

KÉK-ZÖLD INFRASTRUKTÚRA, AVAGY EGY KOOPERATÍV, POZITÍV ÖSSZEGŰ JÁTÉK

Kálmán Attila

Multidiszciplináris Doktori Iskola,
Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék
Széchenyi István Egyetem

Absztrakt

Az utóbbi években a klímaváltozás egyre konkrétabb hatását érzékeli a társadalom, és a közvéleményt jelenleg már annak súlyossága, a már észlelhető és jövőben várható további változások mértékei foglalkoztatják. A csapadékvíz-jelenségek kedvezőtlen változásai már nem csak a mezőgazdasági területeket sújtják, hanem a dombvidéki, erdős kistelepüléseket is. Nadap a Velencei-tó északi, dombvidéki vízgyűjtő területén elhelyezkedő település, az egyik szintezési alapponttal, ugyanakkor csökkenő talajvízszinttel és egyre több özvízszerű csapadékvíz elmosás okozta kárral. A településen a felmerülő problémák megoldására egy természet-közeli kék-zöld infrastruktúrán alapuló integrált vízgazdálkodási modell keretében vizsgálatra kerül a csapadékvíz átgondolt és fenntartható elvezetésének hatása a környezetre, továbbá a társadalmi és a gazdasági jólétre. Az elemzés érinti a döntéshozatal befolyásoló szempontokat, amely az integrált modell része, továbbá a szimulációk eredményeit és a csapadékvíz ösztársadalmi, települési szinten vizsgált Pareto-hatékonyságát.

A meglévő települési környezetet, a klímaváltozás okozta hatások és az ezekre adott válaszok miatt már interdiszciplináris keretek közt szükséges vizsgálni, így nem elegendő a csapadékvíz elvezetést és a csapadékvíz gazdálkodást kizárólag a mérnöki tudományok keretein belül vizsgálni. A kutatás kiterjed a társadalmi és gazdasági hatásokra és hasznosságra is és ezek integrálja a megvalósítható műszaki megoldásokkal.

Kulcsszavak

kék-zöld infrastruktúra, természet-alapú megoldások, klímaváltozás, csapadékvíz, fenntarthatóság, Pareto-hatékonyság, alternatív költség, externáliák internalizálása

1. BEVEZETÉS

Már az elmúlt években is egyre nagyobb hangot kapott a klímaváltozás és annak megannyi pozitív és főként negatív következménye és várhatóan a következő években, évtizedekben a klímaváltozás negatív hatásai tovább növekednek. Ezt támasztják alá, hogy a vízzel kapcsolatos kutatások az Európai Unió fejlesztési projektjeiben kiemelt prioritást élveznek, a klímaváltozás hatásainak mérséklésére, valamint a változó éghajlati viszonyokhoz való alkalmazkodásra adandó megoldás kereséssel. Ezen fejlesztések során kiemelten fontos szempont a fenntarthatóság és a karbon-semlegesség, hogy a Föld a jövő generációi számára is élhető maradjon. Az ivóvíz a létezés, az emberi élet alapja, továbbá a gazdálkodáshoz, a természetes környezet megóvásához elengedhetetlen a megfelelő mennyiségű és minőségű víz rendelkezésre állása. A korábbi évek vízbősége számos földrajzi térségben már érezhetően elkezdett csökkenni és a mostani scenáriók azt vetítik előre, hogy idővel az aszályal és annak megannyi negatív hatásával érintett területek nagysága növekedni fog. A változó klíma az épített lakókörnyezetre is egyre nagyobb terheket ró az extrém hóhullámokkal és villámárvizekkel, amelyekre a vízkészletek átgondolt allokálásával megfelelő válaszokat lehet adni, ezért az átgondolt vízstratégia kiemelten fontos. Nem mellékesen a felszíni vízkészletek jelentős szén-dioxid elnyelők, amely – számos ökológiai és éghajlati pozitív hatása mellett – a karbon-semlegesség eléréséhez is nagyban hozzájárulnak. (*Széchenyi Egyetem Insula projekt 2022*)

Nemzetközi szinten megfigyelhető már, hogy a városok fokozatosan fejlődnek a kizárólag szürke infrastruktúra rendszerekből a decentralizált kék-zöld infrastruktúra létesítmények felé és egyre nagyobb arányban használják a felszíni vizek helyben történő visszatartását, hogy

csökkentsék a klímaváltozás negatív hatásait. A városok vízgazdálkodásának ezt az alapvető változását az egyre gyakoribb és szélsőségesebb esőzések, a szárazabb nyarak, a gyorsuló urbanizáció, valamint a nyilvános zöldterületek csökkenése okozza, ami olyan vízügyi kihívásokhoz vezet, mint az áradások, a vízhiány, a talajvíz túlzott kiaknázása, a vízszennyezés, a nem megfelelő vízelvezető rendszerek és az esővízforrások pazarlása (O'Donnell 2021). A településeknek a villámárvizek évről-évre egyre nagyobb problémát okoznak és ennek következtében az el- és kimosások, valamint az árvíz károk folyamatosan növekvő költséget jelentenek a településeknek.

Hagyományosan a városi vízi közművek tervezése felülről lefelé történő műszaki megoldásokkal dominált ellátás-gazdálkodás keretében történik (Hall 2007). Ez a fajta tervezési megközelítés alapvetően a víz mennyiségére és minőségére fókuszál (Pearson 2009), miközben a társadalmi szerepvállalás hiányzik a döntéshozatalból. Ezzel szemben, a jelenlegi döntéstámogató módszerek – különös tekintettel a természet-alapú megoldásokat alkalmazó módszerek – a társadalmi szerepvállalásra és a tanulásra nagy hangsúlyt fektetnek, hogy fenntartható döntéstámogatás keretében fejlődjön a városi vízgazdálkodás (Lai 2009, Hellstrom 2000). Az új megközelítés fontos részét képezik a társadalmi szerepvállalás, a tanulási folyamatok és a fenntarthatóság. Ehhez elengedhetetlen a társadalom bevonása a döntéstámogatás folyamatába, ami valójában a legnagyobb nehézséget és kihívást is jelenti (Marks and Zadoroznyj 2005). A döntési folyamatba való társadalmi bevonás elősegíti a lehető legjobb, úgynevezett Pareto-optimális megoldás megtalálását (Samuelson 2012, Castro 2021), hiszen mindenki részt vehet az őt kisebb-nagyobb szempontból érintő beruházás formálásában. Részben megoldatlan problémaként jelentkezik a társadalom bevonásának folyamata a döntéshozatalba, az érintettek és érdekelték igényeinek tudatos összegyűjtése és integrációja még várat magára. Ahogy a felmerülő konfliktusok átfogó feltérképezése és kezelése, hogy ezek feloldásra kerülhessenek

A kék-zöld infrastruktúrák átgondolt és megfelelő alkalmazása nagyon sok településen (és akár településen kívüli területen is) megoldást jelenthet a klímaváltozás okozta megváltozott és az ember számára nehezen tolerálható problémákra. Ennek megfelelően egyre nő az igény a kék-zöld infrastruktúrák szélesebb körben történő megismerésére és alkalmazására.

2. KUTATÁSI TERÜLET, AKADÁLYOK

A klímaváltozás negatív hatásai a Velencei-tóban és annak vonzáskörzetében is tetten érhetők. A természet-alapú megoldások, a kék-zöld infrastruktúrák az alapvető vízviszatarítási feladatokon túl számos további környezeti, gazdasági és társadalmi hasznokat nyújtanak és jelentősen csökkentik a települések klímaváltozás okán kialakuló sérülékenységet és növeli azok ellenálló képességét (Haase 2014).

A tanulási folyamat egy fontos része a természet-alapú megoldások térnyerésének, éppen ezért elengedhetetlen, hogy a már megvalósult megoldások, a sikeres projektek eredményei és tapasztalatai megosztásra kerüljenek (Kabisch 2016). A közös döntéshozatali folyamat pozitív hozadéka, hogy a természet-alapú megoldások, mint multifunkcionális természeti tőke jelenik meg a döntéshozatalban, hiszen nem csak vízviszatarító, hanem környezet- és társadalom javító feladatuk is van és elősegítik a természeti tőke csökkenési probléma megoldását a versengő földhasználat és népességnövekedés mellett (Ghofrani 2020). A természet-alapú vízviszatarító tavak jótékony hatással vannak a lakók kényelemérzetére és kapcsolódási lehetőségeire, továbbá esztétikai, jóléti, tanulási értékekkel bírnak és növelik a biodiverzitást (Lamond 2019).

