

AZ ESZTERGOMI BAZILIKA KÖRNYEZETÉNEK HIDROGEOLÓGIAI VIZSGÁLATA

Farkas Dávid, Hajnal Géza

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

KIVONAT

Az Esztergomi Bazilika történelmi, kulturális és vallási szempontból is hazánk egyik ikonikus építménye, ezért állagmegóvása nemcsak helyi, hanem nemzeti szinten is kiemelt jelentőséggel bír. A Bazilika több létesítményét hosszú idő óta terhelik a kártékony beszivárgó vizek. A leginkább érintett terület a térszín alatt húzódó altemplom, illetve pincerendszer. A folyamatosan jelentkező vizesedés kiküszöbölésére korábban különböző műszaki megoldásokkal kísérelték meg a „tüneteket” kezelni, de az okot azóta sem sikerült megszüntetni. A Bazilika és közvetlen környezetének vízrendezési problémáival 2017-ben kezdtünk el foglalkozni, melyet egy hosszabb meg­szakítással 2020-ig folytattunk. Vizsgálataink kiterjedtek víztelenítő kutak próbaszivattyúzására és vízmintázásá­ra, valamint vízközművek felülvizsgálatára. Mivel a tetővizek nem elégséges elvezetése az építményeknél térszín alatti vizesedést okozhat, ezért a csapadékvíz elvezetőrendszer méreteit hidraulikai számításokkal ellenőriztük. Eredményeink azt mutatták, hogy az altemplom alatti talajréteg teljes víztelenítése jelen műszaki megoldásokkal nem megoldható, valamint a Bazilika tetőfelületéről és közvetlen környezetéről érkező, mértékadó csapadékból származó lefolyás elvezetésére a jelenlegi rendszer nem alkalmas. Megállapítottuk, hogy az eddig összegyűjtött tapasztalatok hasznosításával szükség van a káros vizek elleni műszaki megoldások rendszerszintű újragondolására, mely képes a Bazilikát és a hozzá tartozó létesítményeket megvédeni a szivárgó vizektől.

KULCSSZAVAK: Esztergomi Bazilika, próbaszivattyúzás, víztelenítés, mértékadó csapadékhó­zam, alapfeltárás

BEVEZETÉS

A Bazilikát és közvetlen környezetét érintő vizesedéssel kapcsolatos vizsgálatok elvégzésére 2017-ben kaptunk felkérést. A nem újkeletű, mégis a mai napig releváns probléma okainak feltárásán és a megfelelő műszaki megoldások kidolgozásán korábban már több szakember is dolgozott. Az elkészült szakvélemények jellemzően csak egy-egy kisebb részterület speciális problémájának részletes leírásáról szóltak.

Saját vizsgálataink fő fókuszát a Bazilika alatt elhelyezkedő altemplomot érintő káros vizek eredetének és mennyiségének feltárása jelentette, viszont a probléma összetettsége miatt a Bazilika jelentős környezetét egyben kellett kezelni. A szivárgó vizek okozta problémák általában tisztán felszín alatti eredetűek, viszont munkánk során nem hagytuk figyelmen kívül, hogy potenciális problémaforrás lehet a csapadékesemények lefolyó hányada is, amennyiben az elvezetésük nem megfelelő módon történik. Méréseinket és vizsgálatainkat ezért úgy terveztük meg, hogy a megoldandó feladatot minél komplexebben, több aspektusból tudjuk megközelíteni.

CÉLKITŰZÉSEK

A vizsgálataink fő célja volt, hogy a Bazilika alatt húzódó kripta vizesedési problémájának okait feltárjuk és ezekre megoldási javaslatokat tegyünk. Az ehhez szükséges feladatrészeket az alábbi pontokban foglaltuk össze:

- A rendelkezésre álló dokumentumok, helyszínrajzok, metszetek alapján a meglévő víztelenítési rendszer elemeinek megismerése.
- A kriptába szivárgó víz mennyiségének becslésére próbaszivattyúzások elvégzése a meglévő víztelenítő kutakon. A visszatöltődések adataiból következtethetünk a káros vizek utánpótlódási hányadára, amire a csapadékesemények is hatást gyakorolhatnak.
- A Bazilikát terhelő víz eredetének azonosítására vízkémiai vizsgálatok elvégzése.

- A felszín alatt szivárgó vizek detektálása céljából alapfeltárás, kutatóárok készül.
- A tető- és csapadékvíz elvezetőrendszer felülvizsgálata hidrológiai és hidraulikai számításokkal.

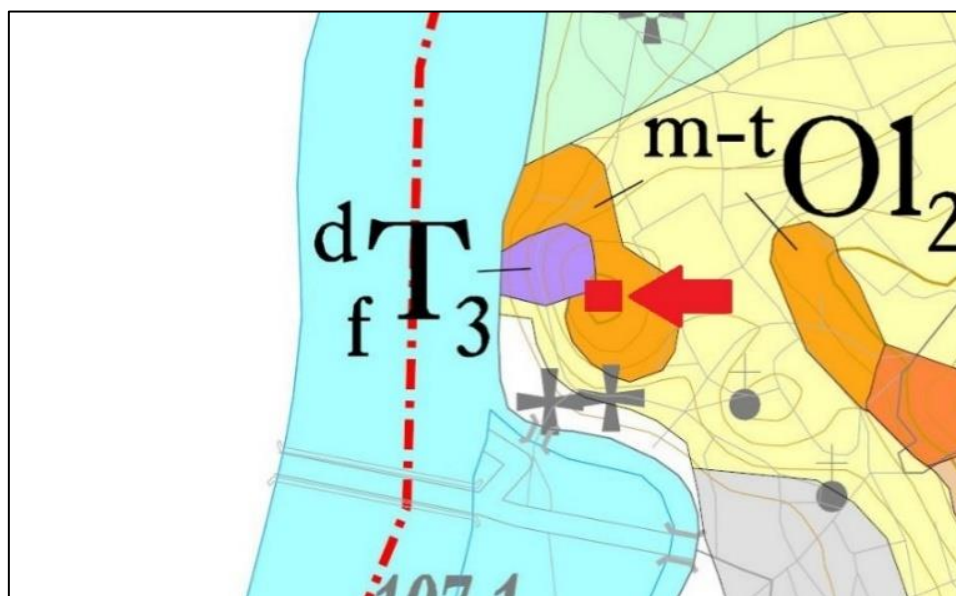
GEOLOGIAI VISZONYOK

Esztergom a Pilis nyugati lábánál, a Duna és a Vaskapu hegy között helyezkedik el. A város földtani felépítésében a mészkő, dolomit alaphegységre települő oligocén agygrétegek és az andezit vesznek részt. Ezekre települtek a Duna kavics lerakódásai és lejtőüledékek, löszrétegek. A városon egy billent sasbérc szerkezet vonul végig magába foglalva a Szenttamáshegyet és a Várhegyet. A sasbérc északi és déli oldala lezökken lépcsős szerkezetű, kőzetanyaga általában agyagos, homokos, andezittörmelékes (Taeger 1914, Görög 1997).

