

Hőszivattyús rendszer tervezése a gyakorlatban II.

A Pécsi Vérellátó hőszivattyús rendszere

A cikk előző részében¹ bemutattam a Pécsi Vérellátó épületének eredetileg tervezett hőszivattyús rendszerét, illetve azokat a tervezési hiányosságokat, amelyek alapvetően befolyásolhatják a hőszivattyús rendszerek hatékonyiságát, a beruházási költséget, így az ár/érték arány alakulását.

A fentieken túl emlíést tettem a rendszer áttervezéséről, és ennek megfelelően egy alternatív hőközpont és szondarendszer kialakításáról, amely nem tartalmazza az eredeti rendszer tervezési hiányosságait.

Az áttervezett hőközpont kialakítása

A hőszivattyús hőközpontok kialakításánál elsődleges szempont az egyszerűsre törekvés a lehetséges legnagyobb SCOP(SPF) érték elérése mellett. A feleslegesen sok szabályozó útváltó és keverőszelep, valamint hőcserélők beépítése minden csökkentik a hőszivattyús rendszerrel elérhető SCOP értéket. Ezt akkor tudja egy tervező megvalósítani, ha az ellátandó feladatra alkalmas hőszivattyút választ.

Jelen esetben az ellátandó feladat az épület téli fűtése, nyári aktív hűtése², valamint a HMV ellátása.

A HMV kiegészítésre egy falikazánt is beépítettek a hőközpontba.

Az előző cikkben már volt arról szó, hogy a feladatra 1 db Vaporline® GBI96-HACW típusú multifunkciós hőszivattyút terveztek be, illetve építettek be, amely a fűtés és az aktív hűtés mellett a desuperheaterrel a HMV ellátását az üzemidő 70-80%-ában képes biztosítani (1. ábra).

A multifunkciós, reverzibilis körfolyamatú hőszivattyúk esetében a körfolyamat átváltása, valamint a HMV előállítása közvetlenül a hűtőkörben, a hőszivattyún belül megvégbe, és nem külső, opcionálisan illeszthető útváltó szelepek és hőcserélők rendszerbe illesztésével.³

A feladatra megfelelő hőszivattyú választás következménye, hogy egy egyszerű kapcsolási sémájú hőközpontot lehetett kialakítani (2. ábra).

¹ Magyar Installateur 2014/8-9., 18-19 old.

² A beépített technológia miatt a szokásosnál intenzívebb a hűtési igény

³ A forgalomban lévő hőszivattyúk legtöbbje sajnos nem multifunkciós

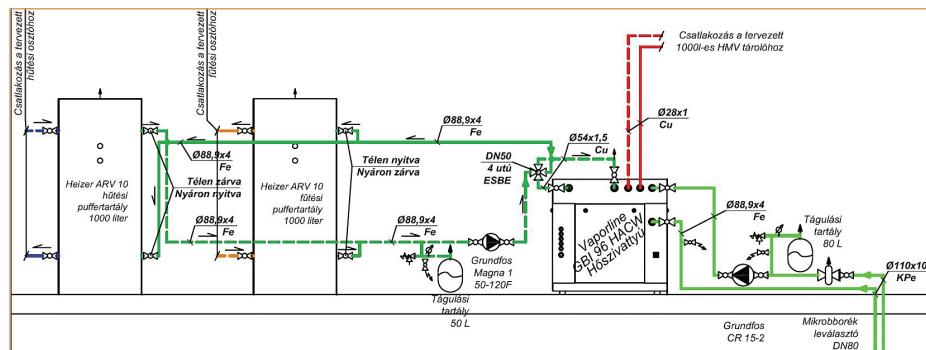
⁴ Magyar Installateur 2014/8-9., 18. old.1. ábra

A tervezett fűtési puffer tartály Heizer 1000 lit.-s. A bekötés a 1-2. ábrának megfelelően történt. A hőszivattyú kondenzátor oldali kimeneténél beépítették a DN50-es négyutú (ESBE) motoros útváltó szelepet. Ennek feladata, hogy hűtési üzemmódban az elpárologtatót ellenáramúvá tegye, és ezzel az elpárologtató hatékonyisége a hűtési üzemben növekedjen. Az útváltó szelep működése automatikus, a tél/nyár kapcsoló átváltására működik.

A szondaoldalon a tágulási tartályt közvetlenül a cirkulációs szivattyú szívó oldalára kötötték be, így a rendszer nyomott, ami csökkenti a szondák levegőösödésének veszélyét.

