

A geotermikus forrásokon alapuló zöldségtermesztés energetikai fejlesztésének lehetőségei Magyarországon

Dr. Téglá Zsolt

Egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Keleti Károly Gazdasági Kar
teglazsolt@kgk.uni-obuda.hu

Absztrakt: Az energia (fűtés és villamos energia) az üvegházi zöldségtermesztés egyik legnagyobb és jelenleg leginkább növekvő költsége, amely a teljes termelési költség akár 40%-át is kiteheti. A Magyarországon megtermelt zöldségek versenyképes önköltségét csak úgy tudjuk biztosítani, ha a jelenleginél hatékonyabban használjuk ki a hazai geotermikus potenciált. Fosszilis energiainporttól való függőségünk kiszolgáltatott helyzetbe hozza a zöldségfeldolgozó vállalatokat, de ez a függőség a geotermikus energia (termálvíz) felhasználásával jelentősen csökkenthető. Jelenleg a magyarországi zöldségfeldolgozó üzemek, főként a Dél-Alföldön, kizárólag a 90-100 °C-os geotermikus energiát használják hőenergiaként. Ha azonban ezt a geotermikus kutakból származó 90-100 °C-os termálvizet, vagy esetleg a geotermikus kutakból származó 110-120 °C-os, nyomás alatt lévő termálvizet ORC (Organic Rankine Cycle) áramfejlesztőkben használnák fel, azt elsősorban villamosenergia-termelésre használnák, és csak másodsorban, ezen ORC erőművek hulladékhőjét használnák fel az üvegházak fűtésére (ami az üvegházak fűtéséhez elegendő vízhőmérséklet), akkor fenntartható, energia-önellátó üzemeket lehetne létrehozni. A magas beruházási költségek miatt azonban a fő lehetőség a 10 hektárnál nagyobb, méretgazdaságos és logisztikai szempontból gazdaságos termelőüzemek megfontolása.

Kulcsszavak: geotermikus megújuló erőforrások, versenyképes zöldségtermesztés, méretgazdaságosság, energiahatékonyság.

1 Bevezetés

Világszerte a geotermikus energia felhasználása az üvegházak és a fedett talajok fűtésére 24%-kal nőtt a beépített kapacitás és 23%-kal a geotermikus energiatermelés tekintetében. éves energiafelhasználás. A telepített kapacitás 2 459 MWt, az energiafelhasználás pedig 35 826 TJ/év. Összesen 32 ország számolt be geotermikus energiáról. Zöldházi fűtésről (szemben a WGC2015-ös 31 országgal), az éves energiafelhasználás (TJ/év) tekintetében Törökország, Kína vezet, Hollandia, Oroszország és Magyarország pedig a világ összesített energiafelhasználásának mintegy 83%-át adja. A legtöbb ország nem tesz

különbséget az üvegházi és a nem fedett talajfűtés között, és csak néhány ország számol be a ténylegesen fűtött területről. Az üvegházakban elsősorban zöldségeket és virágokat termesztnek, de termesztnek üvegházakban facsemetéket, kaktuszokat és halakat (USA), valamint gyümölcsöket, például banánt (Izland) is. Izlandról (zöldségek) és Görögországból (spárga) számoltak be geotermikus hőszivattyúkkal történő fedett talajfűtésről. Mivel a munkaerő az egyik legnagyobb költség ebben az ágazatban, a fejlődő országok versenyelőnyben vannak a nagyobb gazdaságokkal szemben. A WGC2000 alapján az üvegházak fűtésére vonatkozó 20 TJ/év/ha átlagos energiaszükségletet véve alapul, a 35 826 TJ/év. Ez világszerte mintegy 1 791 hektár fűtött üvegháznak felel meg, ami 23,4%-os növekedést jelent 2015-höz képest. (Lund és Toth 2020)

Magyarországon a Pannon-medence kedvező geológiai adottságainak köszönhetően az egyik olyan európai terület, ahol jól ismert a pozitív geotermikus anomália. Magyarország ennek a kiterjedt forró üledékes kőzetkomplexumnak a központi részén fekszik, ahol a gazdag geotermikus erőforrásokat hosszú ideje főként közvetlen felhasználásra hasznosítják. Ez a kiterjedt kiaknázás az elmúlt évtizedekben Magyarországot a közvetlen felhasználás európai rangsorában a 3-4. helyre helyezte. (Nádor et al. 2022). Magyarországon a geotermikus energia hasznosítása folyamatosan növekszik, 2018 és 2022 között 84 új termálvízkutat fűrnak. (1. táblázat).

A közvetlen felhasználásban továbbra is a mezőgazdasági ágazat a főszereplő, amely mintegy 402 MWth beépített kapacitással és mintegy 880 GWh/év termeléssel rendelkezik. (Nádor et al. 2022).