A Várhegy és környékének földtanában a triász és oligocén korú kőzeteknek van a legjelentősebb szerepük (1. ábra). Kialakulását a triászkorokra tehetjük, ugyanis az alaprögét triászkorú dolomit, s a későtriász dachsteini mészkő alkotja. Egy határozott törésvonal mentén emelkedett ki a Duna vonalából. Esztergom területén a felszínen leggyakrabban előforduló triászkorú kőzet a dachsteini mészkő. A Várhegy meredek oldalában is felszínre bukkan dolomitpadokkal tagoltan (Koch 1871, Telegdi-Róth 1938, Görög 1997).

Területileg a legjelentősebb oligocén korú kőzet a hárshegyi homokkő. Általában a triász alaphegységre települ. A Várhegy alrögét is ez borítja, s megtalálható a Szenttamáshegyen is. Mindkét esetben meredek falat alkot. Közép és durvaszemű homokkő, mely konglomerátum csíkokat tartalmaz. Kötése általában kemény, kovás, néha lazább kaolinos, s ritkán meszes. A Várhegy meredek nyugati oldalán jól megfigyelhető a dolomitos mészkő és a rátelepült hárshegyi homokkő határa (Koch 1877, Telegdi-Róth 1938, Görög 1997).

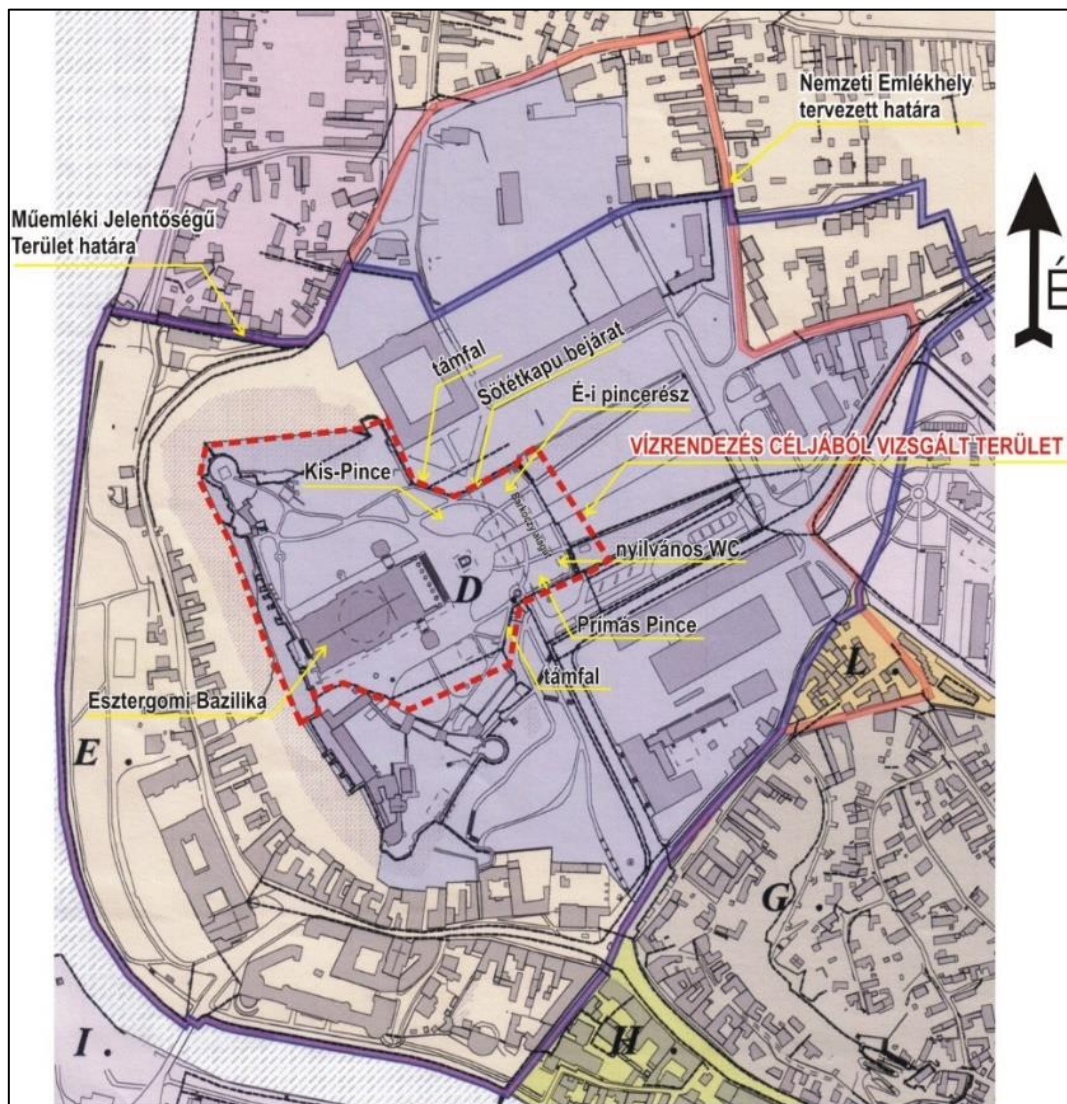
A város belterületére jellemző a mesterséges feltöltés, amely a belvárosnak megközelítően egyharmadát borítja. A feltöltés a Várhegy környékén sokszor meghaladja a 8,0 m vastagságot. Anyaga építési törmelék, s más területekről hozott oligocén és negyedidőszaki kőzetanyag, sok helyen egyszerűen csak szemét (Taeger 1914, Görög 1997).



1. ábra. Az Esztergomi Bazilika környezetének földtani viszonyai (MBFSZ 2022). A Bazilikát az ábrán piros téglalap jelzi. Jelmagyarázat: Felső-oligocén Mátyási és Törökbálinti Formáció átmenete (narancssárga, $m-t Ol_2$), Felső-triász Fenyőfői Tagozat (lila, $d_f T_3$)

A BAZILIKA ÉS KÖRNYEZETÉNEK BEMUTATÁSA

A Bazilika és a hozzá kapcsolódó épített tér több egységből áll, a vizsgálataink szempontjából lényeges részeket a 2. ábra mutatja be. A Bazilika fő homlokzata előtt a Szent István tér alatt pincerendszer húzódik, mely szintén több részből áll, ezek a következők: Sötét kapu alagút (Rudnay alagút), Prímás Pince, Barkóczy alagút, Kis-pince, Északi pincerész. Ezek építészeti szemléletű leírását Mezey 2007-ben elkészített tanulmányában közölte. Megemlítendő, hogy ugyancsak ezen a területen (a Prímás Pince felett) található a nyilvános WC is, mely a vizesedés vizsgálata szempontjából nem hagyható figyelmen kívül.



