

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi kar
Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék

**A veresegyházi geotermikus távfűtési rendszer
napkollektoros bővítési lehetőségének feltérképezése
térinformatikai módszerek alkalmazásával**

TDK dolgozat

Készítette:

Csontos Csaba Péter
Geográfus MSc Táj- és Környezetkutató szakirányos hallgató

Témavezető:

Dr. Munkácsy Béla
adjunktus



2017, Budapest

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
2. Problémafelvetés.....	3
3. Távfűtés.....	6
3.1. Távfűtés Európában.....	7
3.2. Távfűtés a hazai hőigény és energiahatékonyság tükrében.....	8
3.3. Nemzetközi hibrid-távfűtőrendszerek bemutatása.....	10
3.3.1. Marstal.....	11
3.3.2. Silkeborg.....	12
3.3.3. Grác.....	13
4. A veresegyházi geotermikus rendszer kiépülésének bemutatása.....	15
5. Vizsgálati módszerek.....	20
5.1. Települési hőigény felmérése.....	20
5.2. Hőtárolási kapacitás becslése.....	23
5.3. A vizsgálati terület lehatárolása és a helyszínválasztás szempontrendszere.....	24
5.3.1. Felhasznált adatok.....	24
5.3.2. A vizsgálati terület kijelölése.....	25
5.3.3. Felszínborítási kategóriák kijelölésének szempontrendszere.....	25
5.4. Hasznosítható tetőfelületekben rejlő potenciál számítása.....	27
6. Eredmények.....	29
6.1. Szükséges napkollektormezők méretei.....	29
6.2. Helyszínválasztás eredményei.....	29
6.3. Tetőfelületek potenciál-becslésének eredménye.....	31
7. Következtetések.....	34
10. Irodalomjegyzék.....	36
11. Melléklet.....	40

1. Bevezetés

A 21. századot az energiaforradalom korszakaként fogják elkönyvelni a jövő történései. Napjainkban éles és dinamikus változások zajlanak az energetika terén, hiszen a Föld erőforrásait az ipari forradalom kirobbanása óta pazarlóan, károsan és fenntarthatatlan módon használtuk fel. A világ növekvő népessége és a magasabb életszínvonal elérésére tett szünni nem akaró vágy, soha nem látott globális méretű problémákat generáltak. Az előttünk álló kihívásokra csak a természet és az ember kapcsolatának újragondolásával lehet megfelelő válaszokat adni. Ezért dolgozatomban is a lehetséges megoldások felkutatását céloztam meg, hiszen a lokális erőforrásokban rejlő potenciál felismerése, kihasználása és kombinálása lehet az az irány, amely természeti, társadalmi és gazdasági szempontból is valóban fenntartható jövőt eredményez.

Különösen igaz ez Magyarországra, mert a hagyományos vélekedés szerint energiahordozókban és ásványkincsekben szegénynek titulálják hazánkat. Ez az állítás a 20. században használt erőforrások tekintetében többnyire igaz is volt, de az utóbbi 20-25 évben az eddig dominánsnak számító energiahordozók felhasználása erőteljesen visszaszorult a világban. Ezt alátámasztja az is, hogy az EU-ban 2016-ban már 86% volt a megújuló energiaforrásokat felhasználó technológiák részaránya az újonnan telepített villamosenergia-termelési kapacitásokban (WIND EUROPE 2016). A tendencia része továbbá, hogy utat törnek maguknak a helyi természeti adottságok kiaknázásán alapuló komplex technológiák és megoldások, amelyek új megközelítésbe helyezik az erőforrásokkal való ellátottság kérdését. Európa-szerte növekszik az energia függetlenségre törekvő közösségek és kezdeményezések száma, hazánkban ez a folyamat főként a geotermikus rezervoárok hőenergiáját felhasználó településeken (Bóly, Veresegyház, Hódmezővásárhely) figyelhető meg.

A geotermális vagyon azonban sérülékeny és drága kincs, amelyre fokozottan kell ügyelni, hiszen hosszú távon megújuló energiaforrásnak csak abban az esetben nevezhető, ha felhasználásakor a természet diktálta határokat nem lépjük át. Ma már nem engedhető meg, hogy a folyamatosan növekvő energiaigények kielégítéséhez igazítsuk a termelési kapacitásokat, ahogy az is súlyos szakmai hiba, ha a rendelkezésre álló számtalan erőforrás közül csak egyre alapozzuk településünk, régióink, országunk jövőjét.

Munkám elkészítéséhez olyan hazai települést kerestem, ahol már kiterjedt, megújuló energiára alapozott rendszer létezik. Ezért esett a választásom a budapesti agglomeráció egyik legdinamikusabban fejlődő és növekvő városára, Veresegyházra. Véleményem szerint elérkezett az idő, hogy vizsgálatok induljanak, milyen lehetőségek kínálóznak arra, hogy a már meglévő és jól működő geotermális városfűtő rendszert hogyan lehet komplex módon és hatékonyan fejleszteni és bővíteni, elsősorban a napból származó energia kiaknázásával. Dolgozatomban arra kerestem választ, hogy van-e létjogosultsága egy geotermális és napenergiát ötvöző rendszer kialakításának és használatának. Milyen előnyei lennének egy ilyen "hibrid" távfűtési rendszernek? Számos nemzetközi példa már bebizonyította, hogy különböző típusú megújuló források egymást jól kiegészítő együttes alkalmazása erőforrás-gazdálkodási szempontból indokolt, rentábilis és hosszú távon fenntartható alternatívát jelent a helyi közösségek számára. További kutatási kérdésként fogalmazódik meg, hogy mekkora teljesítménnyel kell rendelkeznie egy ilyen kiegészítő rendszernek, milyen természeti erőforrást, milyen technológiával használjunk fel, illetve - a környezeti, műszaki és gazdasági szempontok figyelembe vételével hová helyezhetők el a kiválasztott berendezések. A válaszok megtalálására a legfrissebb nemzetközi szakirodalom tanulmányozása mellett térinformatikai módszerek alkalmazását, továbbá a modern energiaföldrajz interdiszciplinális szemléletmódjából fakadó vizsgálati metódusokat hívtam segítségül.

2. Problémafelvetés

Az elmúlt két évszázadban elért társadalmi és gazdasági sikerek mozgatórugói vitathatatlanul a fosszilis energiaforrások voltak. A szén, majd később a kőolaj és a földgáz, addig sosem látott dimenziókat nyitottak meg a technológiai fejlődésben, azonban a fenntarthatatlan ütemű növekedés és bővülés miatt egyre súlyosabb következményekkel kell számolnunk. Az emberiség eltávolodott a természettől, miközben önző vágyaitól hajtva, a magasabb életszínvonal eléréshez pazarló módon egyre több energiát használ fel. Ez a jelenség globális, regionális és helyi szinten is kifejti káros hatását.

Földünk egészét érintő probléma, a globális klímaváltozást okozó üvegházhatású gázok koncentrációjának drasztikus emelkedése. A folyamat megállítására a

karbonsemleges technológiák elterjedésére van szükség. Minden beruházáskor különösen az energetika fejlesztések esetén fokozott figyelmet kell fordítani a párizsi egyezményben foglalt célok teljesítésére. Amihez a megújuló energiaforrások preferálása és támogatása egy kiemelkedően hatékony eszköz lehet.

A hagyományos erőforrások egyenlőtlen eloszlása miatt, hatalmas regionális különbségek alakultak ki világban. Ez a folyamat az energiát exportáló térségek felemelkedését, míg az energia importra szoruló régiók függő helyzetbe süllyedését okozta. Hazánk különösen kiszolgáltatott, ebből a szempontból, hiszen a rendelkezésünkre álló fosszilis energiahordozók szűk mennyiségben és általában gyenge minőségben (pl: bükkábrányi és visontai lignit készletek) állnak rendelkezésünkre. Ráadásul a második világháború után távoli földrajzi térségekből (Közel-Kelet, Ural, Szibéria) származó olcsó fosszilis energiahordozók növekvő importjának segítségével építettük újjá az országot, elfeledkeztünk a saját megújuló erőforrások meglétéről és alkalmazásáról. **Magyarország a hivatalos statisztikák szerint is 50-60%-ban függ az import primer energiahordozóktól**, elsősorban a kőolajtól és a földgáztól (KSH 2015), de ha számításba vesszük, hogy a paksi fűtőanyagok is orosz uránércből készülnek, ez az érték a 80-85 %-ot is elérheti. A 1970-es években bekövetkező kőolajválságok néhány országban mélyreható és radikális változásokat hoztak. Dániában például az energiastratégia teljesen átforgalmazódott, és a kőolaj, valamint az atomenergia helyett a helyi megújuló lehetőségek felé fordultak, és **az egykori 90%-ot meghaladó kőolaj-függőségüket 2015-re 13%-ra csökkentették** (LUND H. 2010, IRENA 2012, KSH 2015). Magyarország csak a 2004-es Európai Unió csatlakozás után, a közösség által megszabott irányelveknek köszönhetően kezdett el kormányzati szinten is fenntartható alternatív technológiák felé nyitni. Az országban lévő potenciálhoz képest azonban, csak a biomassza felhasználás volt érdemleges és az elmúlt években is csak szerény eredményeket sikerült elérni az időjárásfüggő megújuló telepítésében. Sőt egyes területeken visszalépés figyelhető meg pl.: (akadozó támogatási rendszerek, szélturbinák telepítésének betiltása, napelem-telepítések engedélyezésének szigorítása stb.). Pedig a jövőben a nagyarányú energiafüggőségünket csak a helyben elérhető, fenntartható módon kezelhető megújuló energiaforrások kiaknázásával és támogatásával mérsékelhetjük.

További súlyos problémákat vet fel, hogy a 20. században még modernnek vélt belsőégésű motorok, a fosszilis erőforrásokon alapuló termelő üzemek és erőművek

és az intenzív mezőgazdálkodás, valamint ezekből az iparágakból származó hulladékok és szennyezések drámai mértékben rontottak a levegő, a felszíni és felszín alatti vizek, a talaj és az ehhez köthető vegetáció és biodiverzitás állapotán (STEFFEN W. AT AL. 2015).

Az egyik legégetőbb problémát a közlekedésből és a korszerűtlen fűtés miatt a légkörbe kerülő légszennyező részecskék koncentrációjának drasztikus növekedése okozza. A fűtési szezon alatt a városokban és a rurális térségekben is súlyos egészségkárosítást okozhat a szmogos levegő. Ez főleg azokon a településeken jelentkezik, ahol az egyéni tüzelőberendezések száma magas és a készülékek elavultak, illetve ott, ahol a távfűtés aránya alacsony. A jelenséget súlyosbította a földgáz világpiaci árának emelkedése, hiszen a magas költségek miatt a háztartások egy része áttért a vegyes tüzelésű (elvileg szén- vagy biomassza-tüzelésű) berendezések használatára. Oktatási tevékenység, felvilágosító kampány hiányában az emberek ezeket a berendezéseket azonban nem tudják rendeltetészerűen használni. Sajnos nem ritka, hogy háztartási hulladékot pl: PET palackokat, PVC-t, vagy akár veszélyes hulladéknak minősülő anyagokat is tüzelőként “hasznosítanak”. A WHO 2016 jelentése alapján az emberi egészségre a legnagyobb veszélyt a magas szállópor-koncentrációt (PM₁₀-es és PM_{2,5}-es részecskék) okozhatják, ráadásul az utóbbi teszi ki ezen kis átmérőjű (2,5 µm-nél kisebb) aeroszolok 50-80%-át. A téli félévben kedvezőtelen időjárási helyzet esetén (u.n. inverziós állapot) **a megengedett határérték 4-5-szörösét is elérheti a levegő szállópor koncentrációja**, ami elsősorban a hegyvidéki, dombsági területeken okoz súlyos légszennyezettséget. A WWF Magyarország 2017-es felmérésében szereplő önkormányzatok csupán 5%-a nem tapasztalt fűtésből származó levegőminőségi problémát, míg a települések több mint felén közepesnek, vagy súlyosnak ítélték a légszennyezettséget (HARMAT Á. — VASZKÓ CS. 2017) Az alacsony energiahatékonyságú épületek, a szakszerűtlenül felhasznált biomassza és a szabálytalanul elégetett kommunális hulladék- és avarégetés nagyban hozzájárul ennek a helyzetnek a kialakulásához. A megújuló erőforrások helyes alkalmazása (így a dolgozatban bemutatott geotermikus és napkollektoros távhőszolgáltatás) viszont elősegíti a téli légszennyezés, valamint az energia importjának mérséklését, továbbá erősíti a globális éghajlatváltozás ellen tett intézkedések sikerességét.

