

## Víz-víz hőszivattyús rendszer alkalmazhatósága és megalapozottság vizsgálata hidrogeológiai módszerekkel

### Assessment of the applicability and feasibility of a water-to-water heat pump system using hydrogeological methods

LENKOVICS László<sup>1</sup>, ÓZDI András<sup>2</sup>, Dr. CAKÓ Balázs<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet - Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék  
Magyarország, 7624 Pécs, Boszorkány u. 2.  
lenkovics.laszlo@mik.pte.hu

<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Magyarország, 7624 Pécs, Boszorkány u. 2.  
ozdiandras@gmail.com

<sup>3</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet - Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék  
Magyarország, 7624 Pécs, Boszorkány u. 2.  
cako.balazs@mik.pte.hu

#### Abstract

*Heat pumps are key components in the modern and sustainable design of new and existing buildings. The aim is to investigate the potential applications of water-to-water heat pump systems and to present them in a case study involving public buildings. The research focuses on the necessary design considerations of a water-to-water heat pump solution based on a cold-water production well, combined with a gas boiler, highlighting the technical opportunities that can verify the feasibility and optimal operation of the system.*

**Keywords:** building services modernization, heat pumps, water-to-water heat pump, hydrogeology

#### Kivonat

*Hőszivattyúk kitüntetett elemei új és meglévő épületek korszerű, fenntartható kialakításakor. Cél elsősorban víz-víz üzemű hőszivattyús rendszerek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata és annak bemutatása középületeket érintő esettanulmány keretében. A kutatás gázkazánnal kombinált, hidegvizes fűtő kútra alapozott víz-víz üzemű hőszivattyús megoldás tervezési kérdéseire fókuszál, kiemelve azon műszaki lehetőségeket, mellyel a rendszer megalapozottsága és optimális működése igazolható.*

**Kulcsszavak:** épületgépészeti korszerűsítés, hőszivattyúk, víz-víz üzemű hőszivattyú, hidrogeológia

## 1. BEVEZETÉS

Az épületgépészetben kiemelt szerepet töltenek be az energiahatékony és környezetbarát alternatívák, melyre jó példa a hőszivattyús technológia alkalmazása. A cikkben ezen belül víz-víz üzemű rendszerek előnyeivel és a hosszútávú hatékony működés megteremtésének feltételeivel foglalkozunk. A víz-víz üzemű hőszivattyús rendszerek esetén a hőforrás oldalon többek között fűtő kútból nyert talajvíz, felszíni vizek (tavak, folyók) vagy termálvizek (hévíz) szolgálhatnak hőforrásként.

A témát általánosan közelítjük, azonban egy konkrét példa tanulságain keresztül szemléltetjük az esetleges műszaki kihívásokat és megoldásokat. A bemutatásra kerülő és leendő rendszer kialakítása esetén fő szempont volt meglévő középületek hőellátásának korszerűsítése költség- és energiahatékony módon, mely önmagában nem egyedi feladat, de az alkalmazott eljárásokat és megoldásokat annak gondoljuk. A tárgyi épületek hőleadó rendszere különböző, a hőtermelés azonban közös központi kazánházból ered. Főgáz, mint fosszilis energiahordozón alapuló hőtermelő megléte és az annak kiváltására irányuló igény kiváló ösztönző

hőszivattyús technológia alkalmazására. Ezen belül azonban koránt sem egyértelmű feladat a megfelelő technológia kiválasztása. Általános és helyi adottságok vizsgálata szükséges a döntéshozatal és műszaki tervezés megalapozásához.

Hőszivattyúk hatékonysága a technológián és a gondos tervezésen, kivitelezésen múlik, melyhez nélkülözhetetlen a helyi adottságok vizsgálata. A következőkben technológia választási és tervezési szempontokat, valamint a helyi adottságok elemzésének lehetséges megoldásait mutatjuk be.

## **2. TECHNOLÓGIA VÁLASZTÁS SZEMPONTJAI**

Általánosan elmondható, hogy a víz-víz üzemű hőszivattyús rendszerek számos ponton felülmúlhatják a talajkollektoros vagy levegő-víz rendszereket, különösen ami a hosszú távú stabilitást illeti.

Nyomós érv a víz-víz rendszer mellett, hogy nincs szükség a talaj rekuperációjára, ellentétben a zárt rendszerű talajkollektoros megoldásokkal. A talajkollektorok esetén ismert jelenség, hogy míg folyamatosan hőt vonnak el a talajból fűtési szezonban, addig ez idővel annak lehűléséhez vezet. Ha a hűtési igény alacsony, vagy egyáltalán nincs hűtés, a talaj hőtartalma fokozatosan csökken, ami a rendszer hatékonyságának romlásához és akár a talajszondák elfagyásához is vezethet. Ezért van szükség a talajkollektoros rendszereknél a rekuperációra, vagyis a talaj hővel való visszatöltésére. A tárgyi épületeknél minimális hűtési igény és felülethűtési megoldások hiányában a rekuperáció nyáron passzív hűtés útján nem tekinthető optimális megoldásnak. A víz-víz rendszer esetén nincs igény a talaj rekuperációra, mivel a talajvíz folyamatosan áramlik, és a hőszivattyú által kivont vagy leadott hőmennyiség nem befolyásolja drasztikusan a talajvíz hőmérsékletét. Mindettől függetlenül a minimálisan jelentkező hűtési igény is fedezhető a tervezett rendszerrel.