Az eredeti tervben⁴ a tágulási tartály a lehető legrosszabb helyen, a hőszivattyú után, a cirkulációs szivattyú nyomó oldalán lett betervezve. Ennek következménye, hogy a szondarendszer szívott, és ez nagy valószínűséggel üzemeltetési gondokat okozott volna.

A szondaoldalra beépítettek egy mikrobuborék leválasztót, amely elősegíti a hőszivattyús rendszer üzemavar mentes működését.



1. ábra. A hőközpont kapcsolási sémája

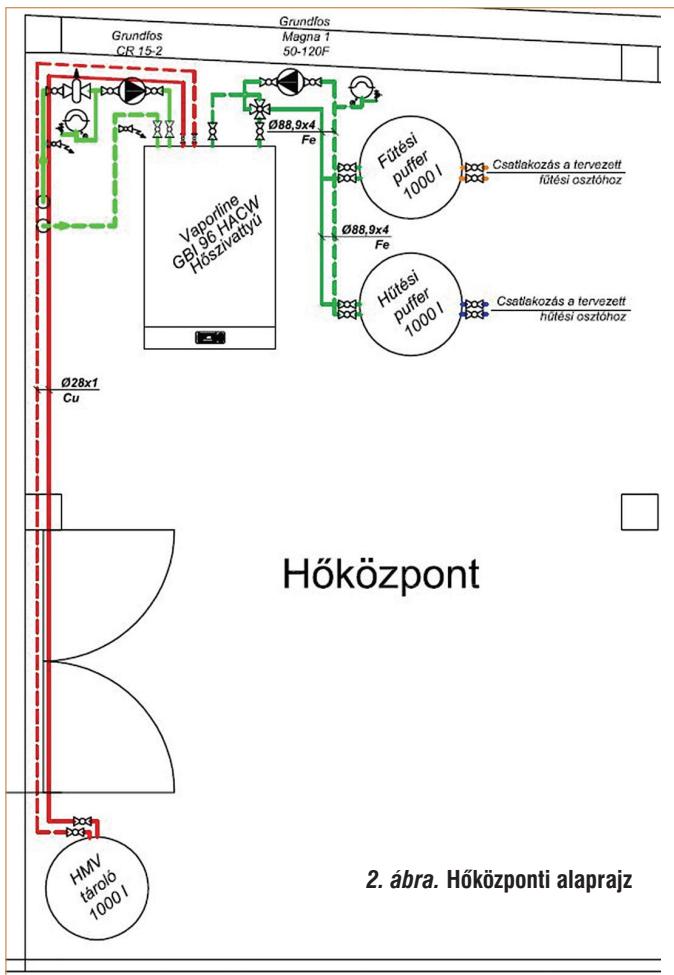
Fűtési üzemmód

A belső fűtési tervek alapján a tervezett legmagasabb fűtési előremenő hőmérséklet 50 °C, 112 kW maximális fűtési teljesítményigény mellett.

A kiválasztott hőszivattyú paraméterei a tervezett legnagyobb terhelés mellett

Ahhoz, hogy a kiválasztott hőszivattyú paramétereit a legnagyobb terhelésre ki tudjuk választani, meg kell határoznunk a legnagyobb terhelésnél (legalacsonyabb külső léghőmérséklet) megengedhető legalacsonyabb, szondából feljövő folyadék hőmérsékletet.

Ez a tervező által meghatározandó folyadék hőmérséklet a szondatervezés egyik legfontosabb paramétere.



GBI96-HACW					Fűtési üzemmód (50°C fűtési hőm.)					2x ZH48-KVE kompresszorral				
Föld oldali adatok					Propülénglikál -víz 230%					Készülék adatai				
ELT /°C	Tomeg áram /l/min	LLT /°C	Δ_t /°C	Elpárolg. Telj /kW	Elektr. telj. Igény/kW	Amp. /A	Fűtési telj. /kW	COP	EWT /°C	Tomeg áram /l/min	LWT /°C	Δ_t /°C		
16,6	300	10,9	5,7	112,0	31,1	52,6	141,6	4,6	43,2	300	50,0	6,8		
14,4	300	9,0	5,4	105,2	30,7	52,1	134,4	4,4	43,6	300	50,0	6,4		
12,1	300	7,0	5,1	99,0	30,3	51,6	127,8	4,2	44,0	300	50,0	6,0		
10,0	300	5,3	4,7	92,8	30,0	51,1	121,4	4,1	44,2	300	50,0	5,8		
7,8	300	3,3	4,5	87,0	29,6	50,6	115,2	3,9	44,5	300	50,0	5,5		
5,6	300	1,4	4,2	81,4	29,4	50,3	109,4	3,7	44,8	300	50,0	5,2		
3,4	300	-0,5	3,9	76,2	29,1	49,9	103,8	3,6	45,0	300	50,0	5,0		
(5,0)	300	-2,4	3,7	71,2	28,8	49,5	98,4	3,4	45,3	300	50,0	4,7		
1,3	300	3,5	3,5	68,2	28,6	43,3	95,4	3,3	45,4	300	50,0	4,6		
-3,0	300	-6,2	3,2	61,8	28,1	48,6	88,4	3,1	45,8	300	50,0	4,2		

