

Pécsi Tudományegyetem
Műszaki és Informatikai Kar

Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék

KÖZÉPÜLETEK KORSZERŰSÍTÉSE
VÍZ-VÍZ HŐSZIVATTYÚS TECHNOLOGIÁVAL

Készítette: Ózdi András – Gépészmérnök Msc hallgató

Évfolyam: 1. félév

Belső konzulens: Cakó Balázs

Beosztása: tanszékvezető

TARTALOMJEGYZÉK

1.	ELŐSZÓ	3
2.	TANULMÁNY A TECHNOLÓGIÁRÓL	4
2.1	Carnot körfolyamat	5
2.1.1	Hőszivattyús körfolyamat	6
2.1.2	Hűtőgépi körfolyamat	7
2.2	Víz-víz hőszivattyúk esetleges előnyei-hátrányai	8
3.	A PROJEKT ISMERTETÉSE	10
4.	TERVEZÉSI SZEMPONTOK, MŰSZAKI PROBLÉMÁK ÉS MEGOLDÁSAI ...	11
4.1	Kútkialakítás	11
4.1.1	A kitermelt felszín alatti vizek visszasajtolásának jogszabályi kötelezettségei ..	11
4.1.2	Kutak geofizikai ERT vizsgálata.....	12
4.1.3	Kutak egymásrahatás-vizsgálata	15
4.1.4	Kútkialakítás	19
4.2	Hőszivattyú választás szempontjai.....	19
4.2.1	Lefedési arányok	19
4.2.2	Hatékonyság.....	21
4.3	Hidraulikai kialakítás	23
4.4	Kút oldali korrózió	25
4.5	Hőcserélő választás	25
4.6	3D modellezés eszköztára	27
5.	ÖSSZEGZÉS.....	30
6.	HIVATKOZÁSOK	31

1. ELŐSZÓ

Kijelenthető, hogy a hőszivattyús technológia alkalmazása az épületgépészetben napjainkra vezető szerepet kapott Magyarországon is. Ez különösen igaz a lakossági léptékű hőenergia termelésre, de hőszivattyús berendezések egyaránt alkalmazottak ipari környezetben is. Mindez azt gondolom a következőben leírt szempontok miatt lehetséges.

Hazánkban is megfigyelhető az energetikának azon fő iránya, ahol a nemesített energiahordozók, azon belül a villamos energia felé tolódik az energiarendszerünk. Elmondható, hogy a kiemelten megújuló forrásból származó nemesített energiahordozók kulcsszerepet játszanak az energiarendszerek modernizálásában. Az energiarendszerek átalakulása pedig a klímavédelmi célok elérése szempontjából nélkülözhetetlen. A fenntartható energiagazdálkodás alapjait együttesen teremti meg technológiai, gazdasági, társadalmi és szabályozási tényezők összessége. Az alábbi kulcsterületek járulnak hozzá a fenntartható energiagazdálkodás kialakításához technológiai oldalról:

- Megújuló energiaforrások elterjedése, dekarbonizáció;
- Decentralizált energiatermelés;
- Diverzifikáció;
- Energiahatékonyság növelése;
- Elektrifikáció és villamosenergia-hálózat fejlesztése.

Látható, hogy mindezen irányok a hőszivattyús technológia alkalmazását is közvetlen vagy közvetetten ösztönzik. A jelenséget fokozzák esetleges gazdasági tényezők (energiaár változás), társadalmi tényezők (a technológia széleskörűbb ismerete, elfogadottsága) és esetleges szabályozási ösztönző tényezők (kedvezményes díjszabás, épületenergetikai követelmények).

Az energiaátmenet során a hangsúly egyre inkább a karbonmentes nemesített energiahordozókra, pl. az említett megújuló forrásból származó villamos energiára helyeződik. A GDP növekedés a villamosenergia fogyasztás növekedésével jár együtt, bár amennyiben jelen van az energiaigényesség mint szempont, ez egyre mérséklődő ütemben igaz. Az viszont biztos, hogy a hőszivattyús rendszerek elterjedése lehetővé teszi a tiszta energiaforrások hatékony felhasználását, illetve a megfelelő teljesítménytényezővel rendelkező berendezés jelentős mennyiségű primer energiahordozót válthat ki.

Az épületeink energiafogyasztása a teljes energiafelhasználás jelentős hányadát teszi ki. Ez a tény rávilágít az épületállomány korszerűsítésének fontosságára. Ezen belül pedig, mivel az épületek energiaigénye az épületgépészeti rendszerekre koncentrálódik, cél energiahatékony rendszerek üzembe állítása. A fenntarthatósági és energiahatékonysági versenyben tehát az épületgépészeti rendszereknek is fontos szerepe van.

Mindezen tényezők elősegítik a hőszivattyús technológia elterjedését tekintve, hogy ezen berendezések magas hatékonysággal tudnak üzemelni. A rendelkezésre álló környezeti hő (levegő, talaj, víz) valamint megújuló forrásokkal táplált villamos energiát használva lehetséges fűtési és hűtési igényeinket ellátni és egyben a dekarbonizációs célokat elősegíteni. A megújuló technológiák közé sorolható a környezeti alacsony hőmérsékletű hőforrások kinyerésére létesített villamos hajtású kompresszoros hőszivattyú. A hőszivattyú alkalmazható ott, ahol földgáz alapú hőellátó rendszerek a közműellátottság hiányossága esetén nem. A hagyományos fosszilis alapú fűtési rendszerek jelentős mennyiségű üvegházhatású gázokat bocsátanak ki, míg a hőszivattyúk működése során közvetlen károsanyag-kibocsátás nincs. Az energiahatékony megoldás kiváló alternatívát kínál a hagyományos földgázalapú hőenergiatermelés kiváltására vagy kiegészítésére. A technológia alkalmazható új építés és felújítások esetén egyaránt. Gyakorlatilag mindenhol jelen van alkalmas környezeti hőforrás, amelyet hőszivattyúval lehetséges energetikailag kedvezően nagyobb hőmérsékletre emelve felhasználhatóvá tenni. A hőforrás és hőleadó oldali közegtől függően beszélhetünk levegő-levegő, levegő-víz, talaj-víz (geotermikus) és víz-víz hőszivattyúról.

Kiemelendő, hogy a hőszivattyúk jelenléte a szakmában nem újdonság, a bevezető írásomban csupán arra kívánok megállapítást tenni és felhívni a figyelmet, hogy a folyamatos technológiai fejlődés és egyéb serkentő tényezők hatására a technológia alkalmazása egyre relevánsabb. „*A hőszivattyús fűtési rendszerek mind az európai mind a magyar energiapolitika új, kitüntetett elemei.*” [1]

A dolgozatban leírt egykori barnamezős terület kulturális negyeddé történő rehabilitációja a közelmúltban megtörtént, azonban cél további energiamegtakarítás elérése ezúttal elsősorban gépészeti korszerűsítés útján. Mindez egy nagy teljesítményű víz-víz üzemű hőszivattyú meglévő gázkazános fűtési rendszerbe való illesztése révén valósul meg. A projekt megvalósításához szükség volt hidrogeológiai modellezésre, kűtgépészeti, mélyépítési, villamos és automatizálási, statikai és épületgépészeti szakági együttműködésre. A következő fejezetekben az alkalmazott hőszivattyús technológiát és a projekt során felmerült fontosabb tervezési szempontokat ismertetem.

2. TANULMÁNY A TECHNOLÓGIÁRÓL

A hőszivattyúk működési elve azon a kompressziós körfolyamaton alapul, amely során a hűtőközeg halmazállapota és nyomása változik, lehetővé téve a hő szállítását egyik helyről a másikra. A hőáramlás irányára a termodinamika 2. főtétele enged következtetni. Megállapítást nyert Clausius és Clapeyron tapasztalatai által az a fizikai törvényszerűség, miszerint (Clapeyron megfogalmazásában) „hő hidegebb helyről spontán módon nem áramolhat melegebb helyre”. [2] Hasonlóképpen a hőszivattyú mechanikai munka bevitelét igényli ahhoz, hogy hőt áramoltasson hidegebből melegebb helyre. Fontos a működési elv szempontjából még, hogy minden abszolút nulla foknál melegebb test belső energiával rendelkezik, amit képes leadni a nála hidegebb közegnek hő formájában. Továbbá a térfogatváltozásokor a gázok hőt vonnak el vagy adnak le környezetüknek. Ha csökkentjük a gáz térfogatát (kompresszió) akkor a hőt ad le, mert felmelegszik, térfogatnövekedés (expanzió) estén pedig hőt von el a környezetből (lehűl).

Míg a széleskörben elterjedt levegő-víz üzemű hőszivattyúk ventilátorok segítségével a környezeti levegő hőenergia tartalmát hasznosítják, a geotermikus berendezések pedig talajszondák, esetleg felszíni kollektorok segítségével a föld oldali energiát hasznosítják, a víz-víz hőszivattyú olyan megoldás, amely a talajvíz hőenergia tartalmát aknázza ki.

Legyen szó bármely említett hőforrásról, az alapvető működési elv a fent említettekre vezethető vissza, miszerint a gázok összenyomása azok felmelegedését okozza, fordítva pedig lehűlését. A rendszer munkaközeget használ egy zárt körfolyamatban, amely során hőt von el a külső vagy belső környezetből és hasznosít attól függően, hogy fűtési vagy hűtési feladatról van szó.

Minden egyfokozatú hőszivattyú ugyanazokat a fő komponenseket tartalmazza:

- elpárologtató;
- kompresszor;
- kondenzátor;
- expansziós szelep.

A hőszivattyús rendszerek három áramlási körből tevődnek össze:

- hidegvízkör, amely egy alacsony hőmérsékletű hőforrás;
- a körfolyamati kör;

melegvízör, amely a magasabb hőmérsékletű fűtővíz köre.

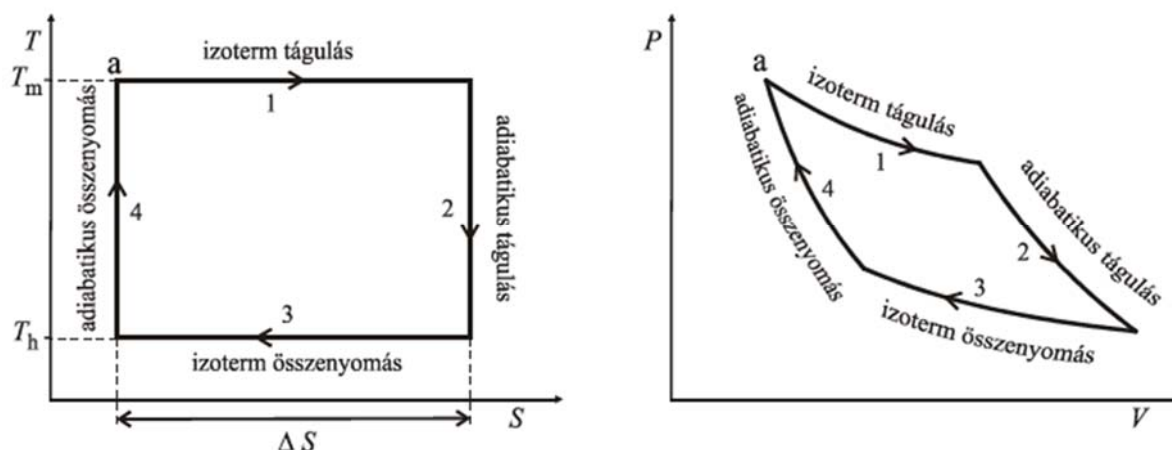
A körfolyamati ciklust a következő fejezet részletezi.

2.1 Carnot körfolyamat

A Carnot féle körfolyamat kitüntetett szerepet játszik a hőerőgépek elméletében. Az elvi szempontból legegyszerűbb és leghatékonyabb hőerőgépet elsőként megjelent elméleti munka szerzőjéről Carnot gépnek, az abban megvalósuló termodinamikai folyamatot pedig Carnot körfolyamatnak vagy Carnot ciklusnak nevezzük. [3]

Az ideális hőerőgép hatásfokának elméleti maximumát a Carnot-körfolyamat írja le. Adott hőmérsékleti határok között lejátszódó körfolyamatok közül a Carnot körfolyamat hatásfoka a legnagyobb, amely egy speciális termodinamikai körfolyamat, egy elméleti, reverzibilis modell. A valóságban azonban a hőerőgépek hatásfoka alacsonyabb a Carnot-határnál, mivel a kompressziós hűtőkörfolyamat során fellépő veszteségek és irreverzibilis folyamatok csökkentik a rendszer hatásfokát. Az idealizált körfolyamatban adiabatikus állapotváltozás helyett a kompresszió izentropikus (reverzibilis adiabatikus állapotváltozás). Egy termodinamikai rendszer állapotát állapotjelzők (nyomás, hőmérséklet, fajtérfogat, entalpia, entrópia) írják le.

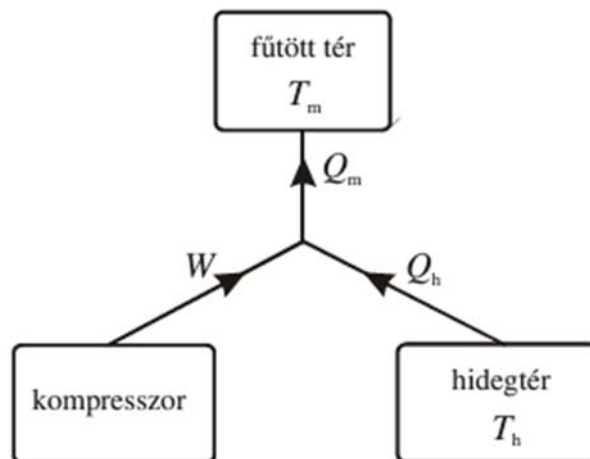
A termodinamikai körfolyamat akkor jön létre, ha a rendszer egy sor állapotváltozás után a kezdeti állapotába tér vissza. A körfolyamat négy szakaszból áll: izotermikus, majd adiabatikus tágulás, amelyet izotermikus, majd adiabatikus összenyomás követ. Az egyes állapotok megfelelő körül járása esetén erőgépi ciklusról beszélünk. Fordított körüljárási irány esetén a ciklus hűtőgépként működik, azaz a ciklusok két csoportra bontandók. Beszélhetünk erőgépi és hőszivattyús ciklusról. Az erőgép ciklus hőt vesz fel és pozitív munkát végez, míg a hőszivattyús cikluson munkát végez a környezete (munka befektetés) és hőt szállít a környezetének.



