Interreg Danube Region

Co-funded by the European Union

REHEATEAST

Reheateast Pilot 2: District Heating and Cooling System (DHC) in Heat Energy Communities (HEC) / Távfűtési és -hűtési rendszer (DHC) hőenergia-közösségekben (HEC)

Activity A.2.3

INFOWARE ZRT.
Székhely: Határ út 22, Szigetszentmiklós, 2310 Hungary
Cgj. szám: Cg. 13-10-041366
Adószám: 10900516-2-13
Tel.: +36 24 465 171
Fax: +36 24 442 139
E-mail: office@infoware.hu
Web.: www.infoware.hu

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék **1**

Rövidítések jegyzéke **4**

Vezetői összefoglaló **7**

I. Távfűtés, távhűtés és hőenergia-közösségek: a szabályozási környezet és jogi háttér elemzése Magyarországon **8**

I. Bevezetés *8*

II. A magyar szabályozási környezet fő elemei *8*
2.1 A távhőszolgáltatás alapjogi kerete *8*
2.2 A végrehajtási rendeletek szerepe *9*
2.3 Az EU energiahatékonysági irányelveinek átültetése *9*
2.4 A távhűtés (DC) szabályozása *10*

III. A hőenergia-közösségek (HEC) jogi helyzete *10*

IV. Nemzetközi és uniós kontextus *11*

II. A hőtárolással kapcsolatos fogalmak és technológiák áttekintése **12**

I. A hőtárolás alapfogalmak *12*
1.1 Termikus energiatárolás (TES) *12*
1.2 Villamos energia hőenergiává alakítása (P2H) *12*
1.3 Hőenergia villamos energiává alakítása (H2P) *13*

II. A hőtárolás szerepe az energiarendszerben *13*

III. A hőtárolási technológiák fő típusai *14*
3.1 Érzékelhető hőtárolás *15*
3.2 Látens hőtárolás *15*
3.3 Termokémiai hőtárolás *16*

IV. A hőtárolási rendszerek műszaki paraméterei *16*
4.1 Főbb értékelési paraméterek *16*
4.2 TES technológiák összehasonlítása más energiatárolási módszerekkel *18*

V. Alkalmazási területek *18*
5.1 Távfűtési és távhűtési rendszerek *18*
5.2 Ipari alkalmazások *19*
5.3 Villamosenergia-hálózat és szabályozási piacok *19*
5.4 Épületenergetika és komfortszabályozás *19*

VI. Innovációk és trendek 20
6.1 Általános iparági innovációs trendek 20
6.2 Konkrét innovatív technológiák 21

VII. Nemzetközi példák 22
7.1 Siemens Gamesa ETES – Hamburg, Németország 22
7.2 Azelio TES.POD – Svédország / MBR Dubai 22
7.3 1414 Degrees – SiBox (Ausztrália) 23
7.4 Brenmiller Energy – bGen (Izrael / Olaszország / EU) 23
7.5 SaltX EnerStore – Luleå, Svédország 23

VIII. Hőtárolási rendszerek alkalmazhatósága Magyarországon 25

III. Működési példák és jó gyakorlatok az EU tagállamaiból 26

I. A távfűtési, távhűtési rendszerek és a hőenergia-közösségek együttműködési mintái 26

II. A használati esetek és technológiai minták bemutatása 27

III. EU-tagállami jó gyakorlatok 28
3.1 Dánia – a közösségi hőszolgáltatás legerősebb európai példája 28
3.2 Hollandia – alacsony hőmérsékletű közösségi távfűtési és -hűtési rendser új generációja 28
3.3 Ausztria – napenergia + hőtárolás + városi nagy hőszivattyúk 28
3.4 Németország – hőtervezési törvény, átfogó átállás és közösségi távhő 29

IV. EU-szintű projektek és tudásbázis bemutatása 29
4.1 MUSE-DHC: Közösségi irányítású távfűtési és -hűtési rendszerek fejlesztése és vizsgálata 30
4.2 ENABLE-DHC: Meglévő távfűtési rendszerek dekarbonizációs lehetőségeinek feltárása 31

V. EU-s hőenergia-közösségek létezése 33

IV. Lehetséges Pilot helyszínek Magyarországon 34

I. Bevezetés 34
1.1 Kapcsolódás a REHEATEAST projekt átfogó céljaihoz 34
1.2 Kapcsolódás a Specific Objective 2.1-hez 35
1.3 Kapcsolódás az Activity 2.3-hoz 35
1.4 A békéscsabai pilot hozzájárulása a Danube Region Programme céljaihoz 36
1.5 Kapcsolódás nemzeti, regionális és EU-s energiastratégiákhoz 36

II. Pilot leírás 37
2.1 Probléma meghatározása és kontextus 37
2.2 A jelenlegi helyzet elemzése 39
2.3 Optimalizációs célok 40
2.4 Együttműködési célok 40
2.5 Bevezetett megoldások és a pilot megvalósítási lépései 41
2.6 A pilot megvalósításának fő lépései és mérföldkövei 41

III. Elemzés és eredmények 43
3.1 Alkalmazott módszerek és eszközök 43
3.2 Hatásvizsgálat 43
3.3 Stakeholder engagement 45
3.4 Transferability – Átvihetőség és replikálhatóság 45
3.5 Fenntarthatóság 45
3.6 Potenciális integráció szakpolitikai ajánlásokba 46
3.7 Budget és költségek 46

IV. Következtetések 46
4.1 Fő tanulságok 46
4.2 A fő megállapítások összegzése 47
4.3 Mit érdemes másoknak átvenni? 47
4.4 Hosszú távú várható hatások 48

4.5 Ajánlások és javaslatok a továbbfejlesztésre 48

V. A beruházás pénzügyi forrásai (vegyes finanszírozási lehetőségek) 49

I. Magyarországi pályázati források 49
1.1 Megújuló alapú hőtermelés fejlesztése 49
1.2 A távfűtési infrastruktúra korszerűsítése (INFRA-program) 49

II. Nemzetközi finanszírozási lehetőségek 50
2.1 ESCO-modellek alkalmazása a hőtárolási és távhőrendszeri beruházásokban 51

III. A nagy léptékű hőtároló rendszerek finanszírozási modelljei Európában 51
3.1 A Vojens, Dronninglund és Høje Taastrup projektek jelentősége 52
3.2 Többforrású finanszírozás európai várospolitikai projektekben: a REMOURBAN tanulságai 52
3.3 Miskolc szerepe a REMOURBAN projektben 53

IV. Következtetések: a hőtárolási beruházások jövője Magyarországon 54
4.1 Pályázati források 54
4.2 Kedvezményes fejlesztési hitelek 55
4.3 Garanciarendszerek (pl. InvestEU) 55
4.4 ESCO-modellek és EPC szerződések 55

VI. A pilot projektek összehangolása a nemzeti és uniós stratégiákkal 56

Irodalomjegyzék 58

Rövidítések jegyzéke

Rövidítés	Jelentés
aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserve; automatikus frekvenciahelyreállító tartalék
ATES	Aquifer Thermal Energy Storage; vízadó rétegben történő hőtárolás
BESS	Battery Energy Storage System; akkumulátoros energiatároló rendszer
BTES	Borehole Thermal Energy Storage; fúrt kutas hőtárolás
CAPEX	Capital Expenditure; beruházási költség
CEC	Citizen Energy Community; polgári energiaközösség
CEP	Clean Energy Package; Tiszta Energia Csomag
CH&C	Community Heating & Cooling; közösségi fűtés és hűtés
CHP	Combined Heat and Power; kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés
CINEA	European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency; EU végrehajtó ügynökség
CO_2	Szén-dioxid
COP	Coefficient of Performance; teljesítményhatásfok
CSC	Collective Self-Consumption; kollektív önfogyasztás
D2Grids	5. generációs távhő-/hűtésrendszerek EU projektje
DC	District Cooling; távhűtés
DHC	District Heating and Cooling; távfűtés és távhűtés
DH	District Heating; távfűtés
DRP	Danube Region Programme; Duna Régió Program
EED	Energy Efficiency Directive; Energiahatékonysági Irányelv
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development; Európai Újjáépítési és Fejlesztési Bank

EIB	European Investment Bank; Európai Beruházási Bank
ENABLE-DHC	EU projekt meglévő DHC rendszerek dekarbonizációjára
EPC	Energy Performance Contracting; teljesítmény alapú energetikai szerződés
ESCO	Energy Service Company; energiaszolgáltató társaság
ETS	Emissions Trading System; EU kibocsátáskereskedelmi rendszer
EU	Európai Unió
FCR	Frequency Containment Reserve – primer frekvenciavédelem
GEG	Gebäudeenergiegesetz; Német épületenergetikai törvény
GFO	Gazdasági Főosztály kód (pályázati besorolás)
GJ	Gigajoule; energiamértékegység
GW / GWh	Gigawatt / gigawattóra
HEC	Heat Energy Community; hőenergia-közösség
H2P	Heat-to-Power; hő → villamos energia átalakítása
H2020	Horizon 2020 – EU kutatási program
ICT	Information and Communication Technology; infokommunikációs technológia
IEA ES TCP	International Energy Agency – Energy Storage Technology Collaboration Programme
InvestEU	EU klíma- és energiaprojektek garanciaprogramja
IP	Investment Plan; beruházási terv (MUSE-DHC)
KPI	Key Performance Indicator; teljesítménymutató
LT / VLT	Low Temperature / Very Low Temperature – alacsony / nagyon alacsony hőmérsékletű hálózatok
LTES	Large Thermal Energy Storage; nagy léptékű hőtárolás
MA	Modernizációs Alap – ETS-alapú hazai energiafinanszírozási alap

mFRR	Manual Frequency Restoration Reserve; manuális frekvenciahelyreállító tartalék
MUSE-DHC	Community-led DHC fejlesztést támogató LIFE projekt (2025–2028)
MW / MWh	Megawatt / megawattóra; teljesítmény / energiamennyiség
NEKT	Nemzeti Energia- és Klímaterv
NES 2030/2040	Nemzeti Energia Stratégia 2030 / 2040
OPEX	Operational Expenditure; működési költség
PAW	Aardgasvrije Wijken; holland „Gázmentes Városrészek” program
PCM	Phase Change Material; fázisváltó anyag
P2H	Power-to-Heat; villamos energia → hő
PTES	Pit Thermal Energy Storage; földmedencés hőtároló
REC	Renewable Energy Community; megújuló energiaközösség
RED III	Renewable Energy Directive III; EU megújulóenergia-irányelv (2023/2413)
RES	Renewable Energy Sources; megújuló energiaforrások
SDH	Solar District Heating; napenergiás távfűtés
TCP	Technology Collaboration Programme (IEA)
TES	Thermal Energy Storage; hőtárolási technológiák
TTES	Tank Thermal Energy Storage; tartályos hőtárolás
URM	Urban Regeneration Model; városi megújítási modell (REMOURBAN)
Wcw	Warmtecollectieve wet; holland kollektív hőtörvény (2026-tól)
WPG	Wärmeplanungsgesetz; német hőtervezési törvény

Vezetői összefoglaló

A Reheateast Pilot 2 tanulmány középpontjában annak vizsgálata áll, hogy miként alakítható ki a Duna-régió keleti térségében olyan, megújuló energiaforrásokon alapuló, korszerű és közösségi működésű hőenergia-ellátási modell, amely egyszerre csökkenti a fosszilisenergia-igényt, növeli a helyi ellátásbiztonságot, valamint illeszkedik az EU és Magyarország dekarbonizációs céljaihoz. A dokumentum részletesen elemzi a hazai és európai szabályozási környezetet, bemutatja a hőtárolási technológiák teljes spektrumát, feltárja a nemzetközi működési mintákat, és ezek alapján megállapítja, hogy Magyarország kivételes adottságokkal rendelkezik egy megújuló hőenergia-közösség (HEC) létrehozásához.

A tanulmány első része a magyar távhő- és hűtési szektor jogi kereteit elemzi. Az elmúlt évek jogszabályi módosításai jelentősen megerősítették a megújuló és maradékhő integrációjának lehetőségét. Ezzel párhuzamosan Magyarország átültette az EU energiahatékonysági és megújulóenergia-irányelveit (EED, RED III), amelyek a modern mérési, távleolvasási és energiahatékonysági követelmények révén a távhőszolgáltatás új, digitális korszakát készítik elő. A hőenergia-közösségek jogi háttere ugyan még nem teljes, ám a villamos energiaközösségek szabályozási logikája már most lehetővé teszi pilot-jellegű hőenergia-közösség projektek indítását, különösen ott, ahol helyi megújuló vagy ipari hulladékhő áll rendelkezésre.

A dokumentum második nagy egysége a hőtárolási technológiák részletes áttekintését adja, bemutatva az érzékelhető, látens és termokémiai hőtároló rendszerek működését, paramétereit és alkalmazási lehetőségeit. A hőtárolás szerepe az energiarendszerben már nem csupán a hőingadozások kiegyenlítésére korlátozódik, mivel a Power-to-Heat és Heat-to-Power technológiákkal kombinált hőtárolók képesek a villamosenergia-hálózat stabilizálására, a megújulóenergia-korlátozás csökkentésére és ipari hulladékhő hatékony visszanyerésére.

A tanulmány harmadik része uniós és tagállami jó gyakorlatok széles körét elemzi. A dán, holland, osztrák és német példák azt mutatják, hogy a közösségi tulajdonú vagy közösségi irányítású távhőrendszerek (DH) hosszú távon a leginkább fenntartható modellek, mivel nonprofit működési logikájuk révén átlátható költségstruktúrát biztosítanak, és erős társadalmi támogatottságot élveznek.

Ezekből kiindulva Békéscsaba esettanulmánya arra mutat rá, hogy a város geológiai adottságai, hőkörzeti struktúrája alkalmassá teszik arra, hogy Magyarország egyik első, moduláris geotermikus alapú hőenergia-közösségét hozza létre. A három hőkörzet éves hőigénye teljes mértékben fedezhető egy új termelő és egy vagy több visszasajtoló kútra épülő rendszerrel, miközben a fürdő meglévő termálkútja redundáns hőforrásként növeli az ellátásbiztonságot.

A tanulmány végül azt is bizonyítja, hogy a békéscsabai modell kiválóan replikálható más magyarországi városokban is, különösen ott, ahol a hőfogyasztás térben koncentrált és rendelkezésre állnak felhasználható termálkészletek. A pilot nem csupán energetikai fejlesztés, hanem stratégiai előrelépés a magyar hőszektornak.

I. Távfűtés, távhűtés és hőenergia-közösségek: a szabályozási környezet és jogi háttér elemzése Magyarországon

I. Bevezetés

A távfűtési (District Heating, DH) és távhűtési (District Cooling, DC) rendszerek Magyarország energetikai infrastruktúrájának meghatározó elemei, több százezer háztartás és közintézmény hőellátását biztosítva. Működésük és fejlesztésük szigorú jogi és szabályozási keretek között zajlik, amelyek az elmúlt években jelentősen átalakultak az Európai Unió energiahatékonysági, klímavédelmi és megújulóenergia-célkitűzéseihez való igazodás eredményeként. A hazai jogalkotás célja e folyamatban a hőellátás fenntarthatóságának, ellátásbiztonságának és átláthatóságának erősítése, valamint a fogyasztói költségek mérséklése.

A központi, fosszilis alapú hőtermelés részleges kiváltását egyre inkább a decentralizált, megújuló- vagy maradékhőre épülő helyi rendszerek támogatása szolgálja. E szemléletváltás egyik új iránya a hőenergia-közösségek (HEC) koncepciója, amely a helyi hőtermelők (pl. geotermikus vagy ipari hulladékhő-források) és fogyasztók közösségi együttműködésére épül. Bár a hőenergia-közösségek jogi környezete még formálódik, a szabályozási fejlemények iránya már most azt jelzi, hogy a közösségi alapú, megújuló hőtermelési modellek a következő évek kiemelt hazai fejlesztési területei lesznek [1].

A távhőszolgáltatás jogi hátterének alapját továbbra is a 2005. évi XVIII. törvény adja, amelyet több átfogó módosítás korszerűsített a maradékhő-hasznosítás és a megújuló hőtermelés erősítése érdekében [2]. A távhűtés szabályozása jelenleg még kevésbé kiterjedt, de a jogalkotó a távfűtési rendszer mintájára már megkezdte annak harmonizálását, előkészítve a szektor technológiai és piaci fejlődését [3].

II. A magyar szabályozási környezet fő elemei

2.1 A távhőszolgáltatás alapjogi kerete

A magyar távhőszolgáltatás jogi alapját a 2005. évi XVIII. törvény jelenti, amely a szolgáltatás szereplőinek jogait, kötelezettségeit, az engedélyezési folyamatot és az árszabályozást is meghatározza. A törvény célja a biztonságos, megfizethető és átlátható távhőszolgáltatás biztosítása [2]. A szabályozást a 2025. évi XLV. törvény jelentősen módosította, fő iránya a hőpiac megújuló- és maradékhő-integrációjának ösztönzése volt, annak érdekében, hogy az energiahatékonyság növekedjen és a lakossági költségek csökkenjenek. A jogalkotó olyan szabályozást alakított ki, amely lehetővé teszi a maradékhő és alternatív hőforrások rugalmas rendszerbe illesztését, valamint a származási garanciák hőpiaci alkalmazását [4].

Az új szabályozás lényeges elemei:

- *A maradékhő jogi kereteinek megerősödése*: A törvény pontosítja, hogy milyen feltételek mellett csatlakozhat egy maradékhő-termelő a távhőrendszerhez (pl. ipari létesítmény, adatközpont).
- *A hőszármazási garancia rendszer megjelenése:* Ez lehetővé teszi annak tanúsítását, hogy a hő megújuló vagy alternatív forrásból származik.
- *A közcélú megváltás lehetősége:* Ha a szolgáltatásbiztonság veszélybe kerül, az állam vagy az önkormányzat átveheti egy hőtermelő létesítmény működtetését.

2.2 A végrehajtási rendeletek szerepe

A szabályozási környezetet jelentősen formálja a 238/2025. (VII.31.) kormányrendelet, amely a távhőszolgáltatásról szóló törvény végrehajtási rendeleteinek módosítását tartalmazza [3]. A rendelet több területen is új szabályokat hoz, amelyek erősítik az önkormányzatok és szolgáltatók hosszú távú tervezési kötelezettségét, valamint megteremtik az EU-s források lehívásának előfeltételeit.

Legfőbb újítások:

- *Maradékhő-minősítés pontosítása:* Tisztázza a „maradékhő” fogalmát, annak mennyiségi, minőségi és hőmérsékleti követelményeit. Pontosan meghatározza az értékesítés engedélyezését.
- *Eljárásrend a közcélú megváltáshoz:* Rendezett és részletes eljárást vezet be a közcélú megváltásokhoz, beleértve a szakértői szerepet és a kártalanítás szabályait.
- *Fejlesztési tervek kötelezettsége:* A távhőszolgáltatóknak részletes, többéves fejlesztési tervet kell készíteniük, amely figyelembe veszi az EU által meghatározott „hatékony távfűtési rendszer” kritériumait.
- *Helyi hőhasznosítási tervek:* A 45 000 főnél nagyobb települések számára kötelező a hőellátási rendszer átfogó stratégiai tervezése [3].

2.3 Az EU energiahatékonysági irányelveinek átültetése

Az EU 2012/27/EU és 2018/2002/EU irányelvei a tagállamok számára kötelező energiahatékonysági követelményeket fogalmaznak meg. Magyarország ezeket 2023–2024 során ültette át a gyakorlatba, többek között a mérés-elszámolás, a távleolvashatóság és a költségmegosztás terén [1] [5]. Ez az átállás erősíti a rendszer átláthatóságát, és előkészíti a modern, digitális mérési infrastruktúrát.

A legfontosabb követelmények:

- 2027 től minden hőfogyasztás és melegvízmérőnek távleolvashatónak kell lennie; ahol ez nem kivitelezhető, ott költségmegosztók alkalmazása válik kötelezővé.
- Az energiamegtakarítási célok teljesítéséhez egységes költséghatékonysági értékelést kell alkalmazni.
- Az önkormányzatoknak 2024-ig saját energiahatékonysági rendeletet kell alkotniuk [1] [5].

2.4 A távhűtés (DC) szabályozása

A távhűtés Magyarországon még kevéssé elterjedt, de az EU klímacéljai, a nyári hőhullámok, valamint a korszerű épületenergetika felértékelik a jelentőségét. A távhűtési szolgáltatásra vonatkozó 201/2016. (VII.21.) kormányrendelet módosításai 2025–2026-ban összhangba hozták a magyar szabályozást az uniós megújulóenergia irányelvekkel, különös tekintettel a RED III-ra (2023/2413 EU). [5] [6] [7]

A jogszabályi változások célja:

- a távhűtési rendszerek fejlesztésének ösztönzése,
- a megújuló vagy hulladékhőt is hasznosító hűtési rendszerek támogatása,
- a szolgáltatók működési kereteinek egységesítése,
- a technológiai innovációk és energiahatékonysági fejlesztések ösztönzése
- a megújuló energiaforrások (pl. geotermia, biomassza) hatékonyabb bevonása a hűtési rendszerekbe. [5] [6] [7]

III. A hőenergia-közösségek (HEC) jogi helyzete

A hőenergia-közösségek még nem rendelkeznek önálló, részletes jogszabályi háttérrel Magyarországon. A jelenlegi szabályozás inkább az energiaközösségek villamosenergia-modelljére építve teremti meg a hőenergia-közösségek működésének elvi alapját. A decentralizált hőtermelés támogatása, például maradékhő és megújuló hőtermelők integrációjával, egyértelműen kedvez a hőenergia-közösségek jövőbeli elterjedésének, de gyakorlati megvalósításuk előtt több akadály áll. A technikai korlátok, hiányzó részletszabályok, valamint a szolgáltatói monopóliumhoz kötődő hálózati sajátosságok mind akadályt képeznek [1] [3] [4].

A jelenlegi jogi környezet azonban már most is lehetővé teszi pilot jellegű hőenergia-közösség projektek elindítását, különösen olyan helyszíneken, ahol rendelkezésre áll helyi hulladékhő vagy megújuló hőforrás. Lásd az 1. táblázatban a jogi környezet jelenlegi állapotának összefoglalását.

1. Tábla: A jogi környezet jelenlegi állapota

Szabályozási elem	Állapot	Megjegyzés
Hőenergia-közösség (HEC) fogalom definíciója	részben rendezett	villamos energiára kész keretek adaptálhatók
Hőenergia-közösség (HEC) működési feltételei	hiányos	nincs külön hőspecifikus rendelet
Csatlakozás a hálózathoz	szabályozott	távhőszolgáltatói monopólium korlátai miatt bonyolult
Hőtermelők (geotermia, maradékhő) integrációja	jól szabályozott	2025-ös törvénymódosítás után
Közösségi tulajdonlási modell	nincs önálló szabályozás	EU-s iránymutatások irányadóak

IV. Nemzetközi és uniós kontextus

A hazai szabályozás erősen illeszkedik a jelentős európai keretszabályokhoz, különösen:

- a RED III megújulóenergia irányelvhez (2023/2413 EU),
- a módosított EED energiahatékonysági irányelvhez (2023/1791 EU),
- az EU Modernizációs Alap fejlesztéspolitikájához, amely már 95 milliárd forintos támogatási csomaggal segíti a távhőmodernizációt. [3] [7]

Az európai uniós energiapolitikai irányok egyértelműen a decentralizált energiatermelés, a megújuló alapú hőtermelés és a fogyasztók aktív részvételére épülő közösségi modellek erősítését helyezik előtérbe. Ezek a törekvések nem csupán technológiai megújulást jelentenek, hanem a hőenergia-piac működésének mélyreható átalakulását is, amelyben a helyi közösségek és önkormányzatok egyre nagyobb szerepet tölthetnek be.

A hazai szabályozási modernizáció tehát nem izolált folyamat, hanem szorosan illeszkedik abba az uniós energiapolitikai keretrendszerbe, amely 2030-ig a fűtési-hűtési szektor jelentős, strukturális átalakítását tűzte ki célul. E célok közé tartozik a megújuló forrásokra épülő hőtermelés részarányának növelése, a rugalmas és intelligens hőellátási rendszerek elterjedése, valamint a közösségi és fogyasztóközpontú energiamegoldások megerősítése. A magyar szabályozás fejlődése így egy szélesebb európai átmenet részeként értelmezhető, amely a hőenergia-közösség modellek bevezetéséhez szükséges keretek fokozatos megteremtésén keresztül a hazai energiapiac hosszú távú fenntarthatóságát is erősíti.

II. A hőtárolással kapcsolatos fogalmak és technológiák áttekintése

I. A hőtárolás alapfogalmak

1.1 Termikus energiatárolás (TES)

A termikus energiatárolást (Thermal Energy Storage, TES) az energiatárolás olyan formája, amelyben az energia hő formájában kerül eltárolásra, majd később közvetlen hőként vagy villamos energiává alakítva hasznosítható. A TES technológiák célja az energiatermelés és a felhasználás időbeli szétválasztása, amellyel csökkenthetőek a csúcsterhelések, növelhető a rendszer rugalmassága, valamint mérsékelhető a fosszilis energiafelhasználás. A TES rendszerek ipari, kommunális és távhőrendszerekben egyaránt alkalmazhatók, különösen ott, ahol a hőigény ingadozása jelentős, vagy ahol nagy mennyiségű megújuló energia integrációja okoz hálózati kiegyenlítési kihívásokat [8].

A TES technológiák alapvetően három fizikai elv szerint csoportosíthatók:

- *Érzékelhető (sensible) hőtárolás:* például víz vagy egyéb folyadék melegítése/hűtése (pl. hangolt rétegződésű hideg-víztartályok a hűtési célú TES-ben).
- *Látens (latent) hőtárolás:* fázisváltó anyagok (pl. jég) alkalmazásával, ahol az olvadás/fagyás hőtárolási potenciálja kerül kihasználásra.
- *Termokémiai (thermo-chemical) tárolás:* reverzibilis kémiai reakciók segítségével extrém nagy energiasűrűség érhető el [8].

Az Energy Storage csapata nagyméretű hőtárolók (Large Thermal Energy Storages, LTES) fejlesztését vizsgálja az IEA (Nemzetközi Energiaügynökség) Technológiai Együttműködési Programjának keretin belül, különösen távhő- és távhűtési rendszerekben. A legfrissebb technológiai irányok között szerepelnek a BTES (borehole), ATES (aquifer), PTES (pit storage) és TTES (tank-based) tárolók, amelyek akár több GWh hőenergiát képesek alacsony veszteséggel hosszú időn át eltárolni, jelentős rendszerirányítási előnyökkel [9].

