusában, azzal a kivétellel, hogy a tavaszi időszakban kevésbé változik a hidrogén-karbonát és a szulfát mennyisége a vízben.

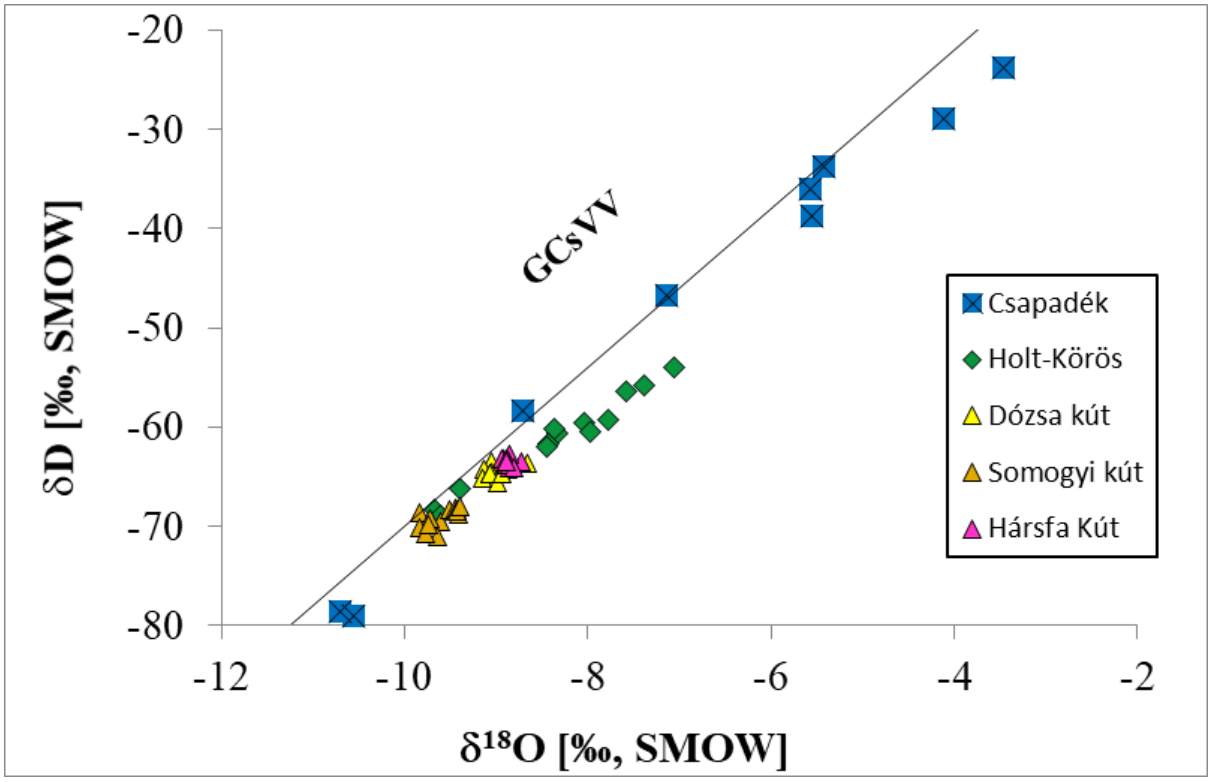


41. ábra Holt-Körös vizének kémiai változása (1. és 2. szakasz)

A Holt-Körös vizében mind az anionok, mind a kationok koncentrációja változik, bár utóbbi meghatározóbban. A változás legjelentősebben a kalcium és magnézium ionok koncentrációjának változásában figyelhető meg. A kutak mintáihoz képes, viszont a felszíni vízben folyamatosan változik a nátrium-kálium koncentrációja is. A nyári-őszi időszakban viszonylag magas a kalcium koncentráció a magnéziuméhoz képes. Ez viszont a tavaszi időszakban megváltozik, és megnő a magnézium koncentrációja.

4.4 *Stabilizotópos vizsgálatok eredménye*

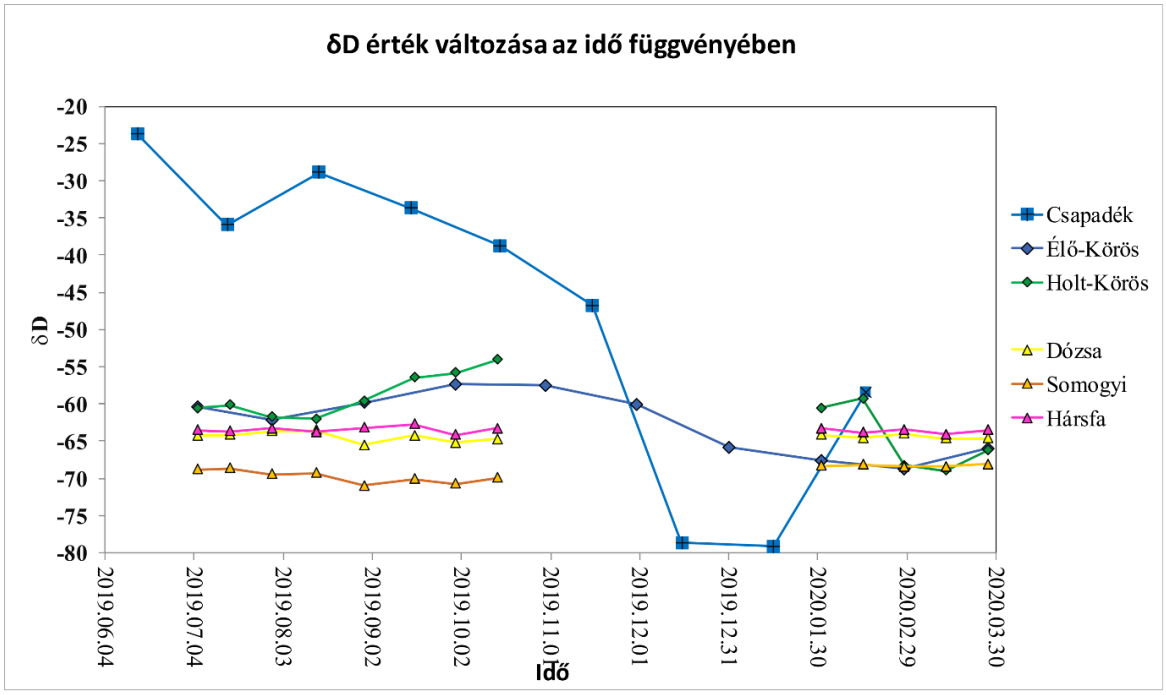
A vízmintákból stabilizotópos mérése keretében a minták δD és $\delta^{18}O$ értékét határoztuk meg. Elemzések történtek az Élő-és a Holt-Körösből, a havonta gyűjtött csapadék mintákból, valamint a kutakból. Az eredményeket a 42.-45. ábrákon mutatom be. A 42. ábraán láthatók a kutak és a Holt-Körös (44-es hídnál vett minta) δD és $\delta^{18}O$ értékei mindkét kutatási szakasz adataiból. Az ábrán elkülönülnek a különböző kutak vizei egymástól és a Holt-Körös vizétől is. A kutak közül igen nagy hasonlóságot mutat a Dózsa ásott kút és a Hársfa fúrt kút stabil-izotópos összetétele.



42. ábra Vízminták stabil-izotópos összetétele (1. és 2. szakasz)

A stabilizotóp-összetétel változását az idő függvényében a 43. ábraán mutatom be az összes 1. és 2. szakaszban mintázott vizekre. A csapadék stabilizotóp-összetétele jelentős változékonyságot mutat, télen negatív értékkel, míg nyáron pozitív értékkel jellemezhető. A Holt-Körös és az Élő-Körös stabilizotóp-összetétele is viszonylag tág határok között mozog, de ennek a mértéke elmarad a csapadékétól. Az idősoron a holtág vizének összetétele októberig együtt mozog az Élő-Körös összetételével. Téli mérési adatok nem állnak rendelkezésre, de az látszik, hogy tavasszal jelentős eltérés van az „élő” és a „holt” víz stabilizotóp összetétele között. Március elején az eltérés közel nullára csökken és ismét együtt kezdenek mozogni a holtág és az Élő-Körös összetételt reprezentáló görbéi.

További érdekesség, hogy a Somogyi kút összetétele markánsan eltér a másik két kútétól (Dózsa és Hársfa kutak), amit már a 42. ábra is szemléltetett. Viszont az idősorból az látszik, hogy a kutak összetétele azonos mintavételi időpontokban azonos módon változik.

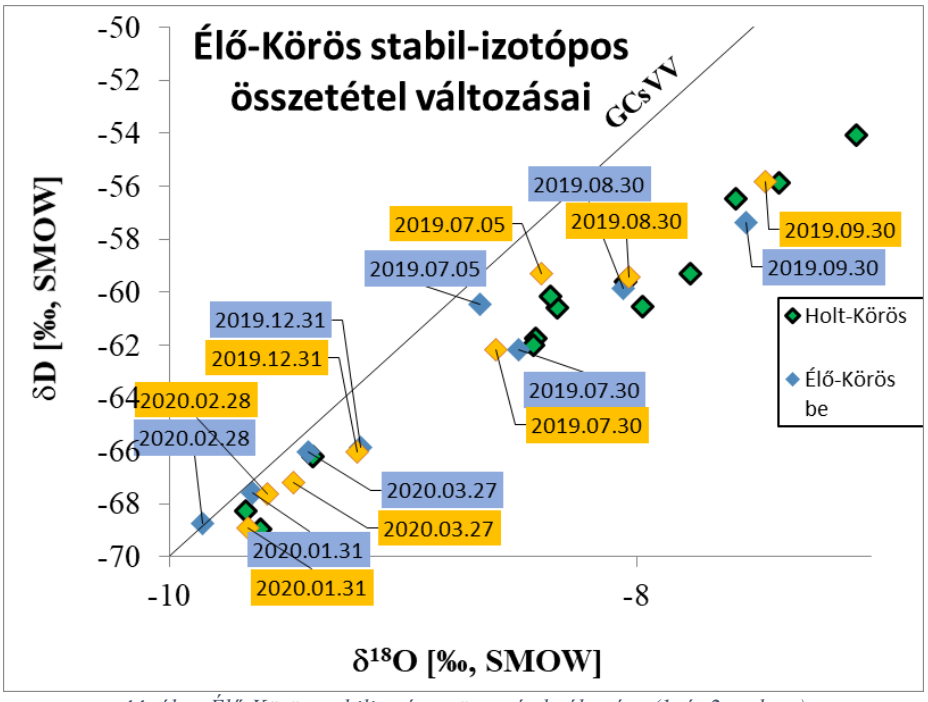


43. ábra dD értékek változása a különböző vizekben

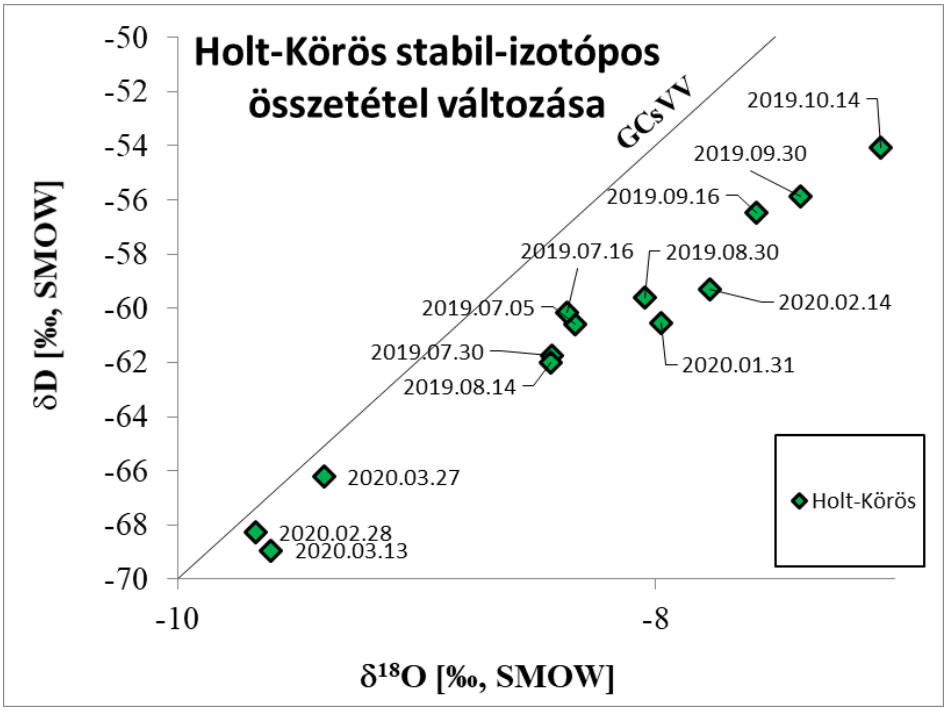
Annak érdekében, hogy ezt a stabilizotóp-összetételben megfigyelt időbeli változékonyságot a δD-δ^{18}O diagramon is nyomon tudjuk követni a Holt- és az Élő-Körös esetében (44. ábra) a szimbólumok mellett a mintavételek időpontjai is fel lettek tüntetve. Az Élő-Körösből két helyen történt a mintavétel, kékkel jelölve a holtág előtti Élő-Körös vizet (szivornyánál) és sárgával jelölve a Holt-Körösből való áteresztés (áteresz) utánit. Ezen értékek között jelentős eltérést nem tapasztaltam.

A jobb átláthatóság végett elkülönítve (45. ábra) ábrázoltam és időpontokkal címkéztem fel a Holt-Körösből vett vízminták stabilizotóp-összetétel adatait.

Ezen ábrák alapján elmondható, hogy a Holt-Körös stabil-izotópos összetétele a nyári-őszi időszakban hasonló az Élő-Köröséhez. Januárban viszont más összetételt mutatnak (2020.01.31) a vizek. Ez a különbség a 2020.02.28.-ai mintáknál már nem jelenik meg.



