

A DUNÁNTÚLI-KÖZÉPHEGYSÉG VÍZGAZDÁLKODÁSI KÉRDÉSEI

Gondárné Sőregi Katalin – Molnár Mária – Balogh Viktor – Modrovits Kamilla –
Gondár Károly –Könczöl Nándorné – Vatai József

Smaragd GSH Kft.

KIVONAT

A Dunántúli-középhegységi főkarsztvíztároló a bányászati célú karsztvízszint süllyesztés időszaka után (1960-1989) az 1990-es évek eleje óta regenerálódott, a karsztvízszint és a forráshozamok folyamatosan emelkedtek. A főkarsztvíztároló regenerációja a túlzott kitermelés időszaka után önmagában tekintve kívánatos jelenség volt, ugyanakkor az emelkedési folyamat problémákat is okozott. A negatív folyamatok vizsgálatára és előrejelzésére az Országos Vízügyi Főigazgatóság 2017-ben projektet indított (KEHOP-1.1.0-15-2017-00010). A projekt célja a karsztvízszint emelkedése miatt jelentkező problémák ismeretében, a Dunántúli-középhegység karsztvíz-készlet-gazdálkodási állapotértékelésén, annak modellezésén keresztül az emelkedő karsztvízszint okozta jelenségek felmérése, környezetvédelmi, természetvédelmi, földtani értékelő feladatok ellátása, vízkészlet-gazdálkodási célkitűzések és feladatok megfogalmazása.

A projekt egyik legfontosabb feladata a Dunántúli-középhegység karsztvízháztartását leíró, nem permanens, 3 dimenziós, regionális numerikus modell elkészítése, amellyel a bányászati vízkivétel hatásait a túlzott kitermelés időszakában (1950-1989) az 1990-es évek eleje óta tartó regenerálódási időszakban (1990-2018), és a közeljövőben (2019-2030) időszakban is lehet vizsgálni.

KULCSSZAVAK: bányászati vízkivétel, főkarsztvíztároló, karsztvízszint, karsztforrás, numerikus modellezés, veszélyeztetett területek, visszatöltődés, vízháztartás

1. A DUNÁNTÚLI-KÖZÉPHEGYSÉGI FŐKARSZTVÍZTÁROLÓ

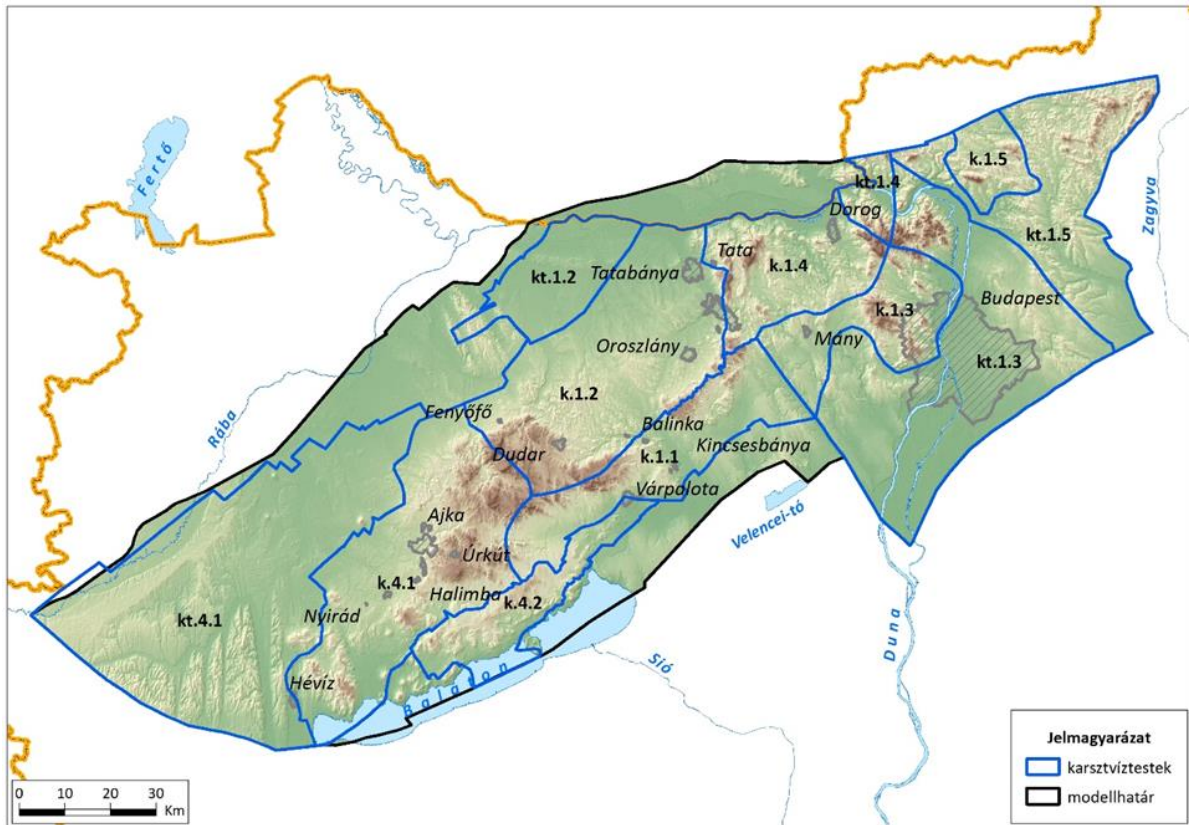
A Dunántúli-középhegységi főkarsztvíztároló nem csak a földrajzi értelemben vett Dunántúli-középhegység területét jelenti. A főkarsztvíztároló mélyen a felszín alatt, porózus üledékekkel fedett helyzetben a Dunántúl nagy részén és a Pesti-síkság, valamint az Alföld ÉNy-részén is megtalálható (1. ábra). A Vízyűjtő-gazdálkodási terv a karsztvíztárolóban 6 db hideg karsztvíztestet (jele: k) és 4 db meleg karsztvíztestet (jele: kt) különböztet meg.

A Dunántúli-középhegység 2500-3000 méter vastagságúra becsülhető főkarsztvíztároló összelete uralkodóan triász, elsősorban felső-triász karbonátos kőzetekből áll. A főkarsztvíztároló fedőjében részben még jelentős vastagságú mészkőrétegeket (fedőkarszt) tartalmazó kréta és eocén márga, agyagmárga rétegek települnek, de az oligocénnál fiatalabb képződmények zömében agyagot, homokot márgát tartalmazó porózus képződmények.

