Smaragd-GSH Kft.
Vízgazdálkodás és Környezetvédelem
www.smaragd.hu

A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotrögzítése, a várható emelkedés modellezése
KEHOP-1.1.0-15-2017-00010

Vízháztartási modellezés és állapotértékelés

1. mintaterület kialakítása

ISO 9001 & 14001
QEM HU 3 34 299 11
www.ecomcert.org

TERVLAP

Projekt megnevezése:	A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotrögzítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010
Részfeladat megnevezése	Vízháztartási modellezés és állapotértékelés 1. mintaterület kialakítása
Megrendelő	Országos Vízügyi Főigazgatóság 1012 Budapest, Márvány utca 1/D.
Vállalkozó	Smaragd-GSH Kft. 1114 Budapest Villányi út 9.
Végrehajtás ideje	2019.01.11.-2020.11.30.

Projektvezető	Gondárné Sőregi Katalin Okl. geológus Mérnöki kamarai nyilvántartási szám: 13-8286 VZ-T, SZKV-1.1., SZKV-1.3., SZVV-3.1. SZVV-3.9. SZVV-3.10.
Mintaterületi mérések, kiértékelés, a jelentést készítette	Balogh Viktor okl. geológus
Vízrajzi mérések, forrás felmérés, vízhozam mérés szakértő	Weiser László okl. geológus
Térinformatika, digitális térképek szerkesztése	Könczöl Nándorné térinformatikus mérnök

SMARAGD-GSH Kft.
1114 Budapest, Villányi út 9.
Tel/Fax: 361-4341, 209-3622
Adószám: 10905573-2-43

Jóváhagyta:

.....
Gondár Károly Ügyvezető

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés 6
2. A terület bemutatása 7
2.1 Elhelyezkedés 7
2.2 A terület forrásai 9
2.3 Kistáj-kataszteri besorolás 11
2.4 Földtani felépítés 11
2.5 Vízföldtani felépítés 13
2.6 A terület morfológiája 15
2.7 Talajok 17
2.8 Területhasználat 17
2.9 Éghajlat 21
3. Archív idősorok elemzése 23
3.1 Rendelkezésre álló adatok 23
3.2 Beszivárgás hosszútávú alakulása az archív adatok alapján 23
3.3 Idősorok elemzése 24
3.4 Havi idősorok elemzése 30
3.5 A termelés elemzése 39
3.6 Vízmérlegek 40
4. Mérőhálózat és a beszivárgás-számítás ismertetése 42
4.1 A mérőhálózat elemei 42
4.1.1 Vízhozam mérés 42
4.1.2 Meteorológiai állomás üzemeltetése 45
4.2 Eredmények bemutatása 46
4.2.1 Időjárás alakulása 46
4.3 Beszivárgás számítása a mérőhálózat adatai alapján 46
4.4 Mérőhálózat helyszíni mérési eredményei 52
4.4.1 Vízhozam-mérések 52
4.4.2 Helyszíni vizsgálatok 58
4.5 A Nagy-forrás napi vízhozam idősora vízszint adatok alapján 59
4.6 Vízmérleg a mérési időszakra vonatkoztatva 63
5. Összefoglalás 65

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A mintaterület elhelyezkedése 8
2. ábra: A Tó-forrás, a Szent Jakab-forrás és az András-forrás, Vászoly 9
3. ábra: Zádor-kút, Pécsely 9
4. ábra: Ragonyás-forrás, Mencshely 10
5. ábra: Mogyorós-forrás, Barnag 10
6. ábra: A mintaterület fedett földtani felépítése (Magyar Állami Földtani Intézet 1:100 000 fedett földtani térképe alapján 12
7. ábra: A mintaterület egyszerűsített hidrosztratigráfiai térképe. 14
8. ábra: A mintaterület domborzati viszonyai. 16
9. ábra: A felszínt borító talajok és vastagságuk a mintaterületen 18
10. ábra: A mintaterület egyszerűsített területhasználat térképe 19
11. ábra: A mintaterület területhasználata műholdfelvételen 20
12. ábra: A nagyvázsonyi és mencshelyi állomások éves, téli és nyári hidrológiai félévi csapadékösszegei 21
13. ábra: Az összegzett éves csapadékértékek sokéves átlagcsapadéktól való eltérései és az éves csapadékösszeg 22
14. ábra: A Zádor-kút és a Nagy-forrás hozamgörbéje, a Pécsely-1 észlelőkút napi vízszint görbéje és az éves, simított átlaggörbéje 25
15. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama az éves, téli és nyári hidrológiai félévi csapadékösszegekkel 26
16. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama az éves, téli és nyári hidrológiai félévi beszivárgás összegekkel 27
17. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama a téli hidrológiai félévi beszivárgás összegekkel 28
18. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút napi vízszint görbéje a téli hidrológiai félévi beszivárgással 29
19. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 1983-1989 közötti átlagtól való eltérése. 32
20. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút napi vízszintje, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 1983-1989 közötti átlagtól való eltérése 33
21. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 1990-1998 közötti átlagtól való eltérése 34
22. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút napi vízszintje, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 1990-1998 közötti átlagtól való eltérése 35
23. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 2010-2016 közötti átlagtól való eltérése 36
24. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút napi vízszintje, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 2010-2016 közötti átlagtól való eltérése 37
25. ábra: A Nagy-forrás hozam idősora 2011.01.05 és 2012.12.06 között az idősorra illesztett másodfokú polinom trendvonallal 38
26. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút vízszint idősora 2011.01.05 és 2012.12.06 között az idősorra illesztett másodfokú polinom trendvonallal 38
27. ábra: A Zádor-kút és a vászolyi vízmű kút havi termelése 39
28. ábra: Az éves beszivárgás, az összegzett éves vízhozam és arányuk egymáshoz képest. 41
29. ábra: A mérőhálózat mérési pontjainak elhelyezkedése 43
30. ábra: Pécsely, Örvényesi-Séd, oldalág mérési pontja. 44
31. ábra: Vászoly, Nagy-forrás mérési pontja. 44
32. ábra: Pécsely, Zádor-kút, mérési pont. 44
33. ábra: Barnagi források mérési pontja. 44
34. ábra: Mencshely, Ragonyás-forrás mérési pontja. 44
35. ábra: Pécsely, Örvényesi-Séd áteresze, utólag kialakított mérési pont. 44

36. ábra: Meteorológiai mérőállomás Barnagon. 45
37. ábra: A napi csapadékmennyiség és a napi átlaghőmérséklet a mérési időszakban. 46
38. ábra: A napi beszivárgás mennyisége és a napi csapadékösszeg a mérési időszakra vonatkozóan. 47
39. ábra: A napi beszivárgás és evapotranszspiráció mennyisége mm-ben kifejezve egy hidrológiai évre vonatkozóan 48
40. ábra: Az evapotranszspiráció havi mennyisége mm-ben és a havi beszivárgás aránya a csapadékhoz képest egy hidrológiai évre vonatkozóan 48
41. ábra: A beszivárgás mennyisége a mintaterületen egy hidrológiai évre vonatkozóan 49
42. ábra: Három különböző talajszelvény egy hidrológiai éves beszivárgása 51
43. ábra: A mérőhálózaton végzett hozammérések eredménye 55
44. ábra: A források vízhozama a napi beszivárgás mennyiségével ábrázolva. 56
45. ábra: Az Örvényesi Séd oldalágán, az Örvényesi-Séd átereszénél és a Zádor-kútnál található mérési pontokon (termelés nélkül) mért hozamok összehasonlítása. 57
46. ábra: A források becsült vízmennyiségei a havi beszivárgás és a havi csapadék összegével. 58
47. ábra: A források vizének vezetőképessége a helyszíni vizsgálatok alapján. 58
48. ábra: A források vizének hőmérséklete a helyszíni vizsgálatok alapján. 59
49. ábra: A Nagy-forrás forráshozam-mérő állomásán naponta leolvasott vízállás adatok alapján becsült napi vízhozam a napi beszivárgás mennyiségével 63

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A területet határoló koordináták 7
2. táblázat: A Zádor-kútból, a Nagy-forrásból, illetve a két forrásból kilépő vízmennyiség, a Pécsley-1 észlelőkút vízszintje, az éves, téli és nyári hidrológiai félévi csapadékösszeg és az éves, téli és nyári hidrológiai félévi beszivárgás közötti korrelációs együtthatók 30
3. táblázat: A Nagy-forrás, a Zádor-kút hozam idősora és a Pécsely-1 észlelőkút vízszintje közötti korrelációs együtthatók 30
4. táblázat: A csapadék, beszivárgás és hozamadatok alapján számított éves vízmérlegek átlagai. . 40
5. táblázat: A mérőhálózat mérőpontjai 42
6. táblázat: A mérési pontokon végzett hozammérések eredményei 53
7. táblázat: A víz vezetőképessége a mérési pontokon 53
8. táblázat: A víz hőmérsékletének vizsgálati eredményei a mérési pontokon 54
9. táblázat: A víz pH-jának vizsgálati eredményei a mérési pontokon 54
10. táblázat: A Nagy-forrás forráshozammérő állomáson mért napi vízállás és az abból számolt vízhozam 60
10. táblázat: A Nagy-forrás forráshozammérő állomáson mért napi vízállás és az abból számolt vízhozam (folyt.) 61
11. táblázat: Források egyéves becsült vízmennyisége és átlaghozama 63
12. táblázat: Egy hidrológiai évre vonatkozó vízmérleg 64
13. táblázat: A mintaterület forrásaiból egy hidrológiai év alatt elfolyt vízmennyiség 64

DIGITÁLIS MELLÉKLETEK

Digitális melléklet száma	Fájlnév	Tartalom
1.	*I.mintaterulet kialakitasa_1.digitalis melleklet*	Zádor-kút hozam idősora
		Vászoly Nagy-forrás hozam idősora
		Pécsely-1 monitoringkút vízszint idősora
		Zádor-kút termelése
		Vászoly vízműkút termelése
		Havi beszivárgás mennyisége 1951-2018
		Napi beszivárgás mennyisége egy hidrológiai évre
2.	*I.mintaterulet kialakítasa_2.digitalis melleklet*	A barnagi meteorológiai állomáson mért adatok

1. BEVEZETÉS

A Dunántúli-középhegység karsztvízháztartását leíró regionális vízháztartás modell felépítésének lényeges részét képezi a nyílt karsztos területeken a beszivárgási viszonyok pontosítása. Ennek legbiztosabb módszere egy jól lehatárolható karsztos vízgyűjtő, mint mintaterület kialakítása és vizsgálata.

A mintaterületnek több kritériumnak is meg kell felelnie:

- vízföldtanilag jól lehatárolható, zártnak tekinthető karsztos vízgyűjtőnek kell lennie, mely természetes vízháztartással rendelkezik,
- a területen történő vízkivételeket mérik és dokumentálják,
- egy vagy több karsztvízszint észlelőkút található rajta,
- a tároló túlfolyó forrás hozama meglévő vagy kiépítendő mérőszelvénnyel regisztrálható.

A projekt keretében két mintaterület került lehatárolásra. Az 1. mintaterület a Balaton-felvidéken, Pécsely-Vászoly-Mencshely-Barnag térségében került kialakításra. Ebben a jelentésben ezt a mintaterületet ismertetjük.

A projekt keretében egy 2. mintaterület is kialakításra került Bakonynána térségében. A 2. mintaterület kialakítása és mérése szerződés kiegészítés és módosítás keretében történt, ezért a mérések is később kezdődtek. A 2. mintaterület kialakításának bemutatását ezért külön kötet foglalja majd össze.

2. A TERÜLET BEMUTATÁSA

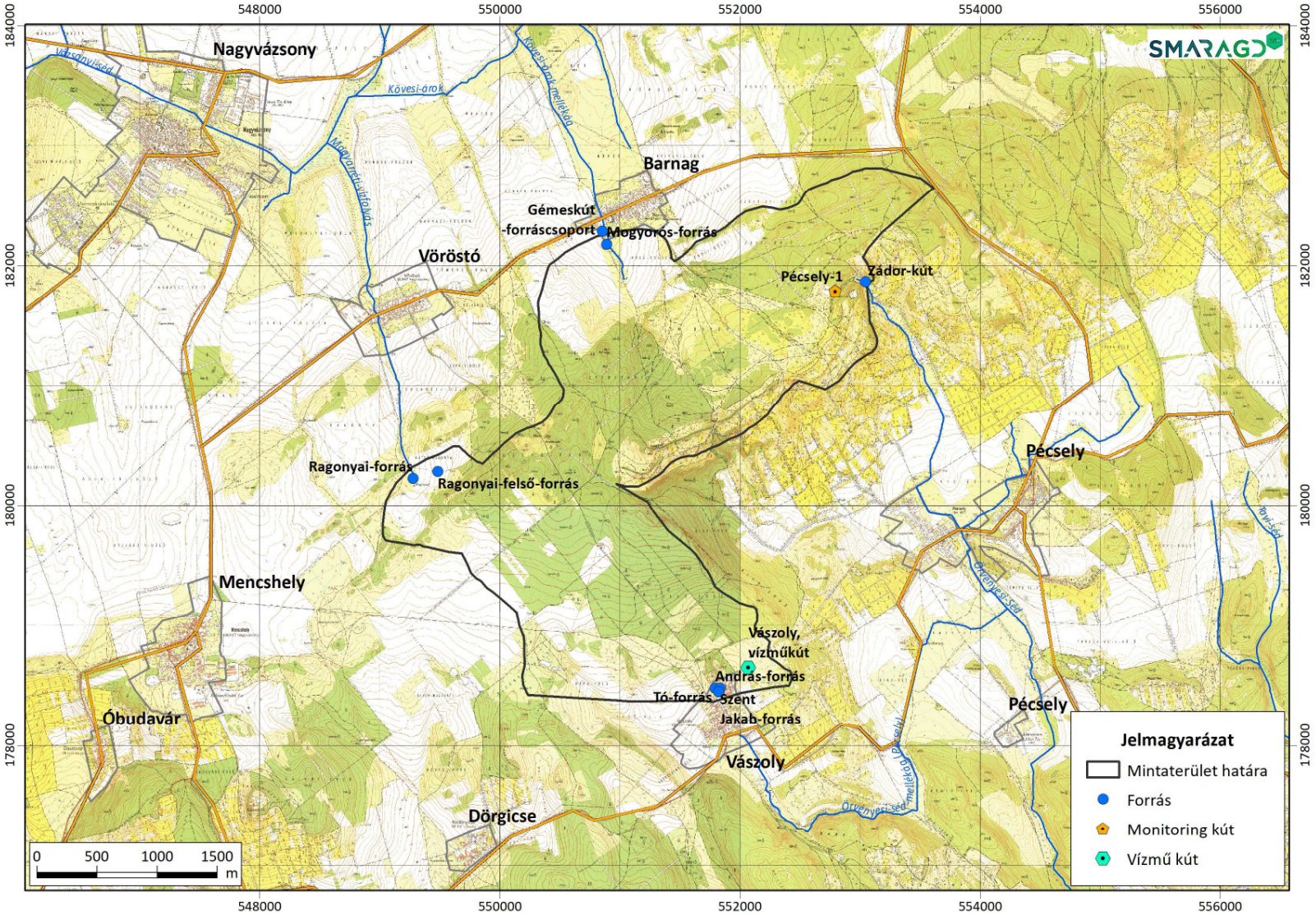
2.1 Elhelyezkedés

A terület lehatárolása elsősorban 4 forrás és azok vízgyűjtő területei alapján történt: a vászolyi Nagy-forrás, a pécselyi Zádor-kút, a Barnagon található források és a mencshelyi Ragonyás-forrás. A lehatárolás során figyelembe vettük a vízföldtani és domborzati adottságokat.

A lehatárolt területre esik egy karsztvízszint észlelőkút (Pécsely-1), illetve egy termelő vízmű kút Vászolyon. A mintaterület Pécsely, Vászoly, Mencshely, Vöröstó és Barnag települések által közrefogott térségben helyezkedik el (***1. ábra)***, Nagyvázsonytól mindössze 4 km-re délkeleti irányban, a Balatontól 6-7 km távolságra. A mintaterület 5 település közigazgatási területét érinti: Pécsely, Vászoly, Mencshely, Vöröstó, Barnag. A területet határoló koordináták a következők:

1. táblázat: A területet határoló koordináták

	EOV X	EOV Y
Nyugat	-	549023
Kelet	-	553611
Észak	182813	-
Dél	178368	-



1. ábra: A mintaterület elhelyezkedése

2.2 A terület forrásai

A mintaterület a k.4.2 hideg karsztvíztest részét képezi. Földtani felépítéséből adódóan vízföldtanilag zárt egységnek tekinthető. A Fődolomit és Sándorhegyi Formációk jó vezetőképességű tömbjét a Veszprémi Márga Formációja és vetők szegélyezik, melyek megakadályozzák a hidraulikai kapcsolatot a szomszédos területekkel. Ez alapján, a területen beszivárgó csapadék csak az itt található forrásokon keresztül távozhat a rendszerből. A rendszer kilépőpontjai az a négy forrás, amely alapján a mintaterület lehatárolásra került.

A terület két nagy hozamú, az Örvényesi-Sédet tápláló forrása a Pécselyen található Zádor-kút (***3. ábra***), illetve a Vászolyon fakadó Nagy-forrás (***2. ábra***). Mindkét forrás a mintaterület déli szegélyén helyezkedik el. A Nagy-forrás valójában egy forráscsoport: legnagyobb hozamú tagja a Tó-forrás, melyet több, kisebb hozamú forrás szegélyez. Ezek közül kettő nagyobb a Szent Jakab forrás és az András-forrás. A Zádor-kút a Zádor-vár tövében fakad, vízmű foglal forrás. A forrás foglalására 1990-ben került sor, azóta biztosítja a Bakonykarszt Zrt. üzemeltetésében a környék ivóvíz ellátását.

2. ábra: A Tó-forrás, a Szent Jakab-forrás és az András-forrás, Vászoly

3. ábra: Zádor-kút, Pécsely

4. ábra: Ragonyás-forrás, Mencshely

5. ábra: Mogyorós-forrás, Barnag

A pécselyi medence irányában több kisebb hozamú forrás is fakad (pl. Börtönkút, Alsó-Zádor-forrás), de hozamuk elenyésző a két nagy forráshoz képest.

A terület északnyugati peremén csak két kisebb hozamú forrás fakad, a mencshelyi Ragonyás-forrás (***4. ábra***), illetve a barnagi forráscsoport (Gémeskúti-forrás, Mogyorós-forrás, ***5. ábra***). A vizük északi irányban, a Vázsonyi-Séd irányába távozik, de a fakadásuk alatt nem sokkal visszaszivárognak a rendszerbe a Nagyvázsonyi Formáción keresztül.

2.3 Kistáj-kataszteri besorolás

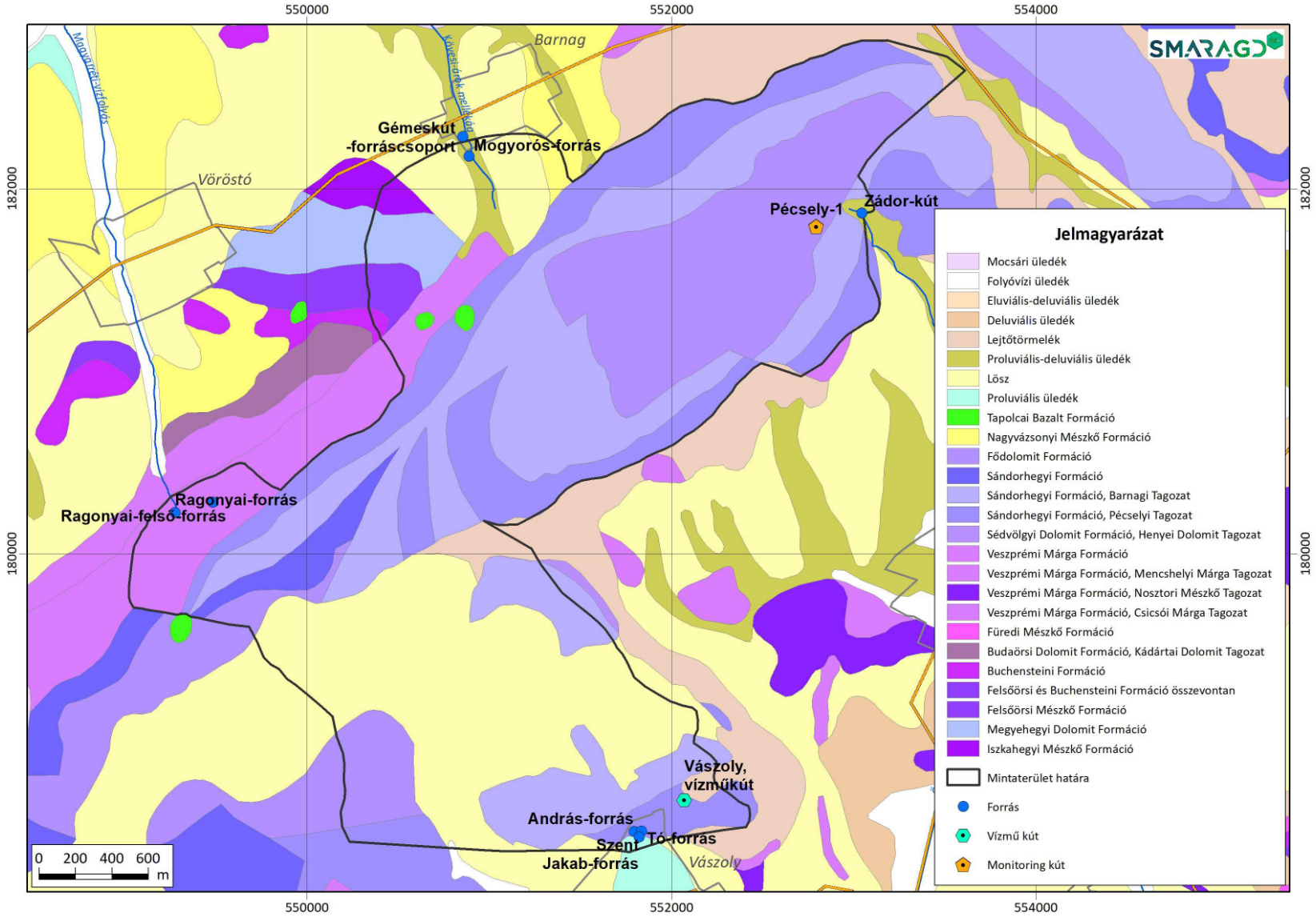
A terület a Balaton-felvidéken található, nagyobb része a kistáj-kataszter (*Marosi et al. 1990*) [10] szerint az 5.1.22 (Balaton-felvidék és kismedencéi) területre esik. Erre a kistájra jellemző, hogy függőleges tagoltsága mérsékelt, 40-50 m/km^2 relatív relief értékek jellemzőek, melyek a terület egyveretűségét hangsúlyozzák, egyedül a fennsíkperemek magas relief értékei tűnnek ki (80-100 m/km^2). A völgysűrűség az aszóvölgyekkel és eróziós völgyekkel szabdalt fennsíkperemen sűrűbb (2,5-2,6 km/km^2), míg a hegyközi medencék gyengén tagoltak, a völgyhálózatuk fejletlen (1,3-1,4 km/km^2). A terület északnyugati pereme, Barnag és Vöröstó térsége már a Veszprém – Nagyvázsonyi-medence részét képezi (5.1.31). Erre a területre mérsékelt tagoltság jellemző, átlagos völgysűrűsége 1,5 km/km^2, a relatív relief értékek szerint (30-40 m/km^2) gyenge függőleges tagozódás jellemzi.

2.4 Földtani felépítés

A mintaterület földtani felépítését (***6. ábra)*** egy szinklinális szerkezet határozza meg, mely a terület jelentős részét lefedi. A szinklinálist három formáció alkotja. A legalsó a karni Veszprémi Márga Formáció Csicsói Márga Tagozata, mely intraplatform és lejtő környezetben képződött agyagmárgából, márgából, és kőzetlisztes márgából épül fel, karbonátos közbetelepülésekkel. Erre települ a Sándorhegyi Formáció, mely két tagozatra különíthető. A Pécselyi Tagozat késő-karni zárt medencében képződött bitumenes mészkőből és márgából áll, amely közvetlenül a Veszprémi Márga Formációra települ. Felette található a Barnagi Tagozat késő-karni nyílt lagúnán keletkezett mészköve és márgája. A szinklinális magjában a késő-karni-nori korú Fődolomit Formáció található, mely karbonátos platformon képződött vastagpados, lofer-ciklusos dolomit. A szinklinális NyDNy-KÉK-i haránttörések szabdalják fel kisebb tömbökre.

A szinklinális északnyugati oldalán, a Veszprémi Márga Formációban fut a Litéri-rátolódás, amely az egész Balaton-felvidéken végigkövethető nagyszerkezeti vonal. A rátolódás következtében a Veszprémi Márgától északabbra, Barnag térségében idősebb, anisusi és ladin korú kőzetek bukkannak elő kis kiterjedésben: a legidősebb a kora- és középső-anisusi Iszkahegyi Mészkő Formáció lemezes, márgás, bitumenes mészköve, ezt követi a középső-késő-anisusi Megyehegyi Dolomit Formáció vastagpados dolomitja. A dolomitra települ a középső-anisusi-ladin korú Felsőörsi Mészkő Formáció, melyet jellemzően kissé márgás mészkő, vastagpados és tűzköves mészkő alkot. Felette következik a Buchensteini Formáció, amely gumós, gyakran tűzköves, kovás mészkőből és tufából, meszes vagy kovás tufitból áll, melyben vékonyréteges mészkő és dolomit közbetelepülések fordulnak elő. Ezt a rétegsort a Gémhegyi Dolomit Formáció Kádártai Dolomit Tagozatának kora-karni jól rétegzett, vastagpados dolomitja zárja.

A triász rétegeket nagy üledékhiánnyal követi a késő-pannóniai Nagyvázsonyi Mészkő Formáció, mely édesvízben keletkezett mészmárga, mésziszap, aleurit és homok rétegek váltakozásából áll. Kis foltokban előfordul a területen a szintén késő-pannóniai Tapolcai Bazalt Formáció bazaltlávája. A terület egy részén az idősebb képződményeket késő-pleisztocén korú, eolikus eredetű lösz borítja. A fennsíkperemeken késő-pleisztocén-holocén korú lejtőtörmelék, a patakvölgyekben szintén hasonló korú proluviális-deluviális üledék fordul elő (*Budai et al. 1999, Gyalog et al. 2005*) [10] [10].