44. ábra Élő-Körös stabilizotópos-összetétel változása (1. és 2.szakasz)



45. ábra Holt-Körös stabilizotóp-összetétel változása (1. és 2.szakasz)

5 Előzetes adatfeldolgozás: Szivárgási tényező számítás

A vízföldtani modellezéshez és a vízmérleg számításhoz elengedhetetlen adat az adott területen előforduló földtani képződmények hidraulikus vezetőképesség értéke. Ebben a fejezetben ennek az értéknek a szemcsegörbékből történő kiszámítását mutatom be. Felhasználom Rónai A. 1980-as Alföld térképezésből származó adatokat.

Szarvas területén az 1980-as Alföld térképezése programban 10 méteres kutatófúrásokat mélyítettek le (46. ábra). Ezek közül választottam ki a látható 229., 301. és 305. számú fúrásokat azért, mert a kutatási területemen belül ezen fúrásokból származó kőzetminták elemzéséből készültek szemeloszlási görbék, melyből meghatározhatom a kőzetek hidraulikus vezetőképességét.

46. ábra Holt-Körös környezetében lemélyített sekély mélységű fúrások és szelvény-nyomvonal (Rónai A. 1980 után módosítva)

A *K tényező* meghatározása fontos mind a felszínalatti térrész modellezése, mind pedig a holtág vízmérleg számítása miatt. Számos összefüggés létezik melyek a szemeloszlási görbék és egyéb paraméterek (hézagtényező, hézagtérfogat, szemcsealak, folyadék viszkozitása) ismeretében alkalmas a szivárgási tényező kiszámítására (Farkas és társai 2019). Jelen esetben a Zamarin eljárással számoltam ki a hidraulikus vezetőképesség értékeket az adott képződményeknek.

Először is a következő egyenletből indulunk ki:

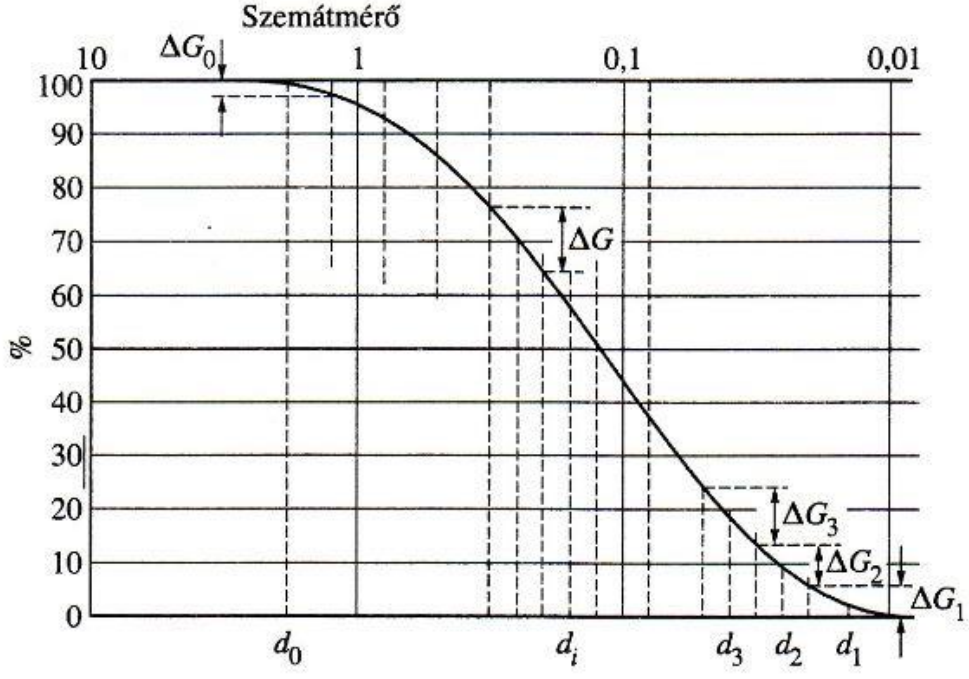
$$k = A_s * d_m^2 \ [m^2], \ ahol$$

- k- a vizsgált kőzet átersztőképessége [m^2]
- A_s- az ún. Slichter-szám [-]
- d_m- a vizsgált kőzet mértékadó szemátmérője

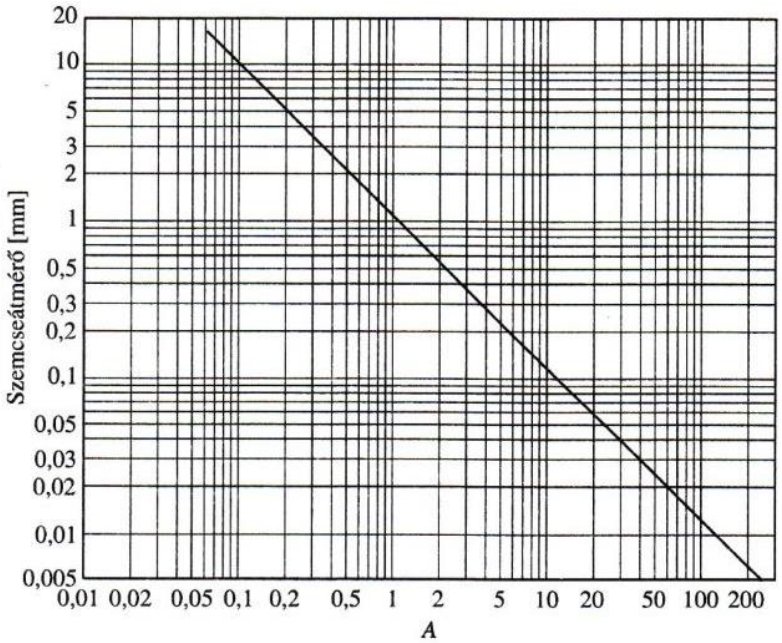
A Zamarin eljárás során az integrál szemeloszlási görbét kis szakaszokra kell osztani és a szemcsenagyság intervallumai közepének megfelelő, Zamarin (1954) által felállított exponenciális függvényértékekkel az egyes intervallumok tömegeit ($_iG\Delta$) megszorozva kapunk egy jellemző értéket. Ezeket az egész szemeloszlási görbe mentén összegezve adódik a mértékadó szemátmérő reciproka:

$$\frac{1}{d_m} = A_1 \Delta G_1 + A_2 \Delta G_2 + A_3 \Delta G_3 \ldots . + A_n \Delta G_n$$

A szemeloszlási görbe intervallumokra való felosztása és a függvényértékek meghatározása a 47. ábra és 48. ábra segítségével lehetséges.



47. ábra Szemeloszlási görbe intervallumokra való felosztásához használt ábra (Zamarin 1954)



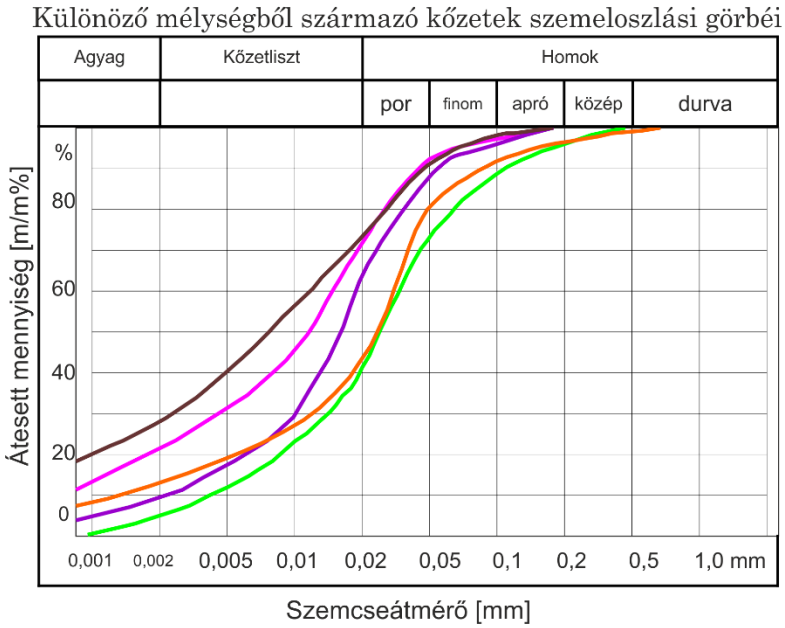
48. ábra Zamarin eljárás során a függvényértékek meghatározásához használt ábra (Zamarin, 1954)

A Slichter-számot (*As*) Zamarin ezzel az egyenlettel határozta meg:

$$As = 8{,}4(1{,}275 - 1{,}5n)^2 \frac{n^3}{(1-n)^2} \; ahol$$

- *n a porozitás*

Az 1980-as térképezés (Rónai A. 1980) során készített szemeloszlási görbék, Szarvas területén 2 és 10 m mélységből származó kőzetminták szemeloszlási görbéit mutatják (49. ábra). Ezen görbék felhasználásával számoltam ki a 50. ábra táblázatban látható hidraulikus vezetőképesség értékeket (K)



49. ábra Szemeloszlási görbék különböző fúrásokból Szarvas környezetéből (Rónai A., 1980)

Ezen számított értékek is alátámasztják a feltételezést, miszerint Szarvas területén sekély mélységben, nincsen nagy eltérés a kőzetek hidraulikus vezetőképessége között. A teljes számítás az 1.mellékletben található. A hidraulikus vezetőképesség értéke 10^{-5} - 10^{-6} m/s körül mozog, ami megfelel az aleuritos-homok aleruritos-lösz hidraulikus vezetőképesség értékeinek (Freeze és Cherry, 1979).

Paraméter	**229. fúrás (2m)** *Durva kőzetliszt*	**301. fúrás (2m)** *Durva kőzetliszt*	**305. fúrás (2m)** *Finom kőzetliszt*	**301. fúrás (10m)** *Durva kőzetliszt*	**305. fúrás (10m)** Finom *kőzetliszt*
K [m/s] Zamarin	**$1.17*10^{-5}$**	**$7,03*10^{-6}$**	**$3.04*10^{-6}$**	**$7.91*10^{-6}$**	**$2.19*10^{-6}$**

50. ábra Zamarin eljárásával kiszámított hidraulikus vezetőképesség értékek a különböző kőzetmintákra

6 Vízföldtani modellezés eredményei

6.1.1 Modellezett terület lehatárolása

Szarvas területén belül kijelöltem egy 10,5 km^2 nagyságú területet. A modellezett terület 3500 x 3000 m-es téglalap alapú. Egy grid mérete 50 x 50 m-es négyzet, azért, mert a Holt-Körös átlagos szélessége 90 m, ezért jól lehatárolható a területen. A véges differencia modellezés sajátossága, hogy nem képes görbéket (jelen esetben holtág nyomvonal) használni a modellperemeknek, csupán négyzet alapú területet, ezért a modell nyugati felén felvett értékeket figyelmen kívül kell hagyni, mivel a modell ténylegesen vizsgált nyugati peremének a holtág nyomvonalát használom. A nyugati peremre megadott vízszinteket az Arborétum területén mért vízszintmegfigyelő kutak révén tudtam megadni. Mivel a területről igen kevés mért adat áll rendelkezésre, a modellterület keleti peremét a Vízügy kútjához helyeztem, így mért vízszinteket tudtam megadni a keleti peremen kezdeti hidraulikus emelkedési magasságoknak. A modellezett terület határait a 51. ábra mutatja.

51. ábra Szarvas területén kijelölt gridháló kerete (modellezni kívánt terület)

6.2 Sekélyvízföldtani modell

6.2.1 Egy réteges modell bemutatása

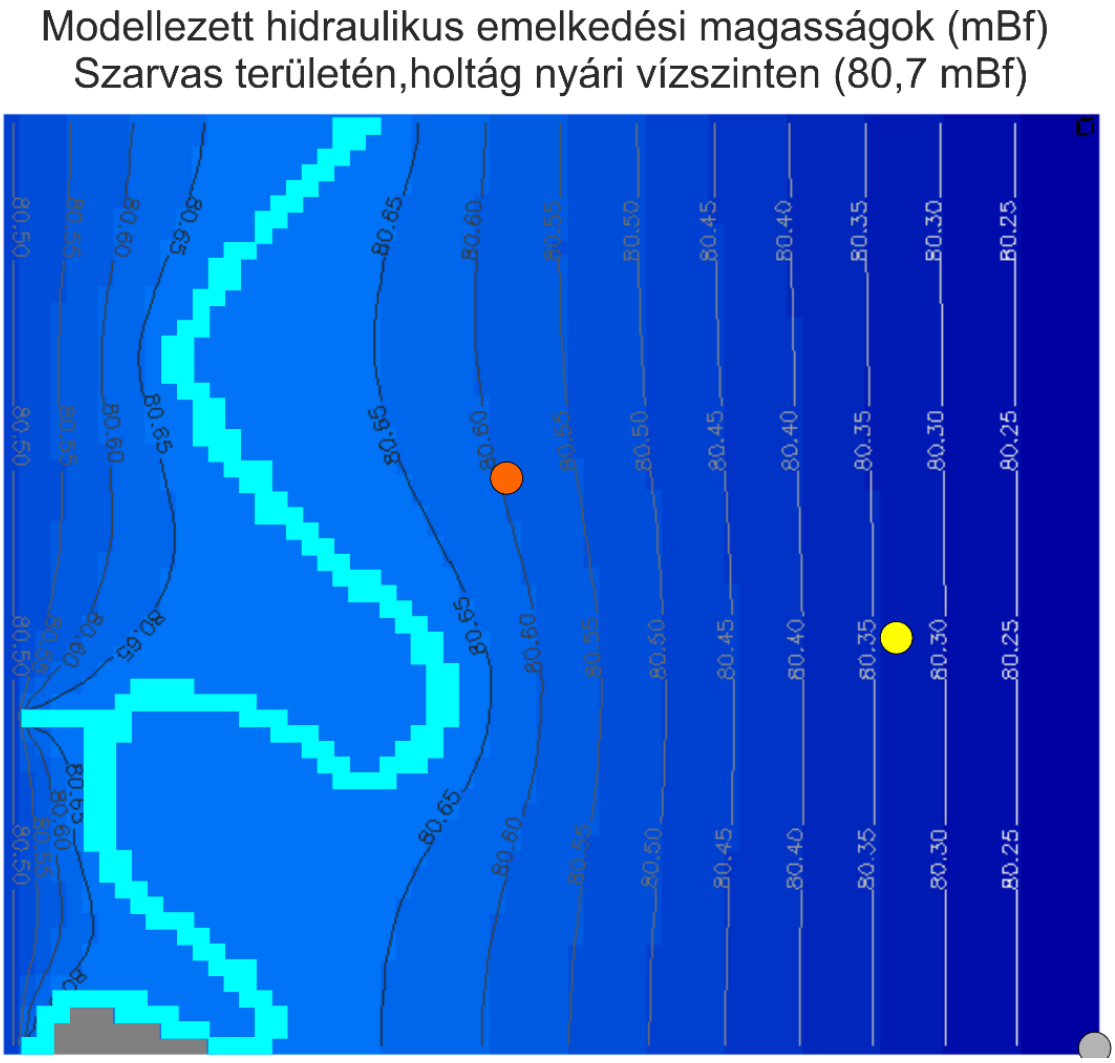
Egy 40 m vastag réteget használok a modellezéshez, aminek meghatároztam a felső határfeltételét a terület topográfiája révén. Ehhez a QGIS szoftvert és Magyarországról készült DEM (Digitális Elevation Modell)-et használtam. A réteg fekűjének mélységét, vagyis magának a modellnek az alsó impermeabilis határát 40 mBf-ben határoztam meg. Steady-State állapotú modellt választottam a vizsgálathoz. A kezdeti vízszint meghatározásához hívtam segítségül a Vízügy kútban mért vízszint adatokat. Mivel a területről kevés vízszintadathoz volt hozzáférésem, így a modell nyugati részén a modell dél-keleti sarkában elhelyezkedő Vizügy kút adatait használtam fel.