1. ábra - A Carnot-féle körfolyamat T-S, valamint p-V diagramja.

Az ábrákon a Carnot hőerőgép körfolyamatának ábrázolása T-S és P-V diagramban látható. A folyamat egymást követő lépéseit az a-val jelölt állapotból kiindulva a számok mutatják. A Carnot hűtőgépben vagy hőszivattyúban ugyanilyen körfolyamat játszódik le, csak fordított irányban, 4 – 3 – 2 – 1 egymást követő lépések során. A tanulmány a hőszivattyús ciklusra koncentrál ezért fontos elmondani, hogy a hűtőgép és a hőszivattyú elvileg a hőerőgép működési irányának megfordításával is előállítható. A Carnot körfolyamat alapján működő hűtőgépben vagy hőszivattyúban ezért az 1. ábrán látható körfolyamat valósul meg, csak éppen fordított irányban.

2.1.1 Hőszivattyús körfolyamat



2. ábra - Hőszivattyú működésének elvi vázlata.

A hőszivattyú a kompresszor által végzett W munka felhasználásával a T_h hőmérsékletű környezetből elvon Q_h hőt, a T_m hőmérsékletű fűtött/fűtendő térbe pedig Q_m hőt ad le.

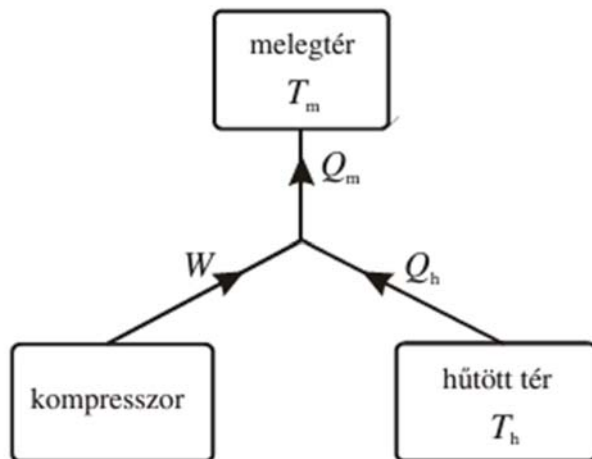
A fűtőkörfolyamat lépései a fő alkatrészeket kiemelve a következők [4]:

1. **Elpárologtató:** A munkaközeg (speciális gáz) alacsony hőmérsékleten (alacsonyabb, mint a környezete) és nyomáson lép be az elpárologtatóba, ahol a környezet (pl. vízből származó) hőt így el tudja nyelni, majd ennek hatására elpárolog. Az elpárologtató gyakorlatilag egy hőcserélő. A folyékony, alacsony hőmérsékletű, nyomás alatt lévő hűtőközeget tehát a környezet felmelegíti, és gáz halmazállapotúvá válik.
2. **Kompresszor:** A kompresszor a munkaközeget összenyomja, ami tovább növeli az előzőekben már felmelegített gáz hőmérsékletét és nyomását is. Így már megfelelően magas a munkaközeg hőmérséklete ahhoz, hogy az épület felé azt később le tudja adni egy vízkörnek. A kompresszor működése természetesen energiát igényel (elektromos áram) viszont a megfelelő hatásfokkal működő hőszivattyú esetén a kompresszor sokkal kevesebb energiát használ el, mint amennyit a hőszivattyú szállítani tud.
3. **Kondenzátor:** A kondenzátor is egy hőcserélő. A forró, nagy nyomású gőz belép a kondenzátorba, ahol hőt ad le a rendszer (hőleadó közeg) számára, azon keresztül pedig az épület felé. A hőleadás következtében a gáz halmazállapotú hűtőközeg folyékony lesz, kondenzálódik (lecsapódik).
4. **Expanziós szerelvény:** A kondenzátorban lecsapódott még magas nyomású folyékony hűtőközeg áthalad egy expanziós szelepen, ahol nyomása és hőmérséklete csökken. A nyomás csökkentésével növeli a munkaközeg térfogatát, és ezért fog a hőmérséklete lecsökkenni. Ezzel a lépéssel jutunk vissza a hőszivattyú működésének kiindulási állapotához, amikor is az így keletkezett alacsony nyomású és hőmérsékletű folyadék visszatér az elpárologtatóba, és a ciklus újraindul.

Ez a zárt körfolyamat teszi lehetővé, hogy többek közt a víz-víz hőszivattyú is hatékonyan szállítson hőt a talajvízből a fűtési rendszerbe vagy a használati melegvíz előállítására.

2.1.2 Hűtőgépi körfolyamat

A valóságos hűtőgépek (és hőszivattyúk) működését legjobban a gőzkompresziós körfolyamat írja le, amely a mindennapi gyakorlatban alkalmazott alapmodell. Az ideális elméleti alapját az imsertetett Carnot-körfolyamat adja.



3. ábra - Hűtőgép működésének elvi vázlata.

A hűtőgép a kompresszor által végzett W munka felhasználásával a T_h hőmérsékletű környezetből Q_h hőt von el, a T_m hőmérsékletű melegterbe pedig Q_m hőt ad le.

A gőzkompresziós hűtőgép zárt rendszerben keringtet hűtőközeget, mely hőt vesz fel a hűtendő (belső) térből és más helyen (külső térben) leadja azt. Hűtőgépnek tehát azt a berendezést nevezzük, amely mechanikai energia felhasználásával (munkavégzéssel) termikus energiát (hőt) von el.

A hűtőkörfolyamat lépései az állapotváltozásokat kiemelve a következők:

1. **Izotermikus hőfelvétel:** Az állandó, alacsony hőmérsékleten lejátszódó folyamat során a munkaközeg elpárolog és hőt von el a környezetétől, a hűtött közegtől.
2. **Adiabatikus kompresszió:** A gőz állapotú munkaközeg nyomásának, ezáltal hőmérsékletének növelése, miközben a rendszer és a környezete között hőátadás nem történik.
3. **Izotermikus hőleadás:** A munkaközeg kondenzációja, állandó magas hőmérsékleten történő cseppfolyósítása.
4. **Adiabatikus expanzió:** A folyadék halmazállapotú hűtőközeg nyomásának, ezáltal hőmérsékletének csökkentése hőátadás nélkül, gáz halmazállapotba történő átmenet.

Részletezve az elméleti folyamatot a hűtőközeg az elpárologatóban alacsony nyomáson és hőmérsékleten elpárologatva hőt von el a hőforrástól. A keletkezett gőzt a kompresszor mechanikai munka befektetése árán a kondenzátorba szállítja egy magasabb nyomású állapotban. A kondenzátorban a hűtőközeg leadja a hasznos hőjét a fűtendő közegnek és folyadék halmazállapotba kerül. A cseppfolyósított, de még nagynyomású hűtőközeg az expanziós szelepen áthaladva nyomáscsökkenés után újra az elpárologatóba kerül. A halmazállapot- és nyomásváltozások ezen körfolyamaton keresztül mennek végbe és a kompresszor működtetéséig folyamatosan ismétlődnek.

2.2 Víz-víz hőszivattyúk esetleges előnyei-hátrányai

A szakirodalmi áttekintéshez tartozó jelen alfejezetben kiemelten foglalkozom a hőszivattyúk azon típusával, amely hőforrása vizes rendszerű. Céлом körül járni a víz-víz hőszivattyúk előnyeit, hátrányait. A tárgyi projekt miatt esősorban hidegvizes kútvízzel üzemelő hőszivattyú kapja a dolgozatban a főszerepet, de elméletben alkalmazható akár elfolyó termálvíz, talajvíz, tó, folyó hője.

Mellék gondolat erejéig meg kell említeni, hogy külön témát érdemel a magas hőmérsékletű elfolyó termálvíz hulladékhő hasznosítására épülő hőszivattyús rendszer. Termálfürdők esetén nem lehetséges a visszasajtolás és az elengedésre szánt termálvíz „hulladék” hőjének szekunder hasznosítása kiváló hőforrás lehetne számos fürdőépület esetén, különösen mivel van ilyen felhasználásra alkalmas berendezés. Ahhoz, hogy érdemes-e foglalkozni az elfolyó termál (szenny)víz szekunder hőhasznosításával vizsgálandó az elengedett napi termálvíz mennyisége, hőfoka és pufferelésének megvalósíthatósága.

Visszatérve a hőforrás oldalon hidegvizes kútvízzel üzemelő rendszerekhez, alapvető feltétel legalább egy fűrt kútpár megléte vagy létesítése. A rendszer az egyik kútból (forráskút) kinyeri a vizet, majd a hőenergia elvonása után a másik kútba (nyelőkút) visszajuttatja azt. A víz-víz hőszivattyús rendszerek és így a felszín alatti víz energiaforrásként történő felhasználásának egyik hatalmas előnye, hogy a talajvíz hőmérséklete egész évben viszonylag állandó. Mindez megalapozza a stabil és hatékony működés alapját.

Ennek hozadéka, ami hátrányként fogható fel, hogy a víz-víz hőszivattyú telepítése összetett folyamat, amely speciális szakértelmet igényel. Először is fontos megkeresni az ideális telepítési helyszínt, és megbizonyosodni arról, hogy rendelkezésre áll-e megfelelő vízáadó réteg. Az ideális vízáadó réteg mélységében még a gazdaságosság határán belül elérhető és megfelelő minőségű (hőmérséklet) és mennyiségű (térfogatáram) vizet képes biztosítani. A kútkialakítás költséges lehet, valamint engedélyköteles építési tevékenység. Jelen esetben a hidrogeológiai vizsgálat eredményeként megbizonyosodtunk a vízáadó réteg meglétéről, és következtetni tudtunk az optimális kihasználásához szükséges kialakításról. A hőforrás oldal megléte tehát biztosította, hogy víz-víz üzemű hőszivattyús berendezés alkalmazható legyen.

Elmondható, hogy a hidegvíz kutas rendszerek üzemeltetési szempontból rendkívül előnyösek. Azonban talajvízben, nyíltvízben szegény térségek esetén használatuk korlátozott. A felszínközeli vizek mellett, hogy szennyezettek lehetnek, a felszíni hőingadozásnak kitéttek. A nagy mélységben lévő vizek kinyerése pedig költséges, a szivattyúzási energiaszükséglet jelentős, a beruházás megtérülése hosszú.

A kutak építésénél fontos tényező a nyerőkút és a nyelő kút közötti megfelelő távolság, hogy a melegebb feljövő víz és a lehűtött visszatérő víz ne keveredjenek egymással. Figyelembe kell venni a kút tervezőjének a víz áramlási irányát és a nyelő kútnak a nyerő kút után kell lennie az áramlás irányában.

További szempont, hogy mennyi a vízben levő szuszpendált anyag mennyisége, a szolgáltatott víz kémiai összetétele és hogy a víz gázveszélyes vagy gázmentes. [5] A víz-víz hőszivattyúk és kút közé célszerű előtét hőcserélő alkalmazása vízbázis védelmi szempontból. Káreset esetén csökken a vízbázis szennyeződésének veszélye. Emellett védelmet jelent a hőszivattyú elpárologtatójának. Az előtét hőcserélő egyaránt lehet kompakt lemezes hőcserélő tiszta víz esetén, vagy szerelhető lemezes hőcserélő, ahogy azt a későbbiekben részletezem.

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 utógondolatban beépített berendezéseknél. Víz-víz hőszivattyú esetén nincs kimondott 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 vizuálisan és a zajterhelés csökkentése érdekében, valamint a berendezés idegen kéz elleni védelmében körül kell 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 kút és kút akna, melyet kell tudni helyezni, azonban mindez talajszint alá süllyeszthető. Jelen példában ez egy félreeső, de a vízbázis szempontjából megfelelő helyen lévő, a telekhatár szélén és a Duna parttal párhuzamosan futó zöldsávban történt. Magától a berendezéstől való távolság nem jelentett gondot. 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 búvárszivattyúk által biztosítható.

Geotermikus rendszer kiépítése jelen esetben nem volt lehetséges mivel jelentős talajkollektor felület szükséges, melynek helyigénye nem biztosítható. Előzetes becslésem alapján 30-50 talajszonda biztosítaná azt a teljesítményt, amit a kútvizes rendszerrel építünk be, így ennek az alkalmazását elvetettük.

3. A PROJEKT ISMERTETÉSE

A tárgyi projektben három meglévő középület további energetikai korszerűsítésére fogalmazott meg igényt a megrendelő. Az előkészítési szakaszban lehetőségünk volt megvalósíthatósági tanulmányt készíteni, melyben részletes rendszer felülvizsgálat alapján javaslatokat fogalmaztunk meg a létesítmények további energia csökkentő fejlesztésére. Ezeket épületenergetikai és hőtechnikai számításokkal támasztottunk alá. A javaslatok kizárólag épületgépészeti irányultságúak tekintve, hogy az épületek építészeti rekonstrukciója a közelmúltban megtörtént. Tény, hogy gépészeti jellegű korszerűsítés is zajlott, azonban további megrendelői igényként fogalmazódott meg a földgáz alapú hőellátó rendszer üzemeltetési költségének csökkentése. Fontos szempont volt továbbá a javaslatok műszaki megvalósíthatóságának vizsgálata. A fejlesztésben érintett hely adottságai közt kiemelendő a terület közvetlen Duna part menti elhelyezkedése, valamint műemléki státusza. A projekt további egyedisége, hogy az energetikai korszerűsítés alapját, ahogy arra a korábbi fejezetek utalást tesznek a területen elérhető kútvíz hőenergiájának hasznosítása képezi. A víz-víz hőszivattyús technológia alkalmazása is projekt specifikus tényezők hatására lett kiválasztva, ha úgy tetszik állt kényszerpályára. A javasolt műszaki kialakítás előzetesen a tanulmányban került megfogalmazásra. Majd a kiviteli tervezés fázisában egzakt megoldást adtunk. Azt gondolom elmondható, hogy egyedi, kihívásokkal teli feladatról van szó, ahol a technológia tanulmányban említett számos előnye alkalmazható. A tanulmány terv kidolgozásában, majd a kiviteli tervezési szakaszban is részt vettem, így az ezen folyamatok során felmerült érdekesebb tervezési szempontokat, probléma köröket írom le.