1.2 Villamos energia hőenergiává alakítása (P2H)

A villamos energia hővé alakítása (Power-to-Heat, P2H) technológiák célja, hogy a villamos energiát közvetlenül hővé alakítsák. Ennek tipikus eszközei az elektromos kazánok és ellenállásos fűtőbetétek. A P2H különösen fontos szerepet játszik a nagy megújuló részarányú villamosenergia-rendszerekben, mivel lehetővé teszi a termelési csúcsok idején keletkező, egyébként korlátozásra (curtailment) kerülő villamos energia hatékony hőtárolását. A P2H+TES

rendszerek képesek a villamosenergia-rendszer számára szabályozási tartalékként, illetve piaci kiegyenlítő eszközként is működni, miközben a hőoldali ellátás biztonságát is javítják [10].

1.3 Hőenergia villamos energiává alakítása (H2P)

A hőenergia villamos energiává alakítása (Heat-to-Power, H2P) megoldások a hőt villamos energiává alakítják vissza, tipikusan gőzturbinák, ORC (Organic Rankine Cycle) rendszerek vagy egyéb hőerőgépek segítségével. Ennek alkalmazása lehet akár ipari hulladékhő-hasznosítás, nagytárolós rendszerekben eltárolt hő visszaalakítása csúcsidőszakban vagy gőz- és hőfolyamatokra épülő decentralizált energiatermelés. Bár a H2P rendszerek általában alacsonyabb hatásfokúak, stratégiai szerepük nő a szektorok közötti energiarugalmasságmegteremtésében. A nagy hőtároló rendszerekben (LTES) a hő–áram átalakítás különösen előnyös lehet, ha a távhőrendszerek és az elektromos hálózat működésének összehangolása a cél [8].

II. A hőtárolás szerepe az energiarendszerben

A modern energiarendszerek egyik meghatározó kihívása a megújuló energiaforrások termelésének ingadozó jellege, valamint a fogyasztói igények folyamatosan változó dinamikája. A termelési és a felhasználási időpont közötti eltérés kezelése érdekében a Thermal Energy Storage (TES) technológiák kulcsfontosságú szerepet töltenek be az energiarendszerek rugalmasságának, stabilitásának és gazdasági hatékonyságának növelésében. A hő formájában történő energiatárolás lehetővé teszi, hogy a megújuló-energia-többlet olyan időszakokban kerüljön hasznosításra, amikor a hő- vagy villamosenergia-igény magasabb, ezáltal csökkentve a csúcsterhelésből fakadó hálózati és termelési terheket [10].

A TES rendszerek működése közvetlenül hozzájárul a villamosenergia-hálózat és a hőellátási infrastruktúrák optimalizálásához. A hőtárolók képesek ellátni az alábbi energiarendszeri funkciókat:

- *A villamos hálózat tehermentesítése:*
  A tárolók lehetővé teszik, hogy a villamosenergia-termelés csúcsidejében keletkező többlet átalakuljon hővé, amely később a hőfogyasztási csúcsok idején hasznosítható. Ez különösen fontos a Power-to-Heat (P2H) rendszerek esetében, amelyek, a Task 39 jelentése szerint, a villamos és hő szektor közötti hatékony szektorkapcsolatot biztosítják [9].

- *A kiegyenlítő energia iránti igény csökkentése:*
  A hőtárolók stabilizálják a megújuló energiával működő rendszerek kimenetét, mérsékelve a rendszeroperátorok által igényelt tartalékok mennyiségét.

- *A megújuló energia korlátozásának (curtailment) visszaszorítása:*
  A DOE ténylapja és az LTES rendszerekre vonatkozó kutatások szerint a hőtárolók lehetővé teszik, hogy a hálózat által nem fogadható elektromosenergia-többlet később hő formájában hasznosuljon, jelentősen csökkentve a „veszni hagyott” zöldenergia mennyiségét [11].

- *A földgázigény csökkentése a távhőrendszerekben:*
  A nagyméretű hőtárolók, különösen a PTES, TTES, BTES és ATES megoldások, a távfűtési rendszerek számára lehetővé teszik a fosszilis tüzelőanyag-alapú termelés jelentős részének kiváltását, szezonális szinten is. Az IEA ES TCP Task 39 kimutatásai alapján a több tízezer–százezer m³ kapacitású LTES rendszerek képesek a távhőtermelés karbonintenzitását radikálisan mérsékelni [9].

- *Ipari folyamatok energiahatékonyságának növelése:*
  A TES rendszerek hozzájárulnak a technológiai hulladékhő visszanyeréséhez és a folyamatok stabilabb üzemeltetéséhez, ami a Task 39 Final Report eredményei szerint számos ipari szektorban mérhető energia- és költségmegtakarítást eredményez [9].

A hőtárolókban eltárolt energia nemcsak hő formájában hasznosítható, hanem villamos energiává is visszaalakítható (Heat-to-Power, H2P). Az ilyen konverziós rendszerek (pl. gőzturbinák, ORC-ciklusok) hozzájárulnak a kiegyenlítő és kapacitáspiaci szolgáltatások biztosításához, erősítve az energiarendszer szabályozhatóságát. A DOE TES áttekintése kiemeli, hogy a kombinált hő- és áramtermelési rendszerekben (CHP) alkalmazott hőtárolás csökkentheti a beruházási költségeket, javíthatja a berendezések kihasználtságát és növelheti az energiaellátás hatékonyságát [11].

A Task 39 Final Report eredményei alapján a nagyméretű, több GWh kapacitású LTES rendszerek nem csupán operatív rugalmasságot biztosítanak, hanem lehetővé teszik a távfűtési rendszerek mély dekarbonizációját, a hálózati terhelések szezonális szintű kiegyenlítését, valamint a P2H rendszereken keresztül a villamosenergia-rendszer integrált stabilizálását [9].

III. A hőtárolási technológiák fő típusai

A hőtárolási technológiák három nagy kategóriába sorolhatók, érzékelhető, látens és termokémiai hőtárolás. Ezek mindegyike eltérő fizikai elven alapul, különböző energiasűrűséget, hőmérséklettartományt és alkalmazási területet biztosít. A kategorizálás megfelel a DOE és a Sandia National Laboratories által alkalmazott nemzetközi szakmai rendszernek [12].

3.1 Érzékelhető hőtárolás

Az érzékelhető hőtárolás a legegyszerűbb és legszélesebb körben alkalmazott TES típus. Alapelvét tekintve az energia a tárolóközeg hőmérsékletének változásával kerül eltárolásra vagy felszabadításra. A tárolt hő mennyisége arányos a közeg tömegével, fajhőjével, és a hőmérséklet-változás nagyságával. A DOE és Springer szerint az érzékelhető hőtárolók előnyei közé tartozik a stabil működés, az alacsony költség, a hosszú élettartam, valamint a magas, jellemzően 80–90% körüli hatásfok [8] [13].

- *Leggyakoribb tárolóanyagok* [12]*:*
  víz (pl. nagy térfogatú puffertárolók),
  kőzet és kavicságy (rock-bed tárolók),
  beton (betonmasszívum hőtárolók),
  olvadt sók (nagy hőkapacitású, magas hőmérsékletű közeg)

- *Jellemző alkalmazási területek* [9]*:*
  távfűtési hőtárolók (pl. PTES, TTES rendszerek),
  ipari hulladékhő tárolása,
  koncentrált napenergia (CSP) rendszerek.

Az érzékelhető hőtárolók dominálnak a nagy léptékű (LTES) rendszerekben is, amelyeket az IEA Task 39 a távfűtés dekarbonizációjának meghatározó technológiájaként azonosított [9].

3.2 Látens hőtárolás

A látens hőtárolás (Latent Heat Storage, LHS) a fázisváltás során felszabaduló vagy elnyelt rejtett hőt használja energiaként. A fázisváltás, például szilárd állapotból folyadék állapotba vagy fordítva, során az anyag nagy mennyiségű energiát képes tárolni közel állandó hőmérsékleten, ami nagy előny a hőkomfort- és ipari szabályozási célokban. A DOE és Sandia szerint a látens tárolók fő előnyei s magas energiasűrűség (nagyobb, mint az érzékelhető hőtárolóknál), a stabil hőmérséklet profil a fázisváltás idején és a kompaktabb megoldások, amelyek épületgépészeti és ipari alkalmazásokhoz előnyösebbek [12].

- *Tipikus PCM-anyagok (Phase Change Material):*
  jég–vízrendszerek,
  paraffin és szerves anyagú PCM-ek,
  sóhidrátok,
  speciális ipari olvadékok (pl. magas hőmérsékletű sókeverékek).

A Springer és Sandia szerint a modern PCM-ek fejlesztése kiterjed a szuperhűlés csökkentésére, a korrózióvédelmi megoldásokra, valamint a hővezetés javítására, ami a technológia szélesebb körű alkalmazását teszi lehetővé [12] [13].

3.3 Termokémiai hőtárolás

A termokémiai hőtárolás (Thermochemical Energy Storage, TCES) során a hőt kémiai kötéseken keresztül tárolják. A folyamat reverzibilis, mivel hő bevitelével a kémiai kötés felbomlik, vagy hő kivonásával a reakció visszafordul és ekkor a rendszer nagy sűrűségű hőenergiát ad vissza. A DOE és Sandia egybehangzóan hangsúlyozza, hogy a termokémiai tárolók rendkívül nagy energiasűrűséggel rendelkeznek, gyakorlatilag veszteségmentesen képesek hosszú távon energiát tárolni és magas hőmérsékletű alkalmazásokra (450–750 °C vagy felette) is alkalmasak, különösen ígéretesek szezonális energiatárolásra és ipari folyamatokban [12].

- *Példák TCES rendszerekre*:
  fém-oxid alapú rendszerek,
  adszorpciós / abszorpciós hőtárolók (pl. szilikagél–vízrendszerek),
  magas energiasűrűségű sóalapú rendszerek.

A DOE TES projektlistájában külön kiemeli a nanostrukturált sóalapú és szilárd-állapotú kémiai tárolóanyagok innovációit, amelyek akár hónapokig képesek energiát tárolni minimális hőveszteséggel [14].

IV. A hőtárolási rendszerek műszaki paraméterei

A hőtárolási rendszerek teljesítményének és alkalmazhatóságának értékelése több, egymással összefüggő műszaki paraméter alapján történik. Ezek a jellemzők határozzák meg, hogy az adott technológia milyen mértékben alkalmas villamos- és hőenergia-rendszerek rugalmasságának növelésére, illetve milyen szerepet tölthet be a távfűtési, ipari vagy épületenergetikai felhasználásban.

A következő értékelési szempontokat a U.S. Department of Energy (DOE) és a Sandia National Laboratories is meghatározóként jelöli meg a TES technológiák összehasonlításában [8] [12].

4.1 Főbb értékelési paraméterek

- *Tárolókapacitás (MWh):*
  A tároló rendszerben elhelyezhető hőenergia mennyisége. A Sandia National Laboratories TES technológiai összefoglalója szerint az érzékelhető, látens és termokémiai hőtároló rendszerek akár több GWh tartományú, nagy léptékű (LTES) tárolásra is alkalmasak, különösen távfűtési alkalmazásoknál.

- *Töltési és kisütési teljesítmény (MW):*
  Az a teljesítményszint, amellyel a hőtároló tölthető és üríthető. Nagy teljesítményű P2H rendszerek esetén ez lehetővé teszi a villamosenergia-felesleg gyors hővé alakítását.

- *Hőmérséklettartomány (pl. 55–800 °C):*
  A technológiai típustól függően eltérő. Az érzékelhető hőtárolás jellemzően alacsony–közepes hőmérséklet (55–300 °C). Az olvadt só tároló közepes–magas hőmérséklet (250–600 °C). A termokémiai rendszerek, akár 450–750 °C vagy magasabb.

- *Válaszidő (ms–min):*
  A töltési/kisütési sebesség fontos tényező a villamosenergia-hálózat rugalmassága szempontjából. A DOE szerint a TES rendszerek alkalmazásától függően gyors (másodperces) vagy lassabb (perces) válaszidők egyaránt megvalósíthatók.

- *Hatásfok (80–98%):*
  A különböző hőtárolási technológiák eltérő hőtárolási és visszanyerési hatásfokkal rendelkeznek. A DOE TES Fact Sheet szerint az érzékelhető és látens hőtároló rendszerek akár 80–90% körüli hatásfokkal is működhetnek, míg bizonyos ipari rendszerek még magasabb, közel 98%-os ciklushatékonyságot érhetnek el.

- *Élettartam (5–60 év):*
  A tárolóanyag és a tartálytechnológia függvényében jelentősen eltérhet. A Sandia National Laboratories vizsgálatai szerint a víztárolók és beton-tárolók több évtizedes élettartammal rendelkeznek, míg a PCM rendszerek rövidebb, 5–20 évvel az anyagfáradás miatt. Nagy léptékű PTES/TTES tárolóknál általában 30–60 évvel számolnak, a megfelelő karbantartás mellett.

- *Ciklusszám:*
  A hőtárolók ciklusállósága különösen fontos a nagy igénybevételű alkalmazásoknál. A DOE számos TES technológia esetében kiemeli a magas ciklusélettartamot, amely lehetővé teszi a napi töltési-kisütési profilok hosszú távú fenntarthatóságát.

- *Kompatibilitás hőhordozó közegekkel:*
  A TES rendszerek eltérő hőhordozókat használhatnak, mint például gőz vagy víz/gőz kevert rendszerek, termálolaj és olvadt sók. A kompatibilitás meghatározza a rendszer kapcsolhatóságát ipari hőfolyamatokhoz és távfűtő hálózatokhoz.

4.2 TES technológiák összehasonlítása más energiatárolási módszerekkel

A nemzetközi szakirodalom, különösen a DOE hosszú távú energiatárolási stratégiája és a Sandia National Laboratories összehasonlító elemzései [12] [15], kiemelik, hogy a hőtárolási technológiák (TES) az elektrokémiai, mechanikai és kémiai energiatárolási megoldásokkal összevetve széles hőmérsékleti és teljesítménytartományban alkalmazhatók és költséghatékonyak nagy léptékű energiatárolási feladatok esetén. A technológiai összehasonlítások rámutatnak, hogy a TES különösen a hosszú távú (óráktól napokig terjedő) tárolási igények esetén nyújt optimális és költséghatékony megoldást a nagy léptékű hálózati alkalmazásokban [16]. Számos rendszerben képesek közel 100%-os ciklusszintű hővisszanyerést biztosítani, különösen érzékelhető hőtároló rendszerek esetében, ahol a hőtároló közeg vesztesége minimális. A Sandia National Laboratories TES-technológiai áttekintése konkrétan kiemeli, hogy a hőenergia-tárolás, különösen nagyméretű érzékelhető hőtárolók esetén, a hosszú távú energiatárolási megoldások egyik legmegbízhatóbb és legnagyobb hatásfokú alternatívája [12].

V. Alkalmazási területek

A Thermal Energy Storage (TES) rendszerek szerepe egyre meghatározóbbá válik a modern energiarendszerekben, mivel egyszerre képesek kezelni a megújuló energiatermelés ingadozásait, tehermentesíteni az elektromos hálózatot, stabilizálni a hőellátási rendszereket és növelni az ipari folyamatok energiahatékonyságát. A nemzetközi kutatások, különösen a U.S. Department of Energy (DOE), a Sandia National Laboratories és az IEA Energy Storage TCP vizsgálatai, egységesen hangsúlyozzák, hogy a TES rendszerek a következő évtized egyik legfontosabb energiaátmeneti technológiáját jelentik [17] [18].

5.1 Távfűtési és távhűtési rendszerek

A távfűtési és távhűtési rendszerekben a hőtárolás elsősorban a termelési és fogyasztási görbék időbeli eltéréseit hivatott kiegyenlíteni. A TES ilyenkor lehetővé teszi a csúcsterhelések levágását, a földgáztüzelésű csúcsforrások kiváltását, és azt, hogy a villamosenergia-rendszerben keletkező többlet – például megújuló termelési csúcsok idején – hő formájában tárolódjon. Az IEA ES TCP Task 39 jelentése szerint a borehole- (BTES), aquifer- (ATES), pit- (PTES) és nagy térfogatú tartályos (TTES) tárolók akár több gigawattóra hőenergiát is képesek alacsony veszteséggel eltárolni, ami különösen értékessé teszi őket olyan távhőpiacokon, ahol a szezonális hőigény jelentősen ingadozik [9]. Ezek a rendszerek több hőmérséklettartományban üzemeltethetők: a vízalapú tárolók 55–120 °C, míg az ásványi kőzeten vagy olvadt són alapuló rendszerek akár 250–800 °C üzemi hőmérsékletet is elviselnek.

5.2 Ipari alkalmazások

Az ipari szektorban, amely globálisan a teljes végső energiafelhasználás 30–40%-át adja, a hőenergia tárolása különösen fontos szerephez jut. Az ipari folyamatok jelentős mennyiségű hulladékhőt bocsátanak ki, amely azonban időben vagy hőmérsékletben nem esik egybe a hőigénnyel. A DOE és az Oak Ridge National Laboratory (ORNL) vizsgálatai rámutatnak, hogy a TES rendszerek lehetővé teszik e hulladékhő késleltetett, célzott felhasználását, csökkentve ezzel az ipari energiafogyasztást, javítva a folyamatszabályozást és mérsékelve a fosszilis tüzelőanyag-felhasználást [19] [20]. Az iparban alkalmazott TES megoldások, mint a Brenmiller Energy kőzetágyas tárolói vagy az EnergyNest betonakkumulátor-megoldásai, mind képesek folyamatos technológiai gőzellátást biztosítani, valamint integrálhatók gőzturbinákkal vagy ORC rendszerekkel is.

5.3 Villamosenergia-hálózat és szabályozási piacok

A hőtárolás azonban nemcsak hőoldali, hanem a villamosenergia-rendszer rugalmassági eszközeként is egyre nagyobb szerepet kap. A P2H technológiákkal integrált TES rendszerek képesek a megújulóenergia-termelés csúcsidőszakaiban a felesleges vagy korlátozásra ítélt (curtailed) villamos energiát hővé alakítani, így csökkentik a kiegyenlítőenergia-igényt és a hálózati terhelést. A DOE Long-Duration Storage programja szerint a hőtárolók gyors válaszidejük révén alkalmasak arra, hogy a szabályozási piacokon – például FCR, aFRR vagy mFRR termékek piacain – is szerepet töltsenek be. A Sandia elemzései megerősítik, hogy több TES technológia – így olvadt só-, kőzet- és betonalapú rendszerek – 5 percen belüli, bizonyos esetekben akár másodperces reakcióidővel képesek működni, ami alkalmassá teszi őket villamos hálózati szabályozási feladatokra is. A NREL modellezési eredményei szerint pedig a TES rendszerek jelentős mértékben növelik a megújulóenergia-alapú termelés hálózati integrációját és csökkentik az átviteli torlódásokat. [17] [18] [21]

5.4 Épületenergetika és komfortszabályozás

A hőtárolás különösen fontos szerepet játszik az épületenergetikában és komfortszabályozásban, ahol a TES rendszerek hozzájárulnak a fűtési és hűtési csúcsok csökkentéséhez, az energiafelhasználás optimalizálásához és a működési költségek mérsékléséhez. A DOE épületenergetikai programjának adatai szerint az Egyesült Államok épületállományának villamosenergia-fogyasztásának 45%-a hőcélú felhasználás, amely jelentős részben tehermentesíthető TES rendszerek alkalmazásával. Az építészeti alkalmazások széles palettát kínálnak: jégtárolók a hűtési csúcsterhelések levágására, melegvíz-puffertárolók hőszivattyúkkal együtt, PCM panelek a hőkomfort stabilizálására, valamint alacsony hőmérsékletű hőtárolók az elektromos fűtési rendszerek optimalizálására. Egy 2024-es GSA technológiai értékelés például kimutatta, hogy a modularizált jégtárolók akár 95%-kal is csökkenthetik a hűtési csúcsterhelést, és teljes mértékben tűzbiztonságosak, mivel vízalapú energiatárolási rendszert alkalmaznak. Az NREL épületenergetikai elemzései szerint a TES rendszerek alkalmazása a megújuló energia

helyben történő maximális hasznosítását is lehetővé teszi, miközben kiegyenlíti a hőkomfort- ingadozásokat [22] [21]

Összességében megállapítható, hogy a TES technológiák rugalmasan alkalmazhatók a távfűtési rendszerek szezonális hőkiegyenlítésétől az ipari hulladékhő-hasznosításon át egészen a villamosenergia-rendszerek szabályozási igényeinek kielégítéséig, valamint az épületenergetikai hőkomfort optimalizálásáig. A nemzetközi kutatások alapján a hőtárolás a jövő energiarendszereinek egyik kulcstechnológiája, amely jelentősen hozzájárul a dekarbonizációhoz, a működési költségek csökkentéséhez és a megújulóenergia-integráció radikális növeléséhez.

VI. Innovációk és trendek

A hőtárolási technológiák az elmúlt évtizedben erőteljes fejlődésen mentek keresztül: a magas hőmérsékletű energiatárolás, az anyagtudomány, a villamos-hő integráció és a moduláris rendszerek gyors előretörése egyaránt hozzájárult az iparág növekedéséhez. Az új technológiák célja, hogy a megújuló alapú energiarendszereket stabilabbá, a fosszilis ipari folyamatokat pedig kiválthatóvá tegyék.

6.1 Általános iparági innovációs trendek

- *Magas hőmérsékletű hőtárolók terjedése*

A nemzetközi projektek jól mutatják, hogy a 300–800 °C közötti hőtárolási tartomány egyre fontosabb az ipar számára. A Siemens Gamesa ETES például 750 °C-ra melegíti fel a tárolóban lévő vulkanikus követ, és így tartja meg a hőt akár egy hétig. A hasonló tartományban működő kőzet-, beton- vagy olvadt só alapú rendszerek nagy energiasűrűséget, gyors hőleadást és ipari gőztermelési képességet kínálnak, ezért alkalmasak nagy hőigényű ágazatok – például acél-, vegyipar vagy papíripar – elektrifikációjára.

- *Villamos-hő (P2H) integráció gyors fejlődése*

A megújuló energiatermelés ingadozásai és a gyakori túltermelési időszakok világszerte ösztönzik a Power-to-Heat (P2H) megoldások terjedését. A Siemens ETES projekt is ilyen rendszer: ellenállásfűtéssel alakítja a villamos energiát hővé, amelyet később gőzturbinán keresztül vissza lehet alakítani árammá. Az Azelio és a Brenmiller rendszerei szintén közvetlen elektromos fűtéssel tölthetők, lehetővé téve, hogy a hőtárolók a villamosenergia-piac flexibilitási eszközeivé váljanak.

- *Hosszú távú (szezonális) tárolás iránti kereslet növekedése*

A szezonális hőtárolás olyan technológiákat igényel, amelyek hónapokig képesek energiatartalmat megőrizni. A SaltX termokémiai rendszere kalcium-oxid (CaO) és víz közötti reverzibilis reakciót használ, amely lehetővé teszi a hő közel veszteségmentes, hosszú távú eltárolását – ezt a Luleå városában épülő 1 MW / 15 MWh pilot is demonstrálja. A termokémiai technológiák ezért különösen ígéretesek az ipari hulladékhő szezonális átvitelében.

- *Moduláris, szállítható és skálázható rendszerek*

A modern TES-megoldások egyre inkább modulárisan épülnek. A Brenmiller bGen™ például prefabrikált bCube modulokat használ, amelyek gyorsan telepíthetők és skálázhatók 10–500 MWh kapacitásig. Hasonló moduláris logikát követ az EnergyNest (betoncellák) és a Kyoto Heatcube is, amelyek szintén előregyártott elemekből állnak össze. Ez a trend jelentősen lerövidíti a kivitelezést és csökkenti a beruházási kockázatokat.

- *Hőenergia hibrid rendszerei*

A hőtárolók egyre gyakrabban kapcsolódnak össze más energiatechnológiákkal. A Siemens Gamesa ETES például képes visszatáplálni villamos energiát gőzturbinán keresztül (H2P), míg a Brenmiller és Kyoto rendszerek P2H töltéssel kombinálhatók ipari gőztermeléssel. A hibridizáció növeli az energiarendszerek rugalmasságát és csökkenti a fogyasztási csúcsokat.

6.2 Konkrét innovatív technológiák

- *EnergyNest – HEATCRETE® beton hőtároló (Norvégia)*

Az EnergyNest fejlesztése a HEATCRETE® nevű, nagy hőtehetetlenségű speciális betonon alapul, amely acél hőcserélő csövekkel integrált blokkokban tárolja a hőt. A technológia lehetővé teszi a 320 °C körüli üzemeltetést, hosszú , akár 30–50 éves, élettartamot és alacsony fenntartási költségeket, miközben kompatibilis víz/gőz vagy termálolaj közeggel. A rendszer ipari folyamatok stabil hőellátását célozza, és alkalmas megújuló energiával kombinált energiakiegyenlítésre is.

- *Kyoto Group – Heatcube™ (Norvégia)*

A Kyoto Heatcube™ moduláris, olvadt só alapú hőtárolási rendszer, amelyet kifejezetten ipari villamos-hőátalakítási megoldásokhoz fejlesztettek. A technológia P2H ellenállásfűtéssel tölthető, és gőzfejlesztőn keresztül szolgáltat hőt 150–450 °C tartományban. A rendszer telepítések szerint több tíz MWh kapacitásig skálázható, és képes akár ~10 MW töltési teljesítményre. Előnye a magas energiasűrűség és az ipari folyamatokba történő könnyű integráció.

- *Brenmiller Energy – bGen™ (Izrael)*

A Brenmiller bGen™ zúzott kőzetalapú, érzékelhető hőenergiatároló rendszer, amelyet ipari hő- és gőztermelésre optimalizáltak. A technológia 100–500 MWh közötti kapacitással és 1–80 MWth hőkimenettel rendelhető, a töltés elektromos vagy termikus úton is megvalósítható. A rendszer akár 650 °C tárolási hőmérsékletet is lehetővé tesz, és gyors reakcióidejével támogatja az ipari elektrifikációt. A tároló kompakt kialakítása miatt barnamezős ipari telephelyekre is alkalmas.