6. ábra: A mintaterület fedett földtani felépítése (Magyar Állami Földtani Intézet 1:100 000 fedett földtani térképe alapján

2.5 Vízföldtani felépítés

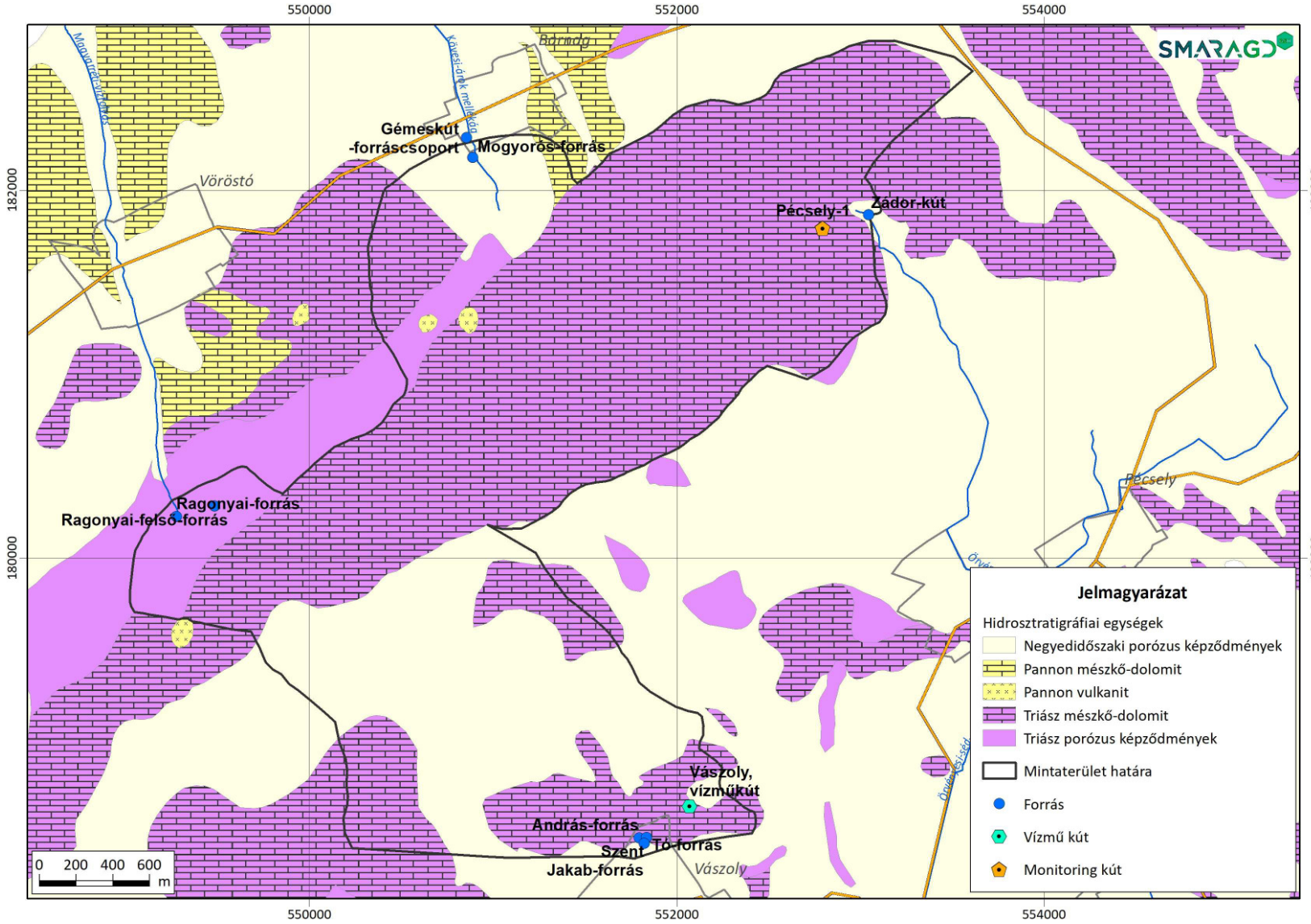
A terület egyszerűsített vízföldtani térképét a ***7. ábra*** mutatja be. Vízföldtani szempontból a legjobb vezetőképességgel rendelkező összlet a szinklinális magjában elhelyezkedő Fődolomit Formáció (10^{-4} m/s). A formáció jó karsztosodik, a legjobb víztároló tulajdonságú kőzetnek tekinthető a középhegységben. A területen legnagyobb elterjedésű Sándorhegyi Formáció bár a Fődolomit Formációhoz képest gyengébb vezetőképességű (10^{-5} m/s) és a földtani felépítése okán heterogén áteresztőképességű, de jó vízvezetőnek tekinthető. A szinklinális alsó tagjaként a Fődolomit Formációt és Sándorhegyi Formációt északnyugatról és délkeletről szegélyező Veszprémi Márga Formáció vízrekesztőnek minősül (10^{-7} m/s), mely megakadályozza a jelentősebb vízforgalmat a környező területekkel (*Sőregi 1986, Sőregi és Gondár 1988*) [8] [9]. A Veszprémi Márga vízrekesztő tulajdonsága, továbbá a területet délkeletről határoló Ny-ÉNY-KDK-i oldaleltolódás, illetve a területet keletről szegélyező ÉNy-DK irányú vető miatt a terület vízföldtanilag zártnak tekinthető.

A terület északi részén kis kiterjedésben felszínre bukkanó anisusi-ladin korú rétegsor (Iszkahegyi Mészkő Formáció, Megyehegyi Dolomit Formáció, Felsőörsi Mészkő Formáció, Buchensteini Formáció, Gémhegyi Dolomit Formáció) jó vízvezető tulajdonságú összlet, de terület vízháztartásában jóval kisebb jelentőségű, a Veszprémi Márga vízrekesztő tulajdonsága miatt a hidraulikai kapcsolata a szinklinális nagy részét kitevő Fődolomit és Sándorhegyi Formációval feltételezhetően csekély.

A késő-pannóniai korú Nagyvázsonyi Mészkő Formáció jó vízvezető tulajdonságú, jól karsztosodik. A Tapolcai Bazalt Formáció repedezett, rossz vízvezető, előfordulása csak nagyon kis területre korlátozódik. A területen nagyobb területen előforduló kvarter összletek szintén jó vízvezetőnek tekinthetők, de csekély vastagságuk miatt a terület vízháztartását érdemben nem befolyásolják (*Budai et al. 1999, Tóth 2019*) [1] [10].

A Balaton-felvidéken a töredezett földtani felépítés miatt a források fakadási helyei többnyire horizontális elmozdulásokhoz kötött (*Gondár és Gondárné in Budai et al. 1999*) [3]. A vászolyi forráscsoport egyértelműen a területet délről határoló oldaleltolódáshoz köthető, a Zádor-kút viszont a Sándorhegyi Formáció felső, mészkövesebb, jól vezető és alsó, márgásabb, kevésbé jól vezető tagozatának határán fakad. A forrás a két tagozat közötti vízvezető-képességbeli különbség miatt léphet a felszínre.

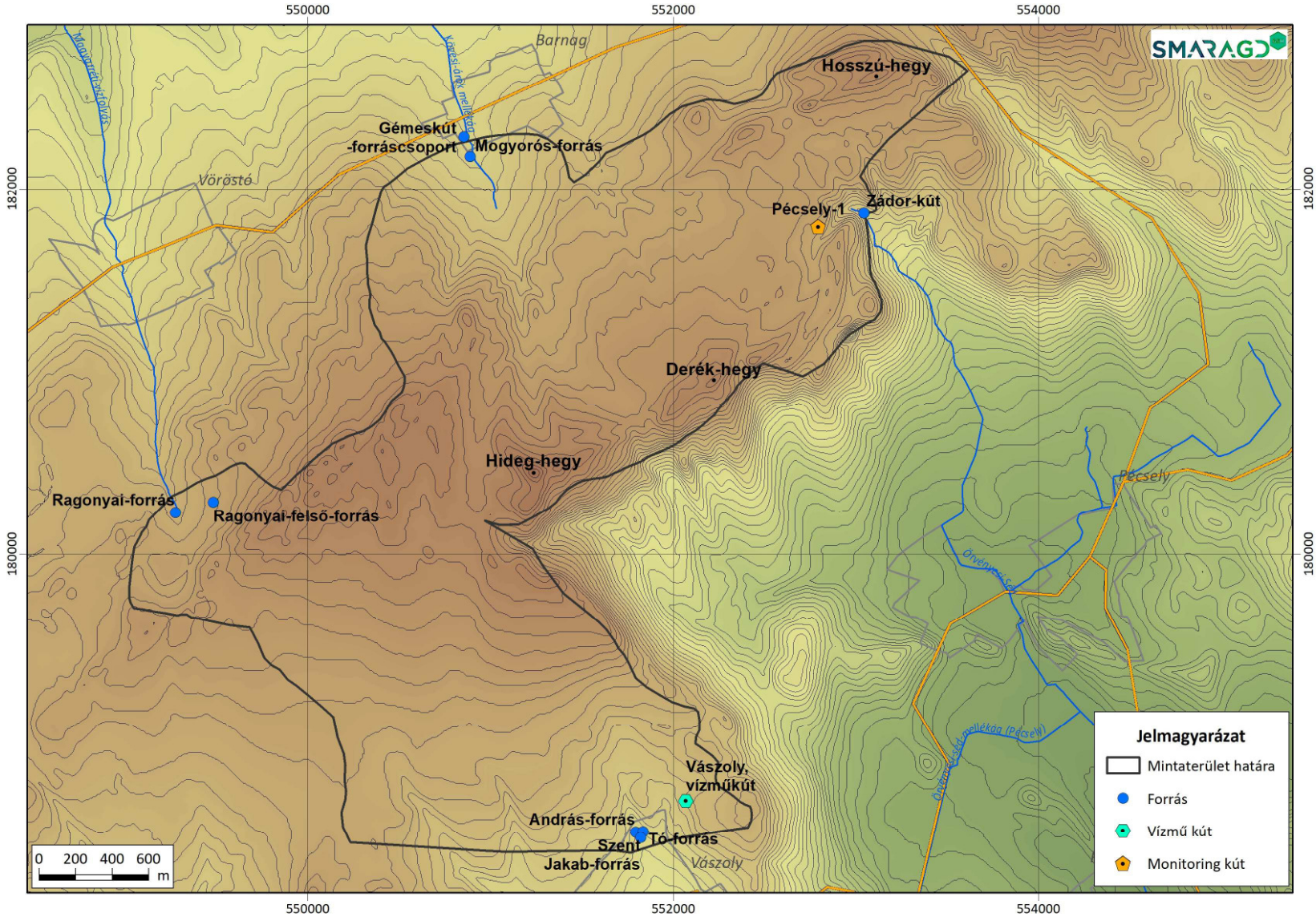
A Pécselyi-medence szélén található, alacsonyabb hozamú források a Sándorhegyi és a Veszprémi Márga Formációk határán fakadnak (pl. Börtönkút, Alsó-Zádor-forrás). A mencshelyi Ragonyás-forrás, illetve a barnagi forráscsoport (Gémeskúti-forrás, Mogyorós-forrás) a Veszprémi Márgán, illetve a Nagyvázsonyi Mészkő Formáción fakad, de kapcsolatban állhat a Pécsely-Vászolyi hidraulikai rendszerrel.



7. ábra: A mintaterület egyszerűsített hidrosztratigráfiai térképe

2.6 A terület morfológiája

A mintaterület 275 és 394 mBf között helyezkedik el, az átlagos tengerszint feletti magassága 339 mBf (***8. ábra***). A terület maga egy kiemelt helyzetű fennsík, mely délkelet felé meredek lejtővel szakad le a Pécselyi-medence irányába, míg északnyugaton enyhén lejt a Vázsonyi-Séd völgye felé. Ennek oka, hogy a térség morfológiáját a földtani felépítés erősen befolyásolja. A fennsíkot nagyrészt alkotó Fődolomit és Sándorhegyi Formáció kőzetei ellenállóbbak, mint a tőle délkeletre nagy területen felszínre kerülő Veszprémi Márga Formáció a Pécselyi-medence területén. Az eltérő lepusztulási rátájuk miatt meredek tereplépcsők, fennsíkperemek jöttek létre. Északkeleten a márga csak kisebb pásztában van a felszínen, így jelentősebb tereplépcső sem jöhetett létre. A fennsíkon a kisebb kiemelkedések hegyvonulatokat alkotnak, melyek a terület legmagasabb pontjait jelentik (Hideg-hegy, 393 mBf; Derék-hegy, 372 mBf; Hosszú-hegy; 368 mBf). A terület északnyugati felén ezek a hegyvonulatok a fennsík meredekebb délkeleti peremén helyezkednek el, a fennsík maga északnyugati irányban enyhén lejt. A délnyugati területrészen a magasabb térszínek északnyugaton találhatók, a fennsík ezen része délkeleti irányban enyhén lejt.



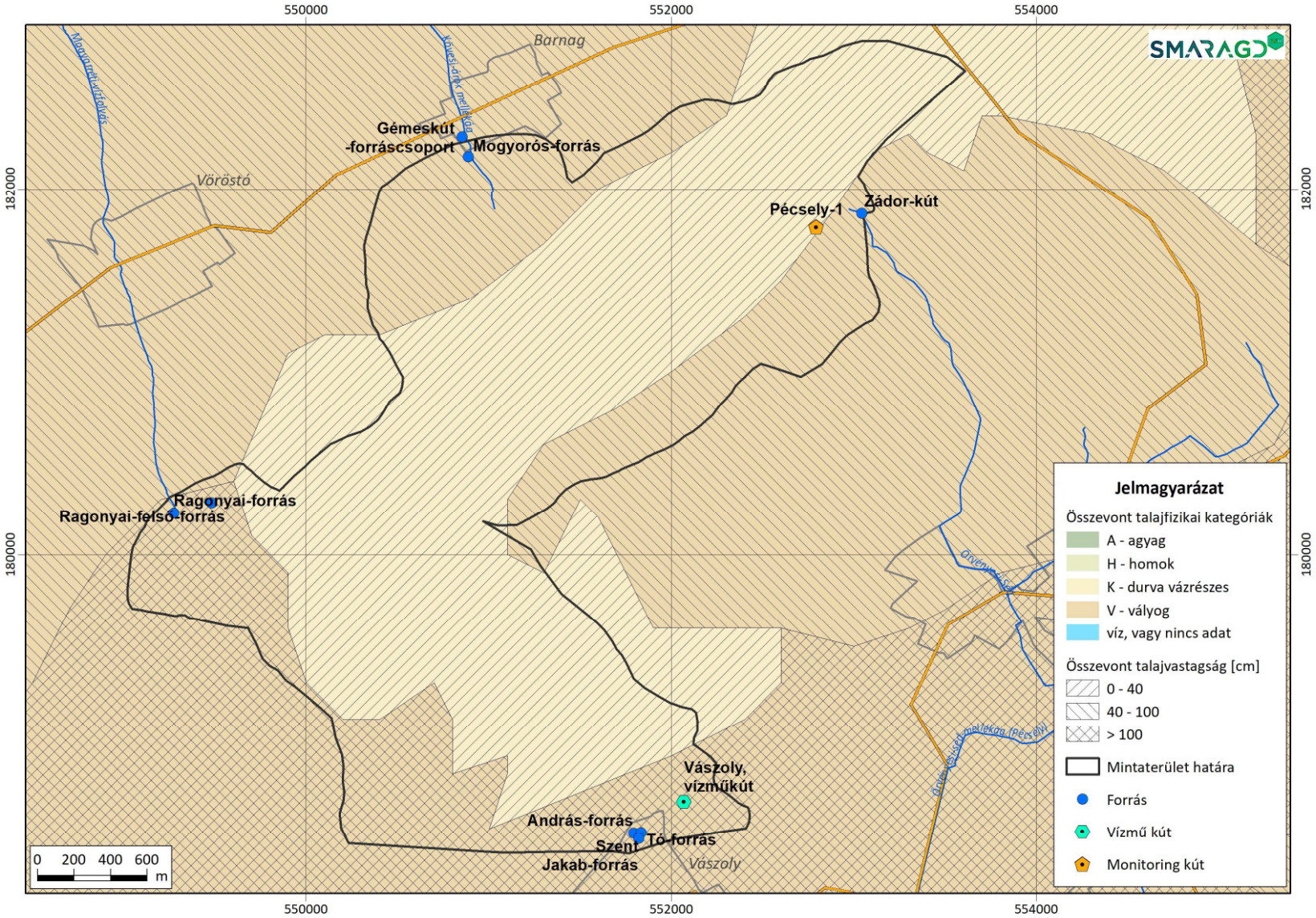
8. ábra: A mintaterület domborzati viszonyai

2.7 Talajok

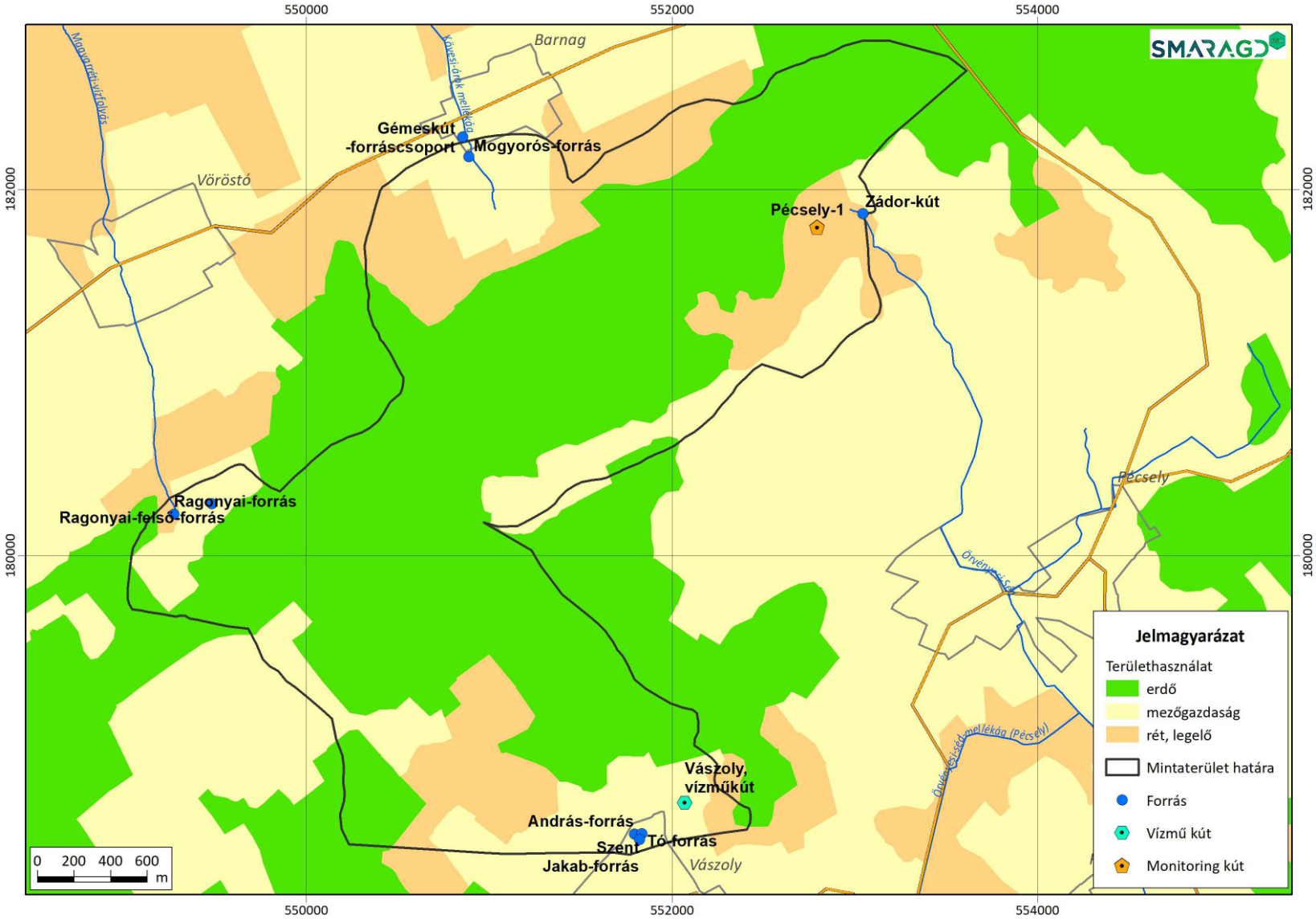
Agrotopográfiai térkép alapján (***9. ábra***) a terület mintegy kétharmadát (62%) durva vázrészes talajfizikai féleség fordul elő, a többi (38%) vályogtalaj. A durva vázrészes talajok sekély termőrétegűek, 0-40 cm mélységgel, míg a vályogtalajok kizárólag közepes és nagy (40-70, illetve 100 cm-nél nagyobb) termőrétegű talajok. Vízháztartás szerint a talaj a terület túlnyomó részén a sekély termőrétegűség miatt szélsőséges vízgazdálkodású, csak kis területen fordulnak elő közepes víznyelésű és vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok. A genetikai talajtípusok szerint a sekély, durva vázrészes talajok túlnyomó része rendzina talaj, míg a vastagabb vályogtalajok a Ramann-féle barna erdőtalaj-típusba tartoznak.

2.8 Területhasználat

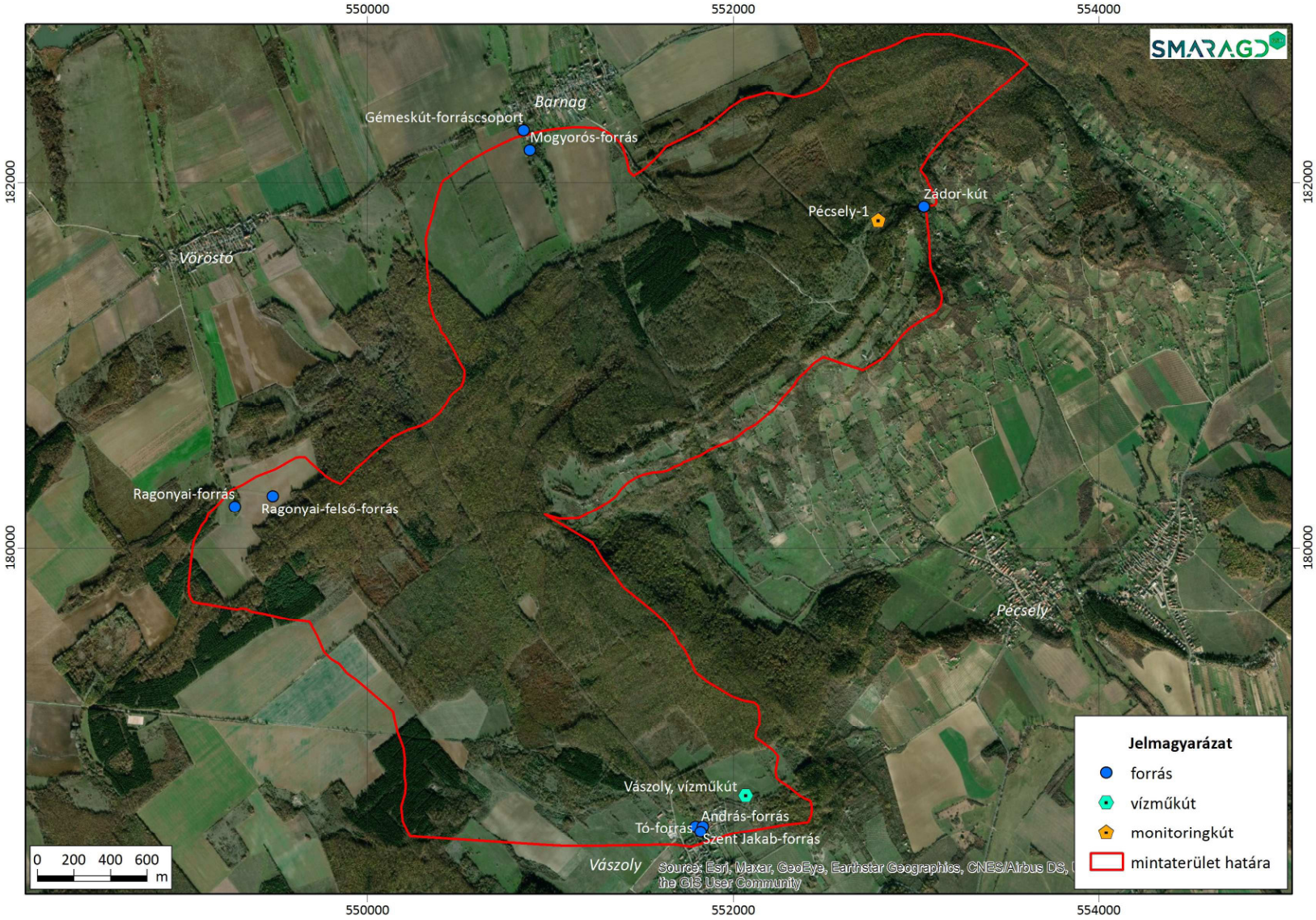
Az egyszerűsített CORINE területhasználat-térkép (***10. ábra***) szerint a terület nagy részét, mintegy 63%-át erdő borítja, a mezőgazdasági (20%) és rét (17%) besorolású területek csak a terület peremein fordulnak elő.



