

Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés



Távfűtés energiaforrásainak optimalizálása

Göblyös Béla

Témavezető:

Prof. Dr. Réger Mihály

Biztonságtudományi Doktori Iskola

Budapest, 2016

Szigorlati Bizottság:

Elnök: Prof. Dr. Rajnai Zoltán, egyetemi tanár, ÓE

Tagok: Dr. Simon Ákos, ny. egyetemi docens (külső)

Dr. Kádár Péter, egyetemi docens, ÓE

Dr. Maros Dóra, egyetemi docens, ÓE

Nyilvános védés bizottsága:

Elnök: Prof. Dr. Rajnai Zoltán, egyetemi tanár, ÓE

Titkár: Dr. habil. Szunyogh Gábor, egyetemi docens, ÓE

Tagok: Dr. Ráthy Istvánné, egyetemi docens, külső, DE

Dr. Rácz Pál, egyetemi docens, ÓE

Dr. habil. Horváth Sándor, ny. egyetemi docens, külső

Bírálok: Dr. Biczó Imre, tudományos főmunkatárs, ÓE

Dr. Pándi Ferenc, nyugállományú, külső

Nyilvános védés időpontja:

.....

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	3
BEVEZETÉS	5
1. AZ ENERGETIKAI HELYZET ISMERTETÉSE	8
A hazai távhőszolgáltatás jelenlegi helyzete	13
2. MEGÚJULÓ ENERGIAFAJTÁK ISMERTETÉSE.....	15
2.1. Szélenergia.....	15
2.1.1. Általános ismertetés	15
2.1.2. Előnyök, hátrányok:	17
2.2. Napenergia.....	18
2.2.1. Általános ismertetés	18
2.2.2. Előnyök, hátrányok:	19
2.2.3. Gazdaságosság:	21
2.2.4. Távhő rendszerbe való integrálhatóság:	22
2.3. Geotermikus energia.....	23
2.3.1. Általános ismertetés	23
2.3.2. Előnyök, hátrányok:	24
2.3.3. Gazdaságosság:	25
2.3.4. Távhő rendszerbe való integrálhatóság:	25
2.4. Biomassza.....	26
2.4.1. Általános ismertetés	26
2.4.2. A biomasszából történő energia előállítás általános előnyei, hátrányai:	28
2.4.3. Távhő rendszerbe való integrálhatóság:	33
2.5. Vízi energia	34
2. 5. 1. Általános ismertetés	34
2.5.2. Előnyök, hátrányok:	37
2.5.3. Távhőrendszerbe való integrálhatóság:	38
3. A HELYI ENERGIATERMELÉS LEHETŐSÉGEI	40
3. 1. Bevezetés	40
3.2. A hőszolgáltató bemutatása:.....	41
3.3. A hőelőállítási források prioritása:	44
3.3.1. A szemetésszállító cég bemutatása:	45
3.3.2. A szennyvíztisztító bemutatása:	51
3.3.3. Biomassza források	59
4. A MODELL.....	63
4.1. A hátizsák probléma	63
4.2. A modellben szereplő tényezők meghatározása:	68
4.3. A $Q_1 > Q_{igény}$ feltétel előfordulása és ennek következményei.....	70
4.4. A modell alkalmazhatósága, gyakorlati példák.....	76
4.5. A modell jóságának ellenőrzése:	81
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	86
IRODALOMJEGYZÉK	89
RÖVIDÍTÉSEK	94
JELÖLÉSEK.....	95
1. SZÁMÚ FÜGGELÉK	96
2. SZÁMÚ FÜGGELÉK	97
3. SZÁMÚ FÜGGELÉK	99

4. SZÁMÚ FÜGGELÉK	101
5. SZÁMÚ FÜGGELÉK	102
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	103
TÁRGYMUTATÓ	104

BEVEZETÉS

„Olajért fűrni? Úgy érti, hogy lefűrünk és megnézzük találunk-e olajat? Maga megőrült!”, – Egy pennsylvaniai munkás reakciója Edwin Drake geológus ötletére, 1859

A Dunaújvárosi Hőszolgáltató Kft., melynek 2004-es megalakulása óta vagyok a vezetője, több ezer embernek biztosít fűtési hőt és használati meleg vizet (HMV¹). A társaságcsoport – melybe fenti hőszolgáltató cég is beletartozik – azonban mintegy hetvenezer család ellátásáért felelős az év 365 napján², napi 24 órában. A fűtés megfelelő szintű biztosítása kritikus jelentőségű, hiszen annak szüneteltetése, kiesése akár tragikus kimenetelű is lehet (láthatunk is szomorú példákat, minden télen hűlnek ki és fagynak meg fűtés nélkül maradt emberek [1,2] bár ezek esetek egyike sem távfűtéses lakásban történt). Emiatt a távhőtermelés és szolgáltatás megbízhatósága kiemelt fontosságú, mert például kábeltelevíziós vagy internet szolgáltatás nélkül – bármilyen nehéz is ezt elfogadnunk – huzamosabb ideig (akár évtizedekig) is élhetünk, de még az ivóvízvezeték meghibásodása esetén is rendelkezésre állnak alternatív megoldások (közkifolyó, lajtos kocsi, ásványvíz), addig a fűtés kiesésekor csak nagyon korlátozott lehetősége van a fogyasztónak, hogy azt pótolja. A távfűtéssel ellátott lakóépületek esetében a megfelelő füstgáz elvezetés nem minden esetben megoldott így szinte kizárólag a villamos elven működő berendezések (klíma, hőszugárzó, olajradiátor) jöhetnek szóba, azonban tömeges alkalmazásukat az épület villamos hálózata nem feltétlenül bírja el, márpedig ha a fűtésszolgáltatásban hiba van, akkor az általában több lakásra/lépcsőházra terjed ki.

Rendkívül fontos tehát, hogy a távhőellátás biztonságos és megbízható legyen. A távfűtés jövőjének egyik pillére az egyre magasabb színvonalú szolgáltatás, másik pillére pedig a kedvezőbb ár/érték arány.

Az energiafelhasználás várható trendjeit [3,4,5] tekintve nyilvánvaló a világ azon törekvése, hogy a fejlődéséhez egyre nagyobb mértékben igényelt energiát a lehető legalacsonyabb árú primer energiahordozó leghatékonyabb átalakításával állítsuk elő.

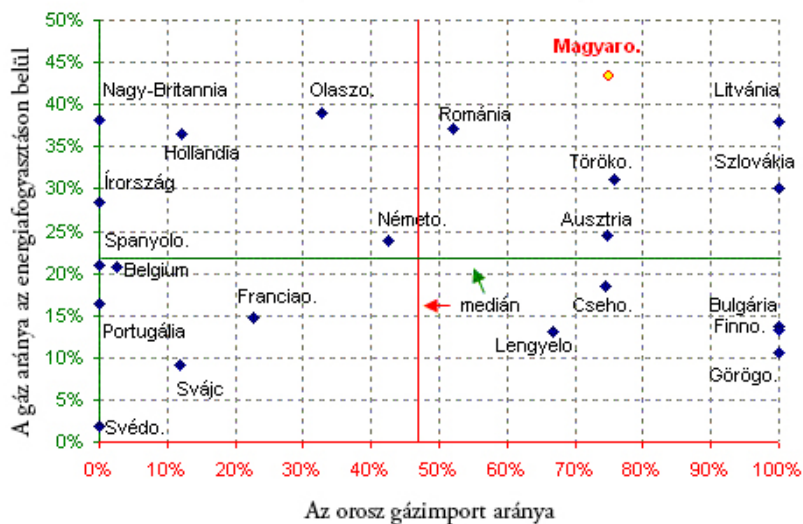
A legolcsóbb primer energiák forrásának pontos meghatározása nem egyszerű. Egy részük, a megújuló energia – bár helyhez (pl.: ár-apály jelenség) és/vagy időszakhoz (pl.: napenergia) kötve – de szinte korlátlanul és ingyen áll rendelkezésünkre, azonban kiaknázásuk esetleg jelentős beruházást és költséget jelent. Másrészt vannak olyan energia-nyerési lehetőségek is, ahol a primer energiahordozó nemhogy olcsón és megfelelő mennyiségben áll rendelkezésünkre, de még külön gazdasági haszonként jelentkezik az, hogy hulladékot semmisítünk meg. Nem törekedvén a teljességre, de álljon itt néhány példa pl.: szeméttégetés) vagy ártalmatlanná (pl.: hulladéklerakókban keletkező gázok esetleg vagy hasznossá (szerves trágya) alakítunk át (pl.:

¹ A dolgozatban szereplő rövidítések a dolgozat végén, a függelékek előtt szerepelnek.

² A fűtési időszak jellemzően október 15. és április 15. között van, a HMV ellátás azonban folyamatos.

állattelepeken keletkező szerves hulladék) oly' módon, hogy belőlük még energiát is állítunk elő. Bár az energiaipari döntéshozók elsődleges célja az előállítandó energia összességében a fent említett lehetőségek részarányának növelése, azonban a teljes energiaigény jelenleg ezekből – legalábbis a világ egyes részeit kivéve³ - nem elégíthetők ki. További problémaként jelentkezik, hogy a fentiekben vázolt, főleg környezetvédelmi szempontokat esetenként más prioritások (gazdasági, stratégiai, politikai, szociális stb.) felülírják. Az egyre erősödő szabályozások (élén az ENSZ Klímaváltozási Konvenciója által megalkotott Kiotói Egyezményrel [6]) és a józan megfontolások azonban minden esetben célul tűzik ki a hatékony energia-előállítás és a környezetvédelem közötti egyensúly megteremtését. Ezen cél elérése lehetséges az energia előállításon belül a megújuló energia részarányának növelésével, illetve az energia-átalakítás veszteségeinek csökkentésével, azaz hatásfokának növelésével. Ideális esetben a két módszer kombinálható is, azaz (részben) megújuló energiából magas hatásfokú berendezéssel állítjuk elő az igénynek megfelelő energiát. A környezetvédelmi szempontok is ez esetben érvényesülnek a legjobban, hiszen a környezetet érő terhelés egyrészt a megújuló energia miatt, másrészt a magas hatásfok miatt lesz minimális. A környezetet érő terhelés egy bizonyos mértékben még tovább csökkenthető az energia-előállító berendezésbe épített szűrő, katalizátor, stb. beépítésével. A „bizonyos mérték” a műszaki, gazdasági, szociális (tiltakozások) és jogszabályi feltételek szabják meg. Ezen feltételek azonban egymástól csak nagyon ritka esetben különíthetők el, hiszen a jogszabályi feltételek – ideális esetben - figyelembe veszik a műszaki, gazdasági és szociális feltételeket is. Az energia előállítása során nagyon fontos szempont a stabil és megbízható üzemmenet. Mind az ipari fogyasztók mind pedig a lakossági fogyasztók rendkívül érzékenyen reagálnak az energia előállításban és – szolgáltatásban bekövetkező zavarokra. Sőt már azok hírére is. Semmi sem mutatja ezt pontosabban, mint a 2009. év elején az orosz-ukrán gázvita [7-11] miatti korlátozott európai földgázszállítások, mikor is sem a termelő üzemek (tejüzemek, stb.) vezetői, sem a lakossági fogyasztók nem aludtak nyugodtan a felettük lebegő gázkorlátozás lehetősége miatt, holott a probléma koránt sem volt akkora, mint ahogy az a fogyasztókhoz eljutott. Ugyanez a bizonytalanság volt tapasztalható 2014. nyarán is, az ismét kiújuló orosz-ukrán konfliktus miatt. Mivel Magyarország energetikai importfüggősége mind kőolaj, mind pedig földgáz tekintetében rendkívül magas (lásd 1. ábra) [12], így az energetikai célok megfogalmazásakor az importfüggőség csökkentése is jelentős szempont. Az energia előállítás megbízhatósága és rendelkezésre állása ezért is kiemelten magas. Ennek megfelelően az energia előállítás és szétosztás műszaki berendezéseinek meghibásodásának elkerülése különös jelentőséggel bír.

³ Például a svédországi Jönköping-ben az épületek 100%-a távfűtéssel van ellátva, a hő a város határán kívül eső bioerőműből érkezik, ahol is faaprítékból (energiafűz – *Salix Viminalis*) és a szennyvíztelepen képződő metán begyűjtéséből és elégetésével állítják elő a szükséges hőmennyiséget. Ilyen arány Magyarországon ma szinte elképzelhetetlen.



1. ábra

EU-s tagállamok földgázfelhasználása a teljes energiafelhasználás arányában és az orosz gázimport aránya 2014-ben, [Adatok forrása: portfolio.hu, BP plc.]
Látható, hogy Magyarország nagyon kedvezőtlen helyet foglal el

Értekezésem első részében bemutatom a globális, európai és hazai energiahelyzetet – elsősorban a távhőszolgáltatásra fókuszálva.

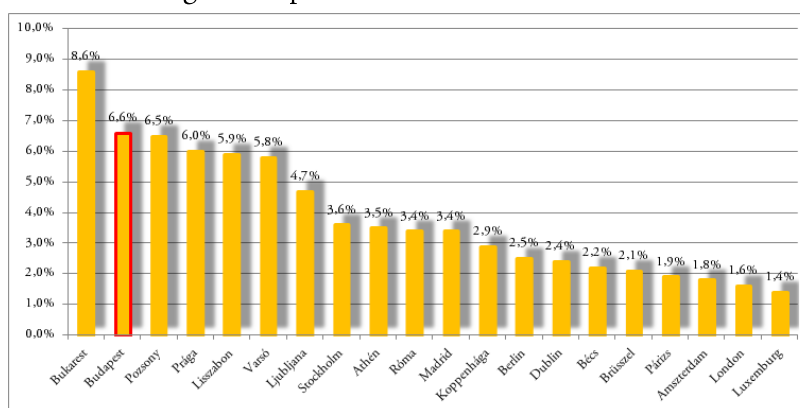
A második részben a hazai illetve európai viszonylatban potenciálisan számba vehető és a jövőbeli energiatermelésben jelentős szerepet játszó megújuló energiafajták felhasználási lehetőségeit és korlátait ismertetem.

Az értekezés harmadik részében - egy általam kifejlesztett modell segítségével - bemutatom a helyi energiatermelés létjogosultságát, energetikai, műszaki és pénzügyi lehetőségeit.

1. AZ ENERGETIKAI HELYZET ISMERTETÉSE

„Amely nemzet nem uralja energiaforrásait, az a jövőjét sem uralja.”- Barack Obama, az USA 44. elnöke, 2008

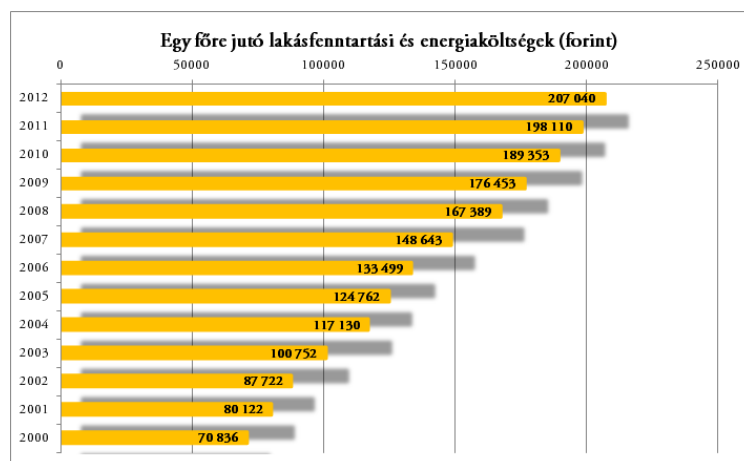
Az energiaárak emelkedésével (2. ábra) egyre kevesebben engedhetik meg magunknak, hogy kívülállóként tekintsenek az energiával kapcsolatos hírekre.



2. ábra

Modellezett kétkeresős háztartás villamos energia- és földgázfogyasztásának költségei és jövedelmük hányadosa, az EU-ban 2013. augusztusában, adatok forrása: MKEH

Mivel a háztartási költségek egyre nagyobb hányadát az energia beszerzésének költsége teszi ki (3. ábra), így még azok is nyomon követik az energia beszerzésével, előállításával és legfőképpen - az előzőektől koránt sem függetlenül – árával kapcsolatos híreket, akik korábban ennek nem tulajdonítottak akkora jelentőséget.



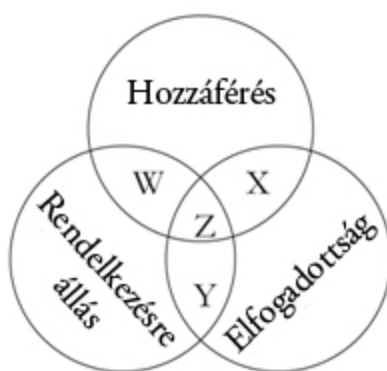
3. ábra

Lakásfenntartási költségek Magyarországon 2000-2012 között, adatok forrása: KSH

A vállalatoknál az energetikusok szerepe egyre inkább felértékelődik, hiszen az emelkedő energiaáraknál sokkal erőteljesebben jelentkezik a takarékosagra való törekedés. Fentiek miatt is nagyon fontos az energiahelyzet világszintű, európai szintű és hazai szintű megismerése.

Az energiastratégiák tárgyalásakor három fő csoportot különíthetünk el, az ún. AAA csoportokat, úgymint:

1. A hozzáférés biztosítása (Accessibility)
2. Az egyes energiatípusok rendelkezésre állása (Availability)
3. A társadalom általi elfogadás (Aceptability)



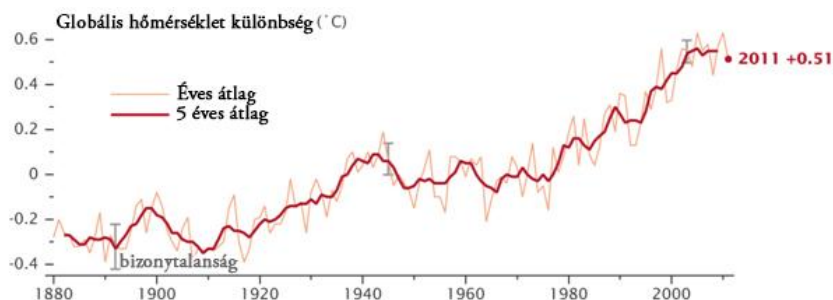
4. ábra
Az energiastratégiai cél kijelölése

Helyes energiastratégiai döntéseket csak akkor hozhatunk, ha célkitűzéseinkben szereplő energiatípus mindhárom fenti pontot kielégíti. Azaz a 4. ábra Z-betűvel jelölt mezőjébe esik. Ugyanis ha egy energiatípus rendelkezésre áll és biztosított a hozzáférés, de a társadalom nem fogadja el (4. ábra W-tartomány, például Szentgotthárdi szeméttégető) vagy ha rendelkezésre áll, a társadalom elfogadja, de nem férünk hozzá (4. ábra Y-tartomány, például iráni kitermelésű gáz) illetve ha hozzáférünk, a társadalom elfogadja, de nem áll rendelkezésre (4. ábra X-tartomány, például elegendő geotermikus energia). Energiastratégiát célszerű olyan energiahordozókra megalkotni, melyek a Z tartományban helyezkednek el. Ilyen megoldások általában csak elméletben léteznek, a valós helyzetekben a számba vehető források egy része ezen kívül esik, és az energiastratégia megalkotása pontosan az, hogy a szóban forgó energiahordozók végezetül a Z-tartományba essenek. Ennek eléréséhez több területen kell intézkedéseket hozni:

- műszaki megvalósítás területén: gáztárolók építése, gázvezetékek kiépítése, villamos alállomások építése, víztárolók építése, bányák újbóli megnyitása, stb.
- jogi szabályozás: kötelező villamos energia átvétel, gázár- és távhő- támogatás, bányajáradék-kompenzáció

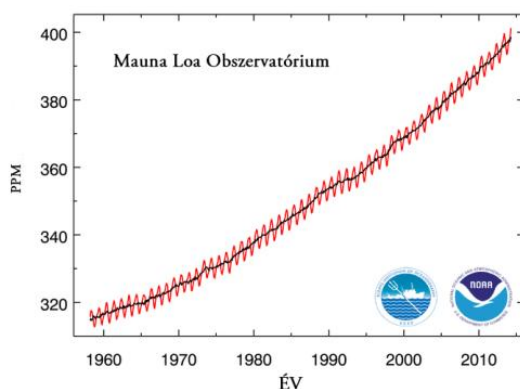
A globális felmelegedéssel és az ezzel összefüggő fosszilis energiahordozók kimerülésével – mint az emberiség jövőjével kapcsolatos két legfontosabb problémájával - kapcsolatban rengeteg

tanulmány és találgatás jelent meg már eddig is. Habár az egyes irányzatok olykor akár teljesen ellentétes értelmű következtetéseket vonnak le a rendelkezésre álló adatokból. Ilyenek lehetnek a hosszú távú hőmérsékletváltozás (5. ábra), a légkör CO_2 tartalma (6. ábra), a tengerszint változása (7. ábra), a magashegységi gleccserek és a sarki jégtakaró olvadása [13], a permafrost területek csökkenése [14,15]. Ugyanilyen jellegű prognosztizálásra ad okot az ipari termelés okozta kibocsátás-növekedés [16], a Föld lakosságának rendkívül gyors gyarapodása [17], stb. Ezek mind azt mutatják, hogy a probléma valós és rendkívül gyors és hatékony beavatkozást igényel [18].