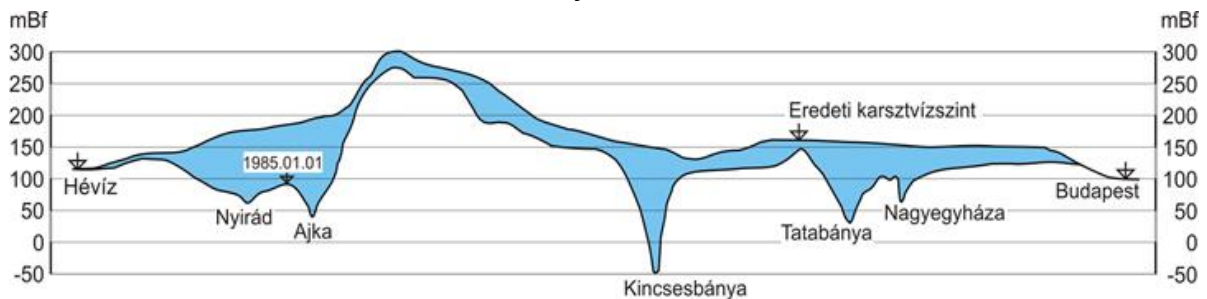
A főkarsztvíztároló hidrodinamikailag folytonos gravitációs-geotermális karsztrendszernek tekinthető, amely lokális kisebb áramlási rendszerekből, egységekből áll össze. A lokális áramlási egységeket nagyszerkezeti elemek és/vagy a felszín alatti vízvásztók választják el egymástól. Az áramlási egységek hidrodinamikailag kapcsolatban állnak egymással, részben a regionális méretű horizontális szerkezeti elemeken keresztül, részben a közös felszín alatti vízvásztó vonalon, ahol a potenciálértékek azonosak, vagyis az egyik tárolórészben bekövetkező nyomás állapot változás maga után vonja a másik tárolórész változását is.

A hidrogeológia felépítéssel magyarázható, hogy az 1950-es években kezdődő bányászati célú aktív és passzív víztelenítés következtében regionális karsztvízszint süllyedés jött létre. A legnagyobb depresszió a bányászati centrumokban (Nyirád, Ajka, Kincsesbánya, Tatabánya, Nagyegyháza és Dorog) alakult ki (2. ábra). A regionális karsztvízszint süllyedés súlyos környezetvédelmi problémákat okozott. A források hozama jelentősen lecsökkent, sőt számtalan forrás, forráscsoport elapadt, vízfolyások száradtak ki teljesen, vagy részlegesen. A vízszintcsökkenés, illetve hozamcsökkenés jelentős mértékben érintette a vízellátást, mivel sok

nagyhozamú forrásra, forráscsoportra kiépített vízmű vízhozama lecsökkent, ezzel elleheted-
lenedett a forrásokból történő vízfelhasználás.



1. ábra. A Dunántúli-középhegységi főkarsztvíztároló a hideg és meleg karsztvíztestek határainak feltüntetésével.



2. ábra. A karsztvízszint süllyedés mértéke (Schmieder A. et al 1988 alapján)

A bányászati vízkivétel leállítása után, az 1990-es évek eleje óta a karsztvíztároló folyamatosan regenerálódott, a karsztvízszint és a forráshozamok folyamatosan emelkedtek.

A főkarsztvíztároló regenerálódása a túlzott kitermelés időszaka után önmagában tekintve kívánatos jelenség volt. A források hozamának emelkedése a vízfolyások, ökoszisztémák állapotát helyreállította, új természeti értékek keletkeztek. Ugyanakkor az emelkedési folyamat problémákat is okozott. A hegységperemi helyzetben lévő nagyhozamú karsztforrások, forráscsoportok vízvezetése nem mindenhol megoldott, belterületen a források térségében talajmechanikai problémák, vizesedés jelentkezett, a visszatöltődő karsztvíz felszíni és felszín alatti bányatérsegeket öntött el.

2. A PROJEKT BEMUTATÁSA

A negatív folyamatok vizsgálatára és előrejelzésére az Országos Vízügyi Főigazgatóság 2017-ben projektet indított. A projekt célkitűzéseit a Kvassay Jenő Terv (Nemzeti Vízföldrajz) külön is nevesítette. A projekt megvalósítója a Smaragd GSH Környezetvédelmi és Szolgáltató Kft.. A területileg érintett vízügyi igazgatóságok (Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság, a Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság, az Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság, és a Nyugat-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság) szakmai hozzáértésükkel és adatokkal járultak hozzá a projekthez. A projekt megvalósításának időszaka 2019 januárjától 2022 szeptemberéig tartott.

Első lépcsőben a karszt források felmérését kellett elvégezni a Dunántúli-középhegység területén. A forrásfelmérés során 1283 db észlelési pont került felvételre. Az észlelési pontok között nem csak források voltak, hanem kisvízfolyások, vizenyős területek, vagy olyan állóvizek, amelyek karsztvíz utánpótlásúak. A helyszínen mért adatokból forráskataszter készült.

A forrásfelméréssel egyidőben zajlott a geoadatbázis összeállítása, amely az 1951-2019 közötti időszakra, a vizsgált területen (17ezer km²) található termelőkutak termelési adatát, meteorológiai állomások csapadék adatát, monitoring kutak vízszint idősorát, források és vízfolyások hozam idősorát tartalmazza.

A beszivárgási viszonyok vizsgálata a vízháztartási modellezés egyik leglényegesebb feladata. A beszivárgás mennyisége a HELP (Hydraulic evaluation of landfill performance) szoftverrel került számításra. A beszivárgás számításához részletes elemzés készült a domborzatról, a területhasználatokról, a talajtani és földtani viszonyokról, valamint részletes éghajlati elemzés készült az 1950-2018 közötti időszakra. A HELP szoftver használata lehetővé tette, hogy a beszivárgás számítás a napi csapadék-hőmérséklet eloszlás alapján történjen. A karsztos beszivárgás számítás validálásának egyik legbiztosabb módja mintaterület kialakítása. Ennek érdekében két mintaterületen (Pécsely és Bakonyháza) monitoring rendszer került kialakításra, amelyen folyamatos mérés történt egy éven keresztül.

A projekt fő terméke a karsztvízszint időbeli változásának vizsgálatát célzó nem permanens, 3 dimenziós regionális léptékű numerikus modell. A regionális vízháztartási modell területe 17 000 km². A regionális vízháztartási modellezésnél alkalmazott szoftver a DHI-Wasy GmbH által fejlesztett FEFLOW 7.2 (Finite Element subsurface FLOW system). A regionális modell rácsfelbontása 1 x 1 km-es, így alkalmas a pontszerű elemek (kutak vízaknák, források) a vonalszerű elemek (patakok, törésvonalak) és a beszivárgási területek, a hidraulikailag eltérő tulajdonságú kőzetek elterjedésének leképezésére. A modell 8 modell réteget, 241 929 csomópontot és 423 112 elemet tartalmaz. A tranziens modell időlépcsője 1 hónap. A háromdimenziós áramlási modell kalibrációja a karsztvízszint változások, mért forráshozamok, a hőtranszport folyamatok és a trícium transzport szimulációja alapján történt.

A tranziens modell a monitoring adatoknak megfelelően adja vissza az 1951-2019 időszakra a karsztvízszint és forráshozam változását, ezáltal képes megfelelően prognosztizálni 2030-ig a karsztvízszint változását. A projekt célkitűzéseinek megfelelően a modellekkel a későbbiekben vízkészlet-gazdálkodási feladatok határozhatók meg, illetve a VIZIG szakembereinek segíthet a vízkészlet-gazdálkodási döntések meghozatalában.