A víz-víz üzemű rendszerek további nagy előnye kétségtelenül, hogy a talajvíz hőmérséklete évszaktól függetlenül állandónak mondható, ami stabil működési feltételeket teremt, valamint hozzájárul, hogy az ilyen hőszivattyúk jellemzően magasabb SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) értékkel, azaz szezonális hatékonysági tényezővel működnek. Ezzel ellentétben levegő-víz üzem esetén a külső hőmérséklet csökkenés a leadott teljesítményt erősen befolyásolja és végeredményben a hatékonyság rovására megy. Mivel nincs szükség a talajrekuperációra és a rendszer kevésbé érzékeny a környezeti hőmérséklet-ingadozásokra, a víz-víz rendszerek hosszú távon is rendkívül megbízhatóan üzemelnek. Ehhez természetesen az üzembiztos működés megteremtése kulcsfontosságú, valamint a rendszerbe való integráció esetén számos egyéb tervezési szempontra kell figyelni. Igaz víz-víz közegre kialakított hőszivattyú esetén is, hogy célszerű alacsony előremenő fűtővíz hőmérsékletet igénylő hőleadói rendszerek kiszolgálása a hatékonyság jegyében. A beépítendő vagy beépíthető teljesítmény meghatározása kapcsán el kell mondani, hogy bár eredeti cél sokszor a fűtőgáz fogyasztás kiváltása, annak teljes felváltása bizonyos esetekben nem feltétlen reális cél, ráadásul a redundancia nevében előny is lehet a másodlagos hőtermelő megtartása. Jelen esetben is párhuzamos bivalens rendszerkapcsolás kialakítása volt a cél.

A vizsgált esetben, a kiszorgálandó rendszer és tervezett rendszer adottságai végett  $SCOP = 4,2-4,7 [-]$  közti szezonális hatékonysági tényező prognosztizált. Ezzel szemben, bár talajkollektoros rendszerrel hasonló jószág fok érhető el, a bemutatott korlátai miatt elvetésre került. Hagyományos levegő-víz rendszer átlag hatékonysága ehhez képest várhatóan alacsonyabb. Mindezt szakirodalom kutatás eredményeire alapozva mondhatjuk, miszerint levegő-víz hőszivattyú átlagos és valós üzemi körülmények közt mért SCOP értéke 378 darab esettanulmány alapján 2,59  $[-]$  volt. Ez egyben 40%-os eltérést jelent a szabvány szerint meghatározott katalógus adat és a valós eredmények közt [1]. Másik kutatás esetében a szezonális hatásfok átlaga valós, terepi mért értékek alapján 3,72  $[-]$  volt levegő-víz hőszivattyúk körében [2]. Tény, hogy megtérülés vizsgálatához a hőtermelő hatékonyságán kívül a rendszer szintű SCOP értéket célszerű meghatározni pl.: a keringtető szivattyúk fogyasztását is figyelembe véve. A magas SCOP érték azért fontos, mert közvetlenül meghatározza egy hőszivattyú energiahatékonyságát, költséghatékonyságát és környezeti hatását.

## **3. TERVEZÉSI SZEMPONTOK**

### **3.1. Helyi adottságok, telepítési szempontok**

Az adott környezeti és későbbiekben bemutatott hidrogeológiai viszonyok alapján reális lehetőségként körvonalazódott hidegvizes fűtő kútra alapozott víz-víz üzemű hőszivattyús rendszer kialakítása. A későbbiekben bemutatott módon elemezhető a koncepció működőképessége. Ennek folyamán megválaszolásra kerül azon kérdés is, hogy a hőszivattyú számára szükséges hőforrás oldali közeg jelen van-e a területen és a szükséges tömegáram biztosítható-e hosszútávon.