3. ábra

Megjegyzem, hogy a tervezet többségében sajnos nem a legnagyobb terhelésre vonatkozóan adják meg a hőszivattyúk paramétereit, hanem a szabványos 0 °C/35 °C hőfokszintre, amely valójában értelmezhetetlen egy terven belül. A tervezők a szondatervezést sok esetben szonda-telepítő szakkégekre bízzák, holott az alapvető kritériumot, a megengedett legalacsonyabb folyadékhőmérsékletet mindenkorábban a rendszertervezés első fázisában kelene meghatározni, és ebből kiindulva meghatározni a

⁵ Lásd: 5. ábra szondaterv „Unit inlet (°C)⁶ A 3. ábráról interpolálással meghatározható a tervezett 4,5 °C/50 °C hőmérsékletnél adódó fűtési teljesítmény és COP.⁷ Lásd: 5. ábra szondaterv „system COP”⁸ Az előzőleg tervezett hőszivattyúk hűtési teljesítménye: 90,6 kW

legnagyobb terhelésnél jelentkező hőszivattyú paramétereit, majd ennek alapján elkészíteni a szondatervet.

- A legalacsonyabb folyadékhőmérséklet megválasztása alapvetően meghatározza a szükséges szondaszámot az adott területen, valamint a rendszerrel elérhető SCOP (SPF) értékét.
- Mind magasabb folyadékhőmérsékletet írunk elő, annál nagyobb szondaszámra lesz szükség, erőteljesen nő a beruházási költség, de növekedni fog a rendszer SCOP (SPF) értéke is.
- A minimálisan megengedett folyadék hőfoknak ár/érték optimuma van, amely az adott talajviszonyoktól is függ. Magyarországi viszonyok között optimális 3 °C-5 °C között megválasztani a folyadékhőmérséklet minimumát. Jelen esetben a szondarendszer tervezett legalacsonyabb feljövő folyadék hőmérséklete 4,5 °C⁵.

A megválasztott, minimálisan megengedett folyadékhőmérséklet alapján meghatározhatók a legnagyobb terhelésnél jelentkező hőszivattyú paramétereik, amennyiben rendelkezésre áll egy részletes teljesítmény táblázat, vagy jelleggörbe a maximálisan megkövetelt 50 °C-os fűtési előreménő hőfokszintre (*3. ábra*).

- A tervezett 50 °C-os fűtési, 4,5 °C-os bemenő folyadék hőfokszinteken a Vaporline hőszivattyú kimenő teljesítménye 107 kW⁶.
- A legnagyobb terhelésnél (-15 °C külső léghőmérséklet) a pillanatnyi COP (4,5 °C/50 °C)=3,7 (*3. ábra*)

A kiválasztott hőszivattyú paraméterei a tervezett legkisebb terhelés mellett

A hőközpont fűtési előreménő hőmérsékletének szabályozása a külső hőmérséklet függvényében 0 °C/35 °C között történik. A legkisebb terhelésnél (0 °C feletti külső léghőmérséklet) a hőszivattyúk tervezett működési óraszáma 2-8h/nap. Ekkor a szondák hőterhelése minimálisra csökken, ennek megfelelően emelkedik a szondahőmérséklet. Az emelkedés mértéke sok tényező függvénye, így az átlagértéknek meghatározása a szondatervezés során lehetséges.

- A legkisebb terhelésnél (0 °C feletti külső léghőmérséklet) a pillanatnyi COP (10/35 °C)=5,4.
- Ennek megfelelően a hőszivattyú prognosztizált számított SCOP (SPF) értéke a hőszivattyúra és földoldali cirkulációs szivattyúra vonatkoztatva az SCOP=4,5⁷
- A puffertartály és a hőszivattyú közé Grundfos Magna 50-120F cirkulációs szivattyú beépítése történt.