	2018	2019	2020	2021
balneológia	4	5	8	2
mezőgazdaság	8	3	6	2
távfűtés	2	5	4	4
ipar	2	0	4	1
visszasajtolás	0	5	9	3
egyéb	5	1	0	0
energiatermelés	0	0	1	0
összesen	21	169	32	12

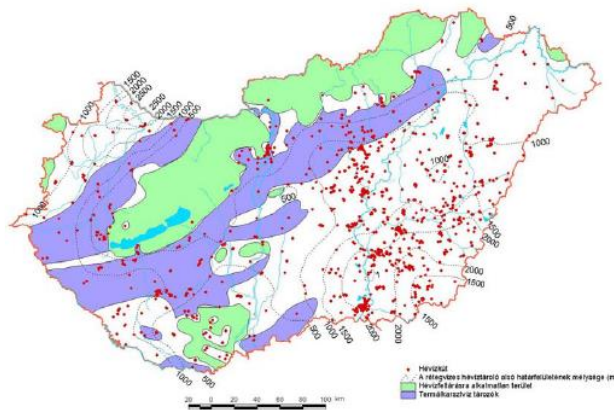
1. táblázat. Új termálvízkutak Magyarországon 2018-2021

Forrás: Nádor et al. 2022

Magyarországon a geotermikus gradiens - amely azt mutatja, hogy egységnyi mélységenként hány °C-kal emelkedik a hőmérséklet - átlagosan 5 °C/100 m, ami a világátlag másfélszerese. Ez annak köszönhető, hogy a Magyarországot is magába foglaló Pannon-medence kérge a világátlagnál vékonyabb - mindössze 24-26 km vastag -, és jó szigetelő hatású üledékekkel (agyagok, homokok) van kitöltve. A mért hőáram értékek, azaz a föld mélyéből származó, egységnyi

területre jutó hőkibocsátás magasak (átlagosan 90 mW/m^2), szemben az európai kontinens átlagos 60 mW/m^2 értékével. Az ország felszínén az átlaghőmérséklet 10°C körül van. A fent említett geotermikus gradiensnek megfelelően a kőzetek és a bennük lévő víz hőmérséklete 1 km mélységben 60°C , 2 km mélységben pedig 110°C . (Liebe, 2006)

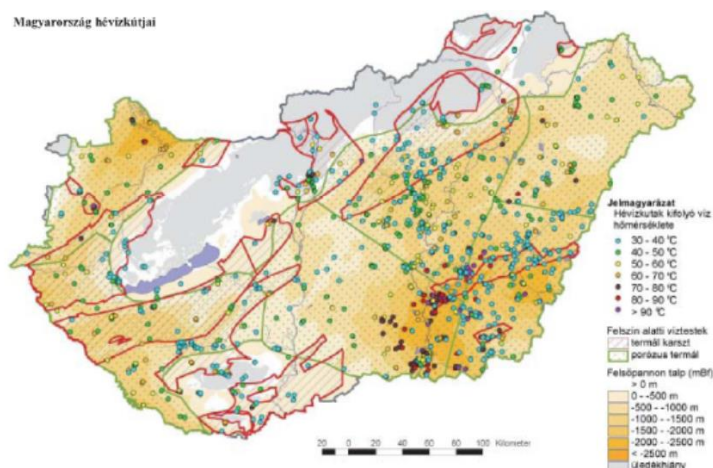
A geotermikus gradiens a Dél-Dunántúlon és az Alföldön magasabb a nemzetközi átlagnál, a hegyvidéki területeken pedig alacsonyabb a nemzetközi átlagnál. A termálvízkutakban felfelé áramló víz a kútcső mentén lehűl, így a víz hőmérséklete a felszínen ritkán haladja meg a 100°C -ot. A gőznyílások csak néhány nagy mélységű ásatásból ismertek, amelyeket még nem tártak fel kellőképpen. Magyarországon azokat a kutakat és forrásokat, amelyek vize a kilépésnél 30°C -nál melegebb, termálvízkutaknak vagy meleg forrásoknak tekintik. Az ország mintegy háromnegyedében van lehetőség melegvizek feltárására (1. ábra).



1. ábra. Magyarország feltárásra alkalmas területei és a termálforrások területi eloszlása
Forrás: Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium 2015

A medencetérsegek melegvizes víztartó rétegeiben a termálvíztermelés által kiváltott nagy nyomásesés az 1980-as évek vége óta a legtöbb helyen megszűnt vagy csökkent.

Az ország 1400 termálkútjából 900 termálkút üzemel termelő kútként, napi kb. 0,2 millió m^3 kitermeléssel. A termálvizet termelő kutak mintegy 30%-át balneológiai célokra, több mint negyedét ivóvízellátásra, kevesebb mint felét pedig geotermikus energiára használják. A jövőben a tisztán geotermikus energetikai célú termálvíz-kitermelés nem engedélyezhető feltöltés nélkül, és a lehűlt termálvizet vissza kell vezetni a víztartó rétegbe (2. ábra).