- *SaltX – EnerStore / Luleå Pilot (Svédország)*

A SaltX nanobevonatos kalcium-oxid alapú termokémiai energiatároló technológiája a $CaO + H_2O \leftrightarrow Ca(OH)_2$ reakciót használja hő tárolására és visszanyerésére. A Luleåban fejlesztett 1 MW / 15 MWh pilot a nagyléptékű ipari hulladékhő újrafelhasználását célozza, és különlegessége, hogy a hő akár hónapokig veszteség nélkül tárolható. A technológia így alkalmas szezonális energiatárolásra és ipari emissziócsökkentésre.

VII. Nemzetközi példák

A hőtárolási technológiák ipari és kereskedelmi alkalmazásai világszerte látványos fejlődésen mennek keresztül. A következő nemzetközi példák nem csupán kísérleti megoldások, hanem olyan működő, valós léptékű rendszerek, amelyek konkrétan igazolják az érzékelhető, látens és termokémiai hőtárolás műszaki működőképességét, ipari alkalmazhatóságát és gazdasági potenciálját. Az alábbiakban bemutatott nemzetközi példák összehasonlítását lásd a 2. táblázatban.

7.1 Siemens Gamesa ETES – Hamburg, Németország

A Siemens Gamesa által fejlesztett ETES (Electric Thermal Energy Storage) rendszer a világ egyik legnagyobb üzemelő érzékelhető hőtárolója. A hivatalos projektleírás szerint a Hamburg-Altenwerder területén kialakított telep 1 000 tonna vulkanikus kőzetet használ tárolóközegként, amelyet elektromos fűtéssel akár 750 °C-ra is felmelegítenek. A rendszer 5,4 MW töltési kapacitássla és 130 MWh hőtároló kapacitással rendelkezik, amelyet akár egy héten át képes megőrizni, majd igény esetén gőzturbinán keresztül visszaalakítani villamos energiává. Ez a projekt bizonyítja, hogy a hőtárolás alkalmas akár napok hosszúságú, magas hőmérsékletű energiatárolásra és nagyvárosi ipari integrációra is [23].

7.2 Azelio TES.POD – Svédország / MBR Dubai

Az Azelio TES.POD rendszere újrahasznosított alumínium fázisváltó anyagot (PCM) használ, amely körülbelül 600 °C-on tárolja a hőt. A TES.POD egy hibrid, látens-érzékelhető hőtároló rendszer, amely a tárolt hőt Stirling-motoron keresztül villamos energiává alakítja, emellett

alacsony hőmérsékletű (55–65 °C) hőellátást is biztosít. A rendszer képes 13 órás folyamatos kisütési időre és az élettartam 30 évre becsült. Ez kiváló példa arra, hogyan kombinálható a látens tárolás és a decentralizált áramtermelés [24].

7.3 1414 Degrees – SiBox (Ausztrália)

A 1414 Degrees által fejlesztett SiBox a világ egyik legfejlettebb nagy hőmérsékletű látens hőtárolója, amely szilíciumot használ energiatároló közegként. A szilícium extrém nagy olvadáshője (1414 °C) lehetővé teszi, hogy a SiBox akár 700–850 °C közötti, sőt bizonyos teszteknél 900 °C fölötti hőmérsékletű levegőt biztosítson ipari felhasználásra. A demonstrációs modult a vállalat és az ausztrál kormány támogatásával 1 MWh teljesítménnyel helyezték üzembe, és több tucat cikluson át stabil működést mutatott [25].

7.4 Brenmiller Energy – bGen (Izrael / Olaszország / EU)

A Brenmiller bGen és „bCube” rendszerei szilárd állapotú, kőzetalapú érzékelhető hőtárolók, amelyek akár 650 °C-ig melegíthetők. A bGen technológiát több országban is telepítették, többek között Olaszországban az Enel partnereként, valamint több ipari helyszínen világszerte. A rendszer képes elektromos energiát hővé, majd gőzzé vagy forró levegővé alakítani, amely közvetlenül integrálható ipari folyamatokba [26].

7.5 SaltX EnerStore – Luleå, Svédország

A SaltX EnerStore a világ első nagyléptékű termokémiai hőtároló rendszerei közé tartozik, amely nanobevonatú sót alkalmaz reverzibilis hő-kémiai reakciókkal. A Luleå-ban épülő 1 MW / 15 MWh demonstrációs rendszer célja az ipari hulladékhő hosszú távú, veszteségmentes (szezonális) tárolása. A projekt hivatalos bejelentése szerint a rendszer a térség acélipari és távhő hálózati szereplőivel együttműködésben valósul meg [27].

2. Tábla: Nemzetközi példák összehasonlítása

Paraméter	Siemens Gamesa ETES (DE)	Azelio TES.POD (SE/UAE)	1414 Degrees SiBox(AU)	Brenmiller bGen(IL/EU)	SaltX EnerStore (SE)
Tárolási elv típusa	Érzékelhető (kőzet)	Látens technológia és Stirling-motoros CHP	Látens (szilícium)	Érzékelhető (kőzet)	Termokémiai (nanobevonatú só)
Tárolóközeg	Vulkanikus kő (1000 t)	Recycled alumínium PCM (600 °C)	Szilícium és SiBrick (1414 °C olvadáspont)	Kőzet (650 °C-ig)	Nanocoated salt (termokémiai ciklusok)
Energia-kapacitás	130 MWh	13 h kisütési idő (~13 kWh/kW)	1 MWh demonstrátor (75 MWh tervezett)	10–500 MWh skálázható	15 MWh
Töltési teljesítmény	5,4 MW (elektromos)	5–6 óra töltési idő (kb. 13 kW egységenként)	Grid-elektromos fűtés (MW szint)	2–100 MW elektromos töltés	Ipari hulladékhő és elektromos töltés
Üzemi hőmérséklet	750 °C kőzetfűtés; 480 °C gőz	600 °C PCM; 55–65 °C hőszolgáltatás	700–850 °C (demó), akár 900 °C	100–530 °C (gőz/hő)	300–450 °C tipikus reakciótartomány (ipari hulladékhő)
H2P mód	Gőzturbinából visszaáram termelés	Stirling-motor villamos energiatermelés	Csak hő; nincs H2P	Gőzturbina opcionális	Alkalmas gőztermelésre, elsősorban hő
Kisütési idő	akár 1 hét hőtartás	13 óra villamosenergia + hő	6–12 óra folyamatos hőleadás	Folyamatos 24/7 gőz/hő leadás	Több nap–hét (termokémiai)
Alkalmazási terület	Hálózati LDES; re-elektrifikáció	Decentralizált CHP; off-grid	Ipari magas hőmérsékletű folyamatok	Ipari gőz/hő; P2H	Ipari hulladékhő, távhő

VIII. Hőtárolási rendszerek alkalmazhatósága Magyarországon

Magyarország energetikai rendszere, mint a távhő, az ipari hőfelhasználás és a villamosenergia-hálózat, olyan szerkezeti adottságokkal rendelkezik, amelyek kifejezetten kedvezővé teszik a hőtárolási technológiák (TES) széles körű alkalmazását. A nemzetközi szakirodalom alapján a TES rendszerek ott hasznosíthatók a legnagyobb hatékonysággal, ahol jelentős a hőigény időbeli ingadozása, magas a megújuló energia részaránya és számottevő hulladékhő keletkezik, Magyarországon mindhárom feltétel egyértelműen teljesül.

A távfűtési rendszerekben, amelyek több mint 650 000 hazai háztartás hőellátását biztosítják, a hőtárolás különösen nagy hozzáadott értéket képes teremteni. Nemzetközi példák és a DOE publikálása alapján a TES rendszerek jelentősen mérséklik a földgázalapú csúcshőtermelés szükségességét, valamint lehetővé teszik a megújuló-alapú hőforrások (napkollektor, hőszivattyú, biomassza) hatékonyabb integrációját a hálózatba [17] [19]. A szezonális tárolást biztosító nagy léptékű megoldások, mint például a PTES, BTES vagy TTES, több GWh nagyságrendű energiamennyiség kezelésére képesek [9].

A hazai ipari szektorban jelentős mennyiségű hulladékhő keletkezik, amelynek hőmérséklete, mennyisége és időbeli profilja gyakran nincs összhangban a termelési igényekkel. A DOE Industrial Waste Heat Recovery adatai és az ORNL hulladékhő-hasznosítási tanulmánya szerint a TES rendszerek kifejezetten alkalmasak erre a típusú hulladékhő-rekuperációra, mivel lehetővé teszik a hő késleltetett felhasználását, javítják a folyamatstabilitást és csökkentik a primerenergia-felhasználást [28] [20]. A modern ipari TES-megoldások, mint a kőzetágyas vagy betonalapú nagy hőmérsékletű tárolók, mind képesek technológiai gőzt előállítani, és integrálhatók ORC vagy gőzturbina rendszerekhez is, amelyek növelik a villamosenergia-termelés rugalmasságát.

A villamosenergia-rendszer oldaláról a hőtárolók további stratégiai előnyökkel járnak. Magyarországon a naperőművi kapacitások gyors növekedése miatt egyre gyakoribb a megújulóenergia-túltermelés, amely korlátozáshoz (curtailment) vezethet. A DOE és a NREL hálózati rugalmassági kutatásai alapján a P2H technológiákkal kombinált TES rendszerek képesek a villamosenergia-többletet hővé alakítani, ezáltal csökkentik a korlátozási arányokat és tehermentesítik az átviteli és elosztóhálózatot [15] [21]. A számos elemzés szerint több hőtárolási technológia alkalmas szabályozási szolgáltatások (például aFRR vagy mFRR) biztosítására, mivel reakcióidejük akár percek alatti, bizonyos esetekben másodperces nagyságrendű is lehet [18].

A technológiák közül az érzékelhető hőtárolás (víz, kőzet, beton, olvadt só) kínálja jelenleg a legszélesebb körű és legköltséghatékonyabb alkalmazási lehetőséget Magyarországon. A DOE és a Sandia összehasonlító vizsgálatai szerint ezek a rendszerek alacsony fajlagos költséget, magas ciklusstabilitást és különösen alacsony hőmérsékleti tartományban, akár 80–95% közötti hőtárolási és visszanyerési hatásfokot biztosítanak [12] [15]. A termokémiai hőtárolás ezzel szemben rendkívül nagy energiasűrűséget és veszteségmentes hosszú távú tárolást kínál, ezért Magyarország számára kiváló pilot-technológia lehet, különösen szezonális tárolási igények vagy ipari magas hőmérsékletű folyamatok esetén [18]

III. Működési példák és jó gyakorlatok az EU tagállamaiból

A tanulmány ezen fejezete áttekinti, hogyan kapcsolódnak a távfűtési és -hűtési rendszerek (District Heating and Cooling, DHC) az energia- és hőenergia-közösségekhez (CEC/HEC) az Európai Unióban. Rendszerezzük az együttműködési mintákat, irányítási és finanszírozási modelleket. Ezt követően országpéldákkal (Dánia, Hollandia, Ausztria, Németország) illusztráljuk a megvalósult gyakorlatokat, külön figyelemmel a közösségi tulajdonú vagy közösségileg irányított távfűtési és -hűtési megoldásokra és az 4–5. generációs, alacsony-/nagyon alacsony hőmérsékletű hálózatokra. Megvizsgáljuk azt a kérdést, hogy vannak-e EU-s hőenergia-közösségek, és érintjük a magyarországi helyzetet.

I. A távfűtési, távhűtési rendszerek és a hőenergia-közösségek együttműködési mintái

A távfűtési és -hűtési rendszerek (DHC) és az energiaközösségek, ezen belül a kifejezetten hőenergiára fókuszáló, közösségi tulajdonú vagy közösségi irányítású hőenergia-közösségek (HEC), együttműködése az EU-ban fokozatosan alakult ki. A Clean Energy for All Europeans csomag (CEP) két kulcsfogalma, a megújuló energiaközösség (REC) és a polgári energiaközösség (CEC) ma már egyértelműen kiterjed a fűtés-hűtés szektorára is. Ez a keretrendszer lehetővé teszi, hogy a helyi közösségek – lakosok, önkormányzatok, kisvállalkozások – közös tulajdonban, nyitott és demokratikus irányítás mellett termeljenek, osszanak meg, értékesítsenek vagy tároljanak energiát, beleértve a hőt is [29] [30].

A távfűtési és -hűtési rendzserek és a hőenergia-közösségek kapcsolódásának egyik legfőbb előnye, hogy a hőpiac jellegéből adódóan a beruházások nagy részét természetes monopólium-szerű infrastruktúra (csőhálózat, hőközpontok, tárolók) teszi ki. Ennek gazdaságos működtetésére a közösségi tulajdon vagy legalábbis közösségi ellenőrzés különösen alkalmas, mert csökkenti a végfelhasználói költségeket, biztosítja a hosszú távú tervezés stabilitását és minimalizálja a túlzott profitkivonás veszélyét. Ezt erősíti, hogy a REScoop.eu kifejezetten javasolja a nonprofit elszámolási és tarifaképzési minták alkalmazását közösségi fűtési rendszerekben, mivel ezzel biztosítható a hőszolgáltatás megfizethetősége és az átlátható működés [31] [32].

Az együttműködés tipikus modelljei közé tartozik:

- a *teljes mértékben közösségi tulajdonú távfűtési és -hűtési szövetkezet (ilyen például több dán hőszolgáltató),*
- *a vegyes tulajdonú (önkormányzat + közösség + ESCo) konstrukció,*

- *valamint az olyan decentralizált, alacsony-hőmérsékletű rendszerek, amelyeknél a lakosság maga birtokolja és működteti a hőszivattyúkat és a mikroméretű hőtermelő egységeket.*

A MUSE-DHC és az ENABLE-DHC projektek szisztematikus esettanulmányai mutatják, hogy a közösségi részvétel a tervezési és beruházási fázisban is jelentősen javítja a technológiai döntések megalapozottságát, a társadalmi elfogadottságot és a hosszú távú fenntarthatóságot [33] [34].

II. A használati esetek és technológiai minták bemutatása

A távfűtési és -hűtési rendszerek és a hőenergia-közösségek együttműködés technikai háttere rendkívül sokféle lehet, ám az európai trendek alapján három fő műszaki irány különül el.

Elsőként a hulladékhő-alapú integráció emelhető ki, amely az ipari folyamatokból, adatközpontokból, szennyvíztisztítókból vagy éppen termálvízből felszabaduló hő felhasználását jelenti. A 2024-es európai jelentés szerint számos nagyvárosban, például Párizsban, Genfben, Koppenhágában vagy Tamperében, természetes hűtést vagy különféle hulladékhőforrásokat integrálnak hűtési és fűtési célokra. Ez tehermentesíti az elektromos hálózatot, csökkenti a fosszilis energiaigényt, és különösen alkalmas közösségi tulajdonú távhőkonstrukciók számára, mivel a helyben elérhető hulladékhő helyi értéket teremt [35].

A második meghatározó irány a megújuló hőtermelők – biomassza, geotermia, nagy hőszivattyúk, napkollektorok – integrálása. Ausztriában például a nagy léptékű napos távfűtés (Solar District Heating) telepítése több régióban is sikeres (Graz Andritz, Mürzzuschlag), és az SDH-rendszerekhez kapcsolt hőtárolók lehetővé teszik a megújulók magas részarányát. Dánia hasonlóan előrehaladott ebben: a hőszivattyús, biomassza-alapú és napkollektoros rendszerek kombinációja erősíti a helyi energiabiztonságot [36] [37].

A harmadik irány a 4. és 5. generációs távfűtési és -hűtési rendszerek (4GDHC/5GDHC) elterjedése, amelyek alacsony hőmérsékleten (30–55 °C vagy ez alatt) működnek, gyakran kétirányú hőáramlással, és a hőtermelést decentralizált hőszivattyúkkal kombinálják. Ezek különösen alkalmasak energiaközösségek számára, mert lehetővé teszik, hogy az egyes fogyasztók – lakóparkok, társasházak – akár hőt is exportáljanak a hálózatba, vagy helyi hőtárolással csökkentsék a terhelési csúcsokat. A kollektív önfogyasztás (CSC) és az energia-megosztás koncepciója szervesen illeszkedik a 4GDHC rendszerek működéséhez, mivel az elektromos oldalon közösen termelt megújuló villamos energia a hőszivattyúkon keresztül közösségi hővé konvertálható [38] [39].

III. EU-tagállami jó gyakorlatok

3.1 Dánia – a közösségi hőszolgáltatás legerősebb európai példája

Dánia több évtized alatt egy szinte teljes egészében közösségi és önkormányzati tulajdonra építő, nonprofit elven működő távfűtési és -hűtési rendszert alakított ki. A hőszolgáltatók közel kétharmada fogyasztói tulajdonú kooperatíva, a többiek többsége pedig önkormányzati vállalat, így a lakosság közvetlenül alakítja a hőszolgáltatás stratégiáját. A 1970-es évektől alkalmazott Heat Supply Act lehetővé teszi, hogy az önkormányzatok teljes hőtervezési jogkörrel rendelkezzenek, és kijelölhessék, mely városrészekben kötelező a távhőrendszerhez való csatlakozás. Ez a modell bizonyítottan elősegíti a hosszú távú, stabil beruházásokat és a közszolgáltatási logikát [40] [41].

A dán példák közül kiemelkedik az Avedøre Energy Community**,** ahol szociális bérlakások lakói, az önkormányzat és a helyi távhőcég közösen hoztak létre egy olyan energiaközösséget, amely kombinálja a napenergiát, a hőtermelést és a közösségi döntéshozatalt. Az átlátható, demokratikus irányítás és a lakók aktív részvétele miatt a projekt kiváló példa arra, hogyan lehet a távfűtési és -hűtési rendzserekezt társadalmi innovációval erősíteni. Hasonló minta a Føns faluban működő közösségi távfűtés: itt egy önszerveződő lakossági csoport indította el a hálózatot, amely ma a falu háztartásainak többségét látja el, döntően megújuló alapokon [42] [43].

3.2 Hollandia – alacsony hőmérsékletű közösségi távfűtési és -hűtési rendser új generációja

Hollandia az utóbbi években a 4GDHC és 5GDHC rendszerek európai laboratóriumává vált. A ThermoBello energiaközösség Culemborgban egy 30–50 °C-os, ivóvízbázisból származó aquathermal hőt hasznosító rendszert üzemeltet; tulajdonosa és irányítója maga a lakosság, amely érdemben vesz részt a fejlesztési döntésekben is. A rendszer COP 5 teljesítménnyel működik, nagy hatékonysággal rendszerezi a helyi hőt, és több száz lakást, iskolát, irodát lát el. A projekt sokszor hivatkozott etalonja a „community-led heating” modellnek [44].

Az országos „Aardgasvrije Wijken” (Gázmentes Városrészek) program több tucat pilotja szintén azt mutatja, hogy az alacsony hőmérsékletű rendszerek, amik decentralizált hőszivattyúkkal és okosvezérléssel vannak ellátva, jobban alkalmazkodnak a helyi energetikai potenciálokhoz, mint a hagyományos, magas hőmérsékletű rendszerek. A pilotokban gyakran kombinálják a hőellátást és a hűtést, ami a közösségi energia-megosztás egyik új irányát jelenti. Ezt erősíti a várható nemzeti szabályozási fordulat: a Kollektív Hőtörvény (Wcw) 2026-tól előírja, hogy az új hőhálózati társaságokban legalább 50% közösségi vagy önkormányzati tulajdon legyen, és a tarifákat a tényleges költségekre kell alapozni – ez a közösségi modellek számára rendkívül kedvező környezetet teremt [45] [46].

3.3 Ausztria – napenergia + hőtárolás + városi nagy hőszivattyúk

Ausztria számos sikeres példát kínál a Solar District Heating (SDH) rendszerekre. Graz, Mürzzuschlag vagy Salzburg különböző kerületeiben olyan nagyméretű napkollektoros mezők

működnek, amelyek szezonális vagy többnapos hőtárolóval kombinálva jelentős arányban képesek fedezni a hőigényt. A modellek gyakran ESCo-alapon vagy önkormányzati együttműködéssel működnek, és jól illeszkednek a közösségi tulajdonú hőszolgáltatás mintájához [47] [37]

A főváros, Bécs különösen intenzív hőszivattyús reformot indított el. A szennyvíztisztító telep hőjét hasznosító és a helyi termálforrásokra építő nagyméretű hőszivattyúk már 2022-től üzemelnek, és a városi közmű több mint 1 milliárd eurót különített el a távhőrendszer teljes dekarbonizációjára. A fejlesztések célja a megújuló alapú termelés növelése, a hulladékhő kihasználása és a fogyasztói díjak stabilizálása [48].

3.4 Németország – hőtervezési törvény, átfogó átállás és közösségi távhő

Németország 2024-ben új energiapolitikai korszakba lépett: a Gebäudeenergiegesetz (GEG) és a Wärmeplanungsgesetz (WPG) radikálisan átalakítja a fűtés dekarbonizációs pályáját. Az új szabályok alapján az új fűtési rendszereknek legalább 65% megújuló energiát vagy hulladékhőt kell használniuk, és minden önkormányzatnak átfogó hőtervet kell készítenie. Ez a hőtervezési kötelezettség új terepet nyit az energiaközösségek és az önkormányzati távhőcégek együttműködésének: a közösségi tulajdonú rendszerek könnyebben illeszkednek az új kritériumokhoz, és előnyösek a hosszú távú beruházások szempontjából [49].

A kutatások szerint Németországban a távfűtési és -hűtési rendszer (DHC) jövőbeli piaci részesedése 2050-ig akár 2–5-szörösére növekedhet, amennyiben a hálózatbővítés a sűrű beépítésű városi területekre koncentrál. Az Agora Energiewende friss jelentése felhívja a figyelmet arra, hogy a jelenlegi évi 25–35 000 új bekötési ütem elmarad a kitűzött 100 000 épület/év céltól, ezért sürgős infrastruktúra-fejlesztések szükségesek. A közösségi és önkormányzati tulajdonú hálózatok előnye, hogy nagyobb társadalmi támogatással és gyorsabb végrehajtással járhatnak, így a német kontextusban is növekvő figyelmet kapnak [50] [51].

IV. EU-szintű projektek és tudásbázis bemutatása

Az EU, különösen a LIFE, H2020 és CINEA programokon keresztül, több nagyszabású projektet indított annak érdekében, hogy a közösségi fűtés-hűtés modelljei beépüljenek az európai energiapiacba. A projekt európai szinten kilenc új közösségi vezérelvű távfűtési és -hűtési rendszer (DHC) részletes befektetési és irányítási tervét dolgozza ki, „Living Lab” helyi műhelyek segítségével, ahol lakosok, szakemberek és önkormányzati szereplők közösen értékelik a műszaki és pénzügyi opciókat. A projekt egyik legfontosabb eredménye az a Blueprint for Action, amely gyakorlati útmutatást ad energiaközösségeknek a hőprojektek előkészítéséhez [52].

Az ENABLE-DHC a már működő távhőkörzetek dekarbonizációs pályáit vizsgálja, és esettanulmányokon keresztül támogatja az üzemeltetőket abban, hogyan integrálhatnak megújulókat, hulladékhőt vagy digitális irányítást. Ezenfelül részletes kockázati értékeléseket, szektorkapcsolati modelleket és pénzügyi útitervet is készít, amelyek referenciát jelenthetnek bármely hőenergia-közösség számára egy új távfűtési és -hűtési rendszer projekt indításakor. A

projektek szorosan kapcsolódnak a ManagEnergy és az Euroheat & Power tudásplatformjaihoz, amelyek széles körű publikációkat adnak ki a legfrissebb európai távfűtési és -hűtési rendszer trendekről [34].

4.1 MUSE-DHC: Közösségi irányítású távfűtési és -hűtési rendszerek fejlesztése és vizsgálata

A MUSE-DHC projekt (LIFE24-CET-MUSE-DHC/101215495) egy 2025–2028 között zajló, több országot lefedő uniós kezdeményezés, amelynek célja a közösségi vezérelvű (community-led) távfűtési és -hűtési rendszerek tervezése, működési modelljeinek kidolgozása és helyi beágyazottságuk vizsgálata. A projekt teljes egészében azt kutatja, hogy milyen feltételek mellett képesek energiaközösségek hőt termelni, megosztani, elosztani és finanszírozni**,** valamint hogyan lehet a közösségi irányítást beépíteni a hőellátási rendszerekbe [52].

- *A projekt vizsgálati fókusza:*

A projekt három nagy témakört elemez [52]:

1. *Új, közösségi vezérelvű távfűtési és -hűtési hálózatok létrehozása:*

   A MUSE-DHC kilenc új, még fejlesztés alatt álló hőhálózat részletes befektetési tervét (Investment Plan, IP) dolgozza ki. Ezek célja, hogy megújuló energiaforrásokra, mint például biomassza, geotermia, napenergia, aquathermia , illetve helyi hulladékhőre épülő decentralizált hőrendszereket hozzanak létre. A projekt vizsgálja, hogyan lehet mindehhez demokratikus irányítást, közösségi tulajdonosi struktúrát és fenntartható pénzügyi hátteret kialakítani.

2. *Közösségi részvétel és társadalmi innováció mechanizmusai:*

   Minden helyszínen létrehoztak Living Lab elnevezésű helyi munkacsoportokat, ahol a lakosok, önkormányzatok, hőtermelők és hulladékhő-szolgáltatók, energetikai szakemberek és helyi vállalkozások együtt vesznek részt a tervezési folyamatban. A projekt azt vizsgálja, hogyan építhető be a közösségi részvétel strukturált, döntéshozatalt támogató formában a távfűtési és -hűtési rendszer (DHC) fejlesztésekbe.

3. *Hibrid tulajdonlási és finanszírozási modellek:*

   A projekt egyik leginnovatívabb vizsgálata arra irányul, hogyan kombinálható az önkormányzati tulajdon, a közösségi tulajdon (energiaközösségek, szövetkezetek) és privát szektor (pl. ESCo-vállalatok) egy stabil, átlátható, hosszú távon fenntartható struktúrában. Ennek eredményeként a projekt „Blueprint for Action” dokumentuma útmutatót dolgoz ki a hőenergia-közösségek európai elindításához.

- *A vizsgálatok földrajzi helyszínei:*

A MUSE-DHC kilenc esettanulmányt végez öt európai országban, ami Spanyolország, Franciaország, Írország, Olaszország és Hollandia. Mindegyik helyszín más-más típusú területet képvisel. Többek között városi sűrű beépítésű körzeteket, kisebb vidéki településeket és vegyes funkciójú (lakó-ipari-közintézményi) negyedeket. Ezzel biztosítja, hogy a vizsgálat lefedje a távfűtési és -hűtési rendszerek lehetséges alkalmazási spektrumának nagy részét [52].