9. ábra: A felszínt borító talajok és vastagságuk a mintaterületen



10. ábra: A mintaterület egyszerűsített területhasználat térképe

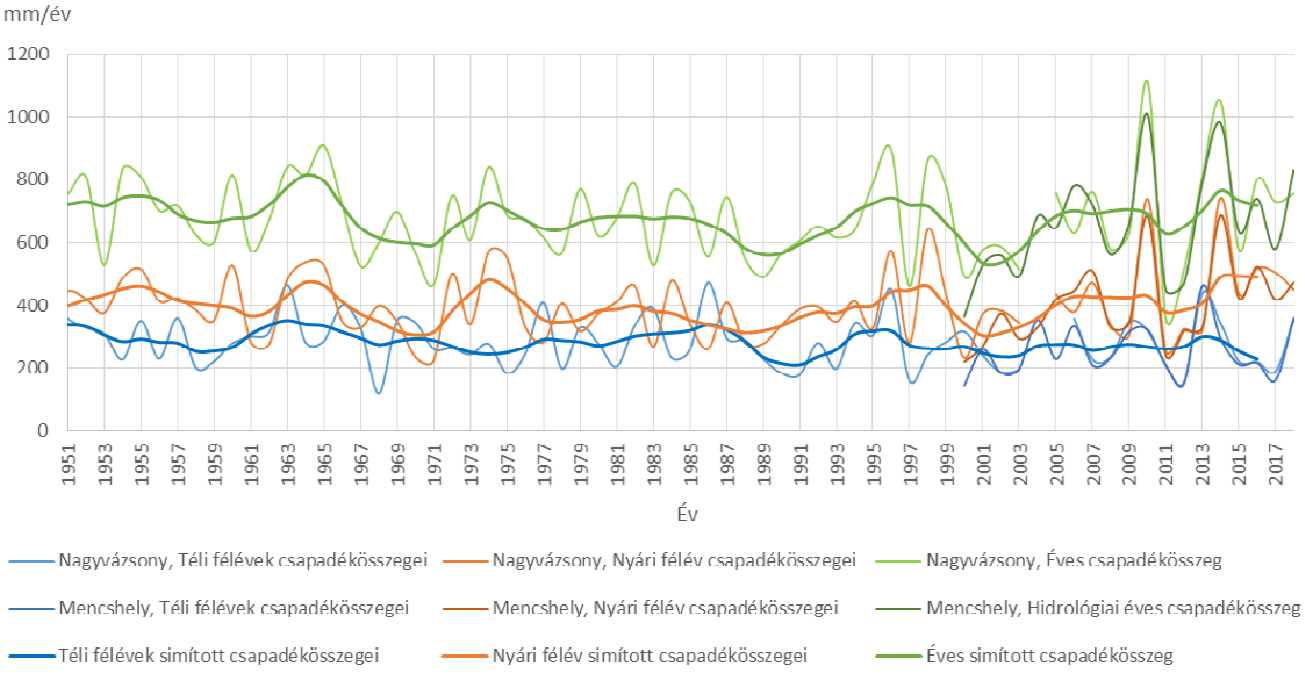


11. ábra: A mintaterület területhasználata műholdfelvételen

2.9 Éghajlat

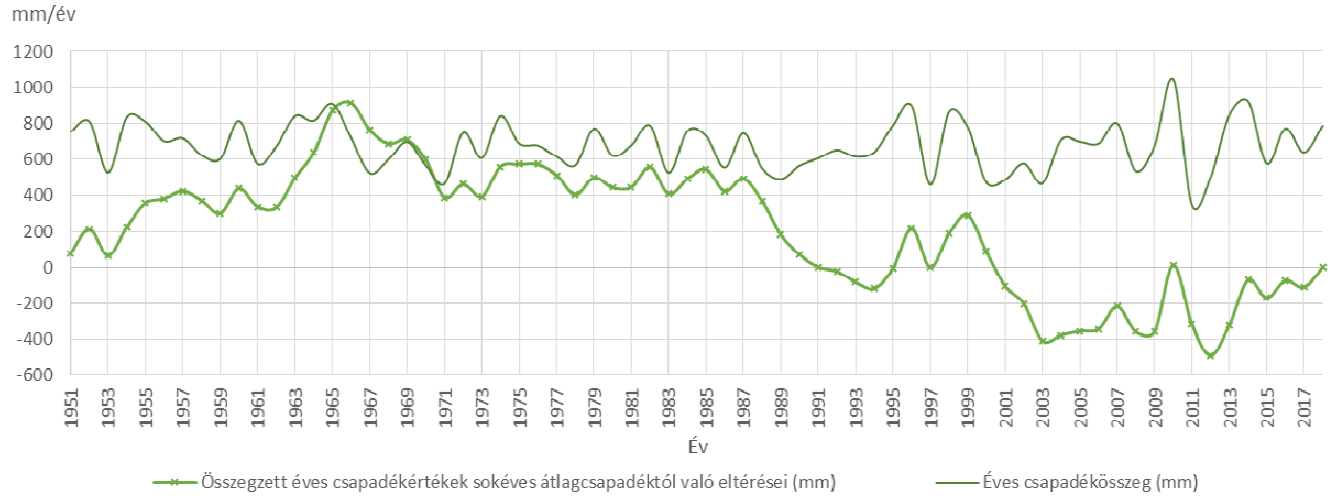
A mintaterület éghajlata a mérsékelten hűvös, mérsékleten száraz, de már a nedves határán. Az évi középhőmérséklet 9-10 °C körül alakul, a vegetációs időszak középhőmérséklete 15,8-16 °C. A Dunántúli-középhegység területén a legenyhébb tél ezen a tájon jellemző, a januári középhőmérséklet -1 °C körül alakul. Csapadék tekintetében a középhegység csapadékosabb tájai közé tartozik, de az éves csapadék mennyisége valamivel kisebb, mint a tőle északra található Bakony területén (650-680 mm). A leggyakoribb szélirány az északi, az átlagos szélsebesség 3 m/s. A Balaton-felvidék, s egyben a terület jellegzetessége, hogy megfelelő időjárási körülmények esetén a Bakony irányából speciális, főn jellegű szél (ún. „vázsonyi szél") alakul ki.

Az OVF által rendelkezésre bocsátott, az OMSZ nagyvázsonyi és mencshelyi állomásán mért csapadék idősorok alapján az éves átlagos csapadékösszeg 690-695 mm. Az alábbi ábrán látható a két csapadékmérő állomás havi adataiból számolt éves, a téli és nyári hidrológiai félévre számolt csapadékösszegek, továbbá a hosszabb távú fellelhető tendenciák követése céljából a két állomás értékeinek csúszóátlagából képzett kisimított görbék (*Mádlné Szőnyi 1994*) [5].



12. ábra: A nagyvázsonyi és mencshelyi állomások éves, téli és nyári hidrológiai félévi csapadékösszegei

Az ábra jól mutatja, hogy az 1960-as évek közepén jelentkező csapadékmaximumok után a '60-as évek végétől kezdődően egy csapadékszegényebb időszak következett, amely az 1990-es, majd a 2000-es évek elején érte el a minimumát. Azóta a csapadék mennyisége emelkedő tendenciát mutat, azonban 1990 óta az éves csapadékösszeg járása szélsőségesebbé is vált, ezért csapadékosabb éveket extrém száraz évek követhetik, ilyen volt például a 2010-es kiemelkedő csapadékmaximumot (Nagyvázsony 1113 mm, Mencshely 1045 mm) követő 2011-es év (Nagyvázsony 360 mm, Mencshely 347 mm).



13. ábra: Az összegzett éves csapadékértékek sokéves átlagcsapadéktól való eltérései és az éves csapadékösszeg

A csapadék hosszú távú változását még jobban mutatja az összegzett éves csapadékértékek sokéves átlagcsapadéktól való eltérései (*Mádlné Szőnyi 1994*) [5]. Az ábra szerint az 1960-as évek közepén felhalmozódott csapadéktöbblet az 1970-es évek elejére lecsökkent, de stagnált egészen 1987-ig. Az ezt követő csapadékszegény éveknek köszönhetően a mérleg negatívba fordult, a folyamatosan csökkenés, a kilencvenes évek végi csapadéktöbblete mellett, a minimumát 2003-ban érte el. Az azóta jelentkező csapadékosabb éveknek, különösen a 2012 utáni éveknek köszönhetően azonban ismét emelkedésnek indult.

3. ARCHÍV IDŐSOROK ELEMZÉSE

3.1 Rendelkezésre álló adatok

A mintaterületen fakadó vízmennyiséget a Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság rendszeresen, havonta rögzíti a forrásvízhozam mérésével a vászolyi Nagy-forrásnál telepített forráshozam-mérő állomáson, illetve a Zádor-kút alatt létesített Parshall-csatornán. A mérések Vászolyon 1953, Zádor-kút esetében 1952 óta folynak kisebb-nagyobb kihagyásokkal, egyedüli jelentősebb hiány mindkét adatsorban az 1976-1982 közötti időszak. A környéken található többi forrásról vagy töredezett idősor, vagy csak egy-egy hozamadat áll rendelkezésre.

A Zádor-kút jelenleg vízmű forrásként működik. A Bakonykarszt Zrt. üzemelteti. A forrásfoglalás 1990-ben történt (*Alföldi et al 2007*) [1]. Azóta a forrás vizének jelentős részét ivóvízként hasznosítják. A forrásfoglalás egy két méter mély medence, melyből az ivóvíz-ellátásra szánt vizet egy vezetéken keresztül egy tározómedencébe vezetik, ahol egy zárszerkezet szabályozza, mennyi víz kerüljön bele. Amint megtelik a medence, a szerkezet lezárja a vezetéket. Ebben az esetben a forrás teljes hozama a túlfolyón keresztül távozik. A tárolómedencébe folyó vízmennyiséget egy vízóra méri, melyet a vízmű egyik munkatársa rendszeres időnként leolvas, a termelési adatokat a vízmű havi kumulált összegként tartja nyilván. Ebből a havi üzemórák segítségével egy átlaghozam számítható.

A KDTVIZIG által mért vízhozam csak a felhasználásra nem kerülő vízből a túlfolyón keresztül távozó hozam. Mivel az általuk végzett, havonta történő mérés időpontjaiban a tározómedencébe elfolyó víz aktuális hozama nem ismert, a vízhozam idősorának hozamaihoz a termelés során kivett vízmennyiség nem adható hozzá.

További vízkivétel történik a Zádor-kút mellett a vízmű Vászolyon található termelő kútjából, melyről szintén csak kumulált havi adatok állnak rendelkezésre.

A vizsgálati területen a Pécsely-1 számozású karsztvízszint észlelőkút található. A kút a fennsíkon helyezkedik el, 300 m-re a Zádor-kúttól, idősora 1969-től áll rendelkezésre. A kút vízszintje jól jellemezheti a lokális karsztvíz-tároló tározási állapotát.

Az archív hozamadatokat és termelési adatokat az ***1. digitális melléklet*** tartalmazza.

3.2 Beszivárgás hosszútávú alakulása az archív adatok alapján

A beszivárgás számítását a HELP szoftverrel végeztük, ugyanazzal a módszerrel, amellyel az egész Dunántúli-középhegység területére számoltuk. A beszivárgás számításának módszertana az Vízháztartási modellezés és állapotértékelés című jelentés I. kötetében került részletezésre.

Az archív adatok elemzéséhez a Dunántúli-középhegység regionális vízháztartási modelljéhez készült beszivárgást vettük alapul. A mintaterület a sólyi csapadékmérő állomáshoz kijelölt csapadékzónába esik. A mintaterületre leszűrt talajszelvény kategóriák már magukba foglalják a területre vonatkozó földtani, talajtani, talajhidrológiai, területhasználati és lejtőkategória adatokat. A modellezés végén havi bontásban álltak rendelkezésre beszivárgás értékek az egyes talajszelvényekre, melyeket a térinformatikai rendszerben a területükhöz rendelve kiszámolhatóvá vált a mintaterületen beszivárgott víz mennyisége. A beszivárgás értékeket az ***1. digitális melléklet*** tartalmazza.

A mintaterületen többféle talajszelvény-típus előfordul. Legnagyobb területen (67,9%) a karszton kialakult talajok találhatóak, azonban a rendzinának megfelelő, durva vázrészes talajok mindössze 43,2%-ot foglalnak el. Jelentős kiterjedésű a Dunántúli-középhegységben legnagyobb részét kitevő vályogtalaj is (38,4%).

3.3 Idősorok elemzése

A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama jó közelítéssel mutatja a karsztvíztároló rendszerből távozó vízmennyiséget, a Pécsely-1 karsztvízszint észlelőkút pedig a karsztvíztároló állapotát jelzi. Elemzésük rávilágít a tározó vízháztartásának viselkedésére. A források archív hozam idősorának és az észlelőkút vízszint idősorának elemzéséhez a nagyvázsonyi és mencshelyi meteorológiai állomások havi csapadék idősorát és a regionális vízháztartási modellhez készített beszivárgási értékeket használtuk fel.

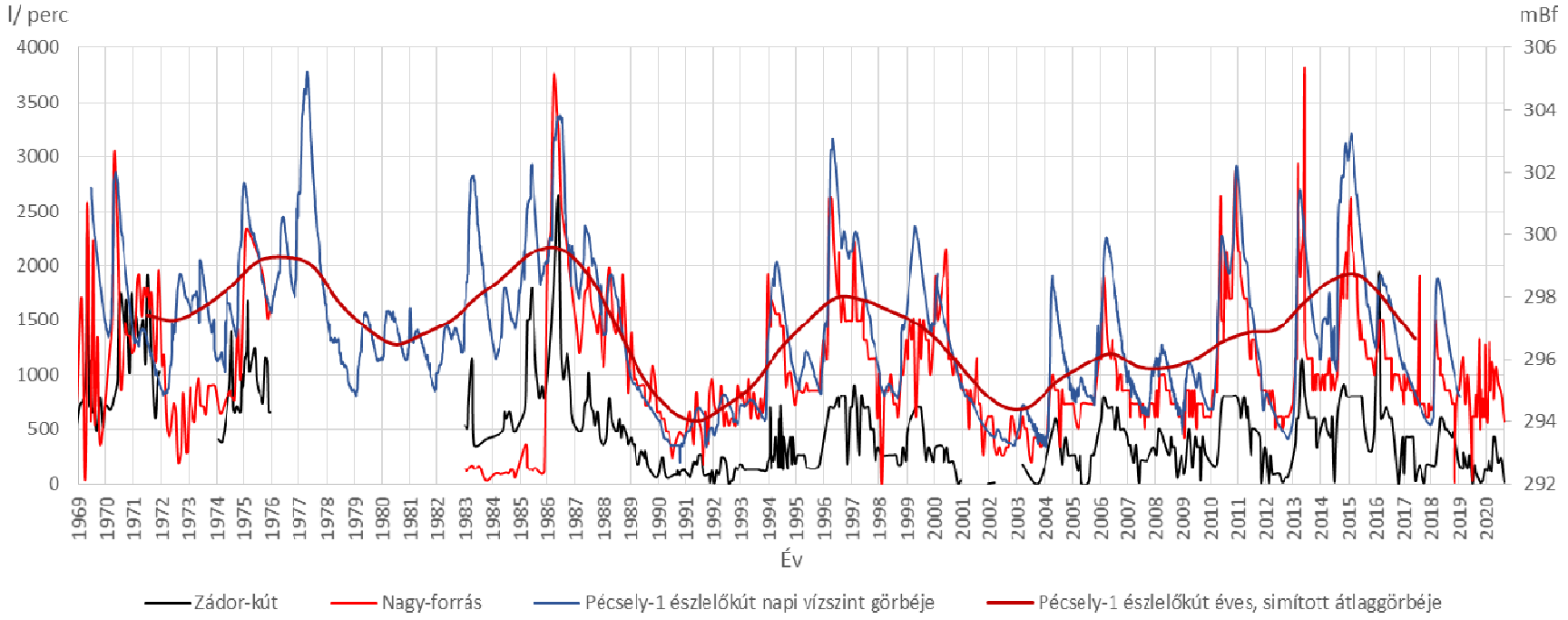
A két forrás hozamgörbéje és a Pécsely-1 észlelőkút vízszint görbéje a ***14. ábra*** látható. A forráshozamok és a vízszint változása jó közelítéssel hasonló lefutású, tehát az aktuális karsztvízszint változása jól jelzi a forráshozamok alakulását. A vízszintek éves átlagából előállított simított görbe a karsztvíztárolóban lezajló hosszú periódusú változásokat jeleníti meg. A görbe lefutása szerint 2002-ig, folyamatos csökkenés mellett, 8-12 éves periódusok voltak jellemzőek, azonban ezt követően a periódusok hossza lecsökkent 4-6 évre, folyamatos emelkedés mellett. Ez a változás valószínűleg az éghajlatváltozáshoz köthető.

A ***15. ábra*** és ***16. ábra*** a Zádor-kút és a Nagy-forrás vízhozam idősorát ábrázolja az éves, téli hidrológiai félévi és a nyári hidrológiai félévi csapadékösszegekkel, illetve beszivárgással.

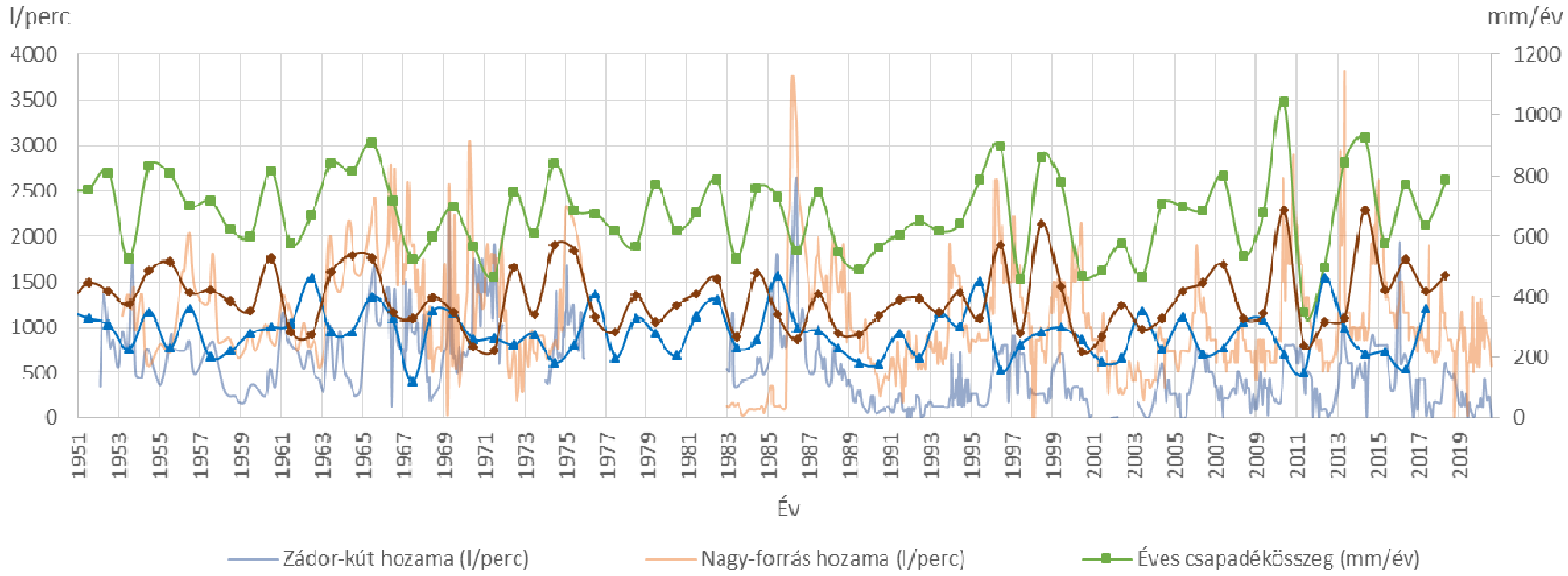
Ha összehasonlítjuk a két ábrán, jól látható, hogy a hozamok görbéi sokkal jobban illeszkednek a beszivárgásra, mint a csapadék görbéire. A beszivárgás esetében a nagy éves beszivárgású időszakok általában egybeestek a nagy hozamnövekedésekkel.

A téli és a nyári hidrológiai félévi beszivárgásokat vizsgálva látható, hogy a nagy hozamú időszakokat megelőzően többségében nagy téli félévi beszivárgás előzte meg vagy a nyári és a téli beszivárgás is magas volt (1965-1966, 2010-2011). Mindez azt tükrözi, hogy a rendszerbe jutó és onnan távozó vízmennyiség leginkább a téli hidrológiai félévben beszivárgott víz mennyiségével változik. Külön megemlítendő, hogy a Nagy-forrás hozam idősorában tapasztalt, 1983 és 1985 közötti szokatlanul alacsony hozamokat a beszivárgás vagy egyéb hosszú távú éghajlati hatás nem magyarázza, az alacsony hozamok oka ismeretlen. Ezt az időszakot leszámítva a hozam jól követi a beszivárgás változásait. A ***17. ábra*** külön a téli félévi beszivárgásokat ábrázolja a hozamokkal.

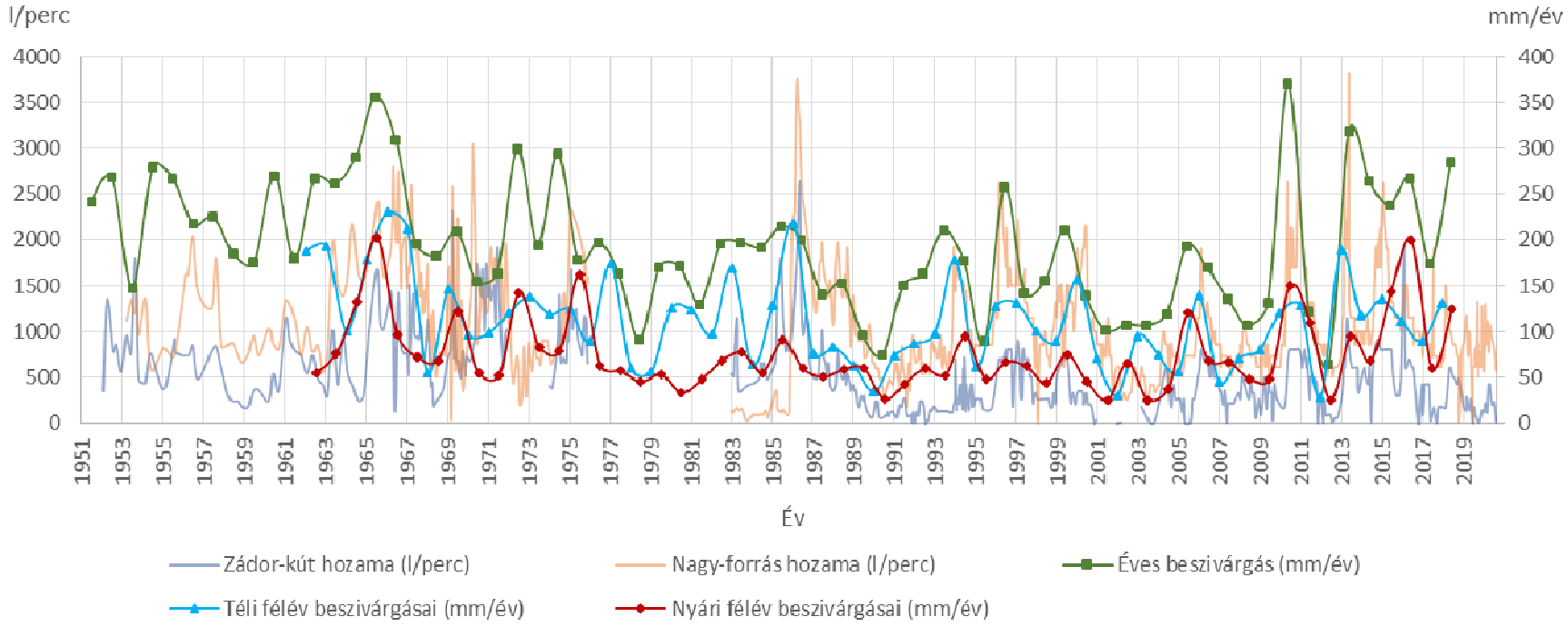
A Pécsely-1 észlelőkút esetében hasonlóan alakulnak a vízszint idősor görbéjének viszonya a csapadék és beszivárgás görbékkel, mint a hozamgörbék esetében. A beszivárgás és a vízszint változások viszonyát a ***18. ábra*** mutatja be.