Helyi adottság, mely a döntéshozatalt előkészítő szempontokhoz tartozik a műemléki környezet ténye. Levegő-víz hőszivattyúk esetén a beltéri egységen felül kültéri egység elhelyezéséről mindig gondoskodni kell. Legyen szó osztott rendszerű vagy monoblokkos kialakításról a kültéri elhelyezés rendszerint nehézségek árán lehetséges főként az utólagosan beépített berendezéseknél. Víz-víz hőszivattyú esetén nincs hagyományos értelemben vett kültéri egység, amely a tárgyi épületek műemléki érintettsége végett fontos szempontnak bizonyult. A műemléki, városképi szempontokon túl, műszaki igényeket kielégítő helyet sem lehetett volna egy esetleges kültéri egységnek biztosítani. A hőközpontot magába foglaló épület nyeregvető kialakítású, közvetlen közelében pedig térköburkolatos felületek találhatók, játszótér, parkoló és egyéb funkciókat ellátó zónákkal. Ezen felül az épületek középületi, és a környező terület közterületi mivoltából jelentős a látogatók száma. Egy esetleges kültéri egységet vizuális és a zaj szennyezés csökkentés érdekében, valamint a berendezés idegen kéz elleni védelmében körül kellene határolni. Összességében a problémát, hogy nem található elfogadható közelségben kültéri egység telepítésére alkalmas hely gyökerében megoldotta, hogy víz-víz hőszivattyús rendszer kerül kialakításra. Természetesen a technológia része a hőforrás oldali közeget biztosító fűtő kút és kút fej, melyet el kell tudni helyezni, azonban mindez talajszint alá, aknába süllyeszthető. Jelen példában ez egy félreeső, de a vízbázis szempontjából megfelelő helyen lévő, a telekhatár szélén futó zöldsávban történt. A megfelelő vízbázis, mint telepítési feltétel kérdéskörével egy későbbi fejezetben foglalkozunk. A víz-víz üzemre tervezett hőszivattyú, valamint az egyéb szükségszerű berendezések, mint fűtési-hűtési puffertároló, hőcserélő és egyéb új szerelvények a hőközpontban kerülnek telepítésre, a meglévő rendszerbe illeszkedve. A terület bár közművekkel sűrűn beépített, a maximum 150 méteres távolság a kutakat és hőszivattyú között mélyépítési munkálatokkal áthidalható és egy összekötő vezeték nyomvonal kiépítése megvalósítható. A közeg szállítása a kútban elhelyezett búvárszivattyú által biztosított. A szerelési munkálatok után, a zöldsávban elhelyezett akna fedlapokon kívül nyom nélkül lesz képes az új, megújuló energiaforrást alkalmazó berendezés hőtermelői feladatait ellátni.

Elmondható, hogy a hosszútávú hatékony működés egyértelmű kihívója az eltömődés veszélye kút oldalon, mely azonban műszaki megoldásokkal, mint a megfelelő hidraulikai kialakítás, valamint karbantartással kezelhető. Az elpiszkolódás veszélye a rendszer többi részén is fennáll, így az előtét hőcserélő leválasztás gyakori megoldás. Ez a nyílt, oxigén dús kút oldal végett és így korrózióvédelmi szempontból is előnyös. Végezetül jelen feladat esetén is felmerült több termelő, valamint nyelető kút létesítésének eshetősége. Mindez elsősorban a rendszer számára szükséges állandó tömegáram biztosítása miatti szükségesség. Ugyan esetenként több kút fúrására is szükség lehet, ez valójában a rendszer stabilitását és hosszú távú, üzembiztos működését garantálja. Pozitív tapasztalat, hogy az ilyen típusú kutak esetében nincs szükség extrém mélységre, mivel elegendő az első vízáadó réteg elérése. Jelen esetben ez már 30 méteres mélységben megtörtént, így mélyfúrás nem indokolt. A későbbi vizsgálatok szükségességét indokolta, hogy a megszokott legalább 15-20 méteres kutak közti vízszintes vetületi távolság a helyi adottságok végett nem volt tartható, az egymáshoz közeli kútkialakítás pedig problémákat okozhat.

### 3.2. A kitermelt felszín alatti vizek visszasajtolásának jogszabályi kötelezettségei

A talajvizes hőszivattyús rendszerek telepítése során kiemelt figyelmet kell fordítani a víz visszasajtolására és így nyelető kutak létesítésére. A hideg vizes kutak (azaz 30 °C alatti hőmérsékletű felszín alatti vizek) esetében a visszasajtolásra vonatkozó jogszabályi kötelezettségek eltérnek a termálvizekre vonatkozó előírásoktól. Bár a magyar vízügyi szabályozás egyértelműen a vízkészletek fenntartható használatát és védelmét célozza, a talajvizes hőszivattyúk esetében a visszasajtolás kötelezettsége nem egyértelműen és explicit módon megfogalmazott a jogszabályokban. A **101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet** hatálya kiterjed a felszín alatti vizek kitermelésével és visszatáplálásával kapcsolatos vízilétesítményekre, beleértve a visszatápláló kutakat is. A hideg vizes kutak esetében az olvasható, hogy nincs általános jogszabályi kötelezettség a kitermelt víz visszasajtolására. A visszasajtolás szükségessége az adott vízhasználat jellegétől, a kitermelt víz minőségétől és a helyi hidrogeológiai viszonyoktól függ. Például, ha a kitermelt víz minősége vagy mennyisége olyan, hogy a felszíni befogadóba történő elvezetése környezeti kockázatot jelentene, a hatóság előírhatja a visszasajtolást. Minden kút létesítéséhez, használatához és megszüntetéséhez vízjogi engedély szükséges. Az engedélyezési eljárás során a hatóság megvizsgálja a tervezett vízhasználatot, és meghatározza azokat a feltételeket, amelyek biztosítják a felszín alatti vízkészletek védelmét és a környezet megóvását. Bár a hideg vizes kutak esetében nincs általános visszasajtolási kötelezettség, a fenntartható vízgazdálkodás érdekében érdemes mérlegelni a visszasajtolás lehetőségét, különösen nagyobb vízkivétel esetén [3].

