

A természet-alapú megoldások létesítésével elérhető gazdasági hasznok a dombvidéki kistelepüléseken – esettanulmány a Velencei-tó vízgyűjtőjéről

Kálmán Attila, Bene Katalin

Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Széchenyi István Egyetem,
Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék / Vízgazdálkodási Kutatócsoport
9026 Győr, Egyetem tér 1., Magyarország

Absztrakt

Az elmúlt évtizedekben folyamatosan emelkedett a globális átlaghőmérséklet és megdőlték a korábbi középhőmérsékleti rekordok. A megnövekedett párolgást vízgazdálkodási szempontból tovább rontotta a 2022. év, amely az éghajlatváltozás szélsőségeiről, az extrém aszályosságról szólt Európa szerte. A kialakult vízhiány súlyos ellátás-biztonsági és gazdasági károkat okozott valamennyi gazdasági és társadalmi csoportnak. Az átalakuló vízkészletek okán növekszik az érintett területen visszatartott csapadékvíz jelentősége. A természet-alapú megoldások széleskörű alkalmazása hosszú távú, fenntartható megoldást jelenthet erre a kihívásra.

A Velencei-tó vízgyűjtőjén évek óta a csapadék deficit jelei mutatkoznak, miközben a kiskertes gazdálkodók és a nagy mezőgazdasági termelők is a növekvő öntözővíz hiánnyal szembesülnek. A kutatás középpontjában a Velencei-tó vízgyűjtőjén kiválasztott dombvidéki településeken a potenciálisan összegyűjthető csapadékvíz mennyisége, annak felhasználási lehetősége és az elérhető többlethaszon vizsgálata áll. A csapadékvíz felhasználás mértéke alapján értékeltük a természet alapú megoldások megvalósításának, illetve meg nem valósításának költségeit és hasznát. A dombvidéki területekre fókuszálva, a terület jelenlegi és lehetséges jövőbeli művelési/mezőgazdasági tevékenységére vonatkozó alapvető számítások segítségével megvizsgáltuk a kék-zöld infrastruktúrák helyi GDP-re gyakorolt hatását az elmaradt haszon és az elérhető többletbevétel összehasonlításán keresztül.

Kulcsszavak: természet-alapú megoldások, fenntarthatóság, elmaradt haszon, érintettek, pozitív externáliák, társadalmi hasznosság

1. BEVEZETÉS

Európa éghajlata és így időjárása is, jelentős átalakuláson megy keresztül a 21. század első felében, amelyet a növekvő szélsőségek jellemeznek. A globális felmelegedéssel párhuzamosan, a klímaváltozás kellemetlen velejárói a megváltozó csapadék jelenségek és csapadékeloszlások. A tavalyi év ez utóbbiból szolgált negatív példával, amelynek eredménye az országszerte megtapasztalt szárazság és extrém aszályosság volt. A gyakoribb hóhullámokat és aszályos időszakokat hirtelen lezúduló heves esőzések tarkítják a jövőben. [EC, 2022] A károk nem csupán a mezőgazdaságot érintik, mivel a negatívan változó körülmények hatással vannak a települések lakóira, a természetes ökoszisztémákra, a vizes élőhelyekre [Weiskopf et al, 2020], a turizmusra és alapvetően valamennyi szektorra.

A gazdasági fejlődéssel az épített környezet és a szürke infrastruktúrák egyre szélesebb teret nyernek, amelynek hatására módosulnak a természetes körfolyamatok és csökken a

zöldfelületek aránya. A terület- és tájhasználat változása, a klímaváltozás negatív hatásaival együtt jelentősen rontják a természeti és társadalmi környezet állapotát [Bouman, 2020] és így végső soron az emberi életteret, valamint az ökoszisztémákat is. A fenntartható fejlődés, valamint a klímahatások csökkentése érdekében a természet alapú megoldások minél átfogóbb alkalmazása nagy jelentőségű [Voskamp, 2021]. A vízgazdálkodás egyre összetettebb, a tervezés szükségyszerűen egyre integráltabb, mind külterületen, mind a településeken belül is [Balatonyi, 2021]. A meglévő szürke infrastruktúrák nem tudják megfelelően kezelni a szélsőséges csapadék eseményeket, sem mennyiségi, sem minőségi szempontból. A természet alapú megoldások alkalmazásával ezen problémák - fenntartható módon - kezelhetővé válnak [EC, 2013], miközben elősegítik a biológiai sokféleséget és a társadalmi jólétre is pozitív hatással vannak [NWRM, 2019].

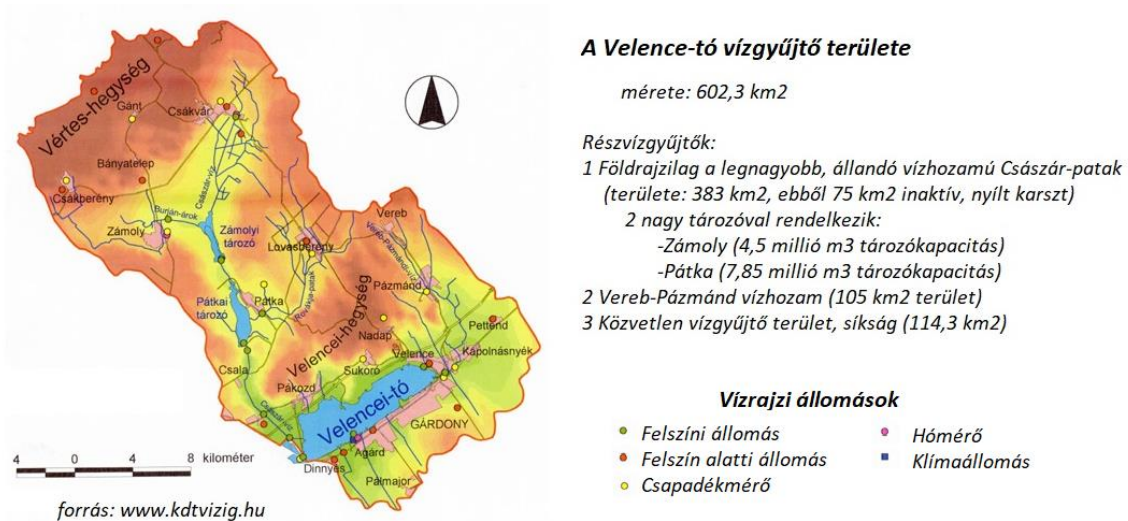
A Velencei-tó vízgyűjtője, különösen a tó közvetlen környezete és tájképe az 1960-as évektől kezdődően erősen módosult. A kiterjedt és többrétű közlekedési, vízügyi, valamint települési infrastruktúra fejlesztések hatására [OVF; NIF] a terület a 20. század második felében népszerű turisztikai és hétvégi üdülőterületté alakult. A fejlett infrastruktúrájának, a kellemes környezetnek, valamint Budapest és Székesfehérvár közelségének okán a tó környezetében az állandó lakosság száma ugrásszerűen megnőtt. A tóparti települések jelenleg már részben elővárosi funkciót töltenek be, a beköltözők állandó lakosok, így az ideiglenes, turisztikai tájkép lakókörnyezetté alakult át. A fejlesztések eredményeként a zöldfelületek aránya csökkent, ezzel párhuzamosan a beszivárgási és szikkasztási lehetőségek romlottak, különösen a meredek, gyors lefolyású dombvidéki területeken. A növekvő népességszám, valamint a bővülő kiskertés gazdálkodási és szőlőtermelési igények jelentősen megnövelték a terület vízigényét. A terület és a területhasználat szempontjából kedvezőtlenül megváltozott lefolyási viszonyokat a klímaváltozás az utóbbi években további kihívások elé állította a villám árvizekkel és az aszályal.

A fentiek hatására a területen növekednek a vízigények (lakosság, mezőgazdaság, turizmus), miközben csökken a vízvisszatartás és az éghajlatváltozás hatására a nyári időszakban a csapadékmennyiség is. A vízkörforgás ilyen fokú megváltozása nézeteltérések elé állítja a helyi érdekcsoportokat és kihívások elé a vízügyi szakembereket. [Kabisch, 2016] A természet-alapú megoldások létesítése és széles körű alkalmazása megfelelő választ adhat a felmerült problémákra [EPA, 2023], és ezen infrastruktúrák akár többlet gazdasági hasznot is hozhatnak a területnek. [Jia, 2021]

2. TERÜLET BEMUTATÁSA

2.1 A vízgyűjtő

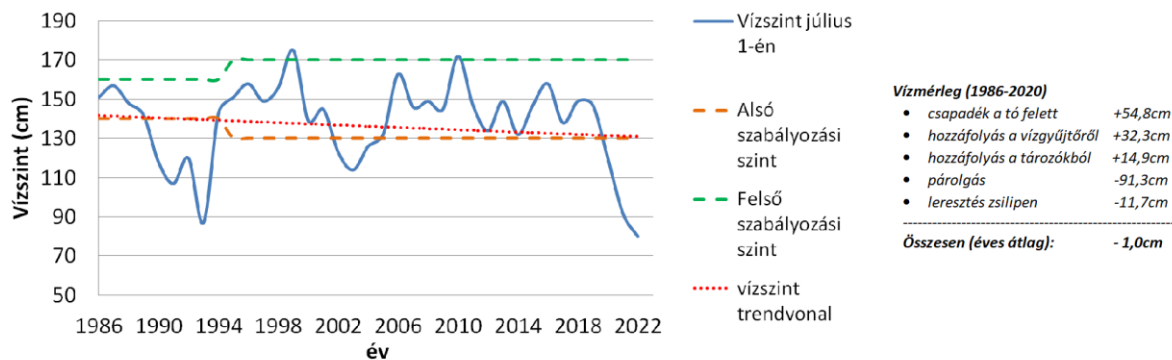
A Velencei-tó vízgyűjtője (1. ábra) Közép-Magyarországon, Fejér megyében található.