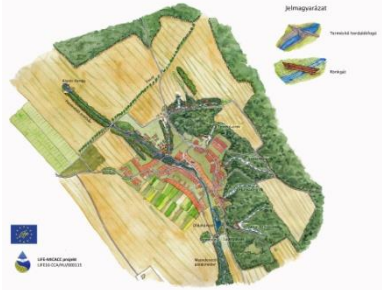
2.1 Természet-alapú megoldások ismerete és szabályozási hiánya

Egyre fontosabbá válik az integrált várostervezés és a települési vízgazdálkodás összekapcsolásával a vízerzékeny (fenntartható és ökológikus) várostervezés kialakítása. Az elmúlt néhány évtizedben az éghajlatváltozással párosuló gyors városiasodás új kihívások elé állította a települések lakosságát, a tervezőket és a döntéshozókat egyaránt. A települési vízrendszerek – az ivóvízellátás, a szennyvíztisztítás, az ipari víz szolgáltatása, a csapadékvíz gazdálkodás és belterületi vízrendezés – üzemeltetése és tervezése megköveteli a hagyományos rendszerek és tervezési módok újragondolását. (Galambos 2021).

Hazai tapasztalat egyelőre még viszonylag kevés van, bár szerencsére akad már néhány átfogó megoldás pl. Bátya, Püspökszilágy, Rákócziújfalú stb. (1-3. ábrák), ahol megjelennek különféle természet-alapú megoldások, és amelyek mintaként szolgálhatnak más jövőbeni projektek megvalósításához (BM, LIFE-MICACC). A társadalmi szerepvállalás, a társadalom bevonásának súlya egyértelműen azonosítható e projektek sikereivel és megállapítást nyert, hogy más helyszíneken, a jövőbeni projektekénél is kiemelten fontos szempont.



1. ábra – Bátya



2. ábra – Püspökszilágy



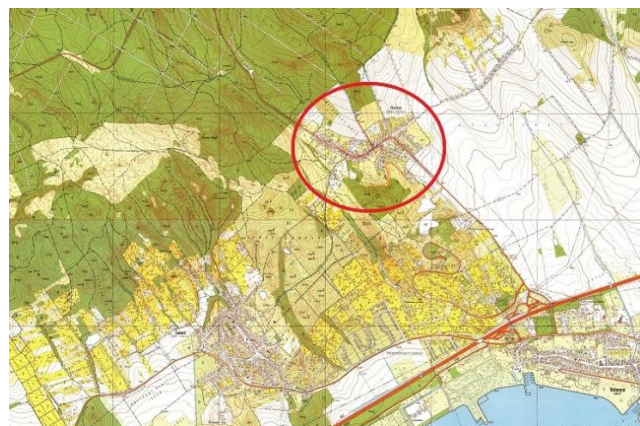
3. ábra – Rákócziújfalú

forrás: <https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/>

Az önkormányzatok számára szükséges a megfelelő források megtalálása, mert a klímaváltozás nem állt meg, az alkalmazkodást segítő, valamint a fenntarthatóságot biztosító fejlesztéseket el kell végezni. A Covid okozta bevétel kiesés miatt az önkormányzatok alapvetően anyagi erőforrás szűkében vannak, amelyre megoldás lehetnek a LIFE-MICACC projektek, vagy a TOP-PLUSZ hazai forrású projektek. Mint olyan, a kék gazdaság létrehozásának kulcseleme a vízszektor, mely az integrált digitális vízgazdálkodás segítségével támogatja az ikerátmenetet, azaz a zöld és digitális egyidejű kettős átállást (Ilcsik 2021).

2.2 Nadap és térsége

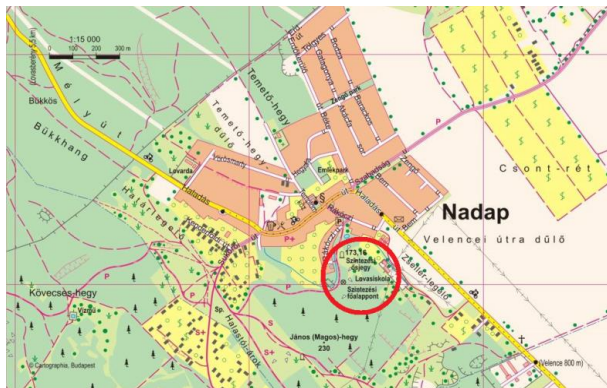
A Velencei-tó vízgyűjtő területének egyik dombvidéki kistelepülése Nadap, ahol szintén azonosíthatók a klímaváltozás negatív hatásai: a melegebb évi átlaghőmérséklet, a több csapadékmentes nap, valamint az aszályosság és az intenzívebb csapadékesemények. A nadapi (és sok további hegyvidéki) részvízgyűjtő terület ismerete, illetve a lakosság éghajlat-változáshoz való alkalmazkodási hajlandósága elengedhetetlen a



4. ábra – Nadap elhelyezkedése

hosszú távú, fenntartható vízháztartás és vízgazdálkodás folyamatok megértéséhez. Nadap a Velencei-hegység délkeleti részén található, Velencétől és a Velencei-tótól északra fekszik kb.

2 km-re (4. ábra) a Meleg-hegy lábánál, a Templom-hegy (320m) és Gécsi-hegy (242m) közötti nyeregben. Tengerszint feletti magassága 202 m, amely a környéken és a tóparti települések között a legmagasabb és kb. 100 méterrel van a Velencei-tó vízszintje felett. A település nagy része lejtős, erősen lejtős terület 5-18% közötti lejtéssel, átlagos esés kb. 10%. A belterület több vízgyűjtő területén 12%-os esést meghaladó mértékkel (B1, BÉ1, H3, R2, R3, R4 térképi azonosítóval). A kis településméret ellenére a legmagasabb és legalacsonyabb belterületi pontok között több mint 80 méter a szintkülönbség. Geológiai szempontból stabil terület, az alaplemez javarészt a földtörténeti óidőben keletkezett, ennek köszönhetően hazánk legidősebb



5. ábra – Nadapi Ősjegek [nadap.hu]

hegysége. Anyagát tekintve főként vulkáni, mélységi magmás kőzet és gránit alkotja. A szilárd röghegység biztosította stabil alaplemez miatt Nadapon került kijelölésre a 2 ősalappont, azaz az Országos Szintezési Főalappont. Ez az úgynevezett Nadapi Ősjeget (5. ábra), amely az Adriai-tengerhez és a Balti-tengerhez viszonyított magasságokat is jelöli és kb. 174m tengerszint feletti magasságon található.

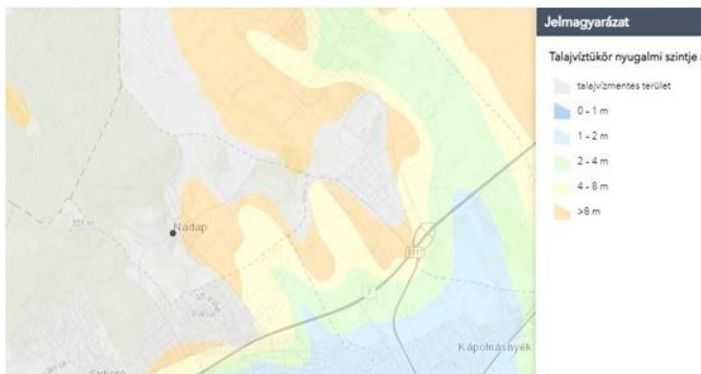
Nadap népessége az utóbbi 7 évben kb. 40%-kal növekedett, míg 2015-ben még csupán 541 fő lakott itt életvitelszerűen, addig jelenleg már 756 fő. A népesség magas végzettségű, átlag feletti keresettel, valamint családonként 2-3 kiskorú gyermekkel. A településen a 18 év alattiak aránya országosan kimagasló. Az erőteljes népesség növekedés magával hozta a meglévő infrastruktúrák kapacitásainak korlátait. A nagy hálózatos közművek, mint amilyen az ivóvízellátás, illetve a villamos energia szolgáltatás is erősen túlterheltek. Előbbi keresztmetszet és nyomás problémákkal szembesül – a jelentős hidrosztatikai magasságkülönbségek ellenére –, míg a villamos energia hálózatban a napelemes telepítés miatti felharmonikusok okoznak nehézségeket.