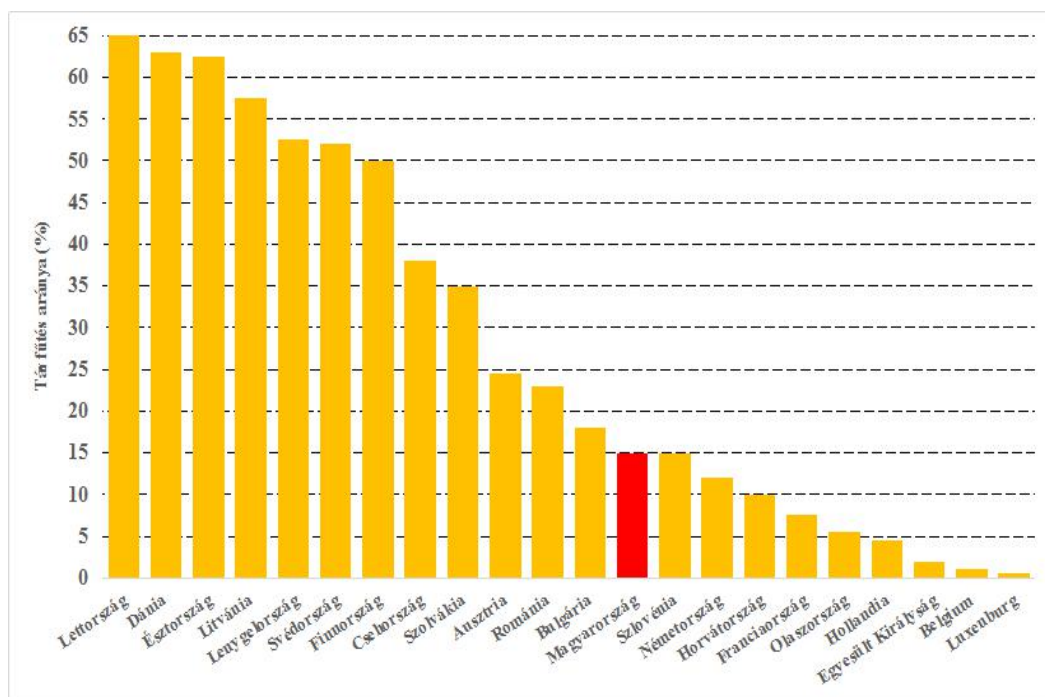
3. Távfűtés

Századunkban jelentkező energetikai kihívásokra az egyik legjobb válasz a távfűtéses rendszerek fejlesztése és bővítése lehet. A hőenergia ilyen fajta központosított előállításával kiváló alkalmat teremt a megújuló energiaforrások integrálására, a helyi ipari tevékenységből származó hulladékhő, illetve a kapcsolt hő és villamos energia (Combined Heat and Power, CHP) felhasználására és a hatékonyság növelésre (NOUSSANA M. ET AL. 2017). A távfűtéses rendszerek fő jellemzője, hogy a szükséges hőmennyiséget, a fűtést és használati melegvizet (HMV-t) egy központi erőműben állítják elő, fosszilis (általában földgáz), vagy jobb esetben megújuló energia (geotermális, napkollektor, biomassza) felhasználásával, esetleg a hagyományos és az alternatív erőforrások ötvözésével. A központilag megtermelt hőt jól szigetelt vezetéseken, általában az utcahálózat alatt juttatják el a fogyasztókhoz (SAYEGHA, M. A. ET AL. 2017).

Komplex tervezés esetén téli évszakban a felszín alatt futó vezetékek nem csak szállítási funkció töltnek be, hanem az elkerülhetetlen hőveszteség miatt a síkosság-mentesítés szerepét is ellátják, így környezetvédelmi és gazdasági szempontból is kedvezően hatnak a településekre. A vezetékek hosszát a hőveszteség minimalizálása érdekében a termelők helyzetéhez kell optimalizálni. Ezért a távfűtéses rendszerek tervezésekor óriási jelentősége van a térbeliség vizsgálatának és különös gondot kell fordítani a megfelelő méretezésre. A hasznos hőenergia végül kisebb hőközpontokban, hőcserélők segítségével juthat el a fogyasztókhoz. A geotermális városfűtés esetén a távvezetékekben magát az energiahordozót, azaz a hévizet szállítják a fogyasztók hőcserélőjéhez, ezért a vezetékeknek a megfelelő szigetelés mellett a korrózió elleni védelem követelményeinek is meg kell felelniük (CSONTOS L. 2008). A hőcserélők segítségével közvetített hő felhasználása az épületek energiahatékonysági besorolásán, azaz elsősorban az építőanyagok, a hőszigetelések és a nyílászárók minőségén, illetve a fűtőtestek, fűtőfelületek kialakításán múlik. A jövőben a negyedik generációs távfűtőrendszerek elterjedése lenne a legkívánatosabb. Ez a technológia felületfűtés és -hűtés használatával alacsony hőmérsékletű (~50°C-os) vízzel is képes a kívánt szobahőmérséklet elérésére (LUND H. ET AL. 2016, SCHMIDT D. ET AL. 2017).

3.1. Távfűtés Európában

A távfűtés a skandináv, a balti és a Közép-európai országokban terjedt el leginkább (1.ábra). Az országok között ebben a tekintetben nagy szórást figyelhetünk meg. Svédországban 55%-ban a távhő gondoskodik az épületek fűtéséről és a kiépült rendszerek száma meghaladta az 500-at is (WERNER S. 2017/A), a szomszédos Dániában még jobb a helyzet, mert ugyanez az érték 63,3% (EUROHEAT 2017). Mindeközben hazánkban ez az arány csak 17,4% (MEKH 2015/B), ráadásul az elavult, egyénileg nehezen, vagy legtöbbször egyáltalán nem szabályozható rendszerek miatt, a távfűtés társadalmi elfogadottsága is gyakran kétes. Összességében Európa-szerte 5000-et meghaladó az ilyen rendszerek száma, de ez csak a kontinens hőigényének 12-15%-át képes kielégíteni, ráadásul a meglévő létesítmények döntően fosszilis energiahordozókat használnak fel. A megújuló részaránya ebben a tekintetben alig több, mint 1% (GEODH É. N.).



1. ábra: Távfűtéssel ellátott lakosok aránya az EU tagállamaiban
(Latšov E. et al. 2017 alapján saját szerk.).

A legmodernebb technológiák viszont változást hozhatnak az emberek és a döntéshozók hozzáállásában és az alacsony károsanyag- kibocsátású megoldások, mint amilyen geotermális távfűtés is, sokat segíthetnek a téli félévben jelentkező légszennyezés mérséklésében, az üvegházhatású gázok kibocsátásának

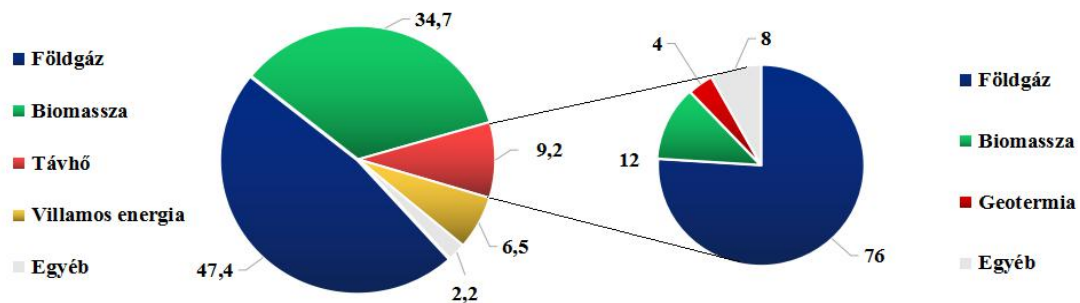
csökkentésében és az életminőség javításában. Európában napjainkban hozzávetőlegesen 250 geotermális alapon működő távfűtőrendszer üzemel. Az összes beépített hőteljesítmény eléri a 4400 MW_{th-t}, ebből éves szinten ~13 000 GWh/év hőenergia-termelés realizálódik. Az elmúlt évtizedek nagy ütemű technológiai fejlődésének köszönhetően, ma már kontinens szerte nagy területeken gazdaságosan elérhetőek a geotermikus rezervoárok. Ennek ellenére a távfűtőrendszerek hőjének csupán 0,001%-át nyerjük ki a Föld mélyéről (GEODH É.N.). A meglévő jól működő rendszerek tanulmányozása és hibrid módon való továbbfejlesztése, azonban áttörést hozhat a megújuló energetika ezen szegmensében is.

Továbbá ezeknek a technológiáknak az alkalmazása a szigorodó EU-s előírások betartásában és a párizsi egyezményben foglalt célok elérésén túl, a hazai gazdaságra is kedvező hatással lennének. A 3.3.-as fejezetben néhány kimagasló sikerű nemzetközi megújuló forrásokat kombináló távfűtési rendszert mutatok be, amelyek az egyedi adottságok kihasználásával gazdaságosabb és fenntarthatóbb alapokra helyezték a helyi közösségek energia-ellátását, valamint jó támponttal szolgáltak kutatásom kidolgozásánál is.

3.2. Távfűtés a hazai hőigény és energiahatékonyság tükrében

A 21. század energiaválságának megoldásában az alternatív energiatermelési módok terjesztése mellett, az energiafelhasználás hatékonyságának nagymérvű fokozása is jelentős szerepet fog kapni. Ezért az Európai Unió által elvárt nemzeti stratégiákban és cselekvési tervekben az első helyen célozzák meg az épületek energiafelhasználásának csökkentését, hiszen ez a szektor felelős a primerenergia-felhasználás több mint egyharmadáért. Hazánkban ez az arány 2011-ben 40% volt, azaz a 1044 PJ éves primerenergia-felhasználásból 403 PJ jutott az épületeinkre (NÉES 2015). 2015-ben a magyarországi háztartások végső energiafelhasználása 249 PJ volt (MEKH 2015/a). Ennek túlnyomó részét, **85,9%-át a fűtés és a használati meleg víz előállítására tette ki**. A szükséges hőenergia előállításához az elérhető statisztika szerint 47,4%-ban földgázt, 37,7%-ban biomasszán alapuló megújuló forrást, és csak 9,2%-ban a távhőt (2.ábra) használták fel a fogyasztók (MEKH 2015/a), azonban az energetikai felmérések komplexitása miatt ezek a számok leginkább becsléseknek nevezhetők, tehát a valósághoz képest bizonyosan eltérő képet mutatnak. Ezt támasztják alá a nyáron, Borsod-Abaúj-Zemplén megye falvaiban végzett terepi munka személyes tapasztalatai is.

A távhő szektor esetében a központosított termelés miatt tisztább képet kaphatunk. A hazai összes távhőszolgáltatót egybevetve a hőigényt (2. ábra) 76%-ban földgázzal és 12%-ban biomasszával fedezték, valamint 4%-ban geotermikus és 8%-ban egyéb (pl.: villamos energiát termelő erőművek hulladék hőjéből) forrásból állították elő (KSH 2015).



2.. ábra:

A hazai teljes hőenergia (fűtés és HMV) előállításához szükséges energiaforrások aránya és a távfűtés szolgáltatás megteremtéséhez felhasznált energia fajták %-os megoszlása (forrás: KSH 2015 alapján saját szerkesztés)

A háztartásoknak értékesített földgázmennyiség 2006-2016 között számottevően, 1,5 milliárd m³-rel csökkent. Ennek oka egyrészt a már megvalósult épületenergetika korszerűsítések pozitív hatása, másrészt a földgáz világpiaci árak emelkedése miatt bekövetkező fogyasztói magatartás-változás lehet. Ugyanakkor a mérséklődés üteme 2012-óta leállt és az utóbbi években váltakozó irányúvá vált a felhasználás alakulása (KSH 2017). Ez a megtorpanás FÜLÖP O. 2011-es felmérésének tükrében meglepő, hiszen az épületenergetika fejlesztésében hazánkban még óriási lehetőségek kínálkoznak. A számítások szerint 152 PJ-lal lehetne csökkenteni a lakossági hőfelhasználásra eső teljes primerenergia-felhasználást (FÜLÖP O. 2011). Tehát az ország elméleti energiahatékonysági potenciálja alapján ~15%-os megtakarítás is elérhető lenne, amelyet két oldalról szükséges megközelíteni:

Elsősorban a hőigény csökkentésére kell törekedni. A legkézenfekvőbb megoldás erre az épületállomány szakszerű és időtálló felújítása, hiszen napjainkban akár a **tízszeres hatékonyság-növekedést** is el lehet érni (Franta G. 2006). Hazai mintapélda a Solanova projekt (Dunaújváros), ahol 85-90%-os hőmegtakarítást sikerült megvalósítani, mert megfelelő anyagi forrásokból,

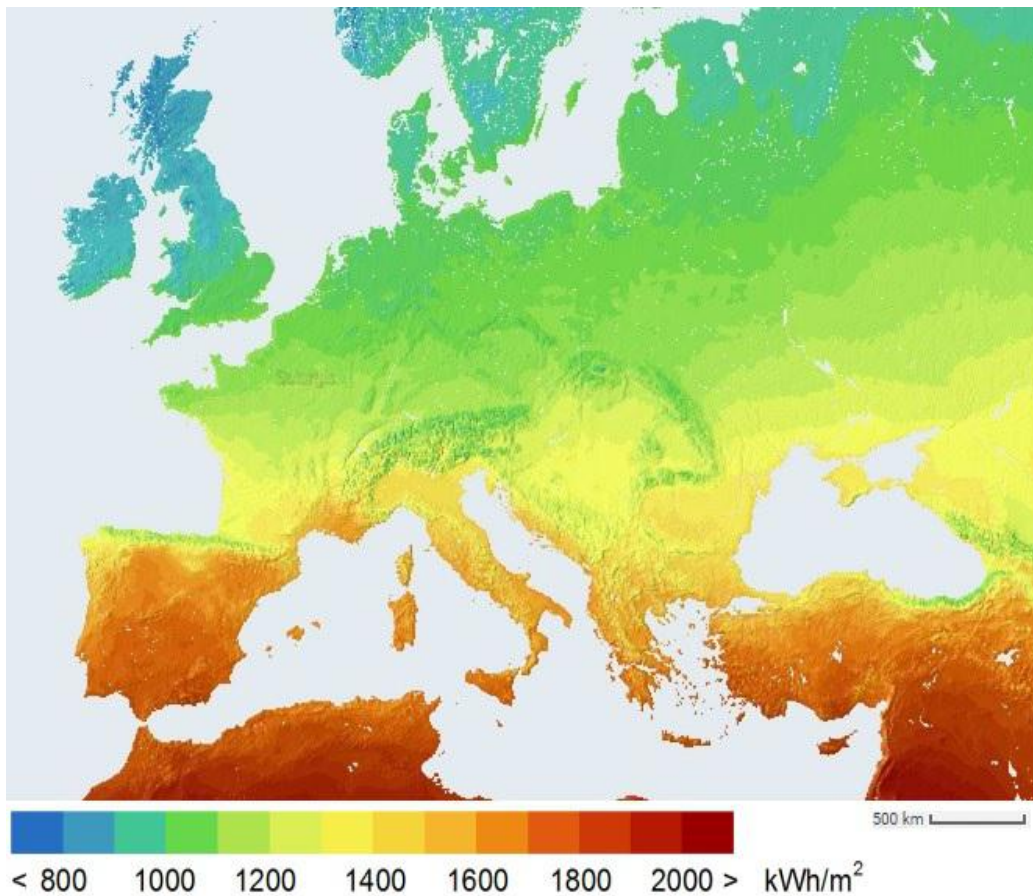
hozzáértó kivitelezők végezték el a rekonstrukciót (MUNKÁCSY B. 2014). A legkomolyabb probléma az ilyen jellegű projekteknél a “lock in” hatás, azaz ha nem megfelelően átgondolt tervezés következtében a felújításkor kínálkozó hatékonyság- növelési lehetőségeket nem használják ki teljes mértékben, így az épület energiahatékonysági besorolása több évtizedre az optimálishoz képest alacsonyabb szinten ragad (THOMAS S. 2015).