A **72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet** a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról határozza meg, hogy mely vízimunkákhoz és vízilétesítményekhez szükséges vízjogi engedély. A talajvizes hőszivattyúk,

amelyek kutak fúrását és vízkitermelést, illetve visszasajtolást foglalnak magukban, vízilétesítménynek minősülnek, így engedélykötelesek. Az engedélyezési eljárás során a hatóság vizsgálja a vízkészletre gyakorolt hatást, és feltételül szabja a környezetvédelmi szempontból is megfelelő üzemeltetést, amibe a visszasajtolás is beletartozik [4].

A **219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet** a felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi védelmére vonatkozó szabályokat rögzíti. Ez a rendelet fontos alapot képez mind a termál-, mind a hidegvizes kutak használatával kapcsolatos kötelezettségek meghatározásában. Hidegvizes kutak esetén a visszasajtolás nem minden esetben kötelező, de ahogy korábban is írtuk, az engedélyezési eljárás során a hatóság előírhatja, ha a helyi vízgazdálkodási vagy környezetvédelmi szempontok ezt indokolják [5].

Termálvizek esetén a főszabály szerint vissza kell azt sajtolni ugyanazon vízádóba, főleg, ha kizárólag energetikai célokra kitermelt felszín alatti vízről van szó és feltételezhetően így kémiai összetétele változatlan. A földtani közeg védelme érdekében egyéb használt víz visszasajtolása tilos. Amennyiben pl.: balneológiai célokra is hasznosul a víz annak visszasajtolása nem lehetséges, mivel összetétele ennek hatására a kitermelt víztől eltérő, a földtani közegbe pedig szennyező anyag nem kerülhet. Helyette ártalommentes elvezetéséről, elhelyezéséről kell gondoskodni. Mindezzel a **147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet** foglalkozik [6].

Összességében nincs egyetlen paragrafus, ami kimondaná, hogy minden kitermelt talajvizet vissza kell sajtolni. Ehelyett a kötelezettség a vízgazdálkodási jogszabályok összességéből és szellemiségéből fakad, valamint a vízjogi engedélyezési eljárás során konkretizálódik. Javaslatként elmondható, hogy a visszasajtolás műszaki kialakításával foglalkozni szükséges.

## 4. MŰSZAKI MEGVALÓSÍTHATÓSÁG VISZGÁLATA

A különböző szempontok közül kulcskérdésként vizsgáltuk a földtani adottságokat és műszaki megvalósíthatóságot, hogy a kialakítandó koncepció életképessége bizonyosságot nyerjen. A jellemző adottságok szerint kell meghatározni a kútpárok elhelyezését, darabszámát és lehetőség szerint elemezni a várható üzemállapotokat. Az üzemállapotok szempontjából fontos a megfelelő kútpár kialakítás (egymáshoz viszonyított távolság), hiszen a víz kivétele és visszasajtolása során kerülni kell a termelő- és vissza sajtoló kutak esetleges káros egymásra hatását. A leendő rendszer esetében helyszíni mérések és modellezés eredményeként alátámasztottuk a koncepció megvalósíthatóságát és a leghatékonyabb működést.

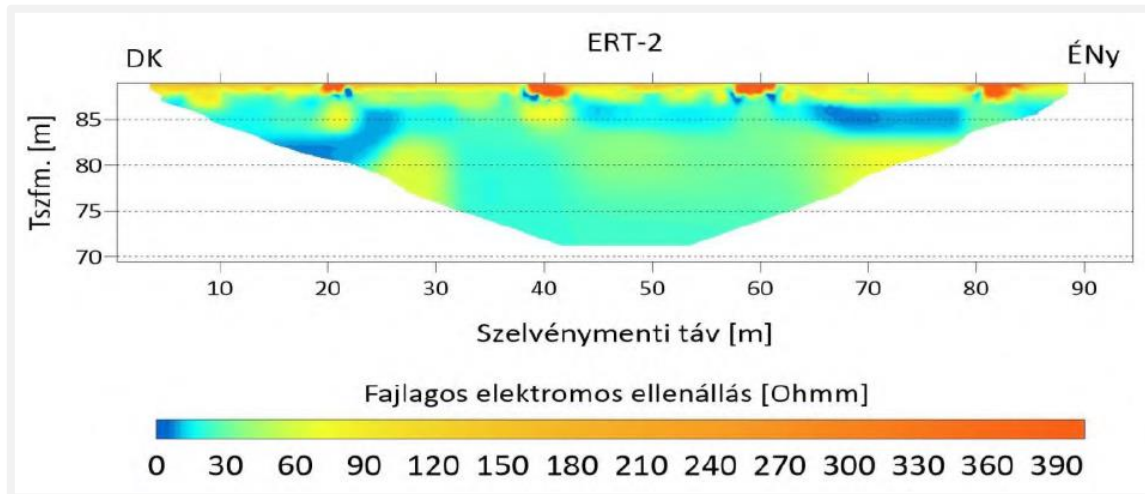
### 4.1. Kutak helyszíni geofizikai ERT vizsgálata