Az éghajlatváltozás érezhetően negatív hatással van a település életére. A ritkuló, de egyre intenzívebb csapadék események jelentős terheket rónak a meglévő csapadékvíz elvezető csatornákra, illetve a nem létező árkokra és így növekvő károkat okoznak az épített környezetben, valamint a lakók és közösségi értékekben. A megváltozó településképi infrastruktúra, az újonnan épülő házak, az ezekről az utcára kivezetett ereszvizek, valamint a beállókon kialakított növekvő díszkő felületek együttesen tovább rontják a helyzetet, jelentős mennyiségű többletvíz jelentenek az amúgy is megnövekedett intenzitású csapadékvizek mellett az utcai elfolyókban. Pontosabban egyes utcákban nincsenek vízelvezető rendszerek, míg másutt nagyon szűkös a kapacitásuk. Egy látványos példa a Hegyalja út (6. ábra), amely korábban évekig jól ellátta feladatát, de – a döngölt, hengerelt, megerősített burkolat ellenére – az utóbbi években már néhány havonta válna szükségessé a javítása.



6. ábra – Hegyalja út eső előtt (bal) és eső után (jobb)

A településen a meglévő fűt kutak vízhozamai és vízszintje alapján megállapítható, hogy a talajvízszint évek óta csökken a területen. (Velence-tavi munkacsoport jelentés, 2022 és Nadap Polgármesteri Hivatal) Továbbá a terület talajvízmentes terület, amelyet a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (7. ábra) vonatkozó térképe is alátámaszt. Nadap déli, dél-keleti részén a talajvíztükör nyugalmi szintje a felszín alatt 4-8 méter között található. A talajvízmentes terület felé haladva a felszín alatti víz szintje csökken és egy átmeneti zónát követően, a talajvíztükör nyugalmi szintje 8 méternél mélyebben található a felszín alatt.



7. ábra – Talajvíztükör felszín alatti szintje (MBFSZ)

A vizsgált terület a Vízyűjtő-gazdálkodási Tervben meghatározott felszín alatti víztestek közül a h.1.9 kóddal ellátott hegyvidéki víztesthez tartozik. A felszín alatti víztestek mennyiségi és kémiai állapotának vizsgálata során a h.1.9 víztest mindkét esetben jó minősítést ért el (*Nadap VGT3 2021*). Nadap dombvidéki elhelyezkedése következtében a területre jellemzőek a 10% feletti esések, ezért a csapadékvíz nagyobb kárt és költséget jelent mind az önkormányzatnak, mind a helyi lakosoknak.

2.3 Új értékelési lehetőségek

A szürke infrastruktúrák értékelése általában diszkontált jelenérték számítással történt, a benttárgy kivitelezési költségét és a várható élettartamot figyelembe véve, amelyre számtalan tapasztalat és sok évtizedes gyakorlat áll rendelkezésre. A kék-zöld infrastruktúrák bevezetése során a módszer hiányosnak bizonyul, hiszen a kivitelezési és különösen a fenntartási költségek meghatározás sem egyértelmű, ahogy az élettartam sem. Továbbá a kék-zöld megoldások nem is rögtön az első pillanattól érik el hatékonyságukat, hanem lehet csak évekkel később, pl. egy tavas-fás élőhely ökoszisztémájának kialakulása, a növényzet kellő nagyságúra csepe-

redése hosszú évekig is eltarthat. Ezen túl pedig ott vannak a nagyon nehezen számszerűsíthető hatások – vagy inkább hatások elmaradásának „ára” –, mint például a kellemesebb környezet, a rekreációs lehetőségek, a jobb levegő, a kisebb hősziget hatás, a klímaváltozás negatív hatásainak növekedése és így tovább. A hagyományos értékelési módszerek ezekkel nem számolnak, holott a természet-alapú megoldások sok esetben nem, illetve nem csak csapadékvíz megtartásra létesülnek, sokkal inkább integrált vízvisszatartó és környezetjavító céllal, a fenntarthatóság szempontjából.

Hosszú évtizedeken keresztül a jelenérték, illetve a nettó jelenérték jelentették a beruházási döntések megfelelő alapját. Az erőforrások korlátlanul rendelkezésre álltak, a döntéshozók monopolisztikus pozícióban voltak. A változó éghajlati viszonyok és a növekvő népességszám okán a tisztavíz korlátos jószággá vált. A természet-alapú megoldások értékelésekor pedig a korábbi jelenérték számítások számos fontos paramétert figyelmen kívül hagynak.

2.3.1 Alternatív költség

A természet-alapú megoldások tervezésénél, létesítésénél és rövid-, közép-, hosszú távú hasznosságánál az egyik legfontosabb és jelenleg legnehezebben meghatározható jellemző annak értéke. Például egy vízvisszatartó kék-zöld infrastruktúra, egy csapadékvíz megtartó tó esetében felmerül a kérdés, hogy létesítésre kerüljön-e egyáltalán az a tó vagy sem. A vízmegtartás és egyenlőtlen csapadékeloszlás szempontjából hasznosnak tűnik, ugyanakkor már kisszámú érdekelt esetében is számtalan panasz érkezik egy ilyen felvetésre. Ha rendelkezésre áll valamekkora pénzügyi forrás, akkor ebben az esetben, a megfelelő döntés meghozatala érdekében mérlegelni szükséges, hogy a csapadékvíz szürke infrastruktúrákban elvezetésre, esetleg tárolásra kerüljön, vagy valamilyen természet-alapú, összetett, kék-zöld infrastruktúrákat magában foglaló megoldás szülessen kezelésére. A döntés ára az elvesztett lehetőség, azaz az alternatív költség, amely megmutatja, hogy az alternatívák legjobbjának, jelen esetben a meg nem valósított másik megoldásnak milyen értéke lenne.

Tökéletes piaci verseny esetében és minden információ birtokában a beruházás haszna, illetve az alternatív költség(ek) könnyen számíthatók. Erre – a gyakorlatban gyakran alkalmazott – megoldás egy diszkontált cash-flow (DCF) és/vagy egy nettó jelenérték (NPV) számítás. Ez mindaddig működik, míg a vizsgálandó tényezők jól számszerűsíthetők, a hatások könnyen beazonosíthatók, és míg a döntéshozók, az érdekeltek, az érintettek teljes körű – vagy közel teljes körű – információval rendelkeznek. A kék-zöld infrastruktúra beruházásoknál ez a helyzet messze nem áll fenn, hiszen míg egy szürke infrastruktúra beruházásnál az érték-számítás, a megtérülés, a bevételek és/vagy a tényleges építési+üzemeltetési költségek diszkontált jelenértékével meghatározható (legalábbis ez a bevett gyakorlat), addig a természet-alapú megoldások beruházási függvénye számos további változót tartalmaz, mint például az életkörülményeket, fenntarthatóságot, károk mérséklését stb.