1. ábra Velencei-tó és vízgyűjtő területe

A területről, különösen a tó környéki települések kül- és belterületeiről elmondható, hogy az emberi beavatkozás hatásai jelentősek, a jelenlegi víztest erősen módosított. Társadalmi és gazdasági szempontból a vízgyűjtő központi eleme a Velencei-tó, amely kb. 30 km-re található Budapesttől és kb. 15 km-re Székesfehérvártól. A nagyvárosokat korszerű autópálya és vasúti pálya köti össze a tóval. A két város közigazgatási területe termeli meg a teljes magyarországi GDP kb. 40%-át (Budapest kb. 38%; Székesfehérvár kb. 2%), miközben a népességük mindössze kevesebb, mint az ország 20%-a (Budapest lakossága kb. 1,7 millió, Székesfehérvár lakossága kb. 96 ezer. [KSH])

A tó felszíne megközelítőleg 24,2 km², 160-170 cm vízállásnál, ami a felső szabályozási szint. Az alsó szabályozási szint 130-140 cm. A teljes víztérfogat körülbelül 37,5x10⁶ m³, közepes, 150 cm-s vízmélységnél. A vízszint ugyan egész évben és az évek során is ingadozik, de az utóbbi évtizedekben egyértelműen csökkenő a trendvonal (2. ábra, piros szaggatott vonal). [VIZUGY] Aggasztó megfigyelés, hogy a vízszint egy évtizede meg sem közelítette a felső, 170 cm-s szabályozási szintet és két éve már folyamatosan az alsó, 130 cm-s szabályozási szint alatt van.

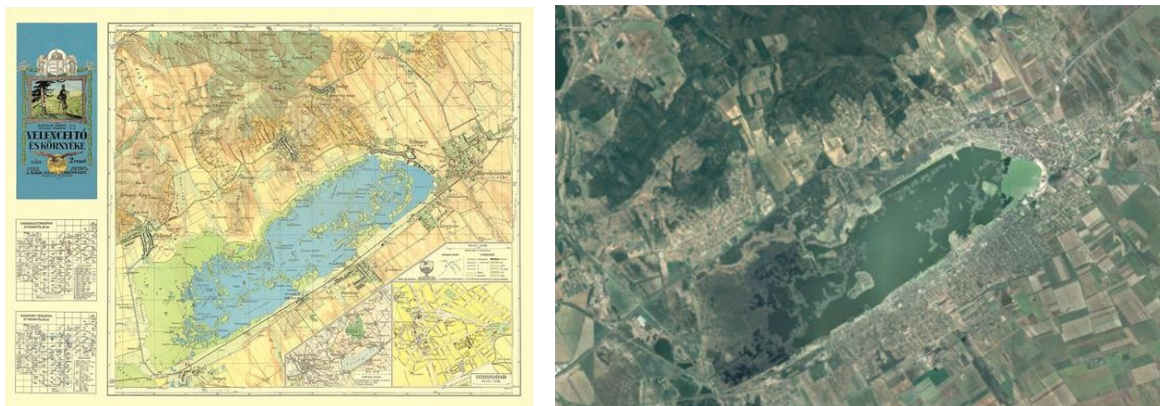


2. ábra Velencei-tó vízszint változása és annak kiváltó okai

Alig egy évszázada a Velencei-tó környezet szinte természetes és érintetlen volt (3. ábra, bal), leszámítva az 1880-ban megkezdett vízrendezést, amely lecsapolta a Nádas tavat és a Dinnyés-Kajtori csatornát, miközben létrehozta a dinnyési zsilipet [KDTVIZIG], a túl magas vízállások elkerülése érdekében. A tó környékének népszerűsége és jelentősebb tájképi és turisztikai változása az 1960-as években kezdődött a Budapest-Székesfehérvár vasútvonal két vágányossá bővítését követően, valamint az M7 autópálya építésének megkezdésével. Ebben az időben létesültek a tó vízszintjét szabályzó tározók is (Zámoly, 1967 és Pátka, 1974), miközben a partfal és tópart kiépítésre került. A zámolyi tározó 15-20 cm-rel, a pátkai tározó 20-25 cm-rel növelheti a tó vízszintjét. [KDTVIZIG, 2009] Alapvető, de pontos ökol szabály, hogy 1 millió m³ víztérfogat a tó vízszintjének 4 cm-ének felel meg. [KDTVIZIG, 2022] A főváros közelsége miatt a tó turisztikai vonzereje gyorsan nőtt, a látogatók száma megugrott és a tóparti területeket benépesítették a nyaralók és hétvégi házak. Ezek újabb infrastrukturális fejlesztéseket eredményeztek: szilárd burkolatú közutak és járdák, ivóvíz-, szennyvízhálózatok, üzletek, vendéglátóhelyek. A burkolt területek nagysága, a fedettsége nőtt, a zöld területek és így a beszivárgási felületek aránya csökkent, miközben a szemét, a szennyvíz és a szennyeződés kockázata növekedett.

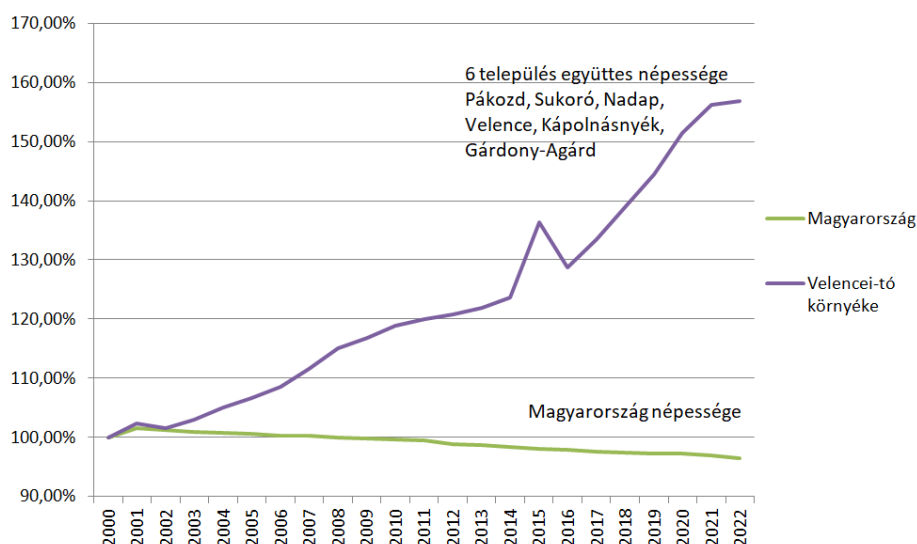
2.2 Demográfia, terület használat

A motorizáció fejlődésével, valamint Budapest túlszűfoaltsága okán, az ezredforduló környékén egy erős bevándorlás hullám indult meg a tóparti településekre és mostanra már szinte összeérnek a települések a tó körül (3. ábra, jobb). A települések ingatlanokkal és kapcsolódó infrastruktúrákkal borított aránya nagyságrendileg megduplázódott (településenként ingadozó mértékben), amelynek hatására a rétekekkel, cserjésekkel borított arány csökkent.



3. ábra Velencei-tó környéki terület használat 1929 (bal, forrás: HM) és 2023 (jobb)

Az elmúlt 2 évtizedben a népességszám kb. 60%-kal nőtt a tó körüli településeken (4. ábra), miközben az országos népesség kb. 3,5%-kal csökkent. Míg 2000-ben a tó körüli településeken élők aránya az országos népességszámhoz viszonyítva mindössze 0,196% volt, addig 2022-ben már 0,316% volt.



4. ábra Népességszám változása a tó körül 2000. óta (2000 = 100%)

Az országos nagy infrastruktúrák (autópálya, vasút stb.) fejlesztése mellett, a bővülő turisztikai igények és növekvő népességszám is a zöld felületek arányának csökkenését eredményezték és évtizedek óta rontják a csapadékvíz beszivárgási képességet a tó környékén. A kedvezőtlen tendenciák mellé érvényesülnek a klímaváltozás negatív hatásai: a magasabb hőmérséklet okozta megnövekedett párolgás, valamint a csapadék mennyiségi és időbeli eloszlásának változása. A Velencei-tó vízszintjének alakulására ez a kettő van legnagyobb hatással. Az éghajlat változási előrejelzések szerint a terület éves csapadékmennyisége várhatóan nem csökken, ugyanakkor nyáron kevesebb, télen több várható. Ugyanakkor a magasabb átlaghőmérséklet miatt a párolgás növekszik, körülbelül 8%-kal lesz magasabb a 21. század közepén, mint 2000–2020 között. Ez további 7 cm-es vízszint veszteséget okoz évente (évi átlagos 91,3 cm párolgás x 8% növekedés = 7 cm többlet párolgás), így a tó nyári alacsony vízállása tovább süllyed. [Kékbolygó, 2022] A nyári alacsonyabb csapadékmennyiség és a

megnövekedett párolgás miatt nem csak a tó vízszintje, de a környező területeken rendelkezésre álló vízkészletek is csökkennek.