Az épületek főbb paraméterei:

1. számú épület:	
A szintek száma:	F+1
Funkció:	Rendezvényközpont
Az épület fűtött alapterülete:	1750,3 m ²
Összes lehűlő felület:	3904 m ²
Összes fűtött térfogat:	9015 m ³
2. számú épület:	
Funkció:	Technológiai Központ
A szintek száma:	F+1
Az épület fűtött alapterülete:	609,4 m ²
Összes lehűlő felület:	1479 m ²
Összes fűtött térfogat:	2139 m ³
3. számú épület:	
Funkció:	Sportközpont
A szintek száma:	F+1
Az épület fűtött alapterülete:	991,50 m ²
Összes lehűlő felület:	1998 m ²
Összes fűtött térfogat:	3944 m ³

A feladat tehát a három épületet ellátó közös hőközpont (esetenként al-hőközpont) korszerűsítése víz-víz hőszivattyús rendszerbe illesztésével. Fontos a hőtermelő berendezés pontos és feladathoz illő kiválasztása. Ez magában foglalja a berendezés méretezését teljesítmény szempontjából és kiválasztását az ellátandó feladat szempontjából (fűtés-hűtés-hmv készítés). A projekt megvalósítása megköveteli forrás oldalon kútpárok kialakítását mellyel későbbi alfejezet még közelebbről foglalkozik, közműépítést, a hidraulikai kapcsolás átalakítását, szabályzási rendszer optimalizálását és járulékosan erőszármű, automatika szakági kooperációt. A projekt megvalósítás nehézsége a számtalan adottság,

amely a meglévőségekből (hely, hőtermelők, hőleadó rendszer) adódik. Az új rendszer helyigénye és a meglévő hőközponti kötöttségek miatt statikai feladatot adódtak. Ehhez pedig a 3D modellezés nyújtotta előnyöket, eszköztárat használtam ki.

4. TERVEZÉSI SZEMPONTOK, MŰSZAKI PROBLÉMÁK ÉS MEGOLDÁSAI

Adottságok, igények, technikai, gazdaságossági, üzemeltetési és kivitelezés belső szempontok sokasága alakítja ki a végleges műszaki tartalmat. A dolgozat fő fejezetében a projekt során felmerült, véleményem szerint fontosabb tervezési szempontokat, feladatokat mutatom be.

4.1 Kútkialakítás

Elsődleges szempont a tervezett víz-víz üzemű hőszivattyúnak a technológia által előírt állandó tömegáram biztosítása. A forrás oldali állandó tömegáram biztosítására több hidegvizes fűtő kút kialakítását terveztük kutanként frekvenciaváltóval szerelt, fordulatszám szabályzású búvárszivattyúkkal. Ehhez több kút kialakítása szükséges, hogy azok termelő-nyelető rendszerben tudjanak üzemelni, tekintve, hogy a felhasználást követően a kivett vízmennyiség ugyanabba a rétegbe visszanyeletésre kerül. Ebben a fejezetben első körben a visszasajtolás jogszabályi követelményeit mutatom be, később az ideális kútkialakítás meghatározásának műszaki megoldását, végül pedig a kútkialakítás esetén irányadó szabványt.

4.1.1 A kitermelt felszín alatti vizek visszasajtolásának jogszabályi kötelezettségei

Vizsgáltam a visszasajtolással kapcsolatos tudnivalókat, ugyanis kardinális kérdés a kútkialakítás szempontjából. A visszasajtolással kapcsolatos követelményeket, részleteket jogszabályi háttér szabályozza. Magyarországon a hideg vizes kutak (azaz 30 °C alatti hőmérsékletű felszín alatti vizek) esetében a visszasajtolásra vonatkozó jogszabályi kötelezettségek eltérnek a termálvizekre vonatkozó előírásoktól. A **101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet** hatálya kiterjed a felszín alatti vizek kitermelésével és visszatáplálásával kapcsolatos vízellátási intézkedésekre, beleértve a visszatápláló kutakat is. A hideg vizes kutak esetében azt találtam, 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. [6]

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 írtam, az engedélyezési eljárás során a hatóság előírhatja, ha a helyi vízgazdálkodási vagy környezetvédelmi szempontok ezt indokolják. [7]

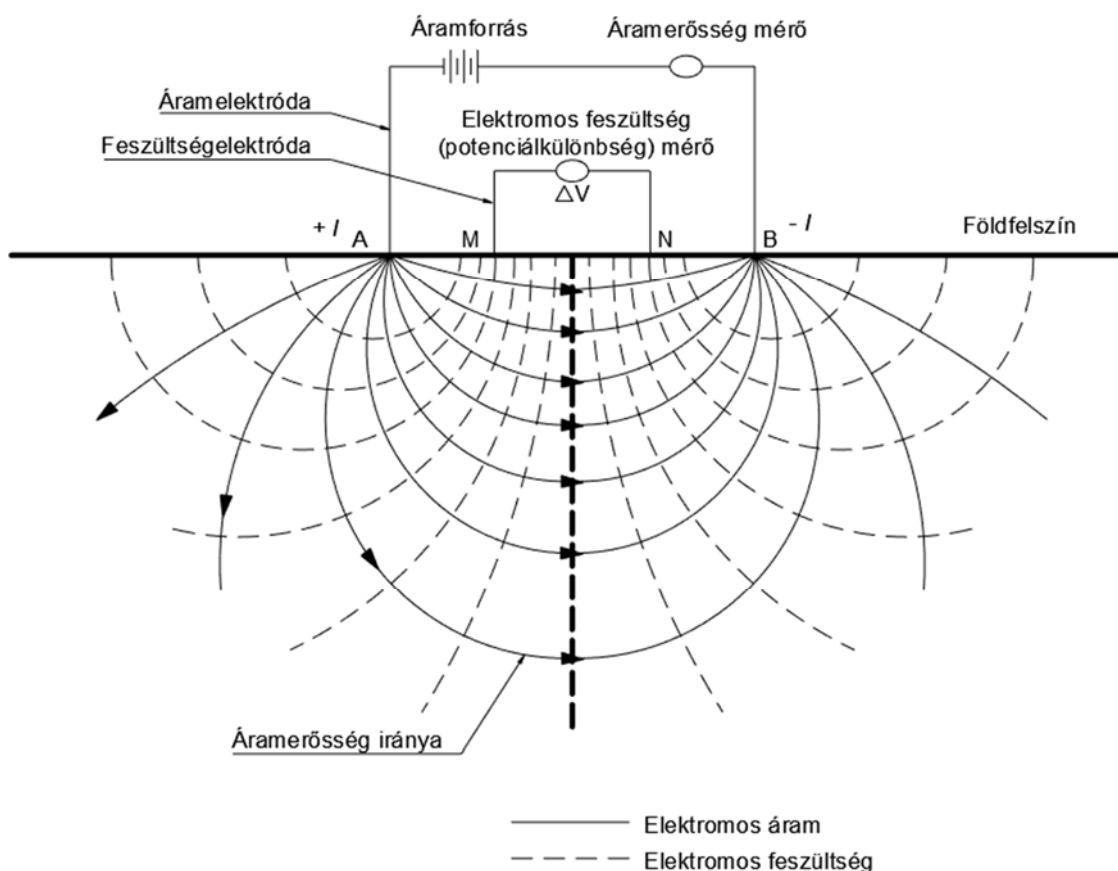
Érdekesség képpen termálvizek esetén a főszabály szerint vissza kell azt sajtolni ugyanazon vízadóba, főleg, ha kizárólag energetikai célokra kitermelt felszín alatti vízről van szó és feltételezhetően így kémiai összetétele változatlan. A földtani közeg védelme érdekében egyéb használt víz

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 szennyező anyag nem kerülhet. Helyette ártalommentes elvezetéséről, elhelyezéséről gondoskodni kell. Mindezzel a 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet foglalkozik. [8]

4.1.2 Kutak geofizikai ERT vizsgálata

A forrás oldal kialakítása esetén talán leglényegesebb kérdés, hogy pontosan hol legyen vagy legyenek kialakítva a fűrt kutak. A területen felszíni geofizikai ERT-vizsgálatokat (elektromos ellenállás-tomográfia) volt szükséges végezni a felszín alatti vízadó réteg meglétének, térbeli kiterjedésének meghatározása és a geológiailag 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.

A módszer működési elve alapján két darab áramelektródán áramot juttatva a földbe, másik ún. potenciálelektroda-páron kialakuló feszültség mérésével 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. Általános szabály, hogy az áramelektrodák távolságának növelésével egyre nagyobb behatolási mélységet érünk el. Egy méréskonfiguráció több ezer egyedi mérésből áll, ezekből a kutatás területére látszólagos ellenállásszelvény szerkeszthető.



4. Ábra - Az ERT-mérések sematikus ábrája.

Az ábrán A-B az áramelektroda párokat, M-N a feszültségelektroda párokat jelöli, I a kiadott áramerősség, ΔV a műszer által mért potenciálváltozás.

A mért adatsereggel szelvények készíthetők, mely mutatja a szelvények menti fajlagos elektromosellenállás-eloszlást.

Szemcseméret	Nedvesség, telített [Ωm]	Nedvesség, közepes [Ωm]	Kis nedvesség, száraz (<5%) [Ωm]
kavics	>100, 100-1000	>200, 200-1000	>10000
homok	>100, 100-600	>150, 150-800	>300, 300-1000
finom homok, homokliszt	50-300	100-500	200-1000
iszap, agyag	<10, 10-20	20-30	30-50-100

1. Táblázat - Száraz és nedves porózus kőzetek fajlagos ellenállása.

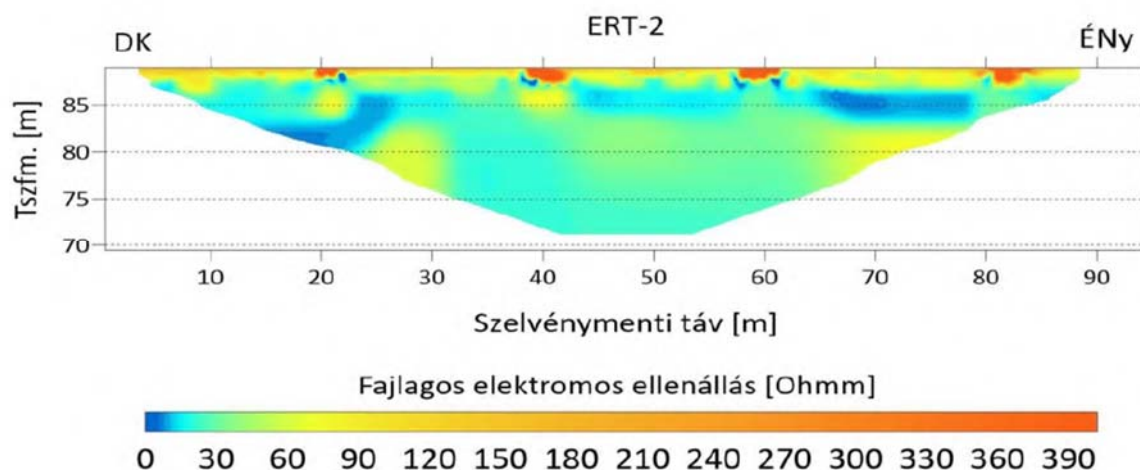
A táblázatokból látszik, hogy az ellenállásértékeket tekintve átfedések lehetnek, így fontos, hogy a kutató területéről konkrét információink is legyenek: fúrásadatok, korábbi kutatások eredményei, amik pontosítják az eredmények földtani értelmezését.

A feldolgozott adatokat, vagyis a fajlagos elektromosellenállás értékek eloszlását a szelvény mentén grafikusán lehet ábrázolni a szelvénymenti távolság függvényében. Az így nyert rétegeképeken, a fentiek értelmében, a következő táblázatban látható értékek rendelhetők a különböző kőzettípusokhoz.

Fajlagos elektromos ellenállás (Ohmm)	Kőzet, üledék (színjelölés a geoelektromos szelvényeken)	Geoelektromos szelvényen alkalmazott szín
1-10	agyag	sötétkék árnyalatok
10-15	iszap, homokos agyag, aleurit	kékeszöld árnyalatok
15-50	homok	sárgás árnyalatok
50-300	kavicsos homok, homokos kavics, kavics	narancs árnyalatok
>300	antropogén elemek	piros árnyalatok

2. Táblázat - Az ellenállásmérések alapján elkülöníthető rétegösszletek.

Egy példán keresztül mutatom be a geofizikai mérés eredményeit. Az ERT-2-es egy DK-ÉNy irányú 96 méter hosszú szelvény. A szelvény a projektben érintett középület és a Duna között, azokkal párhuzamosan helyezkedik el.