Tehát nyáron a kezdeti vízszintek megadásához a keleti peremen a már említett Vizügy kútjából származó adatot (80,2 mBf-et) használtam fel, a nyugati peremen pedig 80,5 mBf-es értéket, mivel az Arborétum területén lemélyített felszínalatti vízszintmegfigyelő kútban regisztráltak augusztusban.

Ezután a horizontális hidraulikus vezetőképesség értéknek a 10^{-5} m/s-ot adtam meg, az egész rétegre, majd az effektív porozitás értékét 25%-nak vettem. Meghatároztam a folyócellák helyzetét, a folyóban lévő vízszintet (80,7 mBf) és a folyómeder hidraulikus kapcsolati tényezőjét, ami nagyságrendileg megegyezett a környező földtani képződmények hidraulikus vezetőképességének nagyságával.

Mivel augusztusban elhanyagolható mennyiségű eső esett a területen, a modellben nem vettem figyelembe a beszivárgást.

A modell augusztusi időszakra történt futtatása után a modellezett hidraulikus emelkedési magasságok a területen (52. ábra):

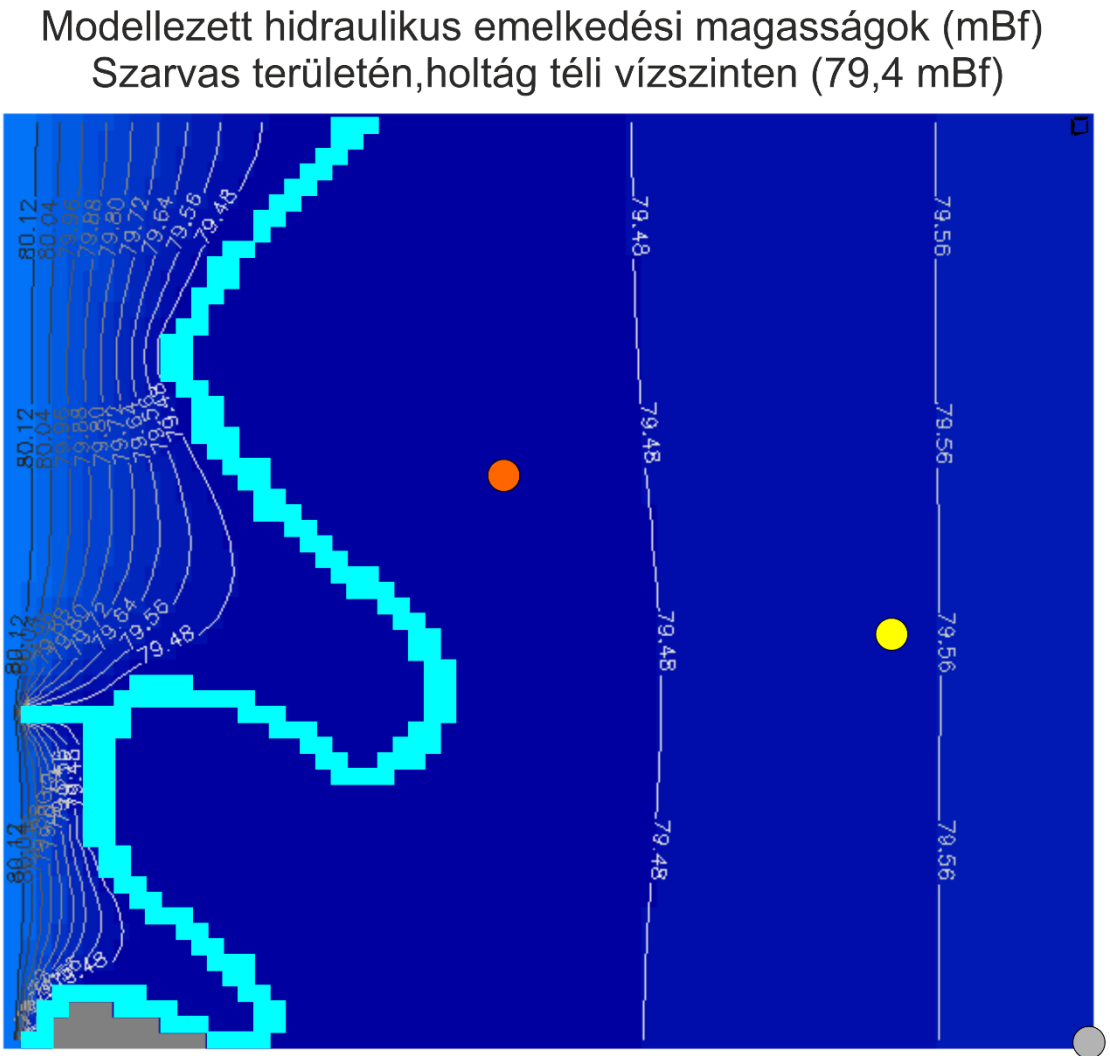


52. ábra Modellezett vízszintek potenciálvonalai az augusztusi időszakban Szarvas területén (a holtág 80,7 mBf-es vízszintjénél)

Készítettem a januári időszakra is egy modellt, mely az évszakos változásokat kívánta szemléltetni. Ugyanazokat a bemenő paramétereket használtam itt is, mint a nyári modellnél, azon különbséggel, hogy a januári esetben alacsonyabban helyezkednek el a hidraulikus emelkedési magasságok a területen és a folyó vízszintje is 79,4 mBf-es szinten van tartva.

A januári esetben a hidraulikus emelkedési magasságok értékeit a nyugati peremen 79.6 mBf-nek vettem (Vizügy kút éves adatsora alapján, nem saját mérés alapján). A modell keleti peremére pedig 80,2 mBf-es szintet határoztam meg. A folyó vízszintjét pedig 79,4 mBf-nek vettem fel.

A modell téli időszakra történt futtatása után a modellezett hidraulikus emelkedési magasságok a területen: (53. ábra)



53. ábra Modellezett hidraulikus emelkedési magasságok potenciálvonalai a téli időszakban Szarvas területén (a holtág vízszintje 79,4 mBf)

6.2.2 Egy réteges modell ellenőrzése

Minden szerkesztett modellt tapasztalati adatokkal kell kalibrálni és validálni, azaz összevetni a kutakban mért vízszintekkel a modellezett vízszinteket. Mivel meglehetősen kevés volt a rendelkezésemre álló adat, ezeket a lépéseket nem lehetett végrehajtani, ezért a továbbiakban csak összehasonlítom a mért és modellezett kútvízszint eredményekket.

A modellezett területen a 80,2 mBf-es szintet mértünk a Vízügy kútjában nyáron, télen pedig 79,6 mBf-es szint volt regisztrálva (Vízügy adataiból) (szürke pont).

Augusztus 30.-án a Somogyi kútban 80,548, míg a Dózsa kútban 80,542 mBf-es vízszintet mértem. A Somogyi kút majdnem a modellezett 80,6 mBf-es izovonalra esik, a Dózsa kút pedig majdnem a 80,34 mBf-es izovonalra. Ez azt jelenti, hogy a modell hibája -0,052m— -0,202 m.

Január 30.-án a Somogyi kútban 80,542 mBf, míg a Dózsa kútban 80,438 mBf-es volt a vízszint a méréseim szerint. A modell izovonalaival összehasonlítva a Somogyi kút vízszintjének 79,45 mBf-es, a Dózsa kút vizének pedig 79,55 mBf-es szintet kellett volna, hogy mutasson. Ez a valóságtól jelentősen eltér. A modell hibája -0,888 m — -1,092 m közé tehető. Emiatt az eltérés miatt készítettem el a téli eset alapján egy két rétegű modellt, melyről a következő fejezetben értekezem.

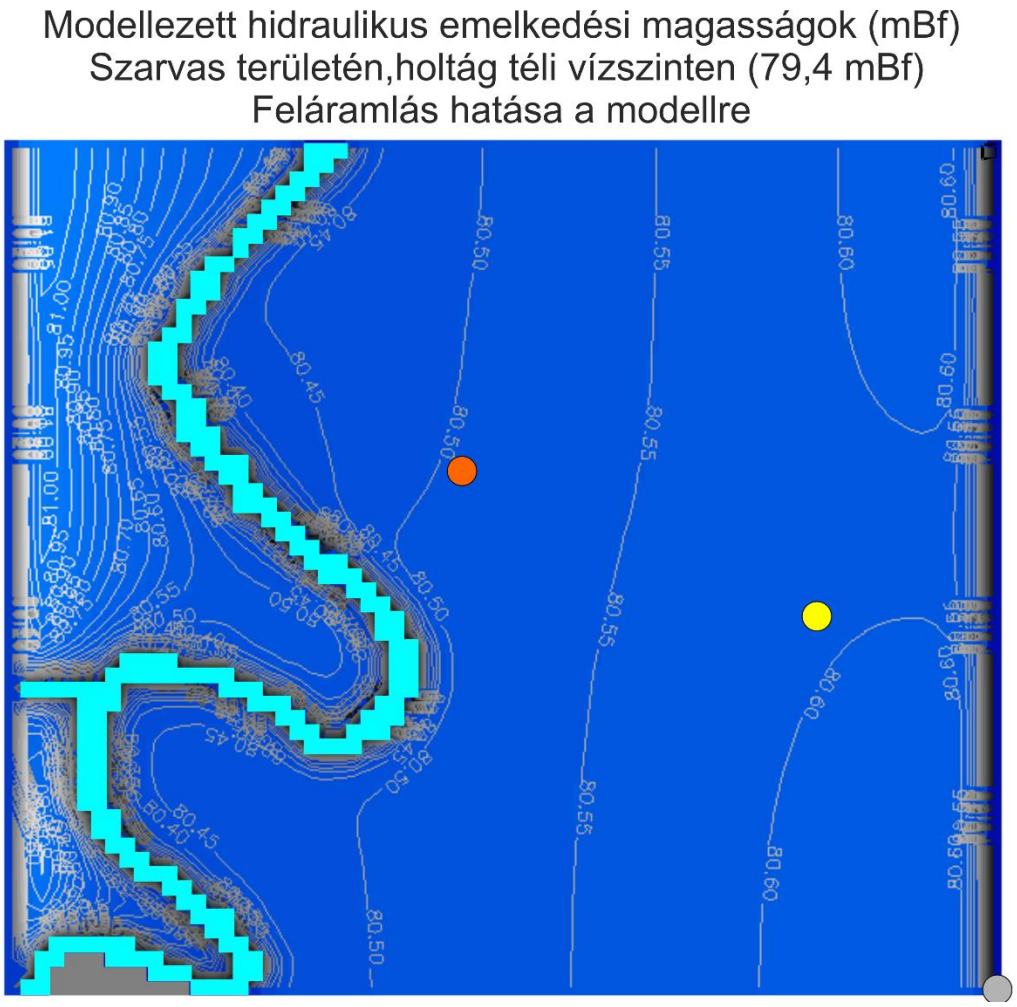
6.2.3 Két réteges modell bemutatása

A januári időszakra készített egy réteges modell azt mutatta meg, hogy a holtágtól keletre eső területen télen lényegében sík a talajvíztükör, amit a Somogyi és Dózsa kutakban mért adatokból tudunk, hogy nem lehet igaz. A januári modell jelentős hibájának javítása érdekében hoztam létre egy két rétegű modellt.

Ugyanúgy 40 m vastag modellel dolgoztam, csak itt fel volt osztva egy felső 30 m vastag és egy alsó 10 m vastag rétegre. A rétegek paramétereit és a folyócellákat nem változtattam meg. A második réteg egy nyomás alatti rétegként lett definiálva. Erre azért volt szükség, hogy szimulálni tudjam a feláramlás hatását.

Az egy réteges modellnél nem volt rá szükség, de itt a vertikális vízvezetőképesség értékét 10^{-6} m/s-nak határoztam meg. Tehát tízszeres vertikális anizotrópiát feltételeztem. A felső réteg kezdeti hidraulikus emelkedési magasságainak az egy réteges modell adatait használtam. A modellezés során különböző kezdeti nyomásértékeket adtam meg az alsó rétegben, hogy megvizsgáljam mely érték változtatja meg az első rétegben a hidraulikus emelkedési magasságokat. A második réteg bemeneti nyomás paramétereinek az egy rétegű modell hidraulikus emelkedési magasság értékeit vettem alapul és ehhez adtam hozzá 2,05 m-es túlnyomást. Ezt az értéket úgy állítottam be, hogy a modell első rétegének hidraulikus emelkedési magasság értékei a lehető legpontosabban tükrözzék a kutakban mért értékeket.