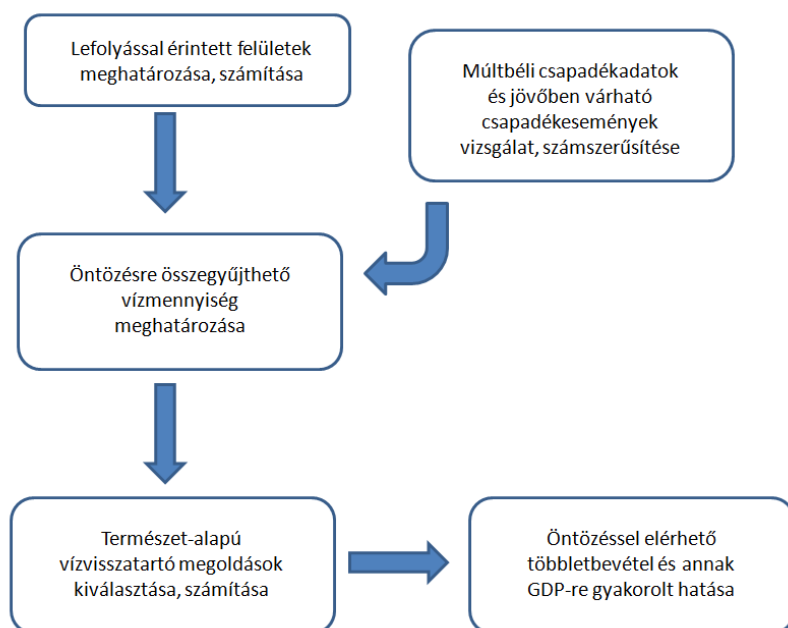
A kutatás a Velencei-tó északi oldali részvízgyűjtőjét érinti, a dombvidéki, jelentős csapadék lefolyású településeket (Pákozds, Sukoró, Nadap). A településeken a népesség lélekszáma közel megduplázódott 30 év alatt, amelynek hatására a tájkép és területhasználat megváltozott. Jellemző a tudatos, fenntarthatóságot támogató, magas végzettségű, nagycsaládos betelepülő, akik kiskerti, zártkerti és szőlészeti gazdálkodás iránt is érdeklődnek. Ez a gazdálkodási igény mind belterületi, mind a települések közvetlen környezetében külterületi területeket érint. A vízfelhasználással, vízvisszatartással kapcsolatos feladatok és kihívások között szerepel a különböző érintettek együttműködése, a hobbi bio-, mikro-, és kiscsaládosok mellett a mezőgazdaság, a turizmus, az erdőgazdálkodás, a halászat stb. [Pearson, 2010]. A villámárvizek és az aszály fenntartható kezelésére, a vízkészletek helyben tartására, a vízvisszatartó képesség növelésére a meglévő infrastruktúrák nem alkalmasak, azokra a természet-alapú megoldások adhatnak [Deely, 2020] kielégítő választ. Az ökológiai előnyök mellett akár gazdasági hasznok is elérhetők ezekkel, egy átfogó, integrált módszertan alkalmazása és a vízkészletek optimálisan allokációja esetén. [Galambos, 2021]

3. MÓDSZERTAN

A Velencei-tó vízpótlására használható vízkészletek már jelenleg is korlátozottan állnak rendelkezésre és évek óta csökkenő tendenciát mutatnak. A tájhasználat változása, a klímaváltozás negatív hatásai, továbbá a vízgyűjtőn megvalósuló vízvisszatartási megoldások miatt a vízgazdálkodás csak integrált megközelítéssel végezhető. Ennek okán a településekre, a települések környezetébe tervezett természet-alapú megoldások hatásainak vizsgálatát lokálisan és vízgyűjtő szinten is szükséges elvégezni.

A vízmennyiségre gyakorolt hatások és a gazdasági hatások vizsgálata az alábbi lépésekben történik, a folyamatábrát az 5. ábra foglalja össze:

1. A Velencei-tó közvetlen, északi oldali, dombvidéki részvízgyűjtőjén elhelyezkedő települések (Pákozds, Sukoró, Nadap) lefolyással érintett felületei, különösen a beépített, a szürke infrastruktúra fejlesztések hatására kialakult csapadékvíz összegyűjtésre alkalmas felületek meghatározása;
2. A csapadékesemények és a számított felületek alapján a rendelkezésre álló és visszatartható vízmennyiség meghatározása, valamint az így öntözésre fordítható csapadékvíz és annak a kiválasztott gazdálkodási területre gyakorolt hatása;
3. A vízvisszatartásra használható természet-alapú megoldás költségeinek meghatározása és az öntözővíz többlettel elérhető terménynövekmény és az így indukálódó többlet bevétel számszerűsítése;
4. Az elérhető hasznok számítása, a lehetséges GDP hatás meghatározása.



5. ábra Az alkalmazott módszertan egyszerűsített folyamatábrája

A természet-alapú megoldások bevezetésének egyik jelentős hátráltatója az ismeretlentől való félelem, a motiváció hiánya, valamint az érintettek közötti érdekellentétek. Ennek vizsgálatára két saját kérdőíves felmérés készült a helyi polgármesterek bevonásával a tavalyi év elején, valamint vége felé vízügyi, vízgazdálkodási és természet-alapú megoldások témában. Az eredmények igazolták, hogy a tudatosság növekedésével – ez részben az extrém mértékű aszálynak, mint motivációnak, részben a felkapott médiatartalmaknak köszönhető – a természet-alapú megoldások bevezetési hajlandósága növekszik. [Kálmán, 2022]

3.1. Felszíni lefolyás meghatározása

A vizsgált településeken a csapadékvíz összegyűjtésére szolgáló jellemző felületek: utcák, járdák, úthálózatok, épületek és építmény tetőfelületek, meredek domboldali telkek. A számításból kimaradtak a parkolók, a telken belül található beállók, járdák és egyéb, az ingatlanok környékén található burkolt felületek. Ezek tovább növelik a lefolyási hányadot, de a kutatás jelen fázisában nem cél ezen kiegészítő – tartaléknak tekintett – felületek tételes számbavétele. Amennyiben kevésnek bizonyul a jelenleg számított felületekről összegyűlekező csapadék mennyisége, úgy a későbbiekben ezekkel még bővíthetők, növelhetők a gyülekező felületek. Az utóbbi évek nagyfokú és jelentős új építései és beépítései miatt a rendelkezésre álló térképes adatbázisok nem teljesen fedik a valós infrastruktúrát. Az utak, úthálózat felületeinek becslése egy kombinált módszerrel történt, a térképes adatok (QGIS, Google Earth, e-kozmu) helyszíni bejárással és mérésekkel kerültek korrigálásra. Az épületek tetőfelületei, valamint az ingatlan környéki burkolt felületek méretét önkormányzati és település statisztikai (KSH) adatbázisok adták, amelyek kiegészítésre kerültek a térképes adatbázisokból nyert méretekkel. Az így mért és becsült adathalmaz ellenőrzése a településeken végzett helyszíni bejárások alkalmával történt. A nem lakhatási célú területek – szántók, rétek, kiskertek, szőlők stb. – méretei a digitális adatbázisokból kellő pontossággal meghatározhatók. A burkolt felületek méretének meghatározása egy közelítő,

előzetes mérésen alapul, ezért a kapott eredmények nagyságrendi becslésnek tekintendők, amelyet ugyanakkor elegendőnek tartunk a további számítások elvégzéséhez. Az eltérő lefolyási tényezők, valamint mérési-pontossági faktorok miatt, a települési bel- és külterületek 3 csoportba kerültek besorolásra, amelyet az 1. táblázat foglal össze.

	felület megnevezése (A)	lefolyási tényező (f)	mérési pontosság (e)
1	fő- és mellékutak, utcák, járdák felülete	$f_{út} = 0,9$	$e_{út} = 95\%$
2	házak, ingatlanok, épületek tetőfelületei	$f_{inf} = 0,8$	$e_{inf} = 90\%$
3	kiskertek, zártkertek, szőlők, szántók (500m ² -t meghaladó területek)	$f_{mg} = 0,2$	$e_{mg} = 98\%$

1. táblázat A felszíni lefolyáshoz használható területek és felületek

A csapadék idősorokból meghatározásra került a területre jellemző termőidőszaki csapadék mennyisége, az elmúlt 2 évtizedre. Ennek segítségével, a felület és lefolyási adatokból számítható a rendelkezésre álló víz mennyisége (1.egyenlet), amely vízmennyiség a természet-alapú infrastruktúrákban visszatartóvá válik (VVT).

$$VVT = \sum_{i=1}^3 A_i \cdot f_i \cdot e_i \cdot CS$$

1. egyenlet Visszatartható csapadékvíz térfogata (m³-ban)

Ahol

- A_i = adott felület nagysága
- f_i = lefolyási tényező
- e_i – mérési pontatlanság
- CS – csapadék mennyisége

A kialakítandó tározók térfogata és méretezése a rendelkezésre álló vízmennyiség alapján történik, figyelembe véve a területi adottságokat. A tározók helyének kiválasztása a kérdőíves felmérés eredményei, valamint területen előforduló kifolyási pontok figyelembevételével történik. A kérdőíves felmérések eredményeiből megállapítható volt, hogy a természet-alapú megoldások telepítési hajlandósága (IW-Implementation Willingness) és a rendelkezésre álló gazdasági-infrastruktúra lehetőségek (FIO-Financial Infrastructural Opportunity) egy-két nagyságrenddel kisebb vízvisszatartó képességet jelentenek a területen, mint amekkora a lefolyásból rendelkezésre álló csapadékvíz. Ennek köszönhetően a Velencei-tó vízszintjére gyakorolt hatásuk elhanyagolható.