2. ábra. Magyarország termálvizkútjai és a kutakból kifolyó víz hőmérséklete

Forrás: Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium 2015

A geotermikus energia esetében a kútúrás és a kitermelés közvetlen költségei mellett a hőellátó és -elosztó rendszer kiépítésének költségei is szerepet játszanak, ezért a finanszírozás biztosítása a legjelentősebb korlát.

Összefoglalva, Magyarország meglehetősen kedvező potenciállal rendelkezik a geotermikus energia szempontjából. A recirkuláció nélküli termásvíz csak a meglévő kertekben ad lehetőséget a fűtési költségek igen alacsony költséggel történő megoldására, ezért fontos, hogy ezeket a kerteket a jövőben fejlesszük. Az újonnan fúrt kutak esetében egyértelmű, hogy a beruházási költségek elsősorban koncentrált, nagyobb felületű, illetve a lakossági kommunális fűtés esetében lehetnek meghatározóak. A geotermikus energia tervezett felhasználása elsősorban a hőenergia termelésére vonatkozhat. A kertészeti létesítmények fűtése mellett a közintézmények és önkormányzatok tulajdonában lévő lakóépületek fűtésére is felhasználható. (Tégla, 2015)

2 Anyag és Módszer

Kutatásom célja az volt, hogy átfogó, átlátható és gyakorlatorientált modelleket készítsék a méretgazdaságosság kérdésének vizsgálatára, beleértve a fűtési módok hatását a talaj nélküli zöldségtermesztés működési eredményére. Interjúalanyaim olyan gyakorlati szakemberek voltak, akik Magyarországon vezető zöldségsajtoló üzemeket irányítanak. Ezek a gazdaságok európai szinten versenyképesek. Olyan technológiai, piaci, gazdasági és munkaszervezési adatokkal tudtak szolgálni, amelyek pozitív modellként szolgálhatnak a zöldségtermesztő kertészek számára.

Az adatgyűjtés első fordulójára rávilágított a termeléshez szorosan kapcsolódó szolgáltatások fontosságára. Ezeket az információkat, amelyek segítettek elmélyíteni a piaci, műszaki és jogi ismereteimet, a terület szakembereivel készített további interjúk révén szereztem meg. Ezek alapján állítottam össze modelljeimet, amelyeket a fentiekben ismertetett tények alapján összegeztem. A szakemberek által felvetett problémák arra a tényre összpontosítottak, hogy a mai elavult üvegházak akadályozzák a terméshozamok növelését. A termesztés sikerét nagymértékben meghatározza a vegetációs időszak alatti klíma. Ehhez megfelelő, a 21. század követelményeinek megfelelő termesztőberendezések használata szükséges.

A mélyinterjúk során a következő kérdéseket fogalmaztam meg előre:

Az üvegházakba történő beruházás technológiai költségei:

- üvegházakba történő beruházás (üvegházak, fóliás műanyag házak),
- beruházás kazánokba és irányítástechnikába,
- a gépek és berendezések költségei (víztisztító, melegpárásító, termesztőkocsik, betakarítókocsik, termelési elszámolási rendszerek, mérlegek),
- az immateriális beruházási javak költsége,
- egyéb beruházás-előkészítési költségek.

Termesztési technológia:

- szaporítóanyag-fejlesztés, palánták ára,
- biológiai védekezés és annak költségei,
- a protokollhigiéncia költségei,
- alkalmazási technológia és a beporzó dongók költségei,
- növényvédőszer-használat és költsége,
- műtrágya- és CO₂-felhasználás és költsége,
- öntözés, vízkezelés költségei,
- a zöldségtermesztésben felhasznált egyéb anyagok költségei.

Fűtés, energetikai kérdések:

- a felhasznált fűtőanyagok mennyisége, minősége és költsége,
- a fűtési energiaszükséglet meghatározása, a fűtés méretezése,
- környezetvédelmi bírságok és díjak (termálvízzel való fűtés esetén).

Munkaerőigény:

- A munkaerőigény éves alakulása, sajátosságai,
- munkaerőköltségek, járulékok,
- a munkaerő teljesítményének alakulása.

Kérdőív a hozamok, az eladási árak, a forgalom, az önköltség alakulására vonatkozóan:

- A terméshozamok és az árak alakulása terményenként,
- a terméshozamok és az árak alakulása terményenként és négyzetméterenként.

A következőkben az elsődleges adatgyűjtés alapján azonosítottam a gyakorlatban leggyakrabban használt üzemméreteket. A magyarországi geotermikus adottságokat figyelembe véve kétféle fűtési megoldást választottam, melyek a következők:

- meglévő kúton alapuló fűtés (visszasajtolás nélkül)
- új kúton alapuló fűtés (visszasajtolással).

Az újonnan létesített magyarországi üvegházakban termesztett zöldségnövények közül a paradicsom volt a leggyakoribb, és a paradicsom volt a leghasznosabb az üvegházi konstrukciók közül. A fóliával fedett létesítményekben a paprika a leggyakoribb faj, ami az alacsonyabb beruházási költségekkel és az alacsonyabb üzemeltetési eredményekkel magyarázható.