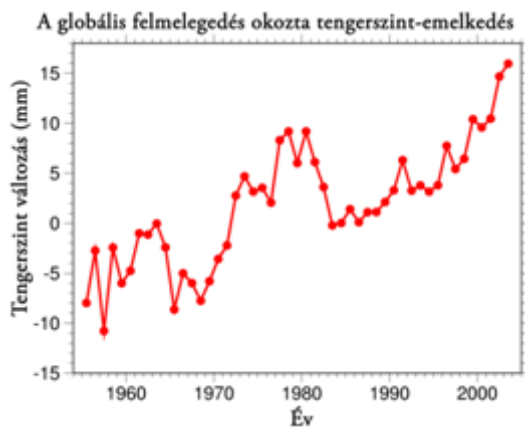
5. ábra

A Föld hőmérséklet különbségének változása, [Forrás: www.giss.nasa.gov]



6. ábra

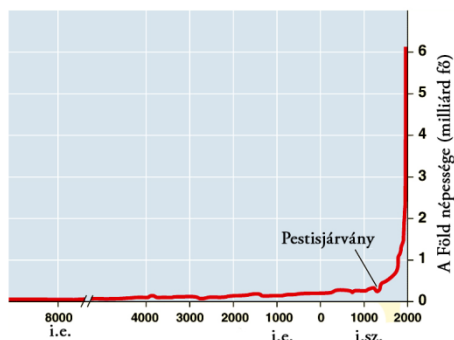
A földi légkör CO_2 szintjének változása, [Forrás: NOAA, www.noaa.gov]



7. ábra

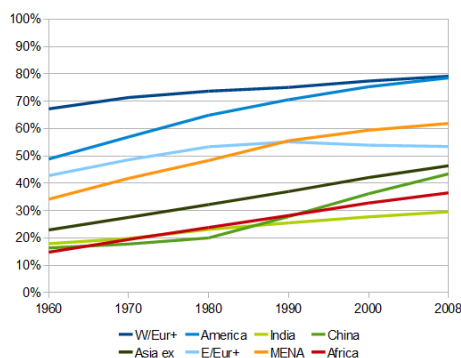
A tengerek szintjének változása, [Forrás: NOAA, www.noaa.gov]

Az ipari forradalom óta ugrásszerűen növekvő⁴ népesség (8. ábra), az urbanizáció (9.a ábra) és az ipari termelés növekedése velejáró következménye a fosszilis energiahordozók növekedő arányú felhasználása.



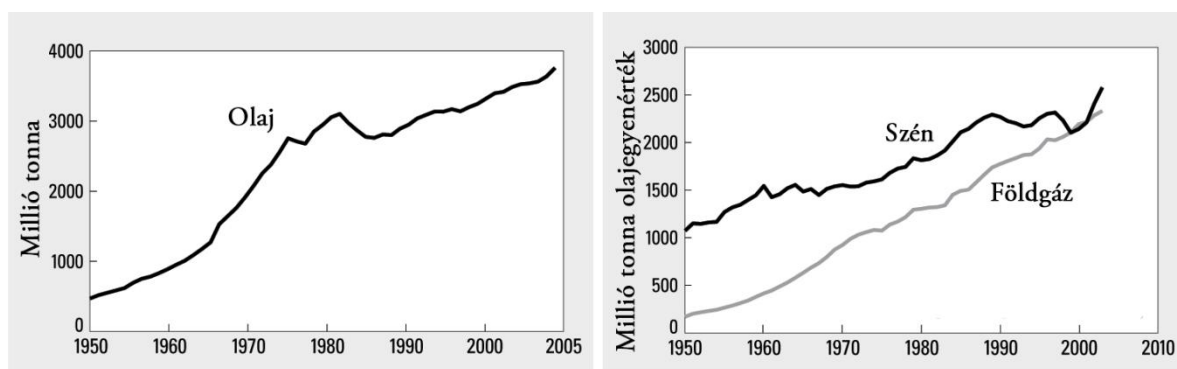
8. ábra

A Föld népességének alakulása [Forrás: Pearson Education, www.pearsoned.com]



9.a ábra

Városlakók arányának változása a teljes lakosságban (%), földrészenként [19]



9.b ábra

*A fosszilis energiahordozók (olaj, szén, földgáz) felhasznált mennyiségének változása
forrás: ENSZ, British Petrol, [6a]*

⁴ A növekedés üteme egyetlen alkalommal akadt meg jelentősen: az 1348-50 között kitört pestisjárványban, amely Európa lakosságának 30-60%-át elpusztította [20].

Előzők alapján belátható, hogy a véges mennyiségben rendelkezésünkre álló fosszilis energiák kimerülésére mindenképpen számítanunk kell, az egyes modellek csak a bekövetkezés időpontjában térnek el, abban egységesek, hogy a fosszilis energiahordozók kimerülnek (9.b. ábra).

Ezen felismerések vezettek oda, hogy az ENSZ Éghajlatváltozás Keretegyezménye (UNFCCC) 1997-ben Kyotóban elfogadta az ún. Kiotói Jegyzőkönyvet (protokollt) [6b], amelyben az aláíró államok vállalták, hogy a 2008-2012-es időszakra az 1990-es bázisévhez képest átlagosan 5,2%-kal csökkentik az üvegházhatású gázok kibocsátását, Magyarország 6%-os csökkentést vállalt az 1985-87-es évek kibocsátási átlagához képest, mivel volt szocialista államként – a pont 1990-es évekre tehető gazdasági rendszerének jelentős megváltozása miatt - lehetősége volt az 1990-es bázisév helyett másikat választania. A kiotói jegyzőkönyvet 2012-ben a katarai Dohában tartott újabb ENSZ Keretegyezménye 2020-ig meghosszabbította.

Többek között ezen ENSZ jegyzőkönyvek alapján az Európai Unió megalkotta a 2009/46/EU Direktívát [21], melyben rögzíti, hogy az egyes tagállamok mekkora mértékben csökkentik az üvegházhatású gázok kibocsátását a 2013-2020-as időszakban. Megalkotta továbbá a 2012/27/EU Direktívát [22], mely az energiahatékonyság fokozásáról rendelkezik. Ezen direktíva 41. cikkelye definiálja a hatékony távfűtő rendszert, „*amely legalább 50 %-ban megújuló energia, 50 %-ban hulladékhő, 75 %-ban kapcsolt energiatermelésből származó hő vagy 50 %-ban ilyen energiák és hők kombinációjának felhasználásával működik;*”

Mindezeket alapul véve készült el a Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve⁵ [23], mely a 2010-2020-as időszakra határoz meg célokat, az alábbi módon:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Fűtés/hűtés	9,0%	8,8%	8,6%	8,5%	9,1%	9,8%	11,8%	13,7%	15,7%	17,4%	18,9%
Villamos energia	6,7%	6,5%	6,9%	7,5%	8,6%	8,1%	7,1%	8,6%	10,2%	10,7%	10,9%
Közlekedés	3,7%	4,6%	5,0%	5,0%	5,2%	5,4%	5,8%	6,4%	7,3%	8,0%	10,0%
Összes megújuló részesedése:	7,4%	7,3%	7,4%	7,5%	8,0%	8,3%	9,3%	10,7%	12,3%	13,4%	14,65%

1. táblázat

A megújuló energiaforrásokból előállított energiával kapcsolatos 2020-as nemzeti célkitűzés és tervezett ütemterv a fűtés és hűtés, a villamos energia és a közlekedés vonatkozásában

Az 1. számú táblázatból látható, hogy a megújuló energiaforrások arányának növelése a fűtés/hűtés kategóriában a legszámottevőbb, 2020-ra a teljes fűtésre/hűtésre felhasznált energia 18,9%-át (ez 1863 ktoe⁶ ≈ 78PJ) megújuló energiaforrásból kell fedeznünk.

Az elérendő cél tehát kettős:

- egyrészt a még meglévő készleteket a lehető legjobb hatásfokkal kell kiaknázni és felhasználni, a meglévő eljárások tökéletesítésével és új eljárások megalkotásával,

⁵ Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervével összefüggő egyes feladatokról szóló 1002/2011. (I.14.) Korm. határozat

⁶ toe = tons of oil equivalent = olajegyenérték-tonna, (ktoe = kilotoe), 1 toe = 41,868 GJ

- másrészt viszont olyan energiapolitikai megfontolásokat kell tennünk, melyben a megújuló energia egyre nagyobb részt tölt be. Távlati célként a teljes energiaigényt megújuló forrásból kell előállítani.

Ezen célok kitűzése nemcsak a folyamatosan fogyó energiahordozók miatti kényszer és a jogszabályok által ránk rótt kötelesség, hanem egyben erkölcsi motiváció is, hiszen a Föld fenntarthatóságának megőrzésének a jelenlegi és jövőbeli népességnek is részt kell vállalnia.

A hazai távhőszolgáltatás jelenlegi helyzete

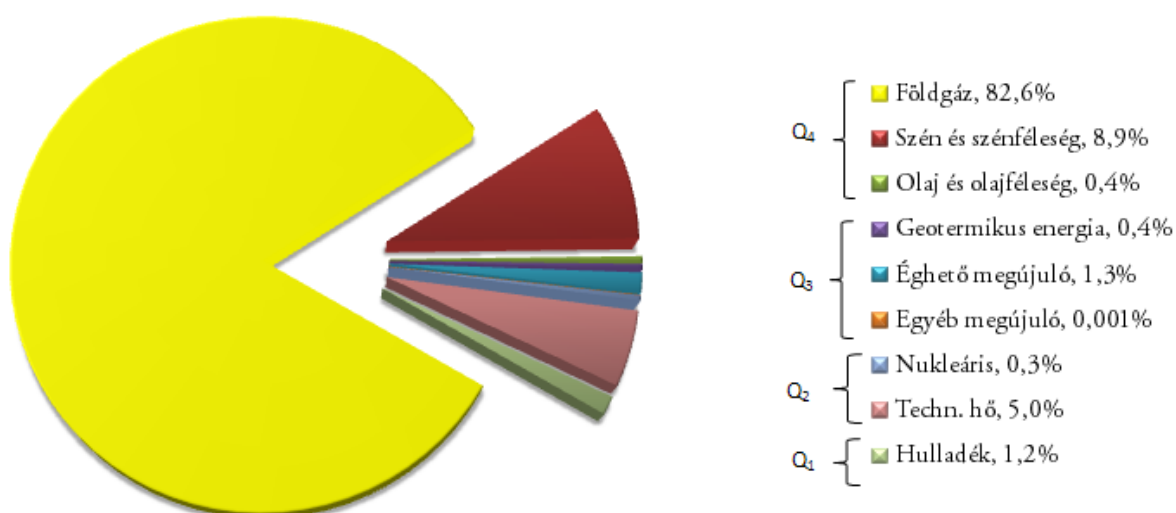
Jelenleg hazánk 94 településén működik távhőszolgáltató, jellemzően a nagyobb városokban, bár van példa kisebb településekre is (pl.: Nyírbátor, 120 távfűtött lakás, vagy Kapuvár, ahol mindösszesen 23 db távfűtött lakás van) illetve arra is akad példa, hogy egy nagyobb városban nem épült ki távfűtőrendszer (pl. a 61 849 fős Zalaegerszegen, vagy a 49 302 fős Nagykanizsán).

A távfűtés szinte minden településen gázkazánnal, és/vagy az ezt kiváltó gázmotorokkal történik, a 94 fenti településből csak 25-ben nem üzemel gázmotor. A motor előnye a kazánhoz képest, hogy gáz tüzelőanyag eltüzelésével a hozzá kapcsolt generátor segítségével villamos energiát állít elő, a motor hűtését pedig pl. távhőszolgáltatási célra lehet felhasználni, azaz kapcsolt termelés (kogeneráció) jön létre és így –megfelelő támogató jogszabályi környezetben - gazdaságosabban üzemeltethető, mint a gázkazán. A disszertáció írásának idejében (2014-2015) ez a jogszabályi környezet nem adott. A távhő célra értékesített hő szinte teljes egészében földgázból (82,6%) kerül előállításra (10. Ábra), Ajkán és Dorogon a helyi adottságok miatt szén(félék)ből (8,9%) is, illetve néhány településen (Székesfehérvár egy része, Csorna, Mosonmagyaróvár, ...) olajból (0,4%). A fosszilis energiahordozók aránya tehát rendkívül magas, közel 92%-os!!

A megújuló energiaforrások közül jellemzően a geotermikus energia felhasználás (Miskolc egy része, Szeged, Szentés, Hódmezővásárhely, ...) illetve a biomassa (faapríték, szalma, ...) égetés (Tata, Pécs, Szolnok, Ajka,...). Hulladék égetés egyetlen helyen, a Fővárosi Hulladékhasznosító Műben történik, míg a szennyvíz hőtartalmának energetikai hasznosítása Magyarországon példa nélküli.

A technológia hő távfűtési célú felhasználása szintén jelentéktelen mértékű (Ajka, Dunaújváros, ...), az egyetlen kivétel ez alól Paks, ahol a város teljes hőigényét az atomerőmű hűtővizének hőjével biztosítják.

Magyarország összes távfűtött települését, a településeken lévő hőforrásokat, a hőforrások energiaforrásait, valamint a kapcsolt-nem kapcsolt energiatermelés arányait az 1. számú Függelék tartalmazza [MaTáSzSz és MEKH adatok alapján].



10. ábra
Távhő célú energiafelhasználás megoszlása Magyarországon 2007-ben
 (Q_1 : 2,5%, Q_2 : 5,3%, Q_3 : 0,401%, Q_4 : 91,87%(!))

2. MEGÚJULÓ ENERGIAFAJTÁK ISMERTETÉSE

„A szél megújuló, a turbina nem.”- Ozzie Zehner, University of California

2.1. Szélenergia

2.1.1. Általános ismertetés

Szélenergiáról akkor beszélhetünk, ha a levegő mozgási energiáját valamilyen módon hasznosítjuk. A hasznosítás több módon történhet, már az időszámításunk kezdete óta⁷ ismeretes a szélmalom [24], ahol a szél mozgási energiáját mechanikai energiává alakítjuk át. Az elmúlt 2 évezred során a technológia alig változott, Hollandiában a mai napig hasonló elven szivattyúzzák a vizet a polderekből⁸. Az energia hasznosításának másik módszere, hogy a szél keltette forgómozgás generátort hajt meg, így villamos energia keletkezik.

A szélben lévő mozgási energia az alábbi módon határozható meg:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \text{ [J]} \quad (1)$$

Ahol, m a „szél” tömege [kg], v , a szél sebessége [m/s].

A szél, azaz áramló levegő tömege (m) a sűrűség (ρ) és a térfogat (V) ismeretében meghatározható. A térfogatot pedig vízszintes forgástengelyű szélkerék esetében hengeresnek feltételezzük, mely hengerfelület alapja rotorok által súrolt körlap ($A=r^2\pi$), palástjának hossza pedig a szél sebességéből ($l=v\cdot t$) határozható meg. Így az (1) egyenlet a következőképpen alakul:

$$E = \frac{1}{2}\rho v^3 A t \text{ [J]} \quad (2)$$

Látható tehát, hogy a szél energiája függ a levegő sűrűségétől, a rotor méretétől és a szél sebességétől.

A minél hatékonyabb energianyerés szempontjából tehát ezen három műszaki paramétert kell figyelembe venni. A levegő sűrűsége az egyetlen paraméter ezek közül, ami nem a tervező kezében van, bár a szél erőmű helyének célszerű megválasztásával ennek előnyei is kiaknázhatók, hiszen a

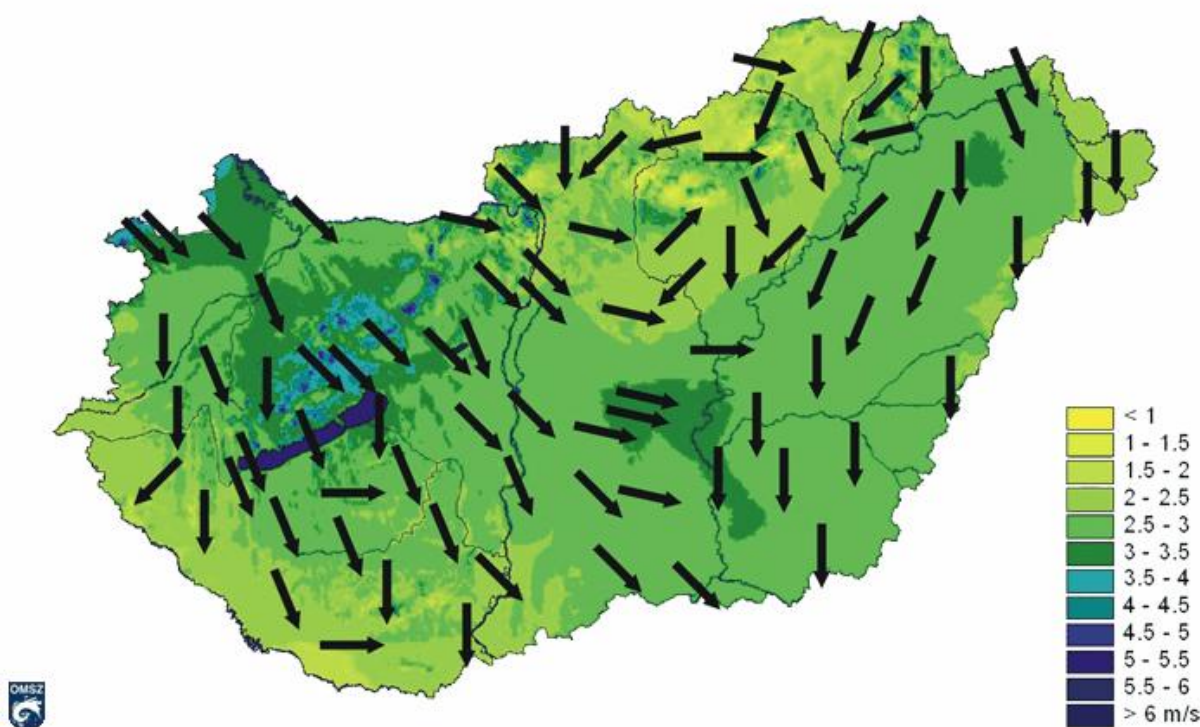
⁷ Alexandriai Hérón, ~I.u. 10 - ~ I.u. 70.

⁸ polder: az ember által gátak segítségével tengertől elhódított terület, jellemzően a tenger szintje alatti területekkel

tenger felől érkező légáramlatok sűrűsége az egyes terepviszonyok előtt és után különböző lehet, a levegőben lévő nedvesség kicsapódhat, így sűrűsége csökkenhet [25].

A rotor méretének növelésével a kinyerhető energia is növekedik, ez tehát az egyik lehetséges módja a teljesítmény növelésének.

A harmadik és talán legfontosabb tényező a szél sebessége, mivel a (2) egyenletből látható, hogy a kinyerhető energia és ennek következtében a teljesítmény a szél sebességének harmadik hatványa, így a megfelelő helyszín kiválasztása rendkívül kritikus tényező a szélerőművek telepítésekor. Már csekély mértékű sebességváltozás is jelentősen megváltoztatja az erőmű teljesítményét. A helyszín kiválasztásában nagy segítséget nyújtanak a szél nagyságát és/vagy jellemző irányát mutató széltérképek (11. ábra).



11. Ábra
Magyarország széltérképe [www.omsz.hu]

Mivel a magasabb légrétegekben a levegő áramlására egyre kevésbé hat a Föld felszínének súrlódása [26], így ott nagyobb szélsébségek alakulhatnak ki, tehát magasabb szélkerék alkalmazásával a kinyerhető energia mennyisége is növelhető.

A magasabb szélkerekek megépítéséhez szükséges kellően magas szilárdság/tömeg indexű szerkezet anyagok már jelenleg is rendelkezésre állnak, így ez a feltétel adott.

2.1.2. Előnyök, hátrányok:

Előnyök:

- *Kifogyhatatlan:* megfelelő helyszínt választva a szélenergia szinte mindig rendelkezésre áll, használatával nem fogyasztjuk el, mint például a fát vagy a fosszilis energiahordozókat
- *Tiszta:* a szélenergia előállítása során nem keletkezik hulladék, hamu, füst és CO₂
- *Ingyen rendelkezésre áll:* nem kell hozzá infrastruktúrát kiépíteni (bánya, csővezeték) nem kell szállítani

Hátrányok:

- *Időjárástól való függés:* a szélerőművek csak bizonyos szélesség tartományban működnek, túl alacsony sebességnél nem termelnek, túl magas sebességnél pedig le kell állítani őket a károsodások elkerülése végett. Ugyanezen kategóriába tartozik, hogy szélcsendes területeken ez a technológia nem alkalmazható, helyette más energia előállítási módszert kell alkalmazni.
- *Zaj:* A szélenergia termelést ért legtöbb támadás a szélerőművek okozta zaj miatt van. A zaj forrása két fő részből áll, az egyik a lapátokon az áramló levegő súrlódásából származó hang, a másik pedig a mechanikus forgórészek keltette zaj. Az okozott zaj és rezgés csak egy része esik az emberi fül számára hallható tartományba, a másik része pedig ultra- és infrahang, mely persze attól függetlenül zavarhatja az élőlényeket, hogy hallanánk. Fenti okok miatt a szélerőművel telepítésekor figyelembe kell venni, hogy emberi településektől megfelelő távolságban legyen.
- *Veszélyt jelent a madarakra:* Ez valóban fellépő probléma, de jelentőségét erősen eltúlozzák a szélenergia alkalmazásának ellenzői. Érdekes statisztikát mutat be a [25], mely szerint évente kb. 50 000 madár esik áldozatául a szélkerék lapátjával való ütközésnek, miközben a házimacskák évente 270 millió madarat zsákmányolnak. Természetesen ez nem szolgál mentségül a szélerőművek számára, de az arányok elgondolkodtatóak.
- *Esztétikai szennyezés:* Egyes vélekedések szerint a szélerőművek látványa zavaró, ez erősen szubjektív tényező, bár a széllal megtermelt energia általa kiváltott egyéb energiaforrások (bányák, földgázátfejtők, olajkutak) tájképi jellegre gyakorolt hatása is megkérdőjelezhető. Az legfontosabb különbség talán az, hogy a szélerőművek, folytonos mozgásuk miatt magukra vonják a figyelmet.
- *Jéghullás:* Bizonyos időjárási körülmények között jégréteg alakulhat ki a lapátokon és ez a jégréteg lehullhat, sérülést és kárt okozva az alatta lévő személyekben és tárgyakban. Védelmi zónák kialakításával a lehulló jég okozta káros hatások jelentősen lecsökkenthetők.