A forrás oldal kialakítása esetén talán leglényegesebb kérdés, hogy pontosan hol legyen vagy legyenek kialakítva a fúrt kutak. A területen felszíni geofizikai ERT-vizsgálatokat (elektromos ellenállás-tomográfia) volt szükséges végezni a felszín alatti vízádó réteg meglétének, térbeli kiterjedésének meghatározása és a geológiai legjobb kilátásokat biztosító kúthelyszínek kijelölése céljából. Az ERT egy széles körben alkalmazott, költséghatékony, felszíni geofizikai módszer, amelyet a felszín alatti vízkutatásban, mérnökgeofizikai munkáknál, földtani vizsgálatok során, valamint a régészetben is alkalmaznak [7]. A módszer azon az elven alapul, hogy a különböző kőzetek és üledékek elektromos vezetőképessége, illetve ellenállása eltérő, ami a víztartalmukkal, porozitásukkal, agyagtartalmukkal és kémiai összetételükkel függ össze.

A módszer működési elve alapján két darab áramelektródán áramot juttatva a földbe, másik ún. potenciálelektroda-páron kialakuló feszültség méréssel meghatározható a talaj egy pontjában a látszólagos fajlagos elektromos ellenállás. Az áramelektrodák és a potenciálelektrodák helyének megváltoztatásával függőlegesen és vízszintesen adatokat kapunk a felszín alatti térrész különböző pontjairól [8]. Általános szabály, hogy az áramelektrodák távolságának növelésével egyre nagyobb behatolási mélységet érünk el.

Egy méréskonfiguráció több ezer egyedi mérésből áll. Míg a nyers mérési adatok önmagukban nehezen értelmezhetők, addig a megfelelő adatfeldolgozást és inverziót követően kapott ellenállás-eloszlás grafikus ábrázolása adja a geofizikai vizsgálat lényegét és értékét [9]. A mért adatssal tehát egyrészt szelvények készíthetők, mely elsősorban mutatja a szelvények menti fajlagos elektromos ellenállás-eloszlást a szelvénymenti távolság függvényében. Másodrészt ennek segítségével, közzétípusokhoz elektromos ellenállás értékeket rendelve szerkeszthető meg a földtani rétegeket mutató ábra.

Egy példán keresztül mutatjuk be a geofizikai mérés eredményeit. A szemléltetésre használt szelvény végeredményben a kutaknak helyet adó területet is magában foglalja. Ezen szelvény DK-ÉNy irányú 96 méter hosszú. Közvetlenül a tárgyi ingatlan szélén húzódik az egyik középület mögött, valamint a Dunával párhuzamosan. A terepi geofizikai vizsgálatok ezen szelvényre vonatkozó eredménye az 1. ábrán látható, ahol grafikusán az elektromos ellenállás értékek jelennek meg szelvénymenti táv és mélységi adatok függvényében.

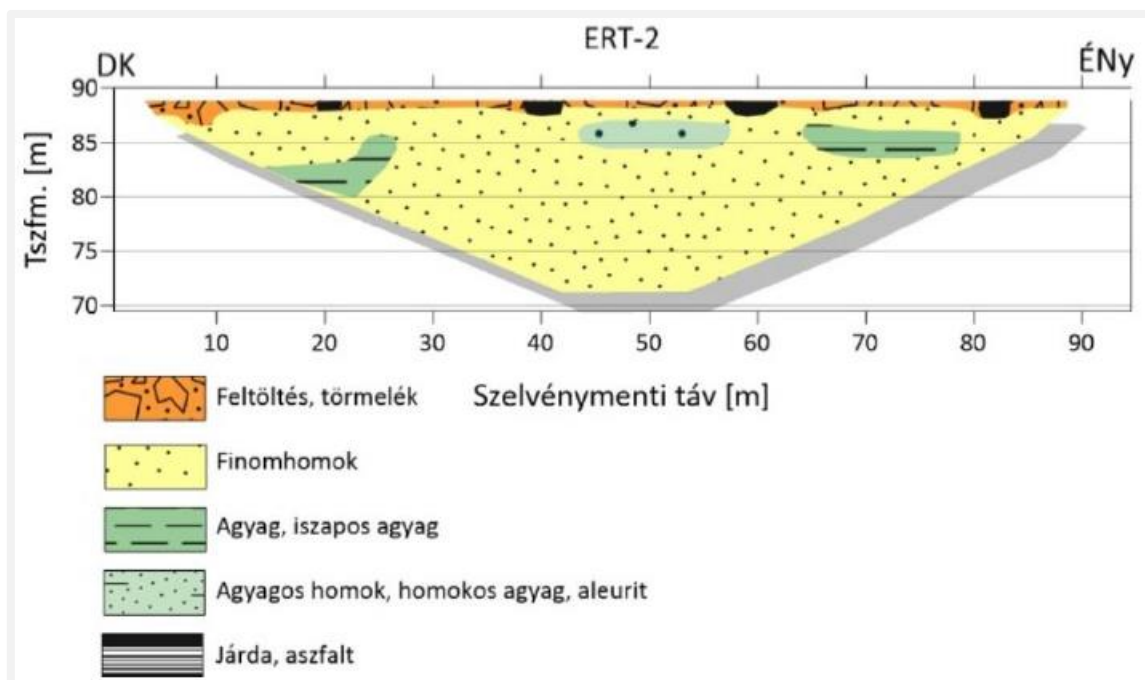


1. ábra. ERT vizsgálat eredményének grafikus megjelenítése (elektromos ellenállás értékek eloszlása)