Ugyanakkor a természet-alapú megoldások alkalmazásával természet-közeli állapot hozható létre, miközben a vízvisszatartás, a vízkészlet-gazdálkodás javul. Számtalan megoldás létezik a kis, 1 m² méretű háztartási esőkerttől és csapadékvíz-gyűjtő tartálytól kezdve a többhektáros rétegekig, tavakig. A terület települési jellegéhez és a kiskerti, tagozott gazdálkodási igényekhez igazodva, a leginkább szóba jöhető természet-alapú megoldások az alábbiak:

- Tározók és záportározók (száraz és nedves egyaránt)
- A patakmeder revitalizáció és tavak kialakítása
- Esővízgyűjtés, csapadékvíz tartályok
- Esőkertek

Elsődleges cél, a szárazság elleni védekezés és a növények öntözése. Másodlagos célok között szerepel az árvízvédelem (a villámárvizek és meredek domboldalak heves lefolyásainak mérséklése), azaz a lefelé (völgy felé) irányuló áramlások térfogatáramának csökkentése, valamint a vízminőség javítás, hogy öntözési célra hasznosítható legyen a visszatartott csapadék. Ezeket figyelembe véve a tartályos esővízgyűjtés és a nedves záportó tűnik legalkalmasabbnak a feladat ellátására. A nagyobb – akár 2-3-5 hektár – területű földekhez az 1-2 m³ térfogatú tartályok kicsinek bizonyulnak, mivel a fellépő vízigények kielégítéséhez való alkalmazásukhoz túl sokat kéne összehangoltan működtetni, ami megdrágítja és bonyolítja a kiépítést. A nedves tározó (6.ábra) mellett szólnak főbb előnyei:

- Lefolyás eltárolása
- Árvízveszély, hirtelen lefolyás csökkentése
- Szennyező anyagok szűrése
- Víz tárolás hosszabb időszakra
- Megakadályozza a felszíni vizek állapotának romlását
- Megelőzi a biodiverzitás csökkenését, javítja az ökoszisztémát
- Csökkenteni képes az eróziót és/vagy az üledék transzportot
- Alkalmos vízi élőhely létrehozására



6.ábra Természet-alapú megoldás, nedves tározó (forrás: nwrn.eu)

Az esővízgyűjtő, csapadékvízgyűjtő 1-2 m³ tárolókapacitású tartályok létjogosultsága a kiskertek, zártkertek víz- és öntözővíz ellátásában jelenthet kulcsszerepet, de jelen tanulmányban ez nem kerül részletesen bemutatásra.

3.2 Vízvisszatartás gazdasági értékelése

A tározó beruházási értékelése egy teljes életciklus költség meghatározással történik, amely tartalmazza a megvalósítás során felmerülő beruházási költségeket, az élettartam alatt felmerülő fenntartási, karbantartási és javítási költségeket, valamint az életciklus végén a terület helyreállítási költségeit. Mivel az élettartam 50 év, így az infláció, a gazdasági növekedés és a kamatok szerepét is szükséges figyelembe venni a különböző időszakokra, az alábbiak szerint:

$$\text{KTG} = \frac{-I + \sum_1^n M \cdot \frac{(1+g)^n}{(1+i)^n} - C}{n+1}$$

2. egyenlet Nedves tározó életciklus költség meghatározása

Ahol

- I = beruházási költségek
- C = életciklus végi helyreállítási költség
- M = karbantartási, fenntartási költségek
- p – áremelkedés, infláció mértéke (3,50%)
- i – kamatláb refinanszírozáshoz (3,90%)
- g – gazdasági növekedés (4,00%)
- n – élettartam, évek száma (50 év)

A beruházási költségekkel szembe lehet állítani a tározó létesítése által elérhető bevételek és hasznokat. Jelen tanulmány keretein belül az indirekt, szubjektív pozitív externáliák hatásainak számszerűsítése (mint például a jobb levegő, a gazdagabb élővilág, a kellemesebb lakókörnyezet, a rekreáció, a turizmus, az amatőr horgászat stb.) nem kerülnek vizsgálatra, hanem kizárólag csak az öntözéssel elérhető többlet hasznok. (3. egyenlet)

$$\pi = \frac{Y_f \cdot \sum_1^n R \cdot \frac{(1+p)^n}{(1+i)^n} - I + \sum_1^n M \cdot \frac{(1+g)^n}{(1+i)^n} - C}{n+1}$$

3. egyenlet Nedves tározóból történő öntözéssel elérhető haszon

Ahol (a 2. egyenlet jelölésein túl)

- R = évenkénti bevételek összege
- Y_f = évenkénti termőképességi tényező (1.év: 0%, 4.év: 50%, majd 6.évtől 100%)

A jelenlegi állapothoz képest három területhasználati eset változás kerül elemzésre:

- szántó/cserjés művelése és tározós öntözéssel szőlő telepítése bortermeléshez
- szántó/cserjés művelése és tározós öntözéssel gyümölcsfák telepítése (körte)
- meglévő szőlőültetvényen öntözés megvalósítása a tározó vizéből (+20% hozam)

4. EREDMÉNYEK

A Velencei-tó az utóbbi másfél évben kiemelt média figyelmet kap, amelynek legfőbb oka az extrém alacsony vízállás. A különféle törekvések ellenére a vízgyűjtőn rendelkezésre álló vízkészletek nem elegendőek a tó vízszintjének az alsó szabályozási szint fölé emelésére. Annak ellenére, hogy a készletezés a tóban történik, hiszen jelenleg valamennyi víz a tóba kerül kormányzásra, a kívánt vízszint elérése még nem következett be. A vízgyűjtőn újonnan kialakításra kerülő vízvisszatartási megoldások vizsgálatára különös figyelmet kell fordítani, és azokat integrált módon szükséges modellezni.

4.1 Felszíni lefolyás

A tó északi dombvidéki vízgyűjtőjén elhelyezkedő településeken a felszíni lefolyásból érkező visszatartható csapadékvíz mennyisége a rendelkezésre álló felületek függvénye. A mérési és számítási eredményeket a 2. táblázat foglalja össze.

	Megnevezés	Pákozd	Sukoró	Nadap
1	A fő- és mellékutak, utcák, járdák felülete (m ² -ben)	152.753 m ²	131.368 m ²	36.074 m ²
2	A házak, ingatlanok, épületek tetőfelületei (m ² -ben)	186.219 m ²	99.049 m ²	42.323 m ²
3	A kiskertek, zártkertek, szőlők, szántók (500m ² -t feletti) területei (m ² -ben)	18.000 m ²	8.000 m ²	22.000 m ²

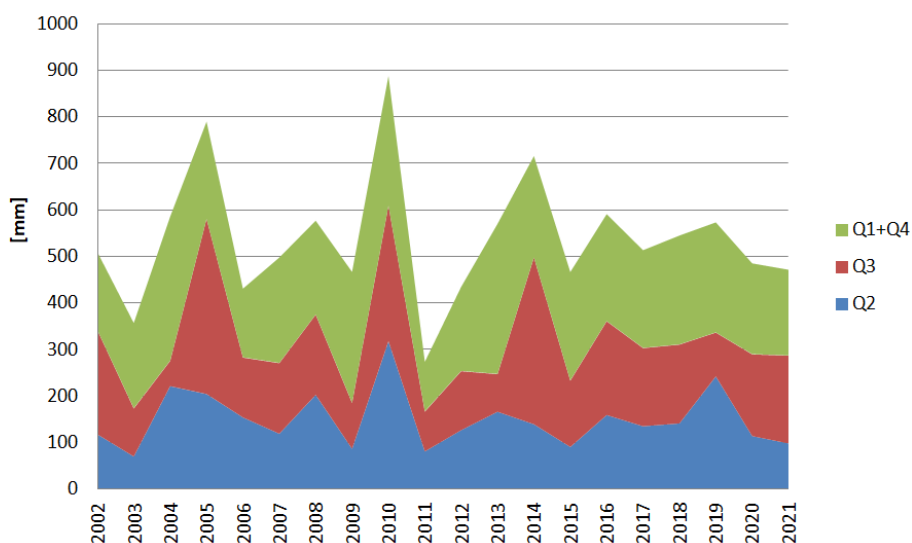
2. táblázat Csapadék összegyülekezéshez használható felületek

A fő- és mellékutak, utcák és járdák összesített felülete a vizsgált 3 dombvidéki településen 320.195 m². A házak, ingatlanok és egyéb épületek tetőfelületei összesen 327.591 m², míg a mezőgazdasági tevékenységre alkalmas területek 48.000 m². A csapadékesemények ismeretében kiszámítható a vízvisszatartásra összegyűjthető víz mennyisége.