Lokális modellek is készültek a regionális modell eredményeit és tapasztalatait figyelembe véve. A lokális modellek a problémákkal fokozottan érintett területeken (Bodajk, Tata, Csór, Fehérvárcsurgó és a Hévízi-tó – Keszthelyi hegység) kerültek elkészítésre, az adott terület adottságainak és a vizsgált problémának megfelelő léptékben.

A modellek alapján elkészült a Dunántúli-középhegység karsztvíztárolójának állapotértékelése, karsztos víztestenként a főbb vízmérleg elemek (beszivárgás, víztermelés, forráshoza-

mok, átadódás) bemutatásával. A modellezéssel meghatározott vízmérleg felhasználásra került Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervének 2. felülvizsgálata elkészítése során. Elemzésre kerültek a törzshálózati észlelő kutakban mért karsztvízszint adatok, azok időbeli trendjellegű változásai. Összevetésre került az 1950-es évekre jellemző, úgymond természetes állapotot a jelenlegivel. Továbbá a numerikus modell alapján prognosztizáció készült a karsztvízszint 2030-ig várható változásáról.

A veszélyeztetett területek a projekt során kétféle módszerrel is meghatározásra kerültek. Egyrészt a tényleges állapot alapján, másrészt hidraulikai számításokkal. A veszélyeztetett területekre szabályozási javaslat készült, amelyek az Önkormányzatok építési szabályozásába bevezethetők.

3. A VÍZHÁZTARTÁSI MODELLEZÉS EREDMÉNYEI

A regionális léptékű tranziens (nem permanens) modellezés célja az volt, hogy szimulálja az 1951-től 2019-ig tartó időszakot és megfelelő mértékben visszaadja a bányászati vízkivételek által okozott vízszintcsökkenést és a visszatöltődés folyamatát.

1951-2019 időszak modellezése és kalibrálása a tényadatok alapján történt. A kalibrált tranziens modellből készült a 2030-ig meghosszabbított időintervallumú tranziens modell, melynek célja a karsztvízszint és forráshozam változás előrejelzése volt. Arra a kérdésre kellett válaszolni, hogy várható-e a karsztvíztároló további feltöltődése, a karsztvízszint és a forráshozamok további emelkedése. Az előrejelzés három modellváltozatra készült, az egyes scenáriók a klímaváltozás hatásait vették figyelembe. A 2019-2030 közötti klímaváltozás szimulálása már megtörtént éghajlati események megismétlésével történt. Fontos megemlíteni, hogy a scenárió megnevezése nem a vízkészlet állapota, hanem a veszélyeztetett területek szempontjából történt, mivel a projekt végső célja a veszélyeztetett területek meghatározása volt. Az egyes scenáriók esetén a beszivárgás és a termelés a következőképpen lett figyelembe véve:

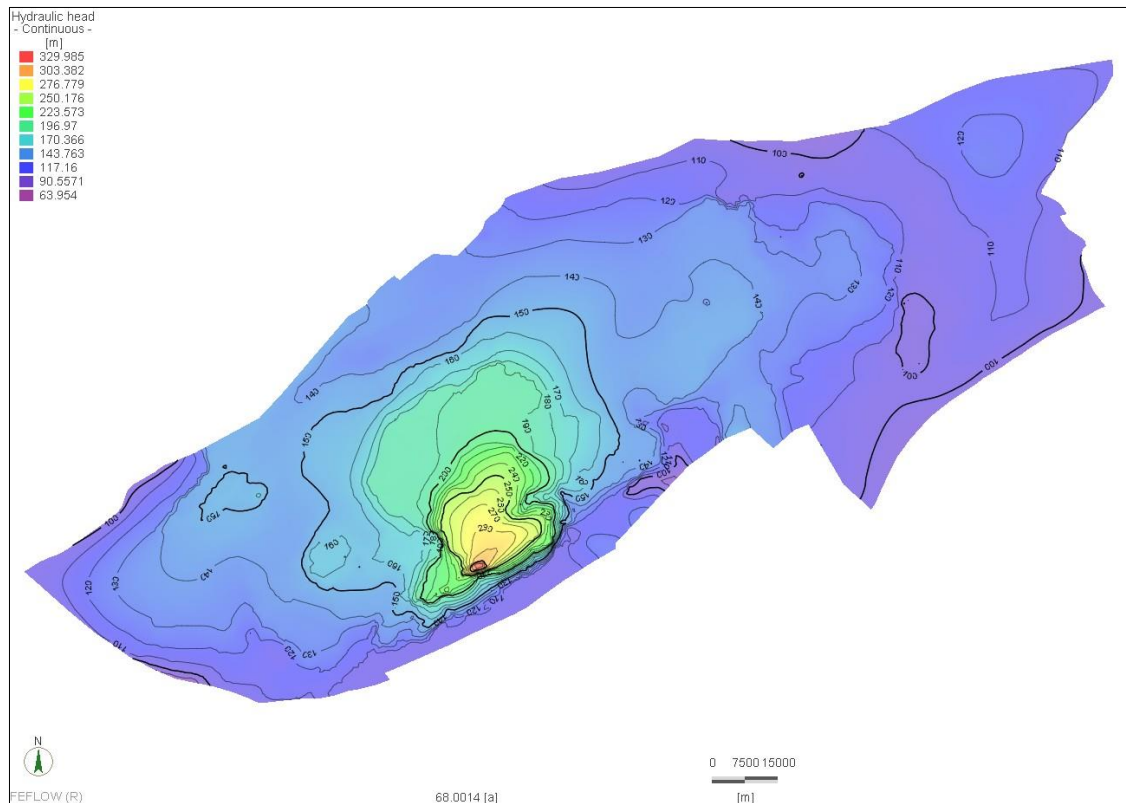
- pesszimista változat: a 10 éves legnagyobb beszivárgású időszak (2009-2018), 2018-as év tényleges vízkivételei
- átlagos változat: az 1980-2010 évi átlag beszivárgás, a 2018-as év tényleges vízkivételei
- optimista változat: a 10 éves legkisebb beszivárgású időszak (1984-1993), a 2020-as év engedélyezett vízkivételei

A numerikus modellezés eredményeképpen az egyes időlépcsőkre kirajzoltatható a karsztvízszint (3. ábra), a monitoring pontokban a hosszútávú, a leszívás és a visszatöltődés időszakára jellemző számított vízszint és a nagyobb források esetében a források számított vízhozama. Példaképpen a 4. ábrán egy a Nyirád közelében található monitoring kút mért és a regionális modellel számított, valamint a 2030-ig prognosztizált karsztvízszint idősorát mutatjuk be.