A hagyományos, szürke infrastruktúra beruházás DCF/NPV értékelő függvénye:

$$f_{sz} = f(\text{építési költségek, üzemeltetési költségek, bevételek})$$

Ezzel szemben a természet alapú megoldás beruházását értékelő függvény:

$$f_{kzi} = f(\text{építési ktg., üzemeltetési ktg., bevételek, társadalmi hasznok, életkörülmény változás, szárazság-aszály + hősziget-effektus csökkentés, elmaradó károk, fenntarthatóság, ökoszisztéma, mezőgazdasági és növénytermesztés hasznai, turizmus, rekreáció stb.})$$

Szemben a hagyományos szürke beruházásokkal, a kék-zöld fejlesztés függvénye számtalan változót tartalmaz, amelyek egy része nem független egymástól. Egy probléma megoldása során alkalmazásra kerülő szürke és kék-zöld infrastruktúra beruházás közötti döntésnél a természet-alapú változatnál a költségek a megvalósításhoz szükséges tényleges pénzügyi ráfordításokon túl azon alternatív költségeket is tartalmaznak, amely a szűkös, vagy idővel korlátos erőforrás elvesztéséből, jövőbeni hiányából származnak. Hiszen hiába egy szürke csapadékvíz elvezető rendszer, ha a szárazság és hősziget hatások miatt a lakosság elköltözik egy adott területről vagy akár településről és így a beruházásnak tényleges haszna már nem lesz. A kék-zöld és szürke infrastruktúrák közötti döntések esetében e hatásokat mindenképp mérlegelni szükséges. Piaci termékek esetében, versenyi körülmények között a beruházási költség körülbelül megegyezik az alternatív költséggel. Ezzel szemben nem piaci termékeknel, mint amilyen az ivóvíz, vagy a tiszta víz (de ilyen a tiszta levegő is, vagy az egészség is), ahol nincsenek tőzsdei (azaz a versenypiachoz hasonló) adás-vételi ügyletek, az alternatív költségek szerepe jelentősen megnő, hiszen ezek segítségével lehet megfelelő értékelésre jutni.

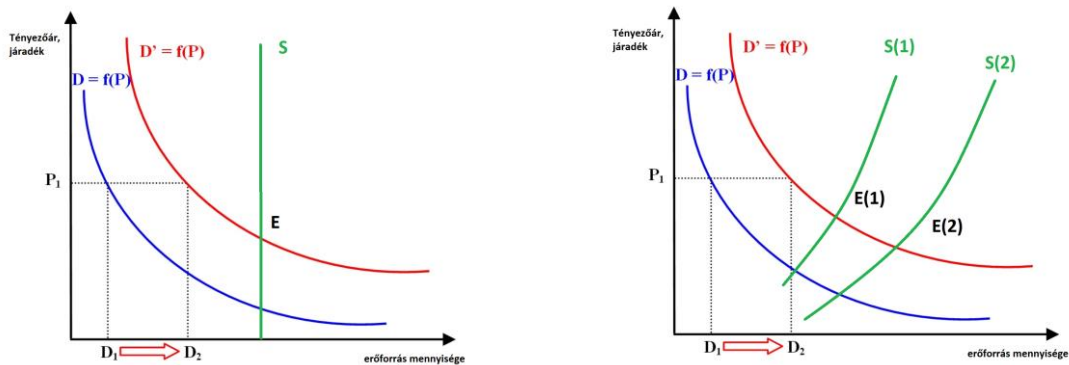
2.3.2 Kockázatkerülés

A kockázatkerülés, az ismeretlentől való félelem természetes emberi tulajdonság. Ez a hatás jelentős akadályozója a természet-alapú megoldások térnyerésének, hiszen azonos várható érték esetén a kisebb bizonytalanság választása preferált. Egy szürke, illetve egy kék-zöld csapadékvíz visszatartó tározó beruházási döntése esetében, várhatóan a már megtapasztalt betonból készült mellett teszik le voksukat az érintettek. A bizonytalanságtól való távolságtartáson túl a másik tényező a kék-zöld és a szürke infrastruktúrák azonos várható értékűnek tekintésében keresendő, ami egy téves megközelítés, ahogy az a 2.3.1 fejezetben már bemutatásra került. Az érintettek információhiánya, azaz a társadalmi „tudatlanság” miatt a természet-alapú megoldások más-más érdekelti-területen okozott többlet hasznai csökkenő határhasználtságúak, azaz a hasznok növekvő számasságával párhuzamosan az észlelt (betervezett) előnyök csökkennek. Minél több a pozitívum, annál kevésbé kerül figyelembevételre a döntés során az okozott „öröm”, így degradálódik a döntéshozatal során a kék-zöld megoldás és ezért szükséges az integrált döntéshozatal bevezetése.

Az államnak vagy önkormányzatnak, a szabályozói kényszer miatt egyfajta megoldást muszáj megvalósítania, de mint általában egyedüli tulajdonos és beruházó egy-egy természet-alapú megoldásnál nem kíván irreálisan magas kockázatot vállalni, ezért kerüli azt. Ugyanakkor ez a kockázat elfogadhatóvá tehető, amennyiben az megosztásra kerül és nem egy, hanem több érintett/érdekelt között megoszlik, és ez a nagyobb, szélesebb körű társadalmi szerepvállalás segítheti előremozdítani a kék-zöld infrastruktúrák elterjedését.

A tiszta víz kétféle megközelítésben vizsgálható: megújuló, illetve nem-megújuló, vagy 1. korlátlan, bőséges természeti erőforrás (technológiai alapú szemlélet), 2. korlátos, veszélyeztetett erőforrás (fenntarthatósági alapú szemlélet). Évtizedekig a víz hosszú távú korlátlanágát a technológia fejlődésében látták, ugyanakkor mostanra nemzetközi szinten is körvonalazódni látszik, hogy korlátos erőforrásról van szó és a hosszú távú elérhetőségét a fenntartható gazdálkodás biztosítja. (Samuelson 2012) Egy vízgazdálkodási szempontból mindennapi feladat a folyóvizek szennyezéstől való megóvása, azaz fenntartható, megújuló gazdálkodása. Az alábbi ábrák szemléltetik a víz kétféle rendelkezésre állását, a bal oldali ábrán látható a korlátlan mennyiségben elérhető víz kínálati függvénye, míg a jobb oldali ábra szemlélteti a jelenleg átalakuló vizet, mint korlátos erőforrást. A víz kínálati függvénye (S) és a fogyasztók keresleti

függvénye (D) közötti egyensúlyi pont az E. Adóztatás esetén az egyensúlyi mennyiség nem, csak a fogyasztók által fizetendő ár változik: D-D' az adó összege.



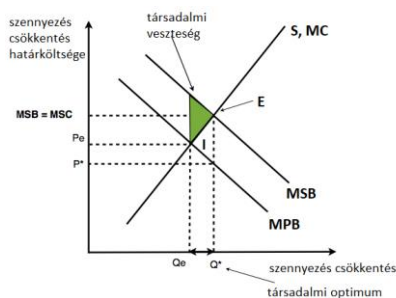
A víz korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre.

A víz korlátozott mennyiségben áll rendelkezésre.

8. ábra – A víz kínálati függvényének változása

2.3.3 Externáliák internalizálása

Az előző bekezdésben említett folyó példájánál maradva, könnyen belátható, hogy a tiszta vízben érdekeltek és az esetleges szennyezést okozó személye eltérhet, sőt, az esetek többségében el is tér egymástól. A tiszta vízhez mindenkinek joga van, az egy közjószág – bár annak költsége nem számszerűsített –, ugyanakkor a folyót szennyező ezt a jogot ellehetetlenítheti, vagy jelentősen megdrágíthatja. A folyó vizét használók szemszögéből, a folyó vizének szennyezése egy külső (gazdasági) hatás, azaz egy externália. A szennyezett folyóvíz gazdálkodásra, halászatra, turizmusra alkalmatlanná válhat. Ez egy negatív externália, különösen akkor, ha a szennyező nem is fizet a kártalanításért, hanem annak költségei a többi érintettre maradnak. (Kálmán 2000): A szennyezések éve – A tiszai ciánszennyezés, TDK) Amennyiben mégis elérhető, hogy a szennyező megtérítse a károkozás költségeit, akkor a költségek (és az externáliák) internalizálásáról van szó, ahogy azt az alábbi ábra is mutatja.



Jelölések:

- MSB – szennyezés csökkentés társadalmi határhaszna
- MPB – szennyezőnél keletkező egyéni határhaszon
- MPB' – szennyezőnél keletkező határhaszon bírság és/vagy szabályozás esetén
- MC – szennyezés csökkentés határköltsége
- I – egyensúlyi pont a szennyező szemszögéből
- E – a társadalom által vágyott egyensúlyi pont

9. ábra – Externália okozta veszteség, károkozóra terhelése

Általánosságban elmondható, hogy az állami szabályozás, illetve azok betartatása csökkenteni tudja ezeket a külső negatív hatásokat, ugyanakkor a kék-zöld infrastruktúrák térnyerésének szempontjából e szabályozások korlátokat jelenthetnek, ezért átgondolásuk, módosításuk szükséges lehet. Szerencsére léteznek pozitív externáliák is, amikor valamilyen esemény más érintetteknek előnyét szolgálja anélkül, hogy ez a hasznosság növekedés ráfordítással járna számukra (Varian 2012).