A vizsgált területhez legközelebbi csapadékállomás az Agárdi mérőállomás (#35315; É47,19; K18,5836), amelyen 1996. óta érhetőek el adatok. A mérés kezdetétől az átlagos éves csapadék mennyisége 542 mm volt (135 mm átlagos szórással). A legszárazabb évben mindössze 295 mm csapadék hullott a területre, míg a legcsapadékosabb évben 973 mm. Negyedéves bontásban ezen időszakot vizsgálva, a szárazabbá és forróbbá váló, a termést leginkább befolyásoló 2. (Q2) és 3. (Q3) negyedévek csapadékadatai a következők:

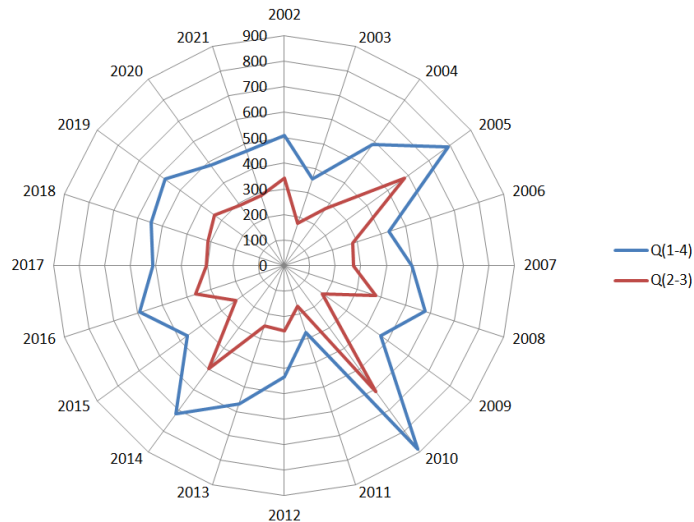
Q2(átlag) = 160,4 mm (szórás: 84,0 mm) ; Q2(min) = 70,9 mm ; Q2(max) = 406,3 mm

Q3(átlag) = 169,4 mm (szórás: 87,5 mm) ; Q3(min) = 54,1 mm ; Q3(max) = 376 mm



7. ábra A csapadék negyedéves mennyiségének alakulása

A negyedéves adatok erőteljesen ingadoznak, de jól látható, ahogy a 2. és 3. negyedévek együttes csapadék mennyisége jellemzően 300 mm alatt marad. Csapadékosabb években a negyedéves összegek ingadozása követi az éves ingadozást (7. ábra). Ugyanakkor az éven belüli eloszlás némileg eltolódni látszik (8. ábra), a téli hónapok több csapadékot, a nyáriak kevesebbet kapnak, amelynek hatására a nyári időszakban tovább fokozódik az aszályosság veszélye és a vízkészletek hiánya.



8. ábra Az éves (Q1-Q4) és a nyári féléves (Q2-Q3) csapadék mennyiségek alakulása

A második és harmadik negyedévekben lehulló átlagos (3. táblázat) csapadékmennyiségeket a korrekciós tényezőkkel az 1. egyenletbe helyettesítve, az alábbi vízmennyiségek adódnak a lehetséges vízvisszatartásra:

	felület megnevezése (A)	2. negyedévben	3. negyedévben
1	fő- és mellékutak, utcák, járdák felülete	43.912 m ³	46.376 m ³
2	házak, ingatlanok, épületek tetőfelületei	37.833 m ³	39.956 m ³
3	kiskertek, zártkertek, szőlők, szántók (500m ² -t meghaladó területek)	1.509 m ³	1.594 m ³
	Összesen:	83.254 m³	87.926 m³

3. táblázat Átlagos negyedéves csapadék alapján visszatartható víz mennyisége

Ez egy idealizált eset, amikor valamennyi csapadékeseményből azonnal lefolyás indul, így ennek jelentősége kizárólag a tó vízszintjére való hatásban vizsgálendő. A valós folyamatokat jobban közelítő esetek, amikor figyelembe vesszük a nedvesítési és depressziós tározási mennyiségeket. Előbbi esetére az 1mm-es napi határértéknél kisebb csapadékeseményeket, míg utóbbi esetében a napi 5mm-nél kisebb csapadékeseményeket tekintjük jelen kutatás szempontjából. Ezeket kivéve a csapadékesemények közül, a negyedéves értékek az alábbiak szerint változnak:

Q2(átlag>1mm) = 153,8 mm (szórás: 78,2 mm) ; Q2(min>1mm) = 69,6 mm

Q2(átlag>5mm) = 116,5 mm (szórás: 59,9 mm) ; Q2(min>1mm) = 43,4 mm

Q3(átlag>1mm) = 166,0 mm (szórás: 87,6 mm) ; Q3(min>1mm) = 47,3 mm

Q3(átlag>5mm) = 143,3 mm (szórás: 87,3 mm) ; Q3(min>5mm) = 20,3 mm

A 4. táblázat az 1mm-nél, illetve 5mm-nél kisebb csapadékesemények figyelmen kívül hagyásával mutatja meg az elméletileg hasznosítható csapadékvíz mennyiségét.

felület megnevezése (A)	2. negyedévben		3. negyedévben	
	>1mm	>5mm	>1mm	>5mm
1 fő- és mellékutak, utcák, járdák felülete	42.105 m ³	31.894 m ³	45.445 m ³	39.231 m ³
2 házak, ingatlanok, épületek tetőfelületei	36.276 m ³	27.478 m ³	39.154 m ³	33.800 m ³
3 kiskertek, zártkertek, szőlők, szántók (500m ² -t meghaladó területek)	1.447 m ³	1.096 m ³	1.562 m ³	1.348 m ³
Összesen:	79.828 m³	60.468 m³	86.161 m³	74.378 m³

4. táblázat Az 1mm és 5mm-nél nagyobb csapadékesemények alapján visszatartható csapadékvíz mennyisége

A 2004. évben extrém szárazság volt, nem csak nyáron, hanem egész évben. A Q2-Q3 időszakban mindössze 125mm csapadék hullott, amelyből a napi 5mm-t meg nem haladó csapadék eseményeket kivéve mindössze 63,7mm csapadék adódik. Ezen extrém aszályos időjárási körülmények esetén is negyedévente 22.526 m³ + 10.537 m³ (összesen 33.063 m³) csapadék áll rendelkezésre lefolyásból a Q2-Q3 időszakban.

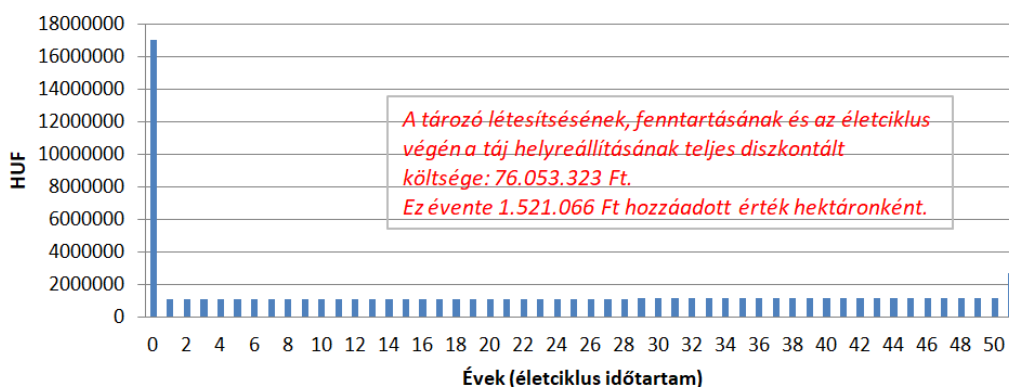
A kapott mennyiségeket összevetve a tó vízszintjével, a visszatartható vízmennyiség, még akkor is, ha a teljes rendelkezésre álló mennyiség visszatartásra kerül, csupán 0,2-0,3 tó cm-nek felel meg negyedévente, ami elenyésző a teljes tó méretéhez képest. Az éves vízmérlegben a vízszintet növelő tényezők (2.ábra) hosszú idősoros éves átlaga 102 tó cm, amihez viszonyítva a természet-alapú megoldásokkal így elméletben feltételesen visszatartható éves csapadékvíz mennyisége, az összes vízszintnövelő faktornak mindössze 0,4-0,5%, azaz a tó vízszintje szempontjából érdemi hatás nélküli, elhanyagolható. A téli Q4-Q1 időszakban a vízvisszatartás és öntözési célú tározás mértéke csekély.

A szőlőtermelés vízigénye – fajtától függően – 600-800 mm, amelynek kb. 70%-a (május-július: 200-250 mm; július-szeptember: 200-250 mm) a fürtökérés idejére tehető. A területi adatok alapján átlagosan kb. 150-200 mm a csapadék deficit Q2-Q3 időszakban a tervezett termőterületen, azaz havi kb. 25-30 mm. Ennek pótlásával a meglévő területeken legalább 20% többlet hozam várható, míg az újonnan létesítendő területeken kiszámíthatóvá és biztonságossá alakítható a gazdálkodás. Ebből adódik, hogy egy hektáros területre vetítve a havi öntözővíz pótlási igény kb. 250-300 m³. A tározó tervezése során ehhez adódik a párolgási veszteség, amely főként hőmérséklet és széljárás függő, de ökölszabályként megállapítható, hogy a nyári melegben napi 0,5-1cm (1-2m³), azaz kb. havi 40-50 m³. Az öntözéshez szükséges tározó térfogata tehát 300-350 m³. Egy ekkora tározó kb. két nagyságrenddel kisebb vízigényű, mint az idősorokból származtatott legaszályosabb években rendelkezésre álló csapadékmennyiség. Az eredmények a racionális módszerrel összevetve helytállóak, ugyanis a 10 éves gyakoriságú 10 perces intenzitással (84,75mm/h) és 1,1 klímátényezővel számolt lefolyás és az ebből származtatott éves csapadékmennyiség Nadap teljes területe esetében 40.241 m³. A csapadék eseményekből a burkolt felületekre adódó statisztikai adatok az 1mm-nél kisebb események figyelmen kívül hagyásával: Q2-Q3: 20.988 m³ és Q4-Q1: 13.145 m³

(éves összesen: 34.133 m³), míg az 5mm-nél kisebb események figyelmen kívül hagyásával: Q2-Q3: 17.050 m³ és Q4-Q1: 9.844 m³ (éves összesen: 26.894 m³), tehát a kétféle módszerrel az előzetes becslés megegyező eredményeket ad. A pontos értékek meghatározása, valamint a tározók geometriája egy későbbi, szimulációs módszertannal kiegészített kutatás részét képezik, amelyet megelőző még egy átfogó döntéselőkészítő, társadalmasítási folyamat.