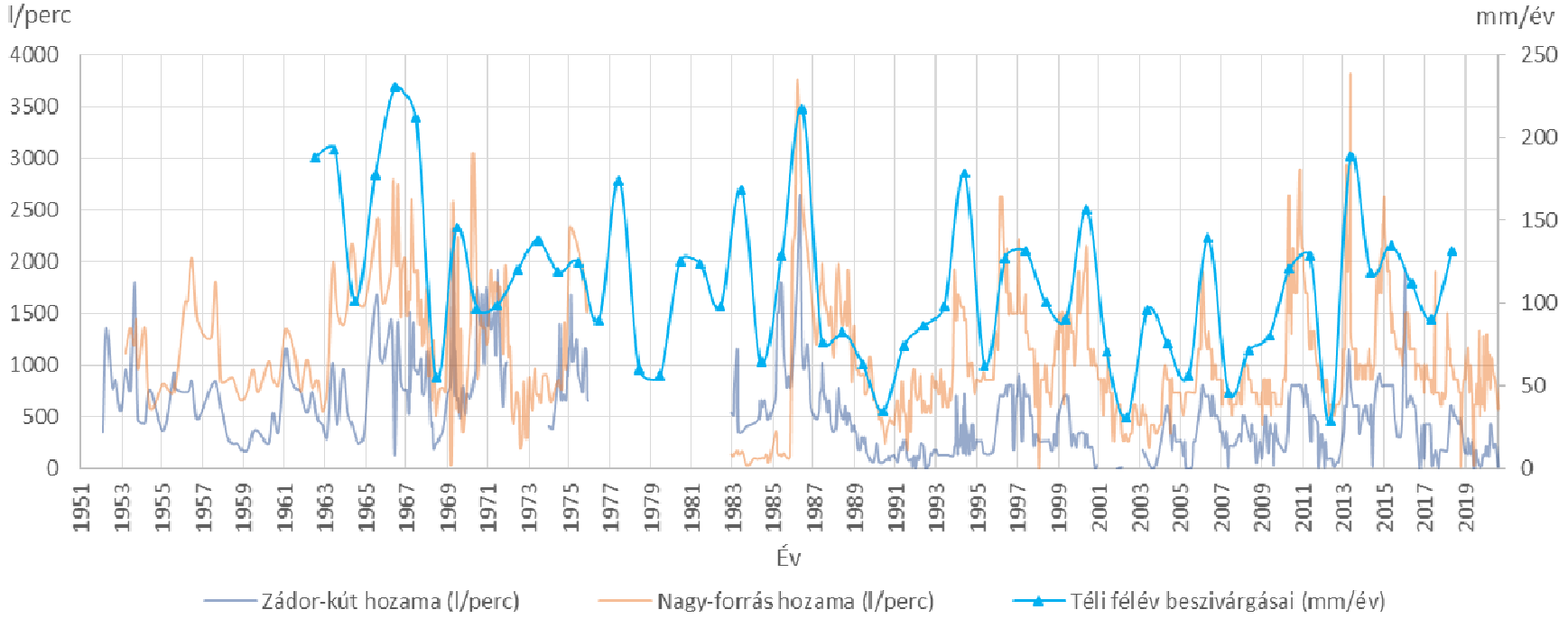
14. ábra: A Zádor-kút és a Nagy-forrás hozamgörbéje, a Pécsely-1 észlelőkút napi vízszint görbéje és az éves, simított átlaggörbéje



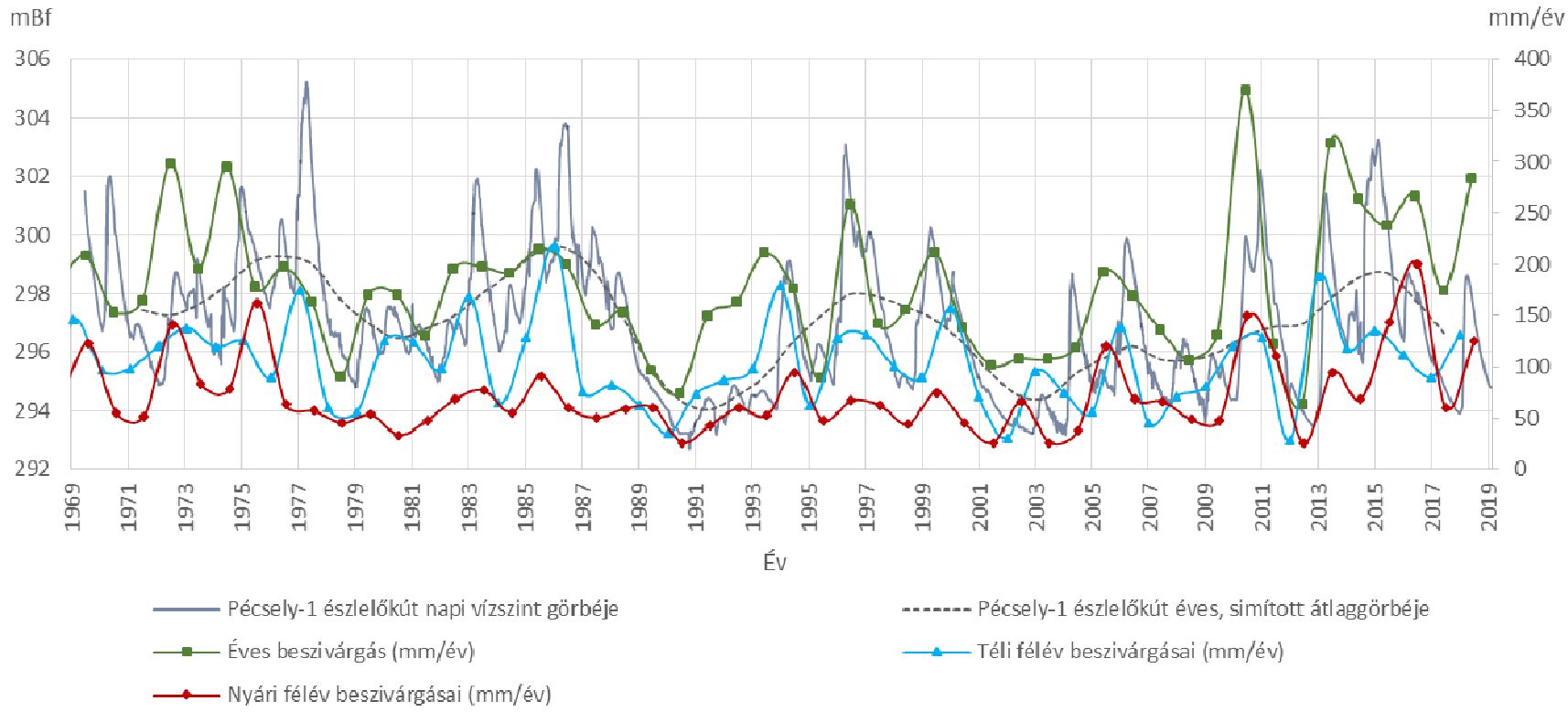
15. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama az éves, téli és nyári hidrológiai félévi csapadékösszegekkel



16. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama az éves, téli és nyári hidrológiai félévi beszivárgás összegekkel



17. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama a téli hidrológiai félévi beszivárgás összegekkel



18. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút napi vízszint görbéje a téli hidrológiai félévi beszivárgással

A csapadék, a beszivárgás, a forráshozamok és a vízszint idősora közötti összefüggéseket alátámasztja az idősorok közötti lineáris kapcsolat erősségének vizsgálata. Az éves, a téli és nyári hidrológiai félévek éves csapadékösszegei és beszivárgásai továbbá a Zádor-kút és Nagy-forrás hozam idősora és termelési adatai alapján számolt, egy év alatt kilépő vízmennyiségek, a belőlük számolt összes hozam és a Pécsely-1 észlelőkút átlagos éves vízszintje közötti korrelációs együtthatókat az alábbi táblázat tartalmazza. Az együtthatók egyértelműen mutatják, hogy a legerősebb kapcsolat a csapadék, a beszivárgás, illetve a hozamok és a vízszint között a téli félévben történt beszivárgásnál áll fenn. A nyári félév beszivárgásaival és így az éves beszivárgással a kapcsolat jóval gyengébb. A csapadékkal való kapcsolat értelemszerűen gyengébb a beszivárgáshoz képest. Egyértelműen kijelenthető, hogy a karsztvíztároló vízháztartására a téli időszak beszivárgása van a legnagyobb hatással.

2. táblázat: A Zádor-kútból, a Nagy-forrásból, illetve a két forrásból kilépő vízmennyiség, a Pécsley-1 észlelőkút vízszintje, az éves, téli és nyári hidrológiai félévi csapadékösszeg és az éves, téli és nyári hidrológiai félévi beszivárgás közötti korrelációs együtthatók

	Téli félévek csapadékösszegei	Nyári félév csapadékösszegei	Éves csapadékösszeg	Éves beszivárgás összeg	Téli félévi beszivárgás összeg	Nyári félévi beszivárgás összeg
Zádor-kút	0.4188	-0.0437	0.0539	0.3875	0.5964	0.3986
Nagy-forrás	0.3454	0.0149	0.0254	0.2756	0.5380	0.3786
Teljes hozam	0.3891	-0.0310	-0.0064	0.3359	0.6125	0.4328
Pécsely-1	0.5373	0.0753	0.1783	0.4879	0.7287	0.3963

A Nagy-forrás és Zádor-kút hozam idősora és a Pécsely-1 észlelőkút vízszint idősora közötti lineáris kapcsolatot a **3. táblázat** jellemzi. A vízszint idősora mindkét forrás hozamával erős kapcsolatot mutat. Mivel az észlelőkút a Zádor-kúthoz esik közel, értelemszerűen a korreláció a Zádor-kút hozam idősorával erősebb.

3. táblázat: A Nagy-forrás, a Zádor-kút hozam idősora és a Pécsely-1 észlelőkút vízszintje közötti korrelációs együtthatók

	Pécsely-1
Zádor-kút	0.7796
Nagy-forrás	0.7122

3.4 Havi idősorok elemzése

A hozamokat és a vízszintet a csapadékkal és a beszivárgással havi bontásban ábrázolva további összefüggéseket tárnak fel. Az ábrázolhatóság kedvéért a havi idősorok csak 6-8 éves intervallumokban kerülnek bemutatásra. Az idősorok mellett feltüntetésre került az összegzett beszivárgás sok havi, adott intervallumon belüli átlagtól való eltérése is.

Az első ábrákon az 1983-1989 közötti időszak látható. A ***19. ábra*** hozamgörbéket, a ***20. ábra*** a Pécsely-1 észlelőkút vízszintjét a havi csapadékösszeggel, a havi beszivárgással és a havi összegzett beszivárgás sok havi átlagtól való eltérésével látjuk együtt. Az ábrák szerint a jelentősebb beszivárgási időszakokat rendszerint követte a hozamok és a vízszint növekedése.

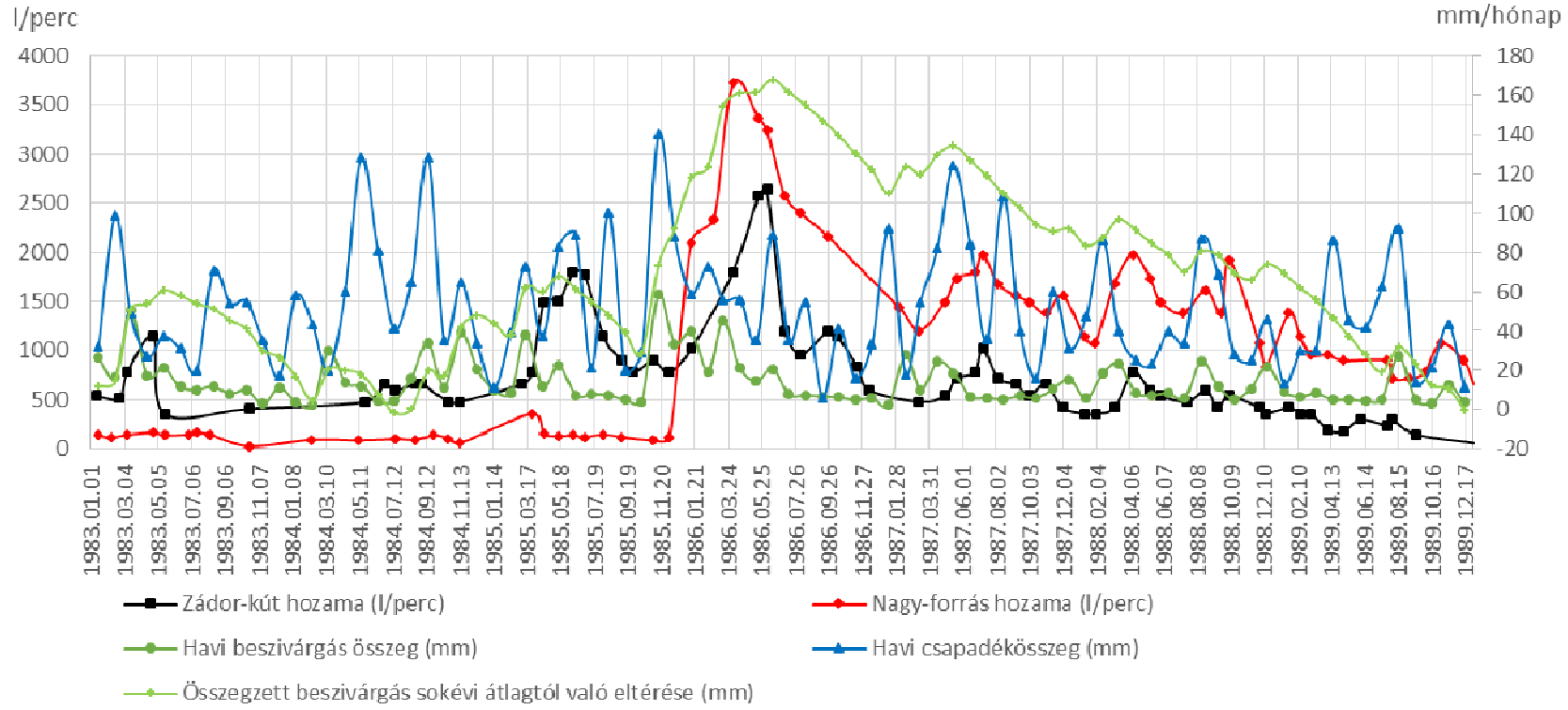
Az ábrán 1983-ban és 1984-ben nagyobb beszivárgás esetén csak a Zádor-kút mutatott hozamnövekedést, a Nagy-forrás hozama változatlanul alacsony volt. Ennek oka a beszivárgással egyelőre nem magyarázható. Sajnálatos módon a Zádor-kút görbéje sem adja vissza teljesen a valós változást, mert ezekben az években egyes időszakokban kevés hozammérés történt. Az 1985 novemberében leesett nagy hómennyiség hatására a tavaszi hóolvadástól kezdve a beszivárgásban óriási többlet keletkezik, ami később a hozamok növekedésében is megjelenik. Később ez a többlet fokozatosan csökken, de a kisebb beszivárgás csúcsokat általában egy-két hónap késéssel a hozamok is követik. A ***20. ábra*** a Pécsely-1 kút görbéjén jelentkező magasabb vízszintű időszakok szintén ezekkel a beszivárgás többletekkel mutatnak jó egyezést.

Az 1990-1998 időszakban (***21.*** ábra és ***22. ábra***) a hozam- és vízszintingadozások az előző időszakban látottakhoz hasonlóan a jelentős beszivárgású időszakokat (1993 ősz, 1995 tele) követte a hozamok és a vízszint növekedése is. A csapadék tekintetében voltak ebben az időszakban is jelentős csapadék mennyiségű hónapok, de a beszivárgás és így a hozamok és a vízszint jelentős növekedése őszi és téli csapadékhoz kötődik.

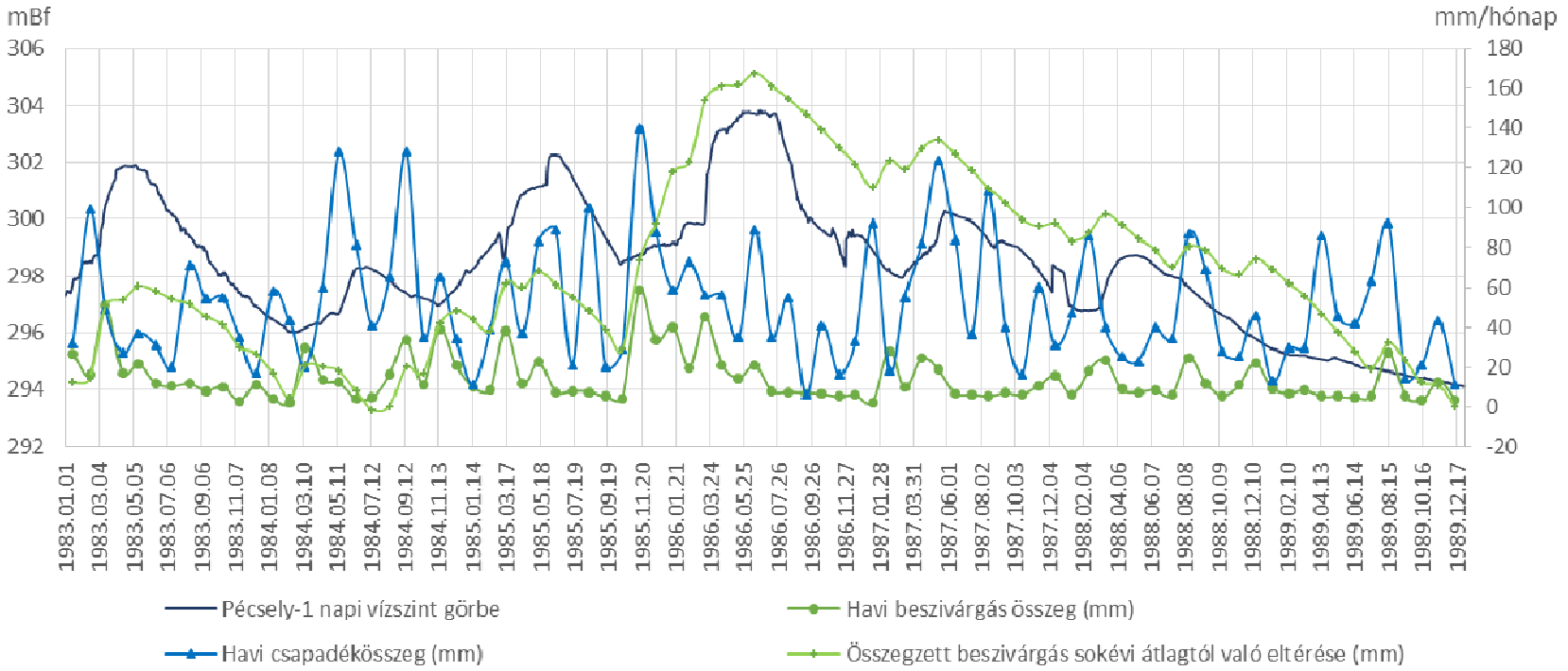
Az 1995/1996-os tél során nagy mennyiségű csapadék esett hó formájában, amit a havi csapadékösszegek is jeleznek. Viszont ez a vízmennyiség csak késleltetve, hóolvadáskor került be a rendszerbe, épp ezért a jelentős növekedés a Nagy-forrás hozamgörbéjén és a Pécsely-1 észlelőkút vízszintjén csak áprilisban jelenik meg. A Zádor-kút vízszintje csak tompítva mutatja a változásokat, mivel 1990 után az ivóvíz célú vízkivétel miatt a túlfolyón már nem a teljes vízhozam jelenik meg.

A 2010-2016-os időszak már egy sokkal szélsőségesebb csapadékhajlamú időszakot mutat be (***23.*** ábra és ***24. ábra***). A 19. ábrán három csapadékmaximum emelhető ki: a 2010 nyári-őszi, a 2012/2013 téli és a 2014 kora őszi csapadékmaximum. A 2010-es, jelentős beszivárgású időszakban, főleg az augusztus-szeptemberi jelentős beszivárgást követően az előző időszakokhoz képest jóval később jelent meg a Nagy-forrás hozamtöbblete és a vízszintugrás az észlelőkútban, a hozamcsúcs és a vízszint maximuma csak 4 hónappal később jelent meg. Hasonlóan alakult a 2013 telén bekövetkezett jelentősebb beszivárgás után is. 2014 augusztusában és szeptemberében a 2010-es havi csapadékmennyiségekhez képest is jelentősebb csapadék hullott. Ennek eredményeként olyan nagy mennyiségű víz távozott a forrásokból, hogy 2014 szeptember 15.-én Örvényes településen az Örvényesi-Séd kilépett a medréből és elöntötte a falut. A nagyon intenzív beszivárgásból érkező vízmennyiséget a Pécsely-1 kút vízszintje nagyon jól követi, néhány nap alatt 3 métert emelkedett. Mivel az áradás a KDTVIZIG rendszeres havi mérése után következett be pár nappal, az áradáskor a hozam nem került regisztrálásra.

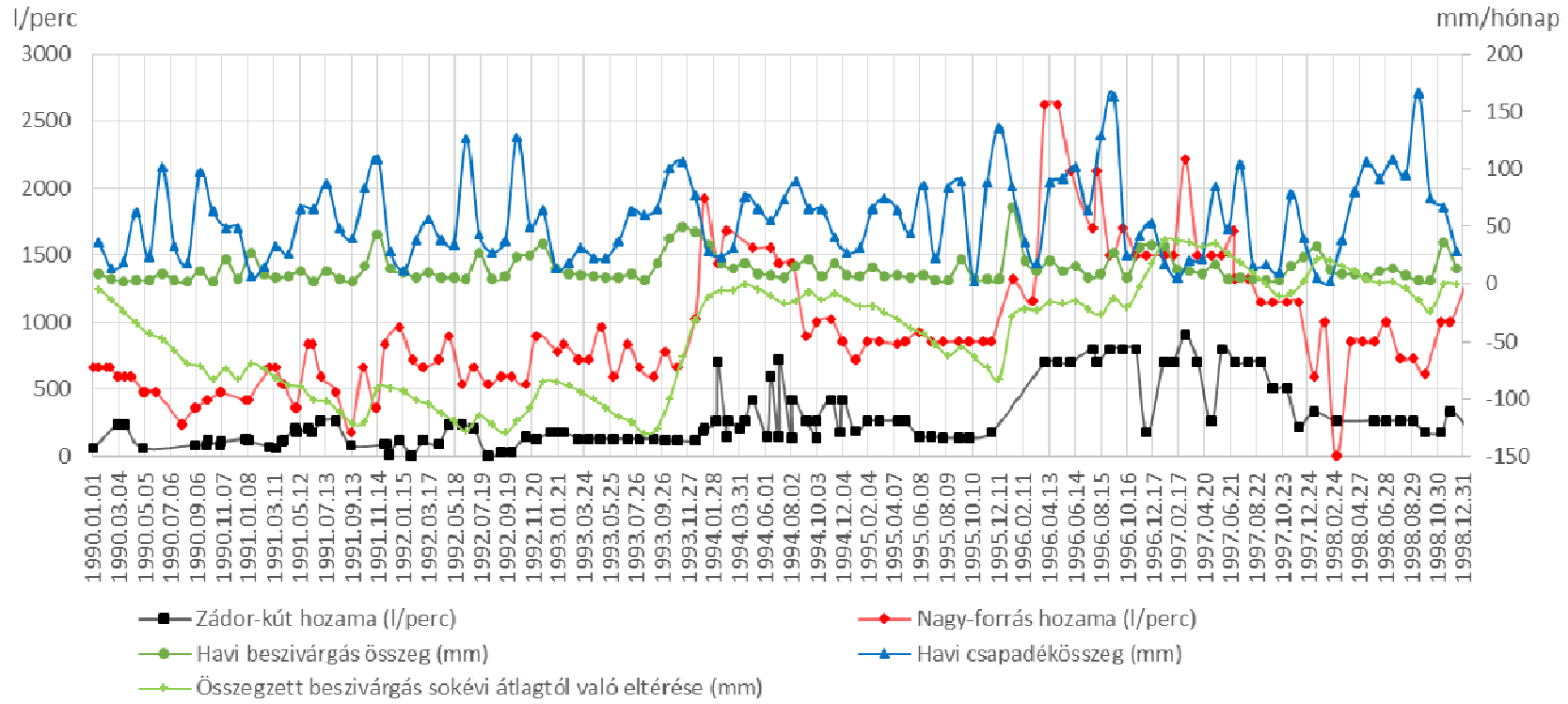
A Zádor-kút szintén a Nagy-forráshoz hasonlóan követi a változásokat, azonban az ivóvízkivétel miatt a hozama bizonyos mértékig szabályozott. Egyetlen alkalommal nőtt csak meg a hozama: a 2015/2016-os csapadékosabb tele után, egy kisebb, helyi maximum ekkor a vízszinten is érzékelhető. A Nagy-forrás hozama ekkor nem nő meg jelentősen, sőt, a Zádor-kút hozama ekkor a Nagy-forrásénál is nagyobb volt.



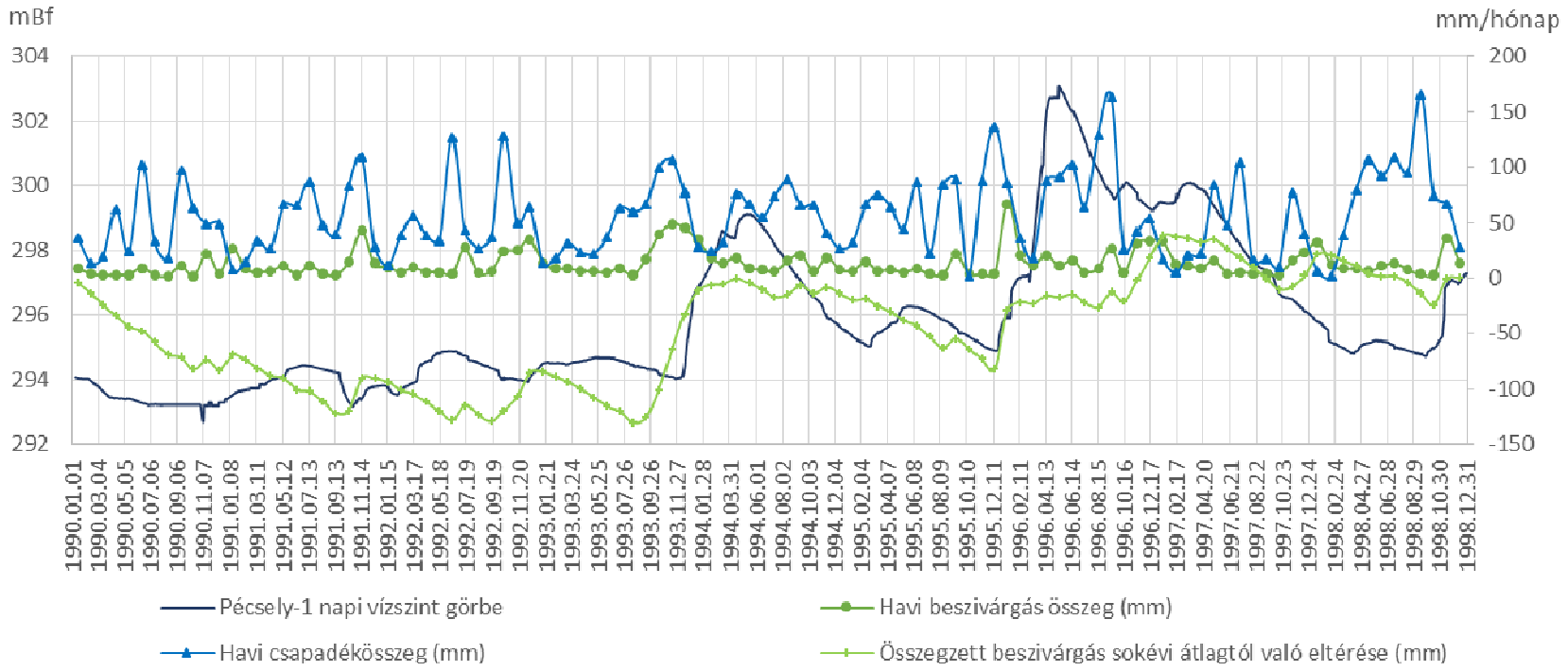
19. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 1983-1989 közötti átlagtól való eltérése