2. ábra. Áttekintő helyszínrajz a vízrendezés szempontjából vizsgált területről (KIMA 2008)

A felszín alatt húzódó pincerendszert támfalak határolják, melyek állapota alapvetően befolyásolja a mögötte húzódó hasznosított térben uralkodó viszonyokat. Némely támfal mozgása korábban már megfigyelhető volt, az erről leírást adó szakvélemények ezt részletesen tárgyalják (Vicze 2000, Wagner és Csonka 2008a, 2008b). A legjelentősebbnek a Kis-Pince melletti északnyugati-északi mellvédfal billenését tekinthetjük, ahol a legnagyobb elmozdulás az építés óta eltelt két évszázad alatt 1-2 cm-re bővült. A Barkóczy alagút környezetében a repedések és a billenés hatása kisebb, mint a Kis-pince esetében. Mindezek a mozgások összefüggésben vannak a környező talaj nedvességi állapotával.

ELŐZMÉNYEK, KORÁBBI SZAKVÉLEMÉNYEK BEMUTATÁSA

A Bazilikát övező létesítmények talajmechanikai, illetve hidrogeológiai vonatkozású vizsgálatai a rendelkezésre álló dokumentumok alapján már 1965-ben is aktuálisak voltak. Talajmechanikai vizsgálatok és szakvélemények készültek a pincerenszerről (KTTI 1965), a Bakócz-kápolna falnedvesedéséről (FTV 1976), a Sötétkapu feletti területről (FTV 1980), a pincerendszerben létesített üzletsor tanulmánytervéről (KOMTERV 1985), a pincék vizesedéséről (Nyilassy és Szenczi 1989), valamint a pincerendszer idegenforgalmi felhasználásáról (KOMTERV 1989).

A Bazilikát és környezetét terhelő káros vizek az új évezredben is problémát jelentettek. Vicze (2000) a Prímás Pince talajmechanikai vizsgálatait végezte el. Leírása szerint a Sötétkapu átjáró, a Prímás Pince, valamint a Kis-Pince falazata – főként csapadékos időszakot követően – vizesedett, a boltvállaknál csepegés is megjelent.

Besey (2007) szakvéleményében javaslatot tett szigetelő, illetve szűrőrendszerek kiépítésére, amikkel véleménye szerint a pincerendszer mentesíthető a káros vizektől.

A Prímás Pince étterem falain rendszeresen jelentős ázások voltak tapasztalhatók, melyet a beszivárgó csapadéknak tulajdonítottak, ezért 2008-ban szigetelés beépítésére került sor. A szigetelés a Prímás Pincétől délre fekvő támfalat, valamint a Sötétkapu támfalát is érintette (KIMA 2008).

A Bazilikától északra található középkori kút régészeti feltárása, megtisztítása 2009-ben történt meg (Tolnai 2009).

Wagner és Csonka (2008a) a pincerendszer északnyugati-északi mellvédfal további elmozdulásának megakadályozására feszítő horgonyzást terveztek. Ezen felül a Kis-Pincét terhelő vizek elvezetésére mentesítő szivárgórendszert terveztek (Wagner és Csonka 2008b).

Besey (2016) egy átfogó mérnökszakértői tanulmányt írt, melyben megemlítette, hogy az alépítményhez tartozó altemplom, illetve az alapozás szerkezetileg megfelelő állapotban van, viszont a vizesedés, főként a kripta falain jelentős.

JELENLÉGI VÍZTELENÍTŐ RENDSZER JELLEMZÉSE

A Bazilika lényegében az építésének kezdete óta a vízvédelmi művek természetes öregedése következtében, a talajnedvesség és különösen a csapadékvíz miatt folyamatosan károsodik. A vízkárok elhárítására időszakonként beavatkozások történtek, felújítások, javítások, majd a beázások ellen szigetelések, később talajvíz és beszivárgó víz ellen szivárgók (Möller-féle), továbbá több ütemben (évtizedes eltolódásokkal) csapadékvíz elvezető rendszerek épültek. A régebbi művek egy részét felhagyták, s helyettük – vagy mellettük – új koncepció szerint újabb védelmi beavatkozások történtek. Ezek a többnyire eltakart létesítmények mára felismerhetetlen szövevényes rendszert alkotnak.

A térszín alatti építmények víz elleni védelmének fő módszere az építmény föld-szigeteléssel való ellátása volt. Későbbiekben ezeket a föld-szigeteléseket a csatornák és más közművek építése során munkaárcokkal megbontották, mely lerontotta ezek hatékonyságát. A pincerendszer és az altemplom nedvesedését általában nem a beázással hozták kapcsolatba, hanem a talajvízzel. Az elmúlt száz évben a föld-szigetelések megrongálódtak és elévültek, a Möller-féle névvel illetett szivárgók és vízelvezők, esetleg egymás funkcióját is rontva, meghibásodás miatt is, már nem megfelelően működnek és nem felújíthatók.

Körülbelül tíz éve az altemplom oldaltermébe szivárgót építettek be a pincepadló alatt áramló vizek elvezetésére. Az altemplom déli részén 1969-ben két víztelenítőkutat alakítottak ki. A kutak fenékszintje a pincepadlószinttől számítva a mélyebb esetében 3,87 m, a sekélyebb 1,62

m. A kutak átmérője 1,0 m. A mélyebb kútban szintkapcsolós automata búvárszivattyút üzemeltetnek (1. kép). Az altemplomba befolyó vizeket a szivattyú a lejárattal melletti ellenőrző és tisztító aknába nyomja, ahonnan az a csapadékvíz elvezető rendszeren távozik.



1. kép. A Mély kút leszívás előtt és után (A jobboldali képen látható, hogy a szivattyút teljesen bevonta a vízkő.)

AKTUÁLIS VÍZKÁROK JELLEMZÉSE

A víz nyoma és a károsodások leginkább az altemplomot érintik, főleg a síremlékeket, a kőfelületeket, a falakat és a padozatokat. Jellemző a falakon az időjárás alakulásának megfelelően bekövetkező páralecsapódás, a freskók és falfestések fellazulása és a padozatok tönkremenetele.

Az altemplom falazatát a kapilláris úton emelkedő víz károsítja, az altemplom nyugati oldalán vízbefolyás nyoma is látható. Itt az elfalazott, de a betekintést engedő nyílásokon leomló bélésfalak is láthatók. Az alsó falszakaszokon vízelöntés miatti só kivirágzás figyelhető meg.

Ahogy a korábbi szakvélemények bemutatásánál említettük, az esős időszakban a vizesedés és beázás intenzívebb, de a talajvíz a helyiségekben nem jelenik meg.

A területbejárást tavaszi, nyári és téli időszakban is elvégeztük. A Sötétkapunál, illetve az onnan nyíló kazamata-szerű kiállító- és raktártérben, annak felszínre futó aknáiban vizesedésre utaló nyomokat nem lehetett észlelni. A Prímás pince fölötti támfalon, illetve az Adalbertinum felőli támfalak több helyen átnedvesedtek, vízfoltosak. A Várhegyet a Vízivárossal összekötő meredek rézsút minden alkalommal száraznak találtuk, vízfakadásnak, időszakosan kilépő forrásnak nincsen nyoma.

Az altemplom, a pincerendszer a korábban végzett munkák ellenére is olyan mértékben nedvesedik, mely akadályozza ezeknek a helyiségeknek a használatát, s veszélyezteti, károsítja az építményt. Összességében megállapítható, hogy a korábbi munkálatok sokban javították a nedvesedés miatti rossz állapotot, de nem mutatkoztak elégségesnek.