Hűtési üzemmód

Hűtési üzemmódban a legmagasabb lemenő Szonda (folyadék) hőmérséklete 30 °C-ra lett tervezve. A hűtési óraszámok alakulását a belső hőfejlődés figyelembevételelvel az átlagtól lényegesen magasabb 660h/a értékben határoztuk meg. Az egész óraszámra vonatkozóan, de: 8h-du.8h-ig tartó időszakra az átlagos hűtési teljesítmény nagyságát is jelentősen növeltük (60 kW). A szondatervezést e paraméterek alapján végeztük.

GBI96-HACW Hűtési üzemmód (7/12°C) 2-ZH48-KVE kompresszorral Propilénglikol -vz:23/0%										
Készülék adatai										
Hűtési oldali adatai					Föld oldali adatai					
ELT /°C	Tömeg /áram /L/min	LLT /°C	Δ _t /°C	Elpárolg. Telj. /kW	Elektr.telj. Igény/kW	Amp. telj. /A	Fűtési COP EER	EW T /°C	Tömegáram /L/min	LWT /°C
11,9	300	7,0	4,9	102,8	19,2	37,5	121,0 (5,4)	6,3 (5,4)	300	19,8 6,1
11,9	300	7,0	4,9	101,8	19,6	38,0	120,4 (5,2)	6,1 (5,2)	300	21,9 6,1
11,8	300	7,0	4,8	101,0	20,0	38,5	120,0 (5,7)	6,0 (5,7)	300	24,0 6,0
11,8	300	7,0	4,8	100,2	20,6	39,1	119,6 (4,9)	5,7 (4,9)	300	26,1 5,9
11,7	300	7,0	4,7	99,2	21,1	39,8	119,4 (4,7)	5,5 (4,7)	300	28,1 6,0
11,7	300	7,0	4,7	98,4	21,8	40,6	119,0 (4,5)	5,3 (4,5)	300	30,1 6,0
11,6	300	7,0	4,6	97,4	22,5	41,5	118,8 (4,3)	5,1 (4,3)	300	32,2 6,0
11,6	300	7,0	4,6	96,4	23,3	42,5	118,4 (4,3)	4,9 (4,3)	300	34,2 6,0

4. ábra

A 4. ábra alapján látható, hogy a Vaporline hőszivattyú kimenő hűtési teljesítménye a 7/30 °C-os hűtési/talaj hőfokszinten 98,4 kW.⁸

A HMV üzemmód

A hőszivattyú működése közben a teljesítménye 15%-ában HMV-t készít, ha erre szükség van, illetve a HMV-tárolóba épített hőmérsékletérzékelő ezt kéri. A HMV cirkulációs szivattyú be van építve a hőszivattyúba, amelyet a beépített Carel szabályzó indít, illetve állít meg, a tartály hőfokérzékelője alapján.

A HMV előállítása a hőszivattyúba közvetlenül a kompresszor után beépített elsőleges cső a csőben hőcserélővel (desuperheater) történik. Ez a hőcserélő a hűtőkörfolyamat túlhevítési hőjét használja HMV előállítására. Egyik előnye, hogy nyáron az épületből elvont hő 15%-ából ingyen HMV-t állít elő max. 60 °C-os hőmérsékleten. Emellett a leghatékonyabb és legmagasabb hőfokszinten működő HMV előállítási mód.

Ground Loop Design	
Borehole Design Project Report - 2014.05.04.	
Project Name:	Regionális Vérbeli Körpont
Designer Name:	Fodor Zoltán Geowatt Kft.
Date:	2014.03.20.
Client Name:	MÁV Építőipari ZRT. 8900 Zalaegerszeg
Address Line 1:	Párt utca 1
Address Line 2:	HRSZ 29174
City:	Pécs
State:	
Zip:	
Phone:	
Fax:	
Email:	
Calculation Results	
Cooling	Heating
Total Length (m):	1241,8
Borehole Number:	18
Borehole Length (m):	69,0
Ground Temperature Change (°C):	-0,3
Unit Inlet (°C):	30,0
Unit Outlet (°C):	33,5
Total Unit Capacity (kW):	109,3
Peak Load (kW):	55,0
Peak Demand (kW):	12,4
Heat Pump COP:	4,9
System COP:	4,5
System Flow Rate (L/min):	284,6
295,0	
Input Parameters	
Fluid	Soil
Flow Rate: 18,2 L/min/3,5kW	Ground Temperature: 16,0 °C
Fluid: 23% Propylene Glycol	Thermal Conductivity: 2,70 W/m²K
Specific Heat (Cp): 3,961 kJ/K/kg	Thermal Diffusivity: 0,090 m²/day
Density (rho): 1017,2 kg/m³	
Piping	
Pipe Type: 1 in. / 25 mm - SDR11	
Pipe Type:	Turbulent
Pipe Resistance:	0,058 m²K/W
U-Tube Configuration:	Single
Radial Pipe Placement:	Average
Borehole Diameter:	133,1 mm
Grout Thermal Conductivity:	1,73 W/m²K
Borehole Thermal Resistance:	0,135 m²K/W
Input Parameters (Cont.)	
Pattern	Modeling Time Period
Vertical Grid Arrangement: 9 x 2	Prediction Time: 25,0 years
Borehole Separation: 6,0 m	Long Term Soil Temperatures:
Boreholes per Parallel Circuit: 1	Cooling: 15,7 °C Heating: 15,7 °C
Heat Pumps	
Manufacturer: Geowatt Kft	Load Balance: 0 %
Series: Vaporline	Condenser Capacity (kW): 0,0
Design Heat Pump Inlet Load Temperatures:	Cooling Tower Flow Rate (L/min): 0,0
Water to Air: 19,4 °C	Heating (DB): 0,0
Water to Water: 12,8 °C	Cooling Range (°C): 8,3
	Annual Operating Hours (h/yr): 0
Optional Cooling Tower	
Pump Power: 1,1 kW	Loads File
Cooling Tower Pump: 0,1 kW	
Cooling Tower Fan: 0,0 kW	Vérelléte Pécs zon
Additional Power: 0,0 kW	