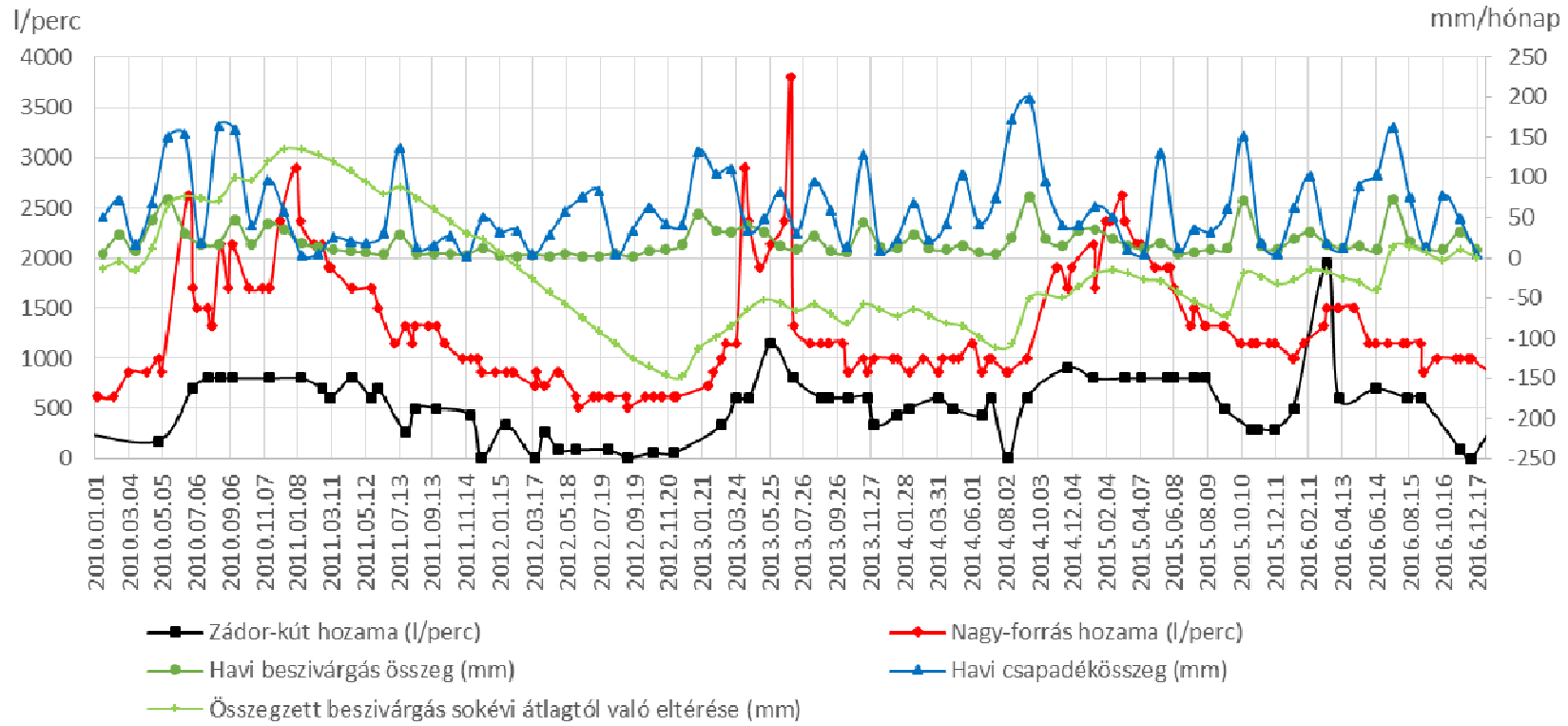
20. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút napi vízszintje, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 1983-1989 közötti átlagtól való eltérése



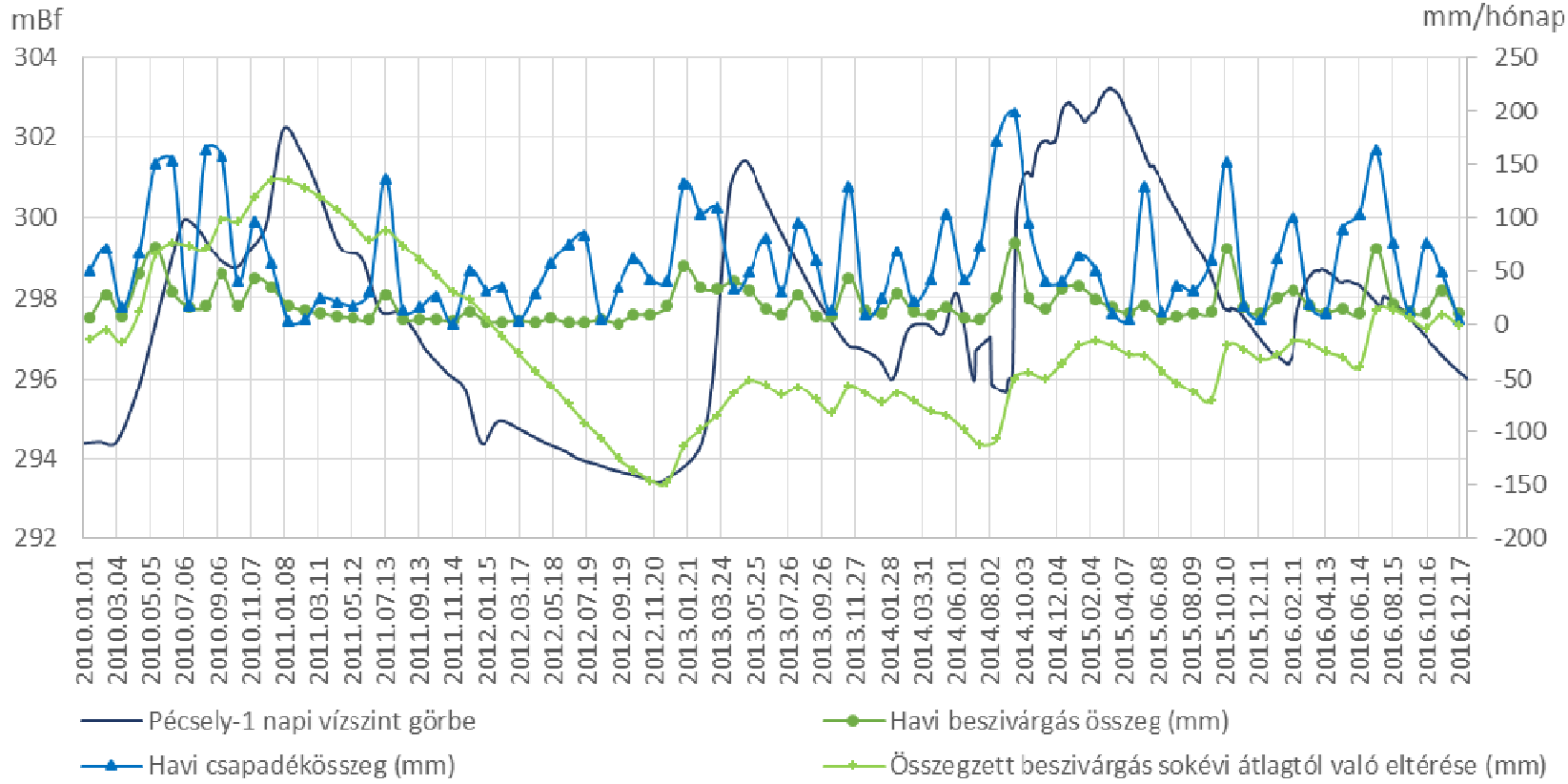
21. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 1990-1998 közötti átlagtól való eltérése



22. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút napi vízszintje, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 1990-1998 közötti átlagtól való eltérése

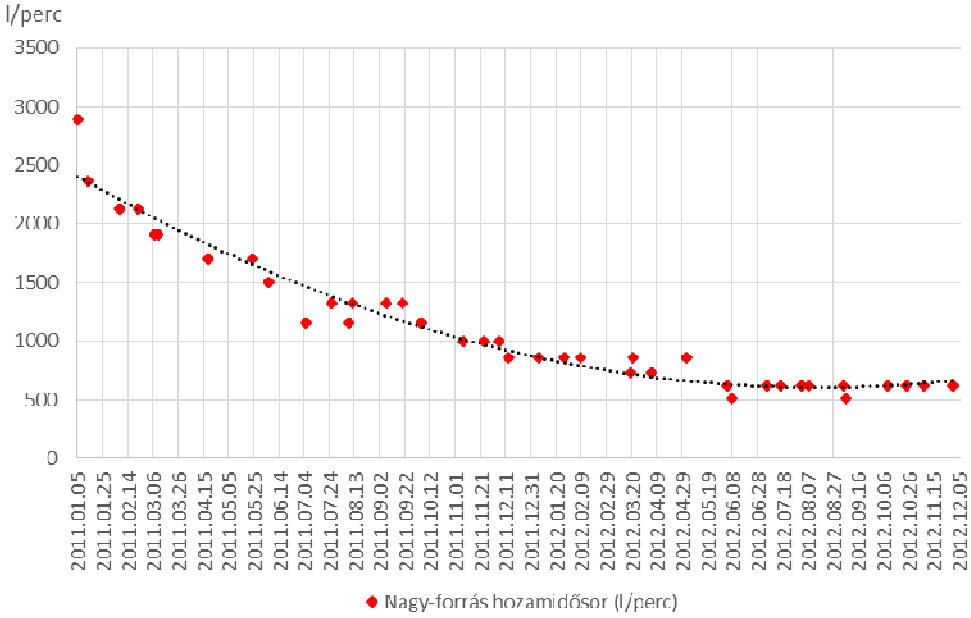


23. ábra: A Nagy-forrás és a Zádor-kút hozama, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 2010-2016 közötti átlagtól való eltérése

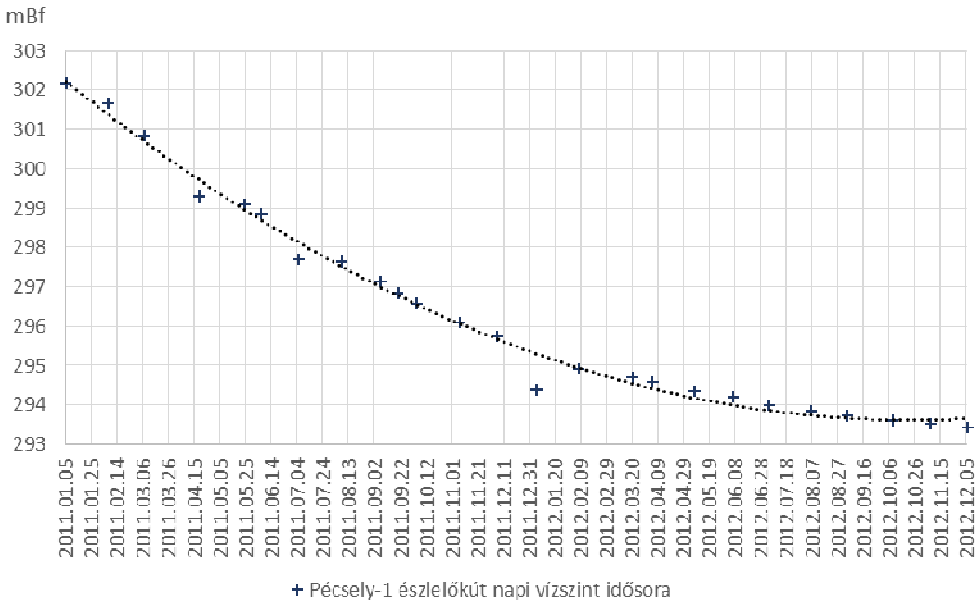


24. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút napi vízszintje, a havi csapadék- és beszivárgás összeg és az összegzett beszivárgás 2010-2016 közötti átlagtól való eltérése

A tározó viselkedésének bemutatására kiváló példa a 2010-2013-as időszak (***25.*** ábra és ***26. ábra***). A 2010-es csapadékos év után három, viszonylag szárazabb év következett. A beszivárgás a néhány csapadékosabb hónap ellenére erre az időszakra szinte minimálisra csökkent, az összegzett beszivárgás többlet egyenletesen, hónapról hónapra csökkent és fordult át hiányba. A Nagy-forrás hozamgörbéje és a Pécsely-1 észlelőkút vízszintje azonban másként viselkedett, ami jobban tükrözi a karsztvíztároló viselkedését: a 2011 januári hozam- és vízszintcsúcs után hirtelen esés következett, melynek mértéke fokozatosan, négyzetesen csökkent, míg a görbe végül ellaposodott és beállt egy stabil hozamra, illetve vízszintre.



25. ábra: A Nagy-forrás hozam idősora 2011.01.05 és 2012.12.06 között az idősorra illesztett másodfokú polinom trendvonallal



26. ábra: A Pécsely-1 észlelőkút vízszint idősora 2011.01.05 és 2012.12.06 között az idősorra illesztett másodfokú polinom trendvonallal

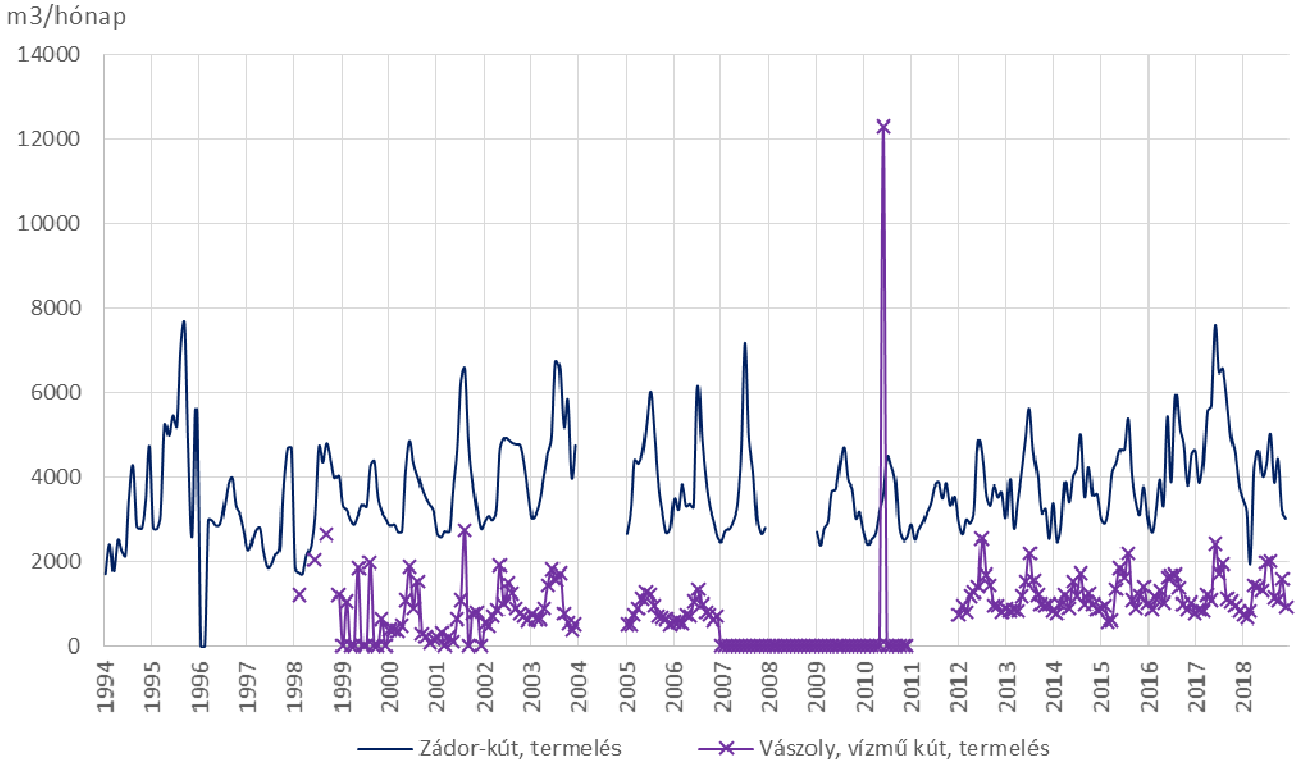
A hozam és vízszint idősorok vizsgálata alapján a Pécsely-Vászoly-Mencshely közötti karsztvíztároló rendszer vízháztartását a téli félévben beszivárgott vízmennyiség befolyásolja leginkább, de a nyári félévi többlet beszivárgások is láthatóak időnként a görbéken. Ezt a különböző idősorok közötti lineáris kapcsolat is bizonyítja. Ahhoz, hogy a nyári hidrológiai félévben nagy beszivárgás és így hozamnövekedés jelenjen meg, jelentős mennyiségű nyári csapadék szükséges.

A beszivárgás csúcsokat a hozam- és vízszint idősorokban jelentkező maximumok 1-2 hónap elteltével követik, azonban az utóbbi időszakban (2010-2016) már 4 hónapos késéssel jelentkeztek. A Zádor-kút hozamában jelentkező csúcsok időnként késleltetve jelennek meg a Nagy-forráshoz képest.

Bizonyos esetekben a hozamgörbék nem mutatják meg a valós lefolyást. Mivel a vízügy mérései havi pontszerű mérések, előfordulhat, hogy egy nagyobb árhullám mindössze néhány nap alatt levonul két hozammérési időpont között, mint láttuk ezt a 2014-es kora őszi áradás esetében.

3.5 A termelés elemzése

A Bakonykarszt Zrt. által átadott, havi kumulált termelési adatokat az alábbi ábra mutatja be. A Zádor-kútból termelt, havi vízmennyiség általában 3000 és 6500 m^3 között mozgott. Jól látszik a termelésben az évszakos különbség, a nyaranta termelt vízmennyiség sokszor a téli termelés duplája. A Vászolyon található vízmű kút termelése ennél jóval kisebb, általában 600 és 2500 m^3 között mozog.



27. ábra: A Zádor-kút és a vászolyi vízmű kút havi termelése

3.6 Vízmérlegek

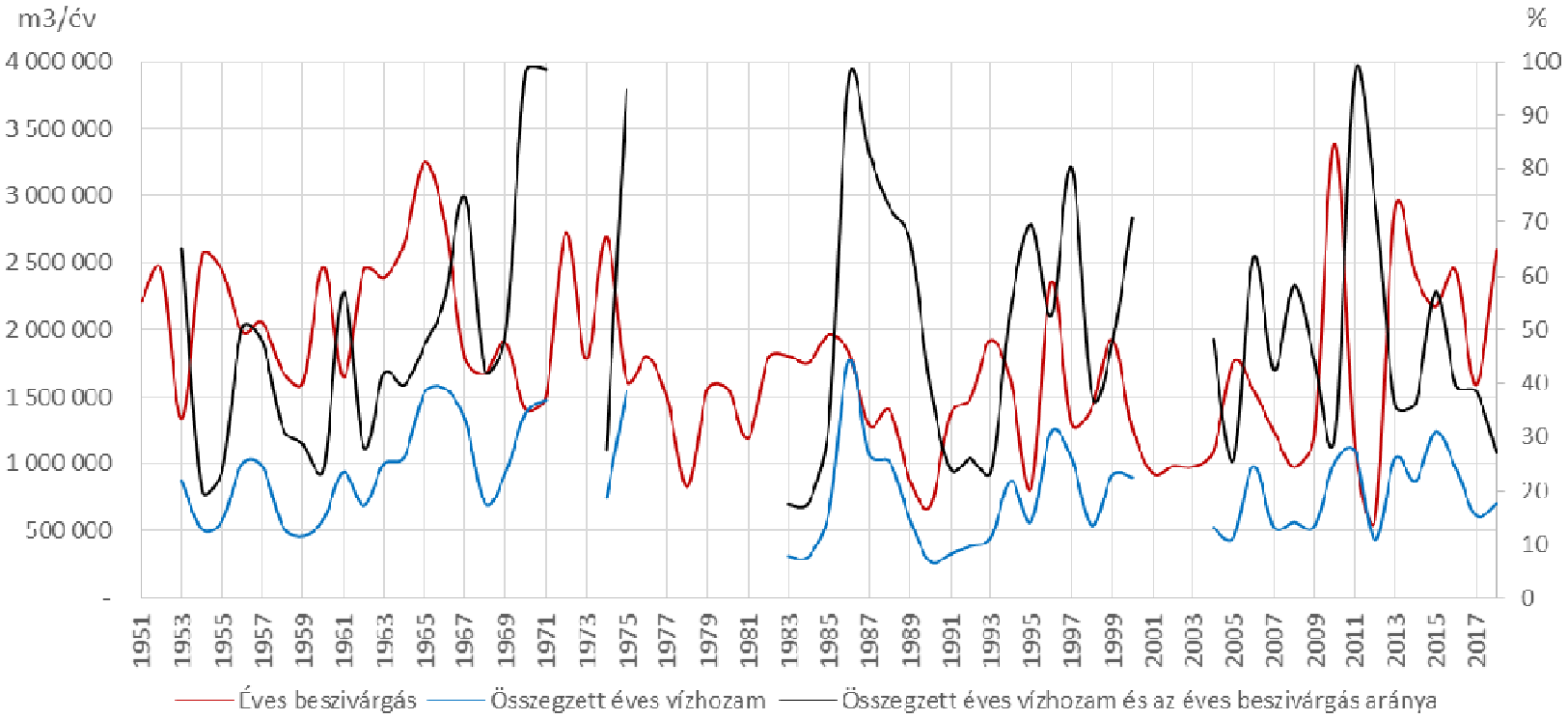
A hozamok és a beszivárgás értékek alapján minden évre becsülhető vízmérleg. A összegzett éves vízhozamok esetében a Zádor-kút termelése is hozzáadásra került. Az adatok alapján az 1953 és 2018 közötti időszakra vonatkozólag az éves csapadékmennyiségből beszivárgó víz aránya 11,3 és 43 % között mozog, átlagosan 28,4%.

A Nagy-forrásból és a Zádor-kútból együttesen távozó éves vízmennyiség aránya a beszivárgó víz mennyiségéhez képest 17,5 és 98,5% közé esik, átlagosan 49,6% (***4. táblázat***). A télen beszivárgott vízmennyiség többnyire nagyobb, mint a nyári időszak idején beszivárgott vízmennyiség. Ezt a táblázat jól tükrözi: az átlagos téli hidrológiai félévi beszivárgás nagyobb, mint a nyári félévé.

4. táblázat: A csapadék, beszivárgás és hozamadatok alapján számított éves vízmérlegek átlagai

Éves csapadék vízmennyiségének átlaga (m^3/év)	Éves beszivárgott vízmennyiségek átlaga (m^3/év)	Téli félévben beszivárgott vízmennyiségek átlaga (m^3/év)	Nyári félévben beszivárgott vízmennyiségek átlaga (m^3/év)	Összegzett éves vízhozamok átlaga (m^3/év)	A beszivárgás és a csapadék aránya (%)	Éves vízhozam és a beszivárgás aránya (%)
6 172 641	1 769 663	1 022 363	691 919	837 640	28.4	49.6

Az egy év alatt beszivárgott és a forrásokból távozó egyéves vízmennyiséget, illetve azok arányát a ***28. ábra*** mutatja be. A legmagasabb arányok a legnagyobb beszivárgású éveket követő évben jelentkeztek. Ennek oka, hogy sokszor a hozamokban csak a következő évben jelentkezik az előző év végén beszivárgott vízmennyiség, ezért egy alacsony beszivárgású évhez jelentősen magasabb összegzett éves vízhozam tartozik.



28. ábra: Az éves beszivárgás, az összegzett éves vízhozam és arányuk egymáshoz képest

4. MÉRŐHÁLÓZAT ÉS A BESZIVÁRGÁS-SZÁMÍTÁS ISMERTETÉSE

A projekt keretében a mintaterületen kialakított mérőhálózaton havi és napi szinten hozammméréseket végeztünk egy hidrológiai éven keresztül (2019.09.20-2020.10.05). Emellett telepítettünk egy meteorológiai mérőállomást Barnag településen időjárási adatgyűjtés céljából. A területről rendelkezésre álló adatok és az időjárási adatok alapján a HELP szoftver segítségével lemodelleztük az egy év alatt beszivárgott vízmennyiséget. A terepi forráshozam-mérések és a beszivárgás ismeretében lehetővé válik a karsztos beszivárgás folyamatának megismerése és elemzése egy hidrológiai év időszakában.