Megállapítások:

- A felső rész környezeténél magasabb ellenállás látható (a szelvényen sárga-narancssárga színnel jelölve), ami kb. 1-1,5 méter vastag és 80-150 Ohm közötti ellenállással rendelkezik, az épület mellett kialakított kavicsos ágyás és ehhez köthető talajmegmunkálás okozta.
- A 21, 41, 60 és 81 méteren látható több legalább 100 Ohm körüli piros színnel jelölt anomáliák az épülethez tartozó járdák rossz elektromos vezetőképességű térkövei miatt vannak.
- Két alacsonyabb ellenállású (~7 Ohm) kék színnel jelölt részt látunk a felszín alatt pár méterrel, 15-22 méter között, illetve 65-77 méter között. Ez finomabb szemcsés, agyagos üledékre utal.

Az ismert közettípusokhoz elektromos ellenállás értékeket rendelve szerkeszthető meg a földtani rétegeket mutató, hasonló elrendezésű de kézzelfoghatóbb ábra melyet a 2. ábra mutat:



2. ábra. ERT vizsgálat eredményének grafikus megjelenítése (földtani rétegek eloszlása)

A vizsgált területet földtani szempontból holocén és pleisztocén homok, kavicsos homok, kavics, homokos agyag, aleurit és agyag képződmények építik fel, a beépített területeken pedig magas fajlagos elektromos ellenállású szakaszokkal találkozhatunk [10]. A szelvények mentén a vízadóként hasznosítható felszín alatti rétegek a nagy porozitású kavicsos és homokos képződmények a termelőkutak rétegsorának is megfelelő mélységintervallumban jelennek meg.

Az értelmezés módszertana többlépcsős folyamatként valósult meg. A terepi mérésorozat eredményeként létrejövő nyers adatok folyamatos feldolgozásra kerültek, inverziós matematikai eljárás lefuttatásával szolgáltatva az ellenállásszelvényeket. 3D modellben megjelenített ellenállásszelvényekben való eltérés és anomália esetén, a kérdéses szelvényeket szükség esetén újra feldolgoztuk, eltérő matematikai eljárásokkal, hogy az eredmények minél jobban illeszkedjenek a többi földtani információhoz. Amennyiben a geofizikai szelvény elfogadhatónak minősült a többi adat (terület fúrási adataival és a többi, már bevitt geofizikai eredmény) tükrében, annak földtani értelmezése egy különálló grafikus szoftverben végezhető el, eredményezve így a már értelmezett földtani szelvényeket.

Általánosan elmondható, hogy a teljes mérési behatolás szelvényenként változik, kb. 35 méter mélységű a legtöbb vizsgált szelvénynél. A bemutatott példa esetén 18 méter. Minden esetben a szelvényterítés széle felé haladva, a maximálisnál kisebb behatolás érhető el a mérés geometriájából adódóan.

Összegezve az ERT vizsgálattal meghatározható, hogy a tárgyi területen jelen van jó vízadó képességű (jellemzően homok) réteg mely biztosítani fogja a technológia által igényelt vízmennyiséget.

#### **4.2. Kutak modellezési egymásrahatás vizsgálata**

Fontos a tervezett termelő- és nyelőkutak, valamint a környékbeli kutak hidraulikai hatásvizsgálata (egymásrahatás vizsgálata), melyben 3D-s hidrodinamikai és hőtranszport-modellez segít.

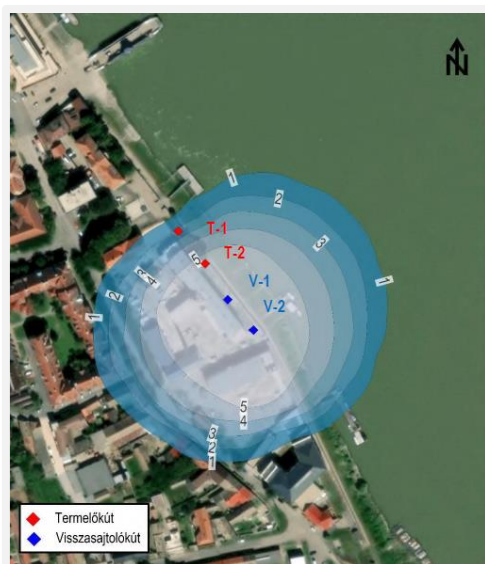
A modellezés alapján megállapítható egyrészt, hogy a tervezett kutak vízkivétele és a visszanyeletés nem jelent kockázatot (egymásrahatást) a környékbeli és a rendszert alkotó kutakra nézve. Másrészt megállapítást nyert a modellszenáriók vizsgálata során, hogy mely kialakítás a leghatékonyabb.