A feláramlás hatását figyelembe vevő két rétegű modell téli időszakra történt futtatása után a modellezett hidraulikus emelkedési magasságokat (54. ábra):



54. ábra Modellezett hidraulikus emelkedési magasságok potenciálvonalai a téli időszakban Szarvas területén feláramlás hatásának figyelembevételével (holtág vízszintje 79,6 mBf)

6.2.4 Két réteges modell ellenőrzése

A téli időszakra az egy réteges modell hibáját úgy küszöböltem ki, hogy figyelembe vettem a regionális feláramlás hatását. A regionális áramlás szimulálásával a második rétegben a 2,05 m-es túlnyomás elég volt az egy réteges modell hibájának csökkentését. A Somogyi kútban télen mért hidraulikus emelkedési magasság 80,548 mBf, míg a Dózsa kútban mért 80,542 mBf-volt. A modellezett h értékek a Somogyi kútban 80,50 mBf, míg a Dózsa kútban 80,59 mBf volt. Ezáltal sikerült csökkenteni a modell hibáját ± 0,048-ra.

7 Vízmérleg számítás eredményei

7.1 Vízmérleg számítás elméleti háttere

Egy adott rezervoárra vonatkoztatott vízmérleget a következőképpen fejezhetjük ki:

$$Q_{be}=Q_{ki}\pm\Delta S$$

Ahol Q_{be} magába foglalja a csapadékot, a felszíni hozzáfolyást és a felszín alatti hozzáfolyást. Q_{ki} magába foglalja az evapotranspirációt, a felszíni elfolyást, a felszín alatti elfolyást. ΔS a tározás megváltozása a vizsgált időintervallum alatt.

Ha a Szarvas-békésszentandrási Holt-Körösre szeretném felírni a vízmérleg egyenletet, módosítani szükséges, illetve feltételeket kell szabnom, amik specifikusan erre a holtágra vonatkozóvá teszik az egyenletet.

A 2019-es munkámban egy nyári hónap (augusztus) napjaira számítottam vízmérleget, azért, mert ilyenkor elhanyagolhattam a belvízelvezető csatornákon át a Holt-Körösbe jutó vízmennyiséget. Továbbá az öntözési szezonban folyamatosan 80,7 mBf-es szinten tartották mesterségesen a Holt-Körös vízszintjét (+- $\Delta S=0$). Ezen egyszerűsítéseket alkalmazva a Holt-Körösre nyári időszakban alkalmazható vízmérleg egyenlet a következő:

$$Q_{be}+CS+I_{FAV}=Q_{ki}+P+M+R_{FAV}$$

ahol **Q_{be}** a szivornyán bejuttatott vízmennyiség, **CS** a csapadék, **I_{FAV}** a felszínalatti hozzáfolyás; **Q_{ki}** az áteresznél kiengedett vízmennyiség, **P** a párolgás, **M** mezőgazdasági vízkivétel, **R_{FAV}** a felszínalatti elfolyás.

Viszont, ha nem nyári hónapra becsülök vízmérleget, akkor rögtön felmerül a probléma a holtág változó vízszintjével kapcsolatban. A kutatásom 1. szakaszában folyamatosan 80,7 mBf-es szinten volt a holtág vízszintje, míg a második szakaszban a téli szintről (79,4 mBf) emelték januártól a nyári szintre.

A 2. kutatási szakaszban viszont nem volt öntözővíz kivétel a holtágból, amely tény viszont egy elég bizonytalan negatív tagtól szabadítja meg a vízmérleg egyenletet. A Qbe és Qki ismert az időszakban minden napra, a csapadék és a párolgás (bár utóbbi elhanyagolható) számítható és a felszínalatti víz hozzájárulását szintén meg lehet becsülni a mért adatokból.

Tehát a téli hónapokra felírható vízmérleg egyenlet így módosul:

$$Q_{be}+CS+I_{FAV}=Q_{ki}+P+R_{FAV}\pm\Delta S$$

7.2 Februári vízmérleg egyenlet tagjai

Szivornyán bejuttatott vízmennyiség:

Március hónapban nem folyamatosan üzemeltek a szivornyák, a 31 napból csupán 19 napon át, 6.-tól 17.-éig zárva voltak. Összesen, ha a 19 napon 6 szivornya üzemelt fejenként 1 m^3/s-os vízhozammal, akkor március hónapban 9.849.600 m^3 víz jutott a holtágba.

Qbe(márc) =9.849.600 m³

Csapadék:

KÖVIZIG adatai alapján februárban 22,60 mm csapadék hullott. A két legközelebbi település a holtághoz Szarvas és Békésszentandrás, ezek területére lehullott csapadékmennyiséggel számolhatunk, hogy az a csapadékelvezető csatornákban összegyűlt majd a holtágba vezetődött. Tekinthetjük a települések egész területét burkolattal fedettnek, és az erre a területre hullott csapadékkal számolhatunk. Szarvas területe 161.600 m^2, míg Békésszentandrásé 77.450 m^2, amiket összegezve 239.050 m^2-t kapunk. Mivel a holtágnál jelentős szabad vízfelületről beszélünk (1.673.047 m^2), ezt is érdemes hozzáadni a két település fedett területéhez és az így kapott 1.912.097 m^2-rel tovább számolni. Erre a területre hullott februárban 0,0226 m csapadék, ami összesen 43213,39 m^3 csapadék.

CS(márc.)=43213,39 m³

Mezőgazdasági öntözésre fordított vízkivétel: M=0

Párolgás:

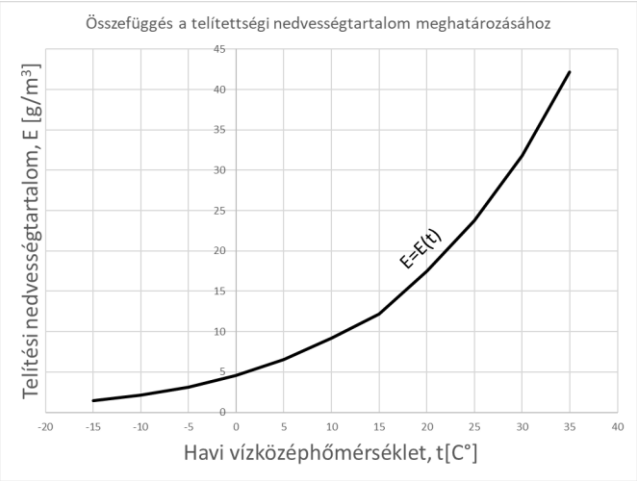
A párolgás megbecslésére használható a Meyer eljárás, mellyel tényleges vízfelületpárolgási értékek határozhatók meg. Ha több hónapra elvégezzük a párolgás számítást, akkor pontosabb becslést adhatunk az elpárolgott vízmennyiségre. Március hónapra levezetem a becslést (55. ábra).

	március
t' [°C] (saját mérések átlaga)	8.73
E	7.9
R	0.61
e	4.74
w [m/s] (VPEG automata)	0.583
P [mm/hónap]	38.81
Vp (m3/hónap)	**80342.94**

55. ábra Március hónapban elpárolgott vízmennyiség becslése (zöld színnel a saját mérések és a VPEG automata adatai)

A Meyer-képlet: ***P=a[E(t')-e]*(1+bw) [mm/hónap]***

Ahol *P* a párolgás, *E* [g/m^3] a közvetlen vízfelszín feletti levegő telítési páratartalma, melyet *t'* [°C] havi közepes vízhőmérséklet alapján határozhatunk meg. Az *e* [g/m^3] a vízfelszín feletti levegő tényleges vagy abszolút nedvességtartalma, *w* [m/s] a havi közepes szélsebesség. Az *a* és *b* állandók, melyek a magassági redukciót, a dimenzió átszámítást és az éghajlati-földrajzi viszonyokat foglalják magukba (Koris K. és társai, 1993)



56. ábra Összefüggés a telítettségi nedvességtartalom meghatározásához (Koris K. 1993)

Az márciusi havi vízközéphőmérséklet *t' =8,73* °C (márciusi mérések átlaga)

Az *E* értéket a telítettségi nedvességtartalom meghatározásához használt összefüggésből lehet kiszámítani (56. ábra). Márciusban ez az érték *E=7,9 g/m^3*.
A tényleges nedvességtartalom havi középértéke számolható az alábbi képlettel: *e=R*E,*
ahol *e* a tényleges nedvességtartalom havi középértéke, *R* a relatív nedvességtartalom,
E pedig a telítettségi nedvességtartalom.
R= 61% (VPEG mérőállomás adataiból), akkor
e=0,61*7,9=4,819 g/m^3
w=2,1 km/h (VPEG automata adataiból) =0,583 m/s

Tényleges vízfelületpárolgási érték számítás: P= 11,0*(E-e)*(1+0,20w) [mm/hónap]
Behelyettesítve a következő egyenletet kapjuk:
P=11,0*(7,9 g/m3-4,819 g/m3)*(1+0,20*0,583)=38,81 mm/hónap
Az elpárolgott vízmennyiség számításához Vp [10^{3}m^3]=P[mm]*A[km^2]
Holt-Körös felszíne: 207 ha= 2,07 km^2
Vp=38,81 mm*2,07 km^2= *80,3367*10^3 m^3/hónap*

P(márc)=80336,7 m^3

Átereszen történő kieresztés

Az áteresz két csőrakatból áll, melyen zsilipek segítségével tudják kiengedni a vizet a holtágból. A csövek egyenként 150 cm külső átmérőjű fém rakattal és 130 cm átmérőjű béléscsővel vannak felszerelve. A zsilip kapuk egyszerre működtethetők. Egyenként 2,6 m^3/s vízhozamot képesek átengedni a csövek. A márciusi hónapban szintén csak 19 napot üzemeltették a zsilipeket, hasonlóan, mint a szivornya rendszert.

Qki(márc)= 8.208.000 m^3

Felszín alatti víz hozzájárulásának becslése

A felszíni vizek hozzá-, illeve elfolyási értékének megbecsléséhez szükséges adatok a meder felülete [m^2] a hidraulikus gradiens és a földtani közegre jellemző K hidraulikus vezetőképesség [m/s], mely utóbbit már az előző fejezetben kiszámoltam.

Mederfelület számítás pontosítása:

Végeztek a holtágon 3 helyen meder keresztszelvény térképezést. Az szivornyánál, a 44-es hídnál és az áteresznél. Ezen keresztszelvényekből becsülhető a meder felülete. A meder vízszintben számított átmérőjének hosszát hasonlítottam össze a meder valódi alakját leíró görbe hosszával. Az így kapott arányszámok átlagával, megbecsülhető a meder felülete. A szivornyánál 1,8; a 44-es hídnál 1,69; az áteresznél 1,6 arányszámot kaptam. Ezek arányszámok átlagával 1,7-tel megszorozva a holtág felületét, megkaphatjuk a becsült mederfelszínt (Rába I., 2019).

Dolgozatom elején említettem, hogy a Holt-Körös két „vízkörre” bontható. A kis vízkör felszíne 167 ha, viszont a nagy vízköré 207 ha, ezért fontosnak tartottam a pontosítást.

Ameder=1,7* 2.070.000 m^2= **3.519.000 m^2** a becsült meder felület.

Hidraulikus gradiens számítás

A hidraulikus gradiens értéke számítható, a Holt-Körös és a hozzá leközelebbi ismert vízszinttel rendelkező kút hidraulikus emelkedési magasságából és e két pont közötti távolságból. A márciusi hónapban folyamatosan emelték a Holt-Körös vízszintjét 80,17 mBf-es szintről 80,7 mBf-es szintre. A Somogyi kút vízszintje pedig 80,566 mBf-es szintről 80,456 mBf-es szintre csökkent március közepére, majd március végén elérte a 80,976 mBf-es szintet. Ezekből az adatokból interpoláció segítségével meghatároztam március többi napjára a Holt-Körösben és a Somogyi kútban a vízszintet, majd a kiszámoltam a *dh* értéket, mely a két vízszint különbsége. A vízszintkülönbségből (*dh*) és a holtág-kút közötti szelvénymenti távolságból (*dl*) meghatároztam a hidraulikus gradienst (*i*) $/i = \frac{dh}{dl}/$. Ezen számított értékeket az 2. melléklet tartalmazza március napjaira.

Felszínalatti vízhozam számítás

Vízhozamszámításhoz alkalmazott képlet:

$$Q=-K*A*i$$

melyből *A* a mederfelület, *i* a hidraulikus gradiens és *K* földtani közeg hidraulikus vezetőképessége. Ezek közül már mind ismert március hónapra.

Ezen számítás menetét a 2. melléklet tartalmazza, viszont felhívnám a figyelmet arra, hogy a végeredményben kapott előjel az azt mutatja meg, hogy az áramlás iránya ellentétes a gradienssel.

Összesítve:

Qbe(márc.)=12106 m^3

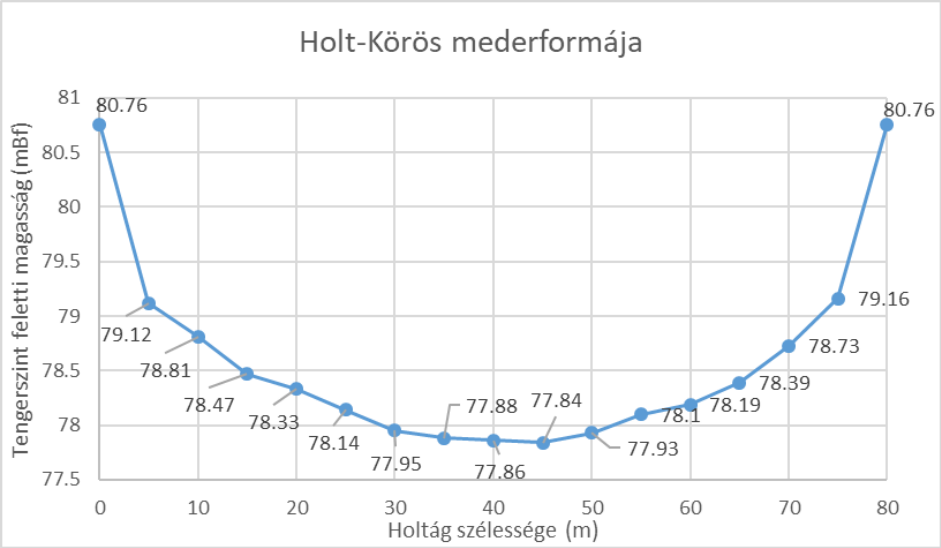
Qki(márc.)=7317 m^3

Tározás változás becslés (ΔS)

Mivel a vizsgált márciusi időszakban folyamatosan emelkedett a holtág vízszintje, ez azt mutatja, hogy a tározott vízmennyiség is nőtt, tehát +ΔS-ről beszélünk.