Nemzeti szinten sem könnyű az externáliák internalizálása, de nemzetközi szinten szinte lehetetlen, hiszen a természetben okozott károk, a környezeti veszteségek értékelése bonyolult. A

károk mértékének számszerűsítése, a jövőbeni hatások megbecslése meghaladja a lehetőségeket, mert egyfelől az érintettek sokfélék és nincs konkrét veszteség modell a különböző területekre, amelyeket összegezni lehetne. Másfelől, egy kérdőíves felméréssel a hatások értékelése pontatlan, időigényes és csak felületes, így megbízható eredményre nem vezetnek. Ugyanakkor egy pozitív példa a Kiotói egyezmény, ahol is sikerült kooperatív irányba elmozdulni és hosszú távon egy pozitív összegű megállapodást kötni.

A természet-alapú megoldások lokális szinten egy nagyon hasonló szisztéma szerint működő rendszer, csak ebben nem az országok, hanem a helyi érdekeltek megegyezése szükséges. Ennek főbb segítői a társadalmisítás, együtt gondolkodó közösségek, és a helyi közigazgatási szerv – általában az önkormányzat és a polgármester – nyitott, támogató hozzáállása. A kutatásban résztvevő Nadap Község Önkormányzata és a település lakossága ilyen.

2.3.4 Pareto hatékonyság, pozitív összegű játék

A közmű szolgáltató cégek, a csapadékvíz gazdálkodás, a kék-zöld infrastruktúrák kialakítása, működtetése jellemzően nem versenypiaci körülmények között történik, főként monopolisztikus vagy államilag erősen szabályozott feltételek között zajlik, ezért a Pareto optimum nem feltétlenül teljesül és valójában nem is teljesen elvárt. Akkor áll fenn Pareto hatékonyság, ha egyik érintett sem hozható jobb helyzetbe úgy, hogy közben egy másik érintett hasznossága ne csökkenne, azaz a társadalmi összhasznosság az egyéni érintettek hasznosságainak összegként számszerűsíthető. Mindezzel együtt, a vízgazdálkodás történhet Pareto elvek szerint, hiszen a hasznosság növelése, különösen a különböző érintettek egyidejű hasznosságának növelése pozitív folyamat. A társadalom, a vízgazdálkodással érintettek céljai egy irányba mutatnak és megfelelő tájékoztatással és érdemi kommunikációval összeegyeztethetők.

A társadalmi együtt gondolkodás, az érdekeltek közötti együttműködés a természet-alapú megoldások elterjedésének kulcsa. A döntési folyamatot legjobban a játékelmélethez ismert, többszemélyes (nem) kooperatív játékkal lehet leírni. A résztvevők száma több mint 2 és szerencsétlen esetben előfordulhat, hogy az érintettek közül senki, szerencsés esetben valamilyeni érintett koalícióba lép, amely lehetőséget biztosít a Pareto optimum eléréséhez. A döntési folyamatot tovább bonyolítja, hogy az összhasznosság nem állandó, a kék-zöld infrastruktúrák sokrétű függősége és az érintettek sokszínűsége miatt. Ugyanakkor pozitívum, hogy az érintettek között, akár tudtukon kívül is, részben összhang van, azaz nem teljesen érdektelenek (Szabó 2010 és Forgó 2005). A szereplők számának növekedésével, a költség és hasznossági mátrixok igény esetén akár N-dimenziós eseménytérre bővíthetők.

3. MÓDSZERTAN, FEJLESZTÉSI IGÉNYEK

Az anyagi lehetőségek szabta korlátoktól eltekintve, a kék-zöld infrastruktúrák térnyeréséhez alapvetően két szempontot szükséges megvizsgálni:

- a fejlesztési nyitottságot, azaz a természet-alapú megoldások támogatottságát, a döntést befolyásoló okokat, valamennyi érintett részvételével, beleértve a területi politikai és a szakmai döntéshozókat, valamint a helyi közösségek tagjait is (kék-zöld infrastruktúrák elfogadása és széles körű támogatása);
- a területen rendelkezésre álló csapadékvíz mennyiségét, illetve ennek összegyűjtési lehetőségeit és a különféle igényekkel való összehangolását, hogy a kialakításra kerülő kék-zöld megoldás mind műszaki szempontból, mind a társadalmi hatékonyság szempontjából a lehető legjobb, Pareto-optimális legyen (rendelkezésre álló vízmennyiség feltérképezése és hatékony szétosztása).

A társadalom támogató hozzáállása a nemzetközi kutatásokból és szakirodalmi forrásokból jól látható. Ez a megfelelő tájékoztatás – és együtt gondolkodás – könnyen elérhető különféle edukációs módszerekkel, valamint társadalmi és szakmai fórumokkal. Ez igazolást nyert idén tavasszal az Insula Magna komplex vízgazdálkodási és fenntartható fejlesztési program által szervezett 4 workshop kiértékelésében, amelyek során a különböző érdekeltek eltérő álláspontja sok esetben már rövid egyeztetést követően is egy irányba voltak terelhetők. A Velenicei-tó környéki települések polgármestereit megkeresve, egy kérdőíves felmérés készült a helyi vízgazdálkodással kapcsolatban.

A kérdőív egy integrált vízgazdálkodási döntéstámogató modell részét képezi és arra kereste a választ, hogy a településeken milyen vízzel kapcsolatos problémák, illetve fejlesztési igények merültek fel, továbbá hogy miként gondolkoznak az önkormányzati vezetők a természet-alapú megoldásokról. A kiküldött kérdőívek kb. 40%-a érkezett vissza online kitöltve, majd ezt követte a hiányzó települések vezetőinek személyes megkeresése. Egyes kérdésekben jelentős összhang tapasztalható a vizes válaszokban, amelyek megerősítik a nemzetközi klímaváltozási folyamatokat is.

A nadapi adottságok és igények felméréséhez a polgármesterrel folytatott interjúk nyújtottak segítséget, valamint a társadalom bevonásával lezajlott fórum is, amelyek során probléma és lehetőség térkép került felrajzolásra. A polgármesterrel készült mélyinterjúk elsődleges célja a jelenlegi vízgazdálkodás feltérképezése, a fennálló problémák és korlátok azonosítása és a különféle fejlesztési lehetőségek számbavétele volt. Az egyeztetések során a klímaváltozás várható települést érintő hatásainak elemzése, az erre adható természet-alapú megoldások nyújtotta lehetőségek és a településfejlesztési képbe illő kék-zöld infrastruktúrák azonosítása megtörtént. A főbb területek (10. ábra), amelyek alkalmasak lehetnek a természet-alapú megoldások befogadására, valamint azok lehetőségei:

- Haladás-Sukorói utak kereszteződése, kiszáradt „pozitív” kút újraélesztése (piros);
- Templom köz-Haladás útkereszteződés, csapadékvíz elvezetése (zöld);
- Szintezési ősjegynél természet-alapú rekreációs tó kialakítása (sárga);
- Hegyalja út vízvezető rendszer kiépítése (kék);
- Béke-Szabadság utak kereszteződése, csapadékvíz átvezetés megoldás (fehér);
- Pázmándi út melletti szántó, önkormányzati területen záportározó létesítése (pink);
- erdőszéli kiszáradt patakmeder revitalizációja (szürke);
- Csúcsos-hegyen lévő szőlők és kiskertek vízellátásának megoldása (lila)



10. ábra – érintett területek

Az utóbbi évek heves esőzéseinek és a növekvő lakosságszám együttes eredményeként, a Hegyalja út már önmagában most is évi közel egy milliós karbantartási terhet jelent az önkormányzatnak és még így is, éves szinten hónapig nehezen járható az út. Korábban, még akár 8-10 éve is, nem vagy csak nagyságrendekkel kisebb költséget jelentett. Egy átfogó csatorna-rendszer épp úgy megoldás lehet erre, mint egy többlépcsős, lokális, apró vízvisszatartó infrastruktúrákból álló rendszer.