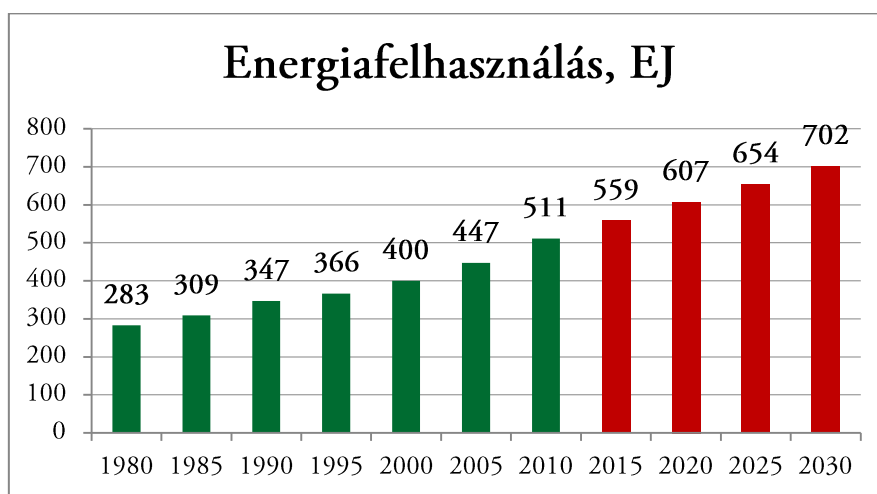
2.2. Napenergia

2.2.1. Általános ismertetés

A napenergia alatt számos, egymástól látszólag eltérő energiát értünk (közvetlenül hasznosítva például a napkollektor és a napelem, közvetlenül pedig a Nap sugárzása által létrehozott biomassa elégetése vagy a felmelegedett földfelszín geotermikus energiája), azonban mindegyikre jellemző, hogy az energia előállítására a Napból érkező elektromágneses sugárzás energiatartalmát hasznosítjuk. A Napból a Földre érkező energia egységnyi felületre eső mértékét a mérések eredményei 1366 W/m^2 –ben határozták meg, ez a *szoláris állandó*⁹ (C_s). Az $r=6378 \text{ km}$ sugarú Földet érő éves energia nagysága tehát:

$$E = C_s \cdot r^2 \cdot \pi \cdot t = 1366 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 6,378^2 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot \pi \cdot 365,2422 \cdot 86400 \text{ s} = 5,51 \cdot 10^{24} = 5,51 \text{ YJ} \quad (3)$$

5,51 yottojoule évenként! Azaz 5.510.000 EJ. Érdekes ezt az energiamennyiséget összehasonlítani a Föld teljes éves energiafelhasználásával (12. ábra)



12. ábra

A Föld teljes évi energiafelhasználása [27]

Látható tehát, hogy a Napból érkező energia elméletileg még a jövőbeli növekedést figyelembe véve is fedezné a Föld teljes energiaigényének hétvezerszeresét! A Napból a föld irányába sugárzott energia egy részét (kb. 30%) a Föld és légköre visszaveri a világűrbe, egy részét (kb. 20%) elnyelik

⁹ A szoláris állandót vagy napállandót először Claude Pouillet (1790 –1868) francia fizikus határozta meg 1838-ban az általa konstruált pyrheliométer (napsugármérő) segítségével, azóta ezt az értéket már műholdak segítségével mérik, de közel 200 éve elvégzett mérés meglehetősen pontos értéket szolgáltatott (1228 W/m^2).

a felhők és a levegőben lévő részecskék. De ha csak 1%-át tudnánk hasznosítani az is bőségesen fedezné a Föld energiaigényét.

Érdemes továbbá ezt az energia mennyiséget összevetni a rendelkezésünkre álló fosszilis tüzelőanyagok jelenleg ismert mennyiségével (2. táblázat).

Megnevezés	Mennyiség	Energiatartalom, EJ
Nyersolaj	$1,65 \cdot 10^{11}$ tonna	6.930
Földgáz	$1,81 \cdot 10^{14}$ m ³	6.500
Szén	$9,2 \cdot 10^{11}$ tonna	23.200
Összesen:		36.630

2. táblázat

A Föld ismert fosszilis energiakészlete [28]

A táblázatból látható, hogy a rendelkezésre álló fosszilis energiahordozó készlet mennyisége a Földet *évente* érő szoláris energia csak mintegy 0,66 %-a. Reményeink szerint nem tártuk még fel az összes fosszilis energiahordozó lelőhelyet, de az arányok így is mellbevágóak, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy a Napról érkező energia folyamatosan megújul, míg a Föld méhében rejlő készletek nem, legalábbis nem belátható időtávon belül.

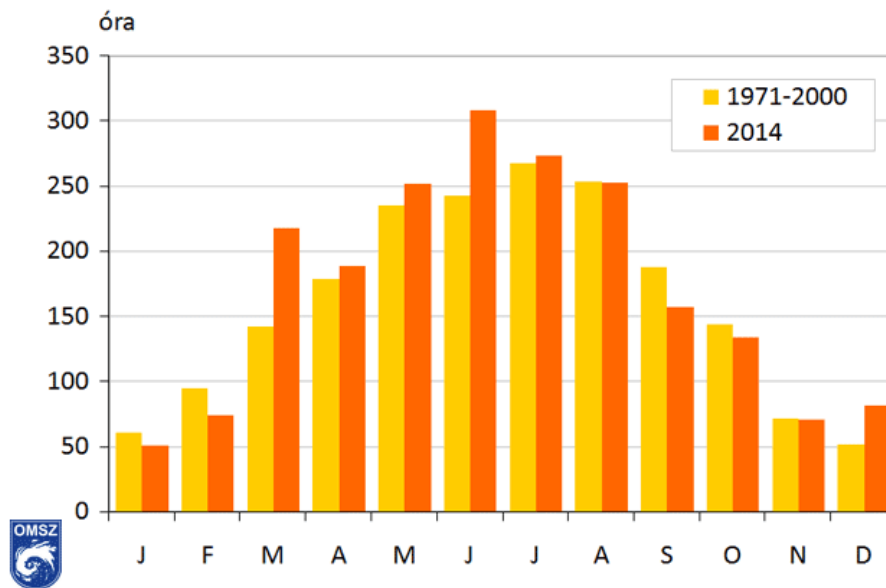
2.2.2. Előnyök, hátrányok:

Előnyök:

- *Kifogyhatatlan:* a napenergia szinte mindig rendelkezésre áll, használatával nem fogyasztjuk el, mint például a fát vagy a fosszilis energiahordozókat
- *Tiszta:* a napenergia hasznosítása során nem keletkezik hulladék, hamu, füst és CO₂, bár a napelemek és napkollektorok gyártása folyamán keletkezik hulladék és üvegházhatású gázok is termelődnek, míg a napenergia hasznosító berendezések életciklusuk végén maguk is hulladékká válnak
- *Ingyen rendelkezésre áll:* bizonyos mértékű hasznosítása engedélyek és adó/illeték megfizetése nélkül is végezhető

Hátrányok:

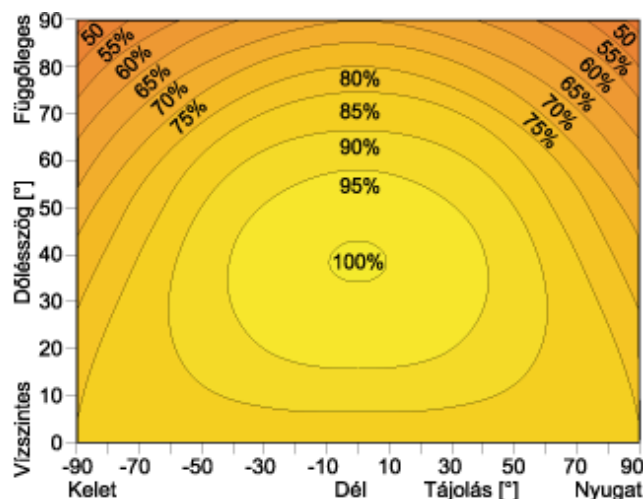
- *Időbeli eloszlás nem egyenletes:* a Napból érkező sugárzás egyrészt naponta váltakozik (nappal-éjszaka ciklusban) másrészt évenként is (évszakonkénti ritmusban) és a fűtés célú felhasználásnál pont akkor lenne rá a legjobban szükség, amikor mértéke csekély (télien) (13. ábra)



13. Ábra

Éves napsütéses órák száma és havi eloszlása Magyarországon [www.omsz.hu]

- *Időbeli eloszlás nem becsülhető:* az időjárástól (legfőképpen a felhőviszonyoktól) jelentősen függ
- *Orientációfüggő:* hatásfoka déli tájolású és megfelelő dőlésszögű tetőn a legjobb, ez nem mindenhol adott (14. ábra)



14. ábra

A napelem/napkollektor-sík tájolásának hatása a kinyerhető energiára [www.naplopo.hu]

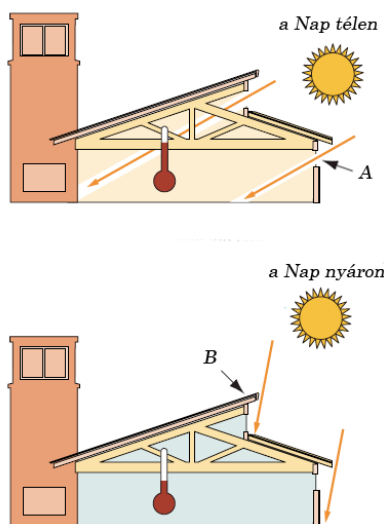
- *A napelemtáblák egységnyi termelt villamos energiára vetített fajlagos ára a többi villamos energiatermeléshez képest drága*
- *A berendezésben környezetkárosító elemek vannak (nehézfémek, stb.), élettartamuk végén a napelemek ártalmatlanítása és szakszerű újrahasznosítása viszonylag bonyolult*

Passzív napenergia hasznosítás

Ugyancsak a napenergia hasznosítása fejezetben kell megemlítenünk a passzív napenergia hasznosítást, amely alatt olyan – elsősorban építészeti – megoldásokat értünk, amely Napból érkező energiát hasznosítja, de csak akkor, amikor szükség van rá.

A megoldások sokrétűek, néhány példa:

- megfelelő tájolású épület: a téli fűtési és nyári klimatizációs költségekben jelentős megtakarítás érhető el az átgondolt tervezéssel
- télikert, szélfogó, stb. építése
- megfelelően pozicionált ablakok és tető: amint az a 15. ábrán is látható, a magasan delelő nyári nap nem tud besütni az ablakokon, mert az A. jelű ablak elhelyezése és a B. jelű tető túlnyúlása megakadályozza abban, míg az alacsonyabban delelő téli nap az ablakon besüt. A lakás így nyáron kevesebb energiával hűthető, míg télen kevesebb energiával fűthető.
- hasonló megoldás az ablak vagy üvegezett ajtó elé ültetett lombhullató fa, ami nyáron a lombja miatt nem engedi át a fényt, míg télen, lomb nélkül már átengedi azt.



15. ábra

Passzív napenergia hasznosítás

2.2.3. Gazdaságosság:

Egy átlagos lakóház esetén a megtérülési idő több tényező függvénye:

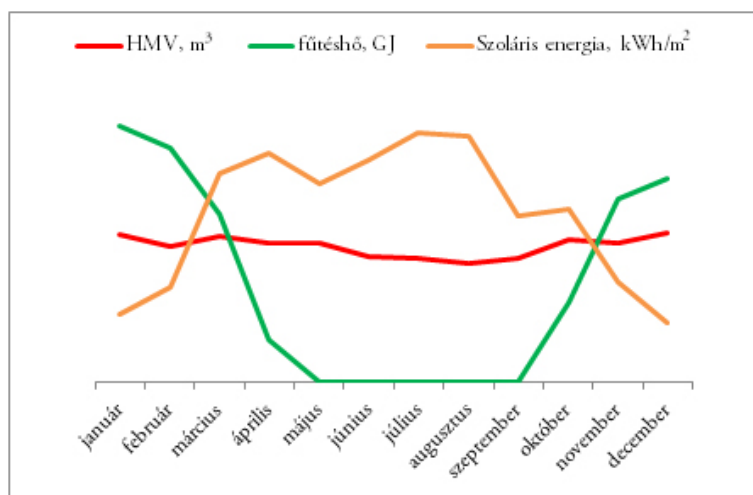
- *a lakóépület elhelyezkedése, árnyékviszonyok* (van olyan tájolású lakóház is, ahol a földrajzi viszonyok vagy a terület beépítettsége miatt a napenergia hasznosítás szóba sem jöhet)
- *a felhasználás jellege* (medencefűtés, használati melegvíz készítés, fűtésrészegítés, szigetüzemű villamos energia termelés, villamos energia termelése közcélú hálózatra, stb.)
- *a berendezés fejlettségi szintje* (egyes berendezések, mint például a feketére festett hordó vagy locsolócső vagy a sörös dobozokból készített sörkollektor gyakorlatilag hulladék anyagból, otthoni körülmények között elkészíthető, míg a másik véglet, a közcélú

elektromos hálózatra termelő napelemes rendszer, vagy a ház fűtésére rádolgozó napkollektoros rendszer milliós nagyságrendű beruházást igényel)

- *támogatás*: jelentősen javítja a megtérülés idejét a beruházásra adott támogatás is¹⁰, amely esetenként akár a 80%-ot is elérheti, az eredmény azonban látólagos és torz, hiszen a megtérülés és a költség nem ugyanott jelenik meg.

2.2.4. Távhő rendszerbe való integrálhatóság:

Magyarországon a napsugárzás éves szintje nem állandó, az egy viszonylag jól leírható görbe szerint változik (16. ábra). Ha berajzoljuk az ábrába a fűtési időszak átlagos hőfelhasználását (zöld) láthatjuk, hogy a két görbe jellege egymásnak a tükörképe, azaz pont akkor áll rendelkezésre a legtöbb szoláris energia, amikor arra a legkevésbé van szüksége egy távfűtő cégnek¹¹. Ennek megfelelően a fűtési célú napenergia felhasználásnak jelen körülmények között nincs realitása. A HMV felhasználást tekintve (piros görbe) azonban már más a helyzet. A fogyasztók részéről a HMV igény egész éves eloszlása egyenletesnek tekinthető és így az év jelentős részén a napenergia a HMV előállításában részt vehet. Fenti megállapításaink napkollektorokra vonatkoztak, természetesen a napelemek által termelt villamos energia is felhasználható a távfűtésben, azonban annak gyakorlati megvalósítása műszaki- és gazdasági akadályokba (drága berendezés) ütközik (a napelemmel termelt energia átvétele támogatott, így gazdaságilag kifizetődőbb a napelemmel termelt villamos energiát értékesíteni és „helyette” vásárolni a szolgáltatótól).



16. ábra

A Napból érkező sugárzás éves eloszlása (narancs), a fűtési hőigény (zöld) és a használati meleg víz igény (piros) [Adatok forrása: Dunaújvárosi Hőszolgáltató Kft, naplopo.hu]

¹⁰ Például a „Helyi hő, és villamosenergia-igény kielégítése megújuló energiaforrásokkal” című (KEOP-2012-4.10.0/A)

¹¹ Ez természetesen az egész fűtés alapja, hiszen pont azért kell fűtés, mert a nap nem süt.

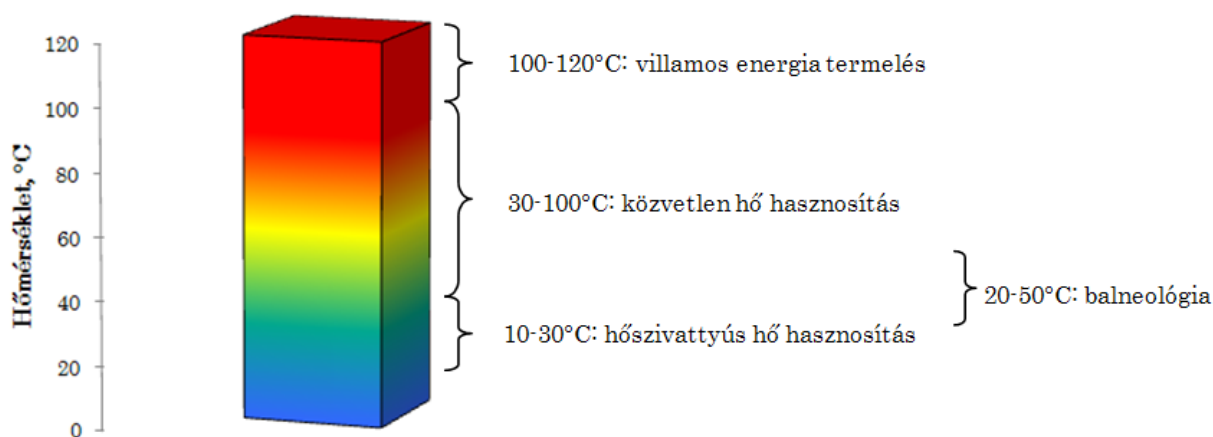
2.3. Geotermikus energia

2.3.1. Általános ismertetés

A geotermikus energia alatt a Föld mélyéből kinyerhető energiát értjük¹². Az energiát hordozó mélység szerint megkülönböztetünk mély és sekély geotermikus energiát. A sekély geotermikus energia (talajhő) tulajdonképpen a napenergia egy formája, hiszen a Föld felső rétegében eltárolódik a napsugárzás energiája, a mély geotermikus energia (földhő) forrása azonban ettől eltérő, egyrészt a Föld – a keletkezése folyamán kialakult sűrűsödési folyamatok kinetikája valamint a gravitációs erők miatt - jelentősen felmelegedett, másrészt a Föld mélyében lévő radioaktív elemek (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) bomlásból keletkező hőből tevődik össze [29].

A geotermikus energia hasznosítása –az egyes hőfoktartományok függvényében - többféleképpen történhet, úgymint (17. ábra):

- a, a 100°C fölötti hőmérsékletű gőz alkalmas turbinák meghajtására és ezeken keresztül elektromos áram termelésére
- a kb.30-100 °C közötti hőmérsékletű víz hőtartalma hőcserélőkkel fűtési célra felhasználható, esetenként használati meleg vízként közvetlenül felhasználható (Szolnok egyes részei, Szeged)
- a kb. 30 °C alatti hőmérsékletű víz hőtartalma még mindig alkalmas hőszivattyús hasznosításra
- bár nem energetikai célú hasznosítás, de a geotermikus energia hasznosítása balneológiai¹³ célokra is felhasználható



17. ábra

A geotermikus energia hasznosítási hőfoktartományai

¹² A Föld térfogatának 99,9%-a elegendően magas hőfokú ahhoz, hogy a vizet felforralja [30].

¹³ balneológia: a gyógyvizekkel és azok felhasználásával foglalkozó tudományág

A hasznosítás egy további csoportosítása történhet az alapján is, hogy a Föld mélyéből kitermelt közeget (víz, gőz, iszap, vagy akár ezek keveréke) energetikai célú hasznosítása után a közegbe visszajuttatjuk vagy azt a felszínen elengedjük. A felszínen elengedett közeg további (jellemzően turisztikai-gyógyászati) hasznosítására is van lehetőség (pl.: Blue Lagoon fürdő, Izland).

2.3.2. Előnyök, hátrányok:

Előnyök:

- *Kifogyhatatlan*: a geotermikus energia szinte kifogyhatatlan, állandóan rendelkezésre áll, becslések szerint a Föld hője 5 milliárd EJ a jelenlegi felhasználás a 2. fejezet 12. ábrája alapján kb. 520 EJ, azaz bolygónk energiaigényét jelenlegi szinten egymillió évig fedezné.
- *Tiszta*: megfelelően alkalmazva környezetbarát, nincs szén-dioxid lábnyoma.¹⁴
- *Rendelkezésre állás*: egész évben egyenletesen áll rendelkezésre (szemben például a napenergiával, szélenergiával, vízi erőművekkel, árapály erőművekkel)
- *Balneológia*: a Föld mélyében lévő víz (valamint iszap és gáz) számos tulajdonsága (hőmérséklet, radioaktivitás, kémhatás, kémiai összetétel, stb.) a gyógyászatban használható, a gyógyszereknél lényegesen természet közelebbi hatásokkal.