- *A projektben részt vevő szervezetek és szereplők:*

A projektet az olasz Ambiente Italia koordinálja és 10 másik partnerből álló konzorcium működteti. A konzorcium résztvevői többek között [52]:

- REScoop.eu – *az európai energiaközösségek ernyőszervezete*
- Energie Samen (NL) – *nagy tapasztalattal rendelkező közösségi energiafejlesztő*
- OSONA Energia (ES) – *helyi energia-szövetkezet*
- SUNO Enginyeria (ES) – *műszaki energetikai fejlesztő*
- Energy Cities / Energie-Cités – *európai városhálózat*
- Bois Énergie Renouvelable (FR) – *helyi erdészeti-biomassza szakmai partner*
- Claremorris Energy Coop (IE) – *ír energiaközösség*
- EnGreen Srl (IT) – *műszaki-gazdasági elemző vállalat*

- *A projekt eddig elért eredményei*

A projekt keretein belül 9 új távfűtési és -hűtési hálózat befektetési terv készült el. Minden esettanulmányhoz részletes műszaki, üzleti és közösségi modellt hoztak létre. Közösségi governance modelleket dolgoztak ki a döntéshozatali és tulajdonosi struktúrák összehasonlító elemzésére. Fontos elért eredmény a „Blueprint for Action” nevű útmutató, ami egy olyan európai szintű útmutató, amely segíti a jövőbeli hőenergia-közösségek létrehozását. Emellett stratégiai irányelveket és állásfoglalásokat is megfogalmaztak az energiaátmeneti jogszabályokhoz kapcsolódóan [52]. Az eredmények azt mutatják, hogy a közösségi hőellátás, különösen alacsony hőmérsékletű, megújuló alapú rendszerek műszakilag és gazdaságilag is életképesek és magas társadalmi elfogadottságúak.

4.2 ENABLE-DHC: Meglévő távfűtési rendszerek dekarbonizációs lehetőségeinek feltárása

Az ENABLE-DHC projekt (2024–2027) az EU egyik legátfogóbb kezdeményezése, amely kifejezetten arra fókuszál, hogy már működő távfűtési és távhűtési hálózatok hogyan válhatnak hatékonyabbá, megújuló-baráttá és alacsony kibocsátásúvá. A projekt 9 különböző távfűtési és -hűtési rendszert vizsgál 7 országban (Ausztria, Horvátország, Írország, Olaszország, Lettország, Szlovénia, Ukrajna) [34].

- *A projekt részletes vizsgálati területei:*

Az ENABLE-DHC kutatási fókusza három fő vizsgálati területre bontható [34]:

1. *Meglévő távfűtési és -hűtési hálózatok műszaki állapotának részletes feltárása*:

   A projekt az egyes helyszíneken részletes adatgyűjtést végez a hőtermelési mixről (gáz, biomassza, hulladékhő, geotermia), a hálózat állapotáról és a hőveszteségekről. Valamint az energetikai hatékonyságot rontó rendszerhibákról.
   A vizsgálat célja annak meghatározása, hogy mely technológiákkal lehet leggyorsabban, legköltséghatékonyabban csökkenteni a CO_2-kibocsátást.

2. *Dekarbonizációs útitervek és beruházási stratégiák kidolgozása:*

   A projekt minden távfűtési és -hűtési rendszerhez külön közép- és hosszú távú beruházási tervet készít, amelyek többek között tartalmazzák a megújuló energiaforrások integrálásának költségeit, a digitális irányítási rendszerek (szenzorok, optimalizációs algoritmusok) telepítését, a hőtárolók és hőszivattyúk szerepét és a hálózatátalakítási lehetőségeket (4GDHC irányába). A tervek emellett konkrét kockázatelemzést és szektorkapcsolati vizsgálatot is tartalmaznak.

3. *Nemzetközi tudásmegosztás és replikáció:*

   A cél az, hogy a vizsgálatok ne csak helyi szinten, hanem európai mintaértékű tudásanyagként is hasznosuljanak. A projekt ennek érdekében országos workshopokat és paneurópai webináriumokat szervez. Emellett működtet egy közös „Case Study Assembly" fórumot. A vizsgálat részeként 18 „follower city"-t is bevonnak, hogy a tanulságok más városokban is alkalmazhatók legyenek.

- *A vizsgálatok helyszínei és országonkénti lefedettsége*

Az ENABLE-DHC 7 különböző országban dolgozik, 9 esettanulmánnyal. A 7 ország Ausztria, Horvátország, Írország, Olaszország, Lettország, Szlovénia és Ukrajna. A helyszínek eltérő klimatikus, infrastrukturális és gazdasági viszonyai miatt a projekt képes összehasonlítani a kelet-, közép- és nyugat-európai távfűtési és -hűtési rendszerek eltéréseit, tipikus akadályait, illetve a lehetséges megoldásokat [34].

- *A projektben részt vevő intézmények és szakmai partnerek*

A projektet a DHC+ Platform és Euroheat & Power szakmai hálózat keretében szervezték, több ország energetikai hatóságainak és hőszolgáltatóinak aktív részvételével. Ezek között vannak a nemzeti/önkormányzati hőszolgáltatók, a műszaki kutatóintézetek, s hőellátási mérnökcégek és az energetikai szakpolitikai szervezetek. A projekt szakmai koordinációja kifejezetten magas szintű, a hőpiac teljes értékláncát lefedi [34].

- *A projekt eddig feltárt eredményei és következtetései*

Az ENABLE-DHC eddigi eredményei többek között 9 teljes körű dekarbonizációs terv, amelyek egyenként több száz oldalas technikai, pénzügyi és szabályozási elemzést tartalmaznak. Sikerült azonosítani a legnagyobb hatékonysági problémákat (elavult hőtermelők, magas hőveszteségek, kevés hulladékhő-integráció) több technikai diagnózis segítségével. Készült egy közös európai útmutató, amely a távfűtés és -hűtés szolgáltatók számára lépésről lépésre leírja a hőhálózati átállás lehetőségeit. És a projektnek köszönhetően széles körű szakmai együttműködés alakult ki több mint 50 támogató partnerrel és 18 követő várossal [34]. A projekt egyik legfontosabb felismerése, hogy a legtöbb távfűtési és -hűtési hálózat technikai modernizálása nem igényel teljes infrastruktúra-cserét**,** hanem célzott megújuló-integrációval és digitalizációval 20–40%-os hatékonyságnövelés érhető el.

V. EU-s hőenergia-közösségek létezése

A rendelkezésre álló európai példák alapján egyértelműen kijelenthető, hogy léteznek EU-s hőenergia-közösségek, még ha a fogalom jogilag nem önálló kategória, hanem az energiaközösségek (REC/CEC) részeként jelenik is meg. A ThermoBello (NL), az Avedøre Energy Community (DK), a Føns (DK) közösségi távfűtés, valamint a több LIFE-projekt keretében vizsgált új távfűtési és -hűtési hálózat mind ezt a gyakorlatot bizonyítják. Ezeknek közös jellemzője a közösségi döntéshozatal, a demokratikus ellenőrzés és az, hogy a hőszolgáltatás infrastruktúrája közösségi vagy legalább részben közösségi tulajdonba kerül [44] [42] [43] [52].

A REScoop.eu közösségi fűtés-hűtésre kidolgozott irányelve (Guidelines on Community-Led Heating and Cooling) konkrét ajánlásokat is tartalmaz arra vonatkozóan, hogyan adaptálhatók ezek a gyakorlatok más régiókban. Ez egyben azt is jelenti, hogy az EU-ban a közösségi távfűtés nem marginális jelenség, hanem egyre fontosabb modell, különösen a hődekarbonizációban érintett településeken [32].

IV. Lehetséges Pilot helyszínek Magyarországon

I. Bevezetés

1.1 Kapcsolódás a REHEATEAST projekt átfogó céljaihoz

A REHEATEAST projekt fő célja, hogy a Duna-régió keleti területein csökkentse a távfűtési rendszerek fosszilisenergia-igényét, és elősegítse a megújuló energiaforrások, köztük a geotermia, integrációját a helyi energiaközösségekbe.

A jelen tanulmány Békéscsabát mutatja be, mint lehetséges magyarországi mintaprojekt-helyszínt, amely közvetlenül támogatja ezt a célt, mivel:

- 100%-ban megújuló alapú geotermikus hőtermelésre épül a sport-, rekreációs és közintézmények csoportjára.
- Kialakítható moduláris, bővíthető DH-rendszer, amely a helyi hőkörzetek (A, B, C) fokozatos integrálásával növeli a megújuló részarányt.
- A geotermikus adottságok lehetővé teszik a fosszilis gáz kiváltását, ami a REHEATEAST egyik legfontosabb output-eredménye.

Továbbá a pilot:

- demonstrálja a HEC (hőenergia-közösség) koncepció gyakorlati alkalmazását több hőforrás és több fogyasztói körzet kapcsolásával,
- növeli a lokális ellátásbiztonságot,
- csökkenti a távhőrendszer szénintenzitását.

A feltárt hőpiac három fő hőkörzetre (A, B, C) tagolódik, amelyek önkormányzati tulajdonú, közösségi és sportcélú létesítményeket foglalnak magukban, lásd 3. táblázat.

3. Tábla: Feltárt hőpiac hőkörzetei

Hőkörzet	Fő fogyasztók	Becsült hőigény (GJ/év)
A	Sportcsarnok, vívócsarnok, sportpályák, uszoda	19 248
B	Gyermekétkeztető központ, rendezvénycsarnokok	23 602
C	Árpád Gyógy- és Strandfürdő (saját termálkúttal)	integrálható forrásként

A városi hőigény sűrűn beépített, közművesített területen koncentrálódik, amely kedvez a rövid hővezeték-hálózat kialakításának.
Az „A+B” körzetek kombinált hőteljesítmény-igénye 2,6–3,0 MW, ami teljes mértékben lefedhető egy újonnan létesített geotermikus termelő és két visszasajtoló kúttal.

1.2 Kapcsolódás a Specific Objective 2.1-hez

Az Interreg Danube Region Programme Specific Objective 2.1 célja az energia- és közlekedési ágazatok dekarbonizációja a megújuló energiaforrások integrációjának erősítésével, különös tekintettel a helyi és regionális energiarendszerek átalakítására. E célkitűzés kifejezetten ösztönzi azokat a beruházásokat és pilot projekteket, amelyek a fosszilis energiahordozók kiváltását, a megújuló energia részarányának növelését és a helyi energiafüggetlenség javítását szolgálják. [53]
A békéscsabai pilot szoros kapcsolatban áll a Specific Objective 2.1 célkitűzéseivel:

1. *Megújuló energia integrációja a hőszektorba*
   A pilot egy új 25 l/s hozamú, ~100 °C kifolyó hőmérsékletű geotermikus termelőkutat és egy vagy több visszasajtoló kutat létesít. Ez teljes egészében a Duna Régió Program azon célját szolgálja, hogy a távhőrendszerekben növekedjen a megújulók aránya.

2. *Fosszilisenergia-kiváltás*
   A helyi sportlétesítmények, rendezvénycsarnokok és közintézmények fűtése jelenleg döntően földgázon alapul. A geotermikus ellátás kiválthatja a gázforrásokat az A és B hőkörzetben, és redundáns megoldást nyújt a C hőkörzethez tartozó fürdő mellé.

3. *Energiahatékonyság és hálózati modernizáció*
   A projekt új hőközpont, új primer és szekunder távvezetékek kiépítését, a hőkörzetek integrációját és a visszasajtolási rendszer kialakítását foglalja magában, amely erősíti a DH-szektor karbonmentesítését.

4. *Regionális mintaprojekt*
   A pilot jól demonstrálja, hogyan lehet egy közepes méretű városban fokozatosan hőenergia-közösség alapú, megújuló távhőrendszert kialakítani – ez modellértékű a teljes Danube Region számára.

1.3 Kapcsolódás az Activity 2.3-hoz

A REHEATEAST projekt Activity 2.3 kifejezetten a pilot projektek előkészítésére és tesztelésére fókuszál, különös tekintettel a megújuló hőtermelési technológiák távhőrendszerekbe történő integrációjára. Az aktivitás célja olyan előzetesen megalapozott, műszakilag és jogilag is értelmezhető pilotok kidolgozása, amelyek később tényleges beruházásokká vagy replikálható mintaprojektekké válhatnak. [54] [55] A békéscsabai pilot pontosan megfelel ennek az aktivitásnak, mivel:

1. *Részletes technológiai előkészítés történt:*
   – geotermikus potenciálértékelés (45,1 °C/km gradiens, 110 °C réteghőmérséklet),
   – termálkút-kialakítás műszaki tervei,
   – hőkörzetek fogyasztási adatai, max. 2,1–2,65 MW igénnyel.
2. *Három DH-elrendezés tesztelése (A / A+B / A+B+C).*

3. *Megújuló hő integrációs modell kidolgozása több hőforrással és moduláris bővíthetőséggel.*
4. *Kockázatelemzés, engedélyezési keretek feltárása, visszasajtolási és felszíni elhelyezési opciókkal.*
   – Engedélyek: előzetes vizsgálat, vízjogi engedély, MEKH távhőtermelői engedély stb.
5. *Komplex pilot-előkészítés, amely teljesíti az Activity 2.3 "előzetes műszaki és jogi előkészítés" elvárását.*

1.4 A békéscsabai pilot hozzájárulása a Danube Region Programme céljaihoz

A DRP „zöld” prioritása értelmében a tagállamoknak olyan projektekre kell fókuszálniuk, amelyek:

- csökkentik a CO_2-kibocsátást,
- javítják a helyi energiafüggetlenséget,
- növelik a megújulók integrációját,
- támogatják a fenntartható városfejlesztést. [53]

A pilot ennek megfelelően:

- *CO_2-kibocsátást csökkent*
  A gázfűtés kiváltása geotermiával éves szinten több ezer tonna CO_2-csökkentést tesz lehetővé.
- *Energiafüggetlenséget növel*
  Békéscsaba nem függ a földgázpiac volatilitásától, helyi erőforrással fedezi hőigényének nagy részét.
- *Integrálja a megújuló energiát*
  100%-ban geotermikus ellátás + meglévő termálkút integrálása.
- *Pilotként demonstrálja a DH + RES integrációját*
  A három lehetséges elrendezés jól szemlélteti a skálázható fejlesztést.

1.5 Kapcsolódás nemzeti, regionális és EU-s energiastratégiákhoz

A békéscsabai pilot szoros összhangban áll az Európai Unió és Magyarország energiapolitikai dokumentumaival.

- *EU-s szintű stratégiák:*
  - EU Energy Efficiency Directive (EED) és RED III

A projekt összhangban áll az energiahatékonysági és megújulóenergia-irányelvek (RED III – 2023/2413 EU) elvárásaival, különösen a távhőrendszerek dekarbonizációja és megújuló részarányának növelése terén. [56] [57]

- EU 2030 Climate and Energy Framework
  A geotermikus rendszer segíti a 2030-as célok teljesítését, amely legalább 32%-os megújuló részarány és 55%-os ÜHG-csökkentés. [58]

- *Nemzeti energiastratégiák*
  - Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterv (NEKT)
    A NEKT pár kulcscélja a megújuló energia részarányának növelése, az energiaimport-függőség csökkentése és a távhőrendszerek zöldítése. [59] A békéscsabai pilot teljesíti ezeket, hiszen megújuló hőt integrál egy városi távhőhálózatba.
  - Nemzeti Energia Stratégia 2030 (kitekintéssel 2040-re)
    A stratégia kiemeli a geotermikus potenciál hasznosításának szükségességét, különösen a vidéki városokban [60]. A pilot konkrét példát ad a stratégia gyakorlati alkalmazására.

- *DH-specifikus szakpolitikai dokumentumok*
  - Távhőfejlesztési Cselekvési Terv / Modernizációs Alap távhős programjai:
    Mindkét jelentős hazai pályázat (MEGÚJULÓ + INFRA) támogatja a hőtárolást, a megújuló hőtermelést, a geotermikus rendszereket és a hőközpontok és hálózatok korszerűsítését [61] [62]. A békéscsabai pilot pontos műszaki tartalma megegyezik ezek támogatható tevékenységeivel.

II. Pilot leírás

2.1 Probléma meghatározása és kontextus

- *A pilot célja és relevanciája*

Békéscsaba a Duna Régió jelentős regionális központja, ahol a közintézményi hőellátás túlnyomórészt földgázra épül. A meglévő távhőhálózaton kívüli, hőkörzet-szerű fogyasztói területek (sportlétesítmények, rendezvénycsarnokok, közösségi épületek) nem rendelkeznek megújuló energiaforrásokra épülő hőellátási megoldással, holott a város térsége az ország egyik legjobb geotermikus potenciáljával bír.

Ezek a geotermikus potenciálok a következők:

- Geotermikus gradiens: 45,1 °C/km (a világátlagnál másfélszer nagyobb)
- Elérhető rétegmélység: 2200–2500 m
- Várható réteghőmérséklet: 100–110 °C

- Várható hozam: 20–25 l/s (szivattyús üzemmódban stabilan fenntartható)
- Kémiai összetétel: közepes–nagy keménységű víz, mérsékelt metántartalom (CH_4 ≈ 30–50%)

A korábbi kutatások (pl. 3-102, 3-137, 3-4 kataszteri számú kutak) igazolják, hogy a felső-pannon vízadó rétegek kiváló hőszolgáltatási képességgel bírnak. Ezek alapján Békéscsaba geológiai szempontból kiváló pilot helyszín a geotermikus távhőfejlesztésre.

A pilot célja:

- egy kisméretű, modulárisan bővíthető, geotermikus alapú DH-rendszer kialakításának vizsgálata;
- a hőkörzetek integrálása A → A+B → A+B+C ütemben;
- a fosszilis földgáz részleges/ teljes kiváltása;
- a REHEATEAST keretében a hőenergia-közösség koncepció gyakorlati demonstrálása.

Ez olyan új megközelítést jelent, amely a meglévő szigetszerű intézményi hőellátást egy egységes, megújuló energiára épülő rendszerrel váltja fel.

- *Hozzáadott érték*

A békéscsabai pilot elsőként vizsgálja egy több hőkörzetből álló, több termálkutas hőenergia-közösség rendszer létrehozását**,** amely a meglévő fürdőkút energiáját is integrálja és olyan moduláris DH-modellt mutat be, amely bármely hasonló méretű magyar városban ismételhető. Növeli az ellátásbiztonságot (fürdőkút kapcsolása a közintézményi körzethez) és hőtöbbletet teremt, amely későbbi ipari vagy mezőgazdasági felhasználásra alkalmas (üvegház, halnevelés, hóolvasztás).

- *A pilot által kezelt szükségletek és kihívások*

A vizsgálat az alábbi problémákat azonosította:

- a közintézmények hőellátása nagymértékben földgázfüggő;
- a fogyasztók szétszórtan, kis szigetszerű hőigénycsoportokat alkotnak, ami akadályozza a hálózati integrációt;
- a meglévő geotermikus potenciál kihasználatlan, pedig több évtizedes termálkút-hálózat áll rendelkezésre;
- a fürdő hőkörzetének termálkútja nincs összekötve a többi intézményi hőfelhasználóval, így az ellátásbiztonság nem optimális.

Jelentősége országos szinten is kiemelkedő, mivel Magyarország geotermikus potenciálja stratégiai fontosságú, ám a vidéki városok többsége még nem használja ki azt.

2.2 A jelenlegi helyzet elemzése

- *Adatgyűjtés és felhasznált információk*

  A pilot előkészítése az alábbi adatokra épült:

  - Archív termálkút-adatbázisok (mélység, hőmérséklet, hozam) – 1959–1982 között fúrt 800–2500 m mély kutak elemzése.
  - Békéscsaba önkormányzat által szolgáltatott hőfogyasztási adatok (A, B, C hőkörzetek).
  - Meghatározott hőigényprofilok (2,1 MW; 2,65 MW csúcsterhelés).
  - A 6–22 l/s szabadkifolyású hozamok alapján 25 l/s tervezett új kút-hozam.
  - Éves hőmérsékleti görbék és fűtési kapacitáseloszlás (365 napos meteorológiai statisztika).

- *Feltételezések és korlátok*

A tanulmány korlátai:

  - részletes geológiai modell nem készült (előzetes szintű értékelés);
  - a hőigények részben becslések, mert nem állt rendelkezésre minden épület részletes energetikai auditja;
  - a hálózati kialakítás csak magas-szintű geometriával készült (A, A+B, A+B+C variációk).

- *Azonosított hiányosságok*

  A pilot megalapozza azt, hogy:

  - nincs jelenleg megújuló energia integrálva ezekhez az intézményekhez;
  - a fürdő saját kútja nem támogatja a városi közintézményeket, noha lenne kapacitása;
  - nincs összekapcsolt, redundáns geotermikus hálózat, így nincs hőenergia-közösség modell;
  - a területen nincsenek hőtárolók vagy P2H-megoldások;
  - a geotermikus energia jelenlegi alacsony felhasználása nem felel meg sem az EU RED III, sem a NEKT elvárásainak.
  - a távfűtési engedélyezési és hálózati modell nem támogatja automatikusan az új kapcsolódásokat.

  E hiányosságok alátámasztják, hogy a rendszer modernizációja nemcsak energetikai, hanem strukturális és intézményi kérdés is.

2.3 Optimalizációs célok

A békéscsabai pilot a 4. táblázatban összefoglalt optimalizációs célokat szolgálja.

4. Tábla: Békéscsaba optimalizációs céljai

Optimalizációs cél	Konkrét cél	Mérőszámok (KPI-k)
1. Hőtermelés optimalizálása	A fogyasztói hőigény 19 248–23 602 GJ/év teljes kiváltása geotermiával	Megújuló részarány (%) Gázfogyasztás csökkenése (m^3/év)
2. Hőelosztás optimalizálása (hőkörzet-integráció)	A → A+B → A+B+C hőkörzetek fokozatos összekapcsolása	Ellátott hőkapacitás (MW) Hálózati veszteség (%)
3. Ellátásbiztonság növelése	Több termálkút integrálása (új kút + Árpád-fürdő kútja)	Redundáns hőforrások száma Elkerült leállások száma
4. Másodlagos hasznosítás	Lehűlt termálvíz mezőgazdasági / ipari / hóolvasztási felhasználása	Másodlagosan hasznosított hőenergia (GJ/év)

2.4 Együttműködési célok

A pilot több szereplő együttműködésére épül, lásd 5. táblázat. A kooperáció célja egy széles körű, megosztott felelősségű energiaközösségi modell kialakítása.

5. Tábla: A pilot résztvevői

Szereplő	Szerep	Cél
Békéscsaba MJV Önkormányzata	fogyasztói adatok, helyszínbiztosítás	intézményi hőkörzetek bevonása
Helyi távhőszolgáltató / városi közüzem	üzemeltetés	DH integráció
Fürdő üzemeltetője	meglévő termálkút átadása	ellátásbiztonság növelése
Geotermikus mérnök szervezet	műszaki előkészítés	kútparaméterek meghatározása
REHEATEAST partnerek	módszertani és hőenergia-közösség modell támogatás	nemzetközi tudásmegosztás

2.5 Bevezetett megoldások és a pilot megvalósítási lépései

A pilot a 6. táblázatban bemutatott műszaki és szervezeti megoldásokat vezeti be.

6. Tábla: Pilot műszaki és szervezeti megoldásai

Pilot megoldás	Konkrét tevékenységek
1. Geotermikus forrás integrációjának tesztelése	• Új termelőkút fúrása a Sportcsarnoknál • Visszasajtoló kút kialakítása (1–2 db) • Primer geotermikus kör kiépítése (~1500–4100 m)
2. Hőkörzetek összekapcsolása	• A hőkörzet (sportlétesítmények) → B (közintézmények) → C (fürdő) összekötése • 920 m hosszú csatlakozó vezeték építése
3. Új hőközpont létesítése	• Hőcserélők telepítése • Szivattyúk • Szabályozástechnikai rendszer kialakítása
4. Másodlagos hőhasznosítás vizsgálata	• Üvegházfűtési lehetőségek • Haltenyésztési alkalmazások • Hóolvasztási célú hőhasznosítás

2.6 A pilot megvalósításának fő lépései és mérföldkövei

A pilot során megvalósítandó lépések és mérföldkövek a lentebb felsorolt módon oszlanak el, továbbá a projekthez tartozó Gantt- chart-ot az 1. kép szemlélteti.

- *Előkészítési szakasz (0–12 hónap)*
  - előzetes geológiai értékelés, kútparaméter-becslés;
  - hőkörzetek hőigényének meghatározása;
  - 3 rendszerelrendezési modell kidolgozása;
  - engedélyezési folyamat indítása (előzetes vizsgálat).

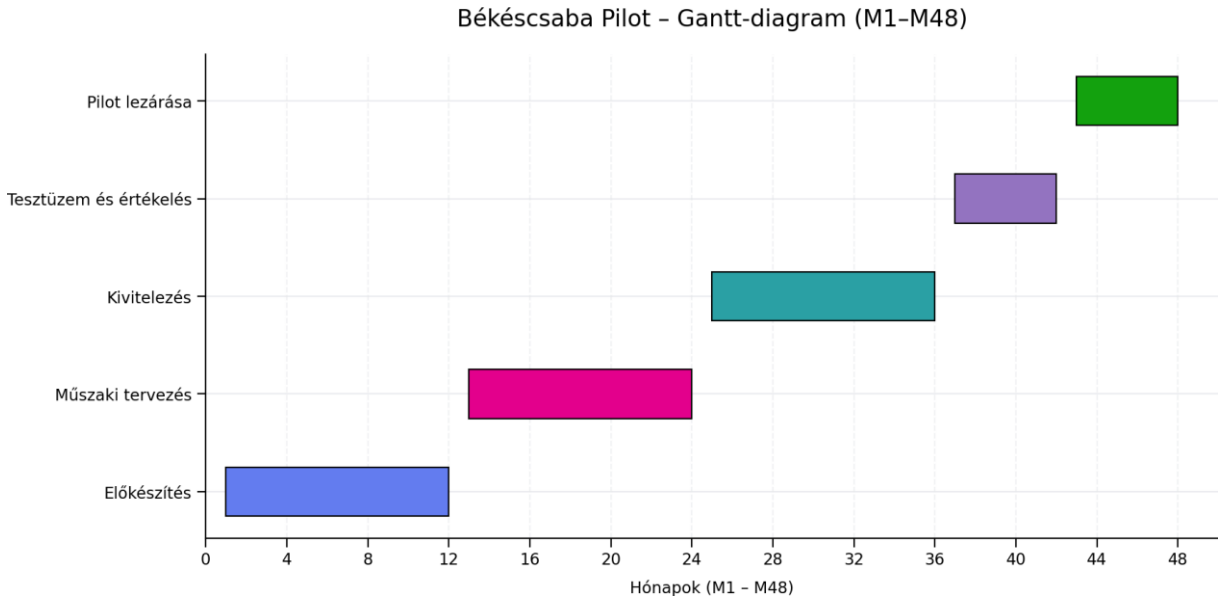
- *Műszaki tervezés (12–24 hónap)*
  - vízjogi létesítési engedélyezés;
  - geotermikus és fogyasztói hálózati tervezés;
  - termelőkút és visszasajtolók helyének véglegesítése.