A hidrodinamikai vizsgálatok során felhasználható az elvégzett és bemutatott ERT típusú geofizikai mérések eredményei. Az azonosított és lehatárolt homokos, kavicsos homokos vízadó réteg lokális hidraulikai viszonyai modellezhetők [11]. Több lehetséges kialakítás vizsgálata szükséges. Ennek keretében a termelő- és nyelőkutak térbeli elosztása, valamint a tervezett hozamok figyelembevétele indokolt [12]. A modellezés elsődleges célja a nyelőkutakból származó, hőcserélt víz által okozott és várható termikus hatások (visszahűtés) meghatározása a kitermelő ágban, továbbá az üzemelés során fellépő hidraulikai kölcsönhatások (vízszintsüllyedés) optimalizálása. Ez a megközelítés alapvető fontosságú a hőszivattyús rendszer hosszú távú hatékonyságának és fenntartható működésének biztosításához.

A modellezési módszertan első lépéseként korábbi fúrási adatok kerültek összegyűjtésre és térinformatikai adatbázisba rendezésre [13]. Ezt követően a vizsgálati terület domborzata műholdrendszer topográfiai adatai alapján került modellezésre. A modell kalibrálása során figyelembe kell venni a nyugalmi vízszinteket, valamint a rétegek vízvezető képességét, különös tekintettel a homokos és kavicsos rétegek jó vízáteresztő képességére [14]. A vízáramlás jellemző iránya jelen esetben ÉNy–DK, amelyet jelentősen befolyásol a Duna közelsége és vízállása. A földtani képződmények vízvezető képességi értékek pedig szakirodalmi adatok alapján lettek meghatározva [11].

Eredményeiben két verzió hatásvizsgálatát mutatjuk be, ahol 4 db kút kialakítása volt tervezett. Ebből az egyik bizonyult optimális megoldásnak. Minden esetben a kivett víz hőfoka 14°C volt, a visszasajtoló víz pedig 8°C. A vizsgálatok során a kutakban bekövetkező vízszintváltozás, valamint hőmérsékletváltozás mértékét vetettük össze. Az alapfelvetés, hogy az üzemelés során a  $dT < 5^\circ\text{C}$ -nál ne legyen nagyobb semelyik termelőkútban sem a kialakuló hőfok különbség. További peremfeltétel a 400 l/p vízkivételi kapacitás biztosítása.

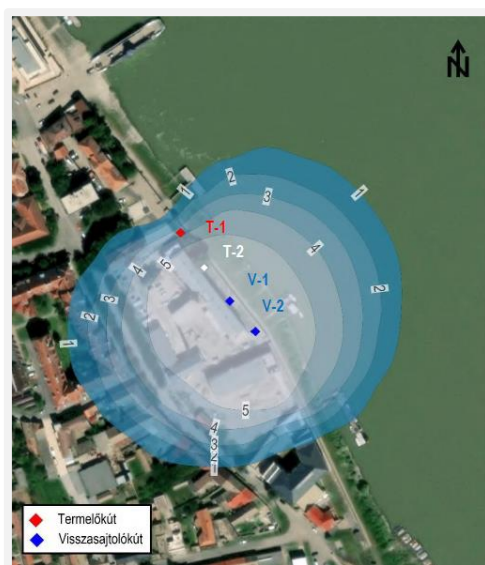
Az első esetben vizsgált kútkialakítás a 3. ábrán látható.



3. ábra. I. verzió kútelhelyezése és számított visszahűtés mértéke

Az első változatban a T-1-es és T-2-es kutak üzemeltek 200-200 l/p hozammal, a V-1-es és a V-2-es kutakba pedig a visszasajtolás történt. A vizsgált változatban a termelőkutakba történt vízszintsüllyedés mértéke nem érte el a 2 m-t, a kútegymásrahatás elmondható, hogy nem jelentős. A változat vizsgálata során a visszasajtoló víz hűtőhatása a T-2-es kútban azonban meghaladta az 5°C-ot, melyet a fehér és kék színezett zónák kiterjedéséből láthatunk. Mindezt helyi kényszer, a kutak egymáshoz közeli telepítése okozza.

A második esetben vizsgált kútkialakítás a 4. ábrán látható.



4. ábra. II. verzió kútelhelyezése és számított visszahűtés mértéke

A második változatban csak a T-1-es kút üzemelt 400 l/p hozammal (a T-2-es kút ebben a változatban tartalékkútként szerepelt és nem termelt), a V-1-es és a V-2-es kutakba pedig a korábbi esethez hasonlóan a visszasajtolás történt. A vizsgált változatban a termelőkutakba történt vízszintsüllyedés mértéke meghaladta a 3 m-t, de a kútegymásrahatás így sem jelentős. A változat vizsgálata során a visszasajtoló víz hűtőhatása a T-1-es kútban nem meghaladta az 5°C-ot.