VIZSGÁLATI MÓDSZERTAN

A Bazilika létesítményeivel kapcsolatos korábbi szakvélemények túlnyomórészt helyes megállapításokkal és számításokkal igazolták a vizesedés problémájára felvázolt megoldások helyességét. A víz okozta károk csökkentek, de teljesen nem szűntek meg. Ezt magyarázhatja, hogy nem sikerült rendszer szinten minden okot feltárni, ezért az elvégzett vizsgálatok felülvizsgálata és megismétlése helyett saját helyszíni méréseinket, valamint számításainkat más nézőpontok alapján fogalmazzuk meg.

Az atemplom víztelenítő kutjaiban megjelenő vizeket minőségi és mennyiségi szempontból is teszteltük. A kutakból vízmintákat vettünk, melyeket összesen húsz komponensre vizsgáltak a BME Vizi Közmű és Környezeti Tanszék laboratóriumában. A kutakon három év leforgása alatt több alkalommal próbaszivattyúzást hajtottunk végre. A leszívás, valamint a visszatöltődés ütemét nagy pontossággal és mérési frekvenciával rendelkező nyomás- és hőmérő műszerrel (Dataqua) végeztük.

A Bazilika tetőfelületének vízelvezetését szolgáló rendszer elvezetőképességét számításokkal ellenőriztük. A mértékadó csapadék a 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet alapján $p=1\%$ -os valószínűségű, az ebből keletkező, elszállítandó vízhozamot a racionális módszerrel állapítottuk meg (Mulaney 1851):

$$Q_m = \rho \cdot \psi \cdot i_p \cdot A \quad (1)$$

amelyben a

- ρ - késleltetési tényező [-],
- ψ - lefolyási tényező [-],
- i_p - a p valószínűségű t összegyülekezési időhöz tartozó csapadékkintenzitás [l/s·ha],
- A - a vízgyűjtőterület nagysága [ha].

A mértékadó csapadékhozam meghatározását követően elvégeztük a csapadékvízelvező rendszer hidraulikai ellenőrzését. Ez magában foglalta a tetővíz elvezetését szolgáló ejtőcsövek, illetve a föld alatti vezeték szakaszait. A hidraulikai ellenőrzés alapfüggvénye a Darcy-Weissbach összefüggés volt (Darcy 1857, Weissbach 1845), amelyből a lejtésben fektetett csatornában telt szelvény esetén lefolyó víz közepes áramlási sebessége:

$$v = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad (2)$$

ahol a

- λ - súrlódási tényező [-],
- R - hidraulikai sugár [m],
- I - hidraulikai gradiens, csőfenék lejtése [-].

A csatornák alapvezeteki szakaszaiban a mértékadó terhelésnek megfelelő térfogatáram lefolyásakor kialakuló áramlás jellege általában turbulens, és jórészt az átmeneti tartományba esik. Ilyen áramlásoknál a súrlódási tényező a Colebrook-White (1937) összefüggéssel számítható:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \left[\frac{k}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \quad (3)$$

ahol

- k - a csatornafal abszolút érdessége [m],
- D - a körszelvényű csatorna belső átmérője [m],
- Re - Reynolds-szám [-].

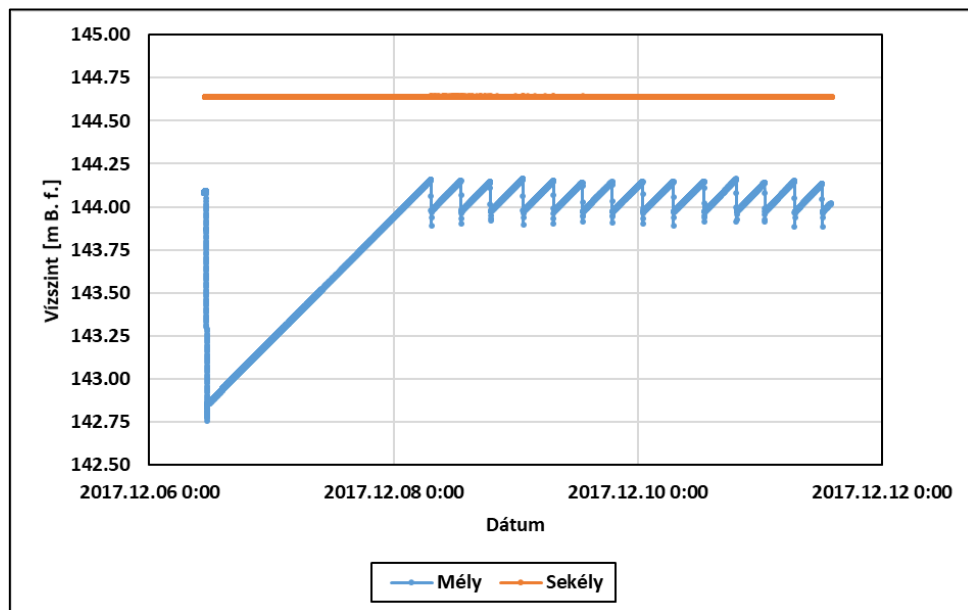
A tető vízgyűjtő felületek méretezésére az MSZ-04-134:1991 „Épületek csatornázása” korábbi szabvány előírásai voltak érvényben. Jelenleg már szigorúbb előírásokat szükséges alkalmazni, irányadók a DIN 18460 és DIN 1986-2 szabványok előírásai.

EREDMÉNYEK

A vizsgálati eredményeinket két szakvéleményben (Hajnal 2017, Hajnal et al. 2020) is részletesen ismertettük, viszont jelen fejezetben csak azokat mutatjuk be, melyek hasznos információkkal szolgáltak.