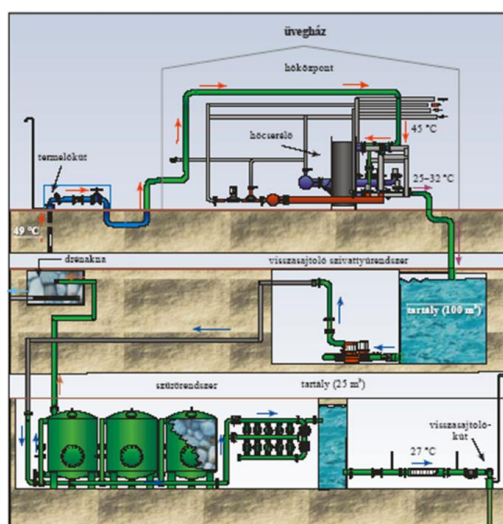
Mivel a különböző fűtési módok és növényméretek összehasonlítása csak azonos méretek alapján lehetséges, ezért egy mutatót dolgoztunk ki. A mutató a négyzetméterenkénti 100 Watt fűtőteljesítményre jutó üzemi eredmény alakulását mutatja. A mutató értékét több tényező befolyásolja, mivel a jövedelmezőség függ a termelési költségektől, a négyzetméterenkénti értékcsökkenéstől, a bérköltségektől, a felhasznált anyagok és szolgáltatások költségeitől és sok más tényezőtől, például az elérhető árbevételtől. A zöldségtermesztő modellüzemeimben azt találtam, hogy az egyes fűtési módok költségei jelentősen eltérnek, amit nemcsak a fűtéshez felhasznált anyagköltségek befolyásolnak, hanem az üzemméret is, mivel a fűtőberendezésekbe való beruházással kapcsolatos költségek fajlagosan csökkennek az üzemméret növekedésével. Az új termáلكutak magas beruházási költségei csak nagyobb üzemméretek esetén válnak méretgazdaságossá.

3 Eredmények

3.1 Közvetlen hőhasznosítású üvegházak Magyarországon

Magyarország világelső az üvegházak fűtésében. A legjelentősebb hőfelhasználó az Árpád-Agrár Zrt. Szentés és környéke 32 termáلكútjának mindegyike 60°C feletti vízhőmérsékletű, 12 kút 90-99°C közötti hőmérsékletű. Az első, 1958-ban fűrt kút vize minősített termáلكvíz. A települési termáلكvíz-fűtési rendszer kiépítése 1987-ben kezdődött. Kezdetben a használati melegvíz hőcserélővel állították elő, de később a termáلكvíz jobb kihasználása érdekében fűtésre használták. Jelenleg a fő termáلكvíz hőcserélőkön keresztül adja át energiáját a rendszerben keringő fűtővíznek. A város integrált geotermikus hálózata jelenleg 1304 lakást és 1500 lakással egyenértékű középületet fűt. Az Árpád-Agrár Zrt-nél kétféle termáلكvízre alapozott kertészet került kialakításra: üvegházi (40 ha) és műanyag borítású

fóliaház (30 ha) zöldségtermesztés és dísznövénytermesztés. Emellett 35.000 m²-en baromfiólakat, keltetőházakat és száraz gabonaféléket fűtenek. (Csikai, 2008)



3. ábra. Geotermikus hőhasznosítás Fülöpjakabon (visszasajtolással) (2015)

Az elszigetelt zöldségtermesztés intelligens hőhasznosító rendszerként olyan területeken is létrehozható, ahol rossz minőségű a talaj, ezért a megműveletlen területek is felhasználhatók a termeléshez. Egy modern, 5-6 méter magas, 60/30-as hőmérsékletkülönbségű üvegházban négyzetméterenként 100 watt fűtési energiára van szükség.

Szeretnék néhány példát bemutatni a primer hő hasznosítására.

Az első példa Fülöpjakabról származik, ahol 54°C-os termálvizet használnak az üvegházban a paradicsom előhajtására. A visszasajtoló víz hőmérséklete 27 °C. A visszasajtolás egyik legnagyobb költsége a szűrés, mert a termálvíz visszasajtolása előtt 30, 20 és 10 mikronos szűrőket kell használni (3. ábra).

A Fülöpjakabi geotermikus rendszer kútjai 1004 m mélyen vannak, és 932-964 m között szűrtek. 49 °C-os vizet termel a létesítmény 60 m³/óra hozammal a felső-pannon homokkőből. A kitermelt vizet a fagyhatár alatt 1,5 m mélyen szigetelt csővezetéken keresztül szállítják az üvegház termálközpontjába. Itt a mindössze másfél Celsius-fokra lehűlt termálvizet hőcserélőn keresztül továbbítják az üvegház fűtési rendszerében keringő vízhez. A fűtési rendszerben a vizet 5 szivattyú keringeti. A fűtési ágban a hőmérséklet közel 45 °C, a visszatérő ágban pedig 25-32 °C között van. A létesítmény 1,5 MW hőenergiát használ. A 847 m mély, a termőréteg feletti homokrétegeken szűrt recirkulációs kút a 27 °C-ra lehűlt termálvizet külső energiabevitel nélkül veszi fel. Ezen a hőmérsékleten a visszanyert hőmennyiség megduplázható lenne egy hőszivattyú beépítésével. (Ádám, 2008)