A regionális léptékű modellen túl szükség volt a kritikus helyeken – ahol a legnagyobb vízkárok jelentkeztek – nagyobb felbontású lokális modellek kialakítására, amik segítik a döntéshozatalt és előrejelzést. A lokális modellezés a 2003-2030 időszakra készült. A Bodajk, Fehérvárcsurgó, Csór, és Tata területeken elsősorban a veszélyeztetett területek pontosítása volt a cél, így a modellek futtatása a pesszimista változat szerint történt. A Hévíz-Keszthelyi-hegység lokális modell esetében, mind a három (pesszimista, optimista, átlagos) változat elkészült annak érdekében, hogy a lokális modell vízkészlet-vízgazdálkodási kérdések megválaszolására is alkalmas legyen. A Hévíz-Keszthelyi-hegység lokális modell elsődleges célja volt a Hévízi-tó-forrás

hozam idősorának minél pontosabb szimulációja. Az 5. ábra mutatja a vízgazdálkodási szempontból egyik legproblémásabb Hévízi-tó-forrás mért és a lokális modellel számított, valamint prognosztizált vízhozamát.

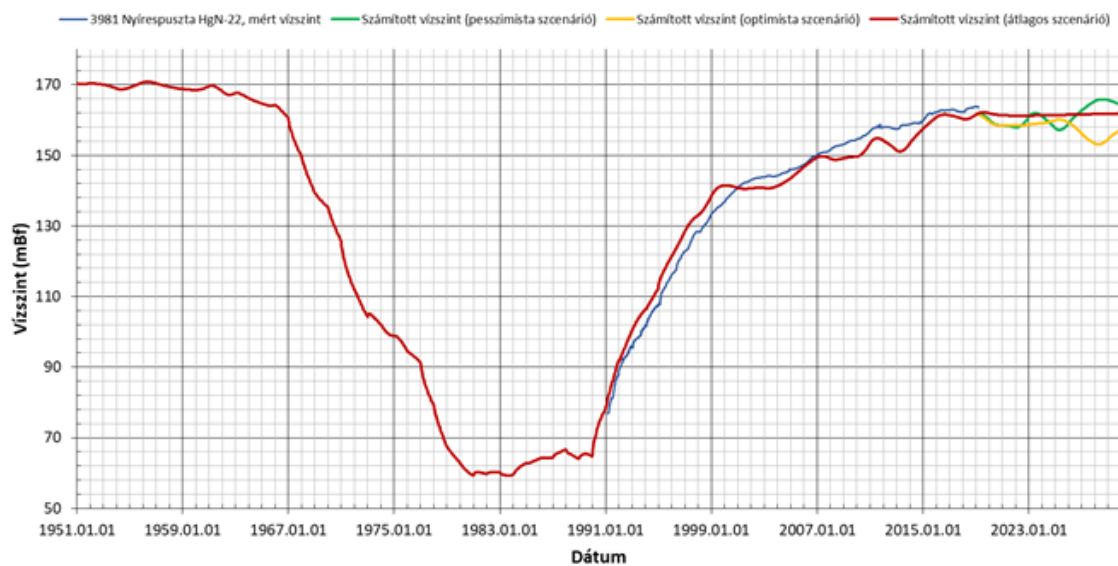
A Dunántúli-középhegységben egy 1950-60-as évekbeli, a bányászati vízkivétel előtti állapotot vélünk jónak, ezt tekintjük „természetesnek”. Ez az állapot azonban csak irodalomban került rögzítésre, a terület nagyságához képest csak nagyon kevés mért karsztvízszint adat áll rendelkezésre. A természetes állapotra jellemző forrás vízhozam adatokból még kevesebb áll rendelkezésre, mint vízszint adatból. Ezek zöme is becslt, más módszerrel mérték, ráadásul más hidrometeorológia időszakban történtek a mérések, gyakorlatilag összehasonlíthatatlanok a jelenlegi mért adatokkal.



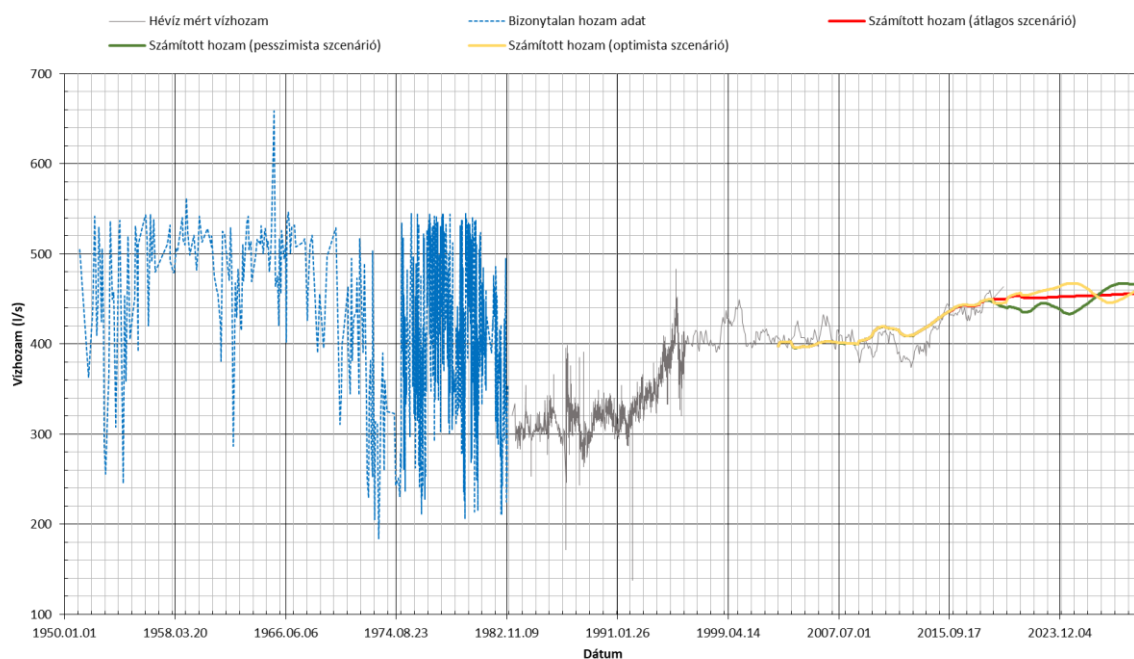
3. ábra. 2019 évi modellezett karsztvízszint

Ráadásul az 1960-70-es években a csapadék mennyisége és eloszlása is más volt, az éghajlatváltozás következtében a nyári hidrológia félévek csapadék mennyisége nőtt, a téli félévéké csökkent és a területi eloszlás is változott (6. ábra). A nyári hidrológia félévek csapadék mennyiségének a növekedése a nagyintenzitású csapadékeseményekkel van kapcsolatban. 1996-tól a nyári félévi csapadékösszeg alakulása válik döntő tényezővé az éves csapadék-mennyiség alakulásában, különösen a kiugróan csapadékos években. Összességében ez a folyamat a beszivárgás csökkenéséhez vezetett, ami vízgazdálkodás szempontjából kedvezőtlen. Változott a termelés eloszlása is, igaz a termelés mennyisége jelentősen csökkent, de a termelőkutak száma nőtt. Míg a termelés mennyiségéről viszonylag pontos adataink vannak, főképpen 2003-tól, addig a termelőkutakban mért üzemi és nyugalmi vízszintről szolgáltatott adatok megbízhatatlanok. 2018-ban 1243 db karsztvíz termelő létesítmény (fúrt kút, forrás-vízmű, vízakna) rendelkezett üzemelési engedéllyel. 2009-2018 közötti időszakban a karsztvíztárolóból az éves átlagos vízfelhasználás 78 millió m³ körül volt. A vízellátás jelentős részét

(≈53%) napjainkban is a nagykapacitású vízknák (Nyírad, Rákhegy II., Tatabányai karsztknák) adják regionális vízellátó rendszereken keresztül.