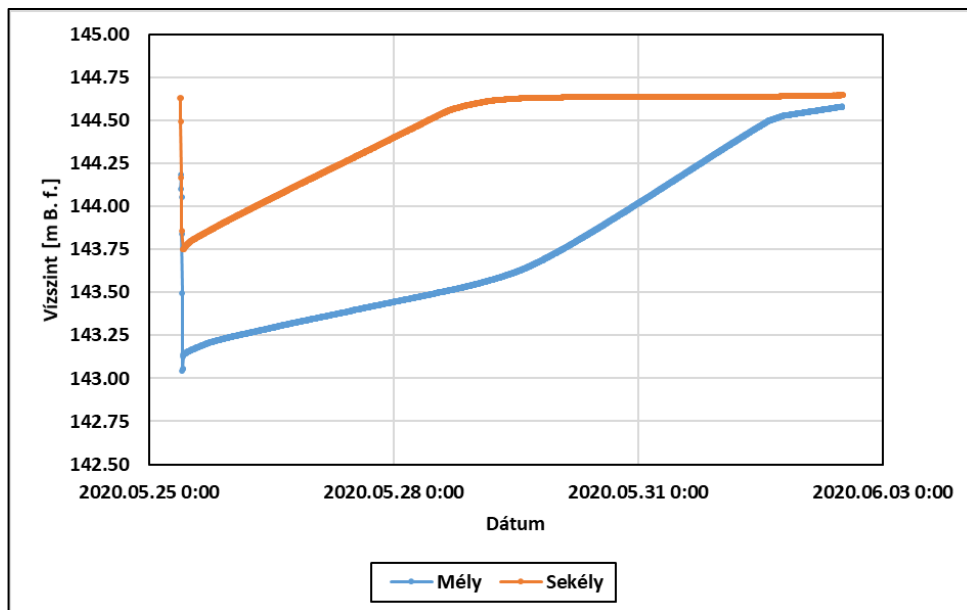
Kutak hozama

2017. december 6-án mindkét kútba beépítettünk egy-egy Dataqua típusú, nyomás alapon működő regisztráló műszert, mely folyamatosan mérte a kutakban kialakult vízszintet. A mély kútban üzemelő automata szivattyú bizonyos vízszint elérésekor bekapcsol (144,15 m B. f.), majd leáll (143,90 m B. f.), így kb. 25 cm-nek megfelelő vízoszlopot távolít el egyszerre. Erre naponta négy-öt alkalommal került sor. A kút hozamát ezekből a kis, részleges leszívásokból is ki lehet számolni, viszont ennél pontosabb eljárás, ha a kútat teljesen – a szivattyú szerkezeti magasságáig – leszívjuk. A mély kút első próbaszivattyúzására a Dataqua műszerek telepítésének napján sor került, kb. 1,3 m szintcsökkenést eredményezve. A 3. ábrán látható, hogy a visszatöltődés egyenletes volt és közel 43 órán keresztül tartott. Ebből a vízádóképességet kiszámolva 0,39 l/min-et kaptunk. A visszatöltődést követően a szivattyú ismételt szintkapcsolással üzemelt, ezt jelenti a sok kisebb, hirtelen vízszintcsökkenéssel járó esemény az idősorban. A 14 darab kis leszívásból meghatározott átlagos hozam 0,53 l/min volt, a teljes leszívásból kapott értékkel összevetve a különbség nem elhanyagolható. A grafikonon jól látható, hogy a szivattyúzás hatására a sekély kútban nem történt változás.



3. ábra. A leszívás-visszatöltődés grafikonja az első leszívás után

Szükségesnek tartottuk a mély kút újbóli és teljes leszivattyúzását, amit egymás után több alkalommal is megtettünk, hogy megállapítható legyen, mennyire egyenletes a kút utánpótlódása. A sekély kút leszívására is szükség volt, mivel ebből lehet következtetni a két kút közötti kommunikációra. A 4. ábrán egy példát láthatunk a két kút együttes leszívására. Egyértelműen megállapítható, hogy a visszatöltődés a mély kútban lassabban ment végbe, mint az első próbaszivattyúzáskor. A mély kút idősorában egy törés is megfigyelhető, ami egy kicsivel a sekély kút visszatöltődése után következik be. A törést követően meredekebb a görbe, vagyis gyorsabb a mély kút visszatöltődése. Ennek oka, hogy a sekély kút egy szint fölött már a mély kút táplálja, mivel a kutak két csővel vannak összekötve, melyek a sekély kút túlfolyójaként szolgálnak.



4. ábra. A sekély és mély kút együttes leszívásakor kialakult vízszintidősorok

2017-2018. közötti időszakban, valamint 2020-ban számos alkalommal végeztünk próbaszivattyúzást a kutakon külön-külön és szimultán is. Az 1. táblázatban ezek közül csak azokat a méréseinket foglaltuk össze, amelyeknél a mély kút vagy mindkét kút teszteltük. Csak a sekély kút próbaszivattyúzásánál a mély kút automata szivattyúja normál üzemben működött, így ekkor teljes értékű leszívással nem tudtunk számolni. A táblázatban az „n.a.” jelölés a sekély kút oszlopában azt jelenti, hogy kizárólag a mély kút próbaszivattyúztuk, így külön hozamot nem tudtunk rá megállapítani. Ekkor a mély kút folyamatosan táplálja a sekély vize, így csak a két kút összesített vízádóképességét tudtuk megállapítani, ezért ezen méréseknél a mély kútnál is hasonló jelölést láthatunk.

Az eredményekből látható, hogy a 2017-2018-as időszak alapján nem lehetett kijelenteni, hogy a próbaszivattyúzások hatására a kutakba áramló víz mennyisége csökkent volna az idő előrehaladtával. Ha a területen csak a vízháztartási mérleg természetes elemei befolyásolnák a beszivárgást (csapadék, lefolyás, párolgás), akkor a hozamértékeknek folyamatosan esniük kellett volna, és a jelenleg általunk ismert földtani környezetben elérhető lett volna a teljes víztelenítés. Nem számoltunk a Bazilika környezetében természetes forrás működésével, bár számos legenda és szóbeszéd utal erre, ennek semmilyen valódi bizonyítékára nem bukkanunk a későbbiekben sem.

A két kút adatait külön tanulmányozva szembevetve, hogy viselkedésük között nem húzható párhuzam. A sekély kút hozama az egyes vizsgálati időszakok alatt folyamatosan csökkent, viszont a próbaszivattyúzástól mentes 2018-2020-as időszak után 2020. áprilisában szinte az első vizsgálat eredményével megegyező hozamot kaptunk. A mély kút vízádóképessége 2020. tavaszára felére csökkent, mint amit 2017-2018 telén tapasztaltunk.

A csapadék és kutak visszatöltődésének üteme közötti kapcsolat kimutatására beszereztük a legközelebbi napi csapadékadatokkal szolgáló táti állomás méréseit. 2018. január elejétől március közepéig összesen 60 mm csapadék hullott, ami rendkívül alacsony érték, a legnagyobb napi csapadékmagasság 7 mm volt. Erre az időszakra vonatkozóan a visszatöltődési folyamat és a csapadék között nem találtunk egyértelmű összefüggést.