- *Kivitelezés (24–36 hónap)*

- kút fúrása és tesztelése;
- hővezetékek építése;
- hőközpont kialakítása;
- hálózat felépítése A → A+B → C körzetig.

- *Tesztüzem és értékelés (36–42 hónap)*
  - rendszer tesztüzeme,
  - hőtermelési adatok gyűjtése,
  - optimalizációs javaslatok.

- *Pilot zárása (42–48 hónap)*
  - működési modell átadása;
  - hőenergia-közösség (HEC) javaslatcsomag;
  - nemzetközi disszemináció.



1. Kép: Pilot Gantt-diagramja

III. Elemzés és eredmények

3.1 Alkalmazott módszerek és eszközök

A békéscsabai pilot olyan módszertani keretrendszert alkalmazott, amely alkalmas a megújuló energiaforrásokon alapuló DH-rendszer előkészítésére és értékelésére. A pilotban használt fő eszközök és módszerek:

- *Geotermikus potenciál-értékelés:*
  Archív termálkút-adatbázisok feldolgozása (1959–1982 között fúrt 800–2500 m mély kutak) és tényleges talphőmérsékleti mérések elemzése (110–134 °C közti értékek). A területre jellemző 45,1 °C/km geotermikus gradiens megállapítása, amely a magyar átlag felett van.

- *Hőkörzet-szegmentáció*
  A városi közintézmények és sportlétesítmények hőigényének elemzése alapján három hőkörzetet határoztak meg (A, B, C), amelyek külön vizsgálhatók, majd integrálhatók egy többforrású rendszerbe.

- *Hőigény- és fogyasztásprofil-elemzés*
  Részletes épületlista és hőteljesítmény-becslések (max. igény: A körzet: 2,1 MW, A+B: 2,65 MW). Az éves hőigény-tartomány 19 248–23 602 GJ/év.

- *Műszaki rendszer-modellek kidolgozása*
  Három rendszerelrendezés tesztelnek (A, A+B, A+B+C) és különféle kút- és vezetékgeometriák vizsgálnak. Meghatározzák a visszasajtolási alternatívákat.

- *Engedélyezési útvonal elemzése*
  A pilotban részletes hatósági engedélystruktúra került azonosításra (vízjogi engedély, MEKH engedélyek, előzetes vizsgálat stb.).

3.2 Hatásvizsgálat

A pilot célja egy geotermikus alapú, moduláris DH-rendszer műszaki és gazdasági megvalósíthatóságának bizonyítása. A 7. táblázatban szerepelnek a projekt eredményei és a kvantitatív teljesítménymérők.

A projekt az alábbi hatásokat érte el:

- *Minőségi hatások*
  - Energia- és környezeti eredmények
    A teljes intézménycsoport (sport- és közintézmények) gázfogyasztása jelentős mértékben kiváltható geotermiával. A fürdő meglévő termálkútjának bevonása

további CO_2-csökkentést eredményez. Minimalizálódik a külső fosszilis piacoknak való kitettség.

- Működési hatások
  Redundáns hőforrások (új kút + C körzet kútja) révén nő az ellátásbiztonság. Bővíthető rendszer – alkalmas későbbi ipari fogyasztók bevonására (pl. üvegház, technológiai hőfelhasználás).

- *Célcsoportokra gyakorolt hatások*
  - Önkormányzat: rezsiköltség-csökkenés, ellátásbiztonság.
  - Sport- és közintézmények: stabil hőellátás, alacsonyabb üzemeltetési kockázat.
  - Lakosság: tisztább levegő, környezetbarát infrastruktúra.
  - Duna Régió: replicálható, demonstrációs értékű projekt.

7. Tábla: Kvantitatív KPIs

KPI kategória	Mutató	Érték	Megjegyzés
Energia-termelés	Geotermikus hozam	25 l/s	modell alapján
	Kifolyó vízhőmérséklet	~100 °C	becslés
Megújuló részarány	RES részarány növekedése	0% → 80–100%	A+B ellátható teljesen
CO_2-csökkentés	Elkerült éves emisszió	600–800 t/év	hőigény × 56 kg/GJ
Hőveszteség	Hálózati veszteség csökkenése	10–15%	rövid nyomvonal miatt
Gazdasági előny	Gázkiváltás	600 000–900 000 m³/év	hőigény × fajlagos emisszió
	Intézményi rezsicsökkenés	20–35%	geotermikus OPEX alacsonyabb
Ellátásbiztonság	Redundáns hőforrások száma	2	új kút + fürdőkút
Másodlagos hőhasznosítás	Hasznosítható alacsony hő	20–40%	üvegház, hóolvasztás, H2P

3.3 Stakeholder engagement

A pilot projekt megvalósításában több stakeholder is részt vet, mind meghatározó szereppel, lásd a 8. táblázatot.

8. Tábla: Pilot megvalósításban érintett szereplők

Stakeholder	Szerep	Bevonás módja
Békéscsaba MJV Önkormányzata	hőigény-adatok, területbiztosítás	workshopok, adatbekérés
Sportközpontok, intézmények	hőfogyasztási adatok	interjúk, terepbejárások
Fürdő üzemeltetője	meglévő kút műszaki adatai	műszaki egyeztetések
Mannvit Kft. (geotermikus mérnök)	műszaki előtanulmány készítése	mérnöki konzultációk
REHEATEAST projektpartnerek	módszertani támogatás	regionális találkozók

3.4 Transferability – Átvihetőség és replikálhatóság

A békéscsabai modell kiemelkedően jól átültethető más településekre, mivel:

1. *Moduláris hőkörzet-logika:*
   - kis helyi hőigény-csomópontok geotermikus ellátása → több körzet integrálása.
2. *Meglévő termálkutak új célú hasznosítása:*
   - Magyarországon több mint 900 termálkút van – jellemzően alulhasznált.
3. *Alacsony hálózatépítési igény:*
   - nem teljes városi távhőrendszer, hanem célzott, „mikro-DH”.
4. *Egyszerűen adaptálható döntési és engedélyezési modell:*
   - REHEATEAST metodika → más városok előkészítési útmutatója.

3.5 Fenntarthatóság

A pilot hosszú távú fenntarthatósági előnyei:

- Geotermia mint folyamatos, időjárásfüggetlen megújuló forrás

- Visszasajtolás biztosítja a vízadó réteg regenerálódását
- A rendszer különböző fogyasztói körzeteket képes rugalmasan kiszolgálni
- Az üzemeltetési költségek kiszámíthatóak (alacsony primerenergia-árfüggés)

3.6 Potenciális integráció szakpolitikai ajánlásokba

A pilot eredményei közvetlenül kapcsolódnak:

- A magyar NEKT – megújuló hő részarányának növelése
- Nemzeti Energiastratégia 2030 – geotermia stratégiai szerepe
- RED III (2023/2413 EU) – megújuló részarány növelése a fűtés-hűtés szektorban
- Modernizációs Alap hazai távhős programjai

A pilot eredményei hozzájárulhatnak egy „Magyarországi geotermikus mikro-DH útmutató" kialakításához, amely országos szinten alkalmazható lenne.

3.7 Budget és költségek

A tanulmány alapján a három alternatíva becsült beruházási költségeit a 9. tábla szemlélteti.

9. Tábla: Beruházási költség

A változat	2,0 milliárd Ft
A+B változat	3,0 milliárd Ft
A+B+C változat	3,1 milliárd Ft

Potenciális finanszírozási eszközök:

- Modernizációs Alap (MA/TÁVHŐ/01 és 02)
- EU „Greening the heating sector" források
- Önkormányzati társfinanszírozás
- ESCO vagy koncessziós modell (geotermikus szolgáltató bevonásával)

IV. Következtetések

4.1 Fő tanulságok

A békéscsabai pilot legfontosabb tanulsága, hogy a geotermikus energia lokális integrációja akkor működik hatékonyan, ha a hőfogyasztói szerkezet térben koncentrált, és a rendszer modulárisan bővíthető. A három hőkörzetre bontott fogyasztói struktúra (A–B–C) ideális környezetet biztosít egy olyan DH-rendszerhez, amely fokozatosan, lépésről lépésre építhető ki.

A pilot igazolta, hogy:

- a terület kiemelkedően jó geotermikus adottságai (45,1 °C/km gradiens, >100 °C talphőmérséklet) valódi stratégiai előnyt jelentenek;
- egy 25 l/s körüli hozamú termelőkút már önmagában képes lefedni a teljes A és B hőkörzet hőigényét;
- a meglévő termálkút (C körzet – Árpád Fürdő) integrálható, így növelhető az ellátásbiztonság és csökkenthető a műszaki kockázat;
- a hőkörzetek összekapcsolása új típusú, többforrású hőenergia-közösséget hoz létre.

Ez a tapasztalat más települések számára is fontos: a geotermikus rendszerek akkor működnek a legjobban, ha több hőforrás és több fogyasztó hálózati egységet alkot, és nem elszigetelt, kis kapacitású rendszerek működnek párhuzamosan.

4.2 A fő megállapítások összegzése

1. Megújuló hőellátásra való teljes alkalmasság
   - A vizsgált műszaki modellek alapján Békéscsaba közintézményei részben vagy teljes egészében elláthatók geotermikus energiával. A hőigény (19 248–23 602 GJ/év) a termelőkút hőkapacitásával összhangban van.
2. Jelentős CO_2- és földgázkiváltási potenciál
   - A geotermia → földgáz kiváltása évi több száz tonna CO_2 megtakarítást eredményezne.
3. Műszaki egyszerűség + skálázhatóság
   - Egy központi hőközpont + két vezeték ág + visszasajtoló kút logikája könnyen bővíthető további körzetek felé.
4. Ellátásbiztonsági előnyök
   - A meglévő fürdőkút csatlakoztatása redundanciát biztosít – ez ritka előny a hazai városokban.
5. Magas átvihetőség (transferability)
   - A modell más magyar városokban (Gyula, Kecskemét, Szolnok) hasonló felépítésű intézménycsoportokra könnyen adaptálható.

4.3 Mit érdemes másoknak átvenni?

1. A hőkörzet-alapú tervezési logika

A kis, sűrűn elhelyezkedő intézményekből álló hőkörzet a legalkalmasabb a geotermikus ellátásra. Ez csökkenti a hálózati veszteséget, és pénzügyileg fenntarthatóbb beruházást eredményez.

2. A meglévő termálkutak integrációja

Magyarországon sok településen állnak rendelkezésre rosszul hasznosított termálkutak.

Békéscsaba példája megmutatja, hogy nem szükséges teljesen új infrastruktúrát építeni: a meglévő kút nagyon értékes ellátásbiztonsági elem.

3. *Moduláris fejlesztési ütemek (A → A+B → A+B+C)*

A fázisos fejlesztés lehetővé teszi a beruházási költségek és kockázatok minimalizálását.

4. *Másodlagos hőhasznosítás*

A lehűlt fluidum további körökben (pl. üvegházak, haltenyésztés, hóolvasztás) való hasznosítása külön bevételi vagy ellátásbiztonsági előnyt jelent.

4.4 Hosszú távú várható hatások

A békéscsabai geotermikus pilot hosszú távon jelentősen csökkenti a fosszilis energia arányát a városi hőellátásban, mivel a jelenlegi földgázalapú rendszert egy stabil, helyi és időjárásfüggetlen megújuló forrás váltja ki. A geotermikus energia alkalmazása hozzájárul ahhoz is, hogy a hőárak kiszámíthatóbbá és hosszú távon stabilabbá váljanak, hiszen a geotermia nem függ a nemzetközi energiahordozók árának ingadozásától. A pilot lehetőséget teremt a DH-rendszer fokozatos bővítésére, akár a lakossági bekötések irányába, ami nagymértékben támogatná a városi energiaszerkezet zöldülését és a hőellátás decentralizációját. A projekt megvalósítása egyben helyi gazdasági és munkaerőpiaci hatásokkal is jár: növeli a foglalkoztatást, erősíti a geotermikus technológiákhoz kapcsolódó tudást és kompetenciákat, valamint hosszú távon új szolgáltatási területeket nyithat meg a város számára. Mindezek eredményeként Békéscsaba hosszú távon akár a Duna Régió egyik meghatározó „geotermikus mintavárosává" válhat, amely példaértékű módon demonstrálja a megújuló alapú hőenergia-közösségi rendszerek működését és előnyeit.

4.5 Ajánlások és javaslatok a továbbfejlesztésre

1. *Pilotból demonstrációs projekt*

Javasolt a rendszer A+B körzetig történő megvalósítása, majd a fürdő integrációja. Ez biztosítja a legjobb költség–haszon arányt.

2. *Részletes geológiai és kúthelyszín-modellezés*

A következő lépés: vízbázismodellezés, szivattyúzási tesztek, új kút tervezése.

3. *Hőtároló integrációja (PTES / TTES)*

A nyári–téli szezon közötti hőtárolás javítja a rendszer hatékonyságát, és növeli a megújuló részarányt.

4. *Intézményi és ipari fogyasztók fokozatos bevonása*

A rendszer többletkapacitása lehetőséget ad ipari hőfelhasználók, mezőgazdasági termelők és új városi létesítmények bekötésére.

5. *HEC (Hőenergia-közösség) modell előkészítése*

Javasolt jogi-üzleti modell készítése: közösségi tulajdon, önkormányzati részvétel, szolgáltatói partnerség.

V. A beruházás pénzügyi forrásai (vegyes finanszírozási lehetőségek)

I. Magyarországi pályázati források

A hazai távhőszolgáltatás modernizációját a 2025–2026-os időszakban két meghatározó, a Modernizációs Alapból finanszírozott pályázati konstrukció támogatja. Ezek az Európai Unió kibocsátás-kereskedelmi rendszeréből (ETS) származó forrásokat használják fel a magyar klímacélok, különösen a 30%-os megújuló részarány, elérése érdekében [54].

1.1 Megújuló alapú hőtermelés fejlesztése

Ez az 51 milliárd forintos keretösszegű program a fosszilis tüzelőanyagok kiváltását célozza megújuló energiaforrások és innovatív technológiák integrálásával [55].

A felhívás legfőbb célkitűzései:

- Technológiai váltás: Geotermikus, biomassza-alapú és nagy teljesítményű hőszivattyús rendszerek létesítése.
- Körforgásos energetika: Ipari és települési maradékhő hasznosítása, valamint hőtároló egységek kiépítése a rendszer rugalmasságáért.
- Importfüggőség csökkentése: A földgázfelhasználás közvetlen kiváltása helyi, zöld forrásokkal.

Pályázati feltételek és keretek:

- Jogosultság: Távhőtermelői engedéllyel rendelkező (vagy azt a projekt végéig megszerző) gazdasági társaságok és költségvetési szervek.
- Előírások: Kötelező a hőt átvevő szolgáltató 5 éves, visszavonhatatlan befogadói nyilatkozata.
- Finanszírozás: A vissza nem térítendő támogatás összege 200 millió és 3,5 milliárd Ft között mozoghat.
- Támogatási intenzitás: Alapesetben 45–65%, de finanszírozási hiány igazolása esetén akár a költségek 100%-a is igényelhető [55].

1.2 A távfűtési infrastruktúra korszerűsítése (INFRA-program)

A második, 45 milliárd forintos keret a hálózati veszteségek csökkentésére és a meglévő rendszerek műszaki színvonalának emelésére fókuszál [56].

Támogatható főbb tevékenységek:

- Hőközpontok modernizációja: Szolgáltatói és felhasználói hőközpontok szétválasztása, új szabályozási és mérési technológiák, valamint digitális telemechanikai rendszerek telepítése.
- Hálózati rekonstrukció: Primer távhővezetékek cseréje, szigetelése és korszerű üzemviteli elemek beépítése a hőveszteség minimalizálása érdekében.
- Jövőálló megoldások: Alacsony hőmérsékletű (4GDHC/5GDHC) rendszerek előkészítése és a hőtárolás integrációja.

Fontos korlátozások:

- Célcsoport: Kizárólag távhőszolgáltatók pályázhatnak (konzorciumok nem).
- Kizárt tevékenységek: Nem támogatható a szekunder (épületen belüli) fűtési körök fejlesztése, az ingatlanvásárlás, vagy a távhőről való leválást segítő beruházás.
- Finanszírozás: Az igényelhető összeg 20 és 1500 millió Ft között van, szintén elérhető 100%-os intenzitássaltermészetes monopólium vagy finanszírozási rés igazolása mellett [56].

II. Nemzetközi finanszírozási lehetőségek

A hazai forrásokat egyre inkább kiegészítik azok a nemzetközi pénzügyi instrumentumok, amelyek vegyes finanszírozási modellben (blended finance) segítik a nagyléptékű energetikai beruházásokat. A blended finance konstrukciók lényege, hogy a közpénzből származó támogatások és garanciák olyan módon vonják be a magántőkét, hogy csökkentik a befektetői kockázatot és javítják a projektek bankképességét.

Az Európai Bizottság 2026-os energiahatékonysági finanszírozási jelentése hangsúlyozza, hogy a tisztán támogatás típusú konstrukciók mellett a pénzügyi instrumentumok és a kombinált (blended) finanszírozási rendszerek lényegesen magasabb tőkeáttételt biztosítanak, akár 14-szeres multiplikátorral, míg a programfejlesztési eszközök, például az ELENA [63] és a LIFE CET [64], elérhetik a harmincszoros tőkeáttételt is. [65]

A nemzetközi intézmények, elsősorban az Európai Beruházási Bank (EIB) és az Európai Újjáépítési és Fejlesztési Bank (EBRD), kulcsszerepet játszanak a nagy hőtárolási és távhőrendszeri beruházások finanszírozásában. [66] Az EIB több európai projektben is kedvezményes hitellel támogatta a magas hőmérsékletű tárolók vagy az energiahatékony hálózatok fejlesztését, míg az EBRD Green Cities program keretében számos közép-kelet-európai város távhőmodernizációja valósult meg vegyes finanszírozási struktúrák segítségével. [67]. Az EIB 2021–2024 között több skandináv és németországi projektben nyújtott kedvezményes hitelt magas hőmérsékletű TES-megoldásoknak [68]. A nemzetközi elemzések szerint a blended finance kulcsszereplője az EU egész energiaszektorában, különösen az energiahatékonysági beruházások előmozdításában [69].

2.1 ESCO-modellek alkalmazása a hőtárolási és távhőrendszeri beruházásokban

A finanszírozási lehetőségek között fontos szerepet töltenek be az ESCO-alapú (Energy Service Company) beruházási modellek, amelyek különösen akkor jelentenek megoldást, ha a projektgazdanem rendelkezik elegendő saját forrással. Az ESCO konstrukciókban a beruházást egy energetikai szolgáltató vállalat finanszírozza, és a megtérülés a később keletkező energia- vagy költségmegtakarításból történik. Ez különösen a hőtárolási rendszerek esetében lehet előnyös, ahol nagy beruházási költség mellett hosszabb megtérülési idővel kell számolni.

Az ESCO-modellek eltérő formái léteznek, így például a teljesítményalapú szerződések (EPC), a hosszú távú tulajdonosi struktúrákra épülő BOO/BOOT megoldások, vagy a „Heat-as-a-Service" szolgáltatási modell, amelyben a beruházó az eszköz tulajdonosa marad, a szolgáltató pedig egyszerűen hőt vásárol tőle. Az európai gyakorlat – különösen a skandináv országokban – azt mutatja, hogy az ESCO-alapú beruházások képesek növelni a projektek pénzügyi stabilitását, miközben jelentősen csökkentik a végfelhasználók kockázatait. [70]

Az EU városszintű projektek finanszírozási gyakorlatát bemutató PROSPECT+ program 2024-es összefoglalója szerint az energetikai teljesítményszerződésen (EPC) alapuló ESCO-modellek sikeresen biztosítanak finanszírozást olyan önkormányzati vagy közüzemi beruházásoknak, ahol nincs elegendő saját tőke, és a projekt megtérülési ideje is hosszú lenne [71].

Nemzetközi ESCO-szakmai fórumok kiemelik, hogy az ágazat fő finanszírozási kihívásai közé tartozik a kis projektméret, a magas tranzakciós költségek, valamint a beruházói és banki tudáshiány. [70] A 2025-ös International ESCO Symposium megállapította, hogy a projektek aggregálása, a jövőbeli megtakarítások forfetírozása, illetve a garanciarendszerek (white certificates, állami garanciák) jelentős mértékben növelik az ESCO-finanszírozás vonz erejét [72]

A hőtárolási beruházásoknál különösen relevánsak a következő ESCO-modellek:

- EPC (Energy Performance Contracting): teljesítményalapú megtakarításgarancia,
- BOO/BOOT: az ESCO tulajdonolja a hőtárolót, majd fix idő után átadja a szolgáltatónak,
- Heat-as-a-Service: a szolgáltató nem beruház, csak hőt vásárol az ESCO-tól.

Ezek az üzleti modellek jelentős külföldi projektekben már bizonyítottak. Dániában például több szezonális hőtároló (PTES) épült olyan konstrukcióban, ahol a távhőszolgáltatók és magánszereplők közös tulajdonlási modellben, hosszú távú kapacitásvásárlási szerződésekkel biztosították a megtérülést [66] [73].

III. A nagy léptékű hőtároló rendszerek finanszírozási modelljei Európában

A távhőrendszerek dekarbonizációja és a megújuló energiaforrások részarányának növelése ma már nem képzelhető el a nagy kapacitású hőtárolási technológiák alkalmazása nélkül. A szezonális

hőtárolók (PTES – Pit Thermal Energy Storage) különösen fontosak az olyan országokban, ahol a megújuló alapú hőtermelés időben erősen változó, és szükség van a termelés és a fogyasztás időbeli szétválasztására. Dánia a világ egyik legfejlettebb hőtárolási infrastruktúrájával rendelkezik, és több mint egy évtizedes tapasztalatai ma mintát adnak más országoknak, így Magyarországnak is.

3.1 A Vojens, Dronninglund és Høje Taastrup projektek jelentősége

A dán PTES-rendszerek a világ legnagyobb és legtöbbet vizsgált hőtárolói közé tartoznak. A Marstal és Dronninglund (60 000–75 000 m³) tárolók már korai példái annak, hogyan lehet szezonális hőtárolással javítani a megújuló hő integrációját a távhőhálózatba. Részletes monitorozási adatok bizonyítják, hogy ezek a rendszerek jelentősen csökkentik a fosszilis csúcsforrások használatát, javítják a rendszerhatékonyságot, és kiszámítható működési költségeket biztosítanak a szolgáltatóknak. [73]

A Høje Taastrup-i, 70 000 m³-es hőtároló egy újabb generációt képvisel: dinamikus, rövid ciklusú (1–2 hetes) töltés-kisütés működést tesz lehetővé, évente akár 25–30 teljes ciklussal. ami ritka a szezonális tárolók között. Ez a rugalmasság különösen értékes olyan országokban, ahol a hőtermelési mix gyorsan változik. [16]

A dán projektek finanszírozása általában több forrás kombinációjából épül fel:

- állami támogatások (energiaátmeneti és megújulós programok),
- kedvezményes EIB vagy államilag támogatott hitelek,
- önkormányzati vagy regionális energiacégek önrésze,
- hosszú távú hővásárlási szerződések (capacity off-take).

A Høje Taastrup-i tároló különlegessége, hogy 50–50%-os közös tulajdonban van két távhőhálózati társaság között, és a beruházás megtérülését egy 20 éves kapacitásvásárlási szerződés garantálja, amely kiszámítható bevételi struktúrát biztosít a hőtárolónak. [74] [66]

Egy ilyen modell lehetővé teszi a beruházás kockázatainak megosztását, növeli a projekt bankképességét, és csökkenti a finanszírozási költségeket, vagyis hozzájárul ahhoz, hogy a nagy méretű hőtárolás hosszú távon is fenntartható üzleti modell legyen.

3.2 Többforrású finanszírozás európai várospolitikai projektekben: a REMOURBAN tanulságai

Egy másik példa a REMOURBAN-projekt (REgeneration MOdel for accelerating the smart URBAN transformation) az Európai Unió egyik zászlóshajó városfejlesztési projektje volt, amelynek célja egy holisztikus, energia-, mobilitás- és digitális fókuszú városmegújítási modell kidolgozása és nagyvárosi környezetben való validálása. A program három „lighthouse cityben” (Valladolid – Spanyolország; Nottingham – Egyesült Királyság; Tepebaşı/Eskisehir – Törökország) indult, azonban két „követő város” is részese volt az európai szintű replikációs folyamatnak: Seraing (Belgium) és Miskolc (Magyarország). A követő városok feladata nem a

teljes demonstráció, hanem a modell adaptálhatóságának vizsgálata, a helyi sajátosságokhoz igazított tervezés és a lehetséges beruházási csomagok előkészítése volt [75].

A Valladolid (Spanyolország) kerületében végrehajtott energetikai korszerűsítés például egyedülállóan ötvözte:

- EU támogatásokat,
- önkormányzati hozzájárulást,
- kedvezményes hiteleket,
- EPC (Energy Performance Contracting) alapú ESCO-modellt.