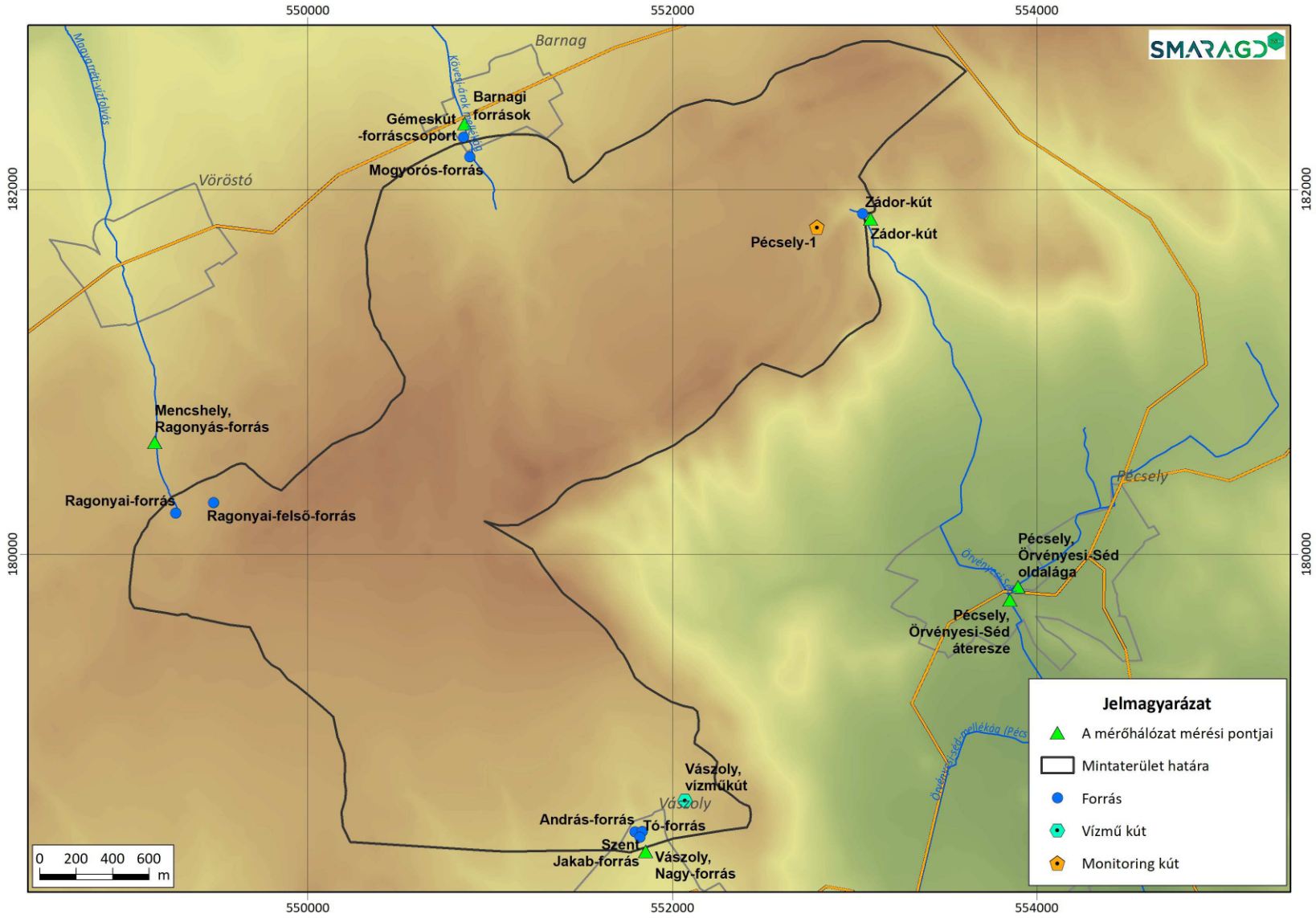
4.1 A mérőhálózat elemei

4.1.1 Vízhozam mérés

A mérőhálózat mérőpontjai – a terepviszonyok függvényében – közvetlenül a források alatt lettek kijelölve és kialakítva. Egyedül a Ragonyás-forrás esetében történt hozammérés a forrásfakadástól kicsit távolabb. Kiegészítésként mérőpont került kijelölésre Pécselyen, az Örvényesi-Séd oldalágán, illetve később magán az Örvényesi-Séden is, a Pécsely-Dörgicse főút átereszénél, közvetlenül a főág és az oldalág összefolyása alatt. A mérési időszak alatt 13 alkalommal került sor mérésre a mérőhálózaton. A mérőpontok helyszínei az OVF és a KDTVIZIG szakembereinek is bemutatásra kerültek, azokat jóváhagyták. A mérőhálózat mérőpontjai az alábbiak voltak:

5. táblázat: A mérőhálózat mérőpontjai

Helyszín	EOV X	EOV Y
Pécsely, Örvényesi-Séd oldalág	179823	553898
Pécsely, Örvényesi-Séd áteresze	179751	553853
Zádor-kút	181840	553090
Vászoly, Nagy-forrás	178373	551855
Barnagi források (Mogyorós-forrás, Gémeskúti-forrás)	182362	550863
Mencshely, Ragonyás-forrás	180615	549162



29. ábra: A mérőhálózat mérési pontjainak elhelyezkedése

30. ábra: Pécsely, Örvényesi-Séd, oldalág mérési pontja

31. ábra: Vászoly, Nagy-forrás mérési pontja

32. ábra: Pécsely, Zádor-kút, mérési pont

33. ábra: Barnagi források mérési pontja

34. ábra: Mencshely, Ragonyás-forrás mérési pontja

35. ábra: Pécsely, Örvényesi-Séd áteresze, utólag kialakított mérési pont

Ahogy a fotókon is látszik, a legtöbb mérőponton a hozammérés hordozható alumínium mérőcsatornákkal történt. A mérőcsatornák 2 méter hosszúak, 10 centiméter magasak, szélességük 25 és 40 cm. A mérés lényege, hogy a mederben folyó víz mérőcsatornába terelésével egy stabil mederszelvényben folyik, ez által könnyen mérhetővé válik a hozam. A mederszelvényben a vízmélység mindenütt azonos, amely a mérőcsatorna oldalán elhelyezett mércén leolvasható, így a hozam kiszámolásához mindössze a vízsebesség szelvény menti megmérése szükséges. Ez a módszer csak a kis vízhozamú forrásoknál, illetve patakoknál működött, nagyobb hozam esetén hagyományos, forgószárnyas műszerrel végzett hozammérés történt, például a Nagy-forrás esetében rendszeresen. A Zádor-kútnál általában köbözésre került sor, leszámítva néhány alkalmat, amikor a nagy hozam miatt szintén hagyományos, forgószárnyas műszerrel történt a mérés. A Nagy-forrás hozamát havi rendszerességgel a KDTVIZIG forráshozam-mérő állomása alatt mértük. Emellett a forráshozam-mérő állomáson naponta rögzítettük a vízállást. Minden mérési ponton helyszíni vizsgálatokra (vezetőképesség, vízhőmérséklet, pH vizsgálat) is sor került.

4.1.2 Meteorológiai állomás üzemeltetése

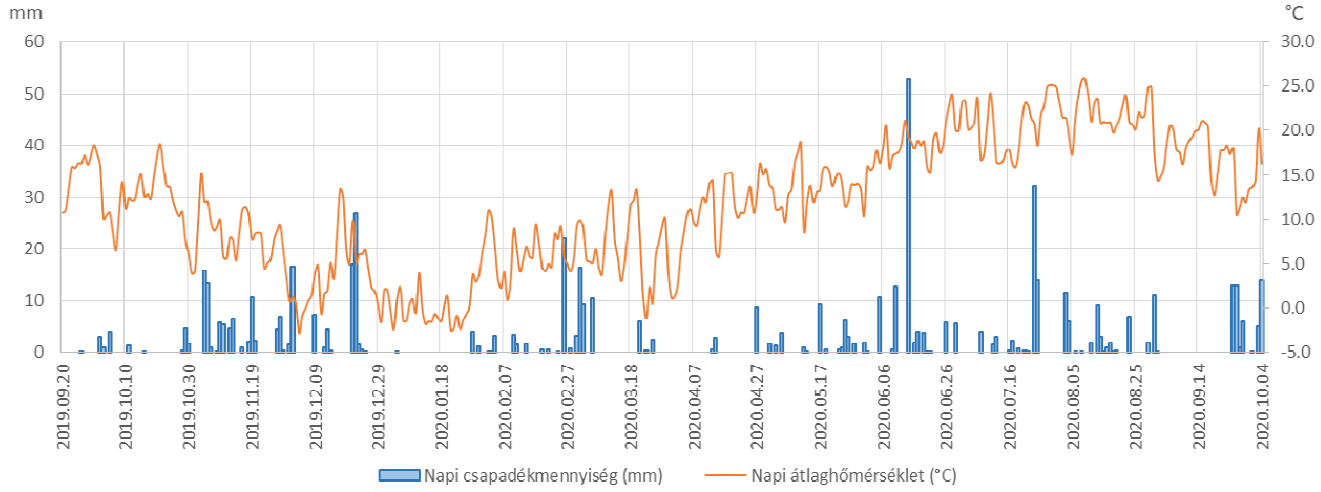
Az időjárási adatok mérésére egy automata meteorológiai mérőállomás került telepítésre Barnagon (***30. ábra***). Köszönettel tartozunk a Bakonykarszt Zrt.-nek, hogy lehetővé tették, hogy az állomást egy elkerített területükön állítsuk fel. Az állomás 2019.10.23-tól rögzítette a csapadékot, a maximum, minimum és átlaghőmérsékleteket, továbbá a napsugárzás mennyiségét is.

36. ábra: Meteorológiai mérőállomás Barnagon

4.2 Eredmények bemutatása

4.2.1 Időjárás alakulása

A barnagi meteorológiai állomás által mért adatokat a ***2. digitális melléklet*** tartalmazza. A mérés időszakában az időjárás az alábbiak szerint alakult:



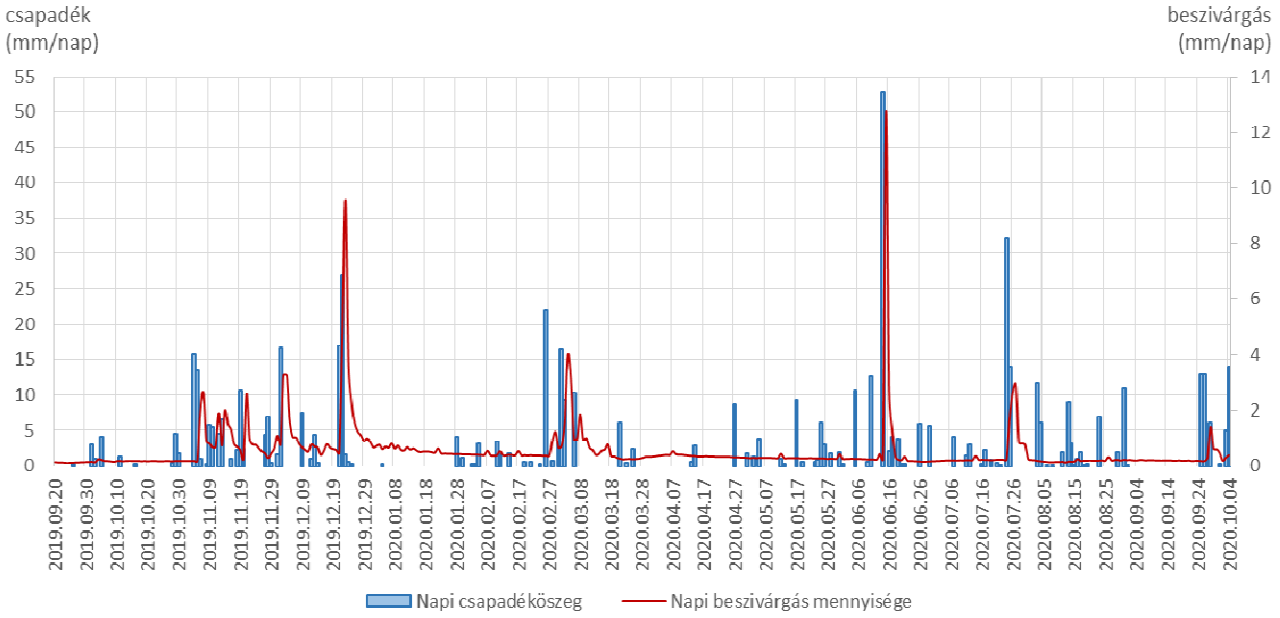
37. ábra: A napi csapadékmennyiség és a napi átlaghőmérséklet a mérési időszakban

Alapvetően három csapadékosabb időszakot lehet megfigyelni: 2019 október végétől 2019 december közepéig, 2020 február végétől március elejéig tartó, illetve 2020 április végétől augusztus végéig terjedő időszak, ezeken az időszakokon belül megfigyelhető néhány kiemelkedő csapadékesemény, például 2019 december 22. (27 mm), 2020 február 26. (22,1 mm), 2020.06.14 (52,8 mm), 2020.07.24 (32,1 mm).

Az átlaghőmérséklet az évi járásnak megfelelően alakult. 0 °C alatti hőmérséklet csak 2019 december elején, 2019 december végétől 2020 január végéig, illetve 2020 március végén, április elején fordult elő, azonban ezekben az időszakokban csak nagyon kis mennyiségű csapadék hullott, jelentős hótakaró nem keletkezett.

4.3 Beszivárgás számítása a mérőhálózat adatai alapján

A mintaterületre leválogatott talajszelvény kategóriák és az időjárási idősor felhasználásával a HELP szoftver segítségével modellezésre került az egy hidrológiai félévre vonatkozó beszivárgás. A szoftver a talajszelvények futtatása során napi beszivárgás értékeket számolt. A hidrológiai év napi beszivárgás értékeit az ***1. digitális melléklet*** tartalmazza. A modellezés eredményét a ***38. ábra*** mutatja be. Az ábrán az egész mintaterületre jellemző napi beszivárgás értékek mellett a napi csapadékmennyiség is bemutatásra került.

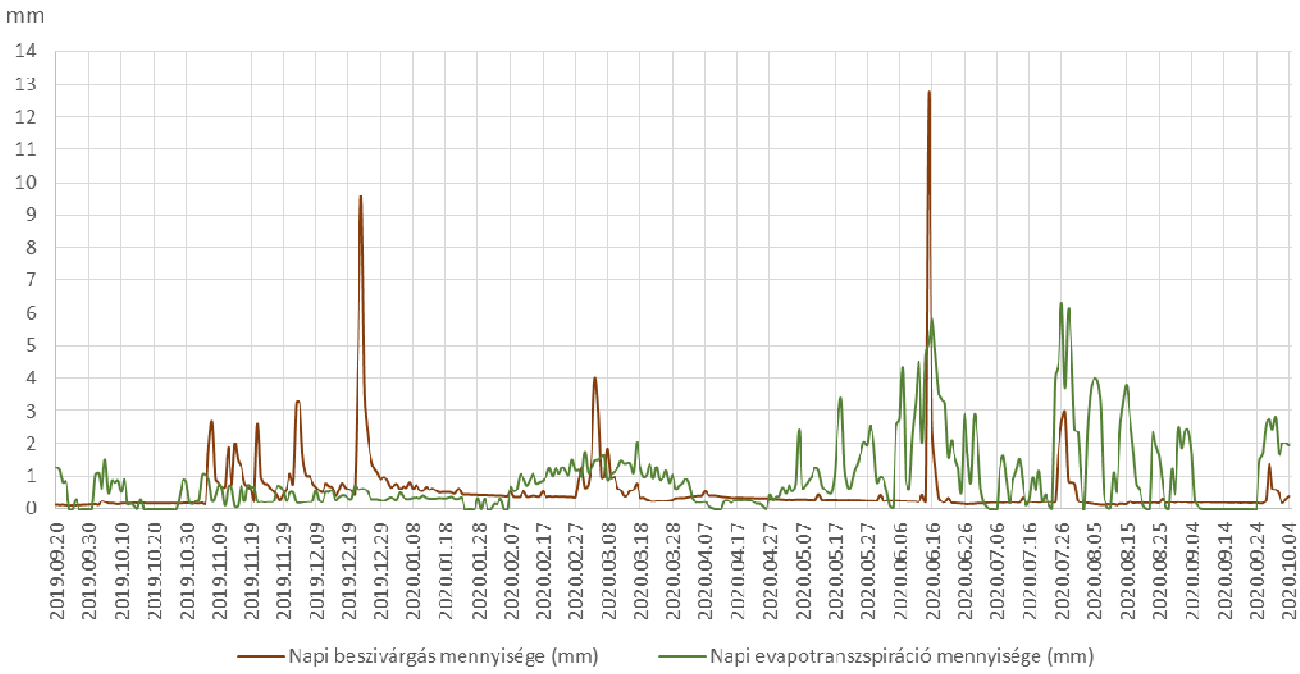


38. ábra: A napi beszivárgás mennyisége és a napi csapadékösszeg a mérési időszakra vonatkozóan

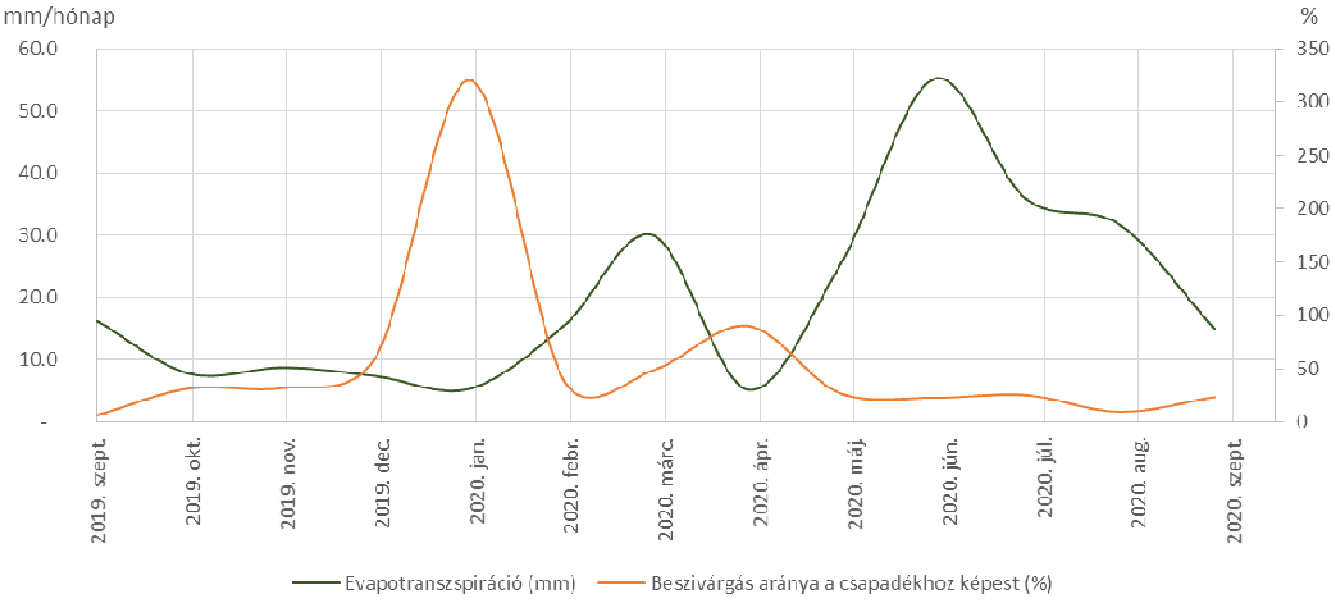
Jól látható, hogy a jelentősebb beszivárgások a nagyobb csapadékeseményekhez kötődtek, viszont átlagosan nagyobb beszivárgás inkább a téli időszakra volt jellemző. 2020 márciusától kezdve egyre kisebb a beszivárgás mértéke, csak a június közepén és július elején jelentkezett csapadékosabb időszakban szivárgott be jelentősebb vízmennyiség. Ebben nem elhanyagolható az evapotranszspiráció szerepe, hiszen a vegetáció, a magasabb átlaghőmérséklet és az erősebb napsugárzás megakadályozza, hogy a lehullott csapadék a talajon keresztül beszivárogjon. Ezt szemlélteti a ***39. ábra***, ahol a napi beszivárgást és evapotranszspiráció által távozott vízmennyiséget láthatjuk mm-ben kifejezve.

A ***40. ábra*** a beszivárgás és a csapadék arányát és az evaporációt mutatja havi bontásban. Jól látható, hogy a téli hónapokban a beszivárgás havi aránya magas, tavasztól kezdve viszont lecsökken, ezzel fordított arányban megnő az evapotranszspiráció. A januári, kiugróan magas beszivárgási arány az időben elhúzódó, lassú beszivárgási folyamatoknak és a száraz januárnak köszönhető.

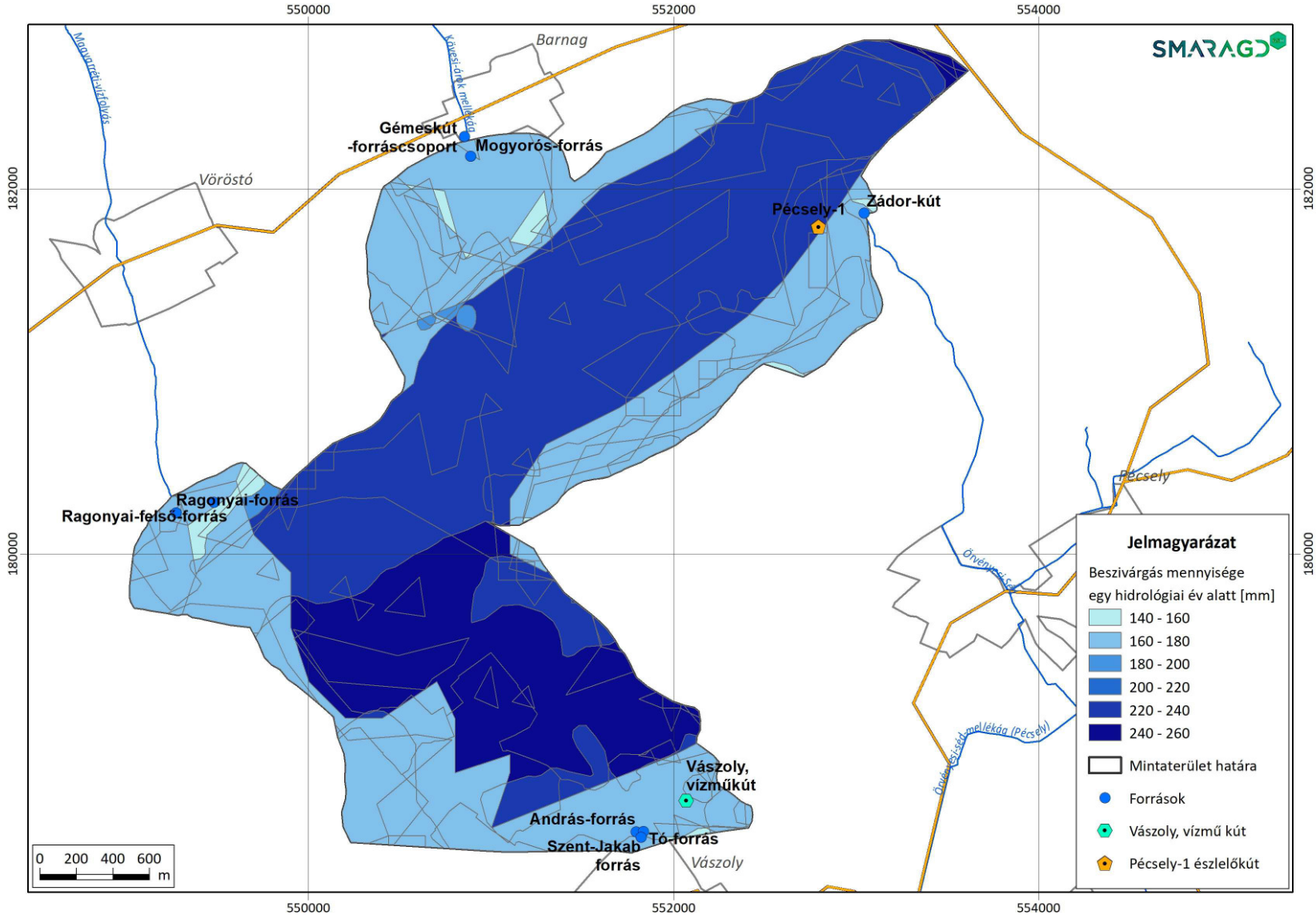
A beszivárgás értékek térinformatikai rendszerbe való bevitelével lehetőség nyílik a beszivárgás területileg összesített mennyiségének kiszámolására. A mintaterületen beszivárgott teljes vízmennyiség területi eloszlását egy hidrológiai évre vonatkozóan a ***41. ábra*** mutatja be.



39. ábra: A napi beszivárgás és evapotranszspiráció mennyisége mm-ben kifejezve egy hidrológiai évre vonatkozóan



40. ábra: Az evapotranszspiráció havi mennyisége mm-ben és a havi beszivárgás aránya a csapadékhoz képest egy hidrológiai évre vonatkozóan



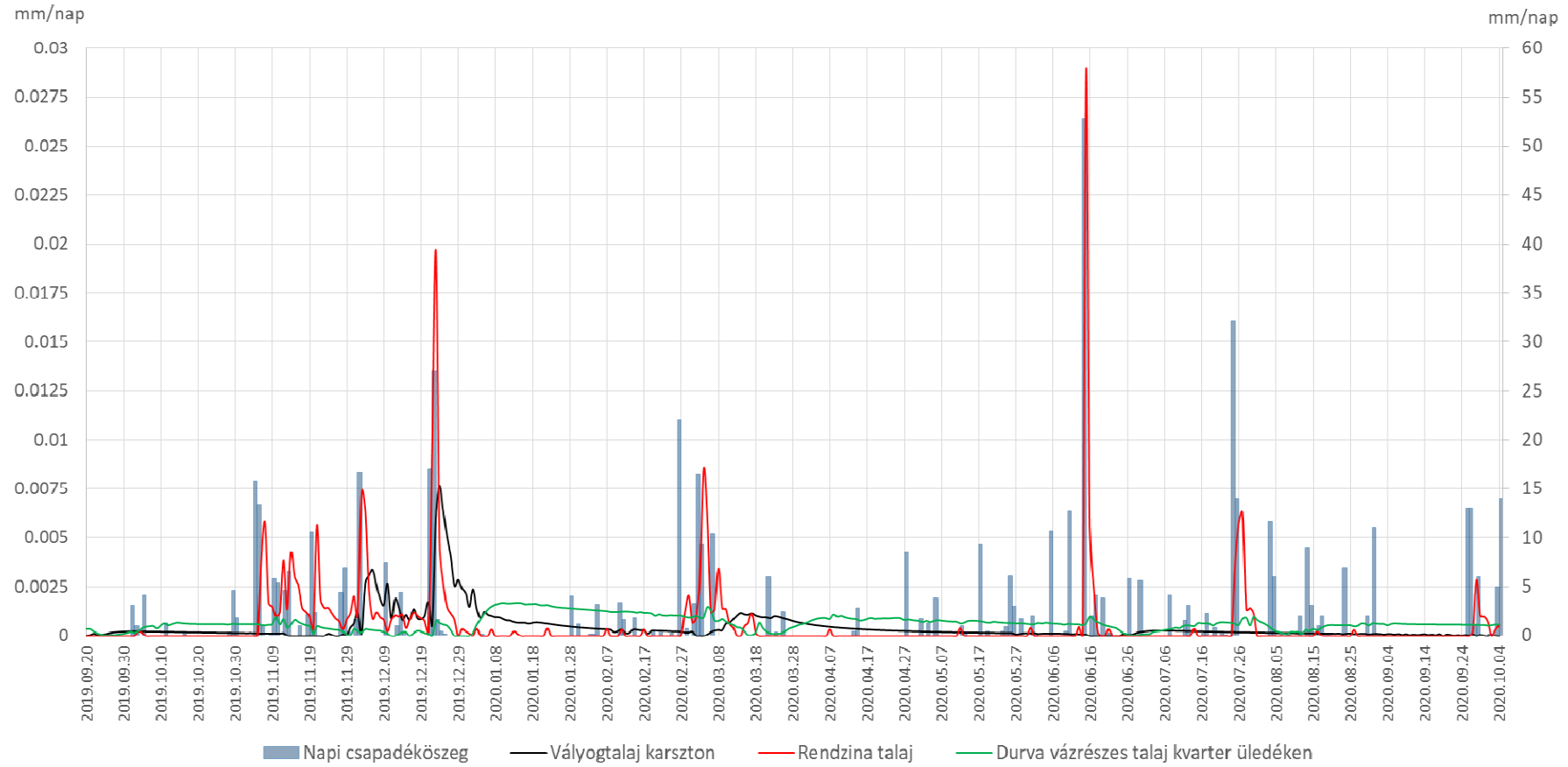
41. ábra: A beszivárgás mennyisége a mintaterületen egy hidrológiai évre vonatkozóan

A térkép jól mutatja, hogy a legnagyobb beszivárgás a mintaterület középső részét elfoglaló, karszton kialakult rendzina, illetve a karsztot vékonyan fedő löszön kialakult durva vázrészes talajszelvényeken jelentkezett (220-250 mm). A terület északnyugati és délkeleti peremein található vályogtalajok, illetve a többi talajszelvények beszivárgási értékei ennél jóval alacsonyabbak (140-185 mm).