Irodalmi adatok alapján 4.500.000 m^3 a holtág víztérfogata. Ezt egy átlagos éves értéknek vehetjük. A következőkben viszont megbecsülöm a holtág víztéforgat értékét március elejére és végére, ebből pedig kiszámítom annak változását.

A mederfelület számításnál meg segítségül hívtam, a térfogatszámításnál is kiindulási pontnak számító mederformát melyet az 57. ábra szemléltet. Adott vízszintnél a meder átmettszet felületét összeszorozva a holtág hosszával (29.200 m) megkaphatjuk a tárolt vízmennyiséget.



57. ábra Szarvasi Holt-Körös mederformája (korosholtag.hu)

Ezen adatok alapján ki tudtam számítani a február 28.-án és március 27.-én feljegyzett vízszintadatok segítségével a hónap elején és a végén holtágban tározott vízmennyiséget.

február 28.-án 4.036.900 m^3, míg március 27.-én 5.329.000 m^3 volt. Mivel nőtt a vízszint, a tározás változása is pozitív érték lesz.

Ezen értékek különbségét véve a tározás változása március hónapban:

ΔS=1.292.100 m^3

7.3 Februári vízmérleg becslés

Az előző alfejezetben leírtakat összefoglalva megkaphatjuk a Holt-Körös vízmérlegét február hónapra, ha az alap vízmérleg egyenletbe behelyettesítjük a kiszámított tagokat:

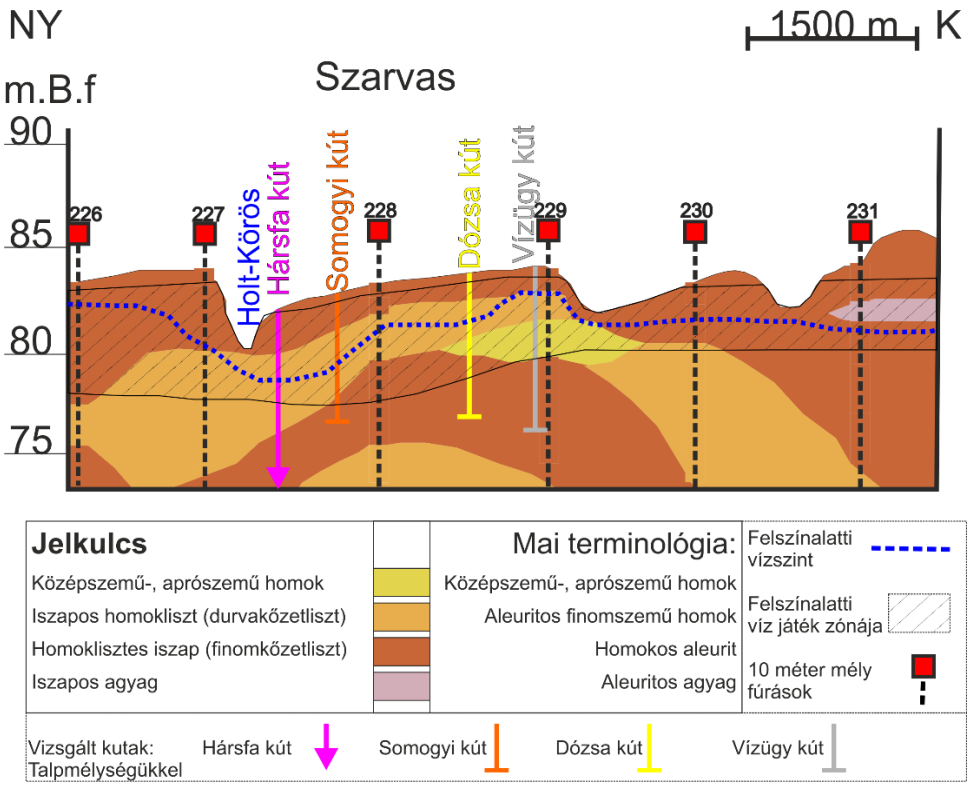
$$\Delta S=Q_{be}+CS+I_{FAV}-Q_{ki}-P-R_{FAV}$$

1.292.100=9.849.600+43.213+12.106 8.208.000-80.336-7.317

Ez az egyenlőség nem lesz igaz, mivel, ha összeadjuk és kivonjuk a tagokat akkor nem 0-át hanem -11.154 kapunk. Ez az eredmény valamely tagjára az egyenletnek némi túlbecslést feltételez. Attól, hogy nem kaptunk pontosan 0 értéket a vízmérleg becslésre, ez attól még egy elfogadható érték, ha figyelembe vesszük, hogy egy egész hónapra vonatkoztatva becsültem, továbbá, hogy ez a becslés még több hibával terhelt, mint az augusztusi becslésem, mivel most figyelembe kellett venni a vízszintkülönbségből adódó tározás változást is.

8 Eredmények értelmezése, diszkusszió

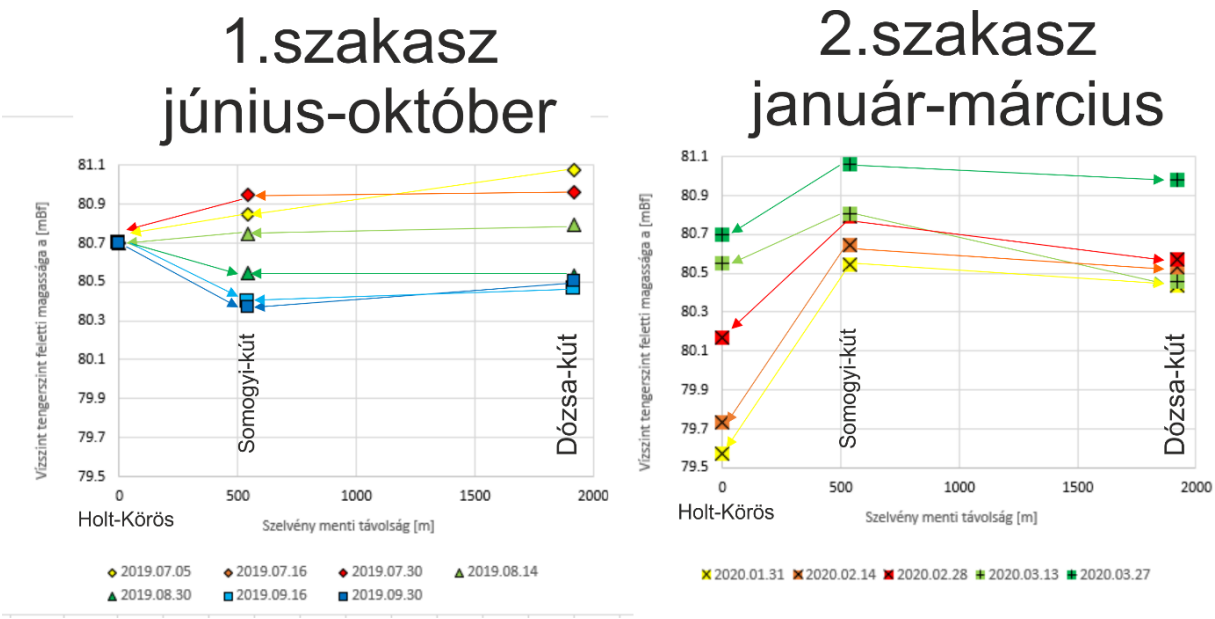
Bár egyik vizsgált kutam sem esik az 1980-as Rónai A. Alföld térképezés kutatófúrásainak szelvény-nyomvonalára (2.4.2-es fejezet, 9.ábra), be tudom vetíteni azokat a nyomvonalra, ha azt feltételezem, hogy rétegek észak-déli kiterjedése viszonylag sík (Alföld kvarter képződményeire jellemző). Ahogy távolodunk a Holt-Köröstől kelet felé, úgy távolodnak a kutak is a szelvény-nyomvonaltól dél felé. Ha a szelvény torzításának megfelelően ábrázolom a vizsgált kutak talpmélységét, akkor a következő képet kapjuk (58. ábra). Ez arra enged következtetni, hogy a Hársfa kúton kívül mindegyik vizsgált kutam legalsó pontja ugyanazon földtani képződményben helyezkedik el. Ebből arra következtethetnék, hogy paramétereiben hasonló felszínalatti vizet vizsgálhatunk rajtuk keresztül. Ezt viszont a vízkémiai vizsgálat nem támasztja alá.



58. ábra Rónai A. 1980-as Alföld térképezés szelvény-nyomvonalára bevetített kutak talpmélysége (Rónai A. 1980, után módosítva; Rába, I. 2019 után módosítva)

Ha a kutak vízszint méréseiből származó változásokat feltüntetjük egy grafikonon, abból látható, hogy a talajvíztükörnek milyen lejtése van. A nyári időszakban a kutak vízszintje folyamatosan csökken, még a mesterségesen 80,7 mBf-es szinten tartott holtág vízszintje alá is lecsökken augusztus közepén. Ez legfőképpen a nyári csapadék hiányának és a párolgásnak tudható be (Rába I 2019).

A tavaszi időszakban viszont egyértelműen egy növekvő tendenciát mutatnak a kutakban mért vízszintek. Ráadásul a növekedés párhuzamos a holtág vízszintjének növekedésével is, melyet mesterségesen emelnek meg minden év februárjában (59. ábra). Viszont nem zárhatjuk ki a talajvíztükör éves ingadozását sem, mely ősszel végén, télen növekszik majd tavasszal tetőzik (Molnár, Gy., Winter, J. (1983), Csordás, L. – Lóki, J. (1989). folyók környezetében ez a vízszintingadozás gyorsabban zajlik le és erősen függ a folyók vízjárásától (Rónai A. 1961).



59. ábra Vízáramlás irányokat mutató nyilak a kutatás ideje alatt

A vízszint mérési vizsgálatok eredményéből arra következtetek, hogy a Holt-Körös környezetében a felszínalatti vízszint jelentősen befolyásolt a holtág vízszintjének változása révén. Ez a hatás annál jelentősebb, minél közelebb helyezkedünk el a holtághoz (Somogyi kút csupán 530 méterre tőle). Mivel tavasszal viszonylag sok eső esik a vidéken, az is biztosan befolyásoló tényező és jóval kevesebb volt a párolgás is ebben az időszakban.

Sok éves megfigyelési adatok alapján elmondható, hogy a talajvíztükör novemberben áll a legalacsonyabban (Koris K. és társai 1993). Ezt nem tudom bizonyítani a területen, mivel október közepétől január végéig nem végeztem méréseket, de az látszik, hogy a nyári időszakban folyamatosan csökkent (nagyjából négy hónap alatt 0,5 m-t, míg tél végi időszakban két hónap alatt emelkedett ugyanennyit). Ezen eredmény révén feltételezem, hogy a holtág vízszintemelése hatással van a környező kutak vízszintjére.

A feltételezés bizonyítása érdekében készítettem el a terület sekélyhidrogeológiai modelljét a nyári időszakra, illetve a téli időszakra.

A modellezés eredményét úgy tudom értelmezni, hogy ha egy homogén rétegként tekintek a terület sekély mélységben lévő földtani képződményeire. Ha az augusztusi időszakot vizsgáljuk viszonylag kis hibával tudtam ábrázolni, modellezni a területen a holtág hatását a kutak vízszintjére. A januári időszakban viszont több mint 1,2 m-es eltérés volt a mért és a modellezett hidraulikus emelkedési magasságok közötti eltérés. Ezt az eltérést az okozta, hogy nem vettem figyelembe a terület áramlási rendszerének feláramló komponensét (Tóth és Almási 2001). Ennek hatását egy két rétegű modell elkészítésével szemléltettem. A téli időszakra elkészített modellek eredményeiből arra következtetek, hogy 2,05-m es túlnyomás megadásával modellezni lehet a felfelé áramlás hatását a területen. A feláramlást, mint alsó peremfeltétel, ezzel a módszerrel tudtam figyelembe venni.

Mivel a csapadék és annak hiánya jelentős befolyásoló tényező Szarvas területén, ezért a fiziko-kémiai paraméterek többségét a vizsgált időszakban hullott csapadékkal állítottam párhuzamba, mely adatokat a VPEG csapadékmérő állomása szolgáltatta.

A vízhőmérséklet vizsgálatok eredményéből kimutatható a levegőhőmérséklet változásának jelentős hatása a holtágra. A levegőhőmérséklet értékei jól korellálnak a felszíni víz (holtág) hőmérsékletével, amíg a csapadékesemények hatására látható változás nem is következik be. A kutak nyári/őszi időszakban mért vízhőmérsékleteinek ingadozása nagyobb tartományban történik, mint a tavaszi időszakban mérteknek. Továbbá az ásott kutak vizeinek hőmérsékletei a nyári időszakban szinte mindig magasabbak voltak, mint a 20 m mélységű Hársfa kút vizének, viszont ez a trend megfordulni látszik tavasszal, amikor a Hársfa kút vizének bár kevéssel, de magasabb a hőmérséklete, mint a Dózsa- és Somogyi kutak vizeinek. Ez is azt bizonyítja, hogy a mélyebb kutak Szarvason stabilabb vízhőmérséklettel bírnak, mint a „talajvizet” mintázó kutak. Ezt alátámasztja Rónai A 1980-as Alföld térképezés „talajvíz hőmérséklet” térképe is.

A vízkémiai vizsgálatok közül először a pH mérések eredményeit és azok értelmezését foglalnám össze. A kutatás első szakaszában a vizek feljegyzett pH értékei igen jelentős hibával terheltek, amely betudható annak, hogy az első 3 mérés alkalmával nem a Multielektródás WTW eszközt használtam, hanem pH indikátor papírt. A kutatás egészét figyelembe véve látható, hogy a kutak vizének pH értékei kis változékonyságot mutatnak a felszíni vizek értékeihez képest. Előbbiek 7-7,5 között mozognak és a tavaszi időszak végére igen jól korellálnak. Utóbbiak eredményeiből arra tudok következtetni, hogy télen a (6,5 körüli pH értékekkel) a vízutánpótlás hiányából adódóan kissé elsavasodhatott a holtág vize.