A második példa egy új geotermikus hőviszanyerő rendszert mutat be Szentesen, Daniel Bako kertészeti kertészetében. Ebben az esetben egy kéthektáros üzemet egy 1450 méter mély termálkútról fűtenek, és van két föld feletti puffertartály is. A kút kapacitása 30-70 köbméter óránként, a víz hőmérséklete pedig 65-70 Celsius-fok (4. ábra). (Tégla, 2015)



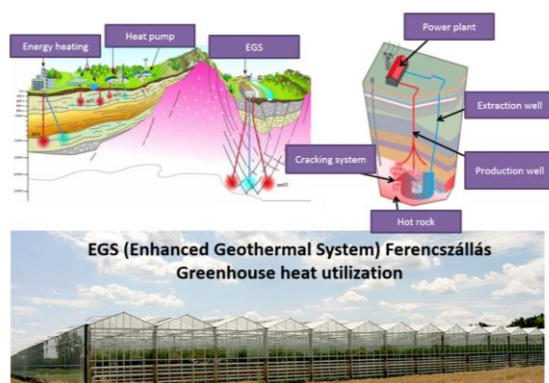
1.450 meter deep thermal well
30-70 m³/hour output
65-70 °C temperature
2 x 50 m³ buffer storage
2 ha heated area



4. ábra. Geotermikus hőhasznosítás Szentesen, puffertartállyal, Bakó Dániel kertészete

3.2 ORC és EGS rendszerek gyakorlati alkalmazása Magyarországon és Németországban

A harmadik példa egy EGS [Enhanced Geothermal System] rendszer, amely még a beruházási fázisban van; villamos energiát fog termelni, a hulladékhőt pedig egy üvegházban fogják felhasználni zöldségfajtatásra (5. ábra).



5. ábra. EGS (Enhanced Geothermal System) Ferencszállás EGS alapú erőmű (2015)

A negyedik példa Németországból származik. Alperstedtben egy ORC-erőmű, amely villamos energiát termel, képes egy 18 hektáros üvegházkomplexum hőellátását biztosítani (6. ábra).



6. ábra. Alperstedt (Németország) ORC erőmű (2015)

A következő példa a németországi Schkölenből származik (7. ábra), ahol a villamosenergia-termelés mellett távfűtési rendszer és egy 9 hektáros üvegház is működik. A példák kellőképpen szemléltetik, hogy az üvegházak különböző típusú hőellátó rendszerekhez csatlakoztathatók. (Tégla, 2015)



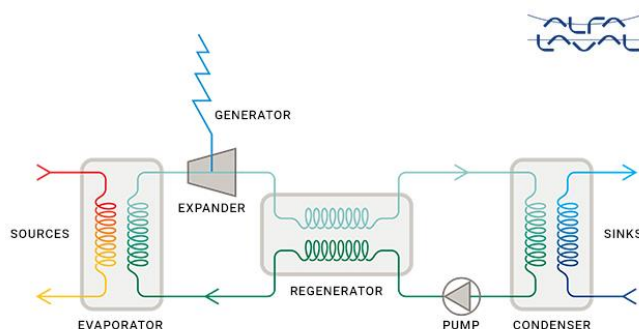
7. ábra. Schkölen (Németország) Villamosenergia-termelés, távhő- és hőellátás (2015)

Magyarországon egy működő geotermikus erőmű van a Turában, egy jól feltárt egykori szénhidrogén-kitermelő blokkban, amely villamos energiát termel. A termelő kút 2200 l/perc meleg vizet termel. A feltáruló triász karbonátból 108 °C-os forró vizet termel. A tényleges bruttó villamos energia kapacitás 2,3 MWe, ebből közel 1 MWe a villamos energia, az erőmű igénye. Így az erőmű nettó 1,3 MWe termelésére képes. (Nádor et al. 2022).

3.3 Szerves Rankine-ciklus (ORC)

Az ORC-rendszer elvét úgy lehet elképzelni, mint a hőszivattyú ellentétét. Míg a hőszivattyúk elektromos energiát használnak a hőtermeléshez, addig az ORC-rendszer hőenergiát használ a villamosenergia-termeléshez.