Másodsorban a hőenergia előállításának korszerűsítésére kell nagy hangsúlyt fektetni. Az egyedi tüzelőberendezések használata súlyos környezet-egészségügyi kockázattal járhat. Ráadásul hatékonyságuk is messze elmarad a távfűtő rendszerekétől. Az “energiaforradalom” egyik legnagyobb kihívása a hőenergia hatékony és megfelelő forrásból való előállítása, amire az egyik legkézenfekvőbb módszer a helyi megújuló forrásokat kombináló hibrid-távfűtőrendszerek alkalmazása lehet (WERNER S. 2017/B). Európa-szerte egyre több ilyen komplex hőszolgáltató létesítményt üzemeltetnek.

3.3. Nemzetközi hibrid-távfűtőrendszerek bemutatása

Amikor távfűtésről beszélünk nem lehet megkerülni a skandináv országokat teljesítményét, hiszen a zordabb klimatikus viszonyok és a hosszabb fűtési szezon megköveteli a hatékony és megbízható fűtési rendszerek kialakítását. Dánia ebből a szempontból élvonalnak számít, kétharmadot közelítő arányban a távhőrendszerek közel 31 000 km hosszú vezetékhalózata biztosítja az otthonok és közintézmények melegét, ráadásul a biomassza és földgáz alapú CHP erőművek mellett elképesztő ütemű fejlődés figyelhető meg a napkollektorok és a hőszivattyúk telepítésében is (EUROHEAT 2017). 2010 és 2016 között közel tízszeresére emelkedett a beépített kollektor felület, csak a tavalyi évben 42%-os növekedés regisztráltak, ezzel az előrelépéssel az ilyen rendszerek összfelülete országosan meghaladja a ~1,3 millió m²-t és az együttes beépített hőkapacitásuk pedig eléri a 900 MW_{th}-t (WERNER S. 2017/B, PLANENEGI 2017). A világ legnagyobb ilyen létesítményei is Dániából származnak: 2013-ban a marstali, 2015-ben a vojensi, 2016-ban a silkeborgi rendszer bizonyult a legnagyobbknak. Annak ellenére, hogy Dániában a napsütötte órák száma és a besugárzás éves értéke messze elmarad (950-1050 kWh/m²/év) Európa ilyen szempontból kedvezőbb fekvésű, délebbi államaiban. Hazánkban is jelentősen magasabb (1100-1350 kWh/m²/év) értékek jellemzőek (3. ábra). A

következőekben Marstalban és Silkeborgban felépített rendszerek működési elvét, hőtéljesítményét és a távfűtésben betöltött szerepét mutatom be.



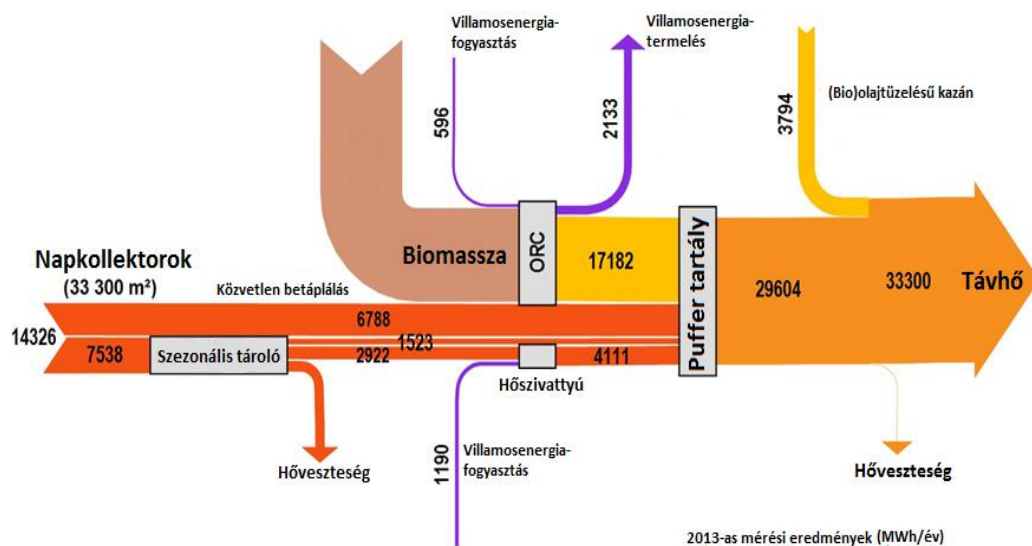
3. ábra: Az Európára érkező átlagos éves besugárzás mértéke 1994-2010 közötti időszak (forrás: SOLARGIS 2014)

3.3.1. Marstal

Dánia déli részén a Balti-tengerből emelkedik ki a 88 km² területű Aerø-szigete, amelyet szokás a “dán Szolár szigetnek” is nevezni, mert a világ egyik legsikeresebb fejlesztésű napkollektorparkja működik Marstal városában. Az alig több, mint 2200 lelkes települést 100%-ban megújuló erőforrások ideális kombinációjából látják el távfűtéssel. 1994-es évek elején kezdődött el a napkollektorok telepítése, a bőségesen rendelkezésre álló földterületek miatt zöldmezős beruházásként. Az azóta eltelt közel negyed század alatt, több lépcsőben épült ki a ma már ~33 000 m² felületű rendszer, amely fűzfaaprítékkal üzemelő biomassza CHP erőművel, szezonális hőtárolóval és puffertartállyal és hőszivattyúval is össze van kötve. Júniustól szeptember végéig a Naptól nyert hőenergia teljesen képes fedezni Marstal lakóinak HMV igényét és ezen felül

jelentős többlet termelést is biztosít. Ilyenkor a napkollektorok közel fele (15 000 m²) közvetlenül a 75 000 m³-es föld alá süllyesztett szezonális tárolót látják el energiával, így a nyáron termelt és fel nem használt energiát a fűtési szezon beköszöntével a biomassza fűtőmű teljesítményének optimalizálására, illetve télen a városból visszaérkező lehűlt (33-40°C) víz előmelegítésére használják fel. A rendszer hőtéljesítményét és a tárolótartály hőveszteségének minimalizálását a villamos energia árához igazított hőszivattyú biztosítja. A rendszer bruttó hőtéljesítménye 32 GWh/év ebből a ~15-17%-os hőveszteség miatt 26,5-28 GWh/év realizálódik a fogyasztóknál. A hőenergia előállításában 50-50%-ban (4. ábra) a napkollektorok és a hőszivattyú, valamint a biomassza alapú CHP erőmű osztozik (PLANENERGI 2013).

A Marstalban kiépült távfűtő létesítmények komplexitása bizonyítja, hogy a rendelkezésre álló erőforrások helyes arányú vegyítésével, lehetséges egy teljes település hőigényének fenntartható és megbízható ellátása.



4. ábra: A marstali hibrid- távfűtőrendszer hőáramlási vázlatja a 2013-ban mért adatok alapján (forrás: PLANENERGI 2013)

3.3.2. Silkeborg

A 43 000 lakosú dán városban alig hét hónap alatt építették fel a világ jelenleg legnagyobb 156 694 m²-es felületű napkollektoros rendszerét, amelynek maximális

hőteljesítménye $110 \text{ MW}_{\text{th}}$ és a távhőrendszerre csatlakozott 21 000 fogyasztójának hőigényét mintegy 20%-ban képes fedezni. Az új létesítményt, hőszivattyúval és két új $16\,000 \text{ m}^3$ -es napi puffertartállyal is ellátták, azonban szezonális tárolót nem építettek ki, ezért a napenergia részaránya a teljes mixben jóval alacsonyabb, mint az évszakos kapacitású tárolóval ellátott (50%-os szoláris részesedést is elérhető) rendszerek esetében. Silkeborg távhőjének alapját még mindig a földgáz tüzelésű CHP erőmű szolgáltatja, de a város nagy léptekkel halad a 100%-ban megújuló energiatermelés felé. Ezt a célt 2030-ra tűzték ki. A napkollektorok teljesítménye azonban ebben a még fosszilis lábakon álló rendszerben sem lebecsülendő, hiszen $70\text{-}80 \text{ GWh/év}$ azaz, $\sim 450\text{-}475 \text{ kWh/m}^2/\text{év}$ a várható hőteljesítménye. A nyári időszakban a használati meleg víz igény jelentős részét, télen pedig az ellátásbiztonság és a hatékonyság növelés szerepét tölti be az új létesítmény (GSTEC 2017). A hatalmas területigényű beruházása azonban, tájhasználati és fenntarthatósági kérdéseket vet fel (5. ábra) Az ilyen jellegű zöldmezős projektek megvalósíthatósága a sűrűbben lakott Nyugat- és Kelet-Európa agglomerációs zónáiban erősen vitatható. Éppen ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a dán példa “másolásánál” a területhasználatra és a méretezésre.



5. ábra: A silkeborgi napkollektorostávfűtő rendszer madártávlatból
(forrás: GSTEC 2017)

3.3.3. Grác

Ausztria második legnagyobb ($\sim 282\,500$ lakosú) városában, a stájerországi Grácban, 2008-ban egy igazán egyedi napkollektoros rendszer alapjait rakták le. Az $5\,000 \text{ m}^2$ területű kollektorokat ugyanis négy különböző ipari létesítmény tetején (6.

ábra) állították fel és közvetlenül a városi távfűtéshez kapcsolták (SOLID 2016). Ezzel a megoldással új funkciót adtak a meglévő épületeknek és elkerülték az értékesebb területek használatba vételét. A sikeres pilotprojektet 2014-ben újabb kollektorokkal bővítették, ezáltal az egyik távfűtőmű közvetlen közelében, lévő barnamezősnek minősíthető területen. Az összfelület így 7 750 m²-re nőtt, az éves hőteljesítmény pedig elérte az 3,8 GWh-t, ami a teljes hőigény 0,26%-át tette ki (REITERA P. 2016, SOLID 2016). A várost kiszolgáló fosszilis alapú CHP erőműveket a jövőben, a szigorodó előírások miatt be kell zárni. A hőigény fedezéshez pedig új létesítményeket kell üzembe helyezni. Ezért Ausztria és a világ legkiterjedtebb, nagyléptékű napkollektoros rendszerén kívánják megvalósítani 2020-ig. ***Az új 500 000 m²-es kollektormező évente 250 GWh-val, 20%-ban fog hozzájárulni, a tartományi főváros távfűtéséhez,*** amely fejlesztési koncepciók szerint, a mostani 39% helyett, 56%-kal fogja kivenni a részét a város hőellátásából. A beruházás keretében egy 1,8 millió m³-es szezonális hőtárolót is kialakítanak, hogy kiegyenlítsse a besugárzás évszakos különbségeit (REITERA P. 2016, GSTEC 2015).



6. ábra: A gráci ipari létesítmények tetejére helyezett napkollektorok
(forrás: SOLAR HEAT EUROPE 2017)

Annak ellenére, hogy az aktuális tervek szerint főként zöldmezős beruházásként a település határában valósítják meg a projektet (GSTEC 2015), Grác esete jó példa arra, hogy a beépített területek (tetők, homlokzatok parkolók, degradált területek) hasznosítása fenntartható alternatíva lehet még sűrűn lakott városi környezetben is. Az épületek új funkcióval bővíthetnek, miközben nem szükséges újabb értékes

földterületeket elfoglalni a fejlesztésekhez és csak azután jöhet számításba a zöldmezős földek bevonása, ha már a barnamezős zónák mérete nem elégséges. Az ilyen lehetőségek feltérképezéshez és a megfelelő telepítési helyszínek kiválasztásához azonban a térinformatika használata elengedhetetlen.

4. A veresegyházi geotermikus rendszer kiépülésének bemutatása

A magyar lakosság 72%-a kiváló geotermális potenciállal rendelkező területeken él (GEODH É.N.). Ezt a lehetőséget ismerték fel közel 30 éve Veresegyházon is és az azóta kiépült geotermális távfűtőrendszer ma már európai léptékben is kiemelkedőnek számít.