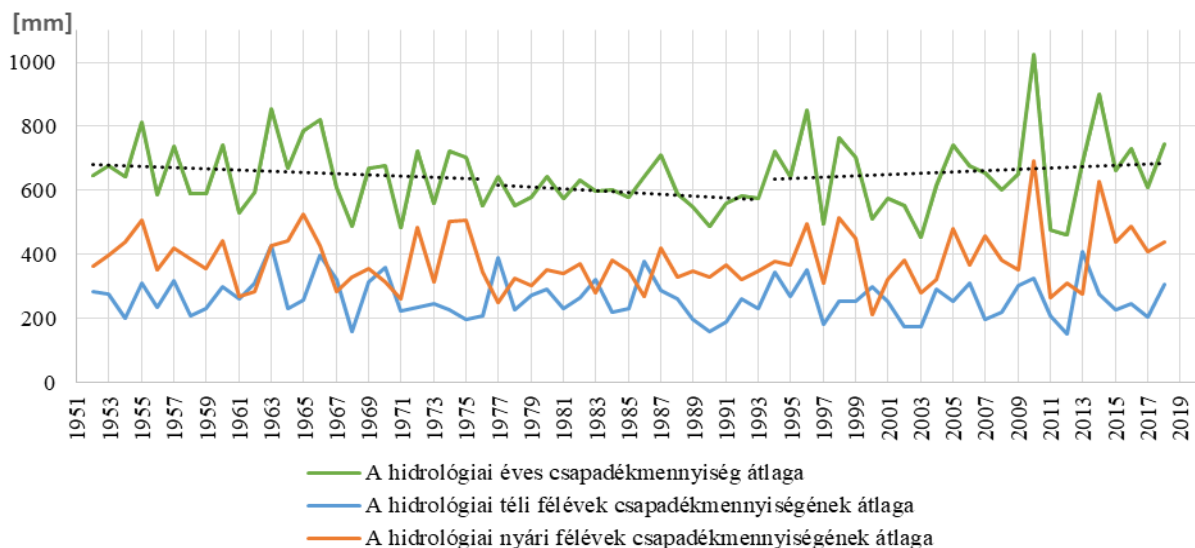


4. ábra. Mért és modellezett karsztvízszint a Nyírespuszta HgN-22 monitoring kútban

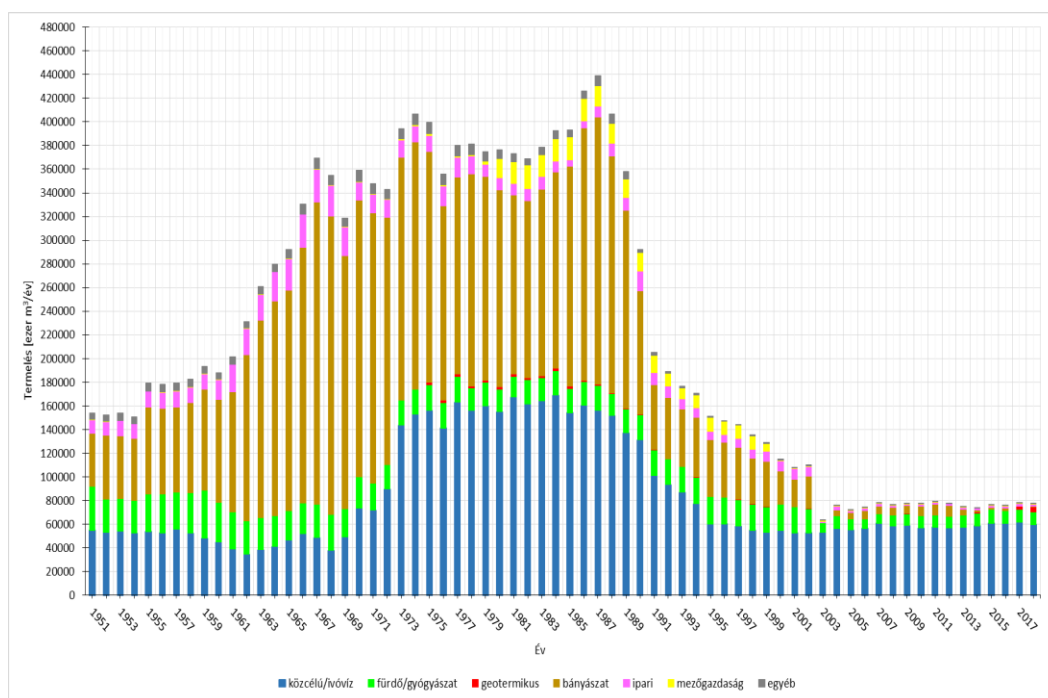


5. ábra. A Hévízi-tó-forrás mért és számított hozam időszora, illetve a prognosztizált hozam változás 2030-ig

Ha a karsztvízszintet nézzük, akkor a modellezés eredményeképpen és a monitoringkutak időszorának trendelemzése alapján megállapítható, hogy a 2010-es rendkívül magas csapadékú évvel befejeződött a karsztvíztároló feltöltődési folyamata. A mért és modellezett karsztvízszint elérte az 1950-es években mért szintet. 2011-2019 között még egyes régiókban volt kismértékű karsztvízszint emelkedés, de inkább a stagnálás volt jellemző. A feltöltődés helyett már az éghajlati hatás dominált. 2019-től egyértelműen az éghajlati hatás látható mindegyik scenárió esetén.



6. ábra. A hidrológiai téli és nyári félévek csapadékmennyiségek átlaga



7. ábra: A kitermelt karszvíz mennyisége

Ez azt jelenti, hogy a források hozamában már nem várható további lényeges emelkedés, csak olyan mértékben, ahogyan azt a beszivárgás mennyisége a jövőben befolyásolni fogja. Egyes területeken (pl. Tata) igen nagy az eltérés az archív, a különböző szerzők által publikált „természetes” hozamok és a 2019 évi felmérés során mért hozamok között. A források archív és jelenlegi hozamainak összehasonlítása azonban nem alkalmas arra, hogy ez alapján további hozamnövekedés prognosztizálható lenne. Az 1950-es, vagy azt megelőző évek állapotára jellemző forrás vízhozamokat nem tudni milyen módszerrel mérték, ráadásul más hidrometeorológia időszakban történtek a mérések. A Hévízi-tó-forrás esetében pl. kiderült, hogy az 1983 előtti adatok megbízhatatlanok, tehát nem tudjuk pontosan mennyi volt a természetes vízhozam (5. ábra). A Budai-hegységben számos kisebb hideg forrás a beépítettség következtében tűnt el, a budai melegvízű források hozamának rendszeres mérése pedig mind a mai napig nem megoldott, összes mennyiségüket csak becsülni tudjuk ma is.