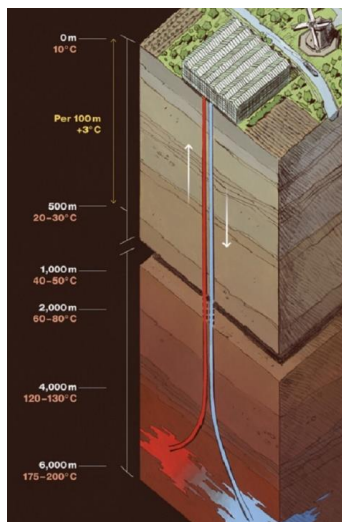
Egy tipikus ORC-konstrukcióban a hőenergiaforrás egy elpárolgotatót táplál, amely egy expanziót vagy "fordított kompresszort" hajt, amely viszont villamos energiát termel. A hőforrás lehet természetes, például geotermikus energia, vagy bármilyen ipari hulladékhőforrásból származó hulladékhő. Ily módon az ORC-konstrukció lehetővé teszi az egyébként a légkörbe kerülő hőenergia fenntartható felhasználását (8. ábra).



8. ábra. Az ORC-rendszer működését bemutató ábra

A hőcserélők az ORC-rendszer kritikus elemei, és a ciklus több szakaszában is használatosak. Ezek működhetnek elpárolgotatóként, kondenzátorként, hőcserélőként vagy köztes hűtőként (lásd a mellékelt ábrát egy szemléletesebb példáért). A feladatnak leginkább megfelelő lemezes hőcserélő technológia kiválasztása biztosítja, hogy a rendszer a lehető legmegbízhatóbb, leghatékonyabb és ezáltal fenntartható villamosenergia-termelést tudja biztosítani.

A geotermikus fűtés a felszín alatti vízforrásokból történő hőnyeréssel működik. Minél mélyebben van a víz, annál melegebb szokott lenni. A geotermikus hőerőművek legalább 500 és 2000 méter közötti mélységből szivattyúzzák a meleg vizet. Az európai átlaghőmérséklet és a kútfő adatai a 9. ábrán láthatók.



9. ábra. Az átlagos geotermikus kúthőmérséklet alakulása.

Ezekhez a mélység- és hőmérsékleti adatokhoz képest a magyarországi geotermikus kutak lényegesen jobb adatokkal rendelkeznek. A Dél-Alföldön, Szentés és Makó térségében a 2000 méteres mélységben lévő magasabb geotermikus gradiens lehetővé teszi a 100 Celsius fokos hőmérsékletű termásvíz kitermelését.

A geotermikus energia előnyeinek kiaknázásában kulcsszerepet játszanak a hőcserélők, amelyek hatékony hőátadást biztosítanak a földből feljövő meleg víz és az üvegházak vagy más épületek fűtésére használt hidegebb víz között.

A globális éghajlatváltozás és az energiaválság miatt az energiahatékonyság egyre fontosabb szerepet játszik a növekvő energiaigények kielégítésében az átalakuló energiaágazatban. Emellett az alacsony hőmérsékletű hőforrások hasznosításának lehetőségei is prioritássá váltak a közelmúltban. Ezen a területen a lehető legnagyobb hatékonyság elérése és fenntartása az életciklus során elengedhetetlen a rendszerek nyereséges működésének biztosításához.

A szerves Rankine-ciklus (ORC) az egyik legdinamikusabban fejlődő technológia, amely képes alacsony hőmérsékletű hő villamosenergia-termelésre hasznosítani. Az ORC viszonylag magas hatásfokkal történő működésének előfeltétele, hogy az aktuális peremfeltételek mellett megtaláljuk az optimális munkafolyadékot. Az ORC-rendszerek érzékenységvizsgálata különböző munkafolyadékok esetében segíthet a rendszer hatékonysága és a munkafolyadék tulajdonságai közötti mélyebb összefüggések feltárásában. A rendszer szűk keresztmetszeteinek feltérképezésével megalapozott műszaki-gazdasági döntéseket hozhatunk a tervezési és üzemeltetési fázisban. (Domokos & Groniewsky, 2021)

Az ORC-rendszerek jó hatásfokának elérésének kulcsa az adott körülményeknek megfelelő munkaközeg megtalálása. (Vivian et al. 2015)

A döntés nehézsége a mérlegelendő lehetőségek nagy számában rejlik. Az optimális munkaterhelés kiválasztásához elengedhetetlen a munkaterhelés azon jellemzőinek megértése, amelyek befolyásolják a ciklusban nyújtott teljesítményét. Figyelembe kell venni termofizikai és termokémiai tulajdonságaikat, például a közeg hőkapacitását, viszkozitását és gőzhőjét. Emellett környezetvédelmi (pl. globális felmelegedési potenciál, újrahasznosíthatóság) és biztonsági (korróziós kockázat, toxicitás) szempontok is befolyásolják a döntést. (Bao és Zhao 2013)

Az eredmények azt mutatják, hogy az expanziót befolyásoló paraméterek kulcsfontosságúak a rendszer hatékonysága szempontjából. A vizsgálatok további eredménye, hogy az egyes paraméterek romlása miatti hatékonyságvesztés minimalizálható a megfelelő munkaközeg kiválasztásával adott peremfeltételek mellett. A kidolgozott keretrendszer tovább használható más alacsony hőmérsékletű hőforráson alapuló energiatermelési technológiák vizsgálatára. (Domokos & Groniewsky 2021)