Az első geotermikus próbafúrást 1987-ben végezték el a városban, amely a felső triász karsztosodó mészkőréteg megnyitása révén pozitív eredménnyel zárult. A rendszerváltás és a az anyagi források megteremtése után a 1992-93 között épült meg a geotermikus távfűtőrendszer első üteme. Az 5 évvel korábban kifúrt (B-15 jelű termelőkút) 1462 m talpmélységű, 53 m³/h-ás vízhozamú, 65-67 °C-os alkáli-hidrogénkarbonátban és kloridban gazdag, a Széchenyi Fürdő vizéhez hasonló összetételű, tehát kiváló minőségű, de magas keménység fokú (37°nk) és a nagy CO₂-tartalom miatt korrozívnak számító vizet hozott a felszínre (CSONTOS L. 2008). Ezek az adottságok áldást és átkot is jelentettek egyszerre, hiszen a gyógyhatású termálvíz szállítása és energetikai felhasználása során, a korrózióvédelemre kiemelt figyelmet kellett szentelni. A víz balneológiai felhasználására először a helyi strand területén létesített medencében került sor, majd 1993-ban megkezdődött a geotermális erőforrás energetikai célú kiaknázása is. A Porció Kft. által megálmodott, több ütemben megvalósuló kaszkád rendszerben működő közvetlen geotermikus hőhasznosítás terve, a fenntarthatóságot és a rentábilis működést szem előtt tartva készült el. Az első geotermikus energiával ellátott épület a Fabriczius Általános Iskola volt. A projekt sikerét jelzi, hogy a kis entalpiájú termálvíz képes az oktatási intézmény fűtés és HMV igényét fedezni, így éves szinten 100 tonna kőolajjal egyenértékű fosszilis energiahordozó elégetése takarítható meg. Továbbá figyelemre méltó, hogy a kizárólag önkormányzati forrásból finanszírozott beruházás az 1990-es évek nehéz gazdasági helyzete és nagy inflációs nyomás

ellenére, alig három éven belül megtérült. Az első ütem kivitelezési munkálatai 1997-ben a Művelődési Ház és a Zeneiskola rendszerbe illesztésével zárultak le. Az ezredforduló körüli években az új, Mézes-völgyi Iskola épületszárnyaival, tornatermével és tanmedencéjével bővült a fogyasztók sora (SZITA G. 2016).

A 2004-es Európai Unió csatlakozás új támogatási forrásokat nyitott meg és nagy lendületet adott a veresegyházi geotermikus rendszer bővítéshez és fejlesztéséhez. A város a KIOP pályázaton nyert 40%-os támogatással bele tudott vágni a 334 millió forintos beruházásba. A fejlesztések tartalmazták a szükséges szivattyú és gépházak létesítését, több km hosszú új távvezeték lefektetését, valamint a legmodernebbnek számító rendszert szabályzó, vezérlő irányítástechnikai berendezéseket és a távfelügyeletet. A kiforrott technológiának köszönhetően a külső hőmérséklet $-5,5^{\circ}\text{C}$ fok alá csökkenéséig a geotermikus energia képes teljes mértékben ellátni a fogyasztókat. Éves szinten 98%-os arányában a Föld hője biztosítja a fűtéshez és HMV-hez szükséges energiát. Csak az $-5,5$ foknál hidegebb időjárás esetén szükséges bekapcsolni a földgázzal működő csúcskazánokat (CSONTOS L. 2008). A projekt során több tucat új fogyasztó csatlakozhatott a hálózatra pl.: a katolikus templom, a Gyermekliget Óvoda és a Lehár Lakópark is. A városfűtési rendszer éves geotermikus energia hasznosítása 24,6 TJ/év-ről 31,7 TJ/év-re növekedett és ezzel együtt a megtakarított földgáz mennyisége 630 000 m³-ről 1 040 000 m³-re emelkedett. A város CO₂-emissziója ennek köszönhetően éves szinten 2500 tonnával csökkent. A geotermikus energiára való igény megnövekedésével párhuzamosan, a termelőkút kapacitásának bővítése is szükségessé vált. A kút vízhozamát ezért 50-ről 130 m³/h-ra emelték, amelyből 70 m³/h-t kizárólag energetikai célra hasznosítottak (CSONTOS L. 2008).

A geotermikus energia kiaknázásának egyik kulcsfontosságú eleme a fenntartható üzemeltetés megteremtése. A 2006-2008 között megvalósult fejlesztések során a veresegyházi városfűtési rendszer egy óriási lépést tett ennek a célnak az elérése felé. A szakemberek az energetikailag használt termálvizeknek a vízgazdálkodási törvény 2004. évi módosításával előírt visszatáplálási kötelezettségét (Szőke Sz. 2016) figyelembe véve tervezték meg a bővítést, ezért egy 1412 m-es visszasajtoló kutat (K-23) is mélyítették a rendkívül jó nyelőképességű, hasadékos karbonátos kőzetbe (7. ábra) Ez a kút a kiváló geológiai adottságok miatt, képes külső energia befektetés nélkül is elnyelni a csak energetikai célra hasznosított termálvizet (CSONTOS L. 2008). A visszasajtolás nagy

lépést jelent a fenntartható üzemeltetés felé, mégis érdemes lehet a rezervoár időszakos (fűtési időszakon kívüli) pihentetése. A kitermelés részleges (csak balneológiai célú használat) vagy teljes szüneteltetése jótékony hatással lehet a rezervoárra, mert a geotermikus készletek hasznosítása folyadék- és hőelvonással jár, ami hosszú távon még visszasajtolás mellett is a tározó kimerüléséhez vezethet. A termelés leállást követően a természetes folyamatoknak köszönhetően megkezdődik a geotermikus helyreállítás, amelynek sebessége a kitermelés intenzitásának és rezervoár folyadék és hőállapotának helyreállási dinamikájának függvénye (MÁDLNÉ SZÖNYI J. 2006). Tehát a fenntarthatóságot a visszasajtolás önmagában még nem garantálja, csak elősegíti.



7. ábra: K-23-as számú visszasajtoló kút, amely a fenntarthatóbb üzemeltetésről gondoskodik (saját felvétel)

A 21. század elején megfigyelhető agglomerációs nyomás mellett Veresegyház iparzonája is dinamikusan növekedett, és a jól bevált geotermikus erőforrás kiaknázásának lehetősége a városban megtelepedő vállalatok figyelmét is felkeltette. A meglévő termelőkút (B-15) azonban már elérte teljesítménye határát, tovább terhelni már nem lehetett, ezért a Közép-magyarországi Operatív Program (KMOP) támogatásának (392 millió Ft, ami 60%-os támogatás intenzitásnak felelt meg) elnyerésével 2011-ben, a K-25-ös termelőkút fúrásával kezdetét vette a városfűtési rendszer kiépítésének harmadik üteme. Az új kút vízhozama a vártnál is

magasabb (200 m³/h) volt, ami nagy segítséget jelentett a rendszer üzemeltetése szempontjából (SZITA G. 2016).

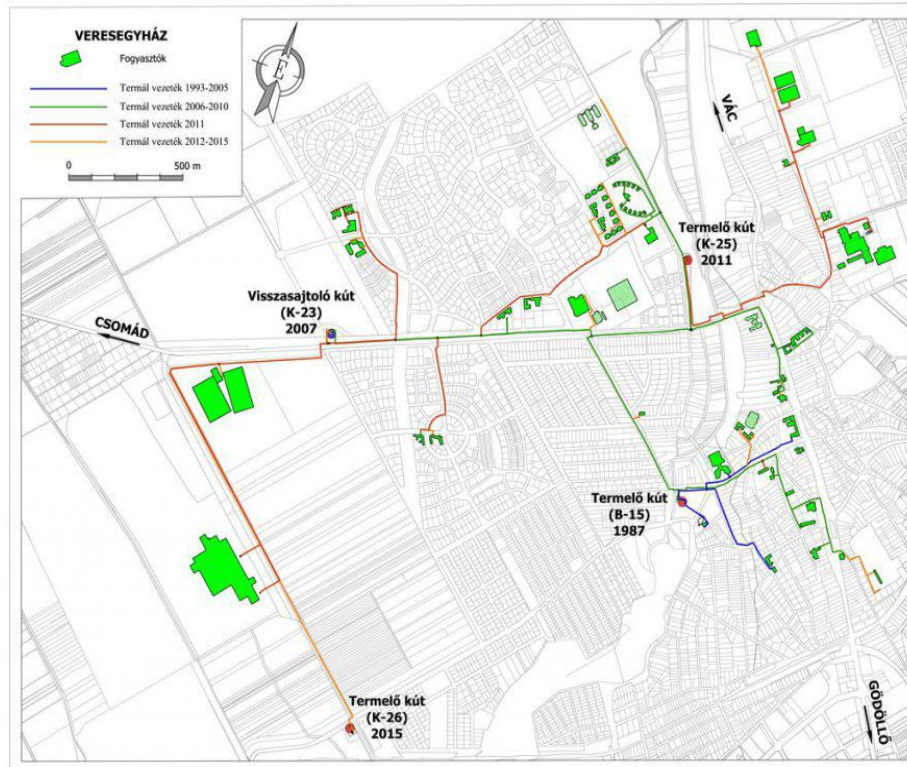
A települést behálózó távvezetékrendszer tovább bővült, a köz- és lakóépületek mellett többek között olyan ipari fogyasztók is csatlakozhattak, mint a Sanofi, és GE Aniation Hungary. 2011-2014 között számos új épületet kötöttek a hálózathoz, köztük nagy méretű társasházakat is (pl: Csonkási és Neptun társasházak). A város lakói számára természetessé és elfogadottá vált a geotermális fűtés, beépült a köztudatba, hogy fosszilis energiaforrásokkal szemben a termálfűtés a jobb és gazdaságosabb alternatíva, ezért sokan szeretnének kapcsolódni a rendszerhez (SZITA G. 2016.)



8. ábra: K-26-os termelőkút (saját felvétel)

Veresegyház fejlődése a szűkülő anyagi források ellenére nem hagyott alább, és 2015-ben a negyedik fejlesztési szakasz során, a település határában egy kertészeti magánberuházó 3,2 ha-os területen indította meg a paradicsom termesztést. Az üvegházak fűtésére geotermikus energiát használnak, amit a legújabb K-26-os termelőkút létesítésével biztosítanak (8. ábra). Ezt az első kettőhöz képest mélyebbre, 1725 m talpmélységűre fúrták, ezért a víz kifolyó hőmérséklete eléri a 72°C-ot (SZŐKE SZ. 2016). A kertészet kiszolgálása mellett a beruházás tovább növelte az ellátásbiztonságot és elősegítette összesen több, mint 150 lakás rendszerbe illesztését. 2016-ra a veresegyházi geotermális távfűtőrendszer három termelő (összesített kitermelt vízmennyiség: ~1 350 000 m³/év) és egy visszasajtoló (összesített visszasajtoló vízmennyiség: ~1 250 000 m³/év) kútból, 19 km hosszú

vezetékhalozatból, 63 darab hőközpontból állt (9. ábra). A beépített hőteljesítmény jelenleg eléri a 12,1 MW-ot, ami lehetővé teszi, hogy éves szinten 115 TJ (~32 000 MWh) hőenergiát értékesítsenek.



9. ábra: A veresegyházi geotermikus távfűtőhálózat térképe
(forrás: PORCIÓ 2015)

A tervek szerint 2017-2018-ban újabb fejlesztési ütem valósulhat meg, amely során a város turizmusát fellendítő gyógyfürdő felépítése mellett, egy új gimnázium, magánlakások és további ipari létesítmények is csatlakoznának a rendszerhez. Veresegyház lakosságának folyamatos növekedésével és a településen működő vállalatok bővülésével az energiaigények is emelkednek. A város abban a kivételes helyzetben van, hogy több fajta megújuló energiaforrás is bőségesen rendelkezésre áll (geotermikus, nap és biomassza). A felelősségteljes és előrelátó energiatervezés megköveteli, hogy az elérhető erőforrásokat a leghatékonyabban és diverzen használjuk ki a jövőben. Ezért mindenképpen célszerű megvizsgálni, a geotermikus rendszer kiegészítésének lehetőségeit. Erre az egyik legjobb lehetőséget a napenergia biztosítja. Mindazonáltal fontos leszögezni, hogy a jövőben megvalósuló fejlesztések akadálya nem a természeti potenciálok

korlátaiból, vagy a technológiai feltételek hiányosságából, hanem kizárólag a finanszírozási nehézségekből adódhat.

Összegezve, a veresegyházi geotermikus távfűtőrendszer Magyarország egyik legnagyobb megújuló energiát felhasználó létesítménye, amely a komplex és gondos tervezésnek köszönhetően egyedülálló lehetőséget biztosít egy prosperáló agglomerációs város életéhez. A kezdeti sikerek hatására, a helyi döntéshozók elkötelezettsége és a nagyszabású mérnöki elképzelések mára egy több, mint két évtizedes szoros és eredményes együttműködésben bontakoztak ki. A település hazai megújuló lokális erőforrások helyes kiaknázásának zászlóshajójává vált, ahol a fenntarthatóság minden dimenziója (természeti, gazdasági és társadalmi) érvényre kerül. A rendszer üzemeltetése hozzájárul a tiszta emberi környezet megteremtéséhez, közvetlenül és közvetetten a munkahelyek megtartásához, és újak létesítéséhez, miközben a klímaváltozás elleni harcban egy megfizethető és megbízható alternatívát kínál. A jövőben várható európai trendek szerint pedig, a távfűtőrendszer további bővítésére a legjobb lehetőséget a megújulókon alapuló hibrid fejlesztések jelenthetik, amelyek sikeresen képesek kombinálni a geotermikus, a biomasszán alapuló és fototermikus energiaforrások előnyeit (GEODH É. N.).