A bizonytalanságok ellenére azonban azt mondhatjuk, hogy mára a Dunántúli-középhegységi főkarsztvíztárolóban új egyensúly alakult ki, amelyre a természetes áramlási és mennyiségi viszonyok jellemzőek: a hideg karsztvíztároló működését a földtani folyamatok során kialakult dinamikus egyensúly jellemzi. Csapadékszegény időszakban a beszivárgásból eredő hiány miatt a karsztvízszint és a források hozamcsökkenése várható, csapadékosabb időszakban a karsztvízszint ismét megemelkedik, és a két szélső helyzet között ingadozva a főkarsztvíztároló vízforgalma, víz- és hőkészlete, nyomás- és áramlási viszonyai hosszú idő átlagában egyensúlyban marad.

Meg kell jegyezni, hogy a projekt időütemezése miatt a modellezés és állapotértékelés 2020. októberében fejeződött be. A modellépítés munkaigénye miatt a legkésőbbi felhasznált tényadat 2019. január 1.-i volt. Az azóta eltelt időszak igazolta a modellezés eredményeit, hogy az éghajlati hatás dominál, és valószínűleg az „optimista” scenárió lesz jellemző a 2020-as évekre. A források hozamában már a 2019-es mért hozamokhoz képest is csökkenés tapasztalható napjainkban.

4. VESZÉLYEZTETETT TERÜLETEK

A projekt egyik legfontosabb feladata volt a veszélyeztetett területek meghatározása. Az emelkedő karsztvízszint okozta problémák mennyisége a 2000-es évek közepétől kezdve egyre szaporodott és a problémák súlyossága is nőtt. A problémaköröket az alábbiakban foglaljuk össze: Források újra működése és vízhozamának emelkedése: Általában a nagyobb hozamú forráscsoportok környezetében vagy ott jelentkezett a probléma, ahol elapadt források helyén építkeztek. Az épített környezetben a források megjelenése és a megnövekedett vízhozam a kilépések környékén pincék, felületek vizesedését, úttestek besüllyedését okozta, mindemellett további jelentős problémát jelentett és jelent napjainkban is a vizek megfelelő elvezetése.

A lecsökkent karsztvízszint mellett létesített kutak és a régebbi kutak közül is több a karsztvíz nyomásszintjének megemelkedése következtében pozitívvá vált és éveken keresztül szabadon folyt el a víz a kútfejen keresztül, vagy a kútfej környékén felszínre emelkedett a karsztvíz. Ezek közül még mindig vannak olyanok, amelyek nem kerültek lezárásra. A használaton kívüli kutak gyakran elhanyagolt állapotúak.

A jelentős vízszintsüllyesztések idején nagyon sok kisvízfolyás, vízvezetés kiszáradt. Ez az állapot sok évig tartott, aminek következtében ezek a vízfolyások teljesen elhanyagolt állapotba kerültek, a medret benőtte a növényzet, gyakran előfordult, hogy betemették (sokszor építési-bontási illetve különböző típusú hulladékokkal). Azokban a vízfolyásokban, ahol a bányászattal emelt vizet elvezették, a bányászati vízemelések beszüntetésével drasztikusan lecsökkent a vízhozam (sőt gyakran ezek teljesen szárazra is kerültek). Az újra fakadó források egyre növekvő mennyiségű vizét a benövényesedett, csökkent vízszállító képességű, vagy hiányzó vízvezetések nem voltak képesek megfelelő mértékben elvezetni. Ebből adódóan számos helyen a megnövekedett vízhozam infrastrukturális létesítményeket, lakóházakat is veszélyeztetett.

A felszíni, külfejtéses bányáknál a problémát leginkább az okozza, hogy a leművelésből adódóan ezek jelentős része felszíni szennyezésekkel szemben védtelen. Korábban több kisebb-nagyobb ilyen bányaüregt hulladékkal töltöttek fel, jellemzően fenékszigetelés nélkül. Abban az esetben, ha a karsztvíz nyomásszintje olyan mértékben megemelkedik, hogy ezeknek a hulladékkal feltöltött valamikori bányagödöröknek a fenékszintje fölé emelkedik a karsztvíz, akkor a lerakott hulladékból szennyezőanyagok oldódhatnak a felszín alatti vízbe. Van olyan felhagyott kőbánya (pl. Balatongyörök), ahol olyan szintig folyt a bányászat, hogy mára, a megemel-

kedett karsztvíz gyakorlatilag a felhagyott bánya teljes területén annak fenékszintje fölé emelkedett, aminek következtében szinte a teljes bányaudvar egy nagy forrásnak tekinthető, a bányaudvarban korábban kinőtt fák nagy része az állandó vízborítást nem is viselte el, kiszáradt. Az egykori bányavágatokat feltöltő vizet nevezzük öregségi víznek. A bányavágatokat a bezárások előtt mindenkor mentesítették, a berendezéseket a felszínre hozták, tehát elméletileg szennyezőforrás (pl. ásványolaj) a vágat térségekben nem maradt. A kőzetanyagból beoldódó anyagok, valamint a fiziko-kémiai reakciók következtében az öregségi víz azonban az ivóvíz határértékeket meghaladó mértékű vas, mangán, nitrát, ammónium és szulfát koncentrációval rendelkezhet. Az öregségi vizek a szén, és bauxit bányászattal érintett területeken okozhatnak vízminőségi problémát, ha a vízkivétel jelentős mértékben növekedik.

A felszín alatti bányászkozás után visszamaradt üregrendszerek több helyen felszínmozgásokat, süllyedéseket eredményeznek.

A Dunántúli középhegységben zajló vízszintemelkedés nem csak magára a karsztrendszerre, de az azt fedő üledékekre is hatással voltak. Fedett karsztos környezetben, a karbonátot fedő porózus közegekben megemelkedő karsztvízszint hatására megnő a pórusnyomás, amely az effektív stressz lecsökkenéséhez vezet. Ez a szemcsék közötti összetartó erő lecsökkenését és az összlet állékonyságának csökkenését eredményezi, amely akár építésföldtani problémákhoz is vezethet. A pórusnyomás növekedéssel összefüggő jelenség leginkább kiáramlási területeken jelentős. A középhegységben jelentkező vízszint – és pórusnyomás – növekedés tehát nem csak vízszigetelési, de statikai problémákat is okozhat. Már meglévő épületek fenntartása és új létesítmények tervezése esetén e megváltozott körülményeket is figyelembe kell venni.