1. táblázat. A próbaszivattyúzások eredményeiből számított kúthozamértékek

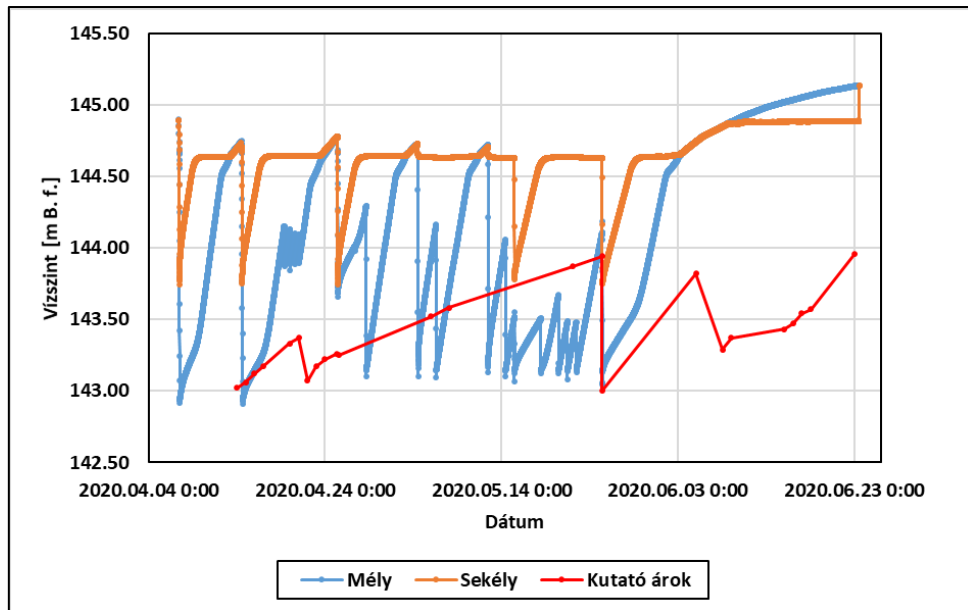
| Időpont | Mély [l/min] | Sekély [l/min] | Összesen [l/min] |
|------------|--------------|----------------|------------------|
| 2017.12.06 | n.a. | n.a. | 0,39 |
| 2018.01.18 | 0,23 | 0,21 | 0,44 |
| 2018.01.24 | 0,15 | 0,15 | 0,30 |
| 2018.02.27 | 0,19 | 0,14 | 0,33 |
| 2020.04.08 | 0,09 | 0,22 | 0,31 |
| 2020.04.15 | 0,07 | 0,18 | 0,25 |
| 2020.04.25 | n.a. | 0,17 | 0,23 |
| 2020.05.06 | n.a. | n.a. | 0,20 |
| 2020.05.25 | 0,07 | 0,13 | 0,16 |

A 2020-as vizsgálatainkkal közel párhuzamosan megvalósulhatott az a korábbi javaslatunk, hogy a Bazilika déli oldalán alapfeltárás létesüljön. A kutató árok mélyítését a helyszínen nyomon követtük (2. kép). A gödör déli oldala teljes mélységében (- 8,0 m) végig szürke, kötött agyagot harántolt. A feltárás után néhány nappal a levegővel érintkezve az oxigén hatására az agyag repedezni kezdett és darabossá töredezett, kőzetszerűvé vált. A Bazilika falánál törmelekes feltöltés található, ékszerűen betöltve, mely a gödör alja felé elkeskenyedek, majd meg is szűnik.



2. kép. Bal oldalon a kutatóárok teljes keresztmetszetében, jobb oldalon a dúcolt agyag oldalfal

A kivitelezők a fejtés közben kb. 5 m mélységig nem tapasztaltak vizesedést, ott a délnyugati sarokban enyhe szivárgást észleltek. Ez a jelenség néhány nap alatt megszűnt és ezen a részen később sem mutatkozott nedvesedés. Ugyanakkor a kutatóárok alján folyamatos szivárgás volt tapasztalható. A kutatóárok oldalát képező agyagfelületen víz csak „gyöngyöző” cseppek formájában jelent meg. Intenzitása szemrevételezés alapján minimális volt, ám a feltárás aljában a szivárgó víz visszatöltődése folyamatos volt. Kérésünkre a kivitelező szivattyút helyezett el a kutatóárokban, és bizonyos időközönként leszívták az összegyűlemlett vizet. Sajnos a regisztráció nem volt folyamatos, illetve nem olyan pontos, mint a kutakban a Dataqua műszerrel végzett mérés, de a tendenciák jól követhetők az 5. ábrán látható grafikonon.



5. ábra. A kutató árok és a víztelenítő kutak vízszintidősorai

Célunk volt, hogy a kutakban, illetve a kutató árokban felgyülemelő vizek közötti kapcsolatot kimutassuk. Ennek érdekében a kutakat több alkalommal is szivattyúztuk. Az 5. ábrán látható, hogy a kutatóárokba szivárgó víz intenzitása kb. 0,025 l/min volt, mely nem csökkent a kutak többszöri leszívására sem. Az 1. táblázat 2020. áprilisára vonatkozó értékeivel összevetve látható, hogy ez a hozamérték egy nagyságrenddel kisebb, mint a két kút összesített vízádóképessége. Ez véleményünk szerint a kötött agyag kicsiny szivárgási tényezője miatt lehetséges. A lassan 50 éve létesített kutak környezetében átrendeződhetnek a szemcsék, és jóval nagyobb áramlási sebességek alakulhatnak ki, mint a természetes állapotú agyagban.

2020.05.25-én összehangolt próbaszivattyúzást végeztünk a két kútban, valamint a kutató árokban egyaránt. Ezt követően a grafikonok meredekségéből megállapítható, hogy a mély kút visszatöltődése ebben az esetben volt a leglassabb, viszont az alapfeltárásnál megnövekedett a szivárgás intenzitása. Egyértelmű kapcsolat megállapítása azonban ennyi adatból nem volt lehetséges.

Ahogy az a 6. ábrán látható az altemplom padlószintje a felszíntől -6,8 méterre, a feltárt alapsík -7,8 méterre, míg a mély kút nyugalmi vízszintje -8,3 méterre volt. Az automata szivattyú hosszabb idejű leállításával, és a kutatóárokba történő nem természetes eredetű (közművesztések) vizek beáramlásának kirekesztésével a hidraulika törvényei alapján a vízszintnek be kellene állnia egy azonos, nyugalmi szintre. A vizsgálataink időtartama alatt ez nem történt meg.

Kútvizek vízkémiai vizsgálata

A víztelenítő kutakból vízmintát az első, majd a második próbaszivattyúzást megelőzően vettünk. A vízkémiai vizsgálatokat Musa Ildikó, a BME-VKKT munkatársa végezte. Az első esetben a kutakban erősen pangó vízzel talákoztunk, mely később, a teljes leszívást követő visszatöltődéskor felhígult (2. táblázat), így a szennyezettség mértéke részben az „állottságnak” volt köszönhető.

2. táblázat. Vízkémiai vizsgálatok eredményei

| Vizsgált komponensek | 2017.12.06. | 2017.12.11. | 2017.12.06. |
|---|-------------|-------------|-------------|
| | Mély kút | Mély kút | Sekély kút |
| pH [-] | 8.26 | 8.32 | 8.28 |
| Vezetőkéesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$] | 2800 | 1409 | 927 |
| Lúgosság [mmól/l] | 4.8 | 2.8 | 2.0 |
| Hidrogénkarbonát [mg/l] | 293 | 171 | 122 |
| Klorid [mg/l] | 170 | 212 | 70 |
| Szulfát [mg/l] | 1224 | 290 | 184 |
| Összes keménység | 730 | 276 | 140 |
| Kalcium [mg/l] | 183 | 114 | 54 |
| Magnézium [mg/l] | 206 | 50 | 30 |
| Ammónium [mg/l] | 0.42 | <0,01 | <0,01 |
| Nitrit [mg/l] | 0.02 | <0,01 | 0.01 |
| Nitrát [mg/l] | 24.6 | 7.8 | 11.7 |
| Nitrát ion [mg/l] | 109 | 35 | 52 |
| Oldott orto-foszfát [mg/l] | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| Zavarosság [NTU] | 1.64 | 2.27 | 0.88 |

A mély kút első mintájában a szennyvíz jelenlétére utaló komponensek határérték felett voltak, mint például a szulfát (h. é. 250 mg/l), ammónium-ion (h. é. 0,5 mg/l), és nitrát-ion (h. é. 50 mg/l). A második mintavételnél a hígulás következtében jelentősen csökkentek a koncentrációk, viszont a szulfát továbbra is határérték felett maradt. A sekély kút vize kevésbé volt szennyezett, de a nitrát-ion koncentrációja így is meghaladta a küszöbértéket. A vízkémiai vizsgálatok eredményei rámutattak arra, hogy a vizsgált területen futó közművek felülvizsgálatára szükség van a vizesedési problémák megoldása tekintetében.