5. Vizsgálati módszerek

5.1 Települési hőigény felmérése

Ahhoz, hogy számításokat lehessen végezni Veresegyház napkollektorokkal való hőellátásáról, ismerni kell a település jelenlegi és várható hőigényét. A hivatalos adatok alapján ez az érték a geotermikus hálózatra csatlakozott fogyasztók esetén egy átlagos évben 110-115 TJ/év (SZITA G. 2016), azaz hozzávetőleg 30-32 GWh-t tesz ki. A termálvíz hőjéből főként a közintézmények és a városba települt ipari fogyasztók részesülnek. Viszont a közel 6000 lakásból mindössze 370-ben élvezhetik közvetlenül a geotermális távfűtés előnyeit, így azt is, hogy a mindenkori gázárhoz képest 70%-os áron kapják a hőenergiát. Tehát csupán a háztartások 6,3%-a látják el közvetlenül a város gazdaságát fellendítő megújuló erőforrásból. Tehát a lakossági geotermális hőenergia fogyasztás egy átlagos évben ~2 GWh/évre tehető, ami a teljes termál rendszer hőtermelésének kevesebb, mint

2%-a, ezért a lakossági fogyasztók döntő többsége más energiahordozóból kénytelen fedezni szükségleteit.

Számításaim során - a Veresegyházon élők átlag feletti egy főre jutó jövedelmét, illetve a gázzal való ellátottság magas, 95%-ot meghaladó (KSH 2015) mértékét is figyelembe véve - főként a földgázfogyasztás éves lakossági adataiból indultam ki. A számítás inkább egyfajta "szakértői becslés", hiszen számos energiaforrásról, így a biomasszáról (fából és egyéb kerti hulladék elégetésből nyert hőenergia mennyiségére) nem léteznek hivatalos statisztikai adatok települési szinten, és ez torzítja a kapott eredményt. A KSH adatait felhasználva a 2010-2015 közötti évek lakossági gázfogyasztási adatait válogattam le. Ennek egyik oka az volt, hogy a lakásállomány ebben a hat évben nem változott számottevően, a növekedés üteme lényegesen lassult a 2000-2010 közötti időszakhoz képest. Az időjárásban, főként a hőmérsékletben bekövetkező éves változások kiszűréséhez a megadott évek adatsorának átlagát vettem alapul. A város éves átlagos lakossági földgáz-felhasználása 2010-2015 közötti időszakban 8,82 millió m³-re tehető. Ez a magyar lakosság számára biztosított földgáz jellemző fűtőértékével, azaz 34 MJ/m³-rel szorozva 300 TJ/év, tehát mintegy 83,33 GWh/év bruttó hőigénynek felel meg. A MEKH országos adatai alapján a földgáz fogyasztás 92,5%-át fordítjuk lakásaink fűtésére és a használati meleg víz előállítására, ebből következik, hogy a fennmaradó 7,5% főzészor hasznosul. Ezzel az adattal korrigálva a lakosság által fűtésre és HMV előállításra nettó 77,12 GWh/év hőmennyiség jut. Az elfogyasztott földgáz mennyisége ugyan kiindulási pontnak megfelelő, de nem lehet egyenes arányosságot feltételezni a lakóépületek komfortos hőmérsékletének eléréséhez szükséges, tényleges hőigénnyel, hiszen a tüzelőberendezések és az épületek energiahatékonyságában is nagy különbségek lehetnek, továbbá a fogyasztói szokások is jelentősen eltérhetnek (pl. elvárt szobahőmérséklet). A gázfogyasztással szemben a biomasszából előállított hőmennyiségről csak becslésekre tudtam hagyatkozni, ahogyan a kiegészítő villamos fűtés (pl. kis teljesítményű hőszigetelő) terén is. Ez azt jelenti, hogy a lakosság tényleges hőigénye 15-25%-kal is magasabb lehet, mint ami a földgáz felhasználásból következne, azaz kutatásom során szükséges lakossági hőenergia-szükségletet éves szinten ~95 GWh-ra becsültem. Ennek jelenleg 81%-át földgáz, 2%-át geotermikus távfűtés és a fennmaradó 17%-át biomassza biztosítja. A település teljes hőigénye

(beleértve a termelő és szolgáltatási szektor igényét) a statisztikai adatok hiányában nehezen becsülhető, feltételezésem szerint 140-150 GWh/év között mozoghat.

A lakossági fogyasztók távfűtő rendszerbe vonása jelentős előrelépést eredményezhet, hiszen a háztartási igények az összes szükséges hőenergia kétharmadát teszik ki, ráadásul ez részeseleg legkisebb arányban a jelenleg hasznított geotermikus energiából. Ezért a potenciálszámítások elvégzésénél kizárólag a lakossági felhasználók ~95 GWh/év hőmennyiség előállításához szükséges napkollektormező felületét igyekeztem behatárolni és a telepítésükhöz szükséges terület kiszámítására törekedtem. Számításaimat három változatban végeztem el az alapján, hogy az éves hőmennyiség mekkora részét kell napkollektorok segítségével előállítani ahhoz, hogy a jelenlegi geotermális rendszerre nem csatlakozott felhasználók fenntartható forrásból, alacsony károsanyag kibocsátás mellett jussanak hőenergiához.

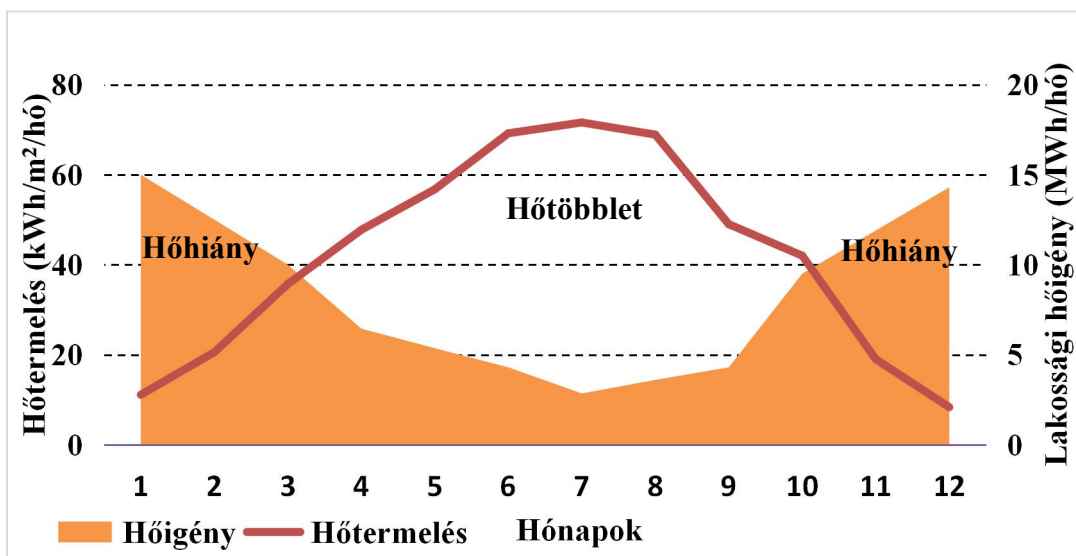
A forgatókönyvekben lefektetett célok:

- 33%-os részesedés: 30-32 GWh/év, ami megegyezik a jelenleg üzemben lévő geotermikus távfűtőrendszer éves hőtermelésével;
- 50%-os részesedés: 47,5 GWh/év;
- 100%-os részesedés: ~95 GWh/év.

Ahhoz, hogy ezen hőmennyiségek előállításához szükséges napkollektor-felületeket meghatározzam, a Dániában működő, jelenleg legkorszerűbbnek tartott rendszerek paramétereit alkalmaztam, és a kapott eredményeket pontosítottam a hazai besugárzási értékek felhasználásával. A Marstalban működő két nagyléptékű kollektormező alapterületét a GoogleEarth szoftver alkalmazásával határoztam meg. Méréseim alapján 1 m² alapterületre átlagosan 0,44 m² hasznos napkollektor-felület jut. A marstali rendszer hőtéljesítménye ~430 kWh/m²/év, ezt a tapasztalati értéket felhasználva valamint a Veresegyházra évente átlagosan eső ~1242 kWh/m² (Global Solar Atlas 2017) direkt besugárzási érték alapján 40%-os hatásfokkal (Naplopó 2013) számolva, ~500 kWh/m²/évre becsülhető egy jól megtervezett napkollektor-rendszer nettó hőtéljesítménye négyzetméterenként. Tehát a szükséges kollektorfelület meghatározásakor ezzel az értékkel végeztem el a kalkulációimat.

5.2 Hőtárolási kapacitás becslése

Napjainkban a legtöbb nagyméretű napkollektor rendszer mellé szezonális hőtárolót is építenek. Főként akkor, ha napenergiából nyert hő részaránya meghaladja a település igényének 30-50%-át. A kollektorok jellegzetes termelés görbéje és az év során jelentkező hőigény egymás komplementereként értelmezhető (10. ábra). Ebből következik, hogy a nyári félévben termelt többlet hőenergiát el kell raktározni a hidegebb évszakokra. Ez a törvényszerűség a veresegyházi fejlesztés esetében is érvényes. Ezért a meglévő geotermális rendszer hőtermelésének negyedéves adatsoraiból következtettem a lakossági hőigény szezonális váltakozására. Ennél sokkal jobb lett volna heti vagy akár napi bontású adatokkal dolgozni, de a rendszer üzemeltetője nem biztosított részletesebb kiindulási értékeket. A hőtermelés előbb említett adataihoz hozzáillesztettem a napkollektorokból kinyerhető hőmennyiségeket, szintén negyedéves bontásban. Ezzel a módszerrel sikerült meghatározni a nyári félévben keletkező túlermelés és a téli félévben jelentkező hőhiány mértékét. Az így kinyert adatokból jó közelítéssel megbecsülhető egy jövőbeli szezonális tárolórendszer hőenergia-befogadó kapacitása - ugyanakkor az ilyen létesítmények méretét a technológia és a helyszíni adottságok döntően befolyásolják, ezért a szükséges térfogatot, és az ehhez szükséges területigényt csak tágabb intervallumokban tudtam meghatározni.



10. ábra:

A hőtermelés és hőfelhasználás éves dinamikája havi bontásban (forrás: NAPLOPÓ 2013 és a veresegyházi geotermikus-rendszer üzemeltetési adatai, saját szerkesztés)

5.3. A vizsgálati terület lehatárolása és a helyszínekiválasztás szempontrendszere

5.3.1. Felhasznált adatok

A vizsgálat elvégzéséhez részletes térinformatikai adatbázisra volt szükségem a városról és az évtizedek alatt kiépült geotermikus rendszerről. A település önkormányzatának építészeti osztálya által rendelkezésemre bocsátott vektoros, CAD alapú állományokat először átültettem .shp (shape) térinformatikai formába, melyhez ArcMap 10.2.2 szoftvert használtam, illetve a további műveletek is ebben a munkakörnyezetben zajlottak. Az adatokat EOVS koordináta rendszerbe illesztettem, így az adatok szerkeszthetővé, valamint más adatbázisokkal összevethetővé váltak. A mérnöki követelmények miatt a kezdeti adatbázisban sok, a kutatás számára irreleváns adat foglalt helyet, amely lassította volna a munkafolyamatot (elektromos közműhálózat, helyrajzi számok, stb.), ezért a szükségtelen műszaki információk leválogatása után csak a következő térbeli adatokkal dolgoztam tovább:

- termálkutak és az azokat kitermelő létesítmények;
- termálvezetékek nyomvonalai;
- a jelenleg is geotermikus energiát fogyasztó épületek;
- a település többi, távhőhálózatra nem csatlakozott lakóépülete;
- telekhatárok adatai.

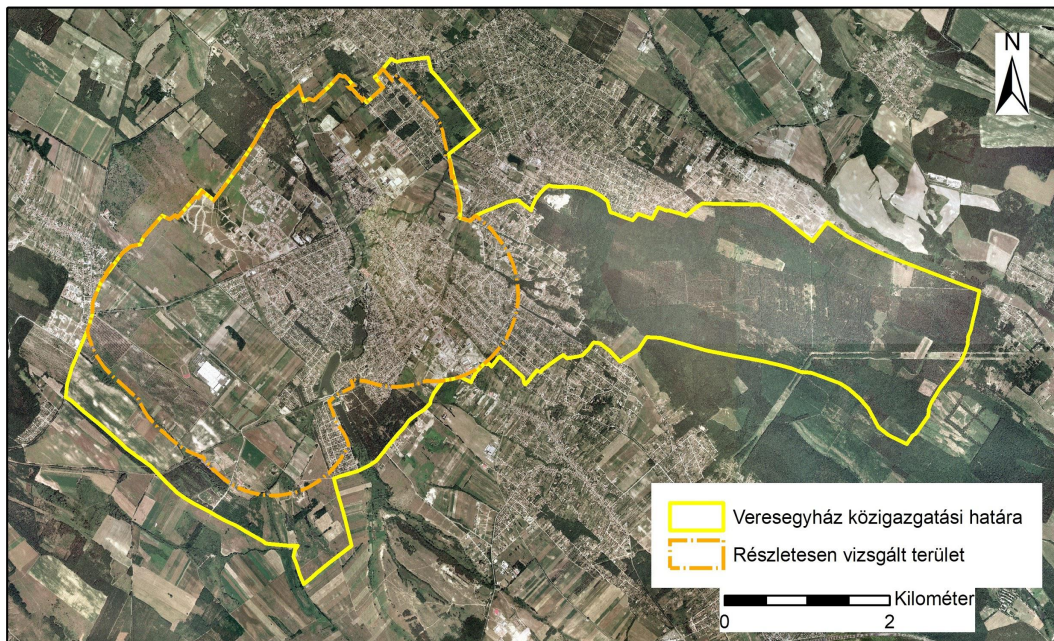
A különböző műveletek elvégzése előtt a teljes adathalmaz felülvizsgálatára volt szükség, mert sok esetben térben egymást átfedő objektumok jelentek meg, ami a redundancia miatt pontatlan számításokat eredményezett volna.