Ezután március közepén az „élő-víz” hirtelen beáramlása következtében 8,5 körüli pH értékeket mutatott a holtág vize, ami meg kissé magasabb, mint a természetes egyensúlyban lévő vizeké. A túlzott savasságot okozhatják biológiai folyamatok is, mellyel dolgozatomban nem foglalkoztam. Nem találtam szoros összefüggést a pH változás és a csapadékesemények között. Viszont a pH-t erősen befolyásolja a holtág téli „elzártsága”.

A vizek kémiájában bekövetkező évszakos változásokkal a kutatásom 2. szakaszában kezdem el foglalkozni és ezért csak a Somogyi, a Dózsa és a Hársfa kutakkal, valamint a Holt-Körös változásait foglalom össze.

Arra szeretném felhívni a figyelmet, hogy a kutatás 2. szakaszából csupán 3 mintavételből származó adatokkal tudtam dolgozni (2020.jan.31., 2020.feb.14., 2020.feb.28.) Ebből adódóan sajnos nem látszik a már a fejezet elején kiemelt „élő-víz” betáplálás eredménye a vízkémiai adatokból.

Az áramlási pályák mentén zajló kőzet-víz kölcsönhatásból eredő kémiai folyamatok jellegzetes kémiai és ásványtani jelenségeket hagynak az áramlás irányában és a pályák végén is. Az áramlási pályák mentén a beáramlási zónáktól kezdve egy átlagos ion-fejlődési sor (Chebotarev-sorozat, Chebotarev 1955) írható fel. Anionok eszerint a sor alapján változnak: $HCO_3^- \rightarrow SO_4^{2-} \rightarrow CL^-$, míg a kationok közül a nártium és a kálium aránya növekszik az összes kationhoz képest (Ca^{2+}, $Mg^{2+} \rightarrow Ca^{2+}$, $Na^+ \rightarrow Na^+$, $Ca^{2+} \rightarrow Na^+$). Ezen kívül az összes anionhoz viszonyítva nő a szulfát és a klorid koncentráció összege is.

Ha megfigyeljük a kútvizek kémiai összetételét, azt látjuk, hogy ezek a vizek az elején tartanak az áramlási pályák fejlődési sorainak (60. ábra). Jellemzően a hidrogénkarbonát koncentrációja a legmagasabb a vizekben, ami arra utal, hogy szoros kapcsolatban állnak ezek a kútvizek a beszivárgó meteorikus vízzel. A megemelkedett nátrium tartalom valószínűleg a földtani képződményekkel (homokos aleurit) való érintkezés hatására jelenhet meg (Tóth J. 1999).

	Vizsgált kutak vízkémiai paramétereinek átlagai 2019-2020-as kutatási időszakban [mg/l]									
Vizsgált kutak	Ca^{2+} [mg/l]	Mg^{2+} [mg/l]	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	**Összes kation**	HCO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]	SO_4^{2-}[mg/l]	**Összes anion**	**TDS [mg/l]**
Somogyi kút vize	174.5	79.8	313.2	54.2	621.8	985.7	145.1	400.9	1598.4	2220.2
Dózsa kút vize	109.6	18.7	337.8	8.9	475.0	778.5	131.2	222.9	1199.2	1674.2
Hársfa kút vize	110.0	21.9	31.6	2.6	165.4	493.2	15.5	23.1	535.2	700.5
Vízügy kút vize	153.3	55.1	118.8	5.9	333.1	515.6	165.0	169.1	941.1	1274.2

60. ábra Vízkémiai analízi eredményeinek átlagos értéke a mintázott vizekben

A kútvizek kémiai összetételében különbségek vannak. A Somogyi kútnak van a területen a legnagyobb oldottanyag tartalma (2200 mg/l). A Dózsa kút kissé le van maradva

mögötte (1600 mg/l), a Hársfa pedig 700 mg/l oldottanyag tartalmával inkább hasonlít a Holt-Körös vizének összetételére. Valószínűleg a holtág közelségéből adódóan leszivárgott meteorikus vizek jelentősen keveredhetnek a felszínalatti vízzel a területen. A Vizügy kútja pedig 1250 mg/l körüli összes oldott anyag tartalommal rendelkezik. Ezzel azt tudtam bizonyítani, hogy a területen sekély mélységben 8 m mélységig viszonylag magas az oldott anyag tartalma a felszínalatti vizeknek, de ahogy haladunk mélyebbre, egyre csökken a TDS (Rónai A 1980).

Ha a vizek kémiai állapotának évszakos változását tekintjük a holtág vizének összetételét jelentősen befolyásolja az Élő-Körösből való vízutánpótlás. A kutak szempontjából markáns változások nem figyelhetők meg. Jellemzően a kalcium és a magnézium koncentrációja változik a vizekben leginkább.

Hirtelen változást a vízkémiai összetételben a Somogyi kút mutatott az augusztus eleji kalcium koncentrációjának hirtelen csökkenésével. Mivel nem történt a vizsgálati időszakban máskor ekkora változás, azt feltételezem, hogy vagy mesterséges behatásra történt a változás, vagy nem zárható ki a vízkémiai elemzés hibája, mivel a magnézium ion koncentrációját az összkeménységből kivont kalcium ion koncentrációjának értékével számítottam ki. A Somogyi kútnál szinte állandó koncentráció értékei vannak az anionoknak egész évben. A kationok közül kissé változik a nátrium és a kálium aránya a vizsgált időszakban.

A Dózsa kút vízkémiai paraméterei mind a nyári/őszi mind a tavaszi időszakban stabilak voltak. A tavaszi időszakban a nátrium és a kálium mennyisége nőtt a vízben. Az anionok közel azonos koncentráció értékeket mutattak egész évben.

A Hársfa kút vizében a kationok közül egész évben stabil értéket mutat a nátrium és a kálium. Az anionok közül a legstabilabb egész évben a klorid, míg a nyári/őszi időszakban a hidrogén-karbonát és a szulfát ionok koncentrációja változik. A tavaszi időszakban ezen ionok koncentrációja csak elhanyagolható mértékben változik.

A Holt-Körös vízkémiai változásának értelmezését két részre szeretném bontani. Először is a nyári/őszi időszakban nem volt szignifikáns változás a holtág több különböző pontján vett minták vízkémiája között (Rába I., 2019). Ezért döntöttem úgy, hogy a kutatás 2. szakaszában a 4 mintavételi pontból csupán egynél (a 44-es hídnál) folytatom a mintavételezést. Márciusi vízmintákból nem származik vízkémiai elemzés. A tavaszi időszakban február végén látszik, hogy lecsökkent a hidrogénkarbonát mennyisége, a többi

anion és kation koncentrációja nem változott jelentősen a holtág vizében. A felszíni vizek szempontjából érdekes változást nem tudtam felfedezni a területen, a hirtelen kialakult járványügyi helyzet miatt (elzárt holtágat újra megnyitják az „élő-víz” beáramlás számára március közepén).

A fajlagos elektromos vezetőképesség mérések eredményei nagyjából megegyeznek minden mintavételnél a kutakban, szinte konstans értéket mutatnak az év folyamán. Viszont a Holt-Körös értékeinél megfigyelhető a nyári/őszi időszakban egy kisebb emelkedés. A tavaszi időszak kezdetén a holtág vizének elektromos vezetőképessége megközelíti a Hársfa kút értékeit. Viszont február végén többszáz µS/cm-es esést tapasztaltam a fajlagos elektromos vezetőképesség értékekben a holtág vizénél. Ebből arra következtetek, hogy nyáron és ősszel a párolgás hatására „betöményedett” holtág vize (Rába I., 2019) egész télen „tömény” maradt, (mivel ebben az időszakban az Élő-Körösből sem volt semmilyen utánpótlás). Majd a tavaszi heves esőzések révén (kisebb mértékben) és az „élő-víz” betáplálása révén felhígult a holtág vize. Ez az állítást alátámaszthatja a stabil-izotóp mérések eredménye is.

A különböző „vízrezervoárok”-nak gyakran nagyon eltérő és karakterisztikus stabilizotóp-összetétele van, ezért a kutatásunk során begyűjtött vízminták stabil hidrogén- és oxigénizotóp-összetétele fontos információt nyújthat minták eredetére vonatkozóan, valamint azokra a folyamatokra, amelyek hatottak az ezekre a vizekre. A vizsgálatok során δD és $\delta^{18}O$ értékét határoztuk meg. A stabilizotópos mérések számszerűsített eredményei a 3. mellékletben találhatóak.

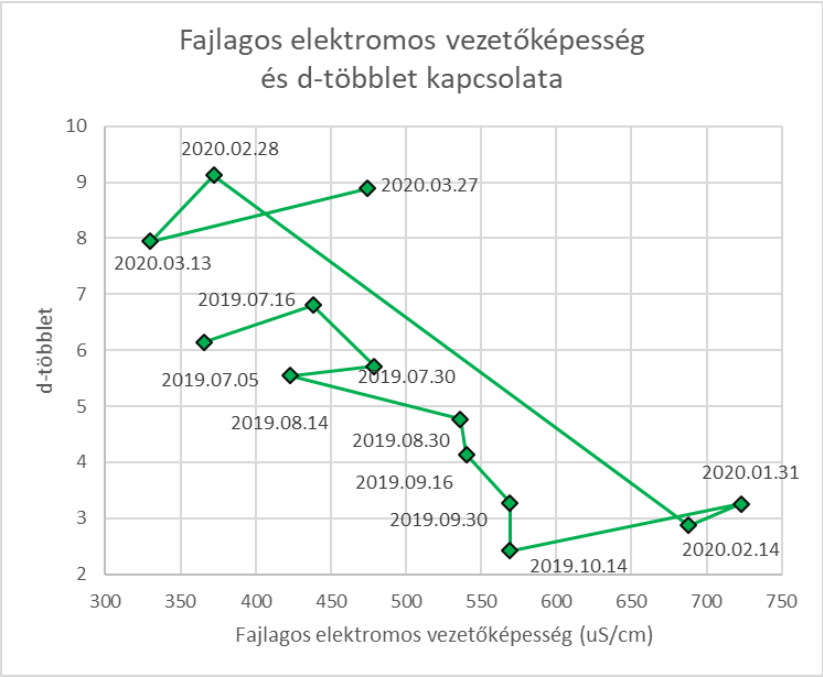
Az Élő-Körös és a Holt-Körös hidrogénizotóp-összetétele viszonylag tág határok között mozog (-69‰ és -54‰ között). A legpozitívabb értékek késő őszi minták mutatják, míg a legnegatívabbak tél végi (februárban) minták. Úgy tűnik, hogy kis amplitúdóval (43. ábra)és késleltetve követi a csapadékban megfigyelhető évszakos stabilizotóp változást (nyár: legpozitívabb izotópösszetétel, tél: legnegatívabb izotóp-összetétel). Emellett az Élő- és a Holt-Körös is mutat különbségeket. Az Élő-Körösből egész évben vettem mintákat, mind a holtágba való beengedés, mind abból való kiengedés után. Szignifikáns változás nincs a beengedés és a kiengedés közötti víz stabilizotóp-összetételében, viszont az évszakos változás lekövethető a holtágnál és az élő víznél más-más formában. Míg a nyári/őszi időszakban, amikor folyamatos volt a vízbeengedés a holtágba, nagyon kis mértékben tértek el a vízminták stabilizotóp-összetételei, addig a január végén vett minták között már szignifikáns eltérés van. A téli „élő-víz” minták jelentősen közelítenek a GCsVV-hez és sokkal

negatívabbak az értékei, addig a holtág nem. Mindazonáltal a holtág vizének stabilizotóp-összetétele február 14.-e és február 28.-a között jelentősen megváltozik, mivel ekkor kezdik el az addig, a téli időszakban teljesen elzárt holtág „élő-vízel” való „betáplálást”. Ez a vízmennyiség nemcsak, hogy hígítja a holtág vizét (csökkentve a fajlagos vezetőképesség értékeit), hanem a keveredés által stabilizotóp-összetételét is módosítja.

A δD és $\delta^{18}O$ értékekből lehet levezetni az úgynevezett d-többlet értéket (Dansgaard,W. 1964).

$$d = \delta D - 8 * \delta^{18} O$$

A d-többlet érték tulajdonképpen a GCSVV-tól való eltávolodása az adott vízminta izotópos összetételének. Ez az érték és ezáltal a GCSVV-tól való távolsága, információt nyújthat egyrészről a víz eredetéről, másrészről azokról a folyamatokról, amelyek hatottak az adott víztestre. Ez utóbbiak közül a párolgást érdemes kiemelni, mivel ennek hatása nagyon hamar érzékelhető a d-többlet csökkenésén keresztül. Tehát minél nagyobb mértékű a párolgáson ment át az adott víz, annál jobban eltér a GCSVV-tól és egyre kisebb d-többlet értéket mutat. A Holt-Körös d-többlet értékei a nyári időszakban térnek el jelentősen a GCSVV-tól (61. ábra). Ebben az időszakban volt a legnagyobb mértékű a párolgás. A korábbiaknak megfelelően azonban nemcsak a d-többlet érték változott meg a párolgás hatására, hanem a fajlagos vezetőképesség is megnövekedett, a holtág vize betöményedett. Ennek a két egymástól független paraméter ábrázoltam az 61. ábra diagramján. Jól látható, hogy negatívan korrelálnak (61. ábra): a fajlagos vezetőképesség növekedésével a d-többlet érték csökken. Mindez a párolgás hatásával magyarázható.



61. ábra Fajlagos elektromos ellenállás és a d-többlet kapcsolata

A Körösök stabilizotóp-összetételével szemben a kutak összetétele kis határok között mozog, a vizsgált időszakban állandónak tekinthetők, nem mutatnak évszakos változásokat. Hidrogén stabilizotóp-összetétele kutakban (-70,98‰ és-62,73‰ között) és oxigén stabilizotóp-összetétele a kutakban (-9,84‰ és 8,66 ‰ között), ami jellemző a sekély felszínalatti vizekre (Deák, J. 1989)

Deák J. (2002) Alföldről készült tanulmányában kategorizálja a $\delta^{18}O$ értékeik alapján a különböző vízadókból származó felszínalatti vizeket. Szignifikáns különbséget határozott meg a sekély felszínalatti vizek (maximum 20 m mélységből) (- 9,3±0,4‰), a Holocén felszínalatti víz (-9,7±0,5‰) és a jégkorszakok során beszivárgott felszínalatti víz (-11,8±0,8‰) $\delta^{18}O$ átlag értékei között. (Deák, J. 2002). A holocén vizek a kvarter formációkból, míg a Deák által jégkorszaki víznek számon tartott felszínalatti víz a Nagyalföldi formációból származnak (Szőcs, T. és társai 2015).