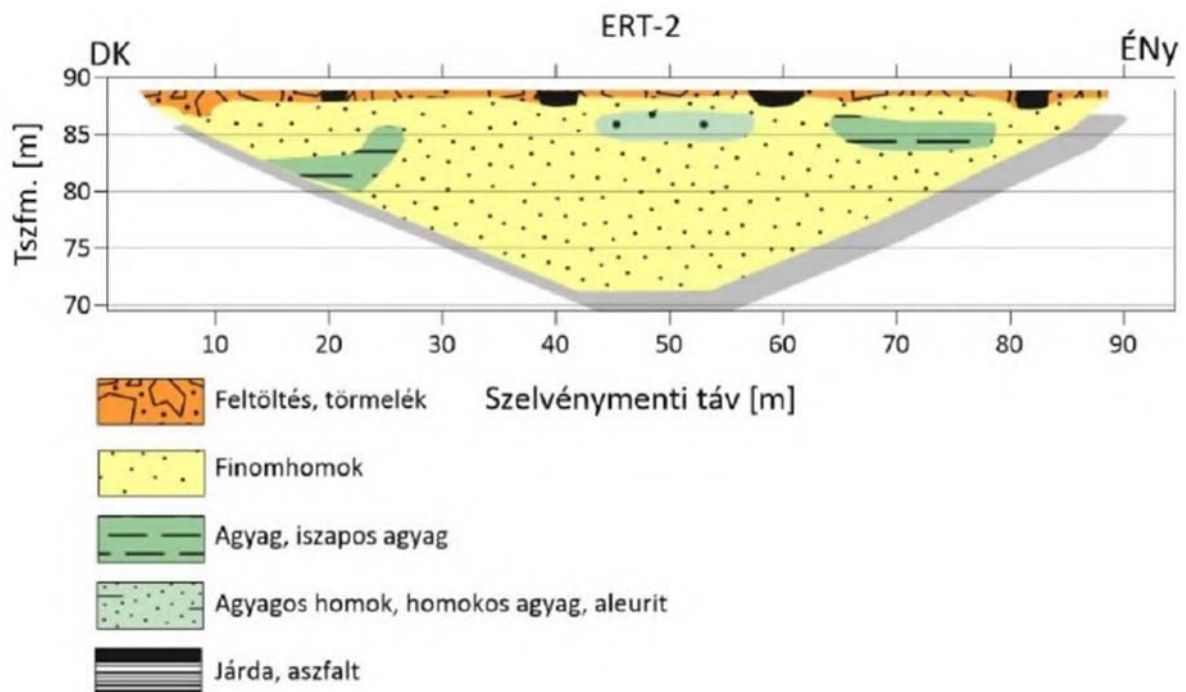


5. Ábra - Az ERT-2 szelvény eredménye.

Megállapítások:

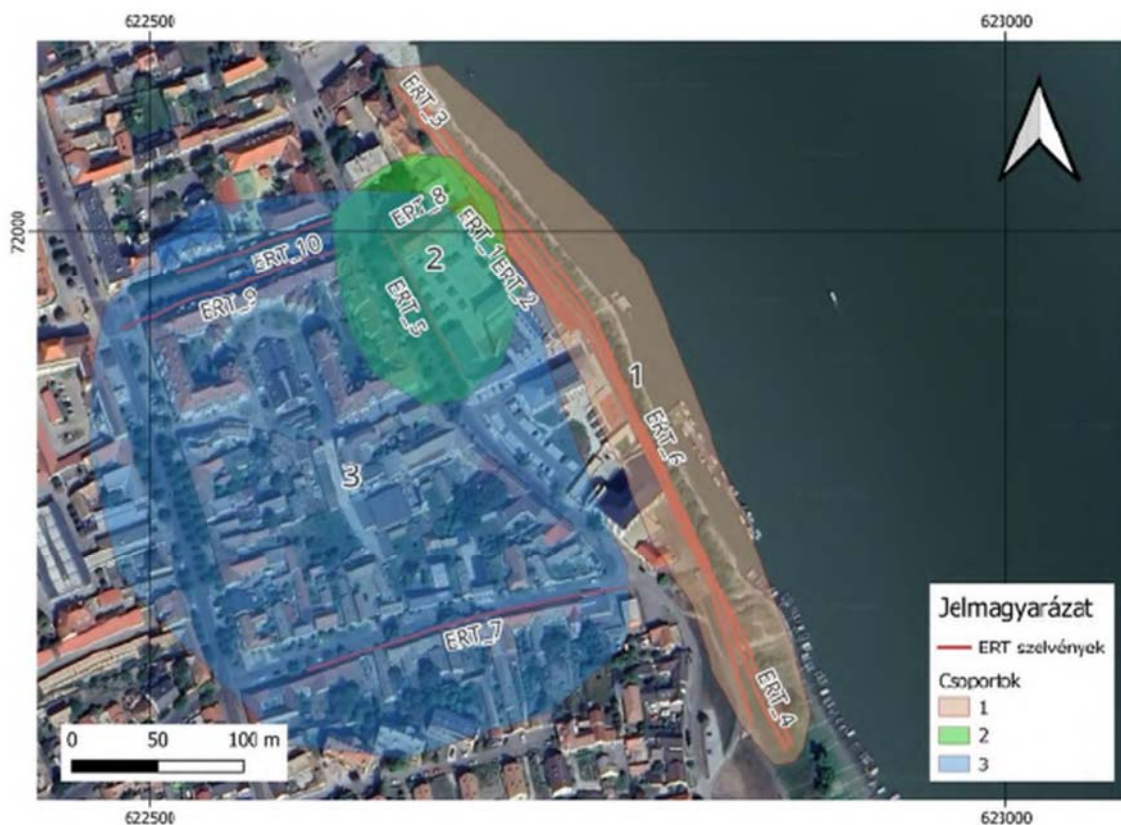
- A felső rész környezeténél magasabb ellenállását (szelvényen sárga-narancssárga színnel jelölve), ami kb. 1-1.5 méter vastag és 80-120 Ohm közötti ellenállással rendelkezik, az épület mellett kialakított kavicsos ágyás és ehhez köthető talajmegmunkálás okozhatja.
- A 21, 41, 61 és 81 méteren látható több 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.

A vizsgált területet földtani szempontból homok, kavicsos homok, kavics, homokos agyag, aleurit és agyag képződmények építik fel. A beépített területeken magas fajlagos elektromos ellenállású (>300 Ω) felöltött szakaszokkal találkozhatunk.



6. Ábra - Az ERT-2 szelvény földtani értelmezése.

A szelvények értelmezése során térben három csoportot került meghatározásra a Dunától való távolság alapján: a Duna közvetlen partján elhelyezkedő, azzal párhuzamos szelvények alkotják az I. csoportot, az ettől nem messze a város irányában elhelyezkedő egymást metsző szelvények alkotják a II. csoportot és a Dunára merőleges, attól relatív távolabb eső szelvények a harmadik csoportot.



7. Ábra - A kiértékelés során kialakított csoportok.

Az első csoportot, amely a dolgozat és végül a projekt szempontjából a legnagyobb relevanciával rendelkezik 5 szelvény alkotja. Az ERT-1-es és 2-es szelvények 96 méter, míg az ERT-3-mas 4-es és 6-os szelvények 432 méter hosszúságúak. A szelvények tájolása eltérő. A teljes mérési behatolás szelvényenként változik, kb. 35 méter mélységű a Duna menti szelvényeknél. A megalkotott I. csoport szelvényeinek értelmezésekor elmondható, hogy a mért adatok szinkronban vannak, így az értelmezett földtani kép egységes.

Összegzésül elmondható, hogy a szelvények mentén **a vízádként hasznosítható felszín alatti rétegek** (a nagy porozitású kavicsos és homokos képződmények) a termelőkutak szempontjából megfelelő mélységben **jelen vannak**.

Mindezen vizsgálatok a kút talpmélységét is segítenek meghatározni, ahol megtalálható az említett, jó vízádo képességű kavicsos homokréteg, mely biztosítja az igényelt vízmennyiséget. Ezt jelen esetben 30 méter talpmélységben határoztuk meg.

4.1.3 Kutak egymásrahatás-vizsgálata

Ezen felül fontos a tervezett termelő- és nyelőkutak, valamint a környékbeli kutak hidraulikai hatásvizsgálata (egymásrahatás vizsgálata) 3D-s hidrodinamikai és hőtranszport-modellezés segítségével.

A modellezés alapján megállapítható egyrészt, hogy a tervezett kutak vízkivétele és a visszanyelés nem jelent kockázatot (egymásrahatást) a környékbeli kutakra nézve, másrészt megállapítást nyert a modellszenáriók vizsgálata során, hogy mely tervezés szerinti kialakítás a leghatékonyabb. A környékbeli vizsgálandó terület adottsága, hogy a közelben egy nemrég létesített (a projektől független, más helyrajzi számú ingatlanon bejegyzett) fúrt kút üzemel.

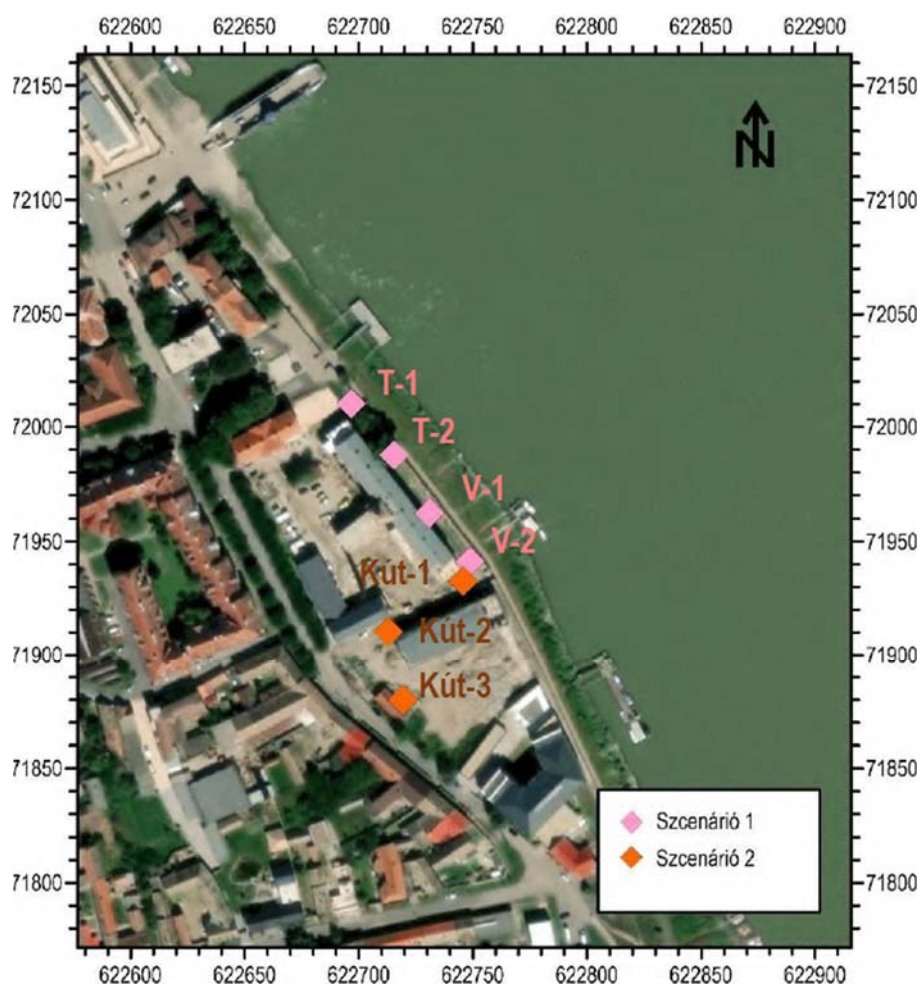
A hidrodinamikai vizsgálatok során felhasználható az elvégzett ERT (Elektromos Ellenállás Tomográfia) típusú geofizikai mérések eredményei. Az azonosított és lehatárolt homokos, kavicsos homokos vízadó réteg lokális hidraulikai viszonyai modellezhetők.

A modellezés során több lehetséges kialakítás vizsgálatára került sor. A termelő- és nyeletőkutak elosztását, valamint azok hozamát annak érdekében, hogy a nyeletőkutak által okozott visszahűtés, illetve az üzemeltetés során fellépő egymáshatás mértéke a lehető legoptimálisabb kútelhelyezést biztosítsa. Végeredményben két verzió hatásvizsgálatát mutatom be, ahol az **első verzióban** 4 db kút, míg a **második verzióban** 3 db kút volt az alapfelállás. 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.

A modellezés során vizsgált két verzió:

- Az első verzióban a tárgyi középület és a Duna között elterülő párhuzamos zöldsávban szerettünk volna összesen 4 db kutat (2 termelő és 2 nyelető) létesíteni.
- A második verzióban a tervezett kutakat áthelyeztük, és csak 3 kút üzemeltetését vizsgáltuk, amelyek közül 1 db kút termelő és 2 db kút nyelető.

Az alapfelvetés, hogy az üzemelés során a $dT < 5^\circ\text{C}$ -nál ne legyen nagyobb semelyik termelőkútban sem a kialakuló hőfok különbség.



8. Ábra – Az egyes verziók során vizsgált lehetséges kútelhelyezések.