5. ábra

A szondatervezés

A szondatervezéshez elsőként ismert paraméter az általunk előírt 4,5 °C-os legalacsonyabb szondafoleyadék hőmérséklet. A továbbiakban, az adott területen ismerve a talaj- és kőzetviszonyokat, a talaj konduktivitás értékét, az átlagos talajhőmérsékletet, valamint az összes szükséges paramétert⁹, a GLD design tervező programmal meghatározásra került a szükséges szondahossz az

adott területen, valamint elvégeztük a hosszú távú termikus hatáselemzést is.

A bevitt paraméterek értékei az 5. ábra „input parameters” táblázataiban követhető nyomon.

A tervben megadott paraméterek és a külső léghőmérsekleti adatai alapján az adott területen 18 db 70 m mélységű szondával lehet ellátni a tervezett fűtési és hűtési igényeket úgy, hogy a szonda hőmérséklete fűtésnél ne sülylyedjen átlagban 4,5 °C alá, és az évi SCOP=4,5 érték megvalósuljon (lásd: 4. ábra System COP).

Hűtés esetén pedig a talajhő ne emelkedjen 30 °C fölé és az átlagos SEER=4,5 körül alakuljon.

A rendszerben tartalékok vannak, hiszen a talajhőt fűtési üzemmódban akár -2 °C-ig le lehet engedni, ez pedig a tervezetthez képest lényegesen nagyobb évi kWh energiamennyiséget kivételét biztosítja.

Hűtési üzemmódban, amennyiben a jelentősen megnövelt terhelésnél is nagyobb terhelés érné a rendszert, a talajhő a tervezett max. 30 °C-ról akár 50 °C-ig is felmehetne és még ebben az esetben is működőképes a rendszer.¹⁰

Összegzés

Az ismertetett mintapélda remélem, segíti a hatékony hőszivattyús hőközpontok tervezését, mert a komplex (hőközpont, szondarendszer) tervezés elengedhetetlen.

Az ismertetett tervezési hibák és tervezési mintapéldák közreadása azért fontos, hogy ezzel segítsünk a mérnök kollégáknak abban, hogy minél jobb és hatékonyabb hőszivattyús rendszereket tudjanak kialakítani.

Nem cél bármely tervező kolléga munkájának bírálata, hiszen érzékelhető, hogy ezt a sajátos, perifériális, de annál mélyebb technikai ismereteket igénylő hőszivattyús rendszertervezést sehol sem oktatják megfelelő szinten. Ennek oka nagyrészt az lehet, hogy a tervezési problémák egy jelentős részét csak azok a mérnökök tudják átlátni, akik bizonyos szintű készüléktervezési tapasztalatokkal is rendelkeznek. Ez általánosságban nem elvárható, és ezt a rést, úrt szeretném szerény lehetőségeimmel, cikkeimmel csökkenteni, tapasztalataimat átadni azon kollégák számára, akik ezt elfogadják.



FODOR ZOLTÁN
fejlesztőmérnök, Geowatt Kft.
MÉGSZ Geotermikus Hőszivattyús
Tagozat elnöke

⁹ Lásd: Magyar Installateur 2013./5., 30-33. old.: „A zárt szondás hőszivattyús rendszerek tervezése IV”

¹⁰ A szondacsővek védelme érdekében ezt a hőmérsékletet nem szabad meghaladni