Az 3. melléklet alapján láthatjuk, hogy a mintázott kutak átlagos $\delta^{18}O$ értéke:

A Somogyi kúté: -9,60±0,17

A Dózsa kúté: -8,99±0,13

A Hársfa kúté: -8,87±0,05

Ezen adatok birtokában arra következtetek, hogy míg a Dózsa és a Hársfa kutak vize még az átlagos felszínalatti vizek $\delta^{18}O$ értékét sem éri el, tehát valamilyen formában más vízzel (csapadékvízzel beszivárgás révén) kellett keverednie, addig a Somogyi kút stabil oxigénizotóp-összetétele megközelíti a Holocén felszínalatti vizek értékét, vagyis a kvarter formációból származó víz stabilizotóp-összetételéhez közelít.

8.1 Vízmérleg számítások összehasonlítása, értelmezése

Annak érdekében, hogy az évszakos változásokról jobb képet kapjak, ebben a fejezetben összehasonlítom egy nyári hónap (2019. augusztus) és egy tavasz elejei hónap (2020. március) vízmérlegét. A március hónap egy „feltöltési" időszaknak felel meg, amikor átállnak a téli vízszintről a nyári vízszintre, míg az augusztus egy folyamatosan mezőgazdasági célokat kielégítő „üzemelési" időszakot mutat. Az augusztusi adatokat Rába I 2019-es kutatásából vettem át, illetve mivel akkor csak napi vízmérleget számoltam (augusztus 1.jére), a számítást elvégeztem egész augusztusra.

Augusztusi vízmérleg számítás (Rába I. 2019 után):

$$\Delta S = Q_{be} + CS + I_{FAV} - Q_{ki} - M - P - R_{FAV}$$

0=15.552.000+35.182+14.624-13.478.400 -1.879.200 - 236.464-6.016

A hibája ennek az egyenletnek: 13.758 m^3

Márciusi vízmérleg számítás:

$$\Delta S = Q_{be} + CS + I_{FAV} - Q_{ki} - P - R_{FAV}$$

1.292.100=9.849.600+43.213+12.106-8.208.000-80.336-7.317

A hibája ennek az egyenletnek: -11.154 m^3

Először soknak tűnhet a hiba értéke, de ha figyelembe vesszük, hogy egy hónapra vonatkoztatva számoltam, továbbá, hogy az egyenleteket alkotó tagok valójában mekkora vízmennyiségek (millió köbméteres nagyságrend), elég pontos számításról beszélünk. Viszont a felszínalatti víz komponense elhanyagolható a holtág általam számított vízmérlege szempontjából.

Az évszakos változások, közül egyértelmű, hogy tavasszal jelentősebb a csapadék és kevésbé jelentékeny a párolgás, mint nyáron. A két időszak között jelentős változás az a tavaszi időszakban történt vízszintemelés és a nyári időszakban történt mezőgazdasági vízkivétel.

Ez a számítás azt támasztja alá, hogy a mesterségesen változtatott vízszintű holtág évszakosan más ráhatással van a felszínalatti vízre. A holtág vízszintemelése a közeli kutakban szintén vízszint emelkedést eredményezett.

Az adatsor rövidségéből is adódhatnak a hibák, továbblépési lehetőségnek tartom a kutatás folytatását. Ezáltal még pontosabb vízmérleg egyenlet felállítása válna lehetségessé.

9 Következtetések

Kutatási eredményeim értelmezése alapján láthatjuk, hogy a mesterségesen befolyásolt morotva tavak ráhatással lehetnek a környező területek felszínalatti vizeire. Bár a kutatás csak pár hónapot ragadott ki a holtág „életéből" látszik az évszakos periodocitás és a mesterséges vízszintszabályozás jelentős hatása. A vízkémiai eredmények arra utalnak, hogy a holtág csak a kis mértékben hathat és csak a fél km-re lévő kutak vizére. A vizek kémiai karakterisztikája alapján beáramlási zónáról beszélünk Szarvas területén. A Somogyi kút stabilizotópos méréseinek eredménye szerint a Holocén felszínalatti vizek stabilizotóp-összetételéhez (Deák J., 1989) hasonló. A többi vizsgált kútnak alacsonyabb az oldottanyag tartalma, ami arra utal, a meteorikus vizekkel történhet jelentősebb keveredés. Erre némi bizonyítékkal szolgálnak a stabil-izotópos vizsgálatok is. Bár ez a feltételezés további kutatást igényel. A stabil-izotóp mérések továbbá bizonyították a párolgás hatását, annak a vizek töménységével való kapcsolatát. A modellezés eredményeiből látszik, hogy a holtág mesterséges vízszintemelése hatással van a közelebbi kutak vízszintjére, (fél km távolságig), de a távolabbi kutakra nincs, vagy csak csekély ráhatással van. A vízmérleg számítás számértéket adott a felszínalatti víz hozzájárulásának a holtághoz az év két különböző időszakában. Mind a modellezéshez, mind a vízmérleg számításhoz bemenő paraméterként kiszámoltam a Szarvas területén sekély mélységben előforduló földtani képződmények hidarulikus vezetőképesség értékét szemcsegörbék alapján. A számítás eredménye nagyságrendileg megegyezett a Nagyalföldi vízvezető képződmény hidraulikus vezetőképesség értékével. De a számításból arra is lehet következtetni, hogy a felszínalatti víz havi tekintetben jelentéktelen komponens.

Előbb megfogalmazott következtetésemet további kutatásokkal kell alátámasztani. Erre legalkalmasabbnak további kutak bevonását tartom a területen. Illetve a felszínalatti víz áramlásának pontosabb vizsgálatára mesterséges nyomjelzőket használnék. Ki kell emelnem, ami a hidrogeológiai modellből is látszott, hogy 3 (egy szelvény mentén elhelyezkedő) kútból csak akkor lehetne pontos következtetéseket levonni a felszínalatti víz áramlási pályáira, ha a

valóságban homogén izotróp közegről beszélnénk. De mivel a természetben szinte sosem beszélhetünk ilyen közegről, érdemes több kutat, a szelvény-nyomvonalon kívül eső kutakat is bevonni a kutatásba.

10 Összefoglalás

A dolgozatom célja Szarvas város felszínalatti vizei és egy mesterségesen szabályozott holtág kapcsolatának vizsgálata. Jelen dolgozatomban ezt a problémát különböző tudományterületek módszereinek ötvözésével közelítettem meg. Kombináltam a hidrogeológiai megfigyeléseimet mérnökgeológiai számításokkal, valamint vízkémiai és stabilizotóp kémiai méréseket végeztem, illetve azok eredményét értékeltem ki. Ezen módszerek összekapcsolásával akartam választ kapni kutatásom elején feltett kérdéseimre. Kutatásom első szakaszát kibővítettem, ezzel évszakos változásokra tudtam következtetni a területen, mind a holtág, mind a felszínalatti víz tekintetében. 2019-ben elkészült Tudományos Diákköri Dolgozatom eredményeit felhasználva és kiegészítve 2020-as kutatásomból származó adatokkal együtt értékeltem ki a felszínalatti és felszíni víz kapcsolatát. A vizsgált kutakból és a holtágból származó mérések eredményeiből arra következtettem, hogy a mesterségesen szabályozott holtág jelentős hatással van Szarvas területén előforduló felszínalatti vizekre.

Vízkémiai karakterisztikájuk alapján feltételezem, hogy Szarvas sekély vizei a Nagyalföldi vízadó képződményből származnak. És bár a vízkémiai adatokból nem, a stabilizotópos mérések eredményeiből arra következtettem, hogy Szarvas területén topográfiailag vezérelt lokális áramlási rendszer is működik a mélyebb feláramlási rendszer felett.

Mérnökgeológiai és hidrogeológiai számítások révén nagyságrendileg meg tudtam határozni, a Holt-Körös vízmérlegének és annak komponenseinek évszakos változását.

Kutatásom abból a szempontból egyedi, mert ilyen különböző módszereket alkalmazva és eredményeiket összevetve (a vizsgálati területen és környezetében biztosan) nem hajtottak még végre. Külön-külön is jól alkalmazható vizsgálati módszerekkel dolgoztam, melyek eredményeit egymáséival kiegészítve új információkat szerezhetünk területünkről.

11 Abstrakt

The purpose of my disseratation was to investigate the connection between the shallow groundwater and artifically controlled surface water in Szarvas. My narrow one year research I sampled three shallow wells and the Holt-Körös surface water to conclude the seasonal changes of the shallow groundwater in this region of the Great Hugnarian Plane. In this research I used different methods of the field of sciences. I combined my hydrogeological observations with engineering geology together with water chemistry and stable-isotope geochemistry. I investigated the seasonal changes in water chemistry and stable-isotope composition of surface water and groundwater. I calculated the water balance of the Holt-Körös in two separate months of the year. Then I compared the two equations. From these calculations I could highlith the effect of the groundwater on the water balance equation of Holt-Körös.

This thesis is part of the ENeRAG project that has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No. 810980.

12 Köszönetnyilvánítás

Először is szeretném megköszönni témavezetőimnek, Dr. Karay-Farkas Gyöngyinek, Dr. Czuppon Györgynek és Dr. Mádlné Szőnyi Juditnak, akik tapasztalatukkal, szakértelmükkel, pénzt, időt és erejüket nem sajnálva segítették e dolgozat elkészültét. Külön szeretném megköszönni Szőnyi Judit Tanárnőnek, aki támogatta Tudományos Diákköri munkám folytatását. Mindig bátran fordulhattam hozzá, ha bármiben, akár a kutatás keretein kívül is segítségre vagy tanácsara szorultam.

Köszönet illeti a Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság munkatársait, akik lehetővé tették a mintavételt, adatokkal láttak el és bármilyen kérdésben fordulhattam hozzájuk. Köszönöm Megyeri Mihánynak, Kliszek Józsefnek, Radics Györgynek, Dina Gábornak, Dorogi Istvánnak, Barcsik Lászlónak munkájukat és kötelezettségeiken felül nyújtott segítségüket.

Szeretném megköszönni Darida Andrásnak, aki tapasztalatával és tanácsaival látott el a munkám során, illetve annak megkezdése előtt.

Köszönet illeti Szító Szabolcsot segítség nyújtásáért.

Köszönet illeti Szikszay Lászlót, aki a vízkémiai vizsgálatok lebonyolításában és felügyeletében segített.

Végül de nem utolsó sorban szeretném megköszönni a Vajda Péter Evangélikus Gimnázium tanárainak és diákjainak együttműködésüket a kutatás első szakaszában. Kituljak Eszternek és Kéri Bernadettnek. szeretném megköszönni a szervezésben, megvalósításban és még a mintavételezésben is a segítségnyújtásukat. A Hársfa kút megmintázásának biztosításáért köszönet illeti Hortobágyiné Csizmadia Edinát.

A dolgozat az ENeRAG projekt keretein belül készült, amelyet az Európai Unió Horizont 2020 kutatási és innovációs programja támogatott a 810980 azonosító számú támogatási megállapodás alapján.

13 Irodalomjegyzék

Almási, I. (2001): Petroleum Hydrogeology of the Great Hungarian Plain, Eastern Pannonian Basin, Hungary. PhD értekezés, University of Alberta, Edmonton, Kanada

Bérczi, I. és Phillips (1985): Processes and depositional environments within Neogene deltaic-lacustrine sediments, Pannonian Basin, Southeastern Hungary, Geophysical Transactions 31, pp 71-87 Budapest

Bérczi, I., Hámor, G., Jámbor, Á., Szentgyörgyi, K. (1988): Neogene sedimentation in Hungary, in: The Pannonian Basin: A study in basin evolution, AAPG Memoir, pp 57-68.

Budai, T. és Konrád, Gy. (2012): Magyarország földtana, Gyula

Chebotarev, I. J. (1955): Metamorphism of natural water in the crust of weathering. Geochem. Cosmochim. Acta. 8, pp.137-170

Czauner, B. (2012). Regional Hydraulic Function of structural elements and low-permeability formations in fluid flow systems and hydrocarbon entrapment in Eastern-Southeastern Hungary, PhD értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, Magyarország

Csordás, L.–Lóki, J. (1989): A talajvízszint változásának vizsgálata a Nagykunságban és a Hajdúság-ban. – Alföldi Tanulmányok 13. Békéscsaba, pp. 47–64

Dansgaard, W. (1964): Stable isotopes in precipitation, Tellus, 16:4, pp. 436-468

Deák, J. (1989): Környezeti izotóp vizsgálatok eredményei a Maros hordalékkúpon.- Vízkutatási, feltárási és vízbáziskiépítési munkák eredményei a Maros hordalékkúpon. VGI-MHT kiadvány Békéscsaba, pp. 64-77.

Deák, J. (2002): Comparison of groundwater flow modeling and environmental isotope results on the Great Hungarian Plain, Budapest Hungary

Erdélyi, M. (1976): Outlines of the hydrodynamics and hydrochemistry of the Pannonian Basin – Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae, 20/3-4, pp. 287-309

Farkas, D., Farkas-Karay, Gy., Hegedűs, N. (2019): Szivárgási tényező labóratóriumi meghatározása szemeloszlási görbe és kisminta-modell felhasználásával, Budapest Hidrológiai Közlöny 99.évf 4.sz pp. 42-51.

Franyó, F. (1976): A Szarvasi SZ-1. SZ. alapfúrás földtani és vízföldtani eredményei Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet pp. 121-142

Freeze, R. A. & Cherry, J. A., (1979): Groundwater. Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, New Jersey, 604 pp.

G. Rajetzky, M. (1974): Pliocénvégi-negyedkori üledékciklusok mikromineralógiai spektruma a SZARVAS-1. sz. fúrásban Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet p.171-183

Haas, J (szerk.) (2012): Geology of Hungary. Springer Verlag Berlin; Heidelberg, p. 236 (Regional Geology Reviews; XXIV.)