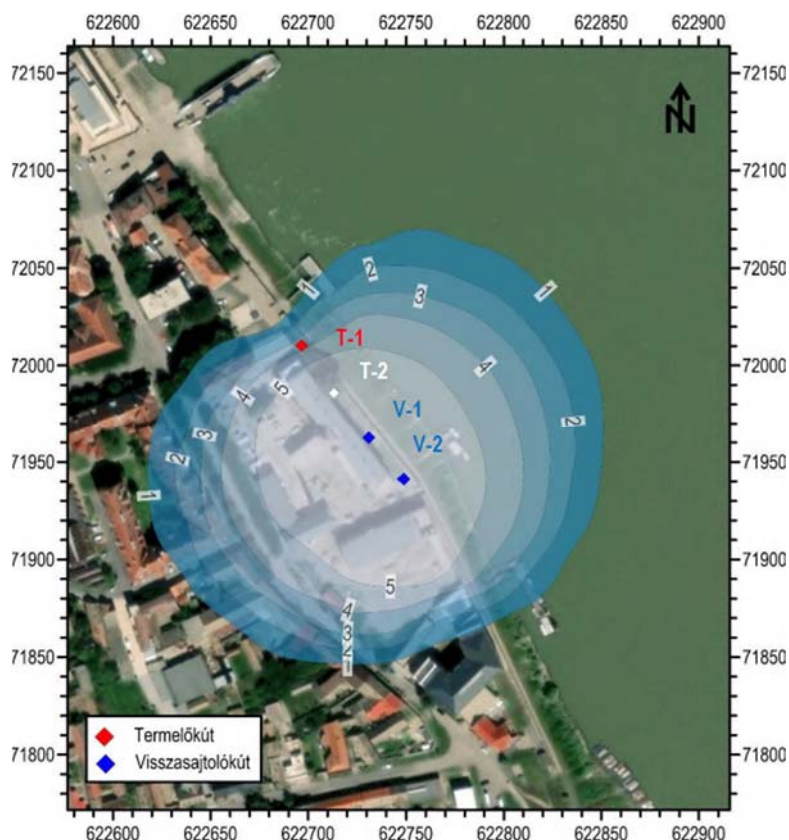
Az egyes verziókon belül több modellváltozatot is létre kellett hozni. Az **első verzió**n belül az **'A' változatban** a T-1-es és T-2-es kutak üzemeltek 200-200 l/p hozammal, a V-1-es és a V-2-es kutakba pedig a visszasajtolás történt. A vizsgált változatban a termelőkutakba történt vízszintsüllyedés mértéke nem érte el a 2 m-t, a kútegymásrahatás nem jelentős. A változat vizsgálata során a visszasajtott víz hűtőhatása a T-2-es kútban **meghaladta** az 5°C-ot.

A **'B' változatban** a V-1-es és V-2-es kutak üzemeltek 200 l/p hozammal, a T-1-es és a T-2-es kutakba pedig a visszasajtolás történt. A vizsgált változatban a termelőkutakba történt vízszintsüllyedés mértéke nem érte el a 2 m-t, a kútegymásrahatás nem jelentős. A változat vizsgálata során a visszasajtott víz hűtőhatása a V-1-es kútban **meghaladta** az 5°C-ot

A **'C' 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 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 visszasajtott víz hűtőhatása a T-1-es kútban **nem haladta meg** az 5°C-ot.

Kút jele	Nyugalmi vízszint (mBf)	Kiinduló hőmérséklet (°C)	'C' változat üzemi vízszint (mBf)	'C' változat vízszint változás (m)	'C' változat üzemi hőmérséklet (°C)	'C' változat hőmérséklet változás (°C)
T-1	82.9	14.0	79.8	-3.1	10.5	-3.5
T-2	82.9	14.0	üzemen kívül			
V-1	82.8	-	84.4	1.5	-	-
V-2	82.8	-	84.6	1.8	-	-

9. Ábra – „C” változat egymásra hatás eredményei táblázatosan.



10. Ábra – „C” változat egymásra hatás eredményei vizualizálva.

A „C” változatban a fordított termelés/visszasajtolás rövid idejű hatása is kérdés, maximális 10 napos időintervallumra nézve. A vizsgálat során így a V-1-es és a V-2-es kutakban is termelést feltételezünk. A V-1-es kút termelése esetén a hűtőhatás mértéke kútra nézve $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, a V-2-es kút termelés során pedig nem történt hűtőhatás a termelőkútban. Erre azért volt szükség, mert az üzemeltetést illetően felmerült egy olyan műszaki megoldás, amelyik során a termelő és nyeletőkutak felcserélhetők, hogy a szűrők esetleges kémiai elszennyeződése megakadályozható legyen.

A **második verzióban** a termelő- és nyeletőkutak más pozíciókba kerültek. Ebben a változatban összesen 3 db kút üzemelt, az 1-es kút a termelőkút 400 l/p kapacitással, míg a 2-es és 3-as kút nyeletőkútként működtek (8. ábra). A vizsgálat alapján a depresszió mértéke az 1-es kútban megközelítette a -6 m-t , ami az első verzió „C” változatának közel kétszerese. A visszahűtés mértéke ugyan nem érte el kritikus szintet, de $0,6^{\circ}\text{C}$ -al magasabb, mint a „C” változatban. A 10 napig tartófordított termelés során nem keletkezett jelentős visszahűtés

Mindkét vizsgált változat esetében sikerült olyan modellváltozatot eredményül kapni, amelyben a nyeletőkutak által generált visszahűtés mértéke kisebb mint 5°C . A két verzió közötti különbség a kutak termelése által okozott leszívás, valamint a visszahűtés mértékéből adódó kockázat. Ezek alapján a modellezés által **legjobb hatékonysággal** működő kútkialakítás az első verzió „C” **változata**, 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. A tartalékkút további előnye ha esetleges havária (pl. szivattyú meghibásodása, nyeletési probléma stb.) esetén fel kellene cserélni a kutakat a folyamatos vízkivétel/nyeletés biztosítása érdekében. Emellett a rendszer biztonságát növeli, hogy minden kút termelő- és nyeletőkútként is tud majd funkcionálni.

4.1.4 Kútkialakítás

A kút kialakítás ügyében irányadó az MSZ 22116:2002 - Fúrt vízutak és vízutató fúrások elnevezésű hatályos magyar szabvány. A szabvány leírja, hogy a vízügyi igazgatási szervek hatáskörébe tartozó fúrt vízutak kivitelezését csak érvényes vízjogi engedély birtokában lehet megkezdeni. [9] Az engedélyezési eljárást és a szakhatósági közreműködést kormány- és miniszteri rendeletek, valamint műszaki irányelvek szabályozzák. Ezek meghatározzák az engedélyezés fázisait, a tervezési és adatszolgáltatási kötelezettségeket, továbbá az engedélyezési tervdokumentáció felépítését és tartalmi követelményeit, amelyet kiegészít e szabvány követelményrendszere. A szabvány leírja a vízbeszerzési tanulmány első tervezési fázisainak főbb követelményeit, melyek a következők:

- megrendelői igények részletezése;
- vízigény meghatározása;
- tervezett fúrási pont(ok) földrajzi és geodéziai helymeghatározása;
- földtani és vízföldtani viszonyok bemutatása;
- vízkészletek helyi leterhelésének elemzése (környező kutak adatainak feldolgozása);
- javaslat a vízbeszerzés megoldására, esetleges változatok bemutatása.

A szabványban minta rajzok találhatók a kút kialakításra, fúrt utak csövezési típusaira, valamint a kútfejkiképzési típusokra. A szabványban ezen felül tájékoztató szilárdsági méretezések találhatók a bélés és szűrőcsövekre vonatkozóan.

A utak tisztítása és a végleges kútkialakítást követően geodéziai mérésekkel meg kell határozni az egységes országos vetületi (EOV) rendszerben a utak pontos horizontális koordinátáit, a terepszintet, a csőkiállást, a kútaknak alsó szintjét és a vízszintmérési csomópont szintjét, továbbá a Z Balti-tenger szint feletti magassági értéket.

4.2 Hőszivattyú választás szempontjai

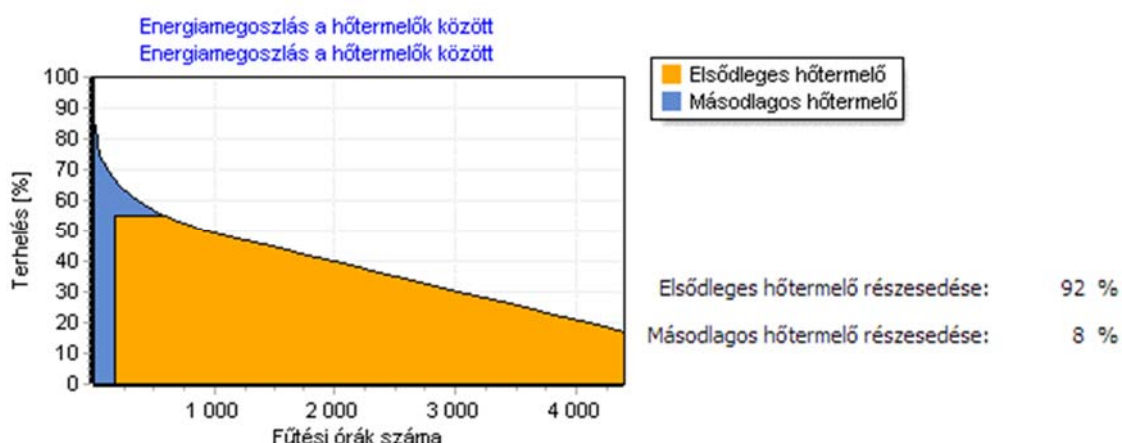
4.2.1 Lefedési arányok

Alap esetben fő szempont az épület hőveszteségének pontos meghatározása hőszükséglet számítás útján. Ennek ismeretében tudunk megfelelő teljesítményű hőszivattyús berendezést az épület igényeihez illeszteni, elkerülve az alul, vagy túlméretezést. A tárgyi projekt estén vizsgáltam a csúcsteljesítmény igényt. Ugyan csúcsteljesítmény igény viszonylag ritkán jelentkezik, azaz javarészt részterhelésen üzemelnek a rendszerek, ettől függetlenül vizsgálándó, hogy a tervezett rendszer képes-e a méretezési szélsőséges eset fedezésére. Ez monovalens rendszer esetén, ahol egy típusú hőtermelő üzemel rendkívül fontos szempont. Jelen esetben bivalens rendszerkialakításról beszélhetünk, ami azt jelenti, hogy több különböző hőtermelésre alkalmas berendezésünk áll rendelkezésre. A kiváltandó rendszer csúcsteljesítménye -11°C szabvány szerinti külső méretezési hőmérséklet mellett $\sim 330\text{ kW}$ (fűtési + hmv + légtechnika hőigény). Érdekesség, hogy esetenként a melegvízkészítési vagy hűtési teljesítmény igény modern épületeknél jelentős lehet. Jelen esetben használati melegvíztermelés csak egy épület esetén feladat, a hűtési igényekkel szemben pedig a fűtési igény a mérvadó. A tanulmányi fázisban vizsgáltuk több hőszivattyús berendezés rendszerbe illesztését, annak érdekében, hogy a csúcsteljesítmény igényt minél magasabb arányban tudjuk fedezni. Gazdaságossági szempontból a tervezési szakaszban kénytelenek voltunk végül egy hőszivattyúra redukálni az új hőtermelők számát. Vizsgáltam, hogy egy darab nagy teljesítményű hőszivattyús berendezéssel milyen lefedési arányra számíthatunk a csúcsteljesítményt tekintve. Ahogy említettem, bivalens rendszerben tervezzük a hőtermelőket üzemeltetni, ahol elsődleges hőtermelő az új magas hatékonyságú víz-víz üzemű hőszivattyú, másodlagos hőtermelő pedig a két darab meglévő kondenzációs gázkazán. Ezen belül bivalens-párhuzamos üzemet is engedünk. Ez azt jelenti, hogy egy meghatározott bivalencia hőfok alatt

a másodlagos hőtermelőt kiegészítő fűtésként beléptetjük és párhuzamos üzemeltetjük. A csúcsigények lefedésének szempontjából a tervezett, egyébként ~160 kW teljesítményű hőszivattyúval **83%** lefedési arány várható. Ideálisan igyekeztünk korábban ezt az értéket minimum 90% felett biztosítani, azonban a közben felmerült módosítási igény (2db helyett 1db hőszivattyú) okán ezen érték adódott, amely továbbra is elfogadható.

További szempont a hőszivattyús rendszerrel kiváltható energiamennyiség. Ennek értelmében vizsgálendő, hogy mikor mekkora energiamennyiségre van szükség és hogy a hőszivattyús kútvízhasznosítással milyen arányban fedezhetők ezek az igények. Összehasonlítottam az adatszolgáltatásból nyert mért és az épületenergetikai számítás útján meghatározott energiafogyasztási adatokat a hőszivattyús rendszerrel kiváltható energiamennyiséggel. Az energia igényekre jellemző, hogy előfordulnak kiugró, átlagtól eltérő napi fogyasztások. A legmagasabb energiaigények az elvártaknak megfelelően a hideg téli hónapokban jelentkeztek. Itt elmondható, hogy az elmúlt évtizedek meteorológiai adatai alapján, hogy enyhe téli napi átlaghőmérsékletek jellemzőek, mely mérsékeli a szélsőségesen kiugró napi energiaigényeket. Ami a tárgyi épületeknél kiugró értéket okozhat még és amihez nehéz egzakt számokat illeszteni az az épület középületi funkciója, különösen az egyik épület esetén, amely alkalmi rendezvényteremként is üzemel. Ezt figyelembevéve becslés alapján a hőszivattyús rendszerre az energiamennyiségek biztosíthatóságát illetően **90%** lefedési arányt határoztam meg.

Vizsgálendő a hőszivattyúval előállítandó előremenő víz hőfok. Összetett hőleadói rendszer meglátára végett különböző előremenő hőfokigények szükségesek. Ismert tény, hogy a fűtési rendszer annál hatékonyabban üzemeltethető, minél alacsonyabb előremenő hőmérsékletet igényelnek a hőleadói. Hőszivattyúk esetén ez korlátozott is lehet, ugyanis sok berendezés ~60-65 °C maximális fűtővíz előállítására képes vagy a felett speciális kivétel lehet szükséges. Annak ellenére, hogy a berendezés képes pl. 60 °C előremenő fűtési vizet előállítani, ha megtehetjük célszerű a hőleadói rendszert (fűtés, légtechnika) alacsonyabb előremenővel méretezni, vagy ha meglévősegről van szó, akkor megfontolandó azt a másodlagos hőtermelő berendezéssel a szükséges hőfokra emelni. Javasoljuk a hőtermelő berendezéseket (hőszivattyú, mint elsődleges és gázkazán, mint másodlagos) itt is párhuzamos bivalens üzemben működtetni. A szükséges előremenő víz hőfokok szempontjából a bivalencia pontot, valamint azt a pontot, ahol kizárólag gázkazános fűtést érdemes alkalmazni meghatároztam. Ennek értelmében **92%** lefedési arány várható.



11. Ábra - Bivalencia számítás eredménye.