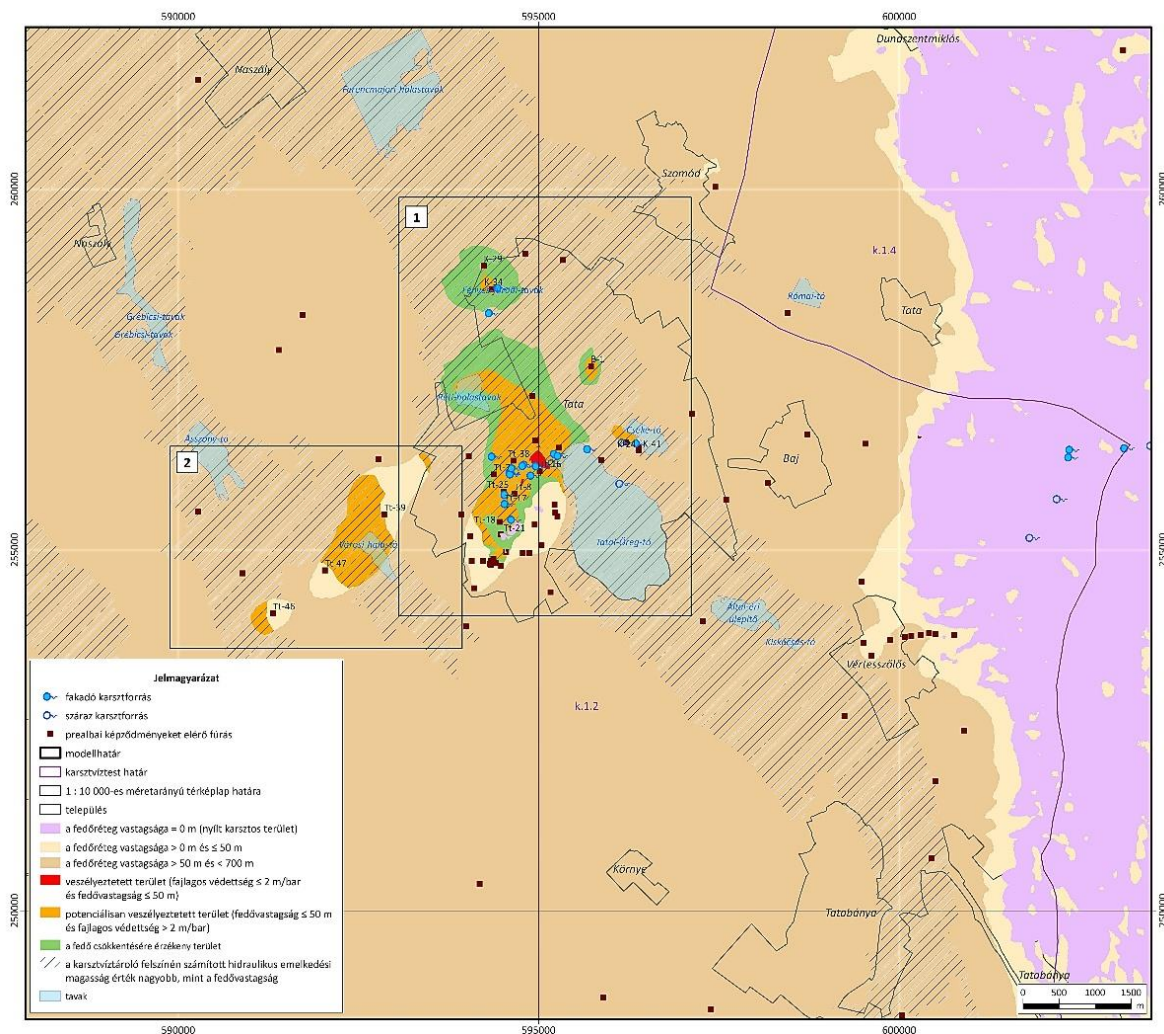
A karsztvízszint emelkedés okozta, láthatatlan problémát jelent az áramlási viszonyok megváltozása. A lecsökkent karsztvízszintű állapotban egyes sekély porózus vízadók felé a karsztvízből nem történt utánpótlódás, így egyes területeken ezek vízadóképessége jelentősen lecsökkent. Más területeken viszont a lecsökkent karsztvízszintnek köszönhetően a talaj és/vagy rétegvizekből történt vízátadás a karsztvíz felé, ami mindenképpen vízminőségi problémát okozott. Mára ezeken a területeken a folyamatok megfordultak, ahol eddig nem, vagy csak minimális volt a karsztvíz átadódás a porózus víztartók felé, ott ez a folyamat megindult (pl. Ajka vagy Kincsesbánya térsége). Azokon a jellemzően peremi területeken, ahol a karsztvíz a talajvízbe adódik át, több helyen lakóterületek pincéinek, egyéb aknáinak vizesedését okozta (pl. Csór, Bodajk, Fehérvárcsurgó településeken). Az áramlási viszonyok, utánpótlódási irányok megváltozása a vízbázisok védőterületi kijelölésének felülvizsgálatát is szükségessé teszi, mint ahogy azt a Dunántúli-középhegység területén gazdálkodó vízművek is jelezték.

Nem szabad megfeledkezni arról a problémáról sem, hogy a valamilyen mértékben fedett karsztos területek jelentős részén mezőgazdasági termelést folytatnak. A mai szántóföldi növénytermesztés során különféle műtrágyákat (nitrogén, foszfor tartalmúakat), növényvédő szereket (peszticideket) alkalmaznak, amelyek a lerövidült szállítási útvonal mellett könnyebben bejuthatnak a karsztvízbe.

A projekt keretében a Dunántúli-középhegység teljes területén feltérképezésre kerültek a fentiekben összefoglalt problémák. Fontos kérdés volt azonban, hogy várható-e még a visszatöltődés következtében további területek előntése 2030-ig. A veszélyeztetett területek meghatározása a numerikus modell pesszimista scenáriójának 2030-ra számított karsztvízszintjével történt, hiszen ez a modell változat számolt a legcsapadékosabb időjárási viszonyokkal.

A veszélyeztetett területeken a karsztvíz akkor lép a felszínre, ha a karsztvíz szintje vagy nyomása magasabb, mint a terepfelszín. Ha homokos porózus, vagy egyéb más jó vízvezető ké-

pességű kőzetek építik fel a fedőt, akkor a karsztvíz a felszínre tud lépni, akár nagyobb vastagságú fedőréteg esetén is. Ilyenkor általában a kilépés helye nem diszkrét ponthoz kötődik, hanem nagyobb, vizenyős, mocsaras területeket képez. Ezeken a területeken azonban nehéz elkülöníteni, hogy melyek a tényleges kiáramlási területek, és melyek azok a területek, amelyeket a domborzat miatt önt el a víz. Erre tipikusan jó példa a Sárrét területe, vagy a fehérvárcturgói homokbánya területe, ahol a karsztvíztárolóból a miocén homokos kőzetekbe átadódik a karsztvíz, majd a felszínre lép. Az utóbbi esetében a fedő vastagságát csökkentő emberi beavatkozás következtében. Ha a fedő agyagos, márgás vagy aleuritos kőzet, a rétegek képesek ellenállni a karsztvíz nyomásának, és a karsztvíz nem tud a felszínre lépni. A fedő réteg aljára viszont nyomást fejt ki. Előfordul az is, hogy a fedőréteg vastagsága és minősége megfelelő, de a fedőréteget vetők és törések gyengítik. A fedőréteg védő képességét az emberi beavatkozás is csökkenteni tudja.