Hátrányok:

- *Esetenként környezetszennyező*: Nem megfelelően alkalmazva a kitermelt vízben lévő vagy azt kísérő gázok (H_2S , CO_2 , Rn, NH_3) a környezetbe kerülnek és szennyezik azt, további problémát jelent az elfolyt vizes hőhasznosításnál a természetbe kerülő víz hőfoka és összetétele.
- *Alacsony magnitúdójú földrengést indíthat meg* (a kitermelt víz közeg okozta nyomásváltozáson keresztül).
- *Földszerkezeti károsodásokat (roskadás, beomlás) okozhat*, a kitermelt víz helyén keletkező üreg miatt.
- *Helyfüggő* (csak bizonyos helyeken alkalmazható, ahol a geotermikus gradiens¹⁵ megfelelő mértékű)
- *Költséges* (amennyiben vissza kell juttatni a kitermelt vizet, a gazdaságossági mutatók jelentősen csökkennek)
- *Kellemetlen ízű, szagú, tapintású*: a közvetlenül HMV céljára felhasznált víz esetében gondoskodni kell a megfelelő kémiai összetétel beállításáról, a kellemetlen szagok

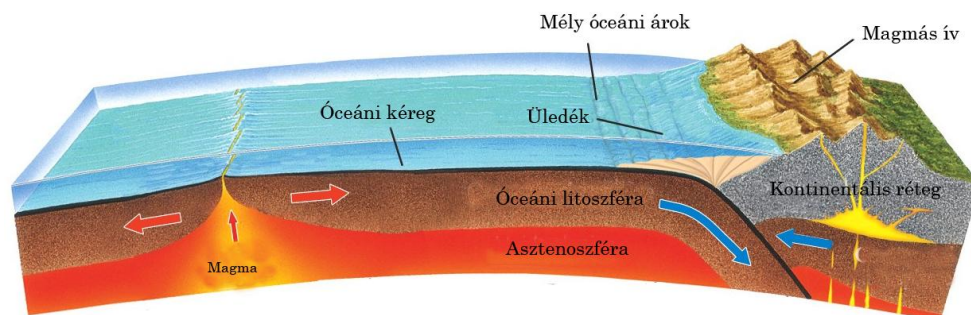
¹⁴ A szén-dioxid lábnyom az ökológiai lábnyomhoz hasonló mérőszám, amely azt adja meg, hogy egy adott termék gyártásakor (annak egy folyamatában vagy egészében) mekkor mennyiségű szén-dioxid képződik és kerül ki a környezetbe.

¹⁵ A geotermikus gradiens az a mérőszám, amely megmutatja, hogy a föld középpontja felé 100 méterenként hány °C-kal nő a hőmérséklet.

eltávolításáról (dezodorálás) és a csúszós érzés megszüntetéséről (csúszásveszély a fürdőkádban).

2.3.3. Gazdaságosság:

A talaj hőtartalmának kinyerése ott gazdaságos, ahol a Föld kérgé elvékonyodik (18. ábra). Ilyen elvékonyodás figyelhető meg például a vulkánok közelében (Kamcsatka-félsziget, Új-Zéland, stb.), tektonikai lemezek találkozása mentén (Izland), de viszonylag vékony a kéreg például a Kárpát-medencében is.



18. ábra

A földkéreg sematikus rajza ([31] átalakítva)

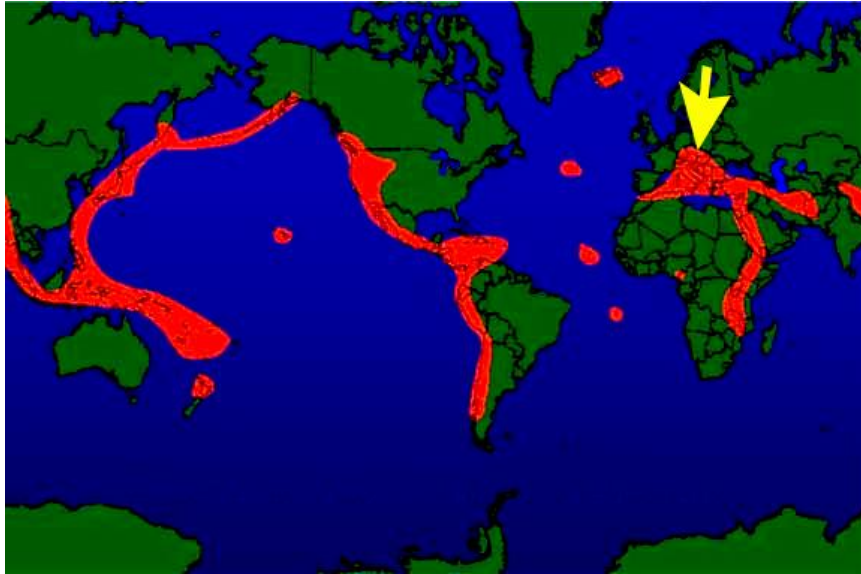
Mivel a Föld hőjét fúrás segítségével hozzuk fel a felszínre így a költség számottevő részét a fúrási költségek alkotják. Ezen költségek leginkább két tényezőtől függnnek:

- a fúrási mélységtől
- az átfúrandó réteg geológiai adottságától

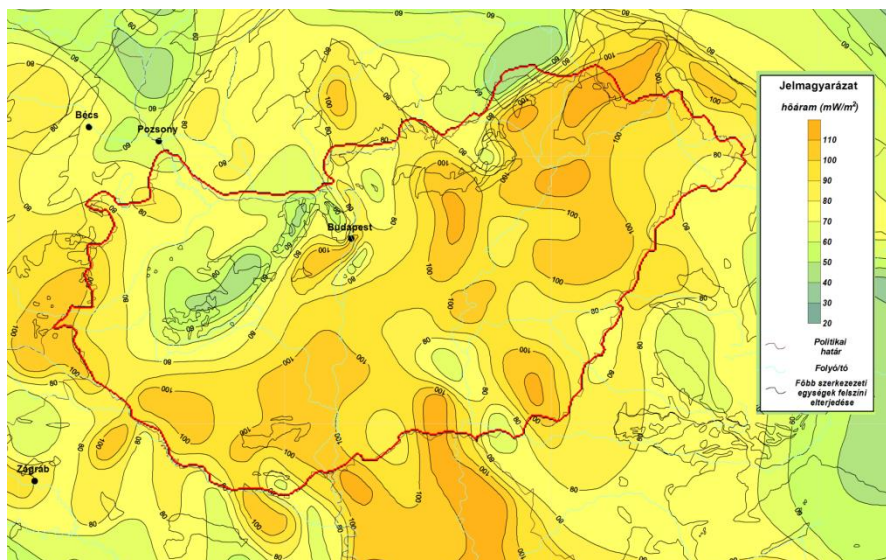
Harmadik tényezőként vehetjük számba a fúrássra és földhő kitermelésre vonatkozó jogi szabályozást, ami rendkívüli módon megnehezítheti (olykor el is lehetetleníti) a hő kinyerését.

2.3.4. Távhő rendszerbe való integrálhatóság:

Mint azt a 19/a. ábrából láthatjuk, Magyarország világviszonylatban is jó helyet foglal el a gazdaságosan kinyerhető földhő potenciálját tekintve. Az alföldi régió különösen kedvező (19/b. ábra). A kinyert hő közvetlenül is (hőcserélővel) hasznosítható távfűtési célokra (Szeged, Hódmezővásárhely), sőt egyes helyeken (Szeged, Szolnok) a kinyert víz kezelést követően (csúszósságmentesítés, szagtalanítás) közvetlenül a HMV rendszerbe táplálható.



19/a. ábra
A föld geotermikus régiói [forrás: geni.org, átalakítva]



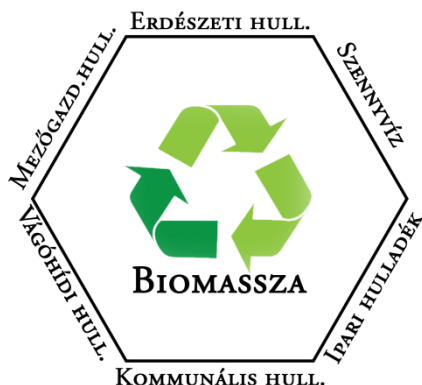
19/b. ábra
Magyarország geotermikus potenciálja [forrás: geophysic.elte.hu, átalakítva]

2.4. Biomassza

2.4.1. Általános ismertetés

Biomassza alatt a biológiai úton keletkezett szervesanyagot értjük, legyen az növényi vagy állati (sőt baktériumból vagy gombából származó is) eredetű. Ide tartoznak a mezőgazdasági (szalma, nád, stb.), ipari (deszka, fűrészpor, stb.), erdészeti (ágak, gallyak, kérgek, stb.) termékek, a

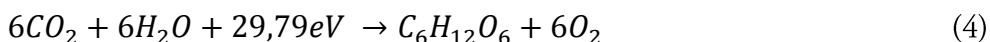
településeken (kommunális szemét, szennyvíz, stb.) vagy üzemekben (vágóhídi maradék, konzervgyári maradék, stb.) keletkező hulladékok és az ezekből fejlődő gázok is. Mint azt a felsorolásból látjuk az energiatermeléshez rendelkezésre álló nyersanyag mind előfordulási formája (szilárd, folyadék, gáz) mind pedig eredete (borászati hulladék, erdészeti apríték, vágóhídi nyesedék, stb.) sokrétű (20. ábra).



20. ábra
A biomassza forrásai

Az emberiség számára –történelme folyamán – elsősorban a biomassza szolgáltatott energiát. A fűtést (és a sütés-főzés energiaszükségletét) fával, szalmával, náddal és az állatok melléktermékével oldották meg, világításra állati zsírok és növényi olajok szolgáltak (mécses, fáklya, gyertya, stb.). A világ számos részén (főleg a kevésbé urbanizálódott területeken) a mai napig csak ezek a lehetőségek adóttak.

A biomassza fotoszintézis segítségével keletkezik a napfény hatására (így ez akár a szoláris energia egyik hasznosítási formájaként is értelmezhető). A fotoszintézis¹⁶ egy kémiai reakció, melyben szén-dioxidból és vízből a nap energiáját felhasználva glükóz vagy fruktóz keletkezik:



A fotoszintézis jelenlegi formája a természetes szelekció útján fejlődött ki és a növények zöld színtestjei (*klorofill*) segítségével megy végbe.

Bolton és Hall kísérletben bemutatta [32], hogy a fotoszintézis hatásfoka meglepően alacsony, csak mintegy 5%. Mivel azonban a Föld hatalmas területeit fedi növénytakaró, így még ilyen alacsony hatásfok mellett is évi $3 \cdot 10^{21}$ J energiát szolgáltat a fotoszintézis. Ha ezt az értéket összevetjük a 3. táblázat értékeivel, akkor láthatjuk, hogy ez a Föld éves energiaszükségletének közel hatszorosa.

¹⁶ A fotoszintézis jelentőségét – többek között – az is alátámasztja, hogy ez idáig 9 kémiai Nobel-díjat ítéltek oda a kutatásáért.

Megnevezés	EJ
A földön évente keletkező biomassa	3000
A föld éves energiafelhasználása, 2011	511
Éves biomassa felhasználás	56
Éves élelmiszerfogyasztás	16

3. táblázat

A bioenergia éves keletkezési és felhasználási adatai [33]

Ugyancsak érdemes összevetni a Földön jelenleg megművelt 6 milliárd hektár nagyságát a Föld teljes energiafelhasználását fedező biomassa előállításához szükséges 5800 millió hektárral¹⁷. Természetesen a megművelt területek elsősorban élelem előállítására szolgálnak, de látható, hogy a lehetőségek adottak mind az ételmezési, mind pedig az energetikai célú ültetvények megvalósítására is. A kettő közötti optimális határvonal meghúzása rendkívül érzékeny feladat, hiszen az energiaárak növekedése miatt egyes, a korábban élelmiszer termelésére használt területeken is teret hódított az energetikai célú növények termelése, mely jogosan korbácsolta fel az indulatokat, az ENSZ is a fenyegető veszélyre hívta fel a figyelmet [34,35,36].

Mint azt a 4. táblázat mutatja, a legmagasabb kihozatali tényezőjű termékek egyben élelmiszerek is, így az ENSZ aggodalma egyáltalán nem minden alap nélküli.

Etanol	m3/ha	Biodízel	m3/ha
Cukorrépa, Magyaro.	6,67	Pálmaolaj	4,75
Cukornád, Brazília	6,19	Kókuszdió	2,19
Cukorcirok, India	3,5	Repce	0,95
Kukorica, USA	3,31	Földimogyoró	0,84

4. táblázat

Természkhozatali területek [37]

2.4.2. A biomasszából történő energia előállítás általános előnyei, hátrányai:

Előnyök:

- *szinte korlátlan rendelkezésre állás*: bizonyos éghajlati övekben (Magyarország például ilyen) az energia ellátása biomasszából még úgy is gyakorlatilag teljes egészében fedezhető lenne, hogy az nem menne az élelmiszertermelés rovására

¹⁷ Korlátozott talajtípust, 5 éves termésátlagot, magyarországi termésviszonyokat és fás-szárú növényt feltételezve, ami természetesen globális trendek meghatározására csak nagyságrendileg alkalmas, azonban a durva közelítés itt elegendő.

- *folyamatosan rendelkezésre áll:* szinte egész évben keletkezik (hulladék, szennyvíz, erdészeti hulladék), bár az éves megoszlás esetenként nem egyenletes (pl: mezőgazdasági termékek és hulladékok)
- *megújuló:* a biomassza évről-évre (ciklusról-ciklusra) megújul, a növények folyamatosan nőnek, szemét, hulladék folyamatosan keletkezik
- *csökkenti a hulladék mennyiségét (Hollandiában és Belgiumban az állati eredetű hulladék megsemmisítésének egyik praktikus eszköze a biomassza energetikai célú felhasználása)*
- *a biológia úton előállított üzemanyagok kénmentesek*

Hátrányok:

- *globálisan nem elérhető:* egyes területeken (száraz, aszályos, sivatagos, magashegységi, stb.) nem elegendő a keletkező biomassza
- *társadalmi feszültséget okozhat:* az átgondolatlan biomassza termelés élelmiszer krízishez vezethet

Biomasszából energiát előállítani többféleképpen lehet, egy tipikus felosztás például:

- i. közvetlenül elégetve (szalma erőmű, faapríték kazán, hasábfű kandallóban)
- ii. bioetanol előállításával
- iii. biodízel előállításával
- iv. egyéb módon

i, Energia előállítása közvetlen felhasználással; égetéssel

Ebben az esetben a rendelkezésre álló biomasszát elégetjük és a keletkező hőt hasznosítjuk. Ide tartoznak a fával és faaprítékkal működő erőművek, szalmaerőművek, stb. A berendezés egyszerű felépítésű, többnyire kazán, a nagyobb teljesítményű erőművekben azonban pl. turbina segítségével kapcsolt villamos energia termelés is folyhat.



21 ábra.

Faapríték tüzelésű kazán Szolnokon (Az Alfa-Nova Kft. engedélyével)

ii, Energia előállítása bioetanol gyártással

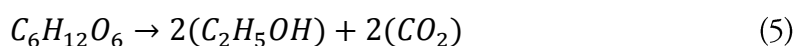
A cukrot vagy cukorrá alakítható vegyületet (pl: keményítő) tartalmazó növényekből etanol előállítása már évezredek óta ismert az emberiség számára (22. ábra).



22. ábra

Sörfőzési recept egy 5000 éves babilónia kőtáblán, Uruk (a mai Irak területén)

Az eljárás során felhasznált élesztőben lévő enzimek hatására a cukor etanollá és szén-dioxiddá alakul át:



A felhasznált élesztőtől függően a reakció végtermékében az etanol aránya a 21%-ot is elérheti, a végtermékből az etanol kivonása (extrakciója) desztillálással történik.

A végeredményképpen kapott etanol (etil-alkohol) – többek között – tüzelőanyagként hasznosítható. A bioetanol gyártásban jelentős sikereket ért el Brazília, ahol egyrészt már évtizedek óta használnak etanol üzemanyagú gépjárműveket a forgalomban, a benzinkúton etanolt is lehet tankolni (23/A. ábra), másrészt Brazília Minas Gerais szövetségi államában etanollal működő, 86MW teljesítményű erőmű is üzemel 23/B. ábra.



a, „Benzin”kút Sao Paulóban, Brazília



b, Juiz De Fora, etanolos erőmű

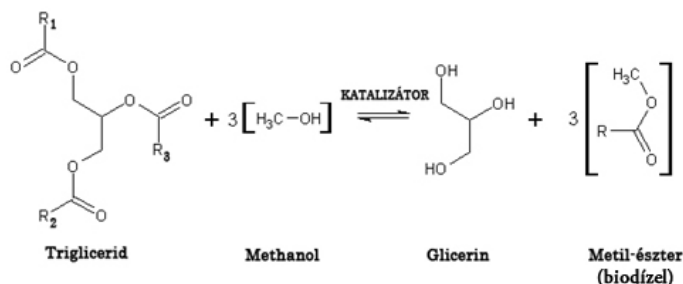
23. ábra

A gyártási folyamat végén megmaradó anyagot szárítás után állati takarmányozásra vagy az előző i. pont szerinti közvetlen tüzelésre lehet felhasználni.

iii, Energia előállítása biodízel gyártással

Az állati eredetű zsírok és növényi eredetű olajok kémiai összetétele nagymértékű hasonlóságot mutat, mindkét csoport a glicerín zsírsavakkal alkotott észterekből áll. A glicerín három darab hidrophil alkoholos hidroxil-csoportot tartalmaz. Általában a zsírsavészterekben (triglicerid) egyféle zsírsav kapcsolódik a glicerín molekula mindhárom hidroxil-csoportjához, azaz a 24. ábrán, $R_1=R_2=R_3$, a savak láncossága és telítettsége határozza meg a triglicerid tulajdonságait.

Az alkoholízis néven ismert eljárás során a növényi olajok és állati zsírok kisebb láncosságú észterekké alakulnak át (*átészterezés, transzészterifikáció*) és melléktermékként glicerín keletkezik. A kisebb láncosság kisebb viszkozitást jelent, így ezek felhasználása motorban való égetésre alkalmasabb, a biodízelt ugyanis a dízelolajhoz hasonlóan belsőégésű motorok üzemanyagaként használják.



24. ábra
A biodízel gyártás kémia folyamata

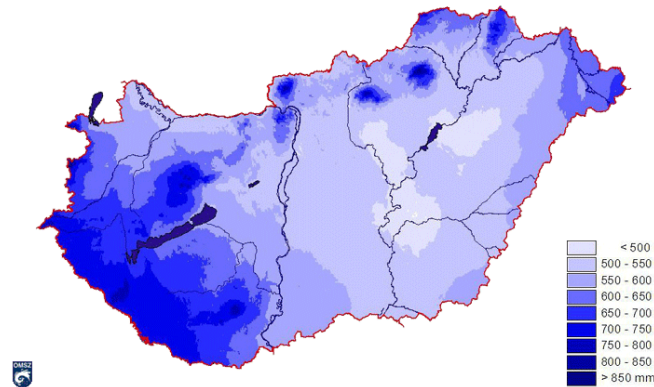
iv, egyéb módon történő hasznosítás

Ide értünk bármi olyan eljárást, mely a fentiekbe nem sorolható, mint például a pirolízis, erjedés, elgázosítás, stb. Ezek tárgyalása messze túlhaladná jelen értekezés kereteit, így csak a távhőszolgáltatásba gazdaságosan és ésszerűen integrálható eljárásokra térek ki.

Kommunális hulladéklerakóban keletkező gázok hasznosítása: ebben az esetben a jelentős szerves anyag tartalmú kommunális hulladék bomlása során keletkező metántartalmú gázt (depóniagáz) gyűjtjük össze és használjuk fel hő és/vagy villamos energia előállítására. Egy átlagos összetételű kommunális hulladékból kedvező körülmények között $150\text{--}300\text{m}^3$ kb. 60% metán (CH_4) tartalmú gáz keletkezik [38]. Ezek a kedvező körülmények a következők:

- a gazdaságosság miatt a hulladék tároló mérete adott nagyság (1 millió tonna tárolt tartalom) fölött legyen, a hulladék kora 10 év alatti legyen
- kommunális hulladék legyen, a megfelelő szerves anyag tartalom biztosítása érdekében (ahol ezt a törvény megengedi)

- a tároló használatban legyen, mivel az idő múlásával a keletkező gáz mennyisége csökken
- az évi csapadékmennyiség 500 mm fölött legyen, a 25. ábrából látható, hogy ez hazánk szinte egész területén adott, ahol pedig nem adott, azon a részen az átlagos csapadékmennyiség csak kevéssel van 500 mm/év alatt.



25. ábra
Éves csapadékmennyiség Magyarországon, [Forrás: OMSZ]

A hulladéktárolóban keletkező gázok gyűjtése és hasznosítása több ok miatt is előnyös:

- a kinyert gáz energiatermelésre hasznosítható
- a begyűjtött metán nem kerül a légkörbe, csak az elégetését követően, CO₂ formájában, így az üvegházhatásra gyakorolt kedvezőtlen hatása 1/21-ed részére csökken (lásd 2. számú Függelék)
- ha nem is jelentősen, de csökken a nem hasznosított szemét mennyisége.