Haas, J, Budai T., Csontos. L, Fodor. L., Konrád. Gy., Koroknai. B., (2010): Magyarország prekainozoós földtani térképe 1:500000 Kiadva Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest

Horváth, F. (2007): A Pannon-medence geodinamikája, Budapest 238 p

Juhász, Gy. & Magyar, I. 1992: Pannóniai litofáciesek és molluszka-biofáciesek korrelációja. — Földtani Közlöny 122,167–194.

Juhász, Gy. (1992): A pannóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. – Földtani Közlöny, 122, 133–165.

Koris K. és társai (1993): Hidrológiai számítások Budapest, Akadémiai Kiadó

Kőrössy L. (2005): Az Alföld délkeleti része kőolaj-és földgázkutatásának földtani eredményei. I. rész Budapest, Általános Földtani Szemle 29.sz pp 41-132

Kuti L., Kerék B., Tóth T. (2005): Magyarország sík-és dombvidéki tájainak agrogeológiai jellemzése Budapest Tájökológiai Lapok 3 (1): 1–12.

Mádl-Szőnyi, J.,Tóth, J. (2009): A hydrogeological type section for the Duna-Tisza Interfluve, Hungary. Hydrogeology Journal 17(4):961-980

Magyar, I., Geary, D. H. & Müller, P. 1999: Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. —Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 147,151–167.

Magyar, I., Radivojevic, D., Sztanó, O., Synak, R., Ujszászi, K., Pócsik, M. (2012): Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin duringthe Late Miocene and Early Pliocene

Miháltz I. (1966): A dél-Alföld felszínközeli rétegeinek földtana Budapest, Földtani Közlöny 97.kötet p.295-307

Molnár, Gy.–Winter J. (1983): A talajvizek alakulása a Nagykunságban és a Jászságban – Hidrológi-ai Közlöny 63. pp. 450–458

Nádor, A., Lantos, M., Tóth, Makk, Á., Thamó-Bozsó, E., 2003. Milankovich-scale multi-proxy records from fluvial sediments of the last 2.6 Ma, Pannonian Basin, Hungary. Quaternary Science Reviews 22, 2157–2175.

Nádor, A., Thamó-Bozsó, E., Magyari, Á., Babinszki, E., 2007. Fluvial responses to tectonics and climate change during the Late Weichselian in the eastern part of the Pannonian Basin (Hungary). Sedimentary Geology 202, 174–192.

Nádor. A., Sztanó, O., 2011. Lateral and vertical variability of channel belt stacking density as a function of subsidence and sediment supply: field evidence from the intramountaine Körös Basin, Hungary. SEPM Spec. Publ. 97, 375–392.

Pogácsás, Gy., Lakatos, L., Újszászi, K., Vakarcs, G., Várkonyi, L., Várnai, P., Révész, I. (1988) Seismic facies, electro facies and Neogene sequence chronology of the Pannonian Basin. Acta Geologica Hungarica 31/3-4:175-207

Rába I. (2019): A Holt-Körös és a csapadék kapcsolatának vizsgálata Szarvas környezetében a felszínalatti vizek segítségével Tudományos Diákköri Dolgozat Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, Magyarország

Rónai A. és társai (1969). Magyarország tájföldrajza II. A tiszai Alföld, Budapest, Akadémiai Kiadó

Rónai, A. (1961) A síkvidékek földtani kutatásának jelentősége Budapest Magyar Állami Földtani Intézet pp 6-17

Rónai, A. (1961): Az Alföld talajvíztérképe: Magyarázó a talajvíztükör felszínalatti mélységének 1:200 000-es méretű térképéhez, Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet

Rónai, A. (1980): Az Alföld földtani atlasza Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet

Rónai, A. (1985) Az Alföld negyedidőszaki földtana Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet p 446

Simon, Sz., Mádl-Szőnyi, J., Müller, I., Pogácsás, Gy. (2011): Conceptual model for surface salinization in an overpressured and a superimposed gravity-flow field, Lake Kelemenszék area, Hungary

Sümeghy, J. (1944). A Tiszántúl Budapest, Magyar Királyi Földtani Intézet

Szanyi, B. (1976): Szarvasi kutatási területen végzett reflexiós mérések (I-36 sz. jel.) Kézirat.

Szanyi, B. (1980). A szarvasi kutatási területen 1979 évben végzett részletező reflexiós mérésekről. Kézirat.

Szőcs, T. Frape, S., Gwynne, R. (2015): Integrating hydrogeochemical and isotope data in studying regional groundwater flow systems in the Great Hungarian Plain, Procedia Earth and Planetary Science 13, pp 177-180.

Sztanó, O., Szafián, P., Magyar, I., Horányi, A., Bada, G. Hughes, W. D., Hoyer, L. D., Walls, J. R., (2013): Aggradation and progradation controlled clinotherms and deep-water sand delivery model in the Neogene Lake Pannon, Makó Through, Pannonian Basin SE Hungary Glob. Planet. Chang. 103, pp 149-167

Thamó-Bozsó, E., Kercsmár, Zs., Nádor, A., 2002. Tectonic control on changes in sediment supply on Quaternary alluvial systems, Körös sub-basin, SE Hungary. In: Jones, S.L., Frostick, L.E. (eds), Sediment Flux to Basins: Causes, Controls and Consequences. Geological Society, London, Special Publications 191, 37–53.

Thamó-Bozsó, E., Murray, A.S., Nádor, A, Magyari, Á., 2007. Investigation of river network evolution using luminescence dating and heavy mineral analysis of Late-Quaternary fluvial sands from the Great Hungarian Plain. Quaternary Geochronology 2, 168–173.

Tóth, J. (1999): Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestaciones. Boletin Geologico y Minero 111/4, pp.9-26.

Tóth, J., Almási, I. (2001): Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin, Geofluids 1:11-36

Tóthné, H. K. (1997). Szarvas környékének klimatikus, talajtani és hidrológiai vizsgálata A Puszta pp 192-203

Zamarin, I. A. (1954). Projektirovanyije gidrotechnicseszkih szooruzsenyij. Moszkva

Internetes hivatkozások:

Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2016 Hármas-Körös alegység Körös-vidéki Vízügyi Főigazgatóság

mbfsz.gov.hu

korosholtag.hu 2020

wunderground.com 2020

vizugy.hu 2020

14 Mellékletek:

1. melléklet

Szemcseátmérő [mm]	A (Zamarin összefüggésből)	Durva kőzetliszt (2m)	Durva kőzetliszt (2m)	Finom kőzetliszt (2m)	Durva kőzetliszt (10m)	Finom kőzetliszt (10m)
0.005	238.054	12.25	17.5	31.25	19.11	40.54
0.01	124.018	23.23	30	45.3	27.24	56.5
0.02	60	41.2	63.8	71.48	43.7	73.17
0.05	23.34	73.38	88.17	92.39	80.67	91
0.1	11.41	88.91	95.6	97.14	91.97	98.2
0.2	5.57	96.09			96.2	
dm		8.67192E-05	6.72804E-05	4.85184E-05	7.13393E-05	4.11653E-05
k=As*dm^2		1.19924E-08	7.2186E-09	3.11919E-09	8.11584E-09	2.24538E-09
K=(k*ró*g)/mű		1.17E-05	7.03E-06	3.04E-06	7.91E-06	2.19E-06
n (durva kőzetliszt)	0.6					
n (finom kőzetliszt)	0.745					
As (durva)	1.5946875					
As (finom)	1.325039606					
ró	998.2					
g	9.81					
mű	10.049					

2. melléklet:

Napok	i	Q (m3/nap)
2020.02.28	0.000747	2271.71
2020.02.29	0.000449	1365.89
2020.03.01	0.000472	1435.31
2020.03.02	0.000193	586.86
2020.03.03	0.000178	541.54
2020.03.04	0.000012	37.29
2020.03.05	-0.000022	-65.40
2020.03.06	-0.000036	-110.72
2020.03.07	-0.000127	-385.50
2020.03.08	-0.000179	-545.55
2020.03.09	-0.000025	-74.58
2020.03.10	-0.000058	-177.26
2020.03.11	-0.000300	-910.98
2020.03.12	-0.000352	-1071.03
2020.03.13	-0.000404	-1227.64
2020.03.14	-0.000372	-1129.54
2020.03.15	-0.000226	-687.25
2020.03.16	-0.000099	-302.32
2020.03.17	-0.000048	-146.86
2020.03.18	-0.000054	-163.49
2020.03.19	-0.000078	-237.50
2020.03.20	-0.000027	-82.03
2020.03.21	0.000081	245.53
2020.03.22	0.000151	458.36
2020.03.23	0.000221	671.19
2020.03.24	0.000272	826.65
2020.03.25	0.000304	924.75
2020.03.26	0.000393	1194.94
2020.03.27	0.000521	1583.31

		Márciusi felszínalati víz hozzájárulás
	Ifav	-7317.65
	Rfav	12106.02

2.melléklet:

Stabil-izotóp mérések számszerűsített eredményei					
Mintavételi időpont	Mintavételi hely		dD	d18O	d-többlet
2019.07.05	Dózsa		-64.29	-8.87	6.68
2019.07.16	Dózsa		-64.14	-9.06	8.36
2019.07.30	Dózsa		-63.66	-8.66	5.60
2019.08.14	Dózsa		-63.49	-9.06	8.98
2019.08.30	Dózsa		-65.56	-8.98	6.30
2019.09.16	Dózsa		-64.27	-9.13	8.74
2019.09.30	Dózsa		-65.19	-9.15	7.98
2019.10.14	Dózsa		-64.75	-9.07	7.78
2020.01.31	Dózsa		-64.16	-8.97	7.61
2020.02.14	Dózsa		-64.60	-9.05	7.77
2020.02.28	Dózsa		-64.03	-8.91	7.26
2020.03.13	Dózsa		-64.66	-9.07	7.94
2020.03.27	Dózsa		-64.66	-8.94	6.83
2019.07.05	Somogyi		-68.79	-9.42	6.53
2019.07.16	Somogyi		-68.69	-9.84	10.06
2019.07.30	Somogyi		-69.49	-9.62	7.45
2019.08.14	Somogyi		-69.32	-9.72	8.41
2019.08.30	Somogyi		-70.98	-9.63	6.09
2019.09.16	Somogyi		-70.13	-9.83	8.51
2019.09.30	Somogyi		-70.75	-9.77	7.40
2019.10.14	Somogyi		-69.91	-9.73	7.95
2020.01.31	Somogyi		-68.36	-9.51	7.76
2020.02.14	Somogyi		-68.14	-9.45	7.48
2020.02.28	Somogyi		-68.41	-9.43	7.04
2020.03.13	Somogyi		-68.44	-9.44	7.04
2020.03.27	Somogyi		-68.07	-9.39	7.05
2019.07.05	Hársfa		-63.53	-8.72	6.21
2019.07.16	Hársfa		-63.67	-8.87	7.32
2019.07.30	Hársfa		-63.26	-8.93	8.17
2019.08.14	Hársfa		-63.78	-8.89	7.34
2019.08.30	Hársfa		-63.22	-8.90	7.95
2019.09.16	Hársfa		-62.73	-8.85	8.08
2019.09.30	Hársfa		-64.15	-8.86	6.75
2019.10.14	Hársfa		-63.26	-8.94	8.25
2020.01.31	Hársfa		-63.29	-8.87	7.64
2020.02.14	Hársfa		-63.83	-8.86	7.07
2020.02.28	Hársfa		-63.49	-8.90	7.75
2020.03.13	Hársfa		-64.10	-8.81	6.41
2020.03.27	Hársfa		-63.56	-8.90	7.61
2019.07.05	Holt-Körös		-60.57	-8.34	6.14
2019.07.16	Holt-Körös		-60.16	-8.37	6.80
2019.07.30	Holt-Körös		-61.76	-8.43	5.71
2019.08.14	Holt-Körös		-61.99	-8.44	5.54
2019.08.30	Holt-Körös		-59.60	-8.05	4.77
2019.09.16	Holt-Körös		-56.47	-7.58	4.14
2019.09.30	Holt-Körös		-55.85	-7.39	3.28
2019.10.14	Holt-Körös		-54.06	-7.06	2.41
2020.01.31	Holt-Körös		-60.56	-7.98	3.26
2020.02.14	Holt-Körös		-59.31	-7.77	2.87
2020.02.28	Holt-Körös		-68.27	-9.67	9.12
2020.03.13	Holt-Körös		-68.93	-9.61	7.94
2020.03.27	Holt-Körös		-66.22	-9.39	8.89
2019.07.05	Élő Körös		-60.44	-8.67	8.92
2019.07.30	Élő Körös		-62.17	-8.51	5.87
2019.08.30	Élő Körös		-59.85	-8.06	4.62
2019.09.30	Élő Körös		-57.35	-7.53	2.91
2019.10.30	Élő Körös		-57.49	-7.55	2.87
2019.11.30	Élő Körös		-60.07	-8.31	6.40
2019.12.31	Élő Körös		-65.87	-9.18	7.57
2020.01.31	Élő Körös		-67.58	-9.64	9.58
2020.02.28	Élő Körös		-68.72	-9.86	10.16
2020.03.27	Élő Körös		-66.05	-9.41	9.21
2019.06.15	2019/június		-23.79	-3.46	3.88
2019.07.15	2019/július		-35.98	-5.57	8.54
2019.08.15	2019/augusztus		-28.91	-4.12	4.03
2019.09.15	2019/szeptember		-33.71	-5.43	9.73
2019.10.15	2019/október		-38.78	-5.56	5.71
2019.11.15	2019/november		-46.79	-7.13	10.27
2019.12.15	2019/december		-78.68	-10.70	6.95
2020.01.15	2020/január		-79.12	-10.55	5.31
2020.02.15	2020/február		-58.43	-8.71	11.26

Nyilatkozat

Név: Rába István

ELTE Természettudományi Kar, szak: Geológia Msc

NEPTUN azonosító: OKEXXX

Szakdolgozat címe: Szabályozott holtág és a felszínalatti víz kapcsolata Szarvas területén

A szakdolgozat szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudtában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló szellemi alkotásom, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Budapest, 2020.05.28

Rába István

hallgató aláírása