Érdemes azonban összehasonlítani, hogy alakult egyes talajszelvényeken a beszivárgás egy hidrológiai év alatt. A ***42. ábra*** három különböző talajszelvény beszivárgását mutatja egy hidrológiai évben, napi felbontásban. Az első talajszelvény egy karszton kialakult vályogtalaj, a második szelvény egy rendzina talajt mutat be, a harmadik szelvény egy kvarter üledéken található durva vázrészes talaj. A három szelvény különböző módon reagált a csapadékra.

- A vályogtalajon a 2019. november-decemberi csapadékmaximum idején mutatkozott legnagyobb beszivárgás, utána fokozatosan lecsökkent. A március eleji beszivárgás már csak gyengén jelentkezett, nyárra nagyon lecsökkent.
- A rendzina talajszelvény minden jelentősebb csapadékeseményre reagált, jelentős csúcsok jellemzik a görbéjét. A legmagasabb beszivárgás a 2020. júniusi jelentősebb csapadékmaximumhoz kötődik. Ezeket leszámítva napi rendszeres beszivárgás gyakorlatilag nincs.
- A harmadik, durva vázrészes talajszelvény esetében nincsenek kiugró csúcsok, csak a már említett, 2019 november-decemberi csapadékmaximumot követte tompán egy jelentős emelkedés. Ugyanakkor folyamatos beszivárgás jellemzi, amely télen volt jelentősebb, nyárra lecsökkent.

A három talajszelvény összehasonlítása megmutatta, hogy a karszton található vékony, durva vázrészes talajok beszivárgása gyakorlatilag az éves csapadékeloszlással együtt változik, míg a többi talajtípus másként reagál, leginkább a téli csapadékok mutatkoznak meg a beszivárgásban.



42. ábra: Három különböző talajszelvény egy hidrológiai éves beszivárgása

4.4 Mérőhálózat helyszíni mérési eredményei

4.4.1 Vízhozam-mérések

A mérőhálózaton elvégzett hozammérések és a helyszíni vizsgálatok eredményeit a ***6., 7., 8. és 9. táblázat*** tartalmazza. A Bakonykarszt Zrt. biztosította számunkra a Zádor-kút havi, kumulált termelési adatait, melynek segítségével a Zádor-kútnál mért hozamokat korrigáltuk, hogy megkapjuk a valós hozamot.

A mérési eredményeket a ***43. ábra*** mutatja be. A hozamgörbék mellett ábrázolásra került a havi beszivárgás mennyisége is. A pécselyi Örvényesi-Séd oldalágon és az Örvényesi-Séd átereszénél mért hozamokat nem ábrázoltuk. Az ábrán jól látszik a hozamok egy év alatt bekövetkező ingadozása. A legnagyobb mértékben a legnagyobb hozamú Nagy-forrás hozama változott. A Zádor-kút vízhozama is nagy volt a mérési időszak második felében, de jelentősen elmaradt a Nagy-forrásétól, mivel a rendszeres vízkivétel miatt csak a hozam töredéke távozott a túlfolyón. A Ragonyás-forrás és a barnagi források hozama alapvetően csekély maradt.

Az adatok szerint két jelentősebb hozamcsúcs jelentkezett a Nagy-forrás, a barnagi források és a Ragonyás-forrás hozamában, az egyik 2020 január végén, a másik 2020 márciusában. A Nagy-forrás esetében egy 2020 június végi csúcs is megfigyelhető. Ettől egyedül a Zádor-kút adatai térnek el, ebben az esetben a legnagyobb hozam május végén volt tapasztalható. A hozamadatokat a beszivárgás görbéjével összevetve látható, hogy a nagyobb beszivárgású időszak kezdetéhez képest 3 hónappal később, a januári méréskor volt tapasztalható magasabb hozam. A Zádor-kútnál ehhez képest később jelentkezett a legnagyobb hozam, a Nagy-forrás hozammaximumához képest mintegy 2 hónappal később. A Zádor-kút maximális hozamában tapasztalható látszólagos késlekedés az archív adatok alapján többször is előfordult. Ez feltehetőleg a karsztvíztároló rendszerének belső áramlási viszonyaival állhat összefüggésben.

6. táblázat: A mérési pontokon végzett hozammérések eredményei

Mérési pont		Örvényesi-Séd oldalága	Zádor-kút	Nagy-forrás	Barnagi források	Ragonyás-forrás	Örvényesi-Séd áteresze
Település		Pécsely	Pécsely	Vászoly	Barnag	Mencshely	Pécsely
EOVX		179823	181840	178373	182362	180615	179751
EOVY		553898	553090	551855	550863	549162	553853
2019.09.20	l/perc	15	100.98	822.11	0.3	-	26.4
2019.10.21	l/perc	12.15	47.51	929.59	13.8	-	8.4
2019.11.19	l/perc	29.25	10.78	874.52	12.6	-	45
2019.12.18	l/perc	204.75	33.78	780.25	9.9	-	34.8
2020.01.21	l/perc	300.3	140.65	1278.73	60	-	156.6
2020.02.19	l/perc	399	102.41	567.75	43.5	514.09	76.5
2020.03.18	l/perc	856.69	191.13	1278.45	127.51	-	122.75
2020.04.21	l/perc	381.6	116.48	1112.14	48.6	575.18	81.75
2020.05.20	l/perc	247.5	444.9	771.64	21.15	364.39	80.78
2020.06.22	l/perc	124.03	321.39	1068.58	16.8	226.98	48.47
2020.07.16	l/perc	26.94	198.65	926.66	4.05	16.82	17.19
2020.08.25	l/perc	41.63	233.11	834.35	10.8	36.86	5.94
2020.10.05	l/perc	16.2	14.89	575.8	21.09	32.05	11.21

7. táblázat: A víz vezetőképessége a mérési pontokon

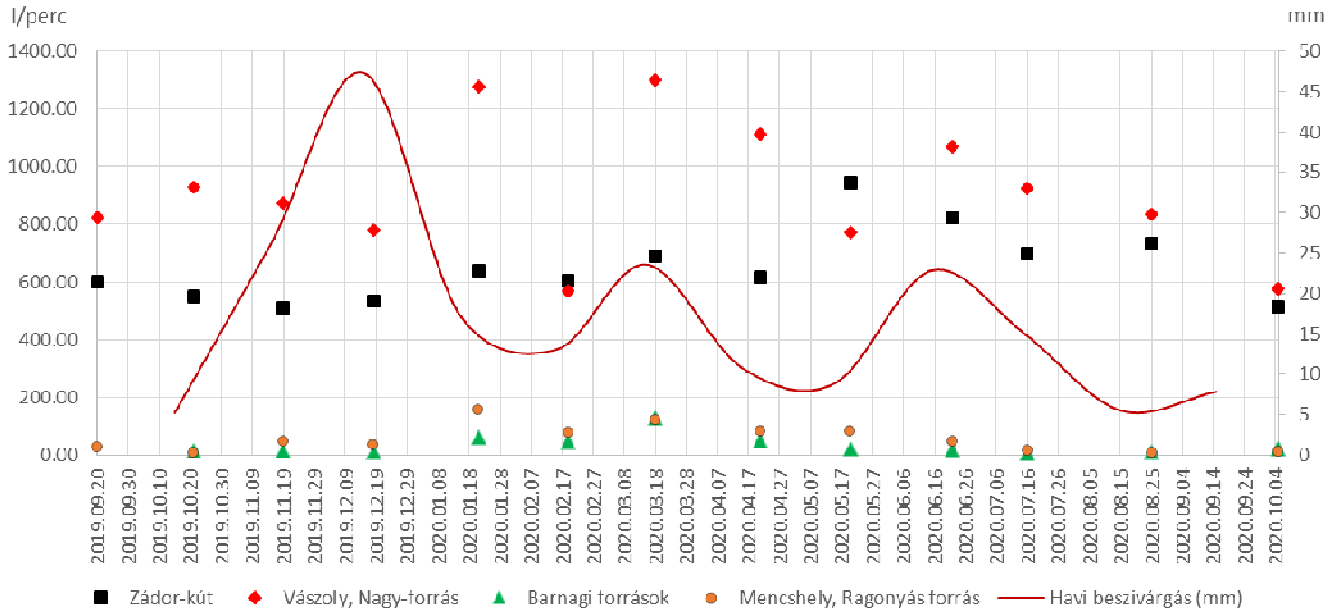
Mérési pont		Örvényesi-Séd oldalága	Zádor-kút	Nagy-forrás	Barnagi források	Ragonyás-forrás	Örvényesi-Séd áteresze
Település		Pécsely	Pécsely	Vászoly	Barnag	Mencshely	Pécsely
EOVX		179823	181840	178373	182362	180615	179751
EOVY		553898	553090	551855	550863	549162	553853
2019.09.20	µS/cm	1052	865	850	883	785	-
2019.10.21	µS/cm	1032	772	782	876	758	-
2019.11.19	µS/cm	1048	743	758	909	763	-
2019.12.18	µS/cm	486	417	393	445	383	-
2020.01.21	µS/cm	-	-	-	-	-	-
2020.02.19	µS/cm	839	755	751	836	752	872
2020.03.18	µS/cm	512	713	778	844	722	-
2020.04.21	µS/cm	823	758	413	824	712	873
2020.05.20	µS/cm	819	765	760	840	732	863
2020.06.22	µS/cm	783	774	763	838	728	831
2020.07.16	µS/cm	1015	788	770	809	719	948
2020.08.25	µS/cm	895	775	773	825	718	903
2020.10.05	µS/cm	959	762	772	868	745	1043

8. táblázat: A víz hőmérsékletének vizsgálati eredményei a mérési pontokon

Mérési pont		Örvényesi-Séd oldalága	Zádor-kút	Nagy-forrás	Barnagi források	Ragonyás-forrás	Örvényesi-Séd áteresze
Település		Pécsely	Pécsely	Vászoly	Barnag	Mencshely	Pécsely
EOVX		179823	181840	178373	182362	180615	179751
EOVY		553898	553090	551855	550863	549162	553853
2019.09.20	°C	12.4	12	12.5	13.6	12.5	-
2019.10.21	°C	17.2	13.4	14.7	17.9	16.7	-
2019.11.19	°C	10.2	10.2	10.8	10.4	10.1	-
2019.12.18	°C	10.7	11.6	12.7	10.4	10.8	-
2020.01.21	°C	-	-	-	-	-	-
2020.02.19	°C	8.2	9.8	10	8.2	8.1	8.2
2020.03.18	°C	13.1	12.7	14.6	13.6	14	-
2020.04.21	°C	13	12.6	12.3	14.7	14	13.5
2020.05.20	°C	13.3	11.7	12.5	13.5	13.5	13.7
2020.06.22	°C	15.1	13.6	14.4	18.5	16.4	15.6
2020.07.16	°C	14.8	13.8	14.4	19.7	19.7	15.8
2020.08.25	°C	16.5	11.9	14.7	22.7	18.3	16.5
2020.10.05	°C	12.8	11.4	13.1	15.5	15.3	13.8

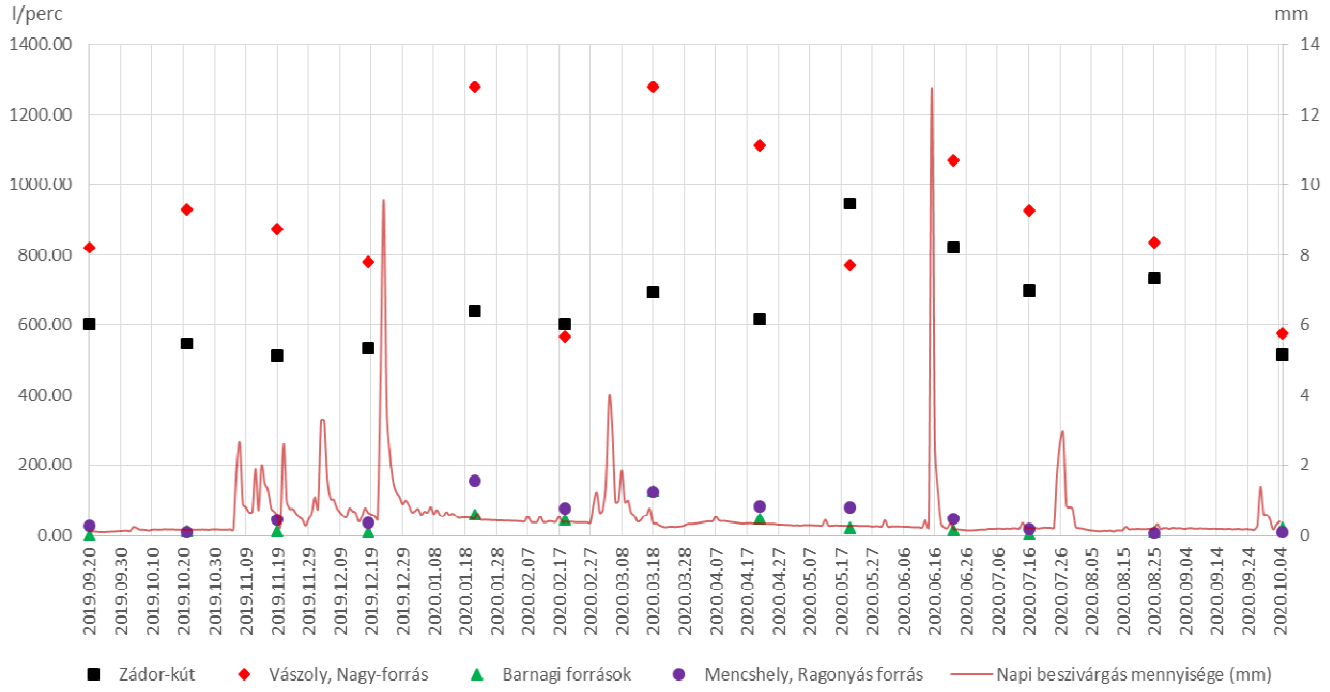
9. táblázat: A víz pH-jának vizsgálati eredményei a mérési pontokon

Mérési pont		Örvényesi-Séd oldalága	Zádor-kút	Nagy-forrás	Barnagi források	Ragonyás-forrás	Örvényesi-Séd áteresze
Település		Pécsely	Pécsely	Vászoly	Barnag	Mencshely	Pécsely
EOVX		179823	181840	178373	182362	180615	179751
EOVY		553898	553090	551855	550863	549162	553853
2019.09.20	pH	8.26	7.71	7.9	8.31	8.29	-
2019.10.21	pH	8.36	7.04	7.12	8.44	8.52	-
2019.11.19	pH	8.7	8.73	8.64	8.64	8.86	-
2019.12.18	pH	8.61	8.53	8.58	8.54	9.13	-
2020.01.21	pH	-	-	-	-	-	-
2020.02.19	pH	-	-	-	-	-	-
2020.03.18	pH	-	-	-	-	-	-
2020.04.21	pH	-	-	-	-	-	-
2020.05.20	pH	8.89	8.81	-	8.89	9.07	8.91
2020.06.22	pH	10.46	9.85	9.9	9.96	10.42	10.42
2020.07.16	pH	9.58	9.76	10.01	10.21	10.3	10.35
2020.08.25	pH	7.82	6.7	7.38	7.57	7.7	7.64
2020.10.05	pH	7.03	6.94	7.2	7.01	7.05	7.05



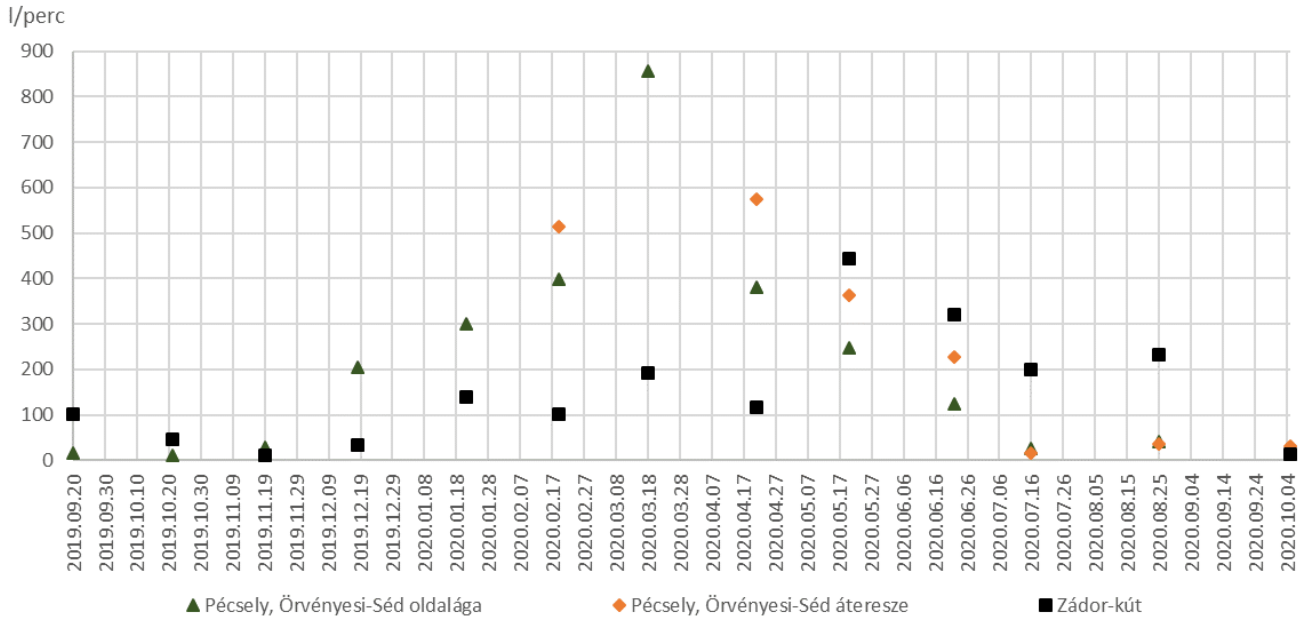
43. ábra: A mérőhálózaton végzett hozammérések eredménye

Több részletet árul el a hozammérések eredményeinek a napi beszivárgással való összevetése a ***44. ábra***. A 2019 november-decemberi nagy beszivárgású időszak kezdetét követően először mintegy három hónappal később, a januári mérések alkalmával jelent meg nagyobb hozam mindegyik forrásnál. Ezek a magasabb hozamok a tavaszi mérések alkalmával nagyok maradtak, csak nyáron csökkentek vissza a 2019-ben tapasztalt értékekre. Egyedüli kivételt, ahogy előző ábrán is láttuk, a Zádor-kút jelenti. A forrás esetében csak áprilisban jelent meg nagyobb hozam, amely nyár folyamán nagyobb is maradt, csak az utolsó mérés esetén volt a vízhozam a 2019 őszi hozamokhoz hasonló.



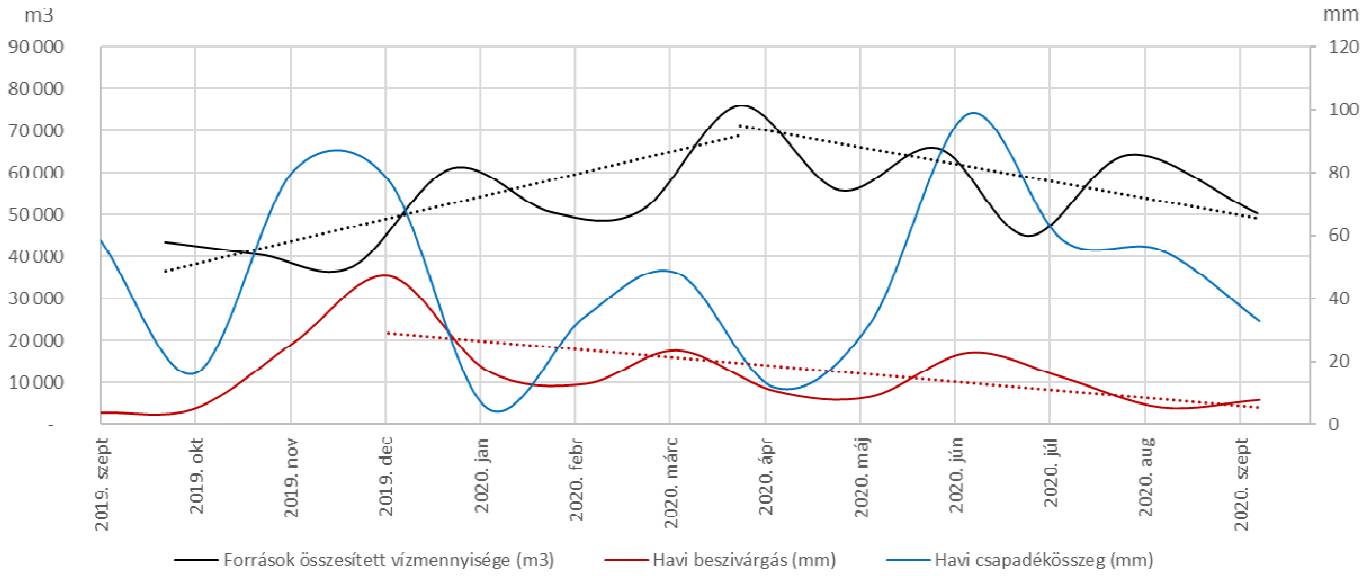
44. ábra: A források vízhozama a napi beszivárgás mennyiségével ábrázolva

Az Örvényesi-Séd oldalágán, az Örvényesi-Séd átereszénél, illetve a Zádor-kútnál található mérési ponton mért, termelés nélküli hozamokat a ***45. ábra*** mutatja be. Az Örvényesi-Séd oldalágának és a Zádor-kút felől érkező főág összefolyása az áteresz felett található, elméletileg az átereszénél észlelt vízmennyiségnek tartalmaznia kell a főág és az oldalág vízmennyiségét is. Összehasonlítva az eredményeket kiderül, hogy az átereszénél észlelt hozam jelentős része az oldalágból származik, az átereszénél észlelt hozam az oldalágon mért hozamhoz igazodik. A Zádor-kúton mért hozam azonban az átereszénél csak februárban és áprilisban érzékelhető, a májusi méréstől kezdve jelentősen megnő az oldalágon és az átereszénél mért hozamhoz képest. Egy mérési alkalomnál (2020.08.25) az is előfordult, hogy a főágmedre száraz volt, az átereszénél mért hozam nagyjából az oldalág hozamával egyezett meg. Valószínűleg a Zádor-kút túlfolyóján távozó vízmennyiség a mintaterület és a mérési pont között visszaszivárgott a rendszerbe.



45. ábra: Az Örvényesi Séd oldalágán, az Örvényesi-Séd átereszénél és a Zádor-kútnál található mérési pontokon (termelés nélkül) mért hozamok összehasonlítása

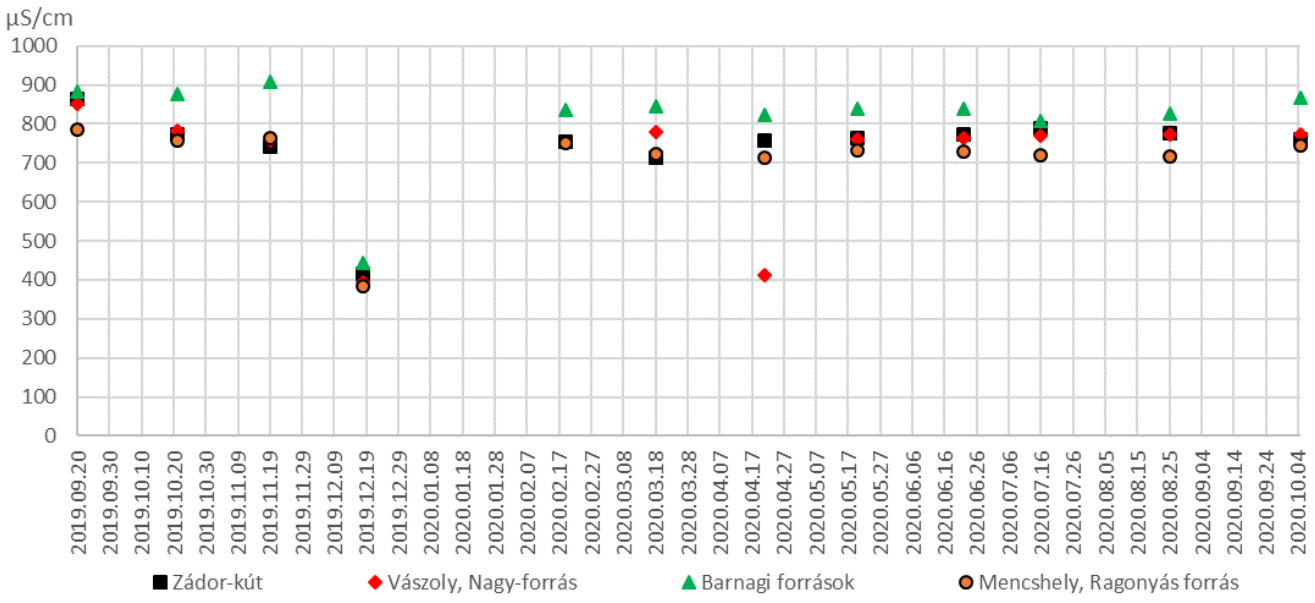
A forráshozamok alapján a mérések közötti időszakokra becsültük a rendszerből távozó vízmennyiségeket, az ebből számolt teljes vízmennyiséget a ***46. ábra*** mutatja be. Az ábrán feltüntetésre kerültek a csapadék és a beszivárgás havi összegei. A forrásokból a legnagyobb vízmennyiség áprilisban távozott, addig növekvő, azt követően csökkenő trendet mutat. A beszivárgás trendje a 2019 november-decemberi csúcsot követően csökkenő, a maximális vízmennyiséghez képest 3 hónappal korábban jelentkezik. A vízmennyiség-maximum lecsengése a beszivárgás görbe lecsengésével mutat hasonlóságot. Ezek alapján a legnagyobb, téli időszak beszivárgását tavasszal követte a legnagyobb vízhozam, a beszivárgott vízmennyiség csak késleltetve jelent meg a forrásokban. A beszivárgott vízmennyiség késleltetett megjelenése a karsztvíztároló belső tározási viszonyaival áll kapcsolatban.