A vízhozam megállapítása háromféle módszerrel történt:

- az elérhető digitális térképadatbázisok (e-közmű, CGIS, google maps) segítségével a terület részekre bontásával és manuális vízhozam számítással,

- a valós állapothoz közeli modell megalkotásával, amely az önkormányzatnál rendelkezésre álló közműtervekre és egy teljes körű helyszíni bejárásra épül,
- az EPA SWMM 5.2 szoftver segítségével.

A digitális adatbázisokból szintvonalas térkép készült az SWMM-hez, míg a helyszíni bejárások és a helyi közműtervek összefésülésével és az eltérések korigálásával a valós állapothoz hasonló csapadékvíz-elvezető hálózat készült. Nadap belterülete 24 zónára lett felosztva, amelyek közel homogén vízgyűjtő területnek számítanak.

A hiányos szürke infrastruktúra, a növekvő népességszám, az egyre szélsőségesebb időjárási és hevesebb csapadékjelenségek, az erősen lejtős területek okozta lefolyások, valamint a zárt-kertes és borászati fejlesztési igények mind a természet-alapú megoldások szükségességét és szélesebb körű alkalmazását vetítik előre.

A kék-zöld infrastruktúrák térnyerésének és megvalósításának lépései Nadapon (és más településen is) a következőképp alakulnak:

- döntéshozatali szempontok meghatározása;
- vezetőségi egyeztetések;
- társadalom bevonása a döntéshozatalba – kooperáció;
- szimulációk és megvalósíthatósági tanulmányok;
- kiterjesztett költség-haszonelemzés, alternatív költségek meghatározása;
- Pareto-optimalizálás és pozitív összegű (összes érintettre vetítve) döntés

A vizsgálatban két terület került kiválasztásra.

3.1 Nadapi vízfolyás



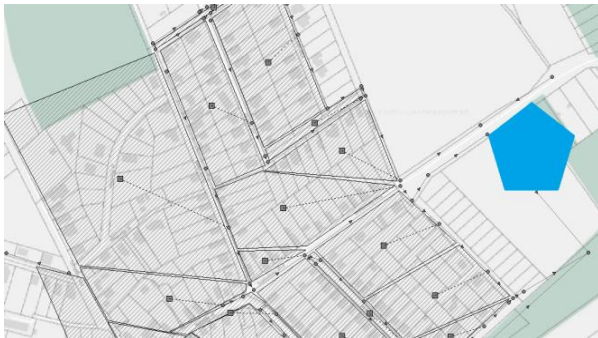
11. ábra – Nadapi vízfolyás revitalizáció

A belterületi vízgyűjtő terület két nagyobb részre osztható, a temető és a templom közötti elhelyezkedő kb. észak-dél irányú lokális gerinc a csapadékvíz kétfelé osztja. A gerinctől nyugatra lévő területről a lefolyás a Haladás út – Sukorói útélágazásnál a korábbi úgynevezett pozitív kúthoz (11. ábra, narancs négyszög), majd onnét részben az eltűnőben lévő patakba, az úgynevezett Nadapi vízfolyásba folyik (11. ábra, kék vonal), amelynek végpontja az ősjegynél található. A pozitív kúthoz korábban állatok jártak inni, mostanra benőtt a gaz és normál esetben már csak egy kiszáradt kút, amely az utóbbi évtizedek talajvízszint csökkenésének áldozatává vált.

A természet-alapú megoldások helyi alkalmazásának egyik célja az lenne, hogy a kiszáradt kút és a patakmeder revitalizálásra kerüljön és csapadékvíz-visszatartással az év egészében egy folyamatos vizes területet és életteret biztosítson. Az erdei élővilág széles diverzitását megőrizendő, valamint az ökológiai sokszínűséget javítandó fejlesztés lenne a meder vízzel feltöltése, valamint a két lokális végpontjában vízvisszatartó tavak létesítése (11. ábra, zöld háromszög az ősjegynél kialakítandó tavat jelöli).

3.2 Szántóföldi záportározó

A temető-templom tengelytől keletre elhelyezkedő vízgyűjtő egy erősen lejtős, heves lefo-



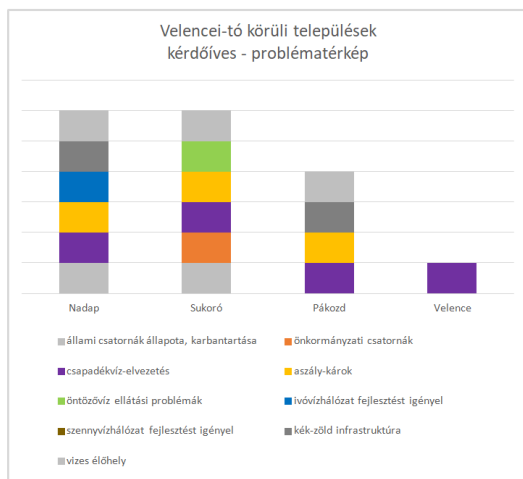
12. ábra – Öntöző tó létesítés

lyású terület, amely területen a mostani esőzések során gyakran a csatornákból kilépve hömpölyög a csapadékvíz. A lefolyó víz a szomszédos mezőgazdasági szántóhoz (12. ábra, kék ötszög) folyik, a számos hordalékával együtt, majd ott idővel elszikkad. A kialakítandó vízvisszatartó tó a jelenleg szabadon szétfolyó és ezért a mezőgazdasági területeket negatívan érintő csapadékvizeket rendezné, szabályozott keretek között tartaná, és egyben öntözési célokat is szolgálna. Nem elsősorban

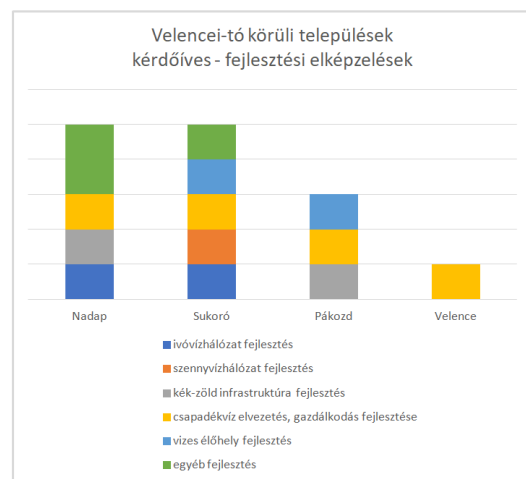
a mezőgazdasági területet látná el öntözővízzel, sokkal inkább a területtől észak, észak-keletre található Csúcsos-hegy oldalában az egyre több szőlőkertet és zárt kiskertet. A terület történetével foglalkozó kiadványban (Kupi 2021) is szerepel, hogy a korábbi évszázadokban jelentős – 100 ha-t meghaladó – szőlőterületek voltak fellelhetők a domboldalon, amelyek nagy része kihalt, ugyanakkor a helyiek igényeként jelenleg is megfogalmazásra kerül a szőlőbirtokok re-kultivációja és új területek kialakítása, illetve a meglévők bővítése. Mivel a terület hálózatos ivóvízzel nem rendelkezik, így jelenleg a természetre van bízva az öntözés.

4. EREDMÉNYEK

A mindennapi észlelésekkel összhangban vannak a települések vezetőinek percepciói és véleményei is. A kérdőíves válaszok alapján felvételre került egy problématérkép, 9 részterülettel (13. ábra) és egy fejlesztési elképzelés lista (14. ábra), 6 részterülettel.



13. ábra – Problématérkép



14. ábra – Fejlesztési lehetőségek

Az ábrákról jól leolvasható, hogy valamennyi településen – függetlenül annak méretétől és elhelyezkedésétől – problémaként jelentkezett a csapadékvíz-elvezetés. Szinte mindenhol megjelent az aszályosság és a vizes élőhelyek problematikája is, amelyek szintén a klímaváltozás jellegzetes velejárói. A települések vezetői által megfogalmazott fejlesztési igények is ezekhez kapcsolódnak, hiszen a csapadékvíz elvezetés, a csapadékvíz gazdálkodás (ami már a kék-zöld infrastruktúra része) minden megkérdezettnél szerepelt a válaszok között. A jövő erőforrás-, illetve vízgazdálkodásában ezek jelentős szempontot képviselnek.