Fenti dolgok felismerése vezetett oda, hogy az Amerikai Egyesült Államokban már törvény¹⁸ írja elő a 2,75 millió tonna fölötti kapacitású szeméttárolókban a keletkező gáz begyűjtését.

Hulladékégetés: a folyamat során a megfelelően előszelektált hulladékot tüzelőberendezésben (mely lehet rostélyos vagy rostély nélküli) közvetlenül elégetjük, a keletkező hőt hasznosítjuk. Ezen termikus hulladékkezelési technológia kiforrott, azonban az eljárással kapcsolatban rendkívül nagy a társadalmi el nem fogadottság, holott megfelelően alkalmazva a környezet terhelése csökken.

előnyök:

- nagyságrendekkel csökken a hulladék mennyisége (a hamu és korom tömege az eredetinek csak 20-25%-a, a térfogata viszont csak 5-10%! lesz)
- egyéb hulladékkal együtt égetve a veszélyes hulladékok (pl. kórházi) megsemmisítése megoldódik
- a keletkező hő és/vagy villamos energia hasznosítható

¹⁸ Code of Federal Regulations, Protection of Environment 40, Part 1 to 49.

- adott települést vizsgálva a hulladék és a belőle előállított energia azonos helyen keletkezik, így a szállítás gazdaságosabb

hátrányok:

- nagyon erős bizalmatlanság az emberekben a technológia iránt, ezért a hulladékégető engedélyeztetése sokszor akadályokba ütközik (26. ábra)
- az égetést megelőzően idő és költségigényes szelektálási műveletre van szükség
- égető berendezés a hagyományos kazánokhoz képest – a szigorúbb jogszabályi környezet miatt - drágább (filterek, stb.)



26. ábra

Hulladékégető elleni tiltakozás [Forrás: RTL online]

2.4.3. Távhő rendszerbe való integrálhatóság:

Fentiekből látható, hogy a biomassza energiatartalmának hasznosítása sokrétű, a hasznosítási módszerek közül azonban egyesek sikeresebben, míg mások kevésbé sikeresen illeszthetők be egy adott település távfűtő rendszerébe. A biodízel és bioetanol távfűtési célú felhasználását a termékek – hagyományos fűtőanyagokhoz (földgáz, tüzipa) viszonyított ára - nem teszi lehetővé. Ugyanakkor az erdészeti/mezőgazdasági hulladék, a kifejezetten energetikai célra termesztett növények illetve a hulladékok égetése távhő célú felhasználása a jelenlegi tüzelőanyag árak mellett is gazdaságos, a tüzelőanyag tárolása relatíve kis költséggel (fedett tároló) megoldható, pufferehető. A hulladékégetés további előnye, hogy mind a távfűtés elterjedése, mind pedig a nagyobb mennyiségű hulladék keletkezése a nagyobb településekre jellemző, így az energiahordozó az energia felhasználási helyén keletkezik.

2.5. Vízi energia

2. 5. 1. Általános ismertetés

A vízi energia alatt a víz által tárolt helyzeti és mozgási energiát értjük. Jelenleg a világ energiatermelésének kb. 1/6-át adja vízerőmű, aránya a megújuló energián belül magas, 90% fölötti. Egyes országok (Norvégia, Paraguay, Kongói Demokratikus Köztársaság) szinte teljes villamos energia igényét vízierőművekből fedezi. A vízi energia hasznosítási potenciálja azonban világszerte kedvező:

Régió	Rendelkezésre áll, EJ/év	Kihasznált, EJ/év	Kihasználtság, %
<i>Európa</i>	9,74	2,62	26,9
<i>ezen belül Magyarország</i>	0,0252	0,00125	4,94 (!)
Észak-Amerika	6,02	2,39	39,7
Ázsia	18,35	2,06	11,2
Afrika	6,8	0,29	4,3
Dél-Amerika	10,5	1,83	17,4
Ausztrália-Óceánia	0,84	0,14	16,7
Összesen:	51,76	9,33	18,0

5. táblázat

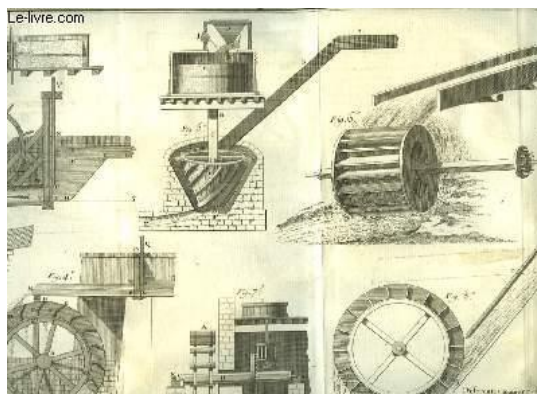
A rendelkezésre álló és a kiaknázott vízi energia megoszlása a világban

Látható, hogy Magyarország a vízi energia hasznosításában nagyon kedvezőtlen helyet foglal el, a Dunán nem történik villamos energia termelés, a Tiszán pedig csak két helyen, Tiszalökön 11,5 MW teljesítménnyel és Kiskörén 28 MW teljesítménnyel.

A hasznosítás többféleképpen történhet, célszerű megfontolásból jelen dolgozat keretében villamos energiatermelés nélküli és villamos energiatermeléssel járó vízienergia hasznosítást különböztetünk meg.

Vízi energia hasznosítása villamos energiatermelés nélkül:

Már évezredek óta használt eljárás: a víz helyzeti és/vagy mozgási energiáját aknazzuk ki (faúsztatás, áruk szállítása hajón, fűrészmalomok, golyómalomok, Archimedesi spirálissal működő vízemelő, stb.), B. forest de Belidor francia mérnök *Architecture hydraulique* címen 1790-ben többkötetes művet jelentetett meg amely rendkívüli részletességgel írta le a vízi építményeket, folyószabályozást, és már a turbinákat is megemlíttette (27. ábra).

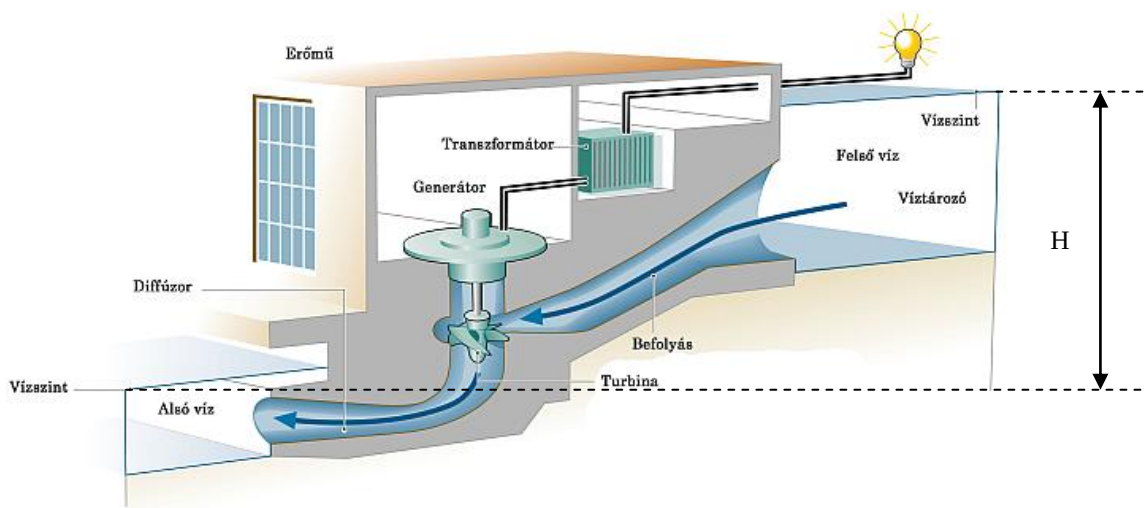


27. Ábra
Víziturbínák

Vízi energia hasznosítása villamos energia termelésre:

Az elektromosság alaposabb megismerését követően terjedt el előző kategóriánál jóval újkeletűbb energiahasznosítási eljárás, amelyben a víz energiáját villamos energia termelésre használjuk fel, a villamos energia termelése több módszerrel lehetséges:

Gát építésével: Ebben az esetben a folyóra épített gát hatására a vízszint megemelkedik (a duzzasztott és eredeti oldal közötti magasság különbség az esés, H) (28 ábra.) és az így keletkező víztömeg helyzeti energiája megnövekedik, melyet megfelelő berendezések segítségével villamos energiává alakítunk át. Ilyen erőműre példa az Itaipú Binacional az argentin-paraguayi határon.



28. ábra
Vízierőmű elvi ábrája [Agentur für Erneuerbare Energien, módosítva]

Egy H magasságú vízoszlop helyzeti energiája (E_{pot}):

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot H \quad [\text{J}] \quad (6)$$

Ahol, m : a vízoszlop tömege [kg] g : gravitációs gyorsulás ($\sim 9,81$ [m/s²], H : vízoszlop magassága [m].

Felhasználva, hogy $m = \rho \cdot V$, $V = A \cdot h$, $h = v \cdot t$, illetve, hogy $Q = A \cdot v$ (6) összefüggés (azaz az elméletileg kinyerhető energia mennyisége) az alábbi módon írható fel:

$$E_{pot} = \rho \cdot Q \cdot t \cdot g \cdot H \quad [J] \quad (7)$$

Ahol, ρ : a közeg (víz) sűrűsége [kg/m³], Q : a térfogatáram [m³/s], t : az idő [s].

(7) alapján belátható, hogy mivel a víz sűrűsége állandónak vehető, a kinyerhető energia a vízhozam és az esés lineáris függvénye.

A ténylegesen kinyert energia (E) mennyisége az átalakítás hatásfokának (η) ismeretében:

$$E = E_{pot} \cdot \eta \quad [J] \quad (8)$$

Az átalakítás szinte minden esetben turbinával történik¹⁹, a turbinák hatásfoka rendkívül jónak mondható, 90% fölötti²⁰. A világ legnagyobb vízi erőműveit a 6/a. táblázat tartalmazza.

Erőmű neve	Ország	Beépített teljesítmény
Three Gorges	Kína	20,3 GW
Itaipú Binacional	Brazília-Paraguay	14 GW
Guri Dam	Venezuela	10,2 GW

6/a. táblázat
A világ legnagyobb vízierőművei

Föld alatti erőművel: az eljárás elviekben az előzővel megegyező, csak ebben az esetben egy magasabban lévő víztározóban lévő víztömeget egy (vagy több) föld alatti csatorna köti össze az alacsonyabban lévő víztározóval, az energiatermelő berendezések a csatornában illetve a csatorna mellett, de a föld felszíne alatt helyezkednek el. Ezen módszer egyik előnye a gáttal szemben, hogy a természeti környezetre gyakorolt hatása jelentősen kisebb, hátránya a bonyolultabb kivitelezés és a megfelelő helyszín kiválasztása. Ilyen erőmű a norvégiai Sima Kraftwerk.

Szivattyús tározós erőművel: ebben az esetben a vizet a villamos völgyidőszakban szivattyúik segítségével egy magasabb ponton kialakított tározóba vezetik (villanymotor-szivattyú üzemmód) és villamos csúcsidőszakban a vizet az alacsonyabb pontra visszaengedve (turbina-generátor üzemmód) elektromos áram termelhető. Bár a víz felemelése több energiafelhasználással jár, mint a leengedés során termelt villamos energia, azonban a villamos energia csúcs- és völgyidőszaki ára közötti különbség –megfelelő jogi szabályozás mellett – ezen veszteséget kárpótolni képes.

¹⁹ Az egyes turbinafajtákat lásd: [39,40]

²⁰ Az Itaipu vízierőmű 715 MW-os Francis turbináinak hatásfoka 700 m³/s térfogatáramnál 93.8%.

További előnyként jelentkezik, hogy ezen módszer a villamos energia termelő rendszer többi szereplőjétől (fosszilis üzemanyagot használó erőművek, atomerőművek) a felhasználói oldal fogyasztásokban fellépő ingadozásokat átveszi.

2.5.2. Előnyök, hátrányok:

Előnyök:

- *Rugalmas*: a vízierőművek viszonylag egyszerűen ki-be kapcsolhatók és a térfogatáram szabályozásával a teljesítménye is tág határok között állítható.
- *Idegenforgalom fellendítése*: a gát mögött kialakuló tó széles körűen hasznosítható vízisportokra, a gát maga építészeti látványosság, a legtöbb vízierőműre turisztikai ipar épül (Itaipu Binacional, Hoover Dam, stb.)
- *Ipari méretű igényt is képes ellátni* (Suriname-ben a Brokopondo Reservoir szolgálja ki az Alcoa alumíniumgyárát)
- *Megújuló*: A csapadék folyamatos körforgása miatt a vízierőművek megújuló energiát állítanak elő.
- *Black start lehetséges*, azaz a vízierőmű vész esetén megindítható elektromos áram betáplálás hiányában is, ez katasztrófák esetén rendkívül kedvező tulajdonság.
- *Gazdaságos*: az erőmű felépítését követően rendkívül alacsony költséggel képes villamos energiát termelni
- *CO₂ kibocsátás nincs*
- *Nagyon jó hatásfokú*: az energiaátalakítás teljes folyamatra vonatkoztatott hatásfoka 90% fölötti
- *Kipróbált, bevált technológia*: Egyes vízierőművek már több mint száz éve üzemelnek, a tapasztalatok megfelelőek.

Hátrányok:

- *Megváltoztatja a tájképet*: az Itaipú vízierőmű elkészültekor 1350 km²-nyi terület került víz alá²¹.
- *A hasznosítható termőföld csökken*.
- *Akadályozza a halak vándorlását*: ez a hatás hallépcsők építésével részben orvosolható
- *Időjárásfüggő*: A vízierőmű teljesítménye –bár korántsem annyira mint a szél vagy szolár rendszereké– függ az időjárástól, aszályos időszakban a teljesítmény csökken.
- *Szociális és kulturális problémák*: a gát elkészültekor az elárasztandó területen élő embereket el kell költöztetni, ez komoly társadalmi feszültséget okoz (a kínai Three Gorges gát elkészültekor 1,25 millió embert²² kellett máshová költöztetni); az elárasztott falvak

²¹ Összehasonlításként: Nógrád megye területe: 2546 km² [Forrás: KSH]

²² Összehasonlításként: Budapest lakossága 1 229 880 fő (2010. jan 1.) [Forrás: KSH]

mellett kulturális értékek is eltűnnek, mint például az Asszuáni-gátnál a páratlan ókori leletek.

- *Metán keletkezik:* a felduzzasztást követően az elárasztott területen lévő növények bomlásából metán kerül a légkörbe, a megfelelő előkészítéssel (erdők kivágása, növényzet eltávolítása) ez a hatás jelentősen csökkenthető.
- *Hordaléklarakódás:* a gát miatt megváltozott áramlási viszonyok következtében a folyó által szállított hordalék a tározóban reked, ami egyrészt gondot okoz a gát alatti folyószakasz és partvonal hasznosításában (halászat, mezőgazdaság) továbbá gondot okoz magában a tározóban (csökken a hasznos térfogata, ezáltal az erőmű teljesítménye, stb.)
- *Potenciális katasztrófa bekövetkeztének veszélye:* a gátban akár természetes módon (földcsuszamlás, földrengés, stb.) vagy emberi behatásra (terrorista akció, szabotázs, stb.) bekövetkező gátszakadás a gát mögötti területre katasztrofális hatású lehet. A kínai Banqiao gát 1975-ös átszakadásakor 26 000 ember azonnal további 145 000 ember a katasztrófa utáni járványokban meghalt, közel hatmillió ház összedőlt (29. ábra).



29. ábra

A Banqiao gát helye [internationalrivers.org]

2.5.3. Távhőrendszerbe való integrálhatóság:

Bár megfigyelhető az az összefüggés, hogy hazánkban a nagyobb városok általában nagyobb folyóvizek mentén alakultak ki (Szolnok, Szeged, Dunaújváros, Budapest, Győr, stb.) és a távfűtés is a nagyobb városokra jellemző, mégis a vízi erőművek által termelt villamos energia felhasználása elsősorban más célokra történik, a távfűtésre ésszerűbb egyéb módon előállított (hő)energiát felhasználni. Különösen annak ismeretében, hogy a hazai vízi energia kihasználtság - még az adottságokhoz képest is - rendkívül alacsony.

A távhőszolgáltatásban jelenleg felhasznált egyes megújuló energiaforrások arányát és a távhőrendszerbe való integrálhatóság jellemzőit a 6/b. táblázat foglalja össze. Megállapítható, hogy

a megújuló energiaforrások alkalmazása még abban az esetben is kiugróan alacsony, amikor a távhő célú felhasználás nem ütközik műszaki-gazdasági-jogi akadályokba,

Energiaforrás	Hozzájárulása a távhőhöz	Távhőrendszerbe való integrálhatóság
Napenergia	0,001%	igen
Szélenergia	0%	nem jellemző
Biomassza + hulladék	1,3% + 1,2%	igen
Geotermikus	0,4%	igen
Vízi energia	0%	nem jellemző

6/b. táblázat

Megújuló energiaforrások alkalmazhatósága a távhőszolgáltatásban

3. A HELYI ENERGIATERMELÉS LEHETŐSÉGEI

„Mi szükség van napi kenyérre, ha tiéd a pékség?!” – Randy Alcorn, 2011

3. 1. Bevezetés

Az értekezés ezen részében megvizsgáljuk, hogy egy modell településen megvalósítható-e a fogyasztói távhőigények teljes körű ellátása a rendelkezésre álló hulladékok (kommunális szemét, erdészeti hulladék, szennyvíz, ...) és megújuló energiák felhasználásával, áttekintjük továbbá, hogy a rendelkezésre álló lehetőségek milyen kombinációjával érhető el az optimális energetika, környezetvédelmi és pénzügyi haszon.

Modell településnek a lakóhelyemnek és munkahelyemnek helyt adó Dunaújvárost választom, így a modell jóságának és felhasználhatóságának mértékét a rendelkezésre álló tényadatok alapján kontrollálni lehet.

Kiinduló adatok [forrás]:

Dunaújváros lakossága: 48.562 fő [KSH 2009]

Távfűtött lakások száma: 19.278 db [DVCSH²³ 2013]

Távfűtéssel fűtők becsült száma (2,2 fő/háztartás²⁴): 42.550 fő

Szemétszállítási szolgáltatásban résztvevők száma: 48.027 fő [DUNANETT 2012]

Szennyvízelvezetési szolgáltatásban résztvevők száma: 21.782 háztartás, azaz kb. 47.920 fő [DSZSZ 2012]

Keletkező kommunális hulladék mennyisége: 10.799 tonna/év [DUNANETT 2012]

Keletkező szennyvíz mennyisége: 3.175.500 m³/év [DSZSZ 2012]

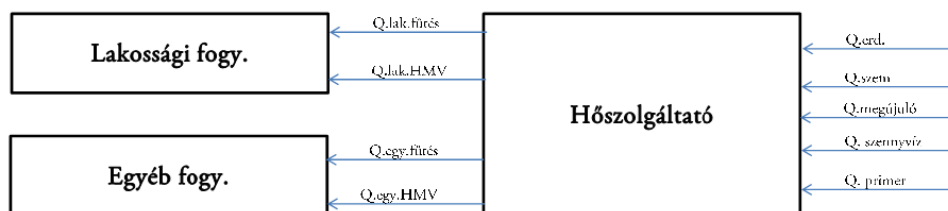
Keletkező erdészeti melléktermék mennyisége: kb. 300 tonna/év (nincs pontos adat)

Fontosnak tartom kiemelni, hogy a modell megalkotása során a csak erre a városra jellemző tényezőket (pl: vasmű, papírgyár, gumigyár, Duna folyó közelsége, stb.) nem vettem figyelembe, így a modell a többi távfűtött településre jobban adaptálható, a más településen esetlegesen előforduló, hőtt melléktermékként előállító gyárak (mint például a helyi távfűtésben szerepet játszó vasmű) –ha azokat a más településre szolgáló modell megalkotásakor figyelembe vesszük- a modell jóságát pozitív irányba tolják el.

²³ DVCSH: Dunaújvárosi Víz-, Csatorna- Hőszolgáltató Kft., mely Dunaújváros távhőellátását és ivóvízellátását biztosítja, DUNANETT Kft: Dunaújváros kommunális hulladékát gyűjti be, DSZSZ Kft: Dunaújvárosi Szennyvíztisztító Kft.

²⁴ A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal adatai alapján a távfűtéssel is rendelkező települések (92 db) összlakossága 4.870.437 fő, az összes lakásszáma 2.210.632 db, így az egy háztartásban élők (függetlenül attól, hogy a háztartás távfűtött vagy sem) országos aránya 2,2 fő/háztartásra adódik.

A modell megalkotásakor a város tényleges távhőigényéből indulunk ki és megvizsgáljuk, hogy ez az igény (és a távhőrendszer esetleges későbbi bővítéséből származó többlet igény) kielégíthető-e a jelenleg rendelkezésre álló, ám ki nem használt források felhasználásával. A városi távhőigény a lakossági és egyéb (intézmények, közületek) felhasználók távhő és használati melegvíz fogyasztásából áll össze (lásd: 30. ábra)



30. ábra
Dunaújváros hőigényei

A cél tehát az, hogy $\sum Q_{igény} \leq \eta \cdot Q_{rend.alló}$ (9/a)

Ahol, $Q_{igény} = Q_{lak,fűtés} + Q_{lak,HMV} + Q_{egyéb,fűtés} + Q_{egyéb,HMV}$ (9/b)

$Q_{rend.alló} = Q_{erdészeti} + Q_{hull.} + Q_{szennyvíz} + Q_{gmegújuló} + Q_{techn.} + Q_{primer}$ (9/c)

η = a teljes folyamat hatásfoka (a hő előállítása, szállítási veszteségek, stb.)