46. ábra: A források becsült vízmennyiségei a havi beszivárgás és a havi csapadék összegével

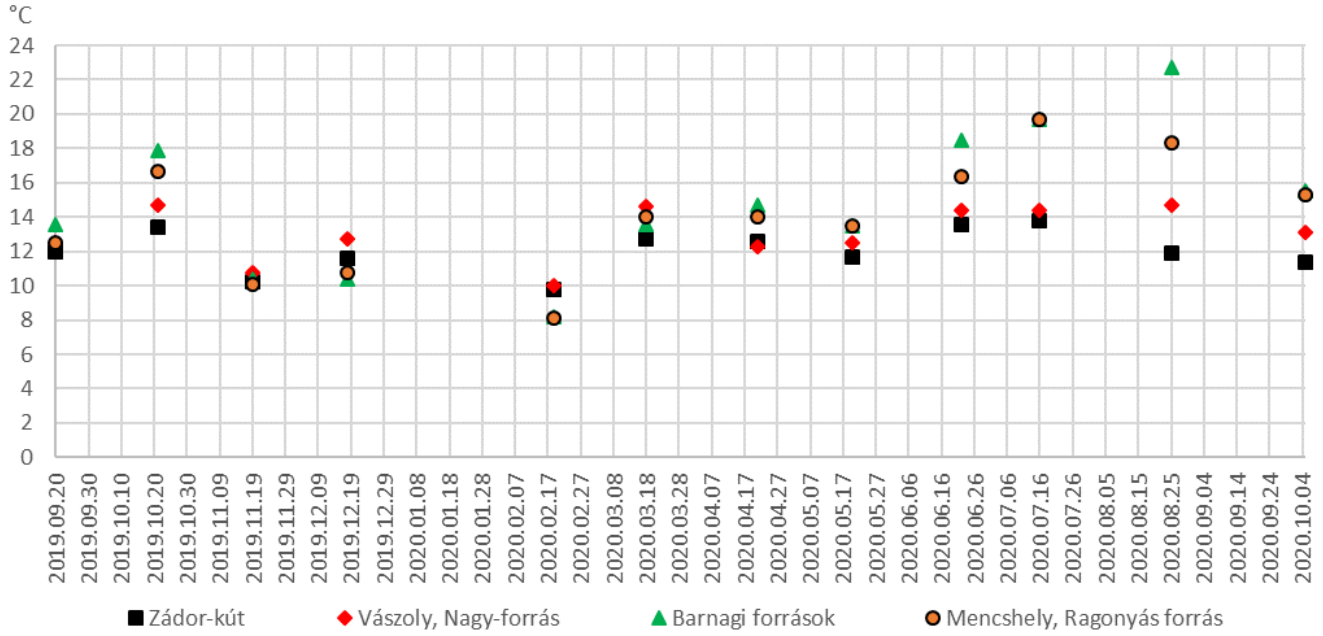
4.4.2 Helyszíni vizsgálatok

A vízhozam-mérések alkalmával meghatározásra került a víz vezetőképessége, hőmérséklete és a pH helyszíni vizsgálatok keretében. A mérések eredményét az alábbi ***47.*** ábra és ***48.*** ábra ábrák mutatják be.



47. ábra: A források vizének vezetőképessége a helyszíni vizsgálatok alapján

A ***47. ábra*** a vezetőképesség-értékeket mutatja be. A legmagasabb vezetőképességet a barnagi források mutattak az egész mérési időszak folyamán, a legalacsonyabb általában a Ragonyás-forrásnál volt tapasztalható. A két nagy forrás vezetőképessége e két érték között mozgott.



48. ábra: A források vizének hőmérséklete a helyszíni vizsgálatok alapján

A vízhőmérsékletek (***48. ábra***) az évi középhőmérséklet járásának megfelelően ingadoztak: télen lecsökkentek 8-10°C közé, tavasszal és ősszel ennél magasabb vízhőmérsékletek jellemezték a forrásokat. A legmagasabb hőmérsékletek nyáron fordultak elő a barnagi források és a Ragonyás-forrás esetében, azonban ez csak látszólagos, mert a csekélyebb hozam és a két forrás vizét elvezető patakok igen sekély mélysége okán a vizük jobban melegszik és hűl a levegő hőmérsékletével. Ezt bizonyítja, hogy a vízhőmérséklet ingadozásuk is jobban illeszkedik a levegő éves ingadozásához. A Zádor-kút és a Nagy-forrás vizének hőmérséklete is mutat ingadozásokat, azonban egész évben stabilan 9,5 és 15 °C között maradnak.

4.5 A Nagy-forrás napi vízhozam idősora vízszint adatok alapján

A Nagy-forrás KDTVIZIG által üzemeltett forráshozam-mérő állomásán, a projekt során naponta leolvasott vízszint adatokat a ***10. táblázat*** mutatja be. A napi vízállásból összefüggés alapján kiszámítható a napi vízhozam, melyet a ***49. ábra*** mutat be a napi beszivárgás értékekkel. A vízhozam görbén novemberben vízszint esés látható, mely a Vászolyi Önkormányzat által elvégzett patakmeder-takarításnak köszönhető. A takarítás során a vízi növényzet eltávolításra került. Emellett a július elejétől augusztus végéig tartó időszakban látható vízszint ingadozás oka, hogy ebben az időszakban a vászolyi vízi színpad építése miatt le kellett ereszteni a Tó-forrás vizét három alkalommal is. Ezt leszámítva a görbén jelentős, hirtelen vízszint ugrás nem tapasztalható. A napi beszivárgás értékekkel összehasonlítva az látszik, hogy az ősszel hullott nagyobb csapadékmennyiség csak 4 hónappal később, március elején okozott jelentős vízszint emelkedést, a november-decemberi nagy beszivárgási időszakot két hónappal követő február végi-március eleji jelentősebb beszivárgást pedig két hónappal később, május elején követte újabb emelkedés. Ez az ábra is alátámasztja a korábban látott tendenciát, miszerint a beszivárgott vízmennyiség a forrásokban csak késleltetve, hónapokkal később jelenik meg. A júniusi beszivárgás csúcsot követő esetleges hozamnövekedés a Tó-forrás többszöri leeresztése miatt nem érzékelhető.

10. táblázat: A Nagy-forrás forráshozammérő állomáson mért napi vízállás és az abból számolt vízhozam

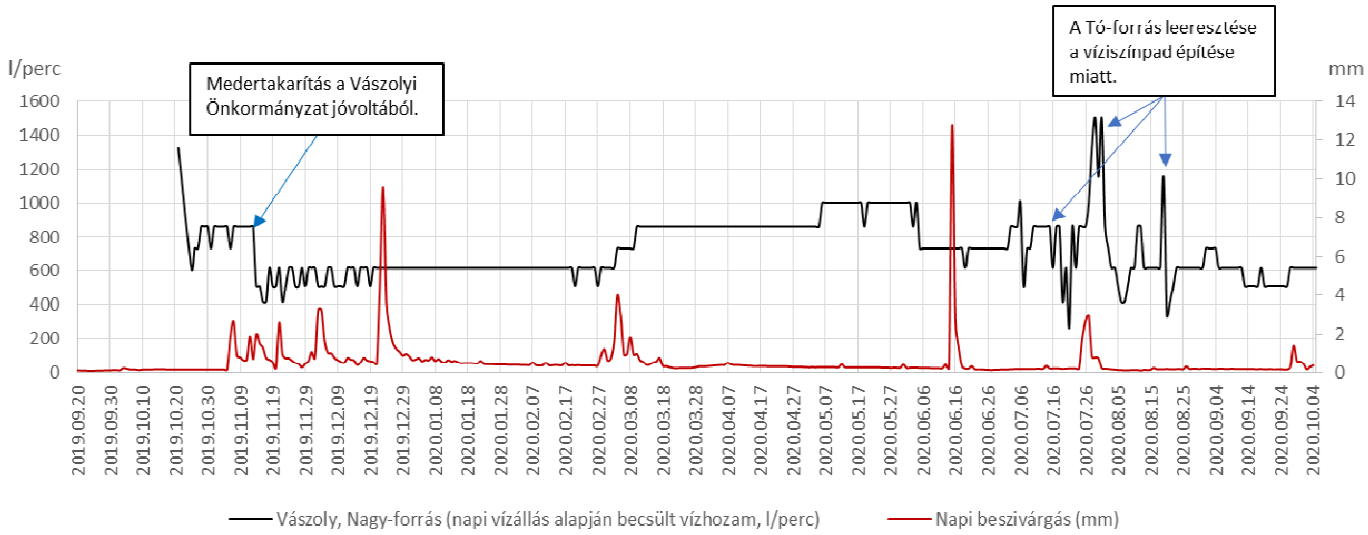
Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)	Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)	Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)
2019.09.20	14	616.2	2019.12.01	15	616.2	2020.01.09	15	616.2
2019.10.21	19	1321.8	2019.12.02	15	616.2	2020.01.10	15	616.2
2019.10.25	16	616.2	2019.12.03	14	511.8	2020.01.11	15	616.2
2019.10.26	18	732	2019.12.04	14	511.8	2020.01.12	15	616.2
2019.10.27	17	732	2019.12.05	14	511.8	2020.01.13	15	616.2
2019.10.28	19	860.4	2019.12.06	15	616.2	2020.01.14	15	616.2
2019.10.29	19	860.4	2019.12.07	15	616.2	2020.01.15	15	616.2
2019.10.30	19	860.4	2019.12.08	14	511.8	2020.01.16	15	616.2
2019.10.31	18	732	2019.12.09	14	511.8	2020.01.17	15	616.2
2019.11.01	19	860.4	2019.12.10	14	511.8	2020.01.18	15	616.2
2019.11.02	19	860.4	2019.12.11	14	511.8	2020.01.19	15	616.2
2019.11.03	19	860.4	2019.12.12	15	616.2	2020.01.20	15	616.2
2019.11.04	19	860.4	2019.12.13	15	616.2	2020.01.21	14	616.2
2019.11.05	19	860.4	2019.12.14	15	616.2	2020.01.22	15	616.2
2019.11.06	18	732	2019.12.15	14	511.8	2020.01.23	15	616.2
2019.11.07	19	860.4	2019.12.16	15	616.2	2020.01.24	15	616.2
2019.11.08	19	860.4	2019.12.17	15	616.2	2020.01.25	15	616.2
2019.11.09	19	860.4	2019.12.18	15	616.2	2020.01.26	15	616.2
2019.11.10	19	860.4	2019.12.19	14	511.8	2020.01.27	15	616.2
2019.11.11	19	860.4	2019.12.20	15	616.2	2020.01.28	15	616.2
2019.11.12	19	860.4	2019.12.21	15	616.2	2020.01.29	15	616.2
2019.11.13	19	860.4	2019.12.22	15	616.2	2020.01.30	15	616.2
2019.11.14	17	511.8	2019.12.23	15	616.2	2020.01.31	15	616.2
2019.11.15	16	511.8	2019.12.24	15	616.2	2020.02.01	15	616.2
2019.11.16	13	418.8	2019.12.25	15	616.2	2020.02.02	15	616.2
2019.11.17	13	418.8	2019.12.26	15	616.2	2020.02.03	15	616.2
2019.11.18	15	616.2	2019.12.27	15	616.2	2020.02.04	15	616.2
2019.11.19	13	511.8	2019.12.28	15	616.2	2020.02.05	15	616.2
2019.11.20	14	511.8	2019.12.29	15	616.2	2020.02.06	15	616.2
2019.11.21	15	616.2	2019.12.30	15	616.2	2020.02.07	15	616.2
2019.11.22	12	418.8	2019.12.31	15	616.2	2020.02.08	15	616.2
2019.11.23	14	511.8	2020.01.01	15	616.2	2020.02.09	15	616.2
2019.11.24	15	616.2	2020.01.02	15	616.2	2020.02.10	15	616.2
2019.11.25	15	616.2	2020.01.03	15	616.2	2020.02.11	15	616.2
2019.11.26	14	511.8	2020.01.04	15	616.2	2020.02.12	15	616.2
2019.11.27	14	511.8	2020.01.05	15	616.2	2020.02.13	16	616.2
2019.11.28	15	616.2	2020.01.06	15	616.2	2020.02.14	15	616.2
2019.11.29	14	511.8	2020.01.07	15	616.2	2020.02.15	15	616.2
2019.11.30	15	616.2	2020.01.08	15	616.2	2020.02.16	15	616.2

11. táblázat: A Nagy-forrás forráshozammérő állomáson mért napi vízállás és az abból számolt vízhozam (folyt.)

Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)	Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)	Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)
2020.02.17	15	616.2	2020.03.27	18	860.4	2020.05.05	16	860.4
2020.02.18	15	616.2	2020.03.28	18	860.4	2020.05.06	17	1000.8
2020.02.19	14	616.2	2020.03.29	18	860.4	2020.05.07	17	1000.8
2020.02.20	14	511.8	2020.03.30	18	860.4	2020.05.08	17	1000.8
2020.02.21	15	616.2	2020.03.31	18	860.4	2020.05.09	17	1000.8
2020.02.22	15	616.2	2020.04.01	18	860.4	2020.05.10	17	1000.8
2020.02.23	15	616.2	2020.04.02	18	860.4	2020.05.11	17	1000.8
2020.02.24	15	616.2	2020.04.03	18	860.4	2020.05.12	17	1000.8
2020.02.25	15	616.2	2020.04.04	18	860.4	2020.05.13	17	1000.8
2020.02.26	16	616.2	2020.04.05	18	860.4	2020.05.14	17	1000.8
2020.02.27	14	511.8	2020.04.06	18	860.4	2020.05.15	17	1000.8
2020.02.28	15	616.2	2020.04.07	18	860.4	2020.05.16	17	1000.8
2020.02.29	15	616.2	2020.04.08	17	860.4	2020.05.17	17	1000.8
2020.03.01	15	616.2	2020.04.09	17	860.4	2020.05.18	17	1000.8
2020.03.02	16	616.2	2020.04.10	17	860.4	2020.05.19	16	860.4
2020.03.03	15	616.2	2020.04.11	17	860.4	2020.05.20	17	1000.8
2020.03.04	16	732	2020.04.12	17	860.4	2020.05.21	17	1000.8
2020.03.05	16	732	2020.04.13	17	860.4	2020.05.22	17	1000.8
2020.03.06	16	732	2020.04.14	18	860.4	2020.05.23	17	1000.8
2020.03.07	16	732	2020.04.15	18	860.4	2020.05.24	17	1000.8
2020.03.08	16	732	2020.04.16	18	860.4	2020.05.25	17	1000.8
2020.03.09	16	732	2020.04.17	18	860.4	2020.05.26	17	1000.8
2020.03.10	16	860.4	2020.04.18	18	860.4	2020.05.27	17	1000.8
2020.03.11	17	860.4	2020.04.19	18	860.4	2020.05.28	17	1000.8
2020.03.12	17	860.4	2020.04.20	18	860.4	2020.05.29	17	1000.8
2020.03.13	17	860.4	2020.04.21	16	860.4	2020.05.30	17	1000.8
2020.03.14	17	860.4	2020.04.22	16	860.4	2020.05.31	17	1000.8
2020.03.15	17	860.4	2020.04.23	16	860.4	2020.06.01	17	1000.8
2020.03.16	17	860.4	2020.04.24	16	860.4	2020.06.02	17	1000.8
2020.03.17	17	860.4	2020.04.25	16	860.4	2020.06.03	16	860.4
2020.03.18	17	860.4	2020.04.26	16	860.4	2020.06.04	17	1000.8
2020.03.19	17	860.4	2020.04.27	16	860.4	2020.06.05	15	732
2020.03.20	17	860.4	2020.04.28	16	860.4	2020.06.06	15	732
2020.03.21	18	860.4	2020.04.29	16	860.4	2020.06.07	15	732
2020.03.22	18	860.4	2020.04.30	16	860.4	2020.06.08	15	732
2020.03.23	18	860.4	2020.05.01	16	860.4	2020.06.09	15	732
2020.03.24	18	860.4	2020.05.02	16	860.4	2020.06.10	15	732
2020.03.25	18	860.4	2020.05.03	16	860.4	2020.06.11	15	732
2020.03.26	18	860.4	2020.05.04	16	860.4	2020.06.12	15	732

10. táblázat: A Nagy-forrás forráshozammérő állomáson mért napi vízállás és az abból számolt vízhozam (folyt.)

Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)	Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)	Nap	Vízállás (cm)	Számított vízhozam (l/perc)
2020.06.13	15	732	2020.07.22	16	860.4	2020.08.30	14	616.2
2020.06.14	15	732	2020.07.23	14	616.2	2020.08.31	14	616.2
2020.06.15	15	732	2020.07.24	16	860.4	2020.09.01	15	732
2020.06.16	15	732	2020.07.25	16	860.4	2020.09.02	15	732
2020.06.17	15	732	2020.07.26	16	860.4	2020.09.03	15	732
2020.06.18	15	732	2020.07.27	17	1000.8	2020.09.04	15	732
2020.06.19	14	616.2	2020.07.28	19	1321.8	2020.09.05	14	616.2
2020.06.20	15	732	2020.07.29	20	1502.4	2020.09.06	14	616.2
2020.06.21	15	732	2020.07.30	18	1154.4	2020.09.07	14	616.2
2020.06.22	15	732	2020.07.31	20	1502.4	2020.09.08	14	616.2
2020.06.23	15	732	2020.08.01	16	860.4	2020.09.09	14	616.2
2020.06.24	15	732	2020.08.02	15	732	2020.09.10	14	616.2
2020.06.25	15	732	2020.08.03	14	616.2	2020.09.11	14	616.2
2020.06.26	15	732	2020.08.04	14	616.2	2020.09.12	14	616.2
2020.06.27	15	732	2020.08.05	13	511.8	2020.09.13	13	511.8
2020.06.28	15	732	2020.08.06	12	418.8	2020.09.14	13	511.8
2020.06.29	15	732	2020.08.07	12	418.8	2020.09.15	13	511.8
2020.06.30	15	732	2020.08.08	13	511.8	2020.09.16	13	511.8
2020.07.01	15	732	2020.08.09	14	616.2	2020.09.17	13	511.8
2020.07.02	15	732	2020.08.10	14	616.2	2020.09.18	14	616.2
2020.07.03	16	860.4	2020.08.11	16	860.4	2020.09.19	13	511.8
2020.07.04	16	860.4	2020.08.12	16	860.4	2020.09.20	13	511.8
2020.07.05	16	860.4	2020.08.13	14	616.2	2020.09.21	13	511.8
2020.07.06	17	1000.8	2020.08.14	14	616.2	2020.09.22	13	511.8
2020.07.07	13	511.8	2020.08.15	14	616.2	2020.09.23	13	511.8
2020.07.08	15	732	2020.08.16	14	616.2	2020.09.24	13	511.8
2020.07.09	15	732	2020.08.17	14	616.2	2020.09.25	13	511.8
2020.07.10	16	860.4	2020.08.18	14	616.2	2020.09.26	13	511.8
2020.07.11	16	860.4	2020.08.19	18	1154.4	2020.09.27	14	616.2
2020.07.12	16	860.4	2020.08.20	11	337.2	2020.09.28	14	616.2
2020.07.13	16	860.4	2020.08.21	12	418.8	2020.09.29	14	616.2
2020.07.14	16	860.4	2020.08.22	13	511.8	2020.09.30	14	616.2
2020.07.15	16	860.4	2020.08.23	14	616.2	2020.10.05	14	616.2
2020.07.16	14	616.2	2020.08.24	14	616.2			
2020.07.17	16	860.4	2020.08.25	14	616.2			
2020.07.18	16	860.4	2020.08.26	14	616.2			
2020.07.19	12	418.8	2020.08.27	14	616.2			
2020.07.20	14	616.2	2020.08.28	14	616.2			
2020.07.21	10	265.8	2020.08.29	14	616.2			



49. ábra: A Nagy-forrás forráshozam-mérő állomásán naponta leolvasott vízállás adatok alapján becsült napi vízhozam a napi beszivárgás mennyiségével

4.6 Vízmérleg a mérési időszakra vonatkoztatva

Az egyes forráshozamok alapján becsült, egy év alatt elfolyt vízmennyiségeket és az abból számolt átlaghozamokat a ***11. táblázat*** tartalmazza. A terület nagyjából egy hidrológiai évet felölelő mérési időszakára becsült vízháztartását a 12. táblázat mutatja be. A területről elfolyt éves vízmennyiség magába foglalja a forrásokból távozó vízmennyiség mellett az adott időszak alatt Bakonykarszt Zrt. által biztosított, Zádor-kútra vonatkozó termelési adatokat is. A forrásokból egy hidrológiai év alatt távozó becsült vízmennyiséget a ***13. táblázat*** ismerteti.

12. táblázat: Források egyéves becsült vízmennyisége és átlaghozama

	Egyéves vízmennyiség (m^3)	Átlaghozam (l/perc)
Zádor-kút	86 926	165.38
Zádor-kút, termeléssel együtt	144 346	274.63
Vászoly, Nagy-forrás	506 949	964.51
Vászoly, Nagy-forrás (vízállás alapján)	17 054	32.45
Barnagi források	30 905	58.80
Mencshely, Ragonyás-forrás	86 926	165.38

13. táblázat: Egy hidrológiai évre vonatkozó vízmérleg

A mérési időszakban hullott csapadék vízmennyisége (m^3)	A mérési időszak alatt beszivárgott vízmennyiség (m^3)	A téli hidrológiai félévben beszivárgott vízmennyiség (m^3)	A nyári hidrológiai félévben beszivárgott vízmennyiség (m^3)	Források teljes hozama a mérési időszak alatt (m^3)	A beszivárgás és a csapadék aránya (%)	A teljes forráshozam és a beszivárgás aránya (%)
5 231 989	1 884 481	1 322 391	954 887	699 254	36.0	37.1

Egy hidrológiai év során a vízmennyiség 36%-a szivárgott be, a hozamok alapján a beszivárgott vízmennyiségnek mintegy 37%-a távozott a rendszerből. Az archív adatokkal összehasonlítva ez átlagos évnek tekinthető. Az 1953-2018 átlagához képest több csapadék szivárgott be, de a forrásokból távozó vízmennyiség arányaiban kevesebb. Az arányokat és a vízmennyiségeket tekintve a 2013-as évhez hasonlítható (37,6 % beszivárgás, a távozó vízmennyiség a beszivárgás 35,9%-a).

14. táblázat: A mintaterület forrásaiból egy hidrológiai év alatt elfolyt vízmennyiség

Források	Egy hidrológiai év hozama (m^3)
Zádor-kút	86 926
Vászoly, Nagy-forrás	506 949
Barnagi források	17 054
Mencshely, Ragonyás forrás	30 905

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A mintaterület vizsgálatának keretében elemeztük a rendelkezésünkre bocsátott archív hozam és vízszint idősorokat, összehasonlítottuk havi és éves csapadék és beszivárgási adatokkal. Megbecsültük a terület éves átlagos vízmérlegét 1953-2018 közötti éves vízmérlegek alapján.

A 2019 őszétől 2020 őszéig tartó vízhozam-monitoring céljából mérőhálózatot hoztunk létre a területen. Rendszeres időközönként havi méréseket végeztünk a mérőhálózaton, emellett a Nagy-forrás forráshozam-mérő állomásán a vízállást naponta regisztráltuk. Az időjárási adatok gyűjtésére meteorológiai mérőállomást telepítettünk Barnagon. Az időjárási adatok segítségével napi beszivárgást számítottunk a mintaterületre. A beszivárgást összevetettük a mérőhálózaton mért hozamokkal és a Nagy-forrás vízállások alapján becsült napi hozamával.

Mind az archív hozamadatok és a havi beszivárgás, mind a mérőhálózaton történt, általunk mért hozam és a napi beszivárgások összehasonlítása hasonló eredményt mutatott: a csapadék és a beszivárgás éves eloszlása alapján főleg az őszi és a téli időszakban hullott nagyobb csapadékmennyiség esetén jelentkezik jelentősebb beszivárgás, melyet a hozamok növekedése követ a beszivárgás kezdete után 1-2, az utóbbi években inkább 3-4 hónapos késéssel. Rendkívül nagy mennyiségű nyári csapadék esetén azonban jelentősebb nyári beszivárgás is előfordulhat.

Az egy hidrológiai évet felölelő időszak napi beszivárgás értékei azt mutatták, hogy a karszton előforduló rendzina talajszelvényen minden csapadékesemény esetén nagy beszivárgás történik, míg a többi talajszelvény kategóriánál a nyári beszivárgás elenyésző, főleg az őszi-téli időszak beszivárgásai jelentősek. Mivel a rendzina talajszelvény kategóriák csak a terület 43,2% vannak jelen, a mintaterületen a többi talajszelvény kategória (vályogtalajok, kvarter üledéken keletkezett durva vázrészes talajok) beszivárgás viszonyai lesznek dominánsak.

Mindez egybevág az archív hozamadatok és az egy hidrológiai évet felölelő mérés időszak eredményeinek vizsgálatával. Ez alapján kijelenthető, hogy a HELP szoftver segítségével számolt beszivárgás arányaiban jól közelíti a valós beszivárgást.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Alföldi L., Kapolyi L. 2007: Bányászati karsztvízszint-süllyesztés a Dunántúli-középhegységben. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.

[2] Budai T., Csillag G., Dudko A., Koloszár L. 1999a: A Balaton-felvidék földtani térképe (1:50 000). Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.

[3] Gondár K., Gondárné Sőregi K. 1999: Hidrogeológia – A Balaton-felvidék. – In: Budai T. (szerk.): A Balaton-felvidék földtana. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.

[4] Gyalog L. 2005: Magyarázó Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységes rövid leírása), 1:100 000. Magyar Állami Földtani Intézet.

[5] Mádlné Szőnyi J., 1994: Hosszúperiódusú vízszintváltozás a Dunántúli Középhegység főkarsztvíztárolójában. – Hidrológiai Közlöny 74/3., pp. 150-162.

[6] Mádlné Szőnyi J., 1996: Víztartó rendszerek sérülékenységi vizsgálata. Elméleti háttér és gyakorlat. Ph.D. disszertáció, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

[7] Marosi S., Somogyi S., 1990: Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest.

[8] Sőregi K. 1986.: A Balaton-felvidék nyugati részének karsztvíz-földtani vizsgálata. Szakdolgozat (kézirat). ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest

[9] Sőregi K., Gondár K. 1988: A Balaton-felvidék karsztvíz-földtani vizsgálata. – Hidrogeológiai Közlöny. 68. 6. pp. 348-355.

[10] Tóth Á. 2018: A Balaton-felvidék felszínalatti vizeinek hidraulikai kapcsolata a Bakonnyal és a Balatonnal. Ph.D. disszertáció, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.

Felhasznált térképek

[11] Budai T., Chikán G., Ivancsics J., Kaiser M., Koroknai B., Kovács S., Maigut V., Pelikán P., Síkhegyi F., Turczi G. 2005: Magyarország fedett földtani térképe 1:100 000 Magyar Állami Földtani Intézet 2005.