4.2 Gazdasági értékelés

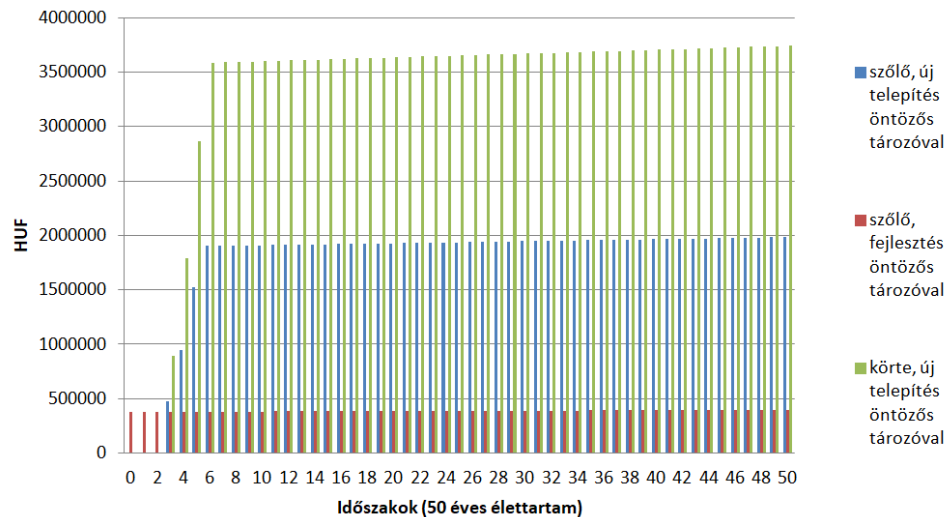
A csapadékvíz összegyűjtésére rendelkezésre álló felület és az összegyűjthető csapadékvíz mennyisége több nagyságrenddel meghaladja a jelenleg felmerült igényeket, amelyek a természet-alapú megoldásokban visszatartásra kerülnének. Ennek eredményeként már egy rövid időtartamú csapadékesemény is fel tudja tölteni ezt a méretű tározót. Egy 350 m³ befogadóképességű nedves tározó számított beruházási költsége kb. 16-18 millió forint. Ez tartalmazza a tervezés (~1,5M), előkészítés (~1,5M), területrendezés és kialakítás (~8M), ki- és befolyó műtárgyak kivitelezésének (~5M), átadás és üzembe helyezés (~1M) költségeit. A területrendezés költségei tartalmazzák a műanyag nyomócsöves vízszállítás, elosztóhálózat és a szivattyú kiépítésének költségeit is. A beruházási költségek az első évben merülnek fel – gazdasági szempontból ez a nulladik évnek tekintendő. Ezt követi az infrastruktúra kb. 50 éves élettartama, amely alatt folyamatos fenntartási és karbantartási költségek lépnek fel, mint például helyszíni ellenőrzés, monitoring, tisztítás és hordalék eltávolítás, növényzet gondozás és nyírás, javítási munkálatok stb. Az éves fenntartási és karbantartási költségek ingadoznak, a műszaki állapotot a környezeti hatások és a használat mértéke és minősége is befolyásolják. Az első évre számolt értéke kb. 1,1M (1.093.000) forint, amely az 50 év során a választott inflációs rátával és a gazdasági növekedés mértékével korrigálandó. Az élettartam végén a terület helyreállítási munkálatai és a hulladékok megsemmisítésének költsége merülnek fel, amely együttesen kb. 2,7M (2.682.000) forint. A költségek eloszlását a 9.ábra mutatja.



9.ábra Nedves tározó élelciklus költségei

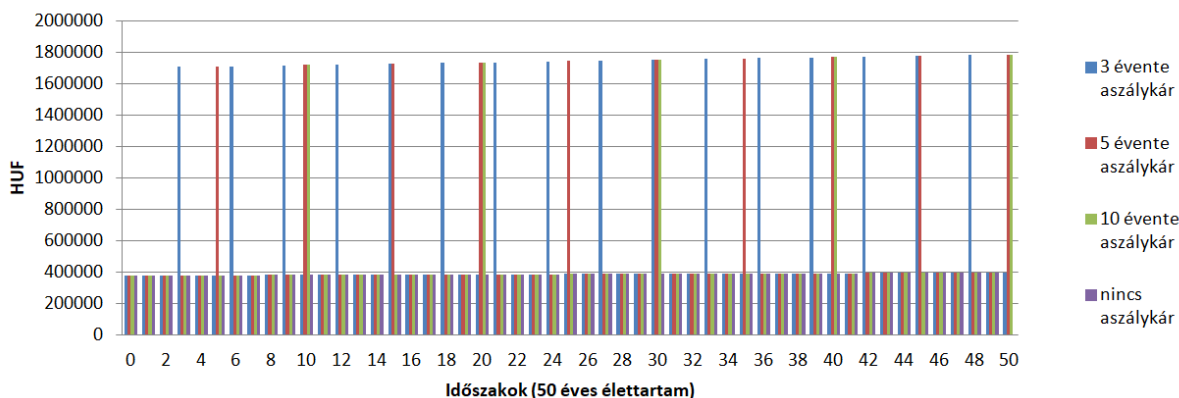
A költségek jelentős részét a fenntartási, karbantartási költségek teszik ki. Ugyanakkor a természet-alapú megoldások esetén gyakori, hogy a pozitív externáliák, az érintettek számára létrejövő szubjektív hasznok (jobb levegő, kellemesebb élettér, javuló well-being stb.) miatt az ilyen infrastruktúrák fenntartása, az elérhető előnyökért cserében, társadalmi összefogásban történik. Ez esetben a tározó élelciklus költsége negyedére is csökkenhet.

A költségekkel szemben állnak a bevételek. Többlet bevételt eredményez a területhasználat megváltozása, a használaton kívüli területek művelésbe vonása, illetve az öntözés hatására elérhető termésátlag növekedés. A három vizsgált eset (új szőlőtelepítés, új körte telepítés, öntözéssel fejlesztett szőlő terület) a terméshozam növekedésből származó bevétel növekedését a 10. ábra szemlélteti. Szőlő esetében a hektáronként átlagosan elérhető termésből 963 liter bor, azaz 756 palack készíthető, míg a körte terméshozama 8 tonna hektáronként, amely a feltételezett projektben nyers formában kerül értékesítésre.



10.ábra A területhasználat megváltozás hatására elérhető bevétel növekedés

Egy természet-alapú nedves tározóval megtámogatott újonnan kialakításra kerülő szőlőtermelő terület kb. 90 millió forint (90.230.660 Ft) bevételt tud termelni, míg új körteültetvény telepítésével a bevétel meghaladja a 150 millió forintot a vizsgált 50 éves időtávon az egy hektáros területre vetítve. A számítások során a meglévő szőlőültetvény esetében, az öntözéssel való fejlesztésnél egy egyenletes hozamtöbblet került felvételre. Ugyanakkor a klímaváltozás hatására és a nyári megnövekedett párolgás és csökkentő csapadékmennyiségek következtében várhatóan egyre gyakoribbak lesznek az aszályos termésidezőszakok, így azon években az öntözés hatására elérhető többletbevételek messze meghaladják a 20%-os mértéket, és akár 100%-ot is elérhetnek. Az alábbi 11. ábrán az aszályos időszakok esetén jelentősen romló terméshozamok idősorai láthatók meglévő szőlőültetvénynél az öntözéssel fejlesztett és nem öntözött területeknél, 3 különböző esetben: 10 évente, 5 évente, illetve 3 évente előforduló aszályokra. A feltételezés szerint az aszálykár 75%-os.



11. ábra Az aszálykárok bevételcsökkentő hatásainak elkerülése öntözés esetén

Az aszálykárok hatására az elvesztegetett haszon, azaz az a bevétel, amelytől a gazdálkodó elesik abban az esetben, ha nem biztosít megfelelő öntözést a meglévő szőlőterületen, hektáronként az alábbiak szerint alakul az 50 éves időtávon:

- 10 éves visszatérésű gyakoriságú aszály 7.205.947 Ft
- 5 éves visszatérési gyakoriságú aszály 13.982.593 Ft
- 3 éves visszatérési gyakoriságú aszály 22.092.240 Ft

A következőkben a fenti eredményeket a Velencei-tó északi partvidékén, a dombvidéki részvízgyűjtőjén alkalmazzuk. A korábbi kérdőíves felmérések során megfogalmazódott konkrét projekt javaslatok és ötletek hasznosságának vizsgálata történt. Az egyik érintett fejlesztési terület Nadap külterületi részén, a Csúcsos-hegy dél-délnyugati lankáin található. A terület kb. 12,5 hektár méretű és délről egy aszfaltozott közös használatú kerékpárút-mellékút szegélyezi, amelynek közvetlenül az átellenes oldalán (12. ábra-tározó) a Nadapról és a Csúcsos-hegyről lefolyó csapadékvizek szemből találkoznak és 90 fokos irányváltást követően déli irányba, a Velencei-tó felé folynak tovább. Az irányváltás helyén kerülné kialakításra egy befolyási műtárgy és ezt követően a nedves tározó, amely összegyűjti a lefolyó csapadékvizeket.