A teljes folyamat hatásfoka az egyes eljárások hatásfokának és a szállítási veszteségeknek az eredőjeként áll elő.

A későbbiekben a modell felállításához megvizsgáljuk az egyes tényezők szerepét és meghatározzuk azok mértékét, de ezt megelőzően a 3.2 fejezetben röviden bemutatjuk a hőszolgáltatót magát.

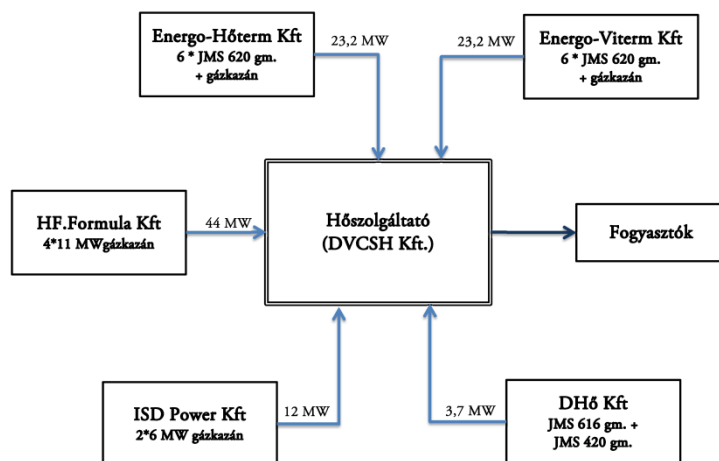
3.2. A hőszolgáltató bemutatása:

A dunaújvárosi fogyasztókat a Dunújvárosi Vízfűtő, Csatorna- Hőszolgáltató (DVCSH) Kft látja el távhővel és használati melegvízzel. A szolgáltató többségi (51%) önkormányzati tulajdonban van (a tulajdonosi jogokat a 100%-ban önkormányzati tulajdonú Dunaújvárosi Vagyongazdálkodó (DVG) Zrt. gyakorolja), míg a fennmaradó 49%-os tulajdoni hányadon három szakmai befektető osztozik, (Energott Kft, Alfa-Nova Kft, illetve Energo-Haus Tourismus GmbH). A fogyasztóknak értékesített hőmennyiséget a hőszolgáltató teljes egészében hőtermelőktől vásárolja, maga hőt nem állít elő (lásd 31. ábra):

- A hő egy része a városi acélműből (az *ISD Power Kft*-n keresztül) - a bugák felhevítéséhez használt kazánokból – érkezik. Attól függően, hogy az acélgártási technológia mekkora

kapacitáson üzemel (1 vagy 2 kazán), a beérkező teljesítmény 6 MW vagy 12 MW. A kazánok földgázzal üzemelnek²⁵.

- Érkezik hő továbbá a *HF.Formula Kft*-től is, ami a távhőt egy kazánházában 4 db, egyenként 11 MW teljesítményű gázkazánban teljes egészében földgázból állítja elő.
- Szintén földgázból állít elő hőt (és villamos energiát) 6 db Jenbacher gyártmányú JMS 620 típusú gázmotorral ($P_{vill}=3034$ kW, $P_{hő}=3034$ kW) és egy db 5MW teljesítményű Vasfa kazánnal az *Energo-Hőterm Kft* és az erőmű ugyanolyan műszaki paraméterekkel rendelkező hasonmása, az *Energo-Viterm Kft* is.
- A dunaújvárosi kórház területén további két földgázüzemű gázmotor üzemel, egy darab Jenbacher gyártmányú JMS 616 típusú ($P_{vill}=2181$ kW, $P_{hő}=2248$ kW) és egy darab ugyancsak Jenbacher gyártmányú JMS 420 típusú ($P_{vill}=1403$ kW, $P_{hő}=1480$ kW), melyet a *Dunaújvárosi Hőszolgáltató Kft* (amely a fenti DVCSH Kft-vel nem azonos, csak a neveik hasonlóak) üzemeltet.



31. ábra
A dunaújvárosi távhőrendszer hőforrásai

Fenti felsorolásból látható, hogy a hőtermelők által előállított hő teljes egésze primer földgáz eltüzeléséből keletkezik. A távhőrendszer előremenő hőfoka téli üzemben 80 °C, nyári üzemben 85 °C, míg a visszatérő hőfok télen 58 °C, nyáron pedig 55 °C (átlagos értékek).

A dunaújvárosi távhőfogyasztók által elfogyasztott hőmennyiségek az alábbi táblázatban találhatók:

²⁵ Amennyiben a vasmű teljes vertikuma működne, a földgáz kiváltható lenne (és korábban így is volt) a gyártási technológiában keletkező kamra- és kohógázzal.

	2011	2012	2013
Értékesített fűtési célú távhő [GJ]	591 091	557 516	535 461
Értékesített HMV célú távhő [GJ]	147 733	90 758	109 673
Összes értékesített hő [GJ]	738 824	648 274	645 134
Fogyasztók száma ²⁶ [háztartás]:	19 363	19 322	19 278
Egy főre jutó hőfogyasztás átlaga [GJ/fő]:	17,34	15,25	15,21
A fűtési szezon átlagos hőmérséklete [°C]	5,21	4,95	6,01

7. táblázat

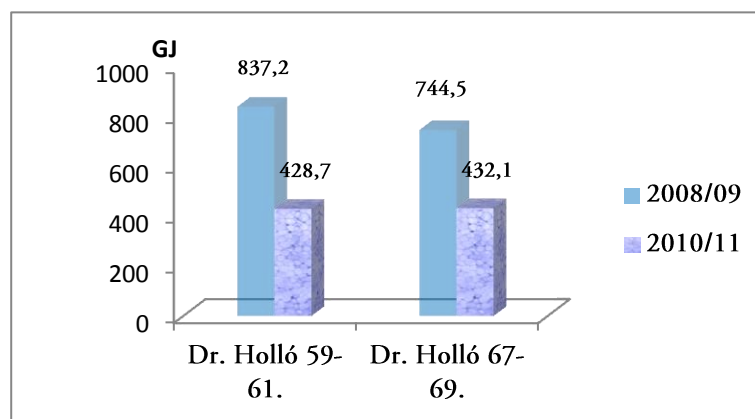
Forrás: [39,40,41] (Éves jelentések)

A szigetelés hatása

A távfűtött épületek hőigénye rendkívüli mértékben függ az épület (hőfizikai) állapotától, azaz a szerkezeti elemek illesztésétől, anyagától, a szigetelés és a nyílászárók minőségétől.

Egy – átlagosnak tekinthető - példán bemutatjuk, hogy az épület szigetelésével és a nyílászárók cseréjével mekkora megtakarítás érhető el az épület által elfogyasztott hőmennyiségből:

Kiskunfélegyházán a 2008/09-es év fűtési időszakát követően panelkorszerűtési programot végeztek el, az érintett két társasház korszerűsítés előtti és utáni hőfogyasztását az alábbi diagramon láthatjuk:



A 2008/09-évi fűtési időszak átlaghőmérséklete: 5,20 °C, míg a 2010/11-évi 5,21 °C, ha hozzávesszük még azt a tényt is, hogy a teljes fűtési időszakra eső összes kiskunfélegyházi hőfelhasználás 2008/09-ben 37566,4 GJ, míg 2010/11-ben 37327,9 GJ, megállapítható, hogy a két időszak által lefedett téli szezon (legalábbis fűtési szempontból) szinte tökéletesen azonosnak tekinthető (az eltérés 0,64%), így a jelentős mértékű (49% ill. 42%) **hő megtakarítás** teljes egészében az épület hőfizikai jellemzőinek a javulásának köszönhető.

Fenti táblázatból látható, hogy a fűtési időszak átlagos hőmérséklete jelentősen befolyásolja a fűtési célú távhőfelhasználást, a használati melegvíz felhasználásának csökkenő tendenciája szociális tényezőkre vezethető vissza, az egyre dráguló energiaárak²⁷ miatt a lakosság egyre takarékosabban használja a vizet.

²⁶ A változás legfőbb oka, hogy egyes fogyasztóknál a számlahátralék felhalmozódása vagy egyéb ok miatt a távhőszolgáltatás felfüggesztésre kerül.

²⁷ A disszertációban a lakossági díjak mesterséges eltorzításának (az ún. rezsicsökkentés) hatását nem vesszük figyelembe, mivel az a gazdasági folyamatokba való ésszerűtlen, hosszú távon fenntarthatatlan és kontraproduktív beavatkozás.

Megvizsgáljuk, hogy a távhőfogyasztók hőigénye kielégíthető-e primer energiahordozó nélkül megfelelő gazdasági keretek között, majd megvizsgáljuk, hogy a modell kiterjeszthető-e a város többi, nem távhővel ellátott fogyasztójára is.²⁸

Dunaújvárosban – a szolgáltatótól és a Magyar Energetikai és Közmű- Szabályozási Hivataltól kapott adatok alapján – a távhőrendszer hálózati vesztesége éves szinten 12,53%. A DVCSH táblázat legkedvezőtlenebb évét (2011) kiválasztva az éves fogyasztói hőigény 738 824 GJ, a hálózati veszteséget is figyelembe véve a korrigált mennyiség 844 660 GJ. Évente tehát ennyi hőenergiát kell előállítani – természetesen az egyes hőelőállítási eljárások hatásfokát is figyelembe véve – a fogyasztók üzembiztos ellátására.

3.3. A hőelőállítási források prioritása:

A távfűtéshez szükséges hő előállítása, mint azt a fentiekben láthattuk, több forrásból is történhet. Az egyes források nem azonos mennyiségben, minőségben állnak rendelkezésre, illetve a hő előállításának gazdasági, környezetvédelmi és társadalmi szerepe más és más, így célszerű az egyes források felhasználásának prioritási sorrendjét meghatározni.

Mivel a távhő előállításától függetlenül is keletkezik a településen kommunális hulladék és szennyvíz, melyek megfelelő ártalmatlanításáról és elhelyezéséről gondoskodni kell²⁹, így ezek energetikai hasznosítása rendkívül előnyösnek tűnik, hiszen optimális esetben az ártalmatlanítási és az energetikai célú hasznosítási folyamat egymást átfedi. Fentiek miatt a távfűtési célú hő előállítása során az ilyen technológiák prioritást élveznek. Az e módon előállított hőt Q_1^{helyi} néven fogjuk elnevezni, ebbe tartozik a szennyvízből és a települési hulladékból nyerhető hő, azaz ($Q_1^{helyi} = Q_1^{szennyvíz} + Q_1^{hulladék}$). Fontosnak tartom megjegyezni, hogy amely településen távhőigény merül fel, ott hulladék és szennyvíz is keletkezik, tehát az energiahordozók ezen köre minden esetben rendelkezésre áll.

Elsőbbséget élveznek továbbá az egyéb, település specifikus technológia hőforrások is, hiszen ezekben is hő keletkezik, melynek elsődleges célja nem a távfűtés, hanem jellemzően az ipari folyamatok (acélgégyártás, műanyaggyártás, sörfőzde, stb.) kiszolgálása. Ezeket a továbbiakban Q_2^{helyi} -vel jelöljük. A technológia felhasználású hő azonban sok esetben még tartalmaz annyi energiát, ami a távfűtésben felhasználható. Erre láthatunk példát Dunaújvárosban (kohászat, azaz a vasmű sínhűtése), Ajkán (kohászat) vagy Balatonfűzfőn (vegyipari folyamatok). A technológiai hő (melyet többnyire hulladékhőnek³⁰ neveznek) azonban kétélű fegyver, mert a távhő ellátás ez esetben az ipari üzemtől függ, annak megszűnése akár a távhőellátás megszűnéséhez is vezethet

²⁸ Ezen feltevés jelen körülmények között erősen teoretikus, hiszen a nem távfűtött lakások egy jelentős hányada nem köthető be a meglévő távhőrendszerbe reális gazdasági keretek között, azonban a jövőbeli városrendezési tervek és építési előírások figyelembe vehetik ennek lehetőségét.

²⁹ 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról *illetve* 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról

³⁰ A hulladékhőt általában csak a hő vásárlója tekinti annak, a hő értékesítője azonban teljes árat lát méltányosnak, rendkívül szemléletes példa erre a dunaújvárosi erőművek körül kialakult több éves vita [43, 44]

[42]. Ugyenezen kategóriába tartozónak tekintjük továbbá a gázmotorral (vagy egyéb módon) kapcsolt energiatermelés keretében előállított hőt is, hiszen a gázmotor telepítésénél a villamos energia termelés is cél volt, a motor nem kizárólag távhő termelési céllal lett telepítve.

Amennyiben a fenti hőforrásokat már kiaknáztuk, akkor kerülhet sor a megújuló energiaforrások alkalmazására ($Q_3^{helyi} = Q_3^{erdészeti} + Q_3^{megújuló}$) a helyi adottságokat figyelembe véve, és csak az ezen energiaforrások felhasználása után fennmaradó hőigényt kell primer energiahordozó (földgáz, kőolaj, pakura, szén, stb). eltüzelésével biztosítani (Q_4^{helyi})

Így tehát a korábban felírt (9/c) egyenlet felírható a korábbi, előállítási technológiákat tartalmazó tagok helyett a most bevezetett, már prioritási sorrendet jelölő tagokkal, azaz

$$Q_{rend.alló} = Q_{erd.} + Q_{hull.} + Q_{szv.} + Q_{megúj.} + Q_{techn.} + Q_{prim.} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (9/d)$$

Ezek után egy adott településen meghatározható az egyes prioritási kategóriákba eső hőmennyiségek értéke, melyből későbbiekben bevezetendő modell alkotható meg. Dunaújvárosban ezen hőmennyiségek megtermelőit a következőkben mutatom be:

3.3.1. A szemétszállító cég bemutatása:

Dunaújváros közigazgatási területén a kommunális hulladék begyűjtését és elhelyezését a Dunanett Kft. végzi, melynek többségi tulajdonosa (50,4%) a helyi önkormányzat (a tulajdonosi jogokat a 100%-ban önkormányzati tulajdonú Dunaújvárosi Vagyonkezelő (DVG) Zrt. gyakorolja), míg a fennmaradó kisebbségi tulajdonrész a Becker-Pannónia Kft, mint szakmai befektető birtokolja. A Dunanett Kft működését a 2013. évi XXII. törvény a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatalról előírásai alapján a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) felügyeli.

A hulladékok deponálása a Vertikál Zrt adonyi (Dunaújvárostól 21,5 km-re(!)), illetve a sárbogárdi (Dunaújvárostól 31 km-re(!)) lerakóban történik, látható tehát, hogy a hulladék deponálása nem a városban vagy közelében történik, hanem jóval távolabb, mely jelentős szállítási költséget és az ezzel járó környezetszennyezést okoz.

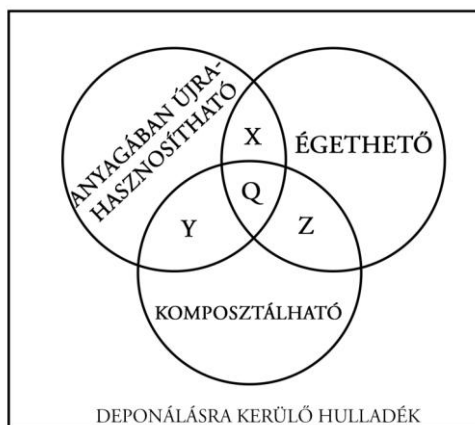
Hőtermelés lehetősége:

Mint azt már a 2.4.2. fejezetben bemutattam, a kommunális hulladékból két módszerrel állíthatunk elő hőt:

- i. a szemet közvetlen elégetésével és/vagy
- ii. a szemből fejlődő gáz elégetésével

Mivel a kommunális hulladék alkotóelemei közül a fenti két eljárás alapanyagai átfedést mutathatnak (azaz ugyanazon összetevő közvetlen égetéssel is hővé alakítható vagy a bomlása

során keletkező gáz égethető el) így a hulladék átválogatását ezen szempontok szerint is optimalizálni kell. Fontos megjegyezni, hogy amennyiben egy településen hulladékégetésre kerül sor, akkor a hulladéklerakóban a gáz képződéséhez szükséges alapanyag utánpótlása megszűnik és a gázfejlődés a már benn lévő hulladékok lebomlási életciklusát követően leáll. *A szemétegetés és a hulladéktelepen keletkező gázok hasznosítása tehát adott átmeneti időt követően egymást kizáró technológiák.*



32. ábra
A kommunális szemét összetétele

A kommunális hulladék optimalizált szétválogatásához ismerni kell a hulladék összetételét, annak területi és időbeli eloszlását, valamint azokat a jogszabályi, műszaki, pénzügyi és környezetvédelmi szempontokat, amik hatással lehetnek a válogatási módszertan meghatározására. *Tisztán energetikai szempontokat figyelembe véve* a válogatás abból áll, hogy a 32. ábra szerinti felosztás alapján az **Égethető** és a **Komposztálható** frakciót külön választjuk (beleértve az X és Y tartományt is) és a komposztálható frakcióból biogázt, míg az égethető frakcióból égetéssel hőt állítunk elő a későbbiekben részletezett módon. Természetesen a tisztán energetikai célú megközelítés több akadályba is ütközhet (jogszabályi előírás, technológiai korlát, stb.), így a fenti hulladékválogatási optimalizációs módszer további finomításra szorul.

A 33. ábrán az **Anyagában újrahasznosítható** frakció nem szükségképpen energetikai célú újrahasznosítást jelent, hiszen a szelektíven gyűjtött hulladék egy része energetikai célú felhasználásra alkalmatlan (például: fémhulladék, üveg), míg más része bár alkalmas hő előállítására, de azt jogszabályi, pénzügyi vagy környezetvédelmi (esetleg egyszerre több is) megfontolások nem teszik lehetővé. Például az Európai Unió irányelvei szerint a kommunális hulladék 50%-át szelektíven kell gyűjteni, és az így begyűjtött hulladékot újra is kell hasznosítani. Tehát hiába lenne energetikailag megfelelő a szelektíven begyűjtött hulladék egyes frakcióinak (például: papír, műanyag, étolaj) elégetése, ha ezen szempontokat a jogszabályi és/vagy pénzügyi környezet felülírja. Annak megítélése, hogy a jogszabályokban előírt újrahasznosítás valóban a legkisebb környezeti károkat okozza-e, már ezen disszertáció keretein kívül esik, a gazdaságossági vizsgálatra azonban később kitérek.

Dunaújvárosban a kommunális hulladék mennyisége és összetétele – a szolgáltatótól kapott adatok alapján - az alábbi:

	2010	2011	2012
Begyűjtött kommunális hulladék [tonna]	11 950	11 449	10 799
Elkülönítetten gyűjtött hulladék (szelektív) [tonna]	659,9	513,2	403,3
Fogyasztók száma [fő]	47761	47812	48027
Egy főre jutó kommunális hulladék [tonna/fő]	0,26	0,25	0,23

8. táblázat

Forrás: [45,46,47] (Éves jelentések)

A hulladék összetételét a hulladékszállító cég rendszeresen – eseti kézi válogatással – ellenőrzi, a hulladék jellegzetes összetétele az alábbi táblázatban látható:

Összetevő megnevezése	Dunaújváros, lakótelep, %	Baracs, kertés házas övezet, %	22 EU ország átlaga [48a], %
Szerves (zöld) hulladék	29,3	38,4	32,4
Papír	19,2	5,3	25,2
Fém	4,3	3,6	4,7
Műanyag	27,7	24,9	7,5
Üveg	1,2	2,6	6,2
Egyéb (lásd 10. tábl.)	18,3	25,2	24
Összesen	100	100	100

9. táblázat

A kommunális hulladék összetétele

Dunaújváros és Baracs esetében a fentnél részletesebb adatok is rendelkezésre állnak, azonban az EU-s átlaggal történő összehasonlítás miatt az adatokat hasonló kategóriákba soroltam. A részletesebb bontás, azaz a 9. táblázat Egyéb sora:

Összetevő megnevezése	Dunaújváros, lakótelep	Baracs, kertés házas övezet
Higiéniai	5,6	3,3
Éghető (fa, papír)	0,3	0,0
Éghetetlen	0,5	10,1
Veszélyes	2,6	0,6
Finom	4,7	8,3
Kompozit (pl. italoskarton)	2,0	2,4
Textil	2,6	0,5
Összesen	18,3	25,2

10. táblázat

Az előző táblázat Egyéb kategóriája részletesebben

A fenti két táblázatból az alábbi megállapítások vonhatók le:

- i. A hulladék összetétele jelentősen függ attól, hogy milyen lakókörnyezetben keletkezik. Látható, hogy a kertés házaspárban lényegesen több biológiai hulladék keletkezik, melynek oka a ház körül keletkező, de égetésre nem alkalmas kertészeti hulladék mennyiségében kereshető. Látható továbbá, hogy a kertés házaspárban az égethető hulladéktípusok (papír, textil, fa, stb.) csak töredéke a városi övezetből gyűjtött hulladéknak, hiszen a családi házaspár fogyasztóknál a ház adottságai (a tüzelőanyag tárolására szolgáló helyek, vegyes tüzelésű kályha, stb.) és a más szociális berendezkedés (pl. otthon végzett munka) kedvezőbb lehetőséget biztosítanak a hulladék elégetésére, így a **családi házaspárban a hulladék egy része már ténylegesen energetikai célra hasznosul**. Ezen energetikai hasznosítás során felmerülhetnek morális és jogi aggályok, azonban azok jelen értekezés tárgykörén kívül esnek.
- ii. A Magyarországon gyűjtött hulladék összetétele nem tér el jelentősen az EU más tagállamaiban gyűjtött hulladék összetételétől (az egyetlen jelentős eltérés a műanyag vonatkozásában van, feltételezhető, hogy a statisztikában szereplő helyeken a szelektív hulladékgyűjtés nagyobb szerepet kap, mint hazánkban), így a hulladékkezelési és személtisztítási technológiák hasonló jellegűek így relatíve egyszerűen adaptálhatók.