Következtetések

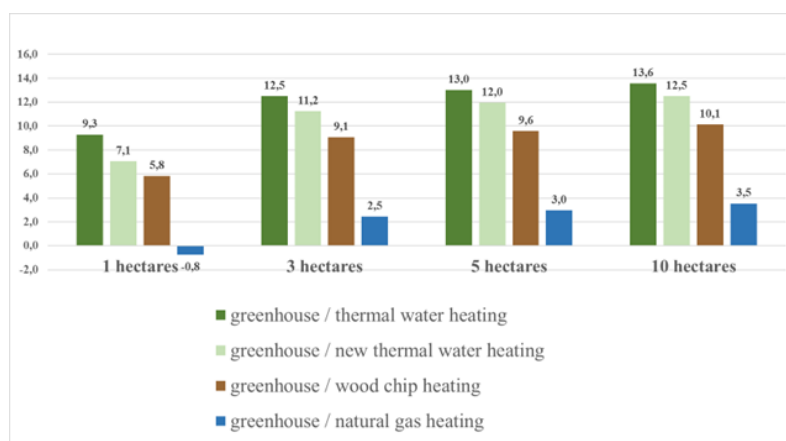
Hosszú távon környezetkímélő, geotermikus hővisszanyerővel működő, zárt körfolyamatos üzemű, a méretgazdaságosság és a logisztika szempontjainak is megfelelő, környezetkímélő zöldségfeldolgozó üzemekre van szükség. A csíráztatott zöldségek és a tiszta energiarendszerek iránti növekvő kereslet egyre nagyobb jelentőséggel bír. A beruházást finanszírozó csoportok kiszolgálása érdekében egyszerre kell értékelni az energetikai, technológiai és pénzügyi kockázatokat, valamint azt, hogy ezek a zöldségfeldolgozó üzemek hogyan automatizálhatók az IPAR 4.0-nak megfelelően.

A zöldségfeldolgozás egyik legmagasabb költsége az energia, beleértve a fűtési energiát is, amely a teljes termelési költség akár 40%-át is kiteheti. A fosszilis tüzelőanyagok importjától való függőségünk és az energiaválság miatt a zöldségfeldolgozó üzemek sebezhetővé válnak. Ez a függőség jelentősen csökkenthető a hazai zöld- és hőenergiaforrások felhasználásával. Magyarország geotermikus potenciálja a régióban kiváló, a termásvíz pedig a korszerű üvegházi kertészet fűtésére is felhasználható.

Az üvegházak és a geotermikus kutak magas beruházási költségei és az üzemek technológiai intenzitása azonban rendkívül megnöveli a beruházási/pénzügyi és az üzemeltetési/termelési kockázatokat. E kockázatok vizsgálata kulcsfontosságú kérdés a jövőbeni nagy üvegházi és geotermikus beruházások szempontjából. Abban az esetben, ha a termikus energia mellett a villamos energiát is önállóan termelné egy zöldségtermesztő üzem, az ORC erőművek tovább növelnék a beruházási költségeket és ezáltal a megtérülési időt.

A gyakorlatban az üvegház egész éves fűtésének méretezésekor négyzetméterenként 100 wattos fűtési teljesítményt használnak. Mivel a különböző fűtési módok összehasonlítása csak azonos méretek alapján végezhető el, egy mutatót dolgoztak ki. A mutató a 100 Watt fűtési teljesítményre jutó négyzetméterenkénti működési eredmény alakulását mutatja. Más szóval képes figyelembe venni az energetikai, pénzügyi és logisztikai szempontokat, és összehasonlítani ezzel, vagy akár más ágazatok jövedelemtermelő képességével. A magas beruházási költségeket finanszírozó befektetők ezt a mutatót használhatják döntéseik objektív megalapozásához.

Az alábbi 10. ábra a 100 Watt fűtési teljesítményre jutó négyzetméterenkénti működési eredmény alakulását mutatja a különböző fűtési módok és kialakítások esetében. Itt is megfigyelhető, hogy a méretgazdaságosság először az 5 és 10 hektáros üzemeknél jelentkezik.



10. ábra. A fűtési teljesítmény négyzetméterenkénti üzemeltetési eredményének alakulása 100 wattonként különböző fűtési módok és konstrukciók esetén, paradicsomtermelő üzem (euró/m²)

E mutató értékét több tényező befolyásolja, mivel a jövedelmezőség függ a termelési költségek négyzetméterenkénti értékcsökkenésétől, a munkaerőköltségektől, a felhasznált anyagok és szolgáltatások költségeitől és sok más tényezőtől, például a megtermelt bevételtől. A zöldségfeldolgozó üzemek modelljében azt találtam, hogy az egyes fűtési módszerek költségei jelentősen eltérnek, amit nagyban befolyásol az üzem mérete, a geotermikus kutakba történő beruházás magas költségei fajlagosan csökkennek az üzem méretének növekedésével.