Amelyeket egy integrált városrehabilitációs programba illesztettek. A projektben az energiahatékonysági beavatkozások (épületfelújítás, biomassza-alapú távhőrendszer modernizáció, napelemek telepítése) különböző pénzügyi eszközök kombinációjával valósultak meg és váltak hosszú távon is fenntarthatóvá. [65] [76]

A REMOURBAN egyik legfontosabb tanulsága nem csupán a pénzügyi eszközök halmozása, hanem a finanszírozási mix rugalmas tervezése, amely lehetővé teszi, hogy egy-egy elem (pl. támogatás) csökkenése esetén más eszközök (pl. EPC vagy kedvezményes hitel) átvegyék a beruházási kockázatok egy részét. [76]

3.3 Miskolc szerepe a REMOURBAN projektben

Miskolc, mint jelentős ipari múlttal és kiterjedt távhőrendszerrel rendelkező nagyváros, kulcsszerepet játszott az EU által finanszírozott REMOURBAN projektben. A program célja egy olyan integrált városfejlesztési modell (Urban Regeneration Model – URM) tesztelése és adaptálása volt, amely az energetika, a mobilitás és a digitális rendszerek szinergiájára épít.

- *Stratégiai feladatok és célkitűzések*

A projekt során Miskolc feladata a komplex városi rendszerek fejlesztési lehetőségeinek elemzése és a replikálható üzleti modellek felmérése volt. A tevékenység fókuszában az alábbi területek álltak:

- Rendszerszintű megközelítés: A különálló szakpolitikák helyett az összefüggő városi rendszerek (távhő, közlekedés, IKT) együttes vizsgálata [69].
- Akadálymentesítés: A beruházások útjában álló műszaki, jogi és társadalmi korlátok azonosítása.
- Kapacitásépítés: Olyan döntéstámogató mechanizmusok és monitoring rendszerek kidolgozása, amelyek megalapozzák a jövőbeni nagy léptékű energiahatékonysági projekteket [71].

- *Innovatív finanszírozási és technológiai megoldások*

A REMOURBAN egyik legfontosabb hozadéka az EPC (Energy Performance Contracting) és ESCO típusú üzleti modellek megismertetése volt a városi döntéshozókkal. Ez a megközelítés különösen releváns Miskolc számára, mivel:

- A koros épületállomány és a távhőszektor korszerűsítése hatalmas tőkeigényű, ami csak hibrid finanszírozással (EU-támogatás + kedvezményes hitel + magántőke bevonása) valósítható meg hatékonyan [71].
- Az ESCO modellek alkalmazása csökkenti az önkormányzat beruházási kockázatait és tehermentesíti a városi költségvetést.
- Az alkalmazott IKT-platformok segítik a reális beruházási forgatókönyvek kialakítását és a lakosság aktív bevonását a fejlesztésekbe [73].

- *Főbb tanulságok és jövőkép*

A miskolci értékelés rávilágított, hogy a város strukturális adottságai kiválóak az energia- és mobilitási rendszerek összehangolt fejlesztéséhez. A legfontosabb következtetések a következők:

- Integrált dekarbonizáció: A távhő- és épületenergetikai fejlesztések akkor a leghatékonyabbak, ha energiatárolással és megújuló forrásokkal kombinálják őket.
- Adatalapú tervezés: A projektben bevezetett digitális platformok hosszú távon támogathatják a város energiastratégiáját és a hőtárolási technológiák integrálását.
- Fejlesztési iránytű: A REMOURBAN nem csupán egy elméleti keret, hanem egy gyakorlati útmutató, amely illeszkedik Magyarország 2030-ig terjedő klímacéljaihoz, és közvetlenül felhasználható a jövőbeni nagyvolumenű energetikai beruházások előkészítéséhez.

IV. Következtetések: a hőtárolási beruházások jövője Magyarországon

A fentiek alapján világosan látszik, hogy a hőtárolási beruházások finanszírozásának jövője nagyrészt a pályázati források, a kedvezményes fejlesztési hitelek, a garanciarendszerek, valamint az ESCO-modellek kombinációjában rejlik. A jövő hőtárolási beruházásai hibrid finanszírozási modellre épülnek, amelyben a következő elemek játszanak meghatározó szerepet:

4.1 Pályázati források

A hazai Modernizációs Alap kifejezetten kedvező feltételeket kínál energetikai és távhő-fejlesztési projektekhez, így a hőtárolók finanszírozása számára is stabil alapot jelenthet.

A Modernizációs Alap 2021 óta több mint 20,7 milliárd euró támogatást ítélt oda 12 tagállamnak, köztük Magyarországnak, amely 2025-ben 279 millió euró forráshoz jutott különböző energetikai projektekhez (pl. távhőrendszer-fejlesztés, energiahatékonyság, energia-tárolás és megújuló alapú hőtermelés). [77] A Modernizációs Alap 2025. decemberi közleménye megerősíti, hogy a

támogatott beruházások között energia-tárolási és távhő-fejlesztési projektek szerepelnek, amelyek közvetlenül relevánsak a hőtárolás és a hőellátás zöldítése szempontjából [78]. A Bizottság 2024-ben kifejezetten három magyar energetikai programot támogatott a Modernizációs Alapon keresztül – ebből kettő távhőrendszerek zöldítésére, modernizálására irányult. [79]

4.2 Kedvezményes fejlesztési hitelek

Az EIB és más fejlesztési bankok hitelei különösen alkalmasak nagy volumenű, hosszú megtérülési idejű projektek támogatására. [68] Az EIB energia-hitelpolitikája (Energy Lending Policy) a klíma-célokhoz illeszkedő, alacsony karbonintenzitású beruházásokat részesíti előnyben, és kedvező hitelkonstrukciókat biztosít energiahatékonysági, hálózatfejlesztési és energiatárolási projektekhez. [80]A Bizottság energiahatékonysági finanszírozási jelentése (COM/2026/118) is kiemeli, hogy a pénzügyi instrumentumok – pl. az EIB hitelei – jóval magasabb tőkeáttételt biztosítanak, mint a kizárólag vissza nem térítendő támogatások. [65] A dán PTES-projektek finanszírozásában az ilyen típusú konstrukciók kulcsszerepet játszottak. [73]

4.3 Garanciarendszerek (pl. InvestEU)

A kockázatkezelő garanciák jelentősen javítják a projektek finanszírozhatóságát, különösen abban az esetben, amikor új technológia vagy nagy léptékű beruházás valósul meg. Az InvestEU program 26–28 milliárd euró értékű EU-garanciával támogatja a klíma- és energiaátmenetet, és 2025-re már közel 100 milliárd euró projektet mobilizált (beleértve energiahatékonyságot, megújulókat, infrastruktúrát) [81]. A Net Zero Investor elemzése szerint az InvestEU garancia “a hitelek mögött ülő kockázatmegosztás, amely magánbefektetők számára is vonzóvá teszi a zöld infrastruktúra-projekteket”. [82]

4.4 ESCO-modellek és EPC szerződések

Az EPC-alapú ESCO-modell különösen releváns olyan településeken, ahol a beruházó (önkormányzat vagy távhőszolgáltató) nem rendelkezik elegendő tőkével, vagy a projekt kockázatai túl magasak lennének saját finanszírozás esetén. A REMOURBAN példája bizonyította, hogy megfelelően kombinálva ez a modell akár komplex hő- és energiahatékonysági beruházások finanszírozását is lehetővé teszi. [65]

A Smart Cities Marketplace összefoglalója szerint a REMOURBAN (H2020 SCC1) több európai városban, köztük Miskolcon is bizonyította, hogy EPC-alapú, ESCO-központú finanszírozási struktúra hatékonyan kombinálható:

- EU támogatással,
- önkormányzati hozzájárulással,
- kedvezményes hitellel,
- integrált energiahatékonysági és megújuló fejlesztésekkel. [83]

VI. A pilot projektek összehangolása a nemzeti és uniós stratégiákkal

A békéscsabai geotermikus pilotprojekt olyan energiapolitikai környezetben valósul meg, amelyben az Európai Unió és Magyarország egyaránt a fűtési-hűtési szektor gyors dekarbonizációját, a megújuló energia részarányának növelését és az energiafüggetlenség erősítését tűzte ki célul. A pilot így nem elszigetelt helyi beavatkozás, hanem egy szélesebb, összehangolt stratégiai törekvés konkrét megnyilvánulása.

A projekt illeszkedése több szinten is értelmezhető: megfelel az EU klíma- és energiakeretrendszerének, a hazai energiastratégiáknak, valamint a Danube Region Programme megújuló energia integrációját előtérbe helyező céljainak.

Az Európai Unió megújulóenergia-irányelve (RED III) a tagállamok számára kötelező jelleggel írja elő a megújuló részarány folyamatos növelését a fűtés-hűtés területén, különös hangsúlyt helyezve a helyi, decentralizált energiaforrások szerepére és a hulladékhő integrációjára. A békéscsabai pilot ezzel teljes mértékben összhangban áll, hiszen a városi hőigény jelentős részét egy új, helyben rendelkezésre álló geotermikus termelőkút, valamint egy meglévő fürdőkút kapcsolásával lehet biztosítani, ami lehetővé teszi a földgázalapú hőtermelés jelentős visszaszorítását és a megújuló részarány radikális növelését a kapcsolt hőkörzetekben. A projekt így közvetlenül hozzájárul a RED III-ban rögzített, 2030-ra vonatkozó európai ajánlásokhoz és kötelezettségekhez, amelyek a távfűtési rendszerek modernizációját és dekarbonizációját helyezik előtérbe. [84]

A pilot az Energiahatékonysági Irányelv (EED) elvárásainak is megfelel, amely a végső energiafogyasztás csökkentését, a hőhálózatok hatásfokának növelését, valamint a fogyasztásmérés és adatgyűjtés modernizálását célozza. A projekt keretében létrejövő új hőközpont, az integrált szabályozástechnika és az optimalizált hálózati konfiguráció mind hozzájárulnak az energiahatékonysági célok teljesítéséhez, hiszen csökkentik a hálózati veszteségeket, stabilizálják az ellátást, és lehetővé teszik a helyi megújuló hőtermelés domináns szerepét. Mindez jól illeszkedik ahhoz az uniós törekvéshez, amely a távfűtési rendszerek digitalizációját és hosszú távú modernizációját. [85]

Magyarország energiapolitikai dokumentumai hasonló irányt képviselnek. A Nemzeti Energia- és Klímaterv (NEKT) kiemelten kezeli a megújuló energia részarányának növelését, az energiaimport-függőség csökkentését és a távhőszektor zöldítését. A békéscsabai projekt közvetlenül támogatja ezen törekvéseket, mivel egy teljes hőkörzeti csoport (sport-, közösségi és közintézményi épületek) esetében teszi lehetővé a földgáz teljes vagy részleges kiváltását. A megújuló forrásra alapozott, redundáns hőtermelési struktúra és a hőkörzetek moduláris összekapcsolása mind összhangban állnak a NEKT azon célkitűzésével, hogy a magyarországi

távhőhálózatokban növekedjen a megújuló hő részaránya és csökkenjen a fosszilis tüzelés dominanciája. [86] [87]

A Nemzeti Energia Stratégia 2030 (kitekintéssel 2040-re) külön hangsúlyt fektet arra, hogy Magyarország jelentős, jelenleg alulhasznosított geotermikus potenciálját a jövőben sokkal hatékonyabban építse be a hőenergia-rendszereibe. A békéscsabai geológiai adottságok – a 45,1 °C/km geotermikus gradiens, a 2200–2500 méteres vízadó rétegek, valamint a 100–110 °C hőmérsékletű víz – pontosan megfelelnek azoknak a paramétereknek, amelyeket a stratégiadokumentum rendkívül kedvező fejlesztési kiindulási pontként azonosít. A pilot egyben demonstrálja azt is, miként lehet egy városi hőkörzeti struktúrában több geotermikus forrást összekapcsolni, ezzel újfajta, decentralizált ellátásbiztonsági modellt teremtve. [88]

A projekt egy további kulcsfontosságú szintet is érint: szorosan kapcsolódik a Danube Region Programme „Zöld" prioritásához és a 2.1. specifikus célkitűzéshez, amely a megújuló energia integrációjával és a fosszilisfüggőség csökkentésével támogatja a régió országait. A békéscsabai pilot ennek egyik legkézzelfoghatóbb példája, hiszen egy közepes méretű város szintjén mutatja be, miként lehet megújuló alapokra helyezni egy teljes hőkörzeti rendszert, miközben a projekt módszertani keretei – mint például a több hőforrást egyesítő energiaközösségi modell – könnyen átültethetők más településekre is a Duna-régióban. A projekt ezért nemcsak energetikai modernizáció, hanem régiós mintaprojekt is, amely jól illeszkedik a program dekarbonizációs céljaihoz. [89]

A pilot emellett több olyan uniós kutatási és innovációs kezdeményezéssel is összhangban van – például a MUSE-DHC és az ENABLE-DHC projektekkel –, amelyek a közösségi alapú távfűtési rendszerek létrehozását, a megújulók integrációját és a meglévő távhőhálózatok dekarbonizációját vizsgálják [90] [91] [92]. E projektekhez hasonlóan Békéscsabán is olyan decentralizált, több hőforrást és több fogyasztói csoportot összekapcsoló rendszer jön létre, amely egyszerre műszakilag hatékony, gazdaságilag értelmezhető és társadalmilag is támogatható. A pilot így egy szélesebb uniós tudásbázis lokális alkalmazása, amely a rendszerbeli fejlesztésekre és az energiaközösségi modellekre épít.

Összességében a békéscsabai projekt illeszkedik mind az európai, mind a nemzeti energiastratégiák célrendszerébe. A geotermikus hőtermelésre épülő, moduláris távfűtési, távhűtési és hőenergia-közösség rendszer megvalósítása egyszerre támogatja a klímapolitikai célokat, a fosszilisfüggőség csökkentését, a hőenergia-közösségek elterjedését és a regionális fejlesztési prioritásokat. A projekt olyan megoldásokat vonultat fel, amelyek hosszú távon stabil, fenntartható és skálázható energetikai infrastruktúrát biztosítanak, és egyben a magyarországi hőenergia-rendszerek modernizációjának jövőbeli irányait is kijelölik.

Irodalomjegyzék

[1] MIHŐ Miskolci Hőszolgáltató Kft., "Tájékoztató jogszabály változtatásokról," 29 08 2024. [Online]. Available: https://miho.hu/hirek/tajekoztato-jogszabaly-valtoztatasokrol.

[2] Magyarország Országgyűlés, "2005. évi XVIII. törvény a távhőszolgáltatásról," Magyar Közlöny, 2005. [Online]. Available: https://njt.hu/jogszabaly/2005-18-00-00.

[3] Magyarország Kormány, "238/2025. (VII. 31.) Korm. rendelet távhőszolgáltatásról szóló 2005. évi XVIII. törvény végrehajtásáról szóló 157/2005. (VIII. 15.) Korm. rendelet és a távhűtési szolgáltatásról szóló 201/2016. (VII. 21.) Korm. rendelet módosítása," Nemzeti Jogszabálytár, 2025. [Online]. Available: https://njt.hu/jogszabaly/2025-238-20-22.

[4] Magyarország Országgyűlés, "2025. évi XLV. törvény a távhőszolgáltatásáról szóló 2005.évi XVIII. töevény módosításáról," Magyar Közlöny, 2025. [Online]. Available: https://mkogy.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A2500045.TV.

[5] Magyarország Kormány, "201/2016. (VII. 21.) Korm. rendelet a távhűtési szolgáltatásról," Nemzeti Jogszabálytár, 2016. [Online]. Available: https://njt.hu/jogszabaly/2016-201-20-22.

[6] Magyarország Kormány, "678/2023. (XII. 29.) Korm. rendelet a távhűtési szolgáltatásról szóló 201/2016. (VII. 21.) Korm. rendelet módosításáról," Nemzeti Jogszabálytár, 2023. [Online]. Available: https://njt.hu/jogszabaly/2023-678-20-22.

[7] Infostart, "Újabb részletek arról, hogyan szabja át a kormány a távhőszolgáltatást," 30 09 2024. [Online]. Available: https://infostart.hu/belfold/2024/09/30/ujabb-reszletek-arrol-hogyan-szabja-at-a-kormany-a-tavhoszolgaltatast. [Accessed 13 03 2026].

[8] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, "Thermal Energy Storage Fact Sheet," U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 09 2020. [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/default/files/2021/03/f83/Thermal_Energy_Storage_Fact_Sheet.pdf. [Accessed 24 03 2026].

[9] IEA Energy Storage TCP, "Final Report Task 39: Large Thermal Energy Storage for District Heating," International Energy Agency, 15 05 2025. [Online]. Available: https://www.iea-es.org/wp-content/uploads/public/250514_ES_TCP_Task_39_Final_Report_corrected.pdf. [Accessed 24 03 2026].

[10] "Task 39: Large Thermal Energy Storages for District Heating," IEA Energy Storage TCP, [Online]. Available: https://iea-es.org/task-39/. [Accessed 24 03 2026].

[11] IEA Energy Storage TCP, "Final Report Annex 30: Applications of Thermal Energy Storage," 01 09 2018. [Online]. Available: https://iea-es.org/publications/annex-30-final-report/. [Accessed 24 03 2026].

[12] C. K. Ho and A. Ambrosini, "Chapter 12: Thermal Energy Storage Technologies," in *Energy Storage Handbook (ESHB)*, Washington, D.C., U.S. Department of Energy, 2024.

[13] E. Guelpa and V. Verda, "Thermal Energy Storage in District Heating Systems," in *Thermal Energy Storage Systems: Design, Control, and Applications*, Cham, Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 73-95.

[14] U.S. Department of Energy, "Thermal Energy Storage Projects," 2026. [Online]. Available: https://www.energy.gov/cmei/buildings/listings/thermal-energy-storage-projects. [Accessed 24 03 2026].

[15] U.S. Department of Energy, "Technology Strategy Assessment: Thermal Energy Storage," 07 2023. [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/Technology%20Strategy%20Assessment%20-%20Thermal%20Energy%20Storage.pdf. [Accessed 24 03 2026].

[16] Technische Hochschule Ingolstadt., "Inspiration from Denmark: Pit Thermal Energy Storage for the Heat Transition.," 2025. [Online]. Available: https://www.thi.de/en/research/institute-of-new-energy-systems-ines/details/news/inspiration-from-denmark-pit-thermal-energy-storage-for-the-heat-transition/.

[17] Y. Zhao, T. Viverito, R. Bowers, C. Kimbal, T. Aytas and E. Olivetti, "An Innovative Design of Sensible Molten Salt Thermal Energy Storage Systems With Geopolymer Insulation," National Renewable Energy Laboratory, 2026 01 2024. [Online]. Available: https://docs.nrel.gov/docs/fy24osti/88400.pdf. [Accessed 25 03].

[18] National Energy Technology Laboratory (NETL), "Thermal Energy Storage (TES) Technical Overview," U.S. Department of Energy, 02 2021. [Online]. Available: https://netl.doe.gov/sites/default/files/2021-02/Thermal_Energy_Storage_1Pager.pdf. [Accessed 25 03 2026].

[19] U.S. Department of Energy (DOE), "Thermal Energy Storage (TES) for District Energy Systems: A Handbook of Best Practices," International District Energy Association (IDEA), 2021. [Online]. Available: https://www.districtenergy.org/doebestpractices/tes-handbook. [Accessed 25 03 2026].

[20] Oak Ridge National Laboratory (ORNL), "Thermal Energy Storage for Grid Applications," U.S. Department of Energy, 2014. [Online]. Available: https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub52987.pdf. [Accessed 25 03 2026].

[21] S. Chavan, R. Rudrapati and S. Manickam, "A comprehensive review on current advances of thermal energy storage and its applications," *Energies,* vol. 61, no. 7, pp. 5455-5463, 2024.

[22] J. Pereira, A. Moita and A. Moreira, "An Overview of the Molten Salt Nanofluids as Thermal Energy Storage Media," *Energies,* vol. 16, no. 4, p. 1825, 2023.

[23] Siemens Gamesa, "World first: Siemens Gamesa begins operation of its innovative electrothermal energy storage system," Siemens Energy, 12 06 2019. [Online]. Available: https://www.siemensgamesa.com/global/en/home/press-releases/190612-siemens-gamesa-inauguration-energy-system-thermal.html. [Accessed 25 03 2026].

[24] A. Colthorpe, "Long-duration thermal energy storage startup Azelio wins first commercial order," Energy Storage News, 10 12 2020. [Online]. Available: https://www.energy-storage.news/long-duration-thermal-energy-storage-startup-azelio-wins-first-commercial-order/. [Accessed 25 03 2026].

[25] D. CARROLL, "Adelaide firm commissions molten silicon energy storage system," PV Magazine, 15 08 2023. [Online]. Available: https://www.pv-magazine-australia.com/2023/08/15/adelaide-firm-commissions-molten-silicon-energy-storage-system/. [Accessed 25 03 2026].

[26] businesswire, "Brenmiller's Launches bGen™ ZERO for Renewable Power-to-Heat and Industrial Decarbonization, Expects to Unlock New Revenue Streams," businesswire, 09 08 2023. [Online]. Available: https://www.businesswire.com/news/home/20230809294768/en/Brenmillers-Launches-bGen-ZERO-for-Renewable-Power-to-Heat-and-Industrial-Decarbonization-Expects-to-Unlock-New-Revenue-Streams. [Accessed 25 03 2026].

[27] SaltX Technology, "SaltX in a new industrial pilot project," SaltX Technology, 13 04 2021. [Online]. Available: https://www.saltxtechnology.com/cision/saltx-in-a-new-industrial-pilot-project/. [Accessed 25 03 2026].

[28] U.S. Department of Energy (DOE), "Waste Heat Recovery Basics," Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2026. [Online]. Available: https://www.energy.gov/cmei/ito/waste-heat-recovery-basics. [Accessed 25 03 2026].

[29] International Energy Agency, "Energy communities in the EU," 2021. [Online]. Available: https://www.iea.org/policies/17802-energy-communities-in-the-eu. [Accessed 25 03 2026].

[30] REScoop.eu, "Second generation EU legislation for energy communities," 3 04 2024. [Online]. Available: https://www.rescoop.eu/toolbox/second-generation-eu-legislation-for-energy-communities. [Accessed 25 03 2026].

[31] Energy Community Platform, "Regulatory framework for Community Heating & Cooling," [Online]. Available: https://energycommunityplatform.eu/resources/guidelines-on-community-led-heating-and-cooling/supportive-framework/regulatory-framework-for-chc/. [Accessed 31 03 2026].

[32] REScoop.eu, "Guidelines on community-led heating and cooling," 2024. [Online]. Available: https://energycommunityplatform.eu/resources/guidelines-on-community-led-heating-and-cooling/. [Accessed 25 03 2026].

[33] European Commission; CINEA, "LIFE24-CET-MUSE DHC: coMmUnity-led actionS for Efficient DHC," 2025. [Online]. Available: https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE24-CET-MUSE-DHC-101215495/community-led-actions-for-efficient-dhc. [Accessed 25 03 2026].

[34] Euroheat & Power, "ENABLE DHC: Enabling strategies and investment plans for efficient, multi-energy and digitalized DHC," 22 03 2024. [Online]. Available: https://www.euroheat.org/dhc/eu-projects/enable-dhc. [Accessed 25 03 2026].

[35] International Institute of Refrigeration, "District heating and cooling in Europe: the share of renewable energy," 26 06 2024. [Online]. Available: https://iifiir.org/en/news/district-heating-and-cooling-in-europe-the-share-of-renewable-energy. [Accessed 25 03 2026].

[36] H. Aghaie, P. Leoni and R.-R. Schmidt, "Evolution of the Austrian district heating sector and the role of solar thermal energy: scenarios for 2030," AIT Austrian Institute of Technology, 2020. [Online]. Available: https://task55.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar_district_heating_perspectives_Austria.pdf. [Accessed 25 03 2026].

[37] SOLID Solar Energy Systems, "Solar District Heating - Sustainable heat for urban and rural areas," 2024. [Online]. Available: https://www.solid.at/en/products/solar-district-heating/. [Accessed 25 03 2026].

[38] D. Frieden, A. Tuerk, J. Roberts, S. d'Herbemont and A. Gubina, "Collective self-consumption and energy communities: Overview of emerging regulatory approaches in Europe," COMPILE Consortium / JOANNEUM RESEARCH, 06 2019. [Online]. Available: https://www.rescoop.eu/uploads/rescoop/downloads/COMPILE_Collective_self-consumption_EU.pdf. [Accessed 25 03 2026].

[39] European Commission, "How collective self-consumption can support the creation of 5th generation district heating and cooling," 2024. [Online]. Available: https://build-up.ec.europa.eu/en/news-and-events/news/how-collective-self-consumption-can-support-creation-5th-generation-district. [Accessed 25 03 2026].

[40] D. E. Agency, N. Schneider and T. Nagendiram, "Regulation and planning of district heating in Denmark.," Danish Energy Agency, Copenhagen, 2025.

[41] REDI4HEAT Consortium; Energy Cities, "Best Practice #2: Appropriate legal framework for local authorities to develop heating and cooling policy," European Heat Pump Association (EHPA) / REDI4HEAT, 07 2024. [Online]. Available: https://redi4heat.ehpa.org/wp-content/uploads/2024/07/Best-Practice-2.pdf. [Accessed 25 03 2026].

[42] A. L. Q. Chen-Florea and O. B. Hustad, "Energy Community Avedøre (GOGREEN Case Report Series No. 1)," Roskilde University, 2024. [Online]. Available: https://gogreen-project.com/wp-content/uploads/2024/12/Denmark-Energy-Community-Avedore.pdf. [Accessed 25 03 2026].

[43] Rådet for Grøn Omstilling, "Føns – Citizen-operated district heating," 01 06 2019. [Online]. Available: https://rgo.dk/en/fons-citizen-operated-district-heating/. [Accessed 25 03 2026].

[44] Euroheat & Power, "Thermo Bello: Low-temperature aquathermal district heating project in Culemborg, the Netherlands.," 2023. [Online]. Available: https://www.euroheat.org/dhc/knowledge-hub/thermo-bello-low-temperature-aquathermal-district-heating-project-culemborg-the-netherlands. [Accessed 25 03 2026].

[45] Aurum Europe, "District heating networks in the Netherlands," 29 08 2025. [Online]. Available: https://www.aurumeurope.com/en/blog/district-heating-networks-in-the-netherlands/. [Accessed 25 03 2026].

[46] Construction21, "Experiences with low-temperature district heating and cooling in the Netherlands," Construction21, 22 03 2023. [Online]. Available: https://www.construction21.org/articles/h/experiences-with-low-temperature-district-heating-in-the-netherlands.html. [Accessed 25 03 2026].