Ezen felül további lehetséges kútkialakítások vizsgálata történt, de látható, hogy sikerült olyan modellváltozatot eredményül kapni, amelyben a nyelőkutak által generált visszahűtés mértéke kisebb mint 5°C. Érdekesség képpen egy elméleti fordított eset eredményére a Duna folyásirányából is következtetni tudunk. Amennyiben délebbre történik a termelés és tőle északi irányban a visszasajtolás, mivel a Duna

folyásiránya a felszín alatti vizek mozgására is hatással van, így a visszahűtés hatása markánsabb lenne. Mindezt külön modellezés során igazoltuk.

Összességében a modellezés által legjobb hatékonysággal működő kút kialakítás a második kialakítás, amelyben 1 db termelőkút, és 2 db nyeletőkút működik egyidejűleg, illetve 1 db tartalék termelő/nyeletőkút található, arra az esetre, ha a kémiai elszennyeződés miatt a termelés/visszasajtolás folyamatát fel kellene cserélni a kutak hosszútávú minőségbiztosításának érdekében.

## 5. ÖSSZEGZÉS:

Általában, de különösen szeszélyes energiaár változás jellemezte időszakban gyakori igény és mérnöki feladat meglévő épületek korszerűsítése. A cikkben tárgyalt épületegyüttes esetén is cél a gépészeti rendszer modernizálása, mely esetén bemutatásra került az esetlegesen alkalmazható hőszivattyús technológiák közül a víz-víz üzemű rendszerek előnyei és a megvalósíthatóság fontos műszaki feltételei.

Kiemelten tárgyaltuk azon lehetőségeket, mellyel a rendszer megalapozottsága és optimális működése igazolható. Ehhez helyszíni geofizikai méréseket, valamint szoftveres 3D-s hőtranszport modellezést és hidrodinamikai egymáshatás vizsgálatot érdemes végezni. Cél felhívni a figyelmet az ilyen jellegű műszaki megoldásokra és a víz-víz hőszivattyús rendszerek nyújtotta előnyökre. Amennyiben a technológia alkalmazhatósága helyénvaló és a rendszerkialakítás megfelelő, akkor elmondható, hogy hosszútávú hatékony működés érhető el.

Eredményben sikerült archív adatgyűjtés, a terepi geofizikai vizsgálatok és a hidrogeológiai modellezés alapján tervezett termelő- és nyeletőkutak optimális darabszámát, elhelyezését és üzemi konfigurációját meghatározni. Továbbá meghatározásra került a szükséges talpmélység (30m) mellyel elérhetővé válik az a jó vízáadó képességű homokréteg, mely biztosítani tudja a hőszivattyús berendezés által igényelt vízmennyiséget. A tervezett termelőkút hozama 400 l/p (elvi maximum 576 m<sup>3</sup>/nap, max. 210 240 m<sup>3</sup>/év), amely ezzel a kapacitással ellátná az épületek hőigényeit egész évben magas lefedési arányban. A hatékonyság érdekében bemutattuk és körülbírtuk a műszaki megvalósíthatóság szempontjait. A felhasználást követően a használt víz ugyanabba a felszín alatti vízáadó rétegbe nyelető kutakon keresztül visszakerül, biztosítva a fenntarthatóságot és a talajvíz, mint közös természeti erőforrás védelmét.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] R. O'Hegarty, O. Kinnane, D. Lennon, és S. Colclough, „Air-to-water heat pumps: Review and analysis of the performance gap between in-use and product rated performance”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, köt. 155, o. 111887, márc. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2021.111887.
- [2] T. Brudermueller, U. Potthoff, E. Fleisch, F. Wortmann, és T. Staake, „Estimation of energy efficiency of heat pumps in residential buildings using real operation data”, *Nat Commun*, köt. 16, sz. 1, o. 2834, márc. 2025, doi: 10.1038/s41467-025-58014-y.
- [3] 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről.
- [4] 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról.
- [5] 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről.
- [6] 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról.
- [7] A. Binley és A. Kemna, „DC Resistivity and Induced Polarization Methods”, in *Hydrogeophysics*, Y. Rubin és S. S. Hubbard, Szerk., Dordrecht: Springer Netherlands, 2005, o. 129–156. doi: 10.1007/1-4020-3102-5\_5.
- [8] D. M. H. Loke, *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. 2022.
- [9] M. H. Loke és T. Dahlin, „A comparison of the Gauss–Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion”, *Journal of Applied Geophysics*, köt. 49, sz. 3, o. 149–162, márc. 2002, doi: 10.1016/S0926-9851(01)00106-9.
- [10] L. Gyalog, *A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása*. Budapest: Magyar Állami Földtani Intézet, 1996.
- [11] F. R. A. és C. J. A., *Groundwater*, köt. Prentice-Hall. 1979.
- [12] Gy. Molnár és Gy. Popper, *Felszín alatti vízmozgások szimulálása véges elem módszerrel*, köt. Hidrológiai Közlöny. Budapest.
- [13] Gy. Kovács, *A felszín alatti vizekkel kapcsolatos feladatok megoldására szolgáló numerikus módszerek alkalmazásának alapjai*, köt. Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. 1978.
- [14] H. Arlen W, *MODFLOW-2005 : the U.S. Geological Survey modular ground-water model--the ground-water flow process*. in *Techniques and Methods 6-A16*. 2005.