Az izolált zöldségtermesztés hatékonyságának egyik legfontosabb kérdése a klímaszabályozás, amely a nyári időszakban ventilátorok használatával oldható meg. Ez, valamint az üvegházban lévő automatikus tápanyag-kibocsátó rendszer és az anyagmozgató rendszerek energiaigénye hibrid energiarendszerekben

kezelhető. Az ilyen hibrid energiarendszerekkel kapcsolatos kutatások rendkívül aktuálisak az ágazatban.

A foglalkoztatás szintén kulcsfontosságú kérdés. A legnagyobb igény a betakarítás, valamint az áruk előkészítése és csomagolása terén mutatkozik. Az átlagos munkaerőigény 1000-1500 m²/fő, így egy 5 hektáros gazdaságban akár 40-50 ember is dolgozhat.

Ugyanakkor a szakképzett munkaerő hiánya és a szezonális miatt egyre nagyobb szükség van olyan innovatív automatizálási folyamatok bevezetésére, amelyek jelentősen csökkenthetik a kézi munkaerő szükségletét az anyagmozgatásban. Az automatizált rendszerek tovább növelik a beruházási költségeket, ami a versenyképes üzemméretek növekedéséhez vezet, de ennek ismét csak a 10 hektáros vagy annál nagyobb üzemek esetében van értelme.

Összefoglalás

Olyan versenyképes zöldségfeldolgozó üzemekre van szükségünk, amelyek energiaszükséglete teljes egészében megújuló energiákon alapul. A zártkörű geotermikus energiarendszerek kulcsfontosságúak ehhez, mivel a fűtési szezonban hőt és villamos energiát is tudnak szolgáltatni, nyáron pedig a villamos energia értékesítéséből származó bevételt termelnek. Kutatásomat az a cél vezérli, hogy innovatív és gyakorlatorientált modelleket építsek, hogy megvizsgáljam a méretgazdaságosság kérdését, különösen a fűtési módok hatását a talaj nélküli zöldségtermesztés működési eredményeire.

Céлом a geotermikus fűtési módok hatékonyságának és jövedelmezőségének vizsgálata volt az üzemméret és a kialakítás függvényében technológiai zöldségtermesztési modellek segítségével. Összességében egy olyan zárt rendszerű geotermikus energia üzleti modellt dolgoztam ki, amely a befektetők számára értékelhetővé teszi a technológiák beruházási költségeit, részletes megtérülését, valamint képes bemutatni a technológiai, pénzügyi és logisztikai kockázatokat.

A gazdasági szereplők versenyképességét alapvetően meghatározza az ellátási láncuk hatékonysága. Az optimalizálási módszer akkor működik a leghatékonyabban, ha az ellátási láncban a végfelhasználóból indul ki, és az ő igényeik meghatározásával tervez. Az ellátási lánc elemein visszafelé haladva az egyes részfolyamatok szimulálhatók, az értékesítéstől a termelésen keresztül a termesztő létesítményekben előállított és a piacon értékesített csomagolt friss zöldségig. Az ellátási láncban összekapcsolt vállalkozások mindegyike potenciális piacot jelent a kutatás számára, mivel a jelenlegi bizonytalan gazdasági helyzet komoly kihívást jelent a vállalatvezetők számára a döntéshozatalban.

Hivatkozások

- [1] Ádám, B. (2008). Hőszivattyús földhő hasznosítás aktuális helyzete Magyarországon az EU helyzet tükrében, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum, 2008
- [2] Bao, J., Zhao L. (2013). A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 325-342
- [3] Csikai, M. (2008). A termálvíz komplex mezőgazdasági hasznosítása Szentesen, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum, 2008
- [4] Domokos, A. & Groniewsky A. (2021). Sensitivity analysis of organic Rankine cycle. XXIX. Nemzetközi Gépészeti Konferencia. Budapest
- [5] John W. Lund & Aniko N. Toth (2020). Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*. Reykjavik, Iceland, April - October 2021.
- [6] Liebe, P. (2006): Felszín alatti vizeink, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest ISBN: 966 03 7675
- [7] Nádor, A., & Kujbus, A., & Tóth, A. (2022). Geothermal Energy Use, Country Update for Hungary. *European Geothermal Congress 2022*. Berlin, Germany 17-21 October 2022.
- [8] Téglá, Zs & Szűcs, Cs. (2015). Supply chain of vegetables forcing in Hungary. *Journal of Central European Green Innovation* 3 (2) pp. 155-168.
- [10] Téglá, Zs. (2015). Horizon 2020 Hybrid Renewable Energy Project Proposal, Updated greenhouse production technologies as a potential project panel, Zilina (Horizon 2020 pre-proposal presentation).
- [11] Téglá, Zs. (2015) Economies of scale vegetables forcing the utilization of geothermal energy. *Journal of Central European Green Innovation* 3: különszám pp. 143-155.
- [12] Vivian J., Manente G., Lazzaretto A. (2015). A general framework to select working fluid and configuration of ORCs for low-to-medium temperature heat sources, *Applied Energy*, 15, 727-746
Plath, S. (2000). *The unabridged journals*. K. V. Kukil (Ed.). New York, NY: Anchor.