[47] TIGI Solar, "District Heating Andritz, Graz," [Online]. Available: https://www.tigisolar.com/project/district-heating-andritz-graz/. [Accessed 25 03 2026].

[48] Stadt Wien, "Electricity and district heat generation - Vienna Climate Guide Monitoring," [Online]. Available: https://www.wien.gv.at/spezial/klimafahrplan-monitoring-en/climate-protection/electricity-and-district-heat-generation/. [Accessed 25 03 2026].

[49] R. Losch, T. Schulz, J. Hollinderbäumer, C. Bremme and J. Sack, "District heating, heat pumps and hydrogen - how Germany plans to decarbonise its heating sector," 12 01 2024. [Online]. Available: https://sustainablefutures.linklaters.com/post/102iwe4/district-heating-heat-pumps-and-hydrogen-how-germany-plans-to-decarbonise-its. [Accessed 25 03 2026].

[50] P. Sterchele, J. Brandes, L. Heivogel, B. Köhler and J. Vierecke, "Decarbonization of District Heating: Pathways and potential for renewable energy integration in Germany," Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE), 11 2023. [Online]. Available: https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/a0ead89b-11d5-4ea8-bf58-425f1582d3b4/content.

[51] Agora Energiewende, "Der Businesscase für klimaneutrale Wärmenetze: Strategien für den Ausbau und die Dekarbonisierung," Agora Energiewende, 08 2023. [Online]. Available: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2023/2023-18_DE_Business_Case_Waermenetze/A-EW_335_Businesscase_Waermenetze_WEB.pdf. [Accessed 25 03 2026].

[52] European Commission, "MUSE DHC: coMmUnity-led actionS for Efficient District Heating & Cooling," European Commission - LIFE Programme, 05 2025. [Online]. Available: https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE24-CET-MUSE-DHC-101215495/community-led-actions-for-efficient-dhc. [Accessed 25 03 2026].

[53] Danube Region Programme, "Priority 2: A greener, low-carbon Danube Region," 2021. [Online]. Available: https://interreg-danube.eu/what-we-finance#2. [Accessed 16 04 2026].

[54] Pannon Európai Területi Társulás, "Ajánlattételi felhívás – Reheateast Pilot 2: District Heating and Cooling System (DHC) in Heat Energy Communities (HEC).," 2026. [Online]. Available: https://interreg-danube.eu/projects/reheateast. [Accessed 16 04 2026].

[55] Danube Region Programme, "Danube Region Programme 2021–2027: Cooperation programme document.," 2021. [Online]. Available: https://interreg-danube.eu/programme. [Accessed 16 04 2026].

[56] European Commission, "Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (RED III)," 2023. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj. [Accessed 16 04 2026].

[57] European Commission, "Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council on energy efficiency (EED)," 2023. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj. [Accessed 16 04 2026].

[58] European Commission, "2030 Climate Target Plan: Delivering on Europe's ambition," 2020. [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en. [Accessed 16 04 2026].

[59] Innovációs és Technológiai Minisztérium, "Nemzeti Energia- és Klímaterv (NEKT)," 2020. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu.pdf. [Accessed 16 04 2026].

[60] Technológiai és Ipari Minisztérium, "Nemzeti Energiastratégia 2030 – kitekintéssel 2040-re," 2021. [Online]. Available: https://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf. [Accessed 16 04 2026].

[61] Innovációs és Technológiai Minisztérium, "Távhőfejlesztési Cselekvési Terv," 2022. [Online]. Available: https://kormany.hu/dokumentumtar/tavhofejlesztesi-cselekvesi-terv. [Accessed 16 04 2026].

[62] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, "A távhőszektor fejlesztésének lehetőségei a Modernizációs Alap keretében," 2023. [Online]. Available: https://www.mekh.hu/tavho. [Accessed 16 04 2026].

[63] COMPASS / R2M., "European Local Energy Assistance (ELENA)," 2025. [Online]. Available: https://compass.r2m.cloud/incentives/european-local-energy-assistance-elena/.

[64] European Commission, "Programme for the Environment and Climate Action (LIFE).," 2025. [Online]. Available: ommission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/programme-environment-and-climate-action-life_en.

[65] European Commission, "Investing in energy efficiency – Financing energy efficiency investments (COM/2026/118).," 2026. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/financing/investing-energy-efficiency_en.

[66] PlanEnergi, "Large Thermal Energy Storage financing methods (Task 45 Webinar Presentation by Geoffroy Gauthier, PlanEnergi).," 2024. [Online]. Available: https://iea-es.org/task-45/wp-content/uploads/sites/33/IEA-ES_Task45_Webinar1_presentation_LTES_financing_methods_PlanEnergi_Gauthier.pdf.

[67] EBRD, "Decarbonisation of district heating," [Online]. Available: https://www.ebrdgreencities.com/policy-tool/category/energy/decarbonisation-of-district-heating/.

[68] European Investment Bank, "Germany: EIB Group increases financial support for green and innovative projects.," 2024. [Online]. Available: https://www.eib.org/en/press/all/2024-033-germany-eib-group-increases-financial-support-for-green-and-innovative-projects.

[69] European Union Energy Initiative Partnership Dialogue Facility, "Challenges and opportunities for blended finance in European energy development cooperation.," Convergence Finance, 2026. [Online]. Available: https://www.convergence.finance/resource/challenges-and-opportunities-for-blended-finance-in-european-energy-development-cooperation/view.

[70] International Energy Agency, "Energy Service Companies (ESCOs): ESCO contracts," 2018. [Online]. Available: https://www.iea.org/reports/energy-service-companies-escos-2/esco-contracts.

[71] PROSPECT+ , "Financing the energy transition with energy performance contracting, blended finance, or energy communities," 2024. [Online]. Available: https://h2020prospect.eu/news-events/financing-energy-transition-energy-performance-contracting-blended-finance-or-energy.

[72] UNEP Copenhagen Climate Centre, "International ESCO Symposium 2025 – Financing and structuring ESCO investments at scale.," Copenhagen Centre on Energy Efficiency, 2025. [Online]. Available: https://c2e2.unepccc.org/kms_object/international-esco-symposium-2025-financing-and-structuring-esco-investments-at-scale/.

[73] PlanEnergi / Solites, "Monitoring Results from Large Scale Heat Storages for District Heating in Denmark.," 2018. [Online]. Available: https://planenergi.eu/wp-content/uploads/2023/08/Schmidt-and-Soerensen_Monitoring-Results-from-Large-Scale-Heat-storages-.pdf.

[74] Argus Media, "EIB's transition, climate finance hit €50.7bn in 2024," 30 01 2025. [Online]. Available: https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2652710-eib-s-transition-climate-finance-hit-eu50.7bn-in-2024.

[75] REMOURBAN, "REgeneration MOdel for accelerating the smart URBAN transformation," 2020. [Online]. Available: http://www.remourban.eu/.

[76] European Commission, "REgeneration MOdel for accelerating the smart URBAN transformation (REMOURBAN)," CORDIS, 2025. [Online]. Available: https://cordis.europa.eu/project/id/646511.

[77] European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency, " €1.8 Billion of Funding From the Modernisation Fund to Boost Clean Energy Projects Across the EU.," 2026. [Online]. Available: https://managenergy.ec.europa.eu/managenergy-discover/managenergy-news/eu18-billion-funding-modernisation-fund-boost-clean-energy-projects-across-eu-2026-01-21_en.

[78] Modernisation Fund., "Joint press release: Modernisation Fund announces €1.8 billion in new clean energy investments.," 12 2025. [Online]. Available: https://www.modernisationfund.eu/joint-press-release-modernisation-fund-announces-e1-8-billion-in-new-clean-energy-investments-bringing-5-year-total-to-over-e20-billion/.

[79] CEENERGYNEWS, "European Commission supports 3 Hungarian energy programs from the Modernisation Fund.," 03 07 2024. [Online]. Available: https://ceenergynews.com/geothermal/european-commission-supports-three-hungarian-energy-programs-from-the-modernization-fund/ .

[80] European Investment Bank, "EIB Grants €200 Million Loan to Latvenergo for Electricity Grid Modernization.," Devdiscourse, 2025. [Online]. Available: https://www.devdiscourse.com/article/business/3300446-eib-grants-200-million-loan-to-latvenergo-for-electricity-grid-modernization.

[81] Circular City Funding Guide, "InvestEU Guarantees," [Online]. Available: https://www.circularcityfundingguide.eu/funding-types-and-their-applicability/guarantees/public-guarantees/invest-eu-guarantees/.

[82] Net Zero Investor., "Green guarantees: InvestEU's role in scaling Europe's energy transition," 2025. [Online]. Available: https://www.netzeroinvestor.net/news-and-views/inside-the-eus-largest-blended-finance-engine-for-the-energy-transition.

[83] Smart Cities Marketplace, "REMOURBAN – REgeneration MOdel for accelerating the smart URBAN transformation.," [Online]. Available: https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/projects-and-sites/projects/remourban.

[84] Net Zero Compare, "EU Renewable Energy Directive (RED III): 42.5% Target by 2030," 26 10 2025. [Online]. Available: https://netzerocompare.com/policies/eu-renewable-energy-directive-eu-red-iii.

[85] European Commission, "Commission publishes final guidance documents for implementing the revised Energy Efficiency Directive.," Directorate-General for Energy, 23 09 2024. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/news/commission-publishes-final-guidance-documents-implementing-revised-energy-efficiency-directive-2024-09-23_en.

[86] Climate Change Laws of the World, "Hungary Updated Final National Energy and Climate Plan (NECP) 2021–2030.," 2024. [Online]. Available: https://climate-laws.org/document/hungary-updated-final-national-energy-and-climate-plan-necp-2021-2030_396a.

[87] International Energy Agency, "Hungary – National Energy and Climate Plan (NECP)," 2025. [Online]. Available: https://www.iea.org/policies/13925-national-energy-and-climate-plan-necp.

[88] Cariaga, C., "Hungary publishes national strategy to double geothermal output by 2030," ThinkGeoEnergy, 29 04 2024. [Online]. Available: Hungary publishes national strategy to double geothermal output by 2030.

[89] Interreg Danube Region Programme, "What we finance – Priority 2: A greener, low-carbon Danube Region," 2026. [Online]. Available: https://interreg-danube.eu/what-we-finance.

[90] Energy Cities, "MUSE-DHC: Community-led actions for efficient district heating & cooling," 2025. [Online]. Available: https://energy-cities.eu/project/muse-dhc/.

[91] European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency, "Call for followers opens under LIFE ENABLE-DHC to accelerate greener district heating," 2026. [Online]. Available: https://cinea.ec.europa.eu/news-events/news/call-followers-opens-under-life-enable-dhc-accelerate-greener-district-heating-2026-03-03_en.

[92] AIT Austrian Institute of Technology, "Strategies for decarbonizing district heating – ENABLE-DHC project," 2024. [Online]. Available: https://www.ait.ac.at/en/research-topics/flexibility-business-models/projects/strategies-for-decarbonizing-district-heating.

[93] Nemzeti Energetikai Ügynökség (NEÜ) Zrt., "Pályázati felhívás – Távfűtési rendszer infrastruktúrájának korszerűsítése és fejlesztése (2025/MA/TÁVHŐ/01," 2025. [Online]. Available: https://nffku.hu/images/Infra/Palyazati_felhivas_tavho_infra_20250604.pdf.

[94] Nemzeti Energetikai Ügynökség (NEÜ) Zrt. , "Pályázati felhívás – Megújuló energián alapuló távfűtési rendszer korszerűsítése és fejlesztése (2025/MA/TÁVHŐ/02).," 2025. [Online]. Available: https://nffku.hu/images/Megujulo/Palyazati_felhivas_tavho_megujulo.pdf.

[95] European Bank for Reconstruction and Development, "EBRD launches US$ 634 million programme for greener financial systems.," [Online]. Available: https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2025/ebrd-launches-us--634-million-programme-for-greener-financial-sy.html. [Accessed 11].

[96] OPEC Fund for International Development, "EBRD Green Cities," 2021. [Online]. Available: https://opecfund.org/news-events/news/ebrd-green-cities.

[97] Steinbeis Europa Zentrum, "A sustainable model for intelligent urban renewal (REMOURBAN)," [Online]. Available: https://www.steinbeis-europa.de/en/projects/eu-project-remourban.

[98] S. Atcitty, "Energy Storage Overview and Technology Progress," Sandia National Laboratories, 05 2020. [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/default/files/2020/05/f75/2_Atcitty_Sandia.pdf. [Accessed 24 03 2026].

[99] Magyarország Kormány, "A távhűtési szolgáltatásról szóló 201/2016. (VII. 21.) Korm. rendelet egyes módosított rendelkezései," 2025. [Online]. Available:

https://cdn.kormany.hu/uploads/document/9/9d/9d8/9d88d2bb17f074e15c8eb4b750dc899d882b25d4.pdf..

[100] International Energy Agency, "District Heating - Energy System," [Online]. Available: https://www.iea.org/energy-system/buildings/district-heating. [Accessed 25 03 2026].

Interreg
Danube Region

Co-funded by
the European Union

REHEATEAST

Geotermikus alapú hőenergia-közösség kialakítása Békéscsabán – Pilot bemutatás

Activity A.2.3

Szerzők

INFOWARE ZRT.
Székhely: Határ út 22, Szigetszentmiklós, 2310 Hungary
Cgj. szám: Cg. 13-10-041366
Adószám: 10900516-2-13
Tel.: +36 24 465 171
Fax: +36 24 442 139
E-mail: office@infoware.hu
Web.: www.infoware.hu

Dokument cím	Békéscsaba HEC
Specific Objective	Specific Objective 2
Dátum	2026.04.07

Köszönetnyilvánítás és jogi nyilatkozat

Ez a dokumentum a REHEATEAST projekt keretében készült, amely az Európai Unió által társfinanszírozott Interreg Duna-régió program része.

Sem az Európai Unió, sem annak nevében eljáró személyek nem vállalnak felelősséget az itt szereplő információk felhasználásáért. A dokumentum tartalma a szerzők véleményét tükrözi, és nem feltétlenül egyezik meg az Európai Unió véleményével vagy álláspontjával.

A jelentésben szereplő információk tájékoztató jellegűek, és kizárólag kutatási célokat szolgálnak. Bár minden erőfeszítést megtettünk a pontosság biztosítása érdekében, nem vállalunk felelősséget a hibákért, kihagyásokért, illetve az információk rendeltetéstől eltérő felhasználásáért.

A nem kereskedelmi célú sokszorosítás és fordítás megengedett, feltéve, hogy a forrást megfelelően feltüntetik.

Projekt partnerek

Lead partner: Pannon European Grouping of Territorial Cooperation (PANNON), HU

PP2: NFFKÜ International Fund Development and Coordination Agency (IDEFA), HU

PP3: Energy Institute Hrvoje Požar (EIHP), HR

PP4: Technical University of Cluj-Napoca (UTCLUJ), RO

PP5: Local Energy Agency Pomurje (LEAPOM), SLO

PP6: European Grouping of Territorial Cooperation Via Carpatia (VIACARP), SK

PP7: Standing Conference of Towns and Municipalities (SCTM), SRB

PP8: Jožef Stefan Institute (JSI), SLO

PP9: Resource Aarhus Center in Bosnia and Herzegovina (AC-BIH), BiH

PP10: Center for Energy Efficiency Eneffect (ENEFFECT), BG

PP11: ABE Renewable (ABE), SRB

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék IV
Rövidítések V
Táblázatok jegyzéke VI
Ábrák jegyzéke VI
Vezetői Összefoglaló 1
1. Bevezetés 2
2. Pilot leírás 6
3. Elemzés és eredmények 12
4. Következtetések 16

Rövidítések

Abbreviation	Full name
HEC	Heat Energy Community; hőenergia-közösség
DH	District Heating; távfűtési rendszer
DRP	Danube Region Programme
RES	Renewable Energy Source
EED	EU Energy Efficiency Directive
NEKT	Magyarországi Nemzeti Energia- és Klímaterv
P2H	Power to Heat; villamos energia hőenergiává alakítása
MJV	Megyei Jogú Város
KPI	Key Performance Indicator
OPEX	Operational Expenditure
H2P	Heat to Power; hőenergia villamos energiává alakítása
PTES	Pit Thermal Energy Storage; Medencés hőtároló
TTES	Tank Thermal Energy Storage; Tartályos hőtároló

Táblázatok jegyzéke

1. Tábla: Feltárt hőpiac hőkörzetei
2. Tábla: Békéscsaba optimalizációs céljai
3. Tábla: A pilot résztvevői
4. Tábla: Pilot műszaki és szervezeti megoldásai
5. Tábla: Kvantitatív KPIs
6. Tábla: Pilot megvalósításban érintett szereplők
7. Tábla: Beruházási költség

Ábrák jegyzéke

1. Kép: Pilot Gantt-diagramja

Vezetői Összefoglaló

A jelen tanulmány a REHEATEAST projekt keretében kidolgozott békéscsabai pilot projektet mutatja be, amely egy innovatív, geotermikus energiára épülő, modulárisan bővíthető távhőellátási rendszer (DHC) kialakításának lehetőségét vizsgálja. A projekt célja, hogy csökkentse a fosszilis energiahordozók – különösen a földgáz – felhasználását a városi közintézmények hőellátásában, miközben növeli a megújuló energiaforrások arányát és erősíti az ellátásbiztonságot.

A pilot három, térben jól elkülöníthető hőkörzetre (A, B, C) épül, amelyek sportlétesítményeket, közintézményeket és a helyi gyógyfürdőt foglalják magukba. Az elemzések alapján ezen körzetek hőigénye (évente mintegy 19 000–23 600 GJ) egy új, kb. 25 l/s hozamú, ~100 °C hőmérsékletű geotermikus kúttal teljes mértékben kielégíthető, különösen az A és B körzetek esetében. A rendszer fokozatosan, modulárisan építhető ki (A → A+B → A+B+C), amely lehetővé teszi a beruházási kockázatok és költségek optimalizálását.

A projekt egyik legnagyobb hozzáadott értéke a hőenergia-közösség (Heat Energy Community, HEC) koncepció gyakorlati alkalmazása, amely több hőforrás és több fogyasztói csoport integrált működését valósítja meg. A meglévő termálkút (C körzet) bevonása redundáns hőforrásként tovább növeli a rendszer üzembiztonságát. A geotermikus energia alkalmazásával évente akár 600–800 tonna CO_2-kibocsátás kerülhető el, valamint jelentős földgázkiváltás érhető el.

A pilot szorosan illeszkedik az európai és hazai energiapolitikai célokhoz, különösen az energiahatékonyság növelésére, a megújuló energiaforrások integrációjára és a távhőrendszerek dekarbonizációjára irányuló törekvésekhez (pl. EED, RED III, NEKT). Emellett modellértékű megoldást kínál más, hasonló adottságú városok számára is, különösen ott, ahol jelentős, de kihasználatlan geotermikus потенциал áll rendelkezésre.

Összességében a békéscsabai pilot bizonyítja, hogy egy közepes méretű városban is megvalósítható egy fenntartható, gazdaságos és biztonságos, megújuló alapú hőellátási rendszer, amely hosszú távon hozzájárul az energiafüggetlenséghez, a költségek stabilizálásához és a környezeti terhelés csökkentéséhez.

1. Bevezetés

1.1 Kapcsolódás a REHEATEAST projekt átfogó céljaihoz

A REHEATEAST projekt fő célja, hogy a Duna-régió keleti területein csökkentse a távfűtési rendszerek fosszilisenergia-igényét, és elősegítse a megújuló energiaforrások, köztük a geotermia, integrációját a helyi energiaközösségekbe.

A jelen tanulmány Békéscsabát mutatja be, mint lehetséges magyarországi mintaprojekt-helyszínt, amely közvetlenül támogatja ezt a célt, mivel:

- 100%-ban megújuló alapú geotermikus hőtermelésre épül a sport-, rekreációs és közintézmények csoportjára.
- Kialakítható moduláris, bővíthető DH-rendszer, amely a helyi hőkörzetek (A, B, C) fokozatos integrálásával növeli a megújuló részarányt.
- A geotermikus adottságok lehetővé teszik a fosszilis gáz kiváltását, ami a REHEATEAST egyik legfontosabb output-eredménye.

Továbbá a pilot:

- demonstrálja a HEC (hőenergia-közösség) koncepció gyakorlati alkalmazását több hőforrás és több fogyasztói körzet kapcsolásával,
- növeli a lokális ellátásbiztonságot,
- csökkenti a távhőrendszer szénintenzitását.

A feltárt hőpiac három fő hőkörzetre (A, B, C) tagolódik, amelyek önkormányzati tulajdonú, közösségi és sportcélú létesítményeket foglalnak magukban, lásd 1. táblázat.

1. Tábla: Feltárt hőpiac hőkörzetei

Hőkörzet	Fő fogyasztók	Becsült hőigény (GJ/év)
A	Sportcsarnok, vívócsarnok, sportpályák, uszoda	19 248
B	Gyermekétkeztető központ, rendezvénycsarnokok	23 602
C	Árpád Gyógy- és Strandfürdő (saját termálkúttal)	integrálható forrásként

A városi hőigény sűrűn beépített, közművesített területen koncentrálódik, amely kedvez a rövid hővezeték-hálózat kialakításának.
Az „A+B” körzetek kombinált hőteljesítmény-igénye 2,6–3,0 MW, ami teljes mértékben lefedhető egy újonnan létesített geotermikus termelő és két visszasajtoló kúttal.

1.2 Kapcsolódás a Specific Objective 2.1-hez

Az Interreg Danube Region Programme Specific Objective 2.1 célja az energia- és közlekedési ágazatok dekarbonizációja a megújuló energiaforrások integrációjának erősítésével, különös tekintettel a helyi és regionális energiarendszerek átalakítására. E célkitűzés kifejezetten ösztönzi azokat a beruházásokat és pilot projekteket, amelyek a fosszilis energiahordozók kiváltását, a megújuló energia részarányának növelését és a helyi energiafüggetlenség javítását szolgálják. A békéscsabai pilot szoros kapcsolatban áll a Specific Objective 2.1 célkitűzéseivel:

1. *Megújuló energia integrációja a hőszektorba*
   A pilot egy új 25 l/s hozamú, ~100 °C kifolyó hőmérsékletű geotermikus termelőkutat és egy vagy több visszasajtoló kutat létesít. Ez teljes egészében a Duna Régió Program azon célját szolgálja, hogy a távhőrendszerekben növekedjen a megújulók aránya.

2. *Fosszilisenergia-kiváltás*
   A helyi sportlétesítmények, rendezvénycsarnokok és közintézmények fűtése jelenleg döntően földgázon alapul. A geotermikus ellátás kiválthatja a gázforrásokat az A és B hőkörzetben, és redundáns megoldást nyújt a C hőkörzethez tartozó fürdő mellé.

3. *Energiahatékonyság és hálózati modernizáció*
   A projekt új hőközpont, új primer és szekunder távvezetékek kiépítését, a hőkörzetek integrációját és a visszasajtolási rendszer kialakítását foglalja magában, amely erősíti a DH-szektor karbonmentesítését.

4. *Regionális mintaprojekt*
   A pilot jól demonstrálja, hogyan lehet egy közepes méretű városban fokozatosan hőenergia-közösség alapú, megújuló távhőrendszert kialakítani – ez modellértékű a teljes Danube Region számára.

1.3 Kapcsolódás az Activity 2.3-hoz

A REHEATEAST projekt Activity 2.3 kifejezetten a pilot projektek előkészítésére és tesztelésére fókuszál, különös tekintettel a megújuló hőtermelési technológiák távhőrendszerekbe történő integrációjára. Az aktivitás célja olyan előzetesen megalapozott, műszakilag és jogilag is értelmezhető pilotok kidolgozása, amelyek később tényleges beruházásokká vagy replikálható mintaprojektekké válhatnak. A békéscsabai pilot pontosan megfelel ennek az aktivitásnak, mivel:

1. *Részletes technológiai előkészítés történt:*

- geotermikus potenciálértékelés (45,1 °C/km gradiens, 110 °C réteghőmérséklet),
- termálkút-kialakítás műszaki tervei,
- hőkörzetek fogyasztási adatai, max. 2,1–2,65 MW igénnyel.

2. *Három DH-elrendezés tesztelése (A / A+B / A+B+C).*
3. *Megújuló hő integrációs modell kidolgozása több hőforrással és moduláris bővíthetőséggel.*
4. *Kockázatelemzés, engedélyezési keretek feltárása, visszasajtolási és felszíni elhelyezési opciókkal.*
   – Engedélyek: előzetes vizsgálat, vízjogi engedély, MEKH távhőtermelői engedély stb.
5. *Komplex pilot-előkészítés, amely teljesíti az Activity 2.3 "előzetes műszaki és jogi előkészítés" elvárását.*

1.4 A békéscsabai pilot hozzájárulása a Danube Region Programme céljaihoz

A DRP „zöld” prioritása értelmében a tagállamoknak olyan projektekre kell fókuszálniuk, amelyek:

- csökkentik a CO_2-kibocsátást,
- javítják a helyi energiafüggetlenséget,
- növelik a megújulók integrációját,
- támogatják a fenntartható városfejlesztést.

A pilot ennek megfelelően:

- *CO_2-kibocsátást csökkent*
  A gázfűtés kiváltása geotermiával éves szinten több ezer tonna CO_2-csökkentést tesz lehetővé.
- *Energiafüggetlenséget növel*
  Békéscsaba nem függ a földgázpiac volatilitásától, helyi erőforrással fedezi hőigényének nagy részét.
- *Integrálja a megújuló energiát*
  100%-ban geotermikus ellátás + meglévő termálkút integrálása.
- *Pilotként demonstrálja a DH + RES integrációját*
  A három lehetséges elrendezés jól szemlélteti a skálázható fejlesztést.

1.5 Kapcsolódás nemzeti, regionális és EU-s energiastratégiákhoz

A békéscsabai pilot szoros összhangban áll az Európai Unió és Magyarország energiapolitikai dokumentumaival.

- *EU-s szintű stratégiák:*
  - EU Energy Efficiency Directive (EED) és RED III[1]

1 European Commission. (2023). Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (RED III). https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj European Commission. (2023). Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council on energy efficiency (EED). https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj

A projekt összhangban áll az energiahatékonysági és megújulóenergia-irányelvek (RED III – 2023/2413 EU) elvárásaival, különösen a távhőrendszerek dekarbonizációja és megújuló részarányának növelése terén.