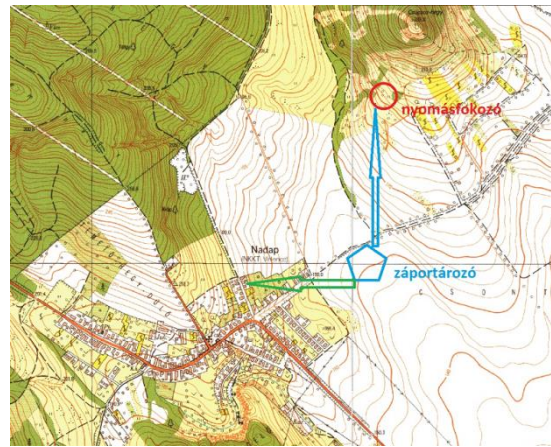
Nadapon a nem megfelelő csapadékvíz-elvezető hálózat jelentős károkat okoz mind az önkormányzatnak, mind a helyi lakosoknak. A meredek, lejtős területek és a villámárvizekhez csak súlyosbítják a negatív hatást. Ezek költsége és a helyreállításra fordítandó idő évről évre növekszik. A Hegyalja út egy kiváló példája a problémának. Az utóbbi években egy nagyságrendet nőtt az éves helyreállítási költség és már az 1 millió forintot súrolja az önkormányzat közvetlen kiadása, és még így sem naprakész, és nem is rendezett az utca burkolata. Az esőzések utáni helyreállításokhoz való lakossági és civil szervezeti hozzájárulások költségei pedig még ezen felül keletkeznek.

A csapadékvíz elvezetést teljes körűen megoldó csatornázási tervek elkészültek, jól átgondoltak, a meredek lejtős rész felső és alsó szakaszai két külön rendszerbe lennének gyűjtve. A beruházás költsége kb. 35 millió forint lenne, azaz látható, hogy egy 2%-os diszkontráta esetében is nagyjából 60 év alatt térülne meg a beruházás, ha a jelenlegi helyreállítási költségek nem változnának. Amennyiben a diszkontráta 3%, úgy a megtérülés meghaladja a 150 évet. Joggal merül fel a kérdés, hogy mi értelme a beruházásnak, hol van a gazdasági hasznossága? A pusztán nettó jelenértékű számítás, ahol a beruházási költség és a felújítási költségek idősora kerül összevetésre, számos alternatív költséget elrejt.

A fentiekben a csapadékvíz okozta felújítási költség nominális értelemben állandó volt, ugyanakkor ez az évek során a növekvő szolgáltatási díjak miatt bizonyára emelkedik. De ami még ennél is nagyobb korrekciót jelent, az a klímaváltozás szélsőségességének növekvő trendje, vagyis hogy a csapadék-események még hevesebbek lesznek, és ezek gyakrabban okoznak elmosást. Ezeket figyelembe véve (10%, 15%, 20%-os éves növekménnyel) és a korábbi 2%-os diszkontrátát alkalmazva, a megtérülési idő 25 év, 22 év, 20 év, az előzőekben kapott 60 évhez képest, azaz jelentős javulás. Ha ehhez még hozzávételre kerül a lakosság saját munkavégzésének költsége – amely évente 3 alkalmat, 4 főt és átlagosan 2 óra/fő/eseményt feltételezve – a munka alternatív költségével korrigálva a javítási munkálatokat (2% diszkontrátával és 10%-os, illetve 20%-os növekménnyel számolva), a megtérülési idő 18 év, illetve 12 év. A meg nem valósítás során felmerülő további alternatív költségekkel (gépjármű kár, személyi sérülés, ingatlan károk, önkormányzati kártérítés perek, hálózatos infrastruktúrák sérülése, gyorsuló negatív klimatikus hatások stb.) kiegészítve a beruházás megtérülési idejének vizsgálatát, elképzelhető, hogy már 6-8 éven belül gazdaságilag is a csapadékvíz-elvezető kiépítése jár kisebb ráfordítással, az élhető-település (livable city), a lakossági jó-közérzet (well-being) szempontokról nem is beszélve.

A települések vízgyűjtő területének ismerete, jellemzőinek feltérképezése, illetve a lakosság éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodási hajlandósága elengedhetetlen a hosszú távú, fenntartható vízháztartási és vízgazdálkodási folyamatok megértéséhez. Ilyen átfogó ismereteket igényel a Csúcsos-hegy vízellátásának vizsgálata és megoldási javaslatának megvalósíthatósági előtervezése. A Csúcsos-hegyen jelenleg nincs semmilyen vízi közmű, se kiépített vízi infrastruktúra. A helyi ivóvíz szolgáltató előzetes felmérése szerint a vízhálózat kiépítésének költsége meghaladná a 300 millió forintot. Ehhez pedig hozzájárulást szedne a lakóktól és/vagy az önkormányzattól. Előbbiek nem szívesen járulnának hozzá millióssal a szezonálisan használt kiskertjük fejlesztéséhez ekkora összeggel – különösen azért, mert sok esetben ennél

alacsonyabb összegért vették –, az önkormányzat pedig nem is tudna a covid-19 okozta forráscsökkenés miatt. A megoldást egy záportározó jelenthetné, amely egy természet-alapú megoldással létesítendő tó lenne egy önkormányzati területen, amihez kapcsolódna egy nyomásfokozó tározó, illetve egy napelemes működtetésű szivattyú állomás. A záportározó a Nadap keleti oldali belterületi vízgyűjtő területéről – a temető-templom tengelytől keletre fekvő vízgyűjtő terület – éves szinten kb. 40ezer m³ csapadékvizet kapna (a rendelkezésre álló terület, kb. 3 ha, ebből a tó létesítésére felhasználni kívánt terület kb. 1,5 ha), amely kiegészíthető további kb. 10ezer m³ vízzel a Csúcsos-hegy nyugati lejtőiről. A tóhoz csatlakozna egy szivattyún keresztül egy felső, kb. 40 méterrel magasabban elhelyezkedő nyomásfokozó tározó (15. ábra, kék nyíl). A tavat három részre bontva kialakításra kerülhetne egy előszűrő rész, egy horgásztavas rész, illetve egy rekreációs, fürdőzési rész is. Ugyanakkor a jelentős mennyiségű megmozgatott hordalékot mindenképp kezelni kell valahogy.



15. ábra – Záportározó és környezete

Külön érdekesség, hogy a kialakításra kerülő tó éves vízhozama nagyságrendileg megegyezik a település éves ivóvíz igényével, így a záportározóban összegyűjtésre kerülő víznek kétféle felhasználási lehetősége lenne: 1. Csúcsos-hegy növényvilágának öntözése, diverzifikálása; 2. a napai háztartások nagymértékű átertelése a körkörös és fenntartható vízgazdálkodásra.

A település nyugati vízgyűjtő területén egy korábban pozitív kút található, ahonnét kiindul a patak-meder. A pozitív kút önkormányzati területen található és kapacitása valamelyest bővíthető, de messze alulmarad az ideérkező csapadékvíz mennyiségétől. A kút természetes víztározóvá alakítása megoldást jelenthet a patakmeder revitalizációjára és a száraz, csapadékszegény időkben innét lehetne megtáplálni a patakot. A meder magán és önkormányzati tulajdonú területeken fut keresztül, de össztársadalmi érdek annak folyamatos vízzel megtöltése, így az érintettek részéről nyitottság mutatkozik a területek cseréjére, hogy a patakmeder kritikus részei önkormányzati tulajdonba kerüljenek. A polgármester ügyesen felismerte a helyzetet és előzetes egyeztetésekkel szondázta a lakosságot és megtalálta a hatékonysági elmozdulás olyan módját, egy olyan új Pareto-optimumot, ahol a kék-zöld infrastruktúra beruházással, azaz a patakmeder revitalizációjával mindenki nyer. Az önkormányzat kooperatívan viselkedik, ez esetben az alábbi főbb területeken tesz konstruktív lépéseket:

- „saját területek beadása a közösbe”;
- nyitott a szükséges területcseréket illetően;
- kék-zöld megoldásokat prioritásként kezeli és támogatja;
- érintettekkel külön-külön és együttesen is leül tárgyalni;
- hosszú távú terület és településfejlesztési stratégiával rendelkezik;
- különféle szakemberek bevonásával épít víziót és készít fejlesztési javaslatokat.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A klímaváltozás egy externális hatás, amely a világ különböző pontjain, magánszemélyek, cégek, állami intézmények és tulajdonképpen minden magán és állami szereplő együttes szennyezésének eredménye. Az éghajlatváltozás externális hatásainak internalizálása csak közösen történhet, minél szélesebb körű részvétellel és valamekkora ráfordítással – ami lehet tőke, idő, munka ráfordítás – minél többek részéről. Az emberiség jelenlegi tudása és technológiai fejlettsége mellett a fenntarthatósági lépések, többek között a természet-alapú megoldások jelentik a kiutat.