8. ábra. Veszélyeztetettség térkép Tata környékén

Az 50 méternél nagyobb vastagságú fedő azonban már mindenképpen védelmet nyújthat. A regionális és lokális modellezés eredményei alapján kerültek lehatárolásra azok a térrészek, ahol a fedő vastagsága kisebb, vagy egyenlő 50 méter, és a karsztvíztároló felszínén jelentkező nyomás (méterben kifejezve) meghaladja a fedő vastagságát, ezzel megadva azokat a területeket, ahol a fedő minőségétől függetlenül egyáltalán a felszínre jöhet a karsztvíz. Az így lehatárolt területeken megadásra került a teljes fedőre számolt fajlagos védettség érték. A fedővastagság értéke [m] el lett osztva a fedő alján jelentkező, bar-ba átszámolt nyomással. Ezzel

tehát azt a kvázi ideális fajlagos védettség érték került megadásra, amit akkor kapnánk, ha a teljes fedő agyagos képződmény lenne. Ez alapján elkülönítésre kerültek azok a területek:

- Ahol az így kapott érték $\leq 2\text{m}/\text{bar}$, a fedő anyagi minőségétől függetlenül mindenképp veszélyeztetettnek tekinthető;
- Azokat a területeket, ahol a teljes fedőre számolt fajlagos védettség érték $> 2\text{ m}/\text{bar}$. Ezek tehát azok a területek, ahol a fedő agyagtartalmának függvényében lehet veszélyeztetettnek nevezni egy adott területet.

A veszélyeztetett területek lokális jelenségek, összefüggő nagy területeket nem érintenek, mégis ábrázolásukhoz 42 db 1:10 000 topográfiai térkép volt szükséges. A 8. ábra a Tata környékére szerkesztett veszélyeztetettségi térképet mutatja be példaként.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Megállapítható, hogy a Dunántúli-középhegységi főkarsztvíztároló feltöltődése befejeződött. Új egyensúly alakult ki, amelyre a természetes áramlási és mennyiségi viszonyok jellemzőek. A karsztvíztároló működését a földtani folyamatok során kialakult dinamikus egyensúly jellemzi. A karsztvízszintet és a források vízhozamát a továbbiakban az éghajlat függvényében a beszivárgás mennyisége, valamint a karsztvíz termelés fogja alakítani.

A beszivárgás és a vízháztartási modellezés rámutatott arra, hogy a jövőben a prognózisokban jelentős szerepet kell, hogy kapjon az éghajlat modellezés, valamint nagy szükség van a beszivárgás számítások kutatására és fejlesztésére. Fontos lenne azonos beszivárgás számítás módszer alkalmazása a vízgazdálkodás területén, ugyanis a jelenleg alkalmazott módszerek eléggé eltérőek. A beszivárgás számításoknál nem elegendő a havi vagy éves átlagok figyelembe vétele, ennél részletesebben a napi hőmérséklet és csapadék adatokra kell támaszkodni, amikor a jövőbeni vízkivételek hatását vizsgálják.

A közeljövőben a hideg és termál vízigények növekedése várható. Ezek engedélyezésénél, különösen a nagy vízaknák esetében, mindenképpen a nem permanens regionális modellekre kell támaszkodni, amelyek figyelembe tudják venni az éghajlati változásokat, valamint a regionális hidraulikai összefüggéseket is. Mivel a feltöltődés befejeződött, a beszivárgás számítások pedig azt mutatják, hogy a beszivárgás mennyisége csökken, nem igaz az az állítás, hogy a Dunántúli-középhegység „bővelkedik” a karsztvízben. Az elosztásokat regionálisan kell tervezni. A jövőbeni termelések engedélyezésénél azonban már a visszatöltődés utáni, jelenlegi referencia állapotot kell figyelembe venni, mert ez tekinthető „jó” mennyiségi állapotnak az EU Víz Keretirányelv, a vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés szerint.

Fontos feladat a növekvő víztermelés esetén a vízminőségi problémák (öregségi vizek) előrejelzése, kezelése.

Nem vízgazdálkodási feladat, de sürgősen meg kell kezdeni a felszín-süllyedési folyamatok vizsgálatát és monitoringját.

A modellezés és az állapotfelmérés a veszélyeztetettség megállapítására kétféle megközelítést alkalmazott. A modellezéssel jelzett területeken nem mindenhol van tényleges probléma, ugyanis a fedő kőzetek jelenleg védelmet nyújtanak. A karsztvíz csak akkor okoz tényleges problémát, ha a fedő rétegek sérülnek. Ilyen beavatkozás lehet a nem szakszerűen kivitelezett vagy le nem zárt pozitív kút, külszíni bányászati tevékenység, rézsűk megbontása, megváltoztatása, épület alapozás, stb.

A tényleges műszaki intézkedések kidolgozásánál elsősorban a tényeken alapuló állapotfelmérés eredményeit kell figyelembe venni. A modellezéssel meghatározott potenciális veszélyeztetett területeket a helyi építési szabályozásban kell jelölni és egy esetleges új beruházás esetén a potenciálisan megjelenő karsztvízre, vizesedés lehetőségére a figyelmet fel kell hívni. A modellezett veszélyeztetett területeken érdemes az építkezéseket megelőzően geotechnikai szakvéleményt kérni, a már meglévő épületek fenntartása és új létesítmények tervezése esetén a megváltozott körülményeket is figyelembe kell venni.

Irodalomjegyzék

- Schmieder Antal – Szilágyi Gábor (1988):* Dunántúli-középhegység főkarsztrendszerének terhelése és terhelhetősége. Bányászati és Kohászati Lapok 121. évf. 2. különszám. pp. 72-89
- Smaragd GSH Kft. (2020):* A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotrögzítése, a várható emelkedés modellezése. KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Vízháztartási modellezés és állapotértékelés – I. kötet. A vízháztartási modell alapjául szolgáló földtani modell és a vízmérleg elemeinek bemutatása, valamint a karsztvízszint hosszú távú alakulása. Kézirat. Budapest.
- Smaragd GSH Kft. (2020):* A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotrögzítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Vízháztartási modellezés és állapotértékelés – II. kötet. A regionális numerikus hidrodinamikai modellezés menetének és eredményeinek bemutatása. Kézirat. Budapest.
- Smaragd GSH Kft. (2021):* A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotrögzítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010. Veszélyeztetett területek lehatárolása. Kézirat. Budapest.