- EU 2030 Climate and Energy Framework[2]
  A geotermikus rendszer segíti a 2030-as célok teljesítését, amely legalább 32%-os megújuló részarány és 55%-os ÜHG-csökkentés.

- *Nemzeti energiastratégiák*
  - Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterv (NEKT)[3]
    A NEKT pár kulcscélja a megújuló energia részarányának növelése, az energiaimport-függőség csökkentése és a távhőrendszerek zöldítése. A békéscsabai pilot teljesíti ezeket, hiszen megújuló hőt integrál egy városi távhőhálózatba.
  - Nemzeti Energia Stratégia 2030 (kitekintéssel 2040-re)[4]
    A stratégia kiemeli a geotermikus potenciál hasznosításának szükségességét, különösen a vidéki városokban. A pilot konkrét példát ad a stratégia gyakorlati alkalmazására.

- *DH-specifikus szakpolitikai dokumentumok*
  - Távhőfejlesztési Cselekvési Terv / Modernizációs Alap távhős programjai[5]:
    Mindkét jelentős hazai pályázat (MEGÚJULÓ + INFRA) támogatja a hőtárolást, a megújuló hőtermelést, a geotermikus rendszereket és a hőközpontok és hálózatok korszerűsítését. A békéscsabai pilot pontos műszaki tartalma megegyezik ezek támogatható tevékenységeivel.

---

[2] *European Commission. (2020). 2030 Climate Target Plan: Delivering on Europe's ambition. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en*

[3] *Innovációs és Technológiai Minisztérium. (2020). Nemzeti Energia- és Klímaterv (NEKT). https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu.pdf*

[4] *Technológiai és Ipari Minisztérium. (2021). Nemzeti Energiastratégia 2030 – kitekintéssel 2040-re. https://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf*

[5] *Innovációs és Technológiai Minisztérium. (2022). Távhőfejlesztési Cselekvési Terv. https://kormany.hu/dokumentumtar/tavhofejlesztesi-cselekvesi-terv*
Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal. (2023). A távhőszektor fejlesztésének lehetőségei a Modernizációs Alap keretében. https://www.mekh.hu/tavho

2. Pilot leírás

2.1 Probléma meghatározása és kontextus

- *A pilot célja és relevanciája*

Békéscsaba a Duna Régió jelentős regionális központja, ahol a közintézményi hőellátás túlnyomórészt földgázra épül. A meglévő távhőhálózaton kívüli, hőkörzet-szerű fogyasztói területek (sportlétesítmények, rendezvénycsarnokok, közösségi épületek) nem rendelkeznek megújuló energiaforrásokra épülő hőellátási megoldással, holott a város térsége az ország egyik legjobb geotermikus potenciáljával bír.

Ezek a geotermikus potenciálok a következők:

- Geotermikus gradiens: 45,1 °C/km (a világátlagnál másfélszer nagyobb)
- Elérhető rétegmélység: 2200–2500 m
- Várható réteghőmérséklet: 100–110 °C
- Várható hozam: 20–25 l/s (szivattyús üzemmódban stabilan fenntartható)
- Kémiai összetétel: közepes–nagy keménységű víz, mérsékelt metántartalom (CH_4 ≈ 30–50%)

A korábbi kutatások (pl. 3-102, 3-137, 3-4 kataszteri számú kutak) igazolják, hogy a felső-pannon vízadó rétegek kiváló hőszolgáltatási képességgel bírnak. Ezek alapján Békéscsaba geológiai szempontból kiváló pilot helyszín a geotermikus távhőfejlesztésre.

A pilot célja:

- egy kisméretű, modulárisan bővíthető, geotermikus alapú DH-rendszer kialakításának vizsgálata;
- a hőkörzetek integrálása A → A+B → A+B+C ütemben;
- a fosszilis földgáz részleges/ teljes kiváltása;
- a REHEATEAST keretében a hőenergia-közösség koncepció gyakorlati demonstrálása.

Ez olyan új megközelítést jelent, amely a meglévő szigetszerű intézményi hőellátást egy egységes, megújuló energiára épülő rendszerrel váltja fel.

- *Hozzáadott érték*

A békéscsabai pilot elsőként vizsgálja egy több hőkörzetből álló, több termálkutas hőenergia-közösség létrehozását**,** amely a meglévő fürdőkút energiáját is integrálja és olyan moduláris DH-modellt mutat be, amely bármely hasonló méretű magyar városban ismételhető. Növeli az ellátásbiztonságot (fürdőkút kapcsolása a közintézményi körzethez) és hőtöbbletet teremt,

amely későbbi ipari vagy mezőgazdasági felhasználásra alkalmas (üvegház, halnevelés, hóolvasztás).

- *A pilot által kezelt szükségletek és kihívások*

A vizsgálat az alábbi problémákat azonosította:

- a közintézmények hőellátása nagymértékben földgázfüggő;
- a fogyasztók szétszórtan, kis szigetszerű hőigénycsoportokat alkotnak, ami akadályozza a hálózati integrációt;
- a meglévő geotermikus potenciál kihasználatlan, pedig több évtizedes termálkút-hálózat áll rendelkezésre;
- a fürdő hőkörzetének termálkútja nincs összekötve a többi intézményi hőfelhasználóval, így az ellátásbiztonság nem optimális.

Jelentősége országos szinten is kiemelkedő, mivel Magyarország geotermikus potenciálja stratégiai fontosságú, ám a vidéki városok többsége még nem használja ki azt.

2.2 A jelenlegi helyzet elemzése

- *Adatgyűjtés és felhasznált információk*

A pilot előkészítése az alábbi adatokra épült:

- Archív termálkút-adatbázisok (mélység, hőmérséklet, hozam) – 1959–1982 között fúrt 800–2500 m mély kutak elemzése.
- Békéscsaba önkormányzat által szolgáltatott hőfogyasztási adatok (A, B, C hőkörzetek).
- Meghatározott hőigényprofilok (2,1 MW; 2,65 MW csúcsterhelés).
- A 6–22 l/s szabadkifolyású hozamok alapján 25 l/s tervezett új kút-hozam.
- Éves hőmérsékleti görbék és fűtési kapacitáseloszlás (365 napos meteorológiai statisztika).

- *Feltételezések és korlátok*

A tanulmány korlátai:

- részletes geológiai modell nem készült (előzetes szintű értékelés);
- a hőigények részben becslések, mert nem állt rendelkezésre minden épület részletes energetikai auditja;
- a hálózati kialakítás csak magas-szintű geometriával készült (A, A+B, A+B+C variációk).

- *Azonosított hiányosságok*

A pilot megalapozza azt, hogy:

- nincs jelenleg megújuló energia integrálva ezekhez az intézményekhez;
- a fürdő saját kútja nem támogatja a városi közintézményeket, noha lenne kapacitása;
- nincs összekapcsolt, redundáns geotermikus hálózat, így nincs hőenergia-közösség modell;
- a területen nincsenek hőtárolók vagy P2H-megoldások;
- a geotermikus energia jelenlegi alacsony felhasználása nem felel meg sem az EU RED III, sem a NEKT elvárásainak.

- a távfűtési engedélyezési és hálózati modell nem támogatja automatikusan az új kapcsolódásokat.

E hiányosságok alátámasztják, hogy a rendszer modernizációja nemcsak energetikai, hanem strukturális és intézményi kérdés is.

2.3 Optimalizációs célok

A békéscsabai pilot a 2. táblázatban összefoglalt optimalizációs célokat szolgálja.

2. Tábla: Békéscsaba optimalizációs céljai

Optimalizációs cél	Konkrét cél	Mérőszámok (KPI-k)
1. Hőtermelés optimalizálása	A fogyasztói hőigény 19 248–23 602 GJ/év teljes kiváltása geotermiával	Megújuló részarány (%) Gázfogyasztás csökkenése (m³/év)
2. Hőelosztás optimalizálása (hőkörzet-integráció)	A → A+B → A+B+C hőkörzetek fokozatos összekapcsolása	Ellátott hőkapacitás (MW) Hálózati veszteség (%)
3. Ellátásbiztonság növelése	Több termálkút integrálása (új kút + Árpád-fürdő kútja**)**	Redundáns hőforrások száma Elkerült leállások száma
4. Másodlagos hasznosítás	Lehűlt termálvíz mezőgazdasági / ipari / hóolvasztási felhasználása	Másodlagosan hasznosított hőenergia (GJ/év)

2.4 Együttműködési célok

A pilot több szereplő együttműködésére épül, lásd 3. táblázat. A kooperáció célja egy széles körű, megosztott felelősségű energiaközösségi modell kialakítása.

3. Tábla: A pilot résztvevői

Szereplő	Szerep	Cél
Békéscsaba MJV Önkormányzata	fogyasztói adatok, helyszínbiztosítás	intézményi hőkörzetek bevonása
Helyi távhőszolgáltató / városi közüzem	üzemeltetés	DH integráció
Fürdő üzemeltetője	meglévő termálkút átadása	ellátásbiztonság növelése
Geotermikus mérnök szervezet	műszaki előkészítés	kútparaméterek meghatározása
REHEATEAST partnerek	módszertani és hőenergia-közösség modell támogatás	nemzetközi tudásmegosztás

2.5 Bevezetett megoldások és a pilot megvalósítási lépései

A pilot a 4. táblázatban bemutatott műszaki és szervezeti megoldásokat vezeti be.

4. Tábla: Pilot műszaki és szervezeti megoldásai

Pilot megoldás	Konkrét tevékenységek
1. Geotermikus forrás integrációjának tesztelése	• Új termelőkút fúrása a Sportcsarnoknál • Visszasajtoló kút kialakítása (1–2 db) • Primer geotermikus kör kiépítése (~1500–4100 m)
2. Hőkörzetek összekapcsolása	• A hőkörzet (sportlétesítmények) → B (közintézmények) → C (fürdő) összekötése • 920 m hosszú csatlakozó vezeték építése
3. Új hőközpont létesítése	• Hőcserélők telepítése • Szivattyúk • Szabályozástechnikai rendszer kialakítása
4. Másodlagos hőhasznosítás vizsgálata	• Üvegházfűtési lehetőségek • Haltenyésztési alkalmazások • Hóolvasztási célú hőhasznosítás

2.6 A pilot megvalósításának fő lépései és mérföldkövei

A pilot során megvalósítandó lépések és mérföldkövek a lentebb felsorolt módon oszlanak el, továbbá a projekthez tartozó Gantt- chart-ot az 1. kép szemlélteti.

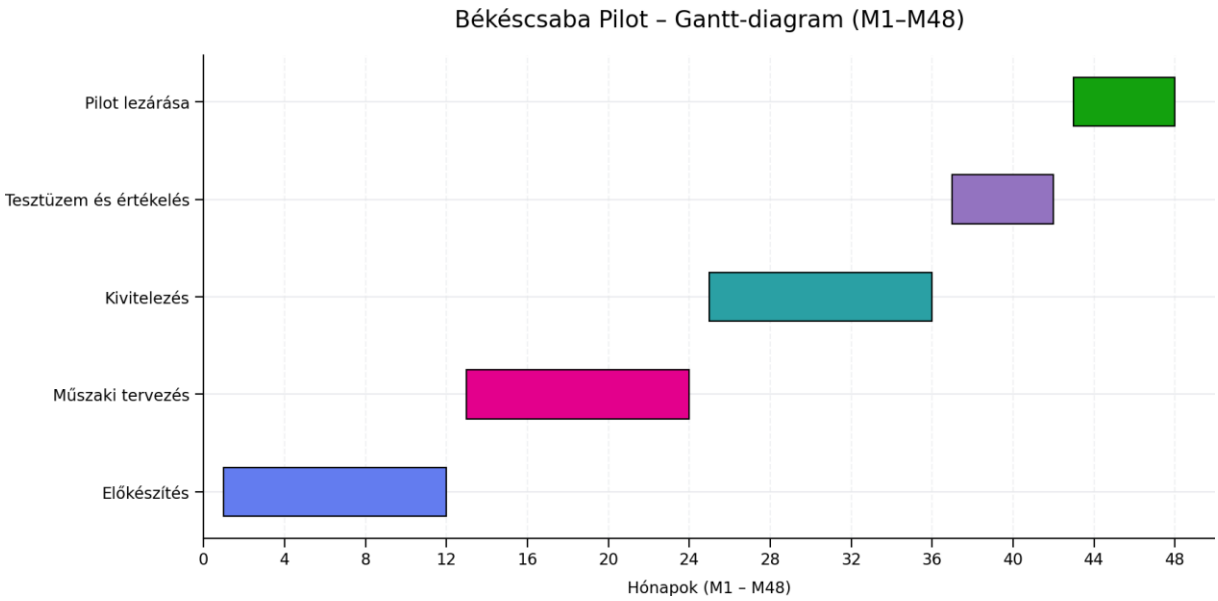
- *Előkészítési szakasz (0–12 hónap)*
  - előzetes geológiai értékelés, kútparaméter-becslés;
  - hőkörzetek hőigényének meghatározása;
  - 3 rendszerelrendezési modell kidolgozása;
  - engedélyezési folyamat indítása (előzetes vizsgálat).

- *Műszaki tervezés (12–24 hónap)*
  - vízjogi létesítési engedélyezés;
  - geotermikus és fogyasztói hálózati tervezés;
  - termelőkút és visszasajtolók helyének véglegesítése.

- *Kivitelezés (24–36 hónap)*
  - kút fúrása és tesztelése;
  - hővezetékek építése;
  - hőközpont kialakítása;
  - hálózat felépítése A → A+B → C körzetig.

- *Tesztüzem és értékelés (36–42 hónap)*
  - rendszer tesztüzeme,
  - hőtermelési adatok gyűjtése,
  - optimalizációs javaslatok.

- *Pilot zárása (42–48 hónap)*
  - működési modell átadása;
  - hőenergia-közösség javaslatcsomag;
  - nemzetközi disszemináció.



1. Kép: Pilot Gantt-diagramja

3. Elemzés és eredmények

3.1 Alkalmazott módszerek és eszközök

A békéscsabai pilot olyan módszertani keretrendszert alkalmazott, amely alkalmas a megújuló energiaforrásokon alapuló DH-rendszer előkészítésére és értékelésére. A pilotban használt fő eszközök és módszerek:

- *Geotermikus potenciál-értékelés:*
  Archív termálkút-adatbázisok feldolgozása (1959–1982 között fúrt 800–2500 m mély kutak) és tényleges talphőmérsékleti mérések elemzése (110–134 °C közti értékek). A területre jellemző 45,1 °C/km geotermikus gradiens megállapítása, amely a magyar átlag felett van.

- *Hőkörzet-szegmentáció*
  A városi közintézmények és sportlétesítmények hőigényének elemzése alapján három hőkörzetet határoztak meg (A, B, C), amelyek külön vizsgálhatók, majd integrálhatók egy többforrású rendszerbe.

- *Hőigény- és fogyasztásprofil-elemzés*
  Részletes épületlista és hőteljesítmény-becslések (max. igény: A körzet: 2,1 MW, A+B: 2,65 MW). Az éves hőigény-tartomány 19 248–23 602 GJ/év.

- *Műszaki rendszer-modellek kidolgozása*
  Három rendszerelrendezés tesztelnek (A, A+B, A+B+C) és különféle kút- és vezetékgeometriák vizsgálnak. Meghatározzák a visszasajtolási alternatívákat.

- *Engedélyezési útvonal elemzése*
  A pilotban részletes hatósági engedélystruktúra került azonosításra (vízjogi engedély, MEKH engedélyek, előzetes vizsgálat stb.).

3.2 Hatásvizsgálat

A pilot célja egy geotermikus alapú, moduláris DH-rendszer műszaki és gazdasági megvalósíthatóságának bizonyítása. Az alábbiakban szerepelnek a projekt eredményei és a kvantifikált hatások. A 5. táblázatban szerepelnek a projekt eredményei és a kvantitatív teljesítménymérők.

A projekt az alábbi hatásokat érte el:

- *Minőségi hatások*
  - Energia- és környezeti eredmények
    A teljes intézménycsoport (sport- és közintézmények) gázfogyasztása jelentős mértékben kiváltható geotermiával. A fürdő meglévő termálkútjának bevonása

további CO_2-csökkentést eredményez. Minimalizálódik a külső fosszilis piacoknak való kitettség.

- Működési hatások
  Redundáns hőforrások (új kút + C körzet kútja) révén nő az ellátásbiztonság. Bővíthető rendszer – alkalmas későbbi ipari fogyasztók bevonására (pl. üvegház, technológiai hőfelhasználás).

- *Célcsoportokra gyakorolt hatások*
  - Önkormányzat: rezsiköltség-csökkenés, ellátásbiztonság.
  - Sport- és közintézmények: stabil hőellátás, alacsonyabb üzemeltetési kockázat.
  - Lakosság: tisztább levegő, környezetbarát infrastruktúra.
  - Duna Régió: replicálható, demonstrációs értékű projekt.

5. Tábla: Kvantitatív KPIs

KPI kategória	Mutató	Érték	Megjegyzés
Energia-termelés	Geotermikus hozam	25 l/s	modell alapján
	Kifolyó vízhőmérséklet	~100 °C	becslés
Megújuló részarány	RES részarány növekedése	0% → 80–100%	A+B ellátható teljesen
CO_2-csökkentés	Elkerült éves emisszió	600–800 t/év	hőigény × 56 kg/GJ
Hőveszteség	Hálózati veszteség csökkenése	10–15%	rövid nyomvonal miatt
Gazdasági előny	Gázkiváltás	600 000–900 000 m^3/év	hőigény × fajlagos emisszió
	Intézményi rezsicsökkenés	20–35%	geotermikus OPEX alacsonyabb
Ellátásbiztonság	Redundáns hőforrások száma	2	új kút + fürdőkút
Másodlagos hőhasznosítás	Hasznosítható alacsony hő	20–40%	üvegház, hóolvasztás, H2P

3.3 Stakeholder engagement

A pilot projekt megvalósításában több stakeholder is részt vet, mind meghatározó szereppel, lásd a 6. táblázatot.

6. Tábla: Pilot megvalósításban érintett szereplők

Stakeholder	Szerep	Bevonás módja
Békéscsaba MJV Önkormányzata	hőigény-adatok, területbiztosítás	workshopok, adatbekérés
Sportközpontok, intézmények	hőfogyasztási adatok	interjúk, terepbejárások
Fürdő üzemeltetője	meglévő kút műszaki adatai	műszaki egyeztetések
Mannvit Kft. (geotermikus mérnök)	műszaki előtanulmány készítése	mérnöki konzultációk
REHEATEAST projektpartnerek	módszertani támogatás	regionális találkozók

3.4 Transferability – Átvihetőség és replikálhatóság

A békéscsabai modell kiemelkedően jól átültethető más településekre, mivel:

1. *Moduláris hőkörzet-logika:*
    - kis helyi hőigény-csomópontok geotermikus ellátása → több körzet integrálása.
2. *Meglévő termálkutak új célú hasznosítása:*
    - Magyarországon több mint 900 termálkút van – jellemzően alulhasznált.
3. *Alacsony hálózatépítési igény:*
    - nem teljes városi távhőrendszer, hanem célzott, „mikro-DH”.
4. *Egyszerűen adaptálható döntési és engedélyezési modell:*
    - REHEATEAST metodika → más városok előkészítési útmutatója.

3.5 Fenntarthatóság

A pilot hosszú távú fenntarthatósági előnyei:

- Geotermia mint folyamatos, időjárásfüggetlen megújuló forrás
- Visszasajtolás biztosítja a vízadó réteg regenerálódását
- A rendszer különböző fogyasztói körzeteket képes rugalmasan kiszolgálni
- Az üzemeltetési költségek kiszámíthatóak (alacsony primerenergia-árfüggés)

3.6 Potenciális integráció szakpolitikai ajánlásokba

A pilot eredményei közvetlenül kapcsolódnak:

- A magyar NEKT – megújuló hő részarányának növelése
- Nemzeti Energiastratégia 2030 – geotermia stratégiai szerepe
- RED III (2023/2413 EU) – megújuló részarány növelése a fűtés-hűtés szektorban
- Modernizációs Alap hazai távhős programjai

A pilot eredményei hozzájárulhatnak egy „Magyarországi geotermikus mikro-DH útmutató" kialakításához, amely országos szinten alkalmazható lenne.

3.7 Budget és költségek

A tanulmány alapján a három alternatíva becsült beruházási költségei a 7. tábla szemlélteti.

7. Tábla: Beruházási költség

A változat	2,0 milliárd Ft
A+B változat	3,0 milliárd Ft
A+B+C változat	3,1 milliárd Ft

Potenciális finanszírozási eszközök:

- Modernizációs Alap (MA/TÁVHŐ/01 és 02)
- EU „Greening the heating sector" források
- Önkormányzati társfinanszírozás
- ESCO vagy koncessziós modell (geotermikus szolgáltató bevonásával)

4. Következtetések

4.1 Fő tanulságok

A békéscsabai pilot legfontosabb tanulsága, hogy a geotermikus energia lokális integrációja akkor működik hatékonyan, ha a hőfogyasztói szerkezet térben koncentrált, és a rendszer modulárisan bővíthető. A három hőkörzetre bontott fogyasztói struktúra (A–B–C) ideális környezetet biztosít egy olyan DH-rendszerhez, amely fokozatosan, lépésről lépésre építhető ki.

A pilot igazolta, hogy:

- a terület kiemelkedően jó geotermikus adottságai (45,1 °C/km gradiens, >100 °C talphőmérséklet) valódi stratégiai előnyt jelentenek;
- egy 25 l/s körüli hozamú termelőkút már önmagában képes lefedni a teljes A és B hőkörzet hőigényét;
- a meglévő termálkút (C körzet – Árpád Fürdő) integrálható, így növelhető az ellátásbiztonság és csökkenthető a műszaki kockázat;
- a hőkörzetek összekapcsolása új típusú, többforrású hőenergia-közösséget hoz létre.

Ez a tapasztalat más települések számára is fontos: a geotermikus rendszerek akkor működnek a legjobban, ha több hőforrás és több fogyasztó hálózati egységet alkot, és nem elszigetelt, kis kapacitású rendszerek működnek párhuzamosan.

4.2 A fő megállapítások összegzése

1. Megújuló hőellátásra való teljes alkalmasság
    - A vizsgált műszaki modellek alapján Békéscsaba közintézményei részben vagy teljes egészében elláthatók geotermikus energiával. A hőigény (19 248–23 602 GJ/év) a termelőkút hőkapacitásával összhangban van.
2. Jelentős CO_2- és földgázkiváltási potenciál
    - A geotermia → földgáz kiváltása évi több száz tonna CO_2 megtakarítást eredményezne.
3. Műszaki egyszerűség + skálázhatóság
    - Egy központi hőközpont + két vezeték ág + visszasajtoló kút logikája könnyen bővíthető további körzetek felé.
4. Ellátásbiztonsági előnyök
    - A meglévő fürdőkút csatlakoztatása redundanciát biztosít – ez ritka előny a hazai városokban.
5. Magas átvihetőség (transferability)
    - A modell más magyar városokban (Gyula, Kecskemét, Szolnok) hasonló felépítésű intézménycsoportokra könnyen adaptálható.

4.3 Mit érdemes másoknak átvenni?

1. *A hőkörzet-alapú tervezési logika*

A kis, sűrűn elhelyezkedő intézményekből álló hőkörzet a legalkalmasabb a geotermikus ellátásra. Ez csökkenti a hálózati veszteséget, és pénzügyileg fenntarthatóbb beruházást eredményez.

2. *A meglévő termálkutak integrációja*

Magyarországon sok településen állnak rendelkezésre rosszul hasznosított termálkutak.

Békéscsaba példája megmutatja, hogy nem szükséges teljesen új infrastruktúrát építeni: a meglévő kút nagyon értékes ellátásbiztonsági elem.

3. *Moduláris fejlesztési ütemek (A → A+B → A+B+C)*

A fázisos fejlesztés lehetővé teszi a beruházási költségek és kockázatok minimalizálását.

4. *Másodlagos hőhasznosítás*

A lehűlt fluidum további körökben (pl. üvegházak, haltenyésztés, hóolvasztás) való hasznosítása külön bevételi vagy ellátásbiztonsági előnyt jelent.

4.4 Hosszú távú várható hatások

A békéscsabai geotermikus pilot hosszú távon jelentősen csökkenti a fosszilis energia arányát a városi hőellátásban, mivel a jelenlegi földgázalapú rendszert egy stabil, helyi és időjárásfüggetlen megújuló forrás váltja ki. A geotermikus energia alkalmazása hozzájárul ahhoz is, hogy a hőárak kiszámíthatóbbá és hosszú távon stabilabbá váljanak, hiszen a geotermia nem függ a nemzetközi energiahordozók árának ingadozásától. A pilot lehetőséget teremt a DH-rendszer fokozatos bővítésére, akár a lakossági bekötések irányába, ami nagymértékben támogatná a városi energiaszerkezet zöldülését és a hőellátás decentralizációját. A projekt megvalósítása egyben helyi gazdasági és munkaerőpiaci hatásokkal is jár: növeli a foglalkoztatást, erősíti a geotermikus technológiákhoz kapcsolódó tudást és kompetenciákat, valamint hosszú távon új szolgáltatási területeket nyithat meg a város számára. Mindezek eredményeként Békéscsaba hosszú távon akár a Duna Régió egyik meghatározó „geotermikus mintavárosává" válhat, amely példaértékű módon demonstrálja a megújuló alapú hőenergia-közösségi rendszerek működését és előnyeit.

4.5 Ajánlások és javaslatok a továbbfejlesztésre

1. *Pilotból demonstrációs projekt*

Javasolt a rendszer A+B körzetig történő megvalósítása, majd a fürdő integrációja. Ez biztosítja a legjobb költség–haszon arányt.

2. *Részletes geológiai és kúthelyszín-modellezés*

A következő lépés: vízbázismodellezés, szivattyúzási tesztek, új kút tervezése.

3. *Hőtároló integrációja (PTES / TTES)*

A nyári–téli szezon közötti hőtárolás javítja a rendszer hatékonyságát, és növeli a megújuló részarányt.

4. *Intézményi és ipari fogyasztók fokozatos bevonása*

A rendszer többletkapacitása lehetőséget ad ipari hőfelhasználók, mezőgazdasági termelők és új városi létesítmények bekötésére.

5. *HEC (hőenergia-közösség) modell előkészítése*

Javasolt jogi-üzleti modell készítése: közösségi tulajdon, önkormányzati részvétel, szolgáltatói partnersé