A ritkuló, ugyanakkor intenzívebbé váló csapadék események jelentős terheket rónak a meglévő csapadékvíz elvezető csatornákra, illetve a hiányos, nem kiépült árkok környezetére és így növekvő károkat okoznak az épített környezetben, valamint a lakók és közösségi értékekben.

A hiányos szürke infrastruktúra, a növekvő népességszám, az egyre szélsőségesebb időjárási és hevesebb csapadékjelenségek, az erősen lejtős területek okozta lefolyások, valamint a zárt-keres és borászati fejlesztési igények mind a természet-alapú megoldások szükségességét és a kék-zöld infrastruktúrák szélesebb körű alkalmazását vetítik előre.

Nadapon három konkrét fejlesztési lehetőséget vizsgáltunk:

1. Csapadékvíz elvezető rendszerek kiépítése a Hegyalja úton, amely nem csak a hagyományos diszkontált jelenérték számítással, hanem az alternatív költségek feltérképezésével történik.
2. Szántóföldi záportározó létesítése a zárt kertek, és szőlők öntözése érdekében, amely rekreációs és horgászati célokat is szolgál, és idővel akár megoldás lehet a teljes település körkörös vízgazdálkodására. A helyi szolgáltató ivóvízhálózat kiépítése költségeit alternatív megoldásokkal, fenntartható módon, természet-alapú megoldások alkalmazásával ki lehet váltani és karbon-semleges, klímabarát módon lehet üzemeltetni.
3. A pozitív kút kiszélesítésével és megfelelő méretűre növelésével lehetne a csapadékvizek egy részét a magas ponton megtartani és csapadékmentes időben a revitalizált patakmederbe engedni, így biztosítva annak az év minél nagyobb részében való vízzel töltöttségét. Nem csak ökológiai és biodiverzitás szempontjából lenne előnyös, hanem turisztikai és a kiskerti művelés szempontjából is. Továbbá a patakmeder az ősjegyeknél kiszélesítésre kerülhetne és a szilárd, sziklás dombok között megtalálható kb. 100-150 m² felületű természetes mélyedésben egy kis tó jelenhetne meg, amely turisztikai, rekreációs és közösségi tér szerepet is betölthetne.

Egy beruházást és ez különösen igaz a csapadékvizes létesítményekre és infrastruktúrákra, nem elegendő csak egy egyszerű diszkontált költségelemzéssel megvizsgálni, mivel számtalan rejtett, és/vagy alternatív-költség rejtve marad, amelyek jelentősen befolyásolni képesek a számítási eredményeket. A természet-alapú megoldások értékelése egy lényegesen összetettebb tevékenység, amely szélesebb érintetti körre van hatással, így a társadalmi egyeztetések, a kompromisszumos megoldások elengedhetetlenek a kutatások során, valamint a döntéshozatal során.

A témával kapcsolatban, a későbbiekben érdekes lenne még megvizsgálni az erdei részekkel kibővített vízgyűjtő terület többlet csapadékvíz mennyiségét, a döntéshozatal során a Harsányi modell és bayesi egyensúly szerinti változásokat, továbbá a meglévő szürke csapadékvíz elvezető csatornák kék-zöldre cserélésének hatásait szimulációkon keresztül, illetve ebből a kétféle infrastruktúra helyettesítési határráta és határköltség meghatározást.

6. IRODALOM

- Cyndi V. Castro (2021): Optimal planning of natural stormwater solutions 1 using a composite Gini coefficient: A watershed 2 assessment of hydrological, environmental, social, 3 and economic efficiency; *Under review by Journal of Hydrology*; DOI: 10.5281/zenodo.5676315
- Forgó Ferenc, Pintés Miklós, Simonovits András, Solymosi Tamás (2005): Játékelmélet; *elektronikus jegyzet*, OTKA T046194
- Dagmar Haase, Neele Larondelle, Erik Andersson, Martina Artmann, Sara Borgström, Jürgen Breuste, Erik Gomez-Baggethun, Åsa Gren, Zoe´ Hamstead, Rieke Hansen, Nadja Kabisch, Peleg Kremer, Johannes Langemeyer, Emily Lorance Rall, Timon McPhearson, Stephan Pauleit, Salman Qureshi, Nina Schwarz, Annette Voigt, Daniel Wurster, Thomas Elmqvist (2014): A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation; *Ambio* 43, p413-433; DOI 10.1007/s13280-014-0504-0
- Galambos Péter (2021): A települési vízgazdálkodás és a körkörös gazdaság; *Hidrológiai Közöny* 101/3, p40-46
- Zahra Ghofrani, Victor Sposito, Robert Faggian (2020): Maximising the Value of Natural Capital in a Changing Climate Through the Integration of Blue-Green Infrastructure; *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* 8, p213-234; DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0279>
- David Hall (2007): Decision-making on water services in European cities: The watertime project; *Utilities Policy* 15, p61-63; ISSN 0957-1787, <https://doi.org/10.1016/j.jup.2007.02.002>
- D. Hellstrom, U. Jeppsson, E. Karrman (2000): A framework for systems analysis of sustainable urban water management; *Environmental Impact Assessment Review* 20, p311-321
- Ilcsik Csaba, Major Veronika (2021): Az integrált digitális vízgazdálkodás és a körkörös gazdaság kapcsolata; *Hidrológiai Közöny* 101/3, p85-90
- Nadja Kabisch, Niki Frantzeskaki and others (2016): 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* 21(2):39; <http://dx.doi.org/10.5751>
- Kupi László (2021): Nadap története; *Nadap Község Önkormányzata 2021*; ISBN 978-615-01-1267-1
- E. Lai, S. Lundie, N.J. Ashbold (2009): Review of multi-criteria decision aid for intergrated sustainability assessment of urban water system; *Urban Water Journal* 29, p315-327
- Jessica Lamond, Glyn Everett (2019): Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship; *Landscape and Urban Planning* 191 (103639); <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103639>
- Leonie J. Pearson, Anthea Coggan, Wendy Proctor, Timothy F. Smith (2010): A Sustainable Decision Support Framework for Urban Water Management; *Water Resource Management* 24, p363-376; DOI 10.1007/s11269-009-9450-1
- J. Marks, M. Zadoroznyj (2005): Managing sustainable urban water reuse: structural context and cultural trust; *Society and Natural Resources* 18, p557-572
- Emily C. O'Donnell, Noelwah R. Netusil, Faith K. S. Chan, Nanco J. Dolman, Simon N. Gosling: International Perceptions of Urban Blue-Green Infrastructure: A Comparison across Four Cities; *Water* 13, p544; <https://doi.org/10.3390/w13040544>
- Paul A. Samuelson, William D. Nordhaus (2012): *Közgazdaságtan*; Akadémia Kiadó, Budapest; ISBN-978-963-05-9781-4
- Szabó Péter (2010): Játékelmélet; *Debreceni Egyetem, Informatikai Kar*; 2010 Debrecen
- Hal R. Varian (2012): Mikroökonómia középikon; *Akadémia Kiadó*, Budapest; ISBN-978-963-05-9809-5
- Velence-tavi munkacsoport jelentés (2022): Javaslat a Velencei-tó fenntartható vízpótlására; *Kék Bolygó Klíma-védelmi Alapítvány 2022*
- www.vizeink.hu (Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve – 2021)
- www.nadap.hu
- <https://map.mbfisz.gov.hu/>
- <https://insulamagna.sze.hu/kezdolap> (Széchenyi Egyetem, Insula projekt)
- <https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu> (LIFE-MICACC projektek)