4.2.2 Hatékonyság

„A hőszivattyúk energetikai minősítésének alapvető indikátora a teljesítménytényező (COP érték). A teljesítménytényező a fogyasztás céljára kinyert hő és a befektetett összes villamos teljesítmény szükséglet hányadosa.” [1] Hűtőgépek esetén azok jósági tényezőjét az általuk elvégzendő feladat alapján úgy is megfogalmazhatjuk, hogy azok adott munka végzésével mennyi hőt vonnak el a hűtött térből. A COP érték egy meghatározott fix külső és belső hőmérséklet esetén értendő. A teljes kép érdekében vizsgálendő az energia hatékonysági jelző szezonális és lokális értékekkel kiigazított számított módszere. A szezonális fűtési hatékonyság mutató (SCOP érték) megmutatja, hogy hányszoros fűtőtelsítményt fog berendezésünk biztosítani a befektetett elektromos áramból egy adott fűtési szezonban, figyelembe véve a hideg és kevésbé hideg napokat.

Alapvető cél a teljesítménytényező optimalizálása és minél magasabb arányszám megléte, mivel ez utal a hőszivattyú hatékony működésére és kedvező energiafelhasználására. Eszményi üzemállapotban működtetve a hőszivattyús berendezést elérhető az idealizált SCOP érték, azonban a valóságban az üzemállapotok folyamatosan változnak a szélsőségek irányába. Alap esetben meghatározó szempont a külső hőmérséklet, azonban a közel állandó hőmérsékletű kútvíz, mint hőforrás a külső hőmérséklet ingadozásnak kevésbé kitett, mint a hagyományos levegő-víz hőszivattyú. Ismert jelenség, miszerint a külső hőmérséklet csökkenésével a COP érték is csökken. A víz-víz rendszer előnye, a talajkollektoros rendszerrel szemben (ahol várhatóan kb. 7°C hőmérsékletű hőforrással kalkulálhatunk), hogy itt stabilan 14°C hőmérsékletű vizet tudunk biztosítani az elpárolgató oldalon.

Természetesen a gép specifikus tulajdonságok, a készülék minősége, kompresszor típusa, valamint a hőcserélők hatékonysága is alapvetően meghatározza az SCOP értéket. Nagyban befolyásolja az SCOP értéket az előállítandó fűtési előremenő víz hőfok. Alacsony hőmérsékletű rendszerek (pl. felületfűtés) hatékony üzemet biztosítanak, mivel az előállítandó előremenő víz hőfok alacsonyabb.

A projektben alkalmazott R410A hűtőközeges hőszivattyús berendezés 35°C kondenzátor oldali hőmérsékletre méretezve, a belépő hőforrás oldali hőmérsékletektől függően képes COP=5,3-8 körüli magasnak mondható értékeket elérni.

GWS170-HACW					Fűtési üzemmód				35°C kond.hőm.			
2x scroll kompresszor					R410A				víz – víz			
Föld oldali adatok					Készülék adatai				Fűtés oldali adatok			
ELT /°C/	Tömeg- áram /l/min/	LLT /°C/	Δ _t /°C/	Elpárolg. Telj. /kW/	Elektr.telj. Igény/kW/	Amp. /A/	Fűtési telj. /kW/	COP	EWT /°C/	Tömeg- áram /l/min/	LWT /°C/	Δ _t /°C/
24,9	390	17,2	7,7	210,0	29,6	56,0	238,0	8,0	26,2	390	35,0	8,8
22,5	390	15,2	7,3	197,6	29,6	56,0	226,0	7,6	26,7	390	35,0	8,3
20,1	390	13,3	6,8	186,4	29,5	55,9	214,0	7,3	27,1	390	35,0	7,9
17,7	390	11,3	6,4	175,6	29,5	55,9	204,0	6,9	27,5	390	35,0	7,5
15,3	390	9,2	6,1	165,0	29,5	55,9	192,8	6,5	27,9	390	35,0	7,1
12,6	390	7,3	5,3	144,8	29,4	55,9	182,8	6,2	28,3	390	35,0	6,7
10,6	390	5,3	5,3	145,0	29,4	55,9	173,0	5,9	28,6	390	35,0	6,4
8,3	390	3,4	4,9	135,2	29,6	56,1	163,4	5,6	29,0	390	35,0	6,0
6,0	390	1,4	4,6	125,8	29,8	56,3	154,4	5,3	29,3	390	35,0	5,7

12. Ábra - A hőszivattyús berendezés 35°C kondenzátor oldali hőmérsékletre méretezett teljesítmény táblázata.

Az ábra első oszlopa a kútból nyert folyadék hőmérséklet, pontosabban az esetleges lehűlés vagy előtét hőcserélős leválasztás után az elpárologtatóra jutó hőmérséklet. Ennek ismeretében meghatározható a várható COP érték azon üzemállapotra. A technológia sajátossága, hogy állandó tömegáram biztosítása szükséges és mivel a hőforrás hőmérséklete is várhatóan konstans, a COP értéket elsősorban a fűtés oldali előremenő víz hőfok fogja befolyásolni. Az állandó tömegáram biztosítja a víz-víz hőszivattyúk stabil működését. Fontos még a hőfokhatárok (6-25°C) betartása.

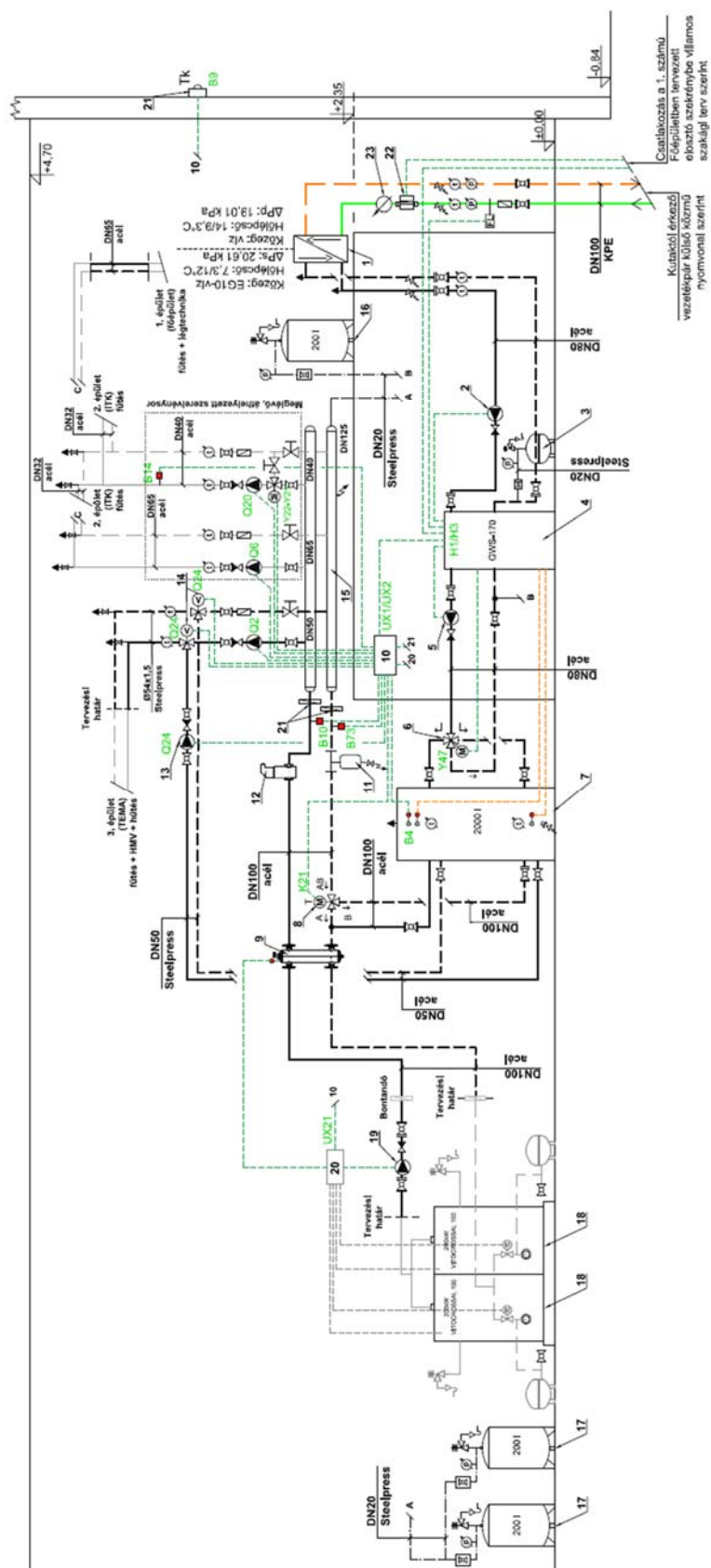
GWS170-HACW					Fűtési üzemmód				50°C kond.hőm.			
2x scroll kompresszorral					R410A				víz – víz			
Föld oldali adatok					Készülék adatai				Fűtés oldali adatok			
ELT /°C/	Tömeg- áram /l/min/	LLT /°C/	Δ_t /°C/	Elpárolg. Telj. /kW/	Elektr.telj. Igény/kW/	Amp. /A/	Fűtési telj. /kW/	COP	EWT /°C/	Tömeg- áram /l/min/	LWT /°C/	Δ_t /°C/
23,5	390	17,0	6,5	176,2	40,4	69,8	215,0	5,3	42,0	390	50,0	8,0
21,2	390	15,1	6,1	165,6	40,4	69,8	204,0	5,0	42,4	390	50,0	7,6
18,8	390	13,1	5,7	155,4	40,4	68,7	193,8	4,8	42,8	390	50,0	7,2
16,5	390	11,1	5,4	145,8	40,4	69,7	184,0	4,6	43,2	390	50,0	6,8
14,2	390	9,2	5,0	136,6	40,2	69,6	174,8	4,3	43,5	390	50,0	6,5
11,8	390	7,1	4,7	127,2	40,4	69,8	165,6	4,1	43,8	390	50,0	6,2
9,6	390	5,3	4,3	118,6	40,4	69,9	157,2	3,9	44,1	390	50,0	5,9
7,3	390	3,3	4,0	110,4	40,6	70,0	149,0	3,7	44,5	390	50,0	5,5
5,0	390	1,3	3,7	102,6	40,6	70,0	141,2	3,5	44,7	390	50,0	5,3

13. Ábra - A hőszivattyús berendezés 50°C kondenzátor oldali hőmérsékletre méretezett teljesítmény táblázata.

Mindez 50°C kondenzátor oldali hőmérsékletre méretezve SCOP=3,5-5,3 tartományt eredményez. Látható, hogy a fűtési előremenő hőfok igény növelésével csökkennek a COP értékek. Azonban ez az a tartomány (~50°C), amit a tervezett hőszivattyútól elvár a meglévő hőleadói rendszer, így elmondható, hogy egy várhatóan SCOP= ~4 szezonális hatékonysági tényezővel fog tudni üzemelni a berendezés.

4.3 Hidraulikai kialakítás

A hőszivattyú rendszerbe illesztését a következő ábrán bemutatott módon alakítottuk ki.



14. Ábra - Hőközponti kapcsolási vázlat.

A kapcsolási vázlatot következetesen az elejétől kezdve áttekintve látható, hogy előtét hőcserélős leválasztással határoltuk el a hőforrás oldalt a fűtési oldaltól. A hőcserélő választással, méretezéssel egy következő fejezet foglalkozik részletesen.

Kardinális szempont az egyes körökben esetlegesen táguló víztérfogat biztosítása. Erre tágulási tartályokat építettünk be a szükséges helyeken biztonsági szerelvénycsoporttal.

A közölt teljesítmény akár 160-170 kW is lehet, így a szállítandó tömegáram DN80-DN100 méretű csővezetékek használatát indokolta. Az alkalmazott csőanyag a nagy méretekben acélcső, kisebb méretekben szénacél csőrendszer gépi préskötéses idomokkal mindkét esetben festve. A kút oldal vezetéke KPE cső. A csővezetékeket egységesen 30mm vastag párazáró hőszigeteléssel kell ellátni. A nagyméretű szerelvények karimás kötéssel kerülnek beépítésre.

A hidraulikai átalakítás során szempont volt a hőszivattyú rendszerbe illesztése úgy, hogy a meglévő gázkazánok szükség esetén beléptetve képesek legyenek az előremenő hőfok emelésre. A kapcsolási vázlat lényegi csomópontja a meglévő fűtési gerincevezetékbe épített új hidraulikus váltó és az utána becsatlakozó új hőszivattyús fűtési gerincevezeték, ahol a visszatérő vezeték váltószeleppel csatlakozik. A váltószelep dönti el, hogy a visszatérő közeg a puffertárolón keresztül, vagy azt kikerülve jut el a hidraulikai váltó felé.

Központi elem a 2m³ térfogatú fűtési puffertároló amely, mint minden hőszivattyús rendszernél növeli a rendszer víztérfogatát, csökkentve a hőszivattyú rövid ciklusainak számát, valamint hőtartalékként működik, amelyből a rendszer szükség esetén kiszolgálhatja a fűtési igényeket anélkül, hogy a hőszivattyúnak azonnal be kellene kapcsolnia. A puffertárolóban ekkora méret esetén várhatóan rétegződés jön létre. Mivel nyáron hűtünk is, célszerű a hűtési hidegvízzel a tároló alját tölteni és azt onnan kivenni. A töltés idény szerinti megfordítása motoros 4 utas szeleppel valósul meg. Az osztó-gyűjtő első körén (3. épület irányába) van a hűtési igény. Az új hűtési vezeték a szerelvénytárhoz váltószelekkel integrálunk.