A szelektíven gyűjtött hulladék mennyisége és megoszlása a 11. táblázatban látható:

Összetevő megnevezése	Megoszlás [%]	Tömeg [kg]
Vegyes papír	23,8	89 881
Hullámpapír	4,2	15 861
Üveg	40,4	152 572
Műanyag, PP	1,7	6 420
Műanyag, PE	2,7	10 197
Műanyag, pet	23,7	89 504
Kompozit (tetrapack)	1,6	6 042
Fém, vas	1,3	4 909
Fém, alumínium	0,6	2 266
Összesen	100,0	377 653

11. táblázat

Elkülönítetten gyűjtött (szelektív) hulladék összetevői Dunaújvárosban (2013.év)

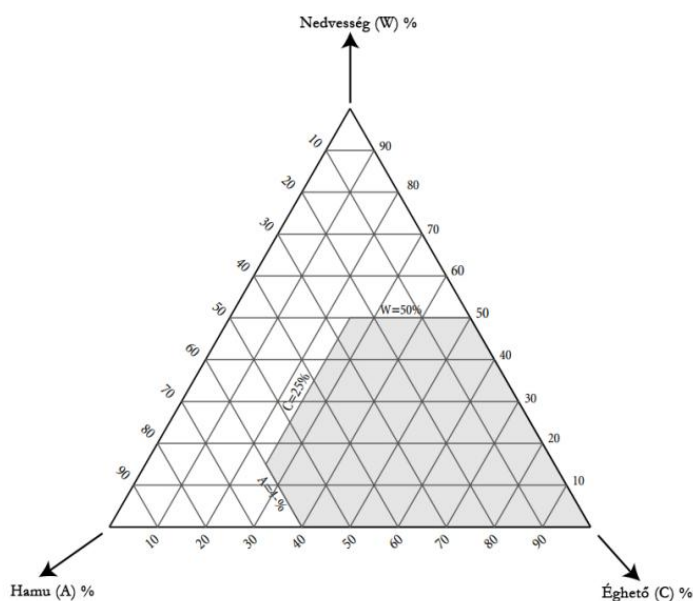
Az energetikai célú hasznosításból származó hőmennyiség meghatározásához szükségünk van még a hulladék fűtőértékére, melynek meghatározása – mivel a kommunális hulladék inhomogén és változó összetételű – bonyolult feladat.

A fűtőérték meghatározásának két praktikus módja az alábbi:

A. Próbaégetést végzünk és meghatározzuk a következő három paramétert:

1. *Hamutartalom* (ash content, **A**): a hulladék tökéletes elégetését követően hány tömegszázalék hamu marad
2. *Éghető frakció* (combustile fraction, **C**): a száraz minta éghető részének meghatározása
3. *Nedvességtartalom* (moisture, **W**): a nyers hulladék nedvességtartalma.

A három fenti paraméter (A,C,W) meghatározását követően a fűtőérték az irodalomban meghatározott módon számítható és az eredményeket egy háromtengelyes diagramon ábrázolhatjuk (Tanner diagram):



33. ábra
Az égethetőség elvi korlátai

A hozzáadott tüzelőanyag nélküli szemétegetés elvi korlátait az 50% alatti nedvességtartalom ($W < 50\%$), a 60% alatti hamutartalom ($A < 60\%$) és a 25% fölötti éghető frakció ($C > 25\%$) által meghatározott egyenesek határolta tartomány jelöli ki (33. ábra szürke területe).

B. Hulladék kategóriánkénti fűtőérték meghatározás

Ebben az esetben a hulladékot szétválogatjuk és jellegzetes kategóriákba soroljuk (papír, biológiai, műanyag, stb.) és az előző A pontban tárgyalt három jellemzőt (A,C,W) külön-külön kategóriánként határozzuk meg és a hulladék fűtőértékét az egyes kategóriákra számított fűtőértékek súlyozott átlagaként határozzuk meg. Ezen módszer egyik előnye, hogy az A pontban részletezettnél pontosabb eredményt ad, másik előnye pedig az, hogy az irodalomban (pl: [48a], 13. oldal)) az egyes kategóriákra meghatározott fűtőértékek rendelkezésre állnak.

Az egyes összetevők fűtőértékeit az alábbi táblázatban foglaltam össze (H_{awf} : a felső fűtőérték hamutartalomra és kondenzációra korrigált értéke, H_{inf} : alsó fűtőérték³¹.)

Összetevő megnevezése	H_{awf} [MJ/kg]	H_{inf} [MJ/kg]
Biológia	17,00	1,91
Műanyag	33,00	20,14
Textil	20,00	11,79
Papír	16,00	6,44
Bőr és gumi	23,00	14,27
Fa	17,00	9,31
Fémek	0	-147 (!)
Üveg	0	-73 (!)
Inert	0	-245 (!)
Finom hull.	15,00	2,58

12. táblázat
A kommunális hulladék alkotóelemeinek fűtőértéke

A táblázatból megállapítható, hogy a szemét égetés előtti átválogatása mindenképpen szükséges, mivel az üveg és fém égetése egyrészt rontja az energiamérleget, másrészt ésszerűtlen, hiszen mind az üveg, mind a fém újrahasznosítható és értékesíthető. Látható az is, hogy a hulladék legmagasabb fűtőértékű összetevője a műanyag, így az energetikai és környezetvédelmi cél itt (is) egymással összeütközésbe kerül, a válogatás mellett vagy ellenében gazdasági megfontolások dönthetnek.³² Az égetés – a környezetbe kerülő káros anyagok miatt – csak korlátozott körülmények (pl. krízishelyzetben) esetén indokolható

³¹ Fűtőérték: adott mennyiségű éghető anyag eltüzelésekor felszabaduló hőmennyiség, ha az égéskor keletkezett vízgőz kondenzációs hője is benne foglaltatik, akkor felső fűtőértékről beszélünk, ha nem, akkor alsó fűtőértékről.

³² Az egyes hulladékok átvételi árait a 4. számú Függelék tartalmazza.

Miután a Dunaújvárosban és környékén begyűjtött hulladék mennyisége, összetétele és az egyes összetevők fűtőértéke ismert, így a teljes hulladékra vonatkozó fűtőérték súlyozott átlaga meghatározható.

A biztonságra való törekedés jegyében a számításhoz a legkedvezőtlenebb év, 2012 adatait vesszük figyelembe, mivel a vizsgáltak közül ebben az évben volt a hulladék mennyisége a minimális, 10 799 tonna. Ekkor tehát, figyelembe véve a hulladék mennyiségét és eloszlási jellemzőit tartalmazó 11. táblázatot, valamint az egyes összetevők fűtőértékét (12. táblázat), az egy év alatt begyűjtött hulladékból égetéssel kinyerhető elméleti hőmennyiség az alábbi:

$$Q_{hulladék} = \sum_{i=1}^n (m_i \cdot H_{inf,i}) \quad (10)$$

ahol, m_i =az egyes összetevők tömege, $H_{inf,i}$ = az egyes összetevők alsó fűtőértéke és a $H_{inf,i} > 0$ feltétel teljesül.

A számításokat elvégezve a $Q_{hulladék} = 87\,981$ GJ érték adódik. Ezt a hőmennyiséget egy $\eta_{hull} = 0,85$ hatásfokú hulladékégető berendezésben előállítva a ténylegesen hasznosítható hő értéke 74 784 GJ-ra adódik.

Fenti számítás a szelektíven begyűjtött hulladékot nem tartalmazza, ha azonban megvizsgáljuk azt a jelenleg csak elméleti elgondolást is, hogy a szelektíven begyűjtött hulladék égethető frakcióját is hőtermelésre használjuk fel, akkor további $Q_{szelektív} = 3505$ GJ-nyi hőmennyiség áll rendelkezésünkre. Mivel ez a hő a nem szelektíven gyűjtött hulladékból kinyerhető hőnek csak kb. 4%-a, így a továbbiakban ettől eltekintünk és az energetikai számításokban nem vesszük figyelembe.

3.3.2. A szennyvíztisztító bemutatása:

Dunaújvárosban a szennyvíztisztítást A Dunaújvárosi Szennyvíztisztító Kft végzi (tulajdonosa: Dunaújváros Megyei Jogú Város Önkormányzata). A technológia egy előzetes mechanikai szűrést követően csatornamedencés totáloxidációs tisztítási módszer, biológiai foszfor eltávolítás nélkül és iszapoldali víztelenítéssel. A tisztított szennyvíz a Duna 1577-es folyamkilométerénél sodorvonalai bevezetéssel kerül ki a telephelyről, az előzetes mechanikai szűrésből keletkező rácshulladék és a keletkező szennyvíziszap a dunaújvárosi kommunális hulladéktárolóba kerül.

A szennyvíztisztítóba beérkező szennyvíz mennyisége és minősége – a szolgáltatótól kapott adatok alapján – az alábbi:

Éves beérkező szennyvíz:	3 175 500 m ³	
Beérkező szennyvíz napi átlaga:	8 700 m ³ /nap	
Lakos szám:	47.920 fő	
Egy lakosra jutó szennyvíz:	66,26 m ³ /fő/év	
Keletkező fölös iszap, év:	1773,9 t sz.a. ³³	
	Beérkező koncentráció [mg/l]:	Kimenő koncentráció ³⁴ [mg/l]:
BOI ₅ ³⁵	395,2	11,1
KOI ₅ ³⁶	822,9	25,0
NH ₃ -NH ₄ /N	70,3	4,9
P	11,3	1,0
összes lebegő	249	13,3

13. táblázat
Szennyvíztisztító alapadatai

A szennyvízben lévő energiatartalom kiaknázása kétféle módon történhet:

- i. a szennyvíz szerves anyag tartalmának felhasználásával
 - a. a keletkező iszap közvetlen eltüzelésével, és/vagy
 - b. a keletkező iszap elrohasztásával keletkező gázok elégetésével
- ii. a szennyvíz hőtartalmának hasznosításával

³³ A keletkező fölös iszap szárazanyagtartalma 18-20%.

³⁴ A határértékeket a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól rendelet tartalmazza, eszerint: BOI₅ = 25 mg/l, KOI₅ = 125 mg/l, NH₃-NH₄/N: 10 mg/l, P összes = 2 mg/l

³⁵ BOI₅: A biológiai (biokémiai) oxigénigény (BOI₅) a víz biológiai úton (5 nap alatt) lebontható szerves anyag tartalmát fejezi ki.

³⁶ KOI₅: A kémiai oxigénigény a szennyvízben lévő, erős oxidálószerrel oxidálható oldott és szuszpendált szervesanyag térfogategységenkénti - szabvány által előírt körülmények közt meghatározott - oxigénigénye (oxigénfogyasztás g/m³-ben).

3.3.2.1. A keletkező iszap közvetlen energetikai hasznosítása

Az iszap égetésére akkor kerül sor, ha:

1. *Toxikus vagy egyéb összetevője miatt más hasznosítás kizárt*
2. *A mezőgazdaság nem tudja fogadni és/vagy takaróréteggént nincs rá szükség*
3. *Az energetikai hasznosítás rothasztással vagy anélkül történik*

A szennyvíztisztítás során keletkező és a folyamatból elvett ún. fölös iszapnak az energetikai hasznosítás előtt – hogy az önfenntartó égés fizikai paramétereit biztosítani lehessen - előkezelésen kell átesnie. Az előkezelés során az alábbi feltételeknek megfelelő szennyvíziszapot kell végeredményként kapni [48b]:

nedvességtartalom < 50%

hamutartalom < 60%

szerves anyag tartalom < 25%

Sajnos ezek az értékek csak jelentős többletenergia és többletköltséggel érhetőek el, így az energetikai célú hasznosításkor célszerű az iszapot a települési hulladékhoz keverve elégetni.

A szennyvíztisztítás során keletkező egyes iszapfajták fűtőértékeit a 14. táblázat tartalmazza [49]:

Iszapfajta	Fűtőérték, szárazanyagra von. [MJ/kg]
Nyersiszap	25,5
Fölös eleven iszap	20,9
Rothasztott nyersiszap	11,6
Rothasztott kevert iszap:	13,4

*14. táblázat
Egyes iszapfajták fűtőértéke*

A táblázatból megállapítható, hogy a rothasztást követően az iszap fűtőértéke csak fele a nyersiszapénak, ami a kinyert biogázzal távozó energiatartalommal függ össze.

A dunaújvárosi szennyvízből keletkező fölös eleven iszap égetésével kinyerhető hő elméleti értéke az alábbi módon számolható:

$$Q_{\text{szennyvíziszap}} = m_{\text{iszap}} \cdot H_{\text{iszap}} \quad (11)$$

ahol, a m_{iszap} az évente keletkező iszap mennyisége [kg], H_{iszap} : az iszap fűtőértéke [MJ/kg], a fenti táblázat alapján.

Az iszap égetésével évente kinyerhető hő mennyisége tehát:

$$Q_{\text{szennyvíziszap}} = m_{\text{iszap}} \cdot H_{\text{iszap}} = 1\,773\,900 \text{ kg} \cdot 20,9 \text{ MJ/kg} = 37\,075 \text{ GJ}$$

Ezt a hőmennyiséget az előző fejezetben szereplő $\eta_{\text{hull}} = 0,85$ hatásfokú hulladékégető berendezésben (az iszapot a hulladékhoz keverve égetve) előállítva a ténylegesen hasznosítható hő értéke 31 514 GJ-ra adódik.

Az iszapégetés előnyei:

- toxikus és/vagy fertőző hatás megszűnik → ez esetben a hamu mezőgazdaságban hasznosítható
- jelentős (80-90%) térfogatcsökkenés → deponálási költségek csökkenése
- jelentős (40-50%) tömegcsökkenés → szállítási költségek csökkenése
- **hőenergia keletkezik, mely hasznosítható**

Az iszapégetés hátrányai:

- légszennyezés
- mezőgazdasági hasznosítás nem vagy csak korlátozottan lehetséges (hamu)

3.3.2.2. A keletkező iszap elrothasztásával keletkező gázok hasznosítása (biogáz előállítás)

Ebben az esetben a szennyvíztisztítás során keletkező iszap a rothasztóba kerül, ahol az iszap szerves anyag tartalma anaerob (azaz oxigén jelenléte nélkül) rothasztás során metánná (CH_4), azaz biogázzá és szén-dioxiddá (CO_2) alakul át. A keletkező biogáz mennyiségének becslése legegyszerűbben a kémiai oxigénigény (KOI) változásával történhet. Mivel a KOI az anaerob rothasztásnál állandó mennyiség, így a rothasztóba érkező KOI értéke megegyezik a rothasztóból távozó KOI értékével (lévén, hogy nem történik oxidáció), azaz a rendszerbe érkező szerves anyagból eltávolított KOI szükségképpen egyenlő a vizes fázissal távozó KOI (KOI_{ki}) és a keletkező biogáz KOI egyenértékének ($\text{KOI}_{\text{biogáz}}$) az összegével.

$$\text{KOI}_{\text{be}} = \text{KOI}_{\text{ki}} + \text{KOI}_{\text{biogáz}} \rightarrow \text{KOI}_{\text{biogáz}} = \text{KOI}_{\text{be}} - \text{KOI}_{\text{ki}} \quad (12)$$

Mivel a CO₂ KOI értéke nulla, így a KOI_{biogáz} értéke csakis a metánra (CH₄) vonatkozik. Mivel a KOI mérése mind a belépő (KOI_{be}), mint pedig a kilépő ponton (KOI_{ki}) megtörténik – hiszen ezen paraméterre jogszabály ír elő határértéket – a keletkező biogáz mennyisége viszonylag egyszerűen számolható. A számítás menetének részletezésétől eltekintve a keletkező metán mennyisége az alábbi gyakorlati összefüggéssel határozható meg [50]:

$$V_{CH_4} = 0,35 \cdot (KOI_{be} - KOI_{ki}) \cdot Q \quad (13)$$

ahol, V_{CH_4} = a keletkező metán mennyisége [Nm³], Q = a betáplálás térfogatárama [m³/nap], KOI_{be} = belépő kémiai oxigénigény [kg/m³](!), (KOI_{ki}) = kilépő kémiai oxigénigény [kg/m³](!), a 0,35-ös együttható azt fejezi ki, hogy a szerves anyag csak egy hányada bomlik el anaerob körülmények között, a (13) összefüggést a fenti mértékegységek esetében [Nm³/nap] dimenziójú végeredményt szolgáltat.

A dunaújvárosi adatokat felhasználva a (13) összefüggésben az alábbi érték adódik:

$$V_{CH_4} = 0,35 \cdot (KOI_{be} - KOI_{ki}) \cdot Q = 0,35 \cdot (0,8229 - 0,025) \cdot 3\,175\,500 = 886\,806 \text{ Nm}^3$$

Mivel a metán fűtőértéke $H_{\text{metán}} = 32,7 \text{ MJ/m}^3$ (lásd 3. számú Függelék), így a keletkező biogáz hőtartalma: 28 999 GJ.

Az így keletkező biogáz többféleképpen hasznosítható, célszerű azonban – különösen mivel a lehetőségek közel teljesen adottak – azt gázmotorban kapcsolt hő és energiatermelésre felhasználni. A dunaújvárosi távhőrendszerben használt motorok (lásd a 48. oldalon) a gyártó GE Jenbachertől kapott információk alapján csak átalakítással képesek teljes egészében szennyvíziszapból keletkezett biogázok elégetésére, a vezetékes földgázba bekevert biogázzal a motorok azonban üzemeltethetők. A keletkező biogáz volumene egyébként sem indokolja külön gázmotor vagy egyéb berendezés létesítését. Racionális megoldásnak tűnik a keletkezett biogázzal a szennyvíztisztító telep saját hőellátásának (technológia és szociális) megoldása. Jelenleg a dunaújvárosi szennyvíztisztító telep a fűtését kazánokkal oldja meg, tartályos gázzal (propán-bután) az éves gázfelhasználása 3000 kg, azaz kb.138 GJ, melynek költsége jelen árakkal évi 1.340.000 forint.

Az iszapprohasztás előnyei:

- toxikus és/vagy fertőző hatás megszűnik → mezőgazdasági hasznosítás
- jelentős (55%) térfogatcsökkenés → deponálási költségek csökkenése
- jelentős tömegcsökkenés → szállítási költségek csökkenése
- **hőenergia keletkezik, mely hasznosítható**

Az iszapprohasztás hátrányai:

- kellemetlen szaghatás
- a beruházás költséges

Fontos megemlíteni, hogy a szerves anyagok lebomlása és biogázzá alakulása a szemétkomposztálóban is megvalósulna (és amennyiben a depózát a 2. fejezetben leírtaknak megfelelően összegyűjtenénk, akkor energetikailag hasznosulna és ártalmatlanná válna), azonban a rothasztóban ez a folyamat gyorsabb, kontrolláltabb a szállítási és deponálási költségek alacsonyabbak, valamint esetenként (pl. Dunaújvárosban) a keletkező biogáz a belőle előállított hő felhasználási helyéhez közelebb van. Mindezeket túl, várható, hogy a jogi szabályozás a későbbiekben a szennyvíziszap deponálását nem fogja megengedni.