Víziközművek állapotának felülvizsgálata

A 2017-es vízkémiai vizsgálatokat követően javasoltuk, hogy a Bazilika, de főként az altemplom környezetében húzódó közművek állapotát vizsgálják felül. A kutatóárok létesülése mellett 2020-ban erre is sor került a DE-MA Kft. irányításával (Esztergomi Szent Adalbert és Nagyboldogasszony Főszékesegyház rekonstrukció, Bazilika körül csatornák felmérése MSZ.: DE2424/2020). Megtörtént az épület közműkapcsolatainak vizsgálata, valamint a déli torony bekötéseinek azonosítása. A legfontosabb tapasztalatok a következők voltak:

- A Bazilika közvetlen környezetében a csapadékelvezető és a szennyvízelvezető vezetékek szétválasztott rendszerűek és csak a rámpa környékén egyesülnek, állapotuk megfelelő, nem eresztenek.
- A szennyvíz és a vezetékes víz a sekrestye ajtótól délre, a Vár irányába halad, és a füves részen kerüli a déli tornyot.
- Egy aknában sérült volt a víznyomóvezeték, ez eresztett legalább öt éven keresztül, amit a vízóra állása is igazolt. A hibát kijavították.

- A Bazilikától délre található ivókút felmérésekor a mellette lévő akna eltömődött, avarral és más egyéb szennyeződéssel telt állapotban találtuk. A kamerás vizsgálatok alatt az ivókút és a Bazilika között húzódó gerincvezeték irányából kívánták az állapotokat felmérni, ám a kamera elakadt, mivel a csőben iránytörés, deformáció keletkezett.

A terület összes talajban futó közműve a vizsgálatok alapján és a javítást követően megfelelő állapotúnak tekinthető, kivéve az ivókút aknáját, valamint vízvezető csatornáját. Felszín alól a kutatóárokba máshonnan nem kerülhetett víz.

A tető- és csapadékvíz elvezetőrendszer felülvizsgálata

Bármely épület vizesedésének vizsgálatánál fontos a tető vízvezetésének vizsgálata. A tetővizet általában ejtőcsöveken keresztül juttatják a csapadék csatornarendszerbe, mely optimális esetben gondoskodik az elvezetésről. Ebben a fejezetben a csapadék elvezetőrendszer ellenőrzésének eredményeit tömören összefoglaltuk. A számításokat Dr. Madarassy László végezte el, melynek részletes ismertetése az eredeti szakvéleményünkben (Hajnal et al 2020) olvasható. (Az alkalmazott módszerek leírását a „Vizsgálati módszertan” fejezetben ismertettük.)

A csapadékból keletkező kártételeket leggyakrabban a záporsemények okozzák. A megfelelő méretezésnek kulcsfontosságú jellemzője a csapadékesemény p előfordulási valószínűsége. Az erre vonatkozó előírások koronként változtak, jellemzően szigorodtak. A 157 éve felszentelt Bazilika életében ez a szigorodás jelentős mértékű volt, viszont ismert, hogy a Bazilika-tetőt az 1993. évi tűzvészt követően újra építették.

A tetőről levezető ejtőcsövek aknákkal csatlakoznak a csapadékvíz elvezető csatornahálózathoz. A tornyokból a lefolyóknak négy fogadóaknája van, ám egy lefolyó hiányzik és így csak három ejtőcső van. Ugyanígy a főhajó tető vízvezetésére 12-16 fogadóakna van kiépítve, ugyanakkor a lefolyócsövek száma csak tíz. A szimmetrikus elrendezésből az látszik, hogy 12 lefolyó volt tervezve, de csak 10 lefolyócső vezet le a csapadékvizet. A hiányzó ejtőcső vizét átírányították a legközelebbi vezetékhez, így ez dupla terhelést kap, melyet mértékadó helyzetben egyértelműen nem képes levezetni. Itt meg kell jegyeznünk, hogy mindkét hiányzó csőnek az altemplom lejáratának közelében kellett volna megépülnie.

A számítások elvégzésekor a mértékadó csapadék valószínűségét a mai előírásoknak megfelelően $p = 1\%$ -ra (100 éves visszatérési időre) kellett választani. Az összegyülekezési idő a Bazilika esetén $t = 10$ perc volt. A számítás szempontjából releváns környezete a Bazilikának $A = 0,6$ ha nagyságú, melynek a fele burkolt, a fele rész zöldterület. Maga a Bazilika tetejének területe $A = 0,5$ ha.

A számítások eredményeiből megállapítható volt, hogy a mértékadó záporterhelés a teljes tetőfelületre 314 l/s hozammal bír, továbbá, hogy az egy lefolyóra jutó kb. 26 l/s-os hozam meghaladja a szabványban irányadó 22 l/s-os terhelést.

A $p = 1\%$ -os előfordulási valószínűségű mértékadó vízhozamokat összevetettük a csapadékvíz elvezetőrendszer egyes csőszakaszainak maximális vízszállító képességével, továbbá a megengedhető vízsebességgel ($v < 2,5$ m/s). Mivel a rendszer tervezésekor a mértékadó vízhozam számításához a $p = 10\%$ -os előfordulási valószínűség volt használatos, ezért a rendszer 27 csőszakaszából 12 szakasz nem felel meg a jelenleg hatályos tervezési irányelveknek. A számítások határának választott szelvényénél a mértékadó vízhozam $Q_{1\%} = 472$ l/s, viszont a rendszer csak $Q_{10\%} = 264$ l/s elszállítására képes.