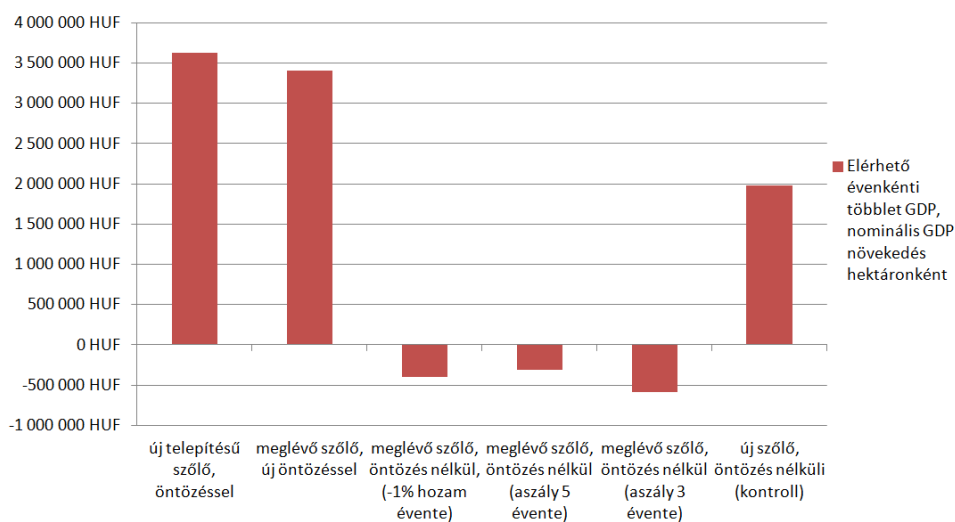


12. ábra Természet-alapú tározó elhelyezkedése a fejlesztési terület közvetlen közelében

A 12,5 hektár kiterjedésű öntözéses gazdálkodási terület mérete miatt a tározó térfogatát arányosan bővíteni szükséges, így az a továbbiakban 4,000 m³ térfogatúként kerül meghatározásra. A másik két vizsgált településen hasonló projektek: Sukorón a Fehérvári és

Fehér holló utca közötti 32 hektáros terület öntözése csapadékvízzel, illetve Pákozdon a Gábor Áron utca menti 29,5 és/vagy 33 hektáros területek.

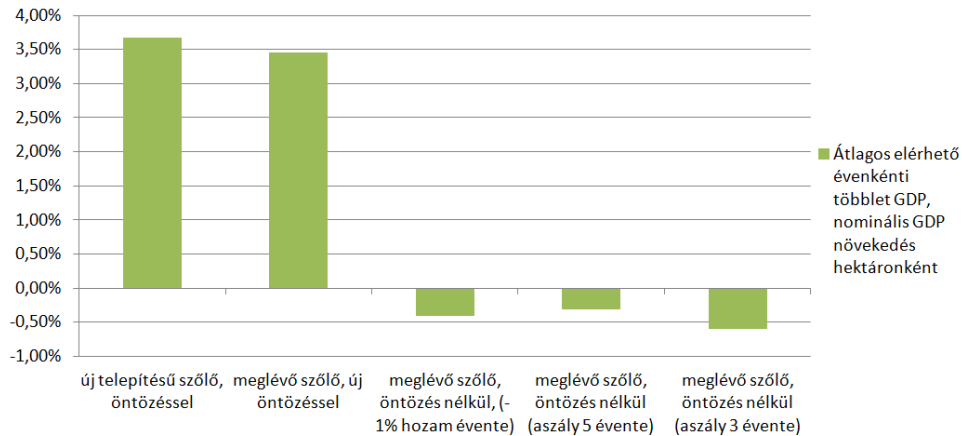
Magyarország bruttó hazai összterméke (GDP) kb. $55,255 \times 10^{12}$ forint, területe pedig 93.025 km². A terület alapján egyenletesnek feltételezve az országban megtermelt össztermék értékét, az egy hektárra vetített átlagos GDP-re 5.939.560 forint adódik, azaz minden hektár kb. 5,94 millió forinttal járul hozzá a nemzetgazdasági termeléshez. Mivel az eloszlás nem egyenletes, így ez az adat inkább csak összehasonlítási alapként használható, semmit bármely területre jellemző valós értéként. Ugyanakkor egy terület fejlesztése során kifejezhető, hogy a beruházások, kiadások és bevételek eredőjeként létrejövő évenkénti érték milyen arányban áll az országos átlagos hektáronkénti GDP-hez viszonyítva. A referencia szint a jelenlegi állapot, azaz a füves, cserjés rét, amely közvetlen hasznot nem termel, így a hozzáadott érték 0 forint; a 13.ábra vízszintes tengelye ezt mutatja és a különböző változatok ehhez kerülnek viszonyításra. Egy új telepítésű szőlő hektáronként közel 2 millió forint többletet jelent, azaz a kiválasztott 12,5 hektáros terület majdnem 25 millió forinttal növeli a GDP-t évente.



13.ábra Területhasználat és környezetváltozás okozta GDP változás hatása

A tározó létesítése már önmagában jelentősen - kb. 3,5 millió forinttal – megnöveli a hektáronkénti GDP értéket a beruházási költségek és a folyamatosan felmerülő fenntartási kiadások miatt, függetlenül a termőterület hasznosításától (13.ábra, baloldali 2 oszlop). A teljes területre vetítve 42-45 millió forint növekményt jelent évente a GDP-ben. Az éghajaltváltozás hatására kialakuló forróbb és szárazabb nyarak természetesen csökkenést és gyakoribb aszályokat eredményeznek. Ezek eltérő mértékű, de közel fél millió forint GDP csökkenést eredményeznek évente, ahogy a középső 3 negatív irányú mutató oszlopon is látszik a fenti ábrán. A növekedés, illetve csökkenés mértéke a százalékos formában is kifejezhető, ezt mutatja a 14.ábra. A természet-alapú tározó létesítése önmagában érezhető növekedést eredményez és ez évtizedeken keresztül fennálló. A természet-alapú megoldások nem csupán többlet GDP-t eredményeznek, de az elvesztegetett hasznokat is minimalizálni képesek, ahogy az aszályos időszakokat áthidalják és folyamatos öntözést tesznek lehetővé. Referenciaként az öntözés nélküli régebben telepített szőlő terméshozama került

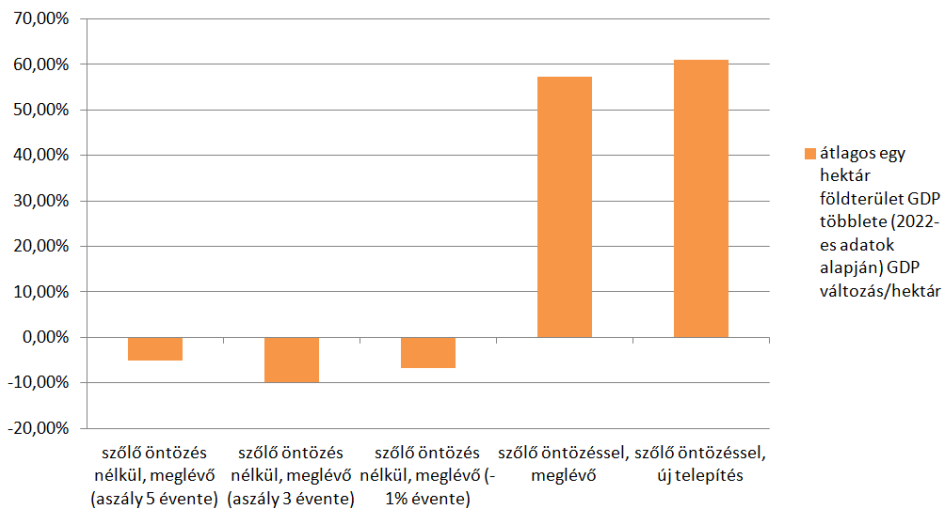
kiválasztásra. Az öntözőrendszerek és különösen a természet-alapú megoldások kb. 3,5%-os GDP növekedést jelentenek minden alkalmazott hektáron.



14.ábra Területhasználat és környezetváltozás okozta GDP változás hatása százalékban

A gondozás, és/vagy az öntözés nélküli növénytermesztés jelentős kihívásokkal néz szembe, ami a GDP értékeken is kiválóan látszik. Az éghajlatváltozás hatására bekövetkező negatív aszályossági trendek eredményeként egy kiválasztott terület pénzügyileg meghatározható mértékű visszaesést kénytelen elszenvedni. A GDP csökkenés mértéke kb. fél százalék.