A vektoros állományok mellé, a települést környező területek felszínborításának interpretációjához új réteggént a teljes mintaterületet lefedő, 2005-ben készült ortofotókat illesztettem, amelyek a legfrissebb, ingyenesen hozzáférhető ilyen típusú adatok.

A geotermikus rendszer hőtermeléséről 2013-2017 közötti időszak negyedéves felbontású adatsorát alkalmaztam.

5.3.2. A vizsgálati terület kijelölése

Kutatásom *mintaterületét Veresegyház közigazgatási határai* jelölték ki, azonban a város magjától távol eső nagymértű külterületek miatt és a gazdasági realitásokat figyelembe véve ezt le kellett szűkítenem egy *részletesen vizsgált területre (11. ábra)*. Ehhez a meglévő termálvezeték-hálózat körül egy 1 000 méteres pufferzónát jelöltem ki. Mivel a vezetékek megközelítik a város szélén fekvő ipari területeket is, a pufferzónák helyenként túlnyúlnak a város közigazgatási határain. Ezért ilyen esetben a pufferzónának csak a település határáig eső részét vettem számításba.



11. ábra: Veresegyház átnézeti térképe a város közigazgatási határával és a részletesen vizsgált területtel

5.3.3. Felszínborítási kategóriák kijelölésének szempontrendszere

Veresegyház az elmúlt 10-15 évben óriási fejlődésen ment keresztül, ezért nem támaszkodhattam kizárólag az a 12 évvel ezelőtti ortofotókra. Azért, hogy az interpretáció a lehető legpontosabb eredményt hozza, kiegészítő megoldásként a GoogleEarth szoftver legújabb verzióját használtam fel, mely már 2017-es felvételekkel is rendelkezik a területről, azonban a légifelvételeknél rosszabb minőségben. Ezen kívül személyes terepbejárások során felkerestem a leginkább kérdésesnek vélt helyszíneket, hogy fényképek segítségével beazonosíthassam az

aktuális tájhasználat hatására kialakuló tényleges felszínborítást. Felmerült továbbá a CORINE adatbázis használata is, de a kis felbontás miatt nem lehetett precízen összevetni vizsgált terület valódi felszínborításával. A jelenlegi kutatás során rendelkezésre álló elavult adatok ellenére, a kiegészítő megoldások alkalmazásával lehetőség nyílt a valóságot közelítő eredményeket kapni.

A kategóriába soroláskor olyan területeket kerestem, amelyek potenciálisan alkalmasak lehetnek nagyméretű napkollektor-parkok telepítésére. A megfelelő poligonok kiválasztása során a következő szempontokat vettem figyelembe:

- **Természeti szempontok:**

A interpretálás során eleve kizárásra kerültek a természetvédelmi értéket képviselő területek, így a helyi természetvédelmi területek, a vizes élőhelyek és környezetük és védettségüktől függetlenül az összes erdő. Külön figyelmet fordítottam Veresegyház területrendezési és fejlesztési terveinek tanulmányozására. Ebből kiderült, hogy a városon átfutó Szódrákosi- és Mézes-patakok mentét egyfajta “zöld folyósként” kívánják a városvezetők megőrizni. A patak mentét a város északi felében főként (kb. 100-150 m-es sávban) természetközeli állapotban lévő rétek és mezőgazdasági művelés alatt álló szántók kísérik. Déli részén közkedvelt rekreációs bázisként funkcionáló duzzasztott tavak találhatóak, ezért ezeket a területeket annak ellenére sem vettem számításba, hogy számos közülük a meglévő termálvezeték közvetlen közelében fekszik (Local Agenda 21 2016).

A zöld- és barnamezős területek azonosítására kiemelt figyelmet fordítottam, a lehetőségekhez mérten a barnamezős, korábban már az antropogén tevékenységek által degradált felszínek esetleges igénybe vételét tekintettem prioritásnak. Ezt követte a nem intenzív művelés alatt álló, elhanyagolt területek feltérképezése. Végül a szántók és mezőgazdasági jellegű poligonok felvételét végeztem el.

- **Társadalmi szempontok:**

A településre a kevésbé sűrű beépítés jellemző. Az utcahálózat és az épületek elrendezése még a város központjában is nagyobb zöldfelületek kialakulásának kedvez. Ezek a területek, a város déli részén fekvő sportrepülőtér kifutópályának használt földterülettel együtt, a további vizsgálatból kizárásra kerültek, mert a beépítettséget még megújuló energetika hasznosításának céljából sem célszerű növelni a városi a rekreációs zónák kárára. Ugyanakkor a már leburkolt felületek másodhasznosítása kiemelt fontosságú, ezért a bevásárló központok és egyéb

szolgáltató intézmények közelében lévő parkolók bekerültek a potenciálisan alkalmas területek közé.

- **Gazdasági szempontok:**

A napkollektorok által termelt hőenergiát a szállítási veszteségek elkerülése és a kiépítési költségek csökkentése érdekében a lehető legrövidebb úton, a már meglévő termálvezetékekhez kell csatlakoztatni. Ezért az interpretációt csak a részletes vizsgálati terület határain belül végeztem el.

5.4. Hasznosítható tetőfelületekben rejlő potenciál számítása

A napkollektorok hagyományosnak tekinthető háztartási léptékű alkalmazása során jellemzően a már meglévő tetőfelületeket hasznosítják. Ezzel szemben a nagyléptékű, akár települések hőigényét jelentős részben fedezni képes létesítmények főként zöldmezős vagy barnamezős területek beépítésével valósultak meg eddig a világban. Az ilyen beruházások száma rohamosan nő, ezért a fenntarthatósági szempontok miatt már nem lehet megkerülni az épített környezet (lakóházak, üzemcsarnokok és középületek) tetőszerkezetei által nyújtott potenciál vizsgálatát.

- **Lakóépületek tetőfelületei:**

A tetőfelületek új funkcióval való ellátásához, jelen esetben a napenergia megfelelő hasznosításához elengedhetetlen a megfelelő tájolás és az árnyékmentes környezet. Ez családi házak nyeregtetőinek esetében különösen fontos szempont, hiszen a lapostetőkkel ellentétben a napkollektorok tájolása utólag nem, vagy csak részlegesen módosítható.

A lakóépületek tetőfelületeinek potenciál meghatározása során szintén gazdasági és kivitelezési megfontolások vezéreltek, így a meglévő geotermális vezetékhalózathoz legközelebb eső házakat vettem figyelembe, és a hálózattól számított 100, 200 és 300 m-es sugarú pufferzónába eső területen végeztem számításokat (*13. ábra*), amelyből kiszűrtem a 400 m² nagyobb alapterületű ipari létesítményeket és közintézményeket, valamint az 30 m² kisebb melléképületeket, mert aránytalanul torzították volna a lakóépületek átlagos alapterületét, ami viszont a számításaim kiinduló pontja volt. Minden egyes kategória esetén meghatároztam a zónába eső épületek számát és átlagos alapterületüket.

A tetőfelületek becslésekor egy elméleti négyzet alakú alaprajzot feltételeztem, majd a következő folyamattal végeztem el a számításokat:

1. lépés: Az átlagos alapterületből gyököt vontam, hogy megkapjam a ház oldalainak hosszát.

2. lépés: Ezt az értéket kettővel osztva (az épület közepén futó gerinc esetén a nyeregterő oldalfelezése miatt) egy derékszögű háromszög "b" oldalát kaptam.

Mivel a hazai családi házak tetőszerkezete és a födém, valamint a vízszintes sík által bezárt szög magastetőik esetén jellemzően 40° körül alakul, ezért ezt társítottam az α szög értékéhez.

3. lépés: Az α szög nagyságának és a "b" oldal hosszának ismeretében a megfelelő szögfüggvény alkalmazásával megkaptam a "c" oldal, azaz a tetőfelületet jelentő elméleti téglap eddig ismeretlen oldalának hosszát.

4. lépés: A hasznos tetőfelület nagyságát a két oldal szorzatából tudtam meghatározni.

Az így kapott átlagos felület egy idealizált formájú ház megfelelő tájolása esetén a déli kitettségű tetőfelületének méretét adja meg. Ezzel a metodikával csak az elméleti maximális potenciál becslése lehetséges, tehát a valóságban nem alkalmazható, mégis jó támpontot nyújt a háztetőikben, mint potenciális napkollektor felületekben rejlő lehetőségek nagyságrendjének megítéléséhez. Az eredményeket összevettem egy 2008-ban a Dorogi kistérségre és Esztergomra készített részletes napenergia potenciál vizsgálattal is. Az ott kapott értékek alapján, a hasznosítható tetőfelületek átlagos mérete 53 m^2 volt (SZUHI A. 2008), ami arányaiban megegyezik a 6.3. fejezetben kifejtett saját eredményekkel.

Ipari létesítmények tetőfelületei:

Az ipari létesítmények több funkciós alkalmazása sok szempontból előnyös lehet. Ahogy a gráci esettanulmány is bizonyítja, az ipari építmények alkalmasak lehetnek akár több 1000 m^2 -es napkollektor egységek fogadására. Ráadásul Veresegyházon ezeknek az ipari létesítmények jelentős részét már csatlakoztatták a geotermikus hálózatra vagy a közvetlen közelében futnak a vezeték, ami nagyban hozzájárulhat a gazdaságos kiépítéshez és üzemeltetéshez. Továbbá magánházaknál gyakran kifogásként felmerülő esztétikai kérdések sem jelentenek túlzott problémát ilyen esetben, hiszen az új funkció nem rontja az épületek megjelenését. Az ipari létesítmények lapostetőin egyszerűbb a napkollektorok megfelelő tájolású telepítése is. Ugyanakkor az ilyen típusú födémeken rendszerint más

épületgépészeti berendezések is helyet kapnak, ami csökkenti a hasznosítható felület nagyságát. Korlátozó tényezőt jelenthet továbbá a könnyűszerkezetes csarnokok alacsony teherbíró képessége, de ezen kérdések vizsgálata nem tartozott a kutatás témájához. A használható felületek leválogatását az felszínborítás interpretációja során végeztem el és külön alcsoportként jelöltem meg.

6. Eredmények

6.1. Szükséges napkollektormezők méretei

A fent leírt módszertan felhasználásával három forgatókönyvre végeztem el számításaimat, aszerint, hogy mekkora lakossági hőigény fedezését tekintjük célnak. Az eredményeket az *1. táblázatban* foglaltam össze.

1. táblázat: A napkollektorok területigénye és a hozzájuk szükséges hőtárolókapacitás (nyári hőtöbblet) becslése a három forgatókönyv alapján

Forgatókönyvek	Lakosság éves hőigénye (GWh/év)	Napkollektor felület (m ²)	Szükséges alapterület (m ²)	Hőtároló kapacitás (GWh)
I. Forgatókönyv: 33%-os hőigény	~32	64 000	145 000	14,8
II. Forgatókönyv: 50%-os hőigény	~47,5	95 000	216 000	23,9
III. Forgatókönyv: 100%-os hőigény	~95	190 000	432 000	43,7

6.2. Helyszínválasztás eredményei

A felszínborítás interpretációja során a napkollektorok számára alkalmas területeket a jelenlegi hasznosításuk alapján két fő kategóriába, azon belül pedig hat alcsoportba soroltam:

Barnamezős:

- Degradált területek (pl. felhagyott hulladéklerakó telepek)
- Parkolók
- Ipari létesítmények tetőszerkezetei

Zöldmezős:

- Fűves területek
- Foltokban cserjés területek
- Szántóföldek, intenzíven hasznosított mezőgazdasági területek