KÖVETKEZTETÉSEK

A szakirodalmi adatok, a korábbi szakvélemények, a terepbejárások, a szakmai konzultációk és a helyszíni- és laboratóriumi mérések, valamint számítások alapján a következő megállapításokat fogalmaztuk meg:

1. Az esztergomi Várhegy kőzeteiben nem alakult ki összefüggő vízréteg. A hegy fő tömegét elsősorban mészkő és homokkő képezi, a Bazilika közvetlen környezetében szürke, kötött agyag található. A mészkőben áramló vizet karsztvíznek, a homokkőben áramló vizet hasadékvíznek nevezzük. Jelen esetben ezek – a klasszikus hidrogeológiai értelemben véve – nincsenek jelen.
2. A Bazilika vizesedését (és a korábban észlelteket a Sötétkapunál, illetve a Prímás pincénél), illetve a támfalakon továbbra is látható vízfoltokat valószínűleg a felszínről beszivárgó, nem megfelelően elvezetett vizek okozzák.
3. A víztelenítő kutak hozama többször egymás utáni próbaszivattyúzás hatására csökkent, viszont az altemplom alatt húzódó réteg teljes víztelenítése vizsgálataink alapján a jelen műszaki megoldásokkal nem tűnt megoldható feladatnak.
4. A kutatóárokba beszivárgott és a víztelenítő kutakban megjelenő víz közötti kapcsolatot nem sikerült kimutatni. A kutatóárok visszatöltése után kútgyűrűs megfigyelőaknákat létesítettek a helyszínen, melyben az altemplomi kutakkal egyetemben, javasoljuk a folyamatos vízszintregisztrációt.
5. Az elvégzett víziközműrendszer felülvizsgálatának köszönhetően a Bazilika környezetében fekvő vezetékek állapota megfelelő, kivéve az ivókút aknáját, valamint vízelvező csatornáját.
6. A vízkárok lényeges okának tartjuk az elégtelen számú ejtőcsövet. Az eredeti tervekhez képest hiányzó két lefolyócső is az altemplom bejárata közelében van, így feltételezhető, hogy ez az egyik lehetséges okozója az altemplom beázásának. Tehát a jelenlegi ejtőcsőkiosztás különösen hátrányosan érinti az altemplomot, ezért ezt a kedvezőtlen helyzetet részletesebben szükséges megvizsgálni.
7. A kiépített csapadékvíz elvezető rendszer a hatályos előírásoknak nem felel meg, a Bazilika és környékét a jelenlegi előírások szerint a $p = 1\%$ -os valószínűségű (100 éves visszatérési idejű) csapadéokra kell méretezni és kapacitását erre az értékre kell fejleszteni. Számításaink szerint a rendszer 27 csőszakaszából 12 szakasz nem felel meg a jelenleg hatályos tervezési irányelveknek.
8. Gyökeresen változtatni kell a Bazilika és környezete víztelenítési és kárelhárítási koncepcióján. Nem elegendő a meglévő művek javítása és bővítése. Amennyiben lehetséges egy teljes, az eddig összegyűjtött tapasztalatok hasznosításával történő felújítást igényel az építmény-komplexum víz elleni védelme.

IRODALOMJEGYZÉK

- Besey, L. (2007) Az Esztergomi Bazilika környezetében lévő pincerendszer megóvása és idegenforgalmi hasznosítása, geotechnikai és hidrogeológiai szakvélemény, Besey Építőipari Mérnöki Kft., Esztergom
- Besey L. (2016) Időszzerű mérnöki feladatok az Esztergomi Főszékesegyház épületében. Mérnökzakértői tanulmány, Besey Építőipari Mérnöki Kft., Esztergom
- Colebrook, C.F., White, C.M. (1937) Experiments with Fluid Friction Factor in Roughened Pipes. Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences, 161, 367-381. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.1937.0150>

- Darcy, H. (1857) Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux, Mallet-Bachelier, Paris. 268 pages and atlas.
- FTV (1976) Az Esztergomi Bazilika „Bakócz-kápolna” falnedvesedésével kapcsolatos diagnosztikai vizsgálat, Tsz: 74/1581-231, Tanulmányterv.
- FTV (1980) Esztergom, Sötétkapu feletti terület. Tsz: 97/1430-243, Talajmechanikai szakvélemény.
- Görög, P. (1997) Az Esztergomi Várhegy és az alatta található Prímáspince építésföldtana és története, BME Építőmérnöki Kar, Tudományos Diákköri Konferencia, Budapest,
- Hajnal G. (2017) Esztergom, Várhegy Hidrogeológiai szakvélemény, különös tekintettel a Bazilika vizesedésére. Tau-Terv Kft. Tau-Terv Kft., Budapest
- Hajnal, G., Madarassy, L., Görög, P., Farkas, D., Rehák A. (2020) Esztergom, Várhegy Hidrogeológiai és vízrendezési tanulmánya, A Bazilika környezetének vízrendezési szakvéleménye, Tau-Terv Kft., Budapest
- KIMA (2008) Esztergomi Bazilika környezetében lévő pincerendszer megóvása és idegenforgalmi hasznosítása. Kiviteli terv. KIMA Studio, Budapest
- Koch A. (1871) A Szentendre-Visegrádi és a Pilis hegység földtani leírása, Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve I., Pest
- Koch A. (1877) A dunai trachitcsoport jobbparti részének (Szentendre-Visegrád-Esztergomi hegycsoport) földtani leírása, MTA Math. és Természettudományi Hivatalának kiadványa, Budapest, 144 p.
- KOMTERV (1985) Talajmechanikai szakvélemény az Esztergom, Bazilika-Sötétkapu üzletsor tanulmánytervéhez. KOMTERV Vállalat, Msz: 85023.
- KOMTERV (1989) Esztergom, Sötétkapui primási pincerendszer idegenforgalmi felhasználása és továbbfejlesztése. KOMTERV Kft., Msz: 89.056.
- KTTI (1965) Talajmechanikai szakvélemény az Esztergomi Sötétkapu pincerész vizsgálatáról, Komárommegyei Tanács Tervező Iroda, Msz: 5186.
- MBFSZ (2022) Magyarország felszíni földtana, <https://map.mbfisz.gov.hu/fdt100/> (2022.05.01)
- Mezey A. (2007) Esztergomi Prímás pince helyreállítási és hasznosítási terv. Kutatási dokumentáció.
- Mulvaney T. J. (1851) On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relation of rainfall and flood discharges in a given catchment. Proceedings of the Institute of Civil Engineering of Ireland, 4, 18-31.
- Nyilassy F., Szenczi Gy. (1989) Előzetes részjelentés az Esztergom Sötétkapui pincék vizesedéséről készült szakvéleményezésről.
- Taeger Henrik: (1914) A Buda-Pilis-Esztergomi hegycsoport szerkezete és arculata, Földtani Közöny, XLIV. kötet, 10-12 füzet, pp. 555-571
- Telegdi-Róth Károly: (1938) Esztergom vidékének földtani múltja, Földtani Értesítő, III. új évf. 2. szám, pp. 42-51
- Tolnai G. (2009) Szakmai Beszámoló az esztergomi vár középkori kútja feltárásáról.
- Vicze, F. (2000) Talajmechanikai Szakértői Vélemény. Esztergom, Prímás Pince talajmechanikai vizsgálata. Novum Kft., Esztergom
- Wagner A., Csonka T. (2008a) Esztergomi Bazilika, Északnyugati-Északi mellvédfa feszítő horgonyzásának Keret-terve. Készítette Sycons Kft., Nagykovácsi
- Wagner A., Csonka T. (2008b) Esztergomi Bazilika, Kis-Pince Mentésítő szivárgó rendszerének Kiviteli Terve. Sycons Kft., Nagykovácsi
- Weissbach, J. (1845) Lehrbuch der Ingenieur - und Maschinen -Mechanik, Vol. 1. Theoretische Mechanik, Vieweg und Sohn, Braunschweig. 535 p.