Minden egyes hidraulikailag külön kör saját keringtető szivattyúval ellátott. A hőszivattyúban nincs beépített szivattyú így utána is és mivel a kútszivattyú az előtét hőcserélőig tud keringetni előtte is külön szivattyú építendő be. A munkapont meghatározás tervezői feladat, melyhez minden paraméter ismert. A szükséges paraméterek a szivattyú által leküzdendő nyomásveszteségek összessége, azaz a biztosítandó emelőmagasság és a keringtetendő tömegáram. A munkaponton jellemző tömegáramot a teljesítményekből határoztam meg, míg az emelőmagasságot a csőrendszer statikus és dinamikus nyomásveszteségéből. A dinamikus nyomásveszteség a csőhálózat súrlódási és a szerelvények, idomok alaki veszteségből meghatározható.

Fontos elem a rendszert szabályzó elektronika, mely a főbb berendezéseket (hőtermelő, szivattyúk, motoros szelepek) kezeli. A rendszer szabályzását Siemens Albatros elektronika végzi időjárás függvényében. Az Albatros szabályzó ad indító jelet a tervezett hőszivattyúnak és szabályozza a fűtési-hűtési körök szerelvényeit, valamint vált nyári/ téli állapot közt is. A kút oldalon belépő vezetékbe egy reed relés áramlásérzékelő beépítése tervezett, amely a kútszivattyú meghibásodása esetén tiltja a hőszivattyú működését. Ezen felül a hőszivattyú gyárilag alacsony nyomás elleni védelemmel, az elpárologtató elé beépített reed relés áramlásérzékelővel és vízhőmérséklet érzékelővel van felszerelve. A meglévő megmaradó gázkazánokhoz tartozó elektronika szabályozza továbbra is a kazánok kaszkád léptetését.

A kapcsolási vázlatot részben függőleges csőtervként ábrázoltam, szemléltetve, hogy a meglévő osztó-gyűjtő szerelvénytárhoz, tágulási tartályok és a tervezett hőcserélő csak az acél tartószerkezeten tud helyet kapni.

4.4 Kút oldali korrózió

Fontos szempont, hogy a primer oldal, ami a fűtő kúttól érkező víz közeget tartalmazó rész oxigéntartalma várhatóan magasabb, mint bármely hagyományos zárt fűtési rendszerben, így a csőanyagválasztás kulcsfontosságú a korróziós problémák megelőzése érdekében. A korrózió a csövek és berendezések élettartamát befolyásolja. Az előforduló korrózió típusa és intenzitása számos tényezőtől függ, beleértve a víz kémiai összetételét, hőmérsékletét, az oxigéntartalmat és a felhasznált csőanyag tulajdonságait.

A primer oldal elsődleges védelme érdekében úgy döntöttünk, hogy az előtét hőcserélőig csőanyagváltás nem történik és az épületen kívül alkalmazott kúttól érkező KPE csőanyagot alkalmazzuk a hőközponton belül is. Ezen felül természetesen mechanikai szűrő beépítése is tervezett. Ezügyben kihívás az előtét szakaszba építendő szerelvények kiválasztása, ugyanis a csőanyaghoz illő idomok, szerelvényeket kell alkalmazni. A nagyméretű (DN100) KPE rendszerhez gyártott elzáró szerelvények rendkívül helyigényesek. A hőmérők, nyomásmérők rendszerbe illesztéséhez elektrofúziós idomokat, megfűró bilincseket lehet alkalmazni. Bármilyen szerelvény, mely anyagát tekintve alapvetően fém, réz vagy bronzházas kivitelben alkalmazandó.

További eldöntendő szempontokat jelent a hőcserélő választás. Itt is fontos tényező a lerakódások elkerülése. A hőcserélő választás, méretezés szempontjait a következő fejezt részletezi, azonban előjáróban elmondható, hogy a tisztíthatóság a szerelt lemezes hőcserélő mellett egy nyomós érvek bizonyul jelen alkalmazási példában.

4.5 Hőcserélő választás

A rendszer kialakítást előtét hőcserélős leválasztással alakítottuk ki a tervezett egyfelől a vízbázis, más szemszögből pedig a szekunder oldali berendezések védelme érdekében. A hőcserélő esetén is fontos tervezési szempontok merülnek fel. Ahogyan az ismert, a hőcserélő két áramlási kör közös eleme. Elválasztja a két áramoltatott közeget, hogy ne keveredjenek és a hőátadást hővezetés útján biztosítja.

Kérdés, hogy forrasztott lemezes, vagy szerelt lemezes kivitelű hőcserélőt méretezzünk. A döntésben segít, ha végig gondoljuk és megvizsgáljuk a következő szempontokat:

- Átadott hőmennyiség
- Hőfokkülönbség, hőmérséklettartományok
- Nyomásfokozat
- Nyomásveszteség
- Áramlási sebesség, áramlási kép
- Áramlási irányok
- Karbantartási szempontok
- Rendelkezésre álló hely

Mindezek mentén kiválasztható a feladatra alkalmas hőcserélő berendezés, amellyel biztosítható a hatékony hőátadás.

Átadott hőmennyiség: Az első lépés a rendszer által igényelt hőteljesítmény kiszámítása, amelyet jellemzően az épület hőveszteségei és a fűtési igények alapján határozhatunk meg. Ez az érték határozza meg, hogy mekkora hőmennyiséget kell a hőcserélőnek átadnia az adott időegység alatt. Jelen esetben a kútvízből előzetes számítások alapján 125 kW teljesítmény kivételét terveztük, mely határérték lehet a hőcserélő választás szempontjából, mivel olyan térfogatáramot jelenthet (hőfoklépcső függvényében) hogy már szerelt lemezes hőcserélő alkalmazása javasolt.

Hőfokkülönbség: Fontos ismerni a primer (hőforrás) és a szekunder (fűtött közeg) oldalak belépő és kilépő hőmérsékleteit. A logaritmikus közepes hőmérsékletkülönbség a hőcserélőben történő hőátadás hajtóereje. Ez a hőmérsékletkülönbség logaritmikus átlaga a hőcserélő be- és kilépő oldalán lévő hideg és meleg oldal között. Mindez közvetetten befolyásolni fogja a szükséges hőátadó felület nagyságát.

Nyomásfokozat: Figyelembe kell venni a rendszer üzemi nyomását mely bizonyos esetekben hatással lehet a hőcserélő konstrukcióra (lemezvastagság, keretszerkezet, csavarzat) és a csatlakozásra. Mindez jelen esetben nem bizonyult befolyásoló tényezőnek, mivel nem magas nyomású rendszerről van szó.

Nyomásveszteség: A nyomásveszteség közvetlenül függ a hőcserélő méretétől és fordítva. A hőcserélőn keresztüli áramlás során fellépő nyomásvesztést minimalizálni kell, ha szempont a szivattyúzási munka mérete (munkapont), vagy a szivattyúk energiafogyasztása és üzemeltetési költségek csökkentése. Ellenben, ha lehetséges a megengedett nyomásesés és a szivattyúzási költségek növelése, a hőcserélő fizikai mérete kisebb lesz, ezáltal olcsóbb, valamint az öntisztulás és karbantartási igény is kedvezőbb. Jelen esetben 20 kPa maximális nyomásvesztést előirányozva készült a méretezés, mely primer és szekunder oldalon egyaránt meg is valósul. Fontos az optimális nyomásveszteség, amikor is a csatornák között megvan a turbulenciához szükséges áramlási sebesség. Alacsony nyomásveszteség esetén kétséges, hogy turbulens vagy lamináris az áramlás és jellemzően 10kPa alatti nyomáskülönbség már problémás működést jelent és a hőcserélő nem lesz öntisztuló.

Áramlási sebességek, térfogatáramok: A primer és szekunder oldali közegek tömegáramát (kg/h) vagy térfogatáramait (m³/h) pontosan meg kell határozni. Az optimális áramlási sebességek biztosítják a megfelelő hőátadást és ideális nyomásvesztést.

Áramlási irányok: Az áramlási irányok (ellenáramú, egyenáramú vagy keresztáramú) befolyásolják a hőcserélő hatékonyságát. Az ellenáramú hőcserélők általában hatékonyabbak, mivel nagyobb közepes hőmérséklet-különbséget biztosítanak a hőátadás során.

Karbantartási szempontok: A hőcserélő kialakításának lehetővé kell tennie a könnyű tisztítást és karbantartást, különösen akkor, ha a közegek szennyeződése vagy lerakódások kialakulása várható.

Rendelkezésre álló hely: Adott esetben szempont, hogy jellemzően ugyan azon paraméterekre méretezett forrasztott lemezes hőcserélő kedvezőbb fizikai méretében.

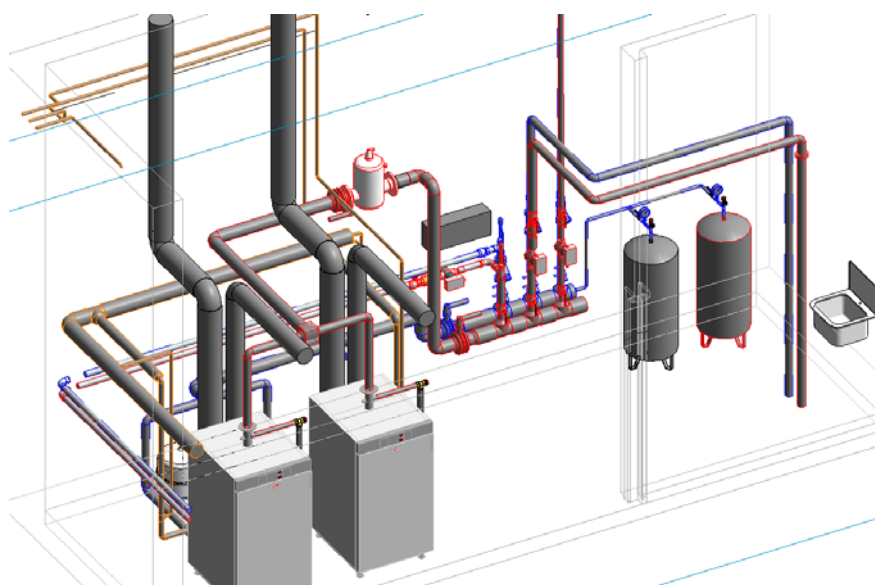
A tervezés során mindkét kivitelre készítettünk egy-egy méretezést. Ahogy az várható volt, a forrasztott lemezes hőcserélő kedvezőbb fizikai méretében, azonban magasabb nyomásesést eredményez. Önmagában a magasabb nyomásesés (~25 kPa) akkor jelenthet még problémát, ha a szivattyú egy meglévőség és így szállítómagassága kötöttség. Jelen esetben a szivattyúválasztás az én feladatomból volt, tehát a kitolódó munkapont figyelembe vehető, azonban az üzemeltetési költségek végett javasolt a rendszer nyomásesésének optimalizálása. Bár a rendelkezésre álló hely szűkös a tárgyi hőközpontban, elsődleges kiválasztási szempont végül a karbantartási igény lett. A szerelt lemezes hőcserélő nevéből is adódóan szét szerelhető a tisztítás érdekében és nem csak mosó csonkokon keresztül tud megvalósulni az időszakosan elkerülhetetlen mosás. Mindez az esetlegesen homokkal szennyezett, valamint korrózióknak fokozottan kitett kútvíz esetén fontos szempont a lerakódások előkerülése érdekében. Ahogy az a példában látható, a kiválasztás olykor kompromisszumos, a felsorolt szempontokat mérlegelni kell az adott feladat alapján.

4.6 3D modellezés eszköztára

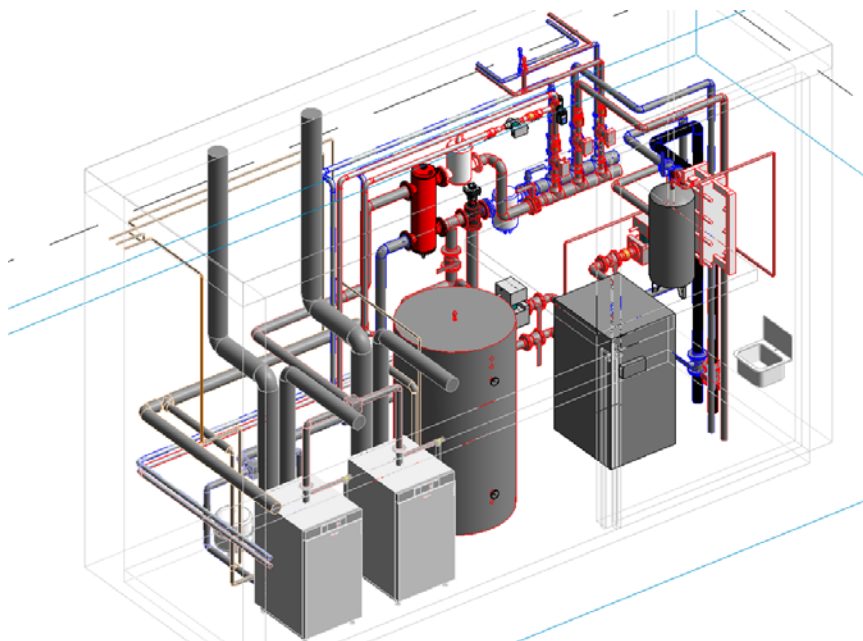
A hagyományos CAD alapú 2D tervezés korlátossága és nehézsége komplex nagyterjedésű rendszerek esetén érzékelhető, vagy amennyiben felmerül a tervezett rendszer megvalósíthatóságának kérdése szereléstехnikai oldalról esetleges helyhiány miatt. Az alfejezetben az utóbbi szempont megoldására mutatom be az alkalmazott megoldást.

A projektben már ismertetett módon meglévő hőközpont került átalakításra, mely magával hordoz számos meglévőséget. Ilyenek az átalakítással nem érintett, meglévő megmaradó berendezések, csővezetékek, szerelvények. Fontos határt húzni az új és megmaradó rendszerek között, azaz ki kell jelölni a tervezési határt. Egy-egy átalakítás érintheti az épület teljes gépészetét, hőleadói hálózat egyes részeit, koncentrálódhat csak a hőközpontra, esetleg annak egyes alrészeire. Jelen feladatban tervezési határok voltak a hőközpontból kilépő vezetékek, meglévő hőtermelők és tartozékaik, fűtési gerincvezeték egy része, osztó-gyűjtő egy része és a gázhálózat csővezetékei. Ezt követően kirajzolódik a rendelkezésre álló tér. Jelen esetben már a megvalósíthatósági tanulmányban felhívtuk a figyelmet arra, hogy a hőközpont magas belmagasságát kihasználva, egyes elemeket acél tartószerkezetre kell átépíteni az alapterület végeessége miatt. A 2D alapú tervezés további egyértelmű korlátossága a térben való vizualizáció.