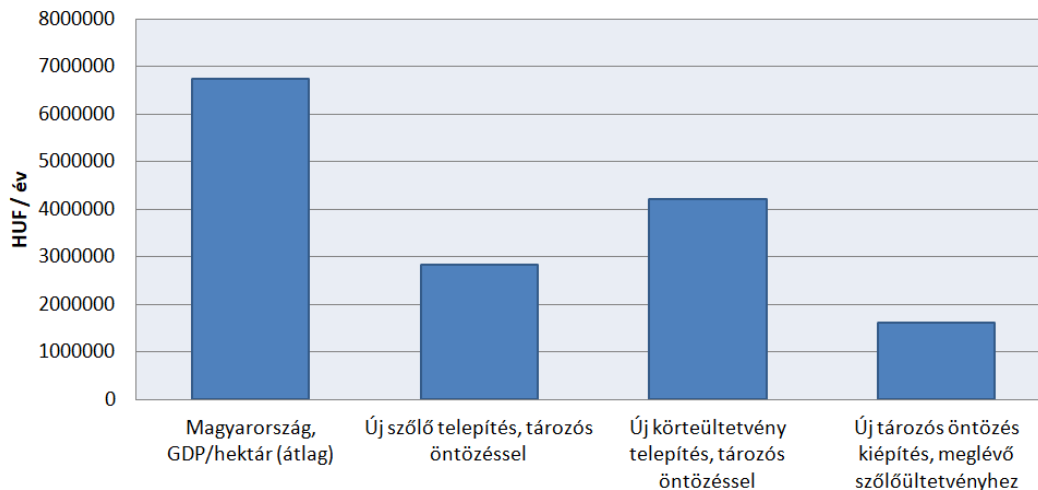
A természet-alapú megoldás létesítésének hatását és így a hektáronkénti GDP változást a 15.ábra szemlélteti. Amennyiben egy átlagos hektár 5,94 millió forinttal járul hozzá a hazai össztermékhez, az öntözéssel támogatott szőlőterületek 3,5 millió forint többletbevételt eredményeznek hektáronként. A kettő aránya kb. 60%, amely tetemes hozzáadott érték növekedésnek felel meg. A várható aszálykárok negatív hatásai ugyanakkor akár 10%-kal is képesek csökkenteni az átlagos hektáronkénti GDP értéket.



15.ábra Terület- és környezethasználat változás okozta GDP hatás százalékban

Az éghajlatváltozásra való felkészülés és a negatív hatásainak mérséklése az elkövetkező évtizedek kiemelt jelentőségű feladatai közé tartozik. A megváltozó csapadékviszonyok

szükségessé teszik a természet-alapú megoldások alkalmazását, hogy a megfelelő öntözéshez szükséges vízkészletek a száraz nyári hónapokban is rendelkezésre álljanak. Ezen infrastruktúrák létesítése jelentős GDP növekedést eredményez, miközben a gazdálkodó, a felmerülő többlet költségek ellenére is, köszönhetően az öntözés hatására megnövekedett bevételeknek, növekvő nyereséggel számolhat. A fejlesztendő területen évente egy hajszállal kevesebb mint 5 millió forint tiszta haszon érhető el a tározó építési és fenntartási költségeinek felmerülése ellenére is. Ugyanakkor az öntözéssel elérhető terméshozam növekedés más fajok esetén is fennáll. Szőlő helyett körte telepítéssel is jelentős hozzáadott érték bővülést lehet megvalósítani, ahogy azt a 16. ábra mutatja.



16. ábra Különböző vegetációk hatása a hektár alapú GDP érték alapján

Fontos azonban szem előtt tartani, hogy a növényzet kiválasztása esetén az őshonos, a terület mikroklímáján magát otthonosan érző fajták választása lenne az ideális, hogy a dombvidéki vízgyűjtőn a vízkészletek ne kerüljenek túlzott mértékben visszatartásra. Ez a természetes vízkörforgás és más érintettek (pl. turizmus, horgászat stb.) számára is elfogadható és kompromisszumosan támogatható. A stakeholderok együttműködése a vízgyűjtőn belül kulcsfontosságú.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A közlekedési infrastruktúrák fejlesztésével, a turizmus fellendülésével, valamint a tóparti településekre irányuló betelepülések hatására a tájkép és a tájhasználat erősen módosult az elmúlt évtizedekben a Velencei-tónál. Az éghajlatváltozás hatására a csapadékjelenségek megváltoztak, gyakoribbá váltak a rövid ideig tartó heves esőzések és a hosszabb ideig tartó száraz időszakok. Ezek jelentős hatással voltak a lefolyási és beszivárgási jellemzőkre. A természet-alapú megoldások létesítésével hatékony és fenntartható módon lehet a megváltozott környezeti és a megnövekedett vízigényeket kielégíteni. Az érintettek széleskörű kooperációjával, a települések bel- és külterületi részein megfogalmazódott gazdálkodási és termelői vízigények egyaránt profitábilisan biztosíthatók. A jól megválasztott területhasználat egy megfelelő természet-alapú infrastruktúrával olyan win-win fejlesztést eredményez, amelyben mindegyik fél hasznossága növekszik, azaz Pareto-hatékony. A Velencei-tó vízszintje

az elmúlt évben rekord alacsony szintet ért el, a vízgyűjtő sérülékeny. Mivel a pótlási beavatkozások ellenére a vízszint nem tudott visszatérni még az alsó szabályozási szint fölé, ezért az azon történő beavatkozások esetén szükséges az integrált modellezés és hatásvizsgálat, hogy a jövőbeni nagyobb problémák megelőzhetőek legyenek.

6. IRODALOM

L. Balatonyi, G. Reich, B. Jancsó, Z. Nagy, K. Buzás and L. Tóth, "Fenntartható települési vízgazdálkodás, jövőkép a települések részére", *Belügyi Szemle*, vol. 69, no. 12, pp. 2189–2207, 2021.

T. Bouman, M. Verschoor, C. J. Albers, G. Böhm, S. D. Fisher, W. Poortinga, L. Whitmarsh, L. Steg, „When worry about climate change leads to climate action: How values, worry and personal responsibility relate to various climate actions”, *Global Environmental Change*, vol. 62, 2020, Paper 102061, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102061.

J. Deely, S. Hynes, J. Barquín, D. Burgess, G. Finney, A. Silió, J. M. Álvarez-Martínez, D. Bailly, and J. Ballé-Béganton, "Barrier identification framework for the implementation of blue and green infrastructures," *Land Use Policy*, vol. 99, 2020, Paper no. 105108.

EC, "The EU strategy on green infrastructure", European Commission, 2013, http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/strategy/index_en.htm

EC, „Climate Action: Consequences of Climate Change”, European Commission, 2022. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en

EPA, „Benefits of Green Infrastructure” United States Environmental Protection Agency, 2023, <https://www.epa.gov/green-infrastructure/benefits-green-infrastructure>

P. Galambos, "A települési vízgazdálkodás és a körkörös gazdaság", *Hidrológiai Közlöny*, vol. 101, no. 3, pp. 40–46, 2021.

J. Jia, X. Zhang, „A human-scale investigation into economic benefits of urban green and blue infrastructure based on big data and machine learning: A case study of Wuhan”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 316(2), 2021, Paper 128321, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128321

N. Kabisch, N. Frantzeskaki, S. Pauleit, S. Naumann, M. Davis, M. Artmann, D. Haase, S. Knapp, H. Korn, J. Stadler, K. Zaunberger, and A. Bonn, "Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action," *Ecology and Society*, vol. 21, no. 2, 2016, Paper no. 39, doi: 10.5751/ES-08373-210239

A. Kálmán, K. Bene, „Impact of nature-based solutions on the water balance of Lake Velence”, *Hydro-Carpath-2022, Hydrology Of The Carpathian Basin*, 2022, Abstracts and Posters of the Conference

KDTVIZIG, Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, www.kdtvizig.hu

KDTVIZIG, "A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV, 1-14. jelű, Velencei-tó vízgyűjtő", Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, 2009.

KDTVIZIG, "A Velencei-tó 2021. évi vízmérlege", Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Székesfehérvár, 2022.

KSH, Központi Statisztikai Hivatal, www.ksh.hu

NIF, Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt., www.nif.hu

NWRM, „Natural Water Retention Measures”, European Commission, 2019, www.nwrm.eu

OVF, Országos Vízügyi Főigazgatóság, www.ovf.hu

L. J. Pearson, A. Coggan, W. Proctor, and T. F. Smith, "A sustainable decision support framework for urban water management," *Water Resource Management*, vol. 24, pp. 363–376, 2010.

Velence-tavi munkacsoport jelentés (2022): Javaslat a Velencei-tó fenntartható vízpótlására; *Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány* 2022; www.kekbolygoalapitvany.hu

VIZUGY, „A Velencei-tó természetföldrajza”, Országos Vízügyi Főigazgatóság, www.vizugy.hu

I. M. Voskamp, C. de Luca, M. B. Polo-Ballinas, H. Hulsman and R. Brotsma, “Nature-based solutions tools for planning urban climate adaptation: State of the art,” *Sustainability*, vol. 13, no. 2, 2021, Paper no. 6381.

S. R. Weiskopf, M. A. Rubenstein, L. G. Crozier, S. Gaichas, R. Griffis, J. E. Halofsky, K. J.W. Hyde, T. L. Morelli, J. T. Morisette, R. C. Muñoz, A. J. Pershing, D. L. Peterson, R. Poudel, M. D. Staudinger, A. E. Sutton-Grier, L. Thompson, J. Vose, J. F. Weltzin, K. P. Whyte, „Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States”, *Science of The Total Environment*, vol. 733, 2020, Paper 137782, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137782