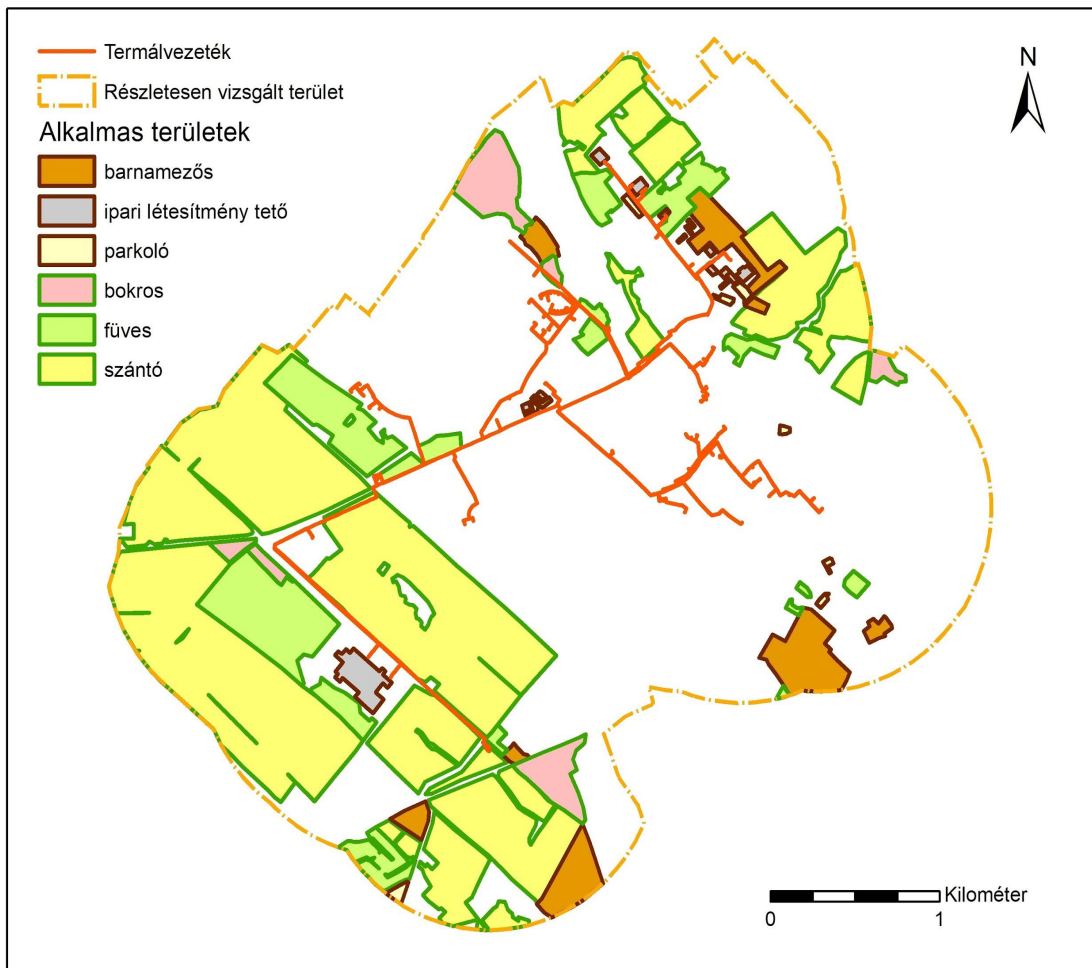
Veresegyház 28 560 000 m²-es közigazgatási területén (28,56 km²) a fent említett kritériumok betartásával 5 858 736 m² (5,86 km²), azaz a település teljes területének 20,5%-a tekinthető alkalmasnak napkollektorok telepítésre. A két nagy kategóriába (barna- és zöldmezős) sorolható területek egymás közötti megoszlása 1:10-hez, ez a település történelmének, környezetének, gazdaságának és jelenlegi tájhasználatának ismeretében nem meglepő, hiszen a település 1999-ben emelkedett városi rangra és az ipari jelenlét is csak az új évezredben vált jelentőssé. Az al csoportokba bontott területek kiterjedését és arányát a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: Az interpretálás során napkollektorok telepítésére alkalmas területek

Összes alkalmasnak talált terület	5 859 000 m²					
Kategóriák	Barnamezős területek			Zöldmezős területek		
Kategóriák összevont területe	550 000 m²			5 309 000 m²		
Alcsoport	Degradált	Parkoló	Ipari tető	Fűves	Bokros	Szántó
Terület (m²)	420 000	40 000	90 000	890 000	303 000	4 116 000
Az összes terület %-ban	7,2	0,7	1,5	15,2	5,2	70,2

Az eredményekből kitűnik, hogy a napkollektorok telepítéséhez, a barnamezős és zöldmezős területek külön-külön is biztosítanak a megfelelő területet, még a 100%-os, bruttó 432 000 m²-es területigényű forgatókönyvvel számolva is. Az alkalmasnak talált zöldmezős parcellákban a fűves és cserjés területek együttes mérete meghaladja az egymillió négyzetmétert, de ebben a kategóriában a földek több mint 70%-a értékes termőterületnek számít. Bár a forgatókönyvek alapján kiszámolt napenergia-hasznosító rendszerek elhelyezésére és a több tízezer köbméterre becsült szezonális tárolókapacitás fogadására, bőségesen rendelkezésre

állnak szabad területek, ugyanakkor a fenntarthatósági szempontok figyelembe vétele mellett ilyen jellegű hasznosításuk nem kívánatos. Ennek fő oka, hogy - amint az a vizsgálati eredményekből kiderül - Veresegyházon a lehetőségek adóttak a barnamezős területek új funkcióval való ellátására, így egy nagyléptékű távfűtőrendszer napkollektoros termelési egységeinek fogadására is (12. ábra)



12 ábra: Az alkalmasnak ítélet területek felszínborítás interpretációja

6.3. Tetőfelületek potenciál-becslésének eredménye

A lakóépületek hasznos (déli tájolású) tetőfelületeit az ismertetett számítási móddal csak elméleti szinten tudtam megbecsülni. Céлом nem egy egzakt érték megadása, sokkal inkább a nagyságrend érzékeltetése. A 3. táblázatban összefoglalt eredmények valójában a pufferzónákhoz igazodó potenciálokat takarják, amelyek a forgatókönyvek alapján 56 000 és 121 000 m² között változnak.

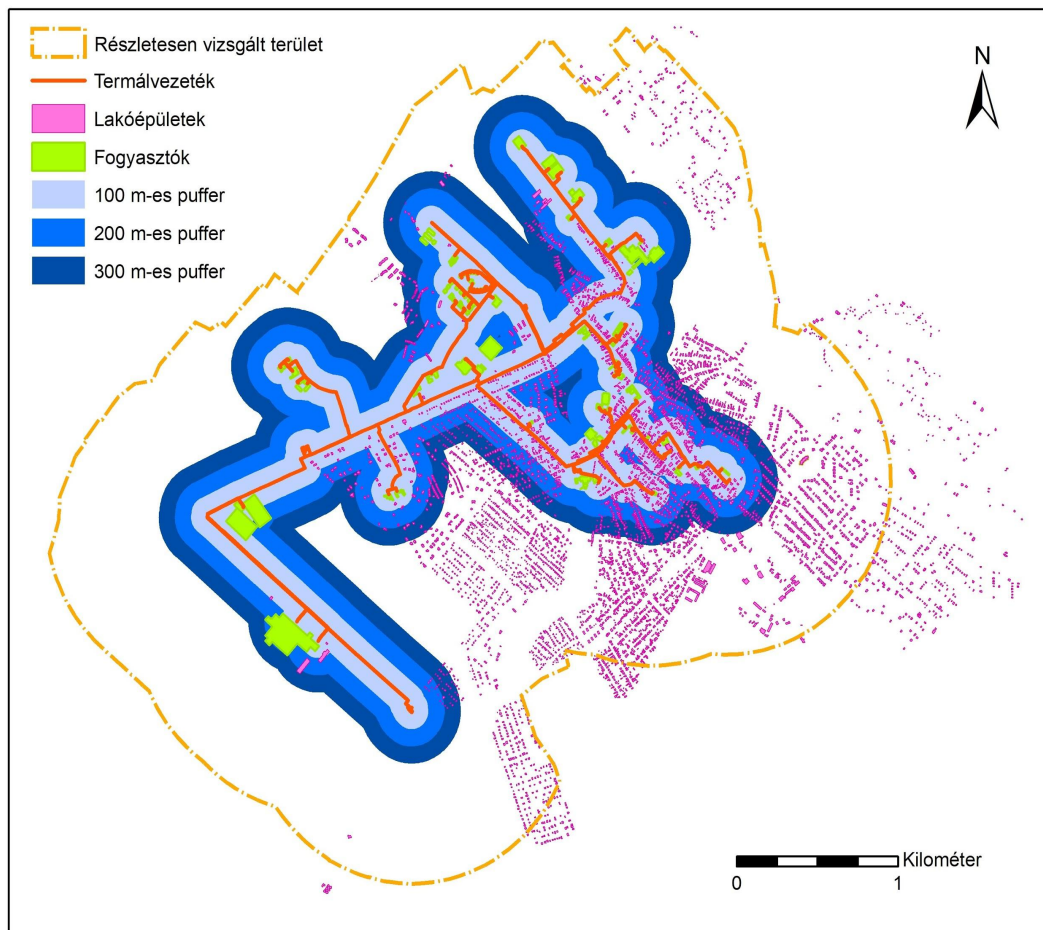
A valóságban azonban - az építészeti, tájolás, árnyékolás és egyéb tényezők miatt - ennek csak a töredéke realizálódhat. Bár a tetőfelületek hasznosításakor nettó kollektorfelülettel számolhatunk, de a gyakorlati alkalmazások tanulsága szerint lényegesen alacsonyabb potenciál rejlik a lakóépületek ilyen jellegű hasznosításában. A 300 m-es pufferzónában lévő maximális felületek is csak a barnamezős kategóriába eső szabad területek 22%-át, zöldmezős potenciál mindössze 2%-át teszi ki. Ennek, és a kapcsolódó bonyolult műszaki megoldásnak valamint a hatalmas beruházási igénynek az ismeretében Veresegyház esetében nem tűnik célszerűnek a tetőfelületek alkalmazása, vagyis az optimális tájolású felületek csak az elvi lehetőségét teremti meg a telepítésnek. A valóságban az tetőn lévő kémények, antennák és a szomszédos épületek, tereptárgyak vagy fák gyakran vetnek árnyékot részben vagy egészben a hasznosítható felületekre, amely így lényegesen rontja a napkollektorok hatékonyságát.

3. táblázat: A lakóépületek hasznosítható tetőfelületeinek potenciálbecslése

Paraméterek	100 m-es pufferzóna	200 m-es pufferzóna	300 m-es pufferzóna
Lakóépületek száma (db)	834	1407	1908
Lakóépületek összes alapterülete (m ²)	85 300	141 000	186 000
Átlagos alapterület (m ²)	102,3	100,1	97,4
Átlagos ideális tetőfelület (m ²)	66,7	65,3	63,5
Összes déli tájolású tetőfelület (m²)	56 000	92 000	121 000

Összegezve, a potenciálszámítás eredménye a realitásokat figyelembe véve a valóságban egy nagyságrenddel kisebb mértékben 5 600 és 12 100 m² között mozoghat. Ez azt jelenti, hogy a 33%-os forgatókönyv 64 000 m²-es felületigénye esetén, legjobb esetben is csak a szükséges méret egyhatodát tenné ki a háztartások hasznos tetőfelülete. Ezért a távfűtő hálózathoz kapcsolt napkollektorok lakóházakra való telepítése Veresegyház esetében nem jelent valódi alternatívát.

Továbbá a társadalmi elfogadottsága is kérdéses egy ilyen projektnek, hiszen az ingatlan tulajdonosok negatív hozzáállása számtalan hazai felújítás során gátat szab a fejlesztéseknek. Ettől függetlenül a napkollektorok sziget üzemű elterjedését támogatni és bátorítani szükséges főként akkor, ha fogyasztó távol lakik a távvezeték-hálózattól.



13. ábra: A távvezeték pufferzónáiba eső lakóépületek és a meglévő fogyasztók

7. Következtetések

Dolgozatom célja az volt, hogy feltérképezzem, van-e reális lehetősége a Veresegyházon működő geotermikus távfűtési rendszer fejlesztésének napenergia felhasználásával. A településen negyed évszázada működő és folyamatosan fejlődő távfűtőrendszer ma már elérte terhelhetőségének felső határát, pedig a város szeretné tovább fejleszteni a meglévő rendszert. A továbblépéshez azonban új termálkút fúrására és a vízkivétel emelésére, vagy egy teljesen új megközelítésre lenne szükség. Bár a visszasajtolás 2007 óta megoldott, a vízadó rezervoár hidrogeológiai folyamatait az üzemeltetési adatok (vízhőmérséklet, nyomás, vízhozam) hosszú távú monitorozása és elemzése hiányában nehezen prognosztizálható. Ezért a valódi fenntarthatóságot figyelembe véve előnyös lehet a geotermikus létesítmények más megújuló energiaforrásokkal való integrálása, egyfajta hibrid rendszer létrehozása. Erre az egyik legjobb esélyt a napenergia, ezen belül is a napkollektorok (vagy hibrid-kollektorok, amelyek képesek egyidőben villamos energiát és hőenergiát is termelni) alkalmazása jelentheti. Nagyléptékű napkollektor-park telepítése esetén lehetőség nyílna a távhőrendszer kiterjesztésére, amely így a lakossági fogyasztókhoz is nagyobb arányban jutna el. A fejlesztésekkel hatékonyan lehetne csökkenteni az üvegházhatású-gázok kibocsátását és a télen jelentkező légszennyezettséget is.

A térinformatika vizsgálatok megerősítették, hogy minden elméleti lehetőség adott egy ilyen jellegű kombinált távfűtőrendszer létrehozásához. Az elemzett forgatókönyvek mindegyike megvalósítható kizárólag barnamezős és már meglévő infrastruktúra funkció bővítésével. A zöldmezős területek kiterjedt mérete további bőséges tartalékot jelent a megvalósíthatóság elemzésekor, azonban a lakóépületek tetőfelületeinek potenciál becslése rávilágított arra, hogy nem jelentenek rentábilis alternatívát nagyméretű napkollektor felületek telepítésére.

Kutatásom egyelőre csak a hagyományos napkollektorok létesítésére és hőenergia termelésre fókuszált, de a jövőben szeretném kibővíteni vizsgálataimat a hibrid-kollektorok alkalmazhatóságára. Ez az összetett megközelítés újabb távlatokat nyithat meg a fejlesztésekben, és tovább erősítheti a lokális potenciálok kiaknázásán alapuló diverz és megbízható energiamix kialakítását. A kogeneráció ilyen módon való alkalmazása akár a hőtároló kapacitások optimalizálását és a

hőszivattyúk rendszerbe integrálását, az üzemeltetési költségek drasztikus csökkenését és a versenyképesség növelését is elősegítheti.

Amennyiben a jövőben lehetőségem nyílik új ortofotók beszerzésére szándékomban áll a terület újra interpretálása valamint a valódi energiafelhasználás mértékének megismerése. Így reményeim szerint egészen pontos számítások elvégzése is lehetővé válhat, amely más települések vizsgálatát és a kutatás kiterjesztését is megkönnyítené.