Itt érdemes bevezetni a 3D tervezés, vagy inkább modellezés fogalmát. Ráadásul rögtön parametrizált modell rendszerről beszélhetünk. A parametrikus 3D modellezés egy számítógépes tervezési (CAD) eljárás, melynek során paraméterek, kapcsolatok és korlátozások segítségével alkothatók meg 3D modellek. A geometriai alakzatok és méretek paraméterekkel definiáltak. A 3D modellek jellemzői parametrikus kapcsolatokon keresztül összekapcsolhatók egymással. Ez eredményezi a tervezés dinamikus voltát. Ez az eljárás elősegíti az iteratív tervezést, azaz lehetővé teszi, hogy több tervváltozatot is megvizsgáljunk. A parametrikus 3D modellezés lehetővé teszi a szándék és a kapcsolatok létrehozását a geometriai jellemzők között, ami jelentősen csökkenti a tervezéssel és a változtatások beépítésével eltöltött időt. A rajzok asszociatívak a 3D modellhez, és automatikusan frissülnek minden változással együtt. A parametrikus modellezéssel számos feladat optimalizálható és automatizálható. További előny a tervezés rugalmasságának biztosításán kívül a még több érték kinyerése a modellekből.

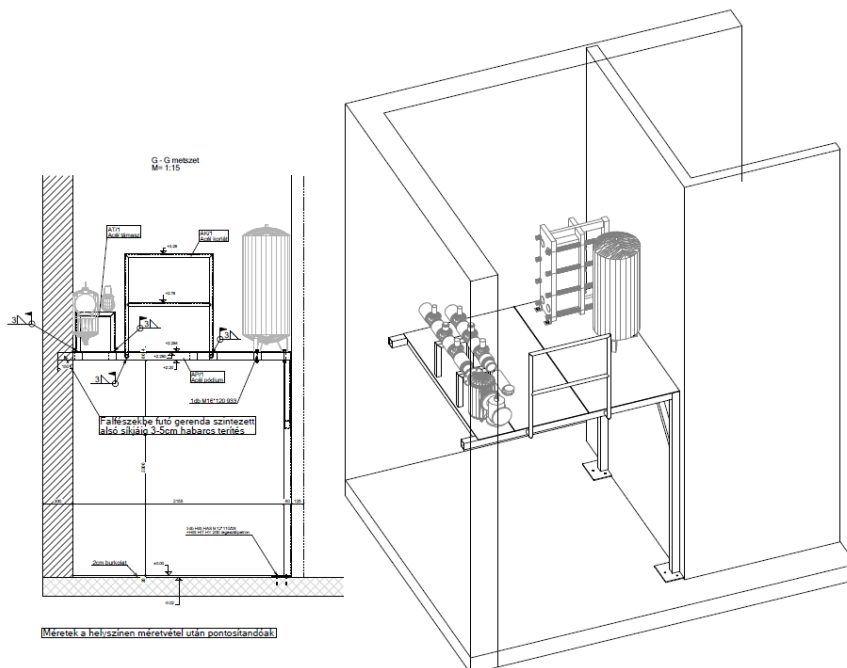


15. Ábra – A hőközpont meglévő állapotát ábrázoló modell.



16. Ábra – A hőközpont tervezett állapotát ábrázoló modell.

A projekt során az épületinformációs modellezés, mint megrendelői igény vagy feladat nem volt megfogalmazva. Ettől függetlenül Revit segítségével a meglévő és tervezett állapot modelljét felépítettem. Ennek több előnyét használtuk ki a projekt során. Egyrészt az acél tartószerkezet, mely gépészeti galéria vagy podesztként funkcionált statikai adatszolgáltatásához komplett 3D modellt tudtam szolgáltatni. Statikus szakági tervező a saját (Tekla) szoftverébe a kapott „.ifc” kiterjesztésű modellt integrálni tudta és saját terveinek elkészítéséhez felhasználhatta. A felépített hőközponti modell elemei metaadatokkal vannak feltöltve, melyből pl. az acél tartószerkezetre terhelő berendezések, szerelvények súlya kiolvasható, további gyors adatszolgáltatást biztosítva.



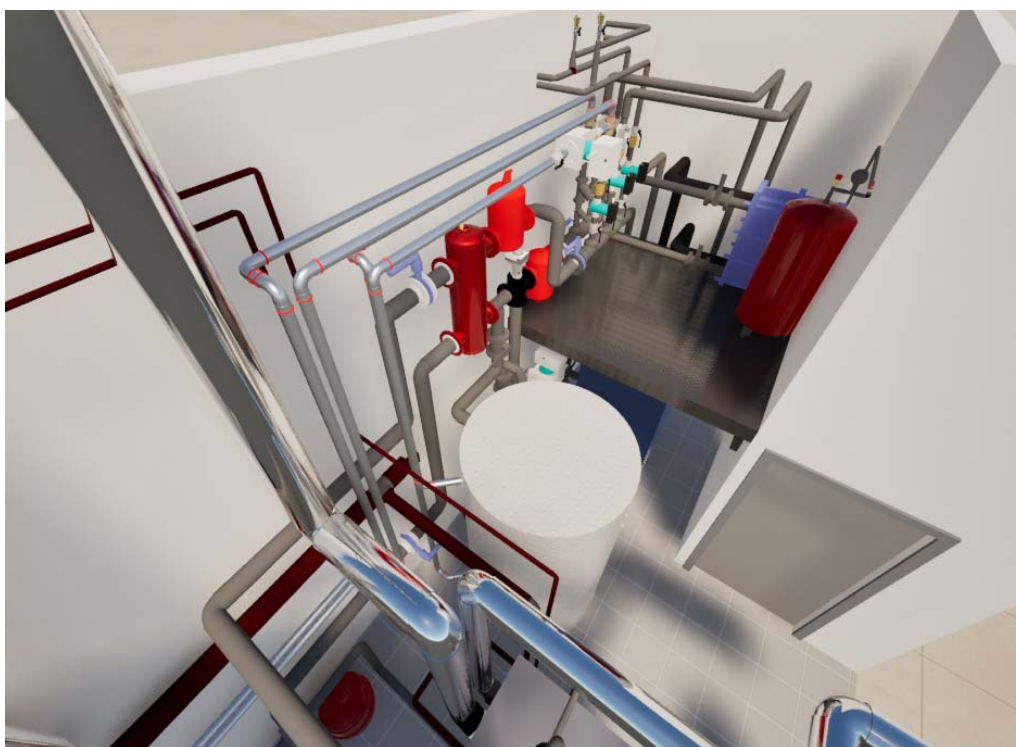
17. Ábra - Acél tartószerkezet terve (részlet).

„Az IFC kiterjesztésű fájlok az Industry Foundation Classes fájlformátumra vonatkoznak, amely nemzetközi szabványokat állapít meg az épületobjektumok és tulajdonságaik importálására és exportálására. Ez a fájlformátum együttműködést biztosít a különböző szoftveralkalmazások között.”
[10]

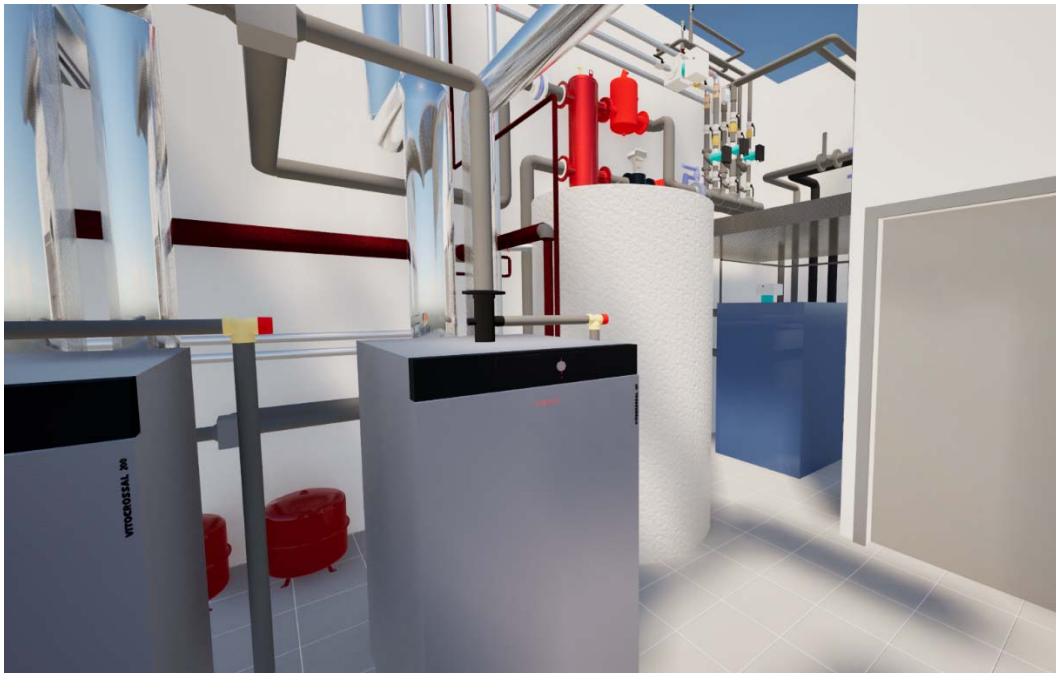
A Revit épületinformáció-modellezési szoftver mely alkalmas építészeti tervezéshez, az épületgépészethez és a szerkezettervezéshez, valamint a kivitelezéshez is kínál szolgáltatásokat. A Revit támogatja a több szakágat is felölelő, együttműködésen alapuló tervezési folyamatokat. Megkönnyíti a mennyiségelési és esetleg ütemezési feladatokat.

A projekthez felépített modell további funkciója a tervezett rendszer minden egyes elemének pontos helymeghatározása. Biztosítani kívántam a 2D-ben felvázolt elméleti kapcsolat megvalósíthatóságát a valós térben. A hőközpont korlátosságait a felépített 3D térben körüljárva megtaláltam az egyes szerelvények ideális helyét. Az optimális kialakításban további segítség az alternatív elrendezések kipróbálásának lehetősége, például különböző csővezetési útvonalak vagy eszközhelyezések elemzésével. Figyelembe tudtam venni a szervizelhetőség szempontjából fontos elemek helyigényét és az esetleges ütközések elkerülését.

Harmadik nem elhanyagolható szempont, hogy a 3D modellek vizuális segítséget nyújtanak nem csak a tervezők, hanem a kivitelezők esetleg megrendelők számára. Míg 2D alapú terv olvasása tapasztalatot, jó térlátást és vizualizációs készségeket követel meg. Addig 3D modellek megléte átláthatóságot biztosít. Az átláthatóságot az biztosítja, hogy lehetőség van áttekinteni a modellt bármely perspektívában és szabad betekintésünk van a tér bármely részletébe, szegmensébe. Igény esetén gyorsan megjeleníthető tetszőlegesen húzott sík metszete is. Végezetül a terv vizualizálása mérsékeli a helyszíni szerelés során felmerülő improvizáció szükségességét, ideális esetben biztosítja a gyorsabb kivitelezést.



18. Ábra – Vizualizáció #1.



19. Ábra – Vizualizáció #2.

5. ÖSSZEGZÉS

A projekt, mely lebonyolításában részt vehettem középület együttes energetikai korszerűsítését vette feladatul. A megvalósíthatóság hidrogeológiai modellezés, kútgépészeti, mélyépítési, villamos és automatizálási, statikai és épületgépészeti szakági együttműködést követelte meg. Ez a sokrétű, de a közös cél érdekében egymáshoz kapcsolódó szakterület jelent azt gondolom érdekességet.

Az épületek hőellátásának áttervezésében hidegvizes kutat, mint hőforrás hasznosító víz-víz üzemű hőszivattyú kapta a fő szerepet. A dolgozatban bemutattam az alkalmazott hőszivattyús technológiát, kútkialakítással kapcsolatos ismereteket, valamint néhány felmerült műszaki problémát és lehetséges megoldásukat. A végeredmény elméletben egy hatékony épületgépészeti rendszer, mely remélhetőleg a megvalósulás után az elvártaknak megfelelő hatékonyságot mutat majd. A szerzett tapasztalat és technológia azt gondolom további esetekben is alkalmazható, mint fűtési-hűtési rendszerek hatékony és környezetbarát alternatívája.

6. HIVATKOZÁSOK

- [1] Dr. Nyers Árpád, Víz-víz hőszivattyús fűtési rendszerek energetikai optimalizálása, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2016.
- [2] Termodinamika jegyzet III., Budapest: Elte TTK Meteorológiai Tanszék.
- [3] Keszei Ernő, Bevezetés a kémiai termodinamikába, Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem, 2007.
- [4] Sánta Róbert, A Kompresszoros hőszivattyúk üzemének szimulációja és optimalizációja az épületgépészetben, Budapest: 2014, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.
- [5] Rendelet, 12/1997. (VIII. 29.) KHVM rendelet a termelt és szolgáltatott vizek gázmentesítéséről.
- [6] Rendelet, 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről.
- [7] Rendelet, 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről.
- [8] Rendelet, 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról.
- [9] Magyar Szabvány, MSZ 22116:2002 Fúrt vízkutak és vízkutató fúrások.
- [10] Internet, [<https://docs.fileformat.com/hu/cad/ifc/>].
- [11] Dr Szlivka Ferenc, Hő- és Áramlástechnika, Budapest: Óbudai Egyetem - Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 2014.
- [12] Komlós Ferenc, Hőszivattyúk és a megújuló energiaforrások, Szeged, 2010.