8. Köszönetnyilvánítás

Dolgozatom nem jöhetett volna létre témavezetőm, Dr. Munkácsy Béla és Soha Tamás PhD-hallgató szakmai iránymutatása és odaadó segítsége nélkül. Hálával tartozom édesapámnak, Csontos Lajosnak, aki megálmodója és tervezője volt a Veresegyházon ma nagy sikerrel működő geotermikus városfűtési rendszernek. Továbbá köszönettel tartozom Szita Gábornak, a Magyar Geotermális Egyesület elnökének és a Porció Kft. ügyvezetőjének, a kiváló forrásokért és az állandó támogatásért, valamint a geotermikus rendszer üzemeltetőinek Fekete István és Együd Péter Uraknak és végül, de nem utolsó sorban Pásztor Béla Polgármester Úrnak az értékes és hasznos interjúért.

9. Szakmai konzultációk

Pásztor Béla, Veresegyház Polgármestere. Jelleg: interjú. Téma: Megújuló energiaforrások (főként geotermikus) felhasználása Veresegyházon (2017.05.15.)

Szita Gábor, Geotermális Egyesület elnökének és a Porció Kft. ügyvezetője. Jelleg: szakmai jellegű magán beszélgetések. Téma: a geotermikus rendszer kiépítése és fejlesztése, (állandó kapcsolattartás)

Fekete István és Együd Péter, a veresegyházi GAMESZ energetikusai. Jelleg: szakmai konzultáció és információ csere. Téma: geotermikus rendszer üzemeltetése (2017.11.20.-2017.11.24.)

Mádlné Dr. Szőnyi Judit, egyetemi docens ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék. Jelleg: szakmai konzultáció. Téma: a geotermikus energiatermelés fenntarthatósága, rezervoár pihentetés (2017.11.28.)

10. Irodalomjegyzék

- CSONTOS L. 2008: Geotermikus energiára alapozott városfűtés Veresegyházon. — Földhő Hírlevél 5. pp. 1–6.
http://www.mgte.hu/dok/fh_18-19_2008_julius.pdf (2017.12.03.)
- EUROHEAT 2017: District Energy in Denmark
<https://www.euroheat.org/knowledge-centre/district-energy-denmark/> (2017.12.03.)
- FRANTA G. 2006: Factor 10 Engineering for Sustainable Cities, IABSE Henderson Colloquium. — Cambridge 10 p.
https://www.istructe.org/iabse/files/henderson06/paper_05.pdf (2017.12.03.)
- FÜLÖP O. 2011: NegaJoule 2020 - A magyar lakóépületekben rejlő energiamegtakarítási lehetőségek. — Energia Klub Szakpolitikai Intézet és Módszertani Központ. 25 p.
http://negajoule.eu/sites/default/files/nega_kiadvany.pdf (2017.12.03.)
- GEODH (É. N.): Developing geothermal district heating in Europe. — Geothermal District Heating 64 p. https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/geodh_final_publishable_results_oriented_report.pdf (2017.12.03.)
- GLOBAL SOLAR ATLAS 2017:
<http://globalsolaratlas.info/?c=47.65845,19.289932,11&s=47.6492,19.272079&m=sg:ghi> (2017.12.03.)
- GSSTEC 2015: Austria: Up to 500 MWth for District Heating in Graz
<http://www.solarthermalworld.org/content/austria-500-mwth-district-heating-graz> (2017.12.03.)
- GSSTEC 2017: Silkeborg's solar district heating to cover 20 % of heating demand. — Global Solar Thermal Energy Council
<http://www.solarthermalworld.org/content/silkeborgs-solar-district-heating-cover-20-heating-demand> (2017.12.03.)
- HARMAT Á. — VASZKÓ CS. 2017: Fűtés és energiahatékonyság: körkép a helyi önkormányzatokról és a településekről. — WWF Magyarország, Kutatási összefoglaló. 15 p.
http://wwf.hu/media/file/1511533746_Futes_es_energiahatekonysag_WWFHU_jelentes.pdf (2017.12.03.)

- IRENA 2012: 30 years of policies for Wind energy: lessons from Denmark. — IRENA 10 p.
http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/GWEC_Denmark.pdf
(2017.12.03.)
- KSH 2015: Energiafüggőség (1990-2015)
https://www.ksh.hu/docs/hun/eurostat_tablak/tab1/tsdcc310.html (2017.12.03.)
- KSH 2017: A települések infrastrukturális ellátottsága, 2016. — Statisztikai tükör 2016 6 p.
<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/telepinfra/telepinfra16.pdf> (2017.12.03.)
- LATŔŠOV E. — VOLKOVA A. — SIIRDE A. — KURNITSKI J. — THALFELDT M. 2017: Primary energy factor for district heating networks in European Union member states. — Energy Procedia 116. pp. 69–77.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.056>
- LOCAL AGENDA 21 2016: Local Agenda 21 – Veresegyház 2016-2020 programozási időszak.– Veresegyház Önkormányzata 127 p. Letölthető:
<http://www.veresegyhaz.hu/local-agenda-21> (2017.12.03.)
- LUND H. 2010: The implementation of renewable energy systems. Lessons learned from the Danish case. — Energy 35. pp. 4003–4009.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.01.036>
- LUND H. — DUIC N. — ØSTERGAARD P. A. — VADMATHIESEN B. 2016: Smart energy systems and 4th generation district heating. — Energy 110. pp. 1–4.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.105>
- MÁDLNÉ SZŐNYI J. 2006: A geotermikus energia. — *Grafon kiadó*, Nagykovács. 143 p.
- MEKH 2015/A: Háztartások végső enregiafelhasználása Magyarországon, felhasználási célok szerint, 2015. év
<http://www.mekh.hu/eves-adatok> (2017.12.03.)
- MEKH 2015/B: A magyar távhőszektor (TRS) 2015. évi adatai. — MEKH 36 p.
- MUNKÁCSY B. 2014: A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út Erre van előre! Vision 2040 Hungary 2.0. — ELTE TTK, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, 193 p.
<http://munkacsy.web.elte.hu/ERRE%20VAN%20ELORE%202.1.pdf> (2017.12.03.)

NAPLOPÓ 2013: A napkollektorokkal hasznosítható energia mennyisége. — Tudástár

<http://www.naplopo.hu/tudastar/szakcikkekink-hasznos-irasaink/29-a-napkollektorokkal-hasznosithato-napenergia-mennyisege> (2017.12.03.)

NÉES 2015: Nemzeti Épületenergetikai Stratégia. — 101 p.

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EU%C3%81T_164_2_2105_Nemzeti%20%C3%89p%C3%BCletenergetikai%20Strat%C3%A9gia%20150225%20pdf.pdf (2017.12.03.)

NOUSSANA M. — JARREA M. — DEGIORGISA L. — POGGIOA A. 2017: Data Analysis of the Energy Performance of Large Scale Solar Collectors for District Heating. — Energy Procedia 134. pp. 61 — 68.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.619>

PLANENERGI 2013: Summary technical description of the SUNSTORE 4 plant in Marstal. — Planenergi 7 p.

<http://www.solarmarstal.dk/media/2854117/summary-technical-description-marstal.pdf> (2017.12.03.)

PLANENERGI 2017: Solar District Heating in Denmark 1988-2016

<http://planenergi.eu/activities/district-heating/solar-heating/> (2017.12.03.)

PORCIÓ 2015: A veresegyházi geotermikus városfűtés

<http://porcio.hu/veresegyhaz/> (2017.12.03.)

REITERA P. — POIERA H. — HOLTERA C. 2016: BIG Solar Graz: Solar district heating in Graz — 500,000 m² for 20% solar fraction Energy Procedia. — 91. pp. 578 — 584.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.204><https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.204>

SAYEGHA M. A. — DANIELEWICZA AJ. — NANNOUB T, — MINIEWICZA M. — JADWISZCZAKA P. — PIEKARSKAA K., — JOUHARA H. 2017: Trends of European research and development in district heating technologies. — Renewable and Sustainable Energy Reviews 68. pp. 1183 — 1192.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.023>

SCHMIDT D. — KALLERT A. — BLES L. M. — SVENDSEN S. — LI H., NORD N. — SIPILA K. 2017: Low Temperature District Heating for Future Energy Systems. — Energy Procedia 116. pp. 26 — 38.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.052>

SOLARGIS 2014: <https://solargis.info/imaps/> (2017.12.03.)

SOLAR HEAT EUROPE 2017: <http://solarheateurope.eu/project/s-o-l-i-d-solar-heat-europe-waste-treatment-facility-graz-austria/> (2017.12.03.)

SOLID 2016: Reference project – District heating/CENTRAL. – 3 p.
https://www.solid.at/images/pdf/District_heating_english.pdf (2017.12.03.)

STEFFEN W. – RICHARDSON K. – ROCKSTRÖM J. – CORNELL S. E. – FETZER I. – BENNETT E.M. – BIGGS R. – CARPENTER S. R. – VRIES W. – A. DE WIT A. – FOLKE C. – GERTEN D. – HEINKE J. – MACE G. M. – . PERSSON L. M. – RAMANATHAN V. – REYERS B. – SÖRLIN S. – ET AL. 2015: Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet. – Science 347. DOI: 10.1126/science.1259855

SZITA G. 2016: How geothermal has changed people's thinking in Veresegyház? – European Geothermal Congress 2016 pp. 1 – 6.
http://porcio.hu/wpcontent/uploads/2017/03/2016_How_Geothermal_Has_Changed_Peoples_Thinking_in_Veresegyhaz.pdf (2017.12.03.)

SZŐKE SZ. 2016: Veresegyház: új termelőkút, új fogyasztók. Földhő H.13. pp. 7–8.
http://porcio.hu/wpcontent/uploads/2017/02/Sz%C5%91ke_Szabolcs_Veresegyh%C3%A1z_publik%C3%A1ci%C3%B3k.pdf (2017.12.03.)

SZUHI A. 2008: megújuló energia – megújuló határvidék projekt-összefoglaló, esztergomi környezetkultúra egyesület, esztergom 46 p.
<http://www.zoldinfoanc.hu/doksik/esztergom/energia/osszefoglalo.pdf>(2017.12.03.)

THOMAS S. 2015: Energy efficiency policies for buildings. – Wuppertal Inst. 45 p.

WERNER S. 2017/A: District heating and cooling in Sweden. – Energy 126. pp. 419 – 429. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.052>

WERNER S. 2017/B: International review of district heating and cooling. – Energy 137. pp. 617 – 631.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>

WHO 2016: Health risk assessment of air pollution. – World Health Organization Regional Office for Europe, 40 p.
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1 (2017.12.03.)

WIND EUROPE 2016: Windpower in European 2016 Statistics. – Wind Europe, 24 p.
<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2016.pdf> (2017.12.03.)

11. Melléklet



1. felvétel:

Tipikus zöldmezős terület. Ennek a nagy kiterjedésű szántónak a (jobb szélén) fut végig a 2015-ben lefektetett termálvezeték, amely a K-26-os számú termelőkútból származó 72°C-os vízzel fűti a GE aviation turbinagyár hatalmas telepét és a Garden Invest Kft. üvegházait.



2. felvétel:

Tipikus zöldmezős (füves) terület, amely a visszasajtolókút közvetlen közelében a lakott terület határán fekszik.



3. felvétel:

Jellemző barnamezős, már megbolygatott és degradált térszín, amely a K-25-ös számú termálkút tözsomszédságában található nagy potenciált rejt a terület energetika célú hasznosítása.



4. felvétel:

A termálvezetéktől mindössze pár 10 méteres távolságban található ez a hulladéklerakó (építési törmelék), ami az egyik legelhanyagoltabb barnamezős zónája a városnak. Az ilyen és ehhez hasonló területek rekultivációja sürgető feladat, amit a ideális esetben össze lehet kötni a megújuló energiák kiaknázásával, jelen esetben a napkollektorok telepítésével.



5. felvétel:

Megfelelő tájolás lakóépület, délre néző, árnyékmentes tetőfelülettel (napkollektor nélkül), amely a termálvezetéktől számított 200 méteres pufferzónába esik.



6. felvétel:

Megfelelő tájolású lakóépület a termálvezetéktől számított 200 méteres pufferzónában. A tetőn napkollektorral. Látható, hogy az új építészeti megoldások, miatt bizonyos napszakokban, a tetőszerkezet különböző elemei vettnek árnyékot a napkollektorra, ilyen és ehhez hasonló tényezők miatt a potenciálisnak tekinthető felületek alig 10-20%-a vehető számításba.



7. felvétel:

A GE Aviation Hungary gyártelepe látható a képen. A kiterjedt üzemcsarnok előtt nagyméretű parkoló található, amely szintén alkalmas terület lehet a napkollektorok telepítésére. A gyár lapos födémje, szintén szóba jöhet, potenciális telepítési helyszínként, de a gépészeti berendezések limitáló tényezőt jelentenek a műszaki megvalósításnál.



8. felvétel:

A Sanofi veresegyházi telepének tetején már napkollektorok állnak. Ez is bizonyítja, hogy lehetséges és érdemes a meglévő ipari telepek kihasználatlan felületeit új funkcióval ellátni és megújuló energiát termelni.



9. felvétel:

A silkeborgi napkollektor “árnyékában”. A világ legnagyobb napkollektor telepét az “Erre van előre” fenntartható energiatervezési kutatócsoport tagjaként, 2017. augusztusában az INFORSE (International Network for Sustainable Energy) szervezet által Dániában megrendezett konferenciájára menet látogattuk meg. A több, mint 156 000 m²-nyi napkollektor elképesztő látvány nyújtott. Geográfus nézőpontból csak egyetlen hibát véltem felfedezni, ez pedig a zöldmezős területek túlzott igénybevétele, de ahogyan dolgozatomból is kiderül gondos tervezéssel, akár a veresegyházi barnamezős zónák is alkalmasak lehetnek, hasonló kapacitású létesítmény befogadására és fenntartható üzemeltetésre.

A mellékletben szereplő felvételek saját készítésűek.