3.3.2.3. *A szennyvíz hőtartalmának hasznosítása*

A telephelyre beérkező szennyvíz hőtartalmának kinyerése történhet:

a, nyers szennyvízből (a kezelési ciklus elején)

b, a tisztított szennyvízből (a kezelési ciklus végén)

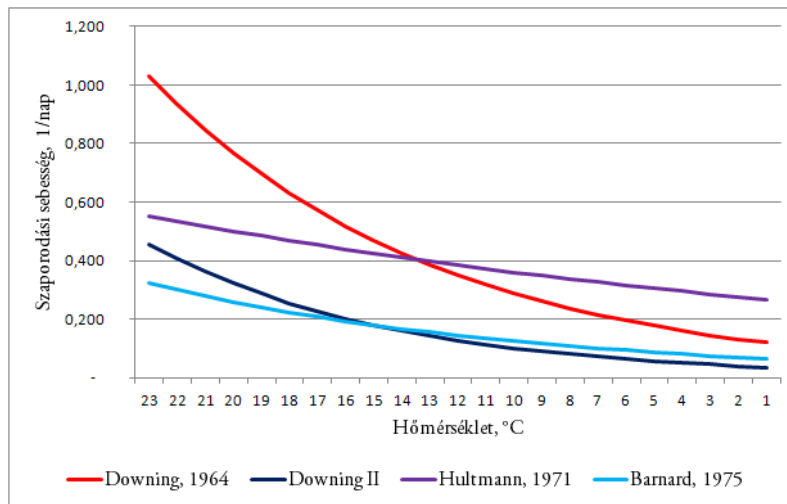
c, a szennyvíziszapból (szintén a kezelési ciklus végén)

Ebben az esetben célunk az, hogy a szennyvíz hőtartalmát a lehető legnagyobb mértékben kinyerjük. Ez a hőtartalom folyamat kezdő és végső hőmérséklete közötti különbséggel arányos és mivel a kezdő hőmérséklet mindenkor adott, így csak a végső hőmérséklet változtatható. Ez a végső hőfok azonban korlátokba ütközik az alábbiak miatt: A szennyvíztisztítás folyamán a biológia szerves anyagokkal bekerülő ammóniavegyületek nitráttá történő oxidációjában (nitrifikációban) részt vevő *Nitrosomonas* és *Nitrobacter* baktériumtörzsek szaporodási sebességét Downing és társai határozták meg 1964-ben [51a], azóta több szerző (Hultmann (1971), Barnard (1975), Painter (1983), stb.) is hasonló eredményre jutott [51b], az eltérés az összefüggés konstansaiban jelentkezik (34. ábra).

A Downingék által meghatározott összefüggés az alábbi alakban írható fel:

$$\mu_{max} = 0,47 \cdot e^{0,098 \cdot (T-15)} \quad (14)$$

Látható tehát, hogy a baktériumok növekedése, és így a nitrifikáció hatásfoka és ideje a hőmérséklet csökkenésével exponenciálisan csökken.



34. ábra
A nitrifikáló baktériumok szaporodási sebessége a hőmérséklet függvényében

Mivel a szennyvíztisztítás biológia szakasza érzékeny a hőfokváltozásra, így a kezeletlen szennyvíz hőfokát csak korlátozott mértékben - 0,5 K - [52] szabad csökkenteni, míg a kezelt víz hőfoka akár 8K-nel is csökkenthető. Ha a kezelést követően az iszap rothasztóba kerül, akkor ez újabb érv a tisztítási szakasz elején alkalmazott hőszivattyú ellen, hiszen a rothasztáshoz hőt kell közölnünk az iszappal, annak hőmérsékletét csökkenteni tehát ésszerűtlen. Szintén a kezelés előtti hőkinyerés ellen szól az az érv is, hogy a kezelés után a szennyvíz hőmérséklete – a tartózkodási idők miatt – egyenletesebb. Ha ehhez még hozzávesszük, hogy a hőszivattyúnak és berendezéseinek sokkal kedvezőbb, ha nem a szennyezett környezetben működnek, hanem tisztított vízben, könnyen belátható, hogy a hő kinyerésére a tisztítás után kell sort keríteni. A tisztított szennyvíz tömegárama kevesebb, mint a beérkező tömegáram, hiszen a kezelés során keletkező iszapot és gázokat nem tartalmazza.

Az elméletileg kinyerhető hő mennyisége:

$$\text{nyers szennyvízből: } Q_{\text{hőszivattyú}}^{\text{ny}} = c_{\text{ny}} \cdot m_{\text{ny}} \cdot \Delta T_{\text{ny}} \quad (15)$$

$$\text{tisztított szennyvízből: } Q_{\text{hőszivattyú}}^{\text{tiszt.}} = c_t \cdot m_t \cdot \Delta T_t \quad (16)$$

ahol, a ny index a nyersvízre, a t index a tisztított vízre vonatkozik, c a víz fajhője [kJ/kgK], m a víz tömege [kg] és $m_t = m_{\text{ny}} - m_{\text{iszap}} - m_{\text{gázok}}$.

A 13.táblázat adatait felhasználva, valamint kezelés során keletkező gázok tömegét ($m_{\text{gázok}} = 0$) nagyságrendjük miatt elhanyagolva, a nyers szennyvíz sűrűségét átlagosan 1030kg/m³ értékkel figyelembe véve és a szennyvízre és tisztított vízre ugyanazon fajhőt feltételezve ($c_{\text{ny}} = c_t = 4,2$ kJ/kgK) (15)-re és (16) –ra az alábbi értékek adódnak:

$$Q_{h\ddot{o}szivatty\acute{u}}^{ny, elm} = c_{ny} \cdot m_{ny} \cdot \Delta T_{ny} = 4,2 \cdot 3\,270\,765/1030 \cdot 0,5 = 6\,669 \text{ GJ, illetve}$$

$$Q_{h\ddot{o}szivatty\acute{u}}^{tiszt, elm} = c_t \cdot m_t \cdot \Delta T_t = 4,2 \cdot 3\,175\,500/1000 \cdot 8 = 106\,697 \text{ GJ}$$

Természetesen ezen h\ddot{o}mennyis\ddot{e}g csak elm\ddot{e}leti \ddot{e}rt\ddot{e}k, c\ddot{e}lunk az, hogy ebb\ddot{o}l a lehet\ddot{o} legtöbbet hasznosítani tudjuk. A gyakorlati alkalmazás során ez az elm\ddot{e}leti \ddot{e}rt\ddot{e}k csak megközelíthet\ddot{o}, a ténylegesen kinyert h\ddot{o} mennyisége a h\ddot{o}szivattyú típusától, kialakításától és legf\ddot{o}képpen a kiinduló és végeredményül elért h\ddot{o}foklépcsőt\ddot{o}l is függ, az elm\ddot{e}letileg és a ténylegesen kinyerhet\ddot{o} h\ddot{o}mennyiség aránya a γ nevű ún. j\ddot{o}sági tényez\ddot{o}, melyet az adott energetikai problémához és adott h\ddot{o}szivattyúhoz a gyártói adatokból határozhatunk meg. A dunaújvárosi szennyvíztelep adatait felhasználva a bemen\ddot{o} oldali $14^{\circ}\text{C} \rightarrow 8^{\circ}\text{C}$ (azaz 6K) h\ddot{o}lépcs\ddot{o}vel, illetve a távh\ddot{o}rendszer visszatér\ddot{o} ágának hőmérsékletéhez³⁷ igazított $50^{\circ}\text{C} \rightarrow 55^{\circ}\text{C}$ kimen\ddot{o} h\ddot{o}lépcs\ddot{o}vel a h\ddot{o}szivattyú gyártója által meghatározott adatokból a $\gamma = 0,5814$ \ddot{e}rt\ddot{e}k adódik, mely adatokat behelyettesítve az alábbi \ddot{e}rt\ddot{e}ket kapjuk:

$$Q_{h\ddot{o}szivatty\acute{u}}^{tiszt, t\acute{e}ny} = \gamma \cdot c_t \cdot m_t \cdot \Delta T_t = 0,58 \cdot 4,2 \cdot 3\,175\,500/1000 \cdot 6 = 46\,525 \text{ GJ} \quad (17)$$

Ezen h\ddot{o}mennyis\ddot{e}g tehát a kezelt szennyvízb\ddot{o}l ténylegesen kinyerhet\ddot{o}.

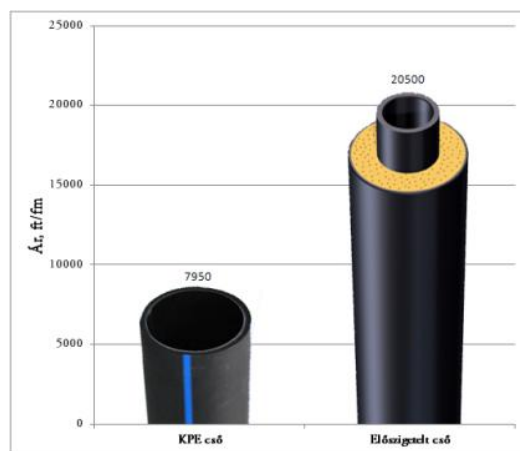
A hasznosítás történhet a telephelyen egyrészt a kiszolgáló épületek, irodák, garázsok, stb. fűtésére, másrészt a technológiában: iszapszártásra, illetve (ha van) a rothasztó h\ddot{o}igényének biztosítására. A h\ddot{o} hasznosítható azonban a távh\ddot{o}rendszerben is, ha a feltételek adottak. Mivel a szennyvízkezel\ddot{o} m\ddot{u} – hasonlóan a szem\ddot{e}tlerakó telephez – általában a lakott (és így távfűtött lakásoktól is) távol van, így a h\ddot{o}t tartalmazó közeget a távfűt\ddot{o} m\ddot{u}vekhez el kell juttatni. Ennek szintén két módja lehetséges:

- A. a h\ddot{o}szivattyú a szennyvíztelepen működik és a kinyert h\ddot{o}t megfelelő h\ddot{o}fokon a távfűt\ddot{o}rendszerbe tápláljuk.
- B. a h\ddot{o}szivattyú a távh\ddot{o}szolgáltató megfelelő adottságokkal rendelkező (ideális esetben: telepített gázmotor) telephelyén működik és a tisztított szennyvizet vezetjük oda h\ddot{o}kinyerés céljából.

Ezen utóbbi megoldás sok esetben célszerűbbnek látszik, hiszen egyrészt az alacsonyabb h\ddot{o}fokú tisztított szennyvíz ($T \approx 14^{\circ}\text{C}$) jóval kisebb hővesztéssel szállítható (ez a hengeres falra felírt Fourier-féle hővezetési differenciálegyenlet itt most mell\ddot{o}zött megoldásából belátható), mint a távh\ddot{o}rendszer ($T_{\text{visszatér\ddot{o}}} + \Delta T_{\text{h\ddot{o}szivatty\acute{u}}}$) hőmérsékletre felmelegített vize, másrészt (elő)szigetelt távvezeték helyett hagyományos hidegvízvezeték is használható, így a vezetékfektetés költsége rendkívüli módon lecsökken (35. ábra). Amennyiben ezen a telephelyen még gázmotor is üzemel,

³⁷ Ez az egyes településeken (s\ddot{o}t akár egy település különböző távh\ddot{o}rendszerén) eltér\ddot{o} is lehet.

a hőszivattyú közvetlen meghajtása további költségcsökkentést eredményezhet. Természetesen a hőkinyerés után a tisztított és lehűlt szennyvizet a befogadóba kell juttatni.



35. ábra

Csővezeték árak [Forrás: Interex Waga Kft, Isoplus Kft.]

A szennyvíz hőmérséklete az év során az évszakok változása miatt nem állandó, de napi ingadozás is megfigyelhető, amely a szennyvizet előállító lakosság életviteléhez és az ipar napi igényeihez igazodik. További eltérést okoz, hogy ahol egyesített rendszerű közcsonatna hálózat van (Magyarországon szinte minden városban), ott a csapadék (záporok, hóolvadás, stb.) miatt mind a beérkező szennyvíz tömegárama, mind a hőmérséklete változik. Mindezen változások ellenére a szennyvíztelepről távozó tisztított szennyvíz tömegárama és hőmérséklete a hőszivattyús energiakinyerés szempontjából kedvezőnek tekinthető [53].

A telephelyre beérkező szennyvíz hőmérsékleti adatait a 15. táblázat tartalmazza:

	Hőfok, °C
Maximum:	23
Minimum:	10
Éves átlag:	20

15/a. táblázat

A szennyvíztisztítóba érkező szennyvíz hőmérsékletei (2013. év) [Forrás: DVCSH Kft.]

3.3.3. Biomassza források

Dunaújvárosban az erdészeti munkákat a Dunaújvárosi Vagyonkezelő (DVG) Zrt végzi el. A keletkező nyesedéket és fahulladékot méret alapján szelektálja és a nagyobb méretűeket tűzifaként értékesíti, míg a kisebb frakciót mulcsként visszajuttatja a természetbe. Az erdészeti munkák során keletkező hulladék egy része tehát közvetlenül – ha nem is a távfűtött lakásokban - energetikai

célra hasznosul, míg a másik része energetikai célból veszendőbe megy. Mivel a dunaújvárosi távfűtőrendszer nincsen felkészülve a faapríték fogadására így annak begyűjtése az erdészetnek nem érdeke, az ehhez szükséges gépekkel, berendezésekkel nem rendelkezik.

Mindenképpen fontos azonban a helyi lehetőségek felmérése, hiszen a faaprítéktüzelés – más városok (pl. Szolnok) üzemelési adatait figyelembe véve – kedvező alternatíva lehet a földgázfelhasználás csökkentésében.

Az erdészettől kapott adatok alapján a tűzifaként értékesített mennyiség 2013-ban 300 erdei köbméter³⁸ volt. Mivel a kivágott fák fajtája vegyes és megoszlásuk nem ismert, valamint vélelmezhető, hogy a nedvességtartalom a vágás és az értékesítés között eltelt rövid időtáv miatt magas így a **3. számú Függelékben** szereplő fűtőérték tartomány alsó értékei a realisabbak, így azt 8 MJ/kg értéken, míg a tűzifa tömegét a jellemző tartomány (700-1300 kg/erdei m³) felső határához közel választva 1200 kg/erdei m³ értékkel veszem figyelembe a számítások során.

Fentiek alapján az erdészeti által értékesített tűzifa hőtartalma az alábbi:

$$Q_{\text{erdészeti}} = m_{\text{erdészeti}} \cdot H_{\text{erdészeti}} = 360\,000 \text{ kg} \cdot 8 \text{ MJ/kg} = 2\,880 \text{ GJ} \quad (18)$$

Az erdészeti nem rendelkezik adatokkal a természeti környezetbe visszajuttatott faapríték mennyiségéről, így azokat az energetikai számításokban szerepeltetni nem tudjuk. Meghatározható azonban azon *elméleti termőterület* nagysága, ami a város hőellátásához szükséges faapríték előállításához szükséges. Figyelembe véve a hőforrások prioritásáról írtakat a 3.3 Fejezetben, az elméleti területet azon hőigényre kell meghatározni, melyből a hulladék és szennyvíz által biztosított hőmennyiség már levonásra került. Az így fennmaradó hőigényt kell faaprítékból és/vagy egyéb megújuló energiaforrásból fedezni.

A 48. oldal (9/c) összefüggését felhasználva és feltételezve, hogy a fogyasztói hőigényt teljes egészében primer energiahordozó felhasználása nélkül (azaz $Q_{\text{primer}}=0$) és első közelítésben egyéb megújuló nélkül ($Q_{\text{megújuló}}=0$) állítjuk elő, adódik:

$$Q_{\text{erdészeti}} = Q_{\text{igény}} - Q_{\text{hulladék}} - Q_{\text{szennyvíz}} \quad (19)$$

Behelyettesítve a korábban kapott értékeket adódik, hogy:

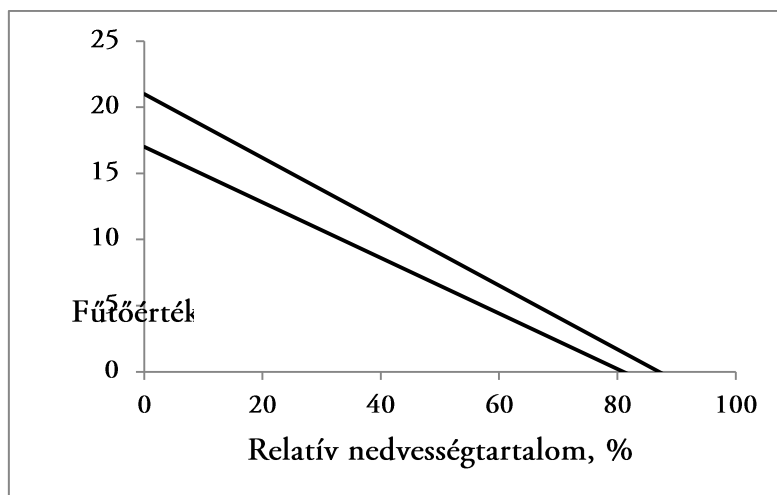
$$Q_{\text{erdészeti}} = 844\,660 - 74\,784 - (31\,514 + 46525) = 691\,873 \text{ GJ}$$

85%-os hatásfokú kazánban eltűzelve a szükséges hőmennyiség: 813 968 GJ.

A faapríték fűtőértéke a nedvességtartalom függvénye (lásd: 36. ábra)

³⁸ 1 erdei köbméter = 1m*1m*1,75m = 1,75m³

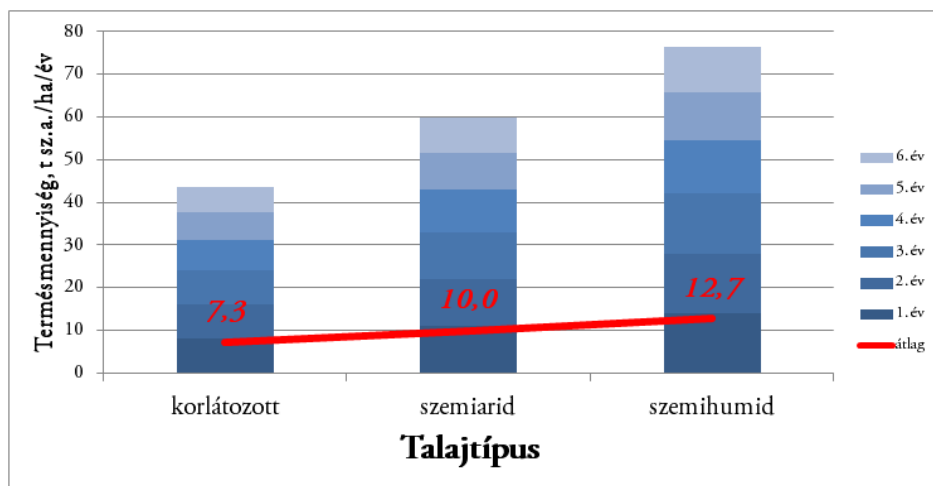
Száraz (nedvességtartalom =0) és vegyes összetételű fát ($H_{\text{faapríték}} = 12 \text{ MJ/kg}$) feltételezve, a fenti hőmennyiséghez 67.831 tonna faapríték szükséges.



36. ábra

A fa fűtőértékének változása a nedvességtartalom függvényében [54 alapján]

Figyelembe véve a 37. ábrát, látható, hogy a terméshozam erősen függ a talaj típusától. Látható továbbá, hogy az évek múltával egyre kevesebb termés várható. A hat éves ciklus átlaga azonban jól jellemzi az elérhető terméshozamot.



37. ábra

Nyár- és fűzálmlányok évenkénti terméshozama (kékek) és a hat év átlaga (piros)

Adatok forrása: [54]

Az egyes talajtípusokra valamint a talajtípusnak legjobban megfelelő fafajtákra a terméshozamok a szakirodalomban [55,56,57] megtalálhatók, így az optimális fafajta a helyi adottságok ismeretében meghatározható.

Dunaújváros környékén a talaj jó minőségű, de a biztonságos modellalkotáshoz az átlagos termés hozamot ígérő szemiarid³⁹ talajtípust használjuk.

A fentebb számított 67 831 tonna száraz faaprítékhoz – felhasználva a 38. ábra adatait – szükséges termőterület nagysága 6 783,1 ha (korlátozott termőképességű talaj esetén az érték 9 292 ha, míg szemihumid talaj esetén 5 341 ha).

Amennyiben tehát a dunaújvárosi távhőigényt a települési hulladékból és szennyvízből kinyert energián felül teljes egészében faaprítékból kívánjuk fedezni, akkor ehhez hozzávetőlegesen 6 783 ha földterület szükséges⁴⁰.

A helyben előállítható energiaforrások jelenlegi arányát a távhőszolgáltatásban, valamint a távhőtermelési célra való alkalmasságot a 15/b. táblázatban foglaltam össze. Megállapítható, hogy a hazai távhőszolgáltatás a helyi energiaforrásokat csak rendkívül kis mértékben használja ki, még azon energiaforrások esetében is, ahol jelentős potenciál áll rendelkezésre.

Energiaforrás	Hozzájárulása a távhőhöz	Távhőtermelési potenciál
Hulladékégetés	1,2%	magas
Szennyvíziszap égetés	0%	közepes
Szennyvíz biogáz tartalma	0%	közepes
Szennyvíz hője	0%	magas
Biomassza	1,3%	magas

15/b. táblázat
Helyi energiaforrások alkalmazhatósága a távhőszolgáltatásban

³⁹ *szemiarid*: félszáraz, *szemihumid*: félnedves

⁴⁰ Összehasonlításként: a búza vetésterülete Magyarországon: 1.173.000 ha (forrás: FAO)

4. A MODELL

Az előző fejezetekben szereplő számítások alapján megalkotható a modell, melynek - eredeti célkitűzéseinkkel összhangban – célja a távhőszolgáltatásban felhasznált primer energiahordozó minimalizálása, azaz a korábbi (9/d) összefüggésből

$$Q_{igény} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (20)$$

$$Q_4 \rightarrow \min. \quad (21)$$

célfüggvény vagy (lévén, hogy - adott időszakot vizsgálva - $Q_{igény} = \text{const.}$) az azzal egyenértékű

$$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q_{helyi}} \rightarrow \max. \quad (22)$$

célfüggvény megoldása.

Mivel a megoldandó feladat célja az, hogy egy adott település távhőigényét különböző források optimális felhasználásával elégítse ki, így egy olyan modellt kell keresnünk, melynek elve ezzel azonos, vagy azonossá alakítható. Egy ilyen modell lehet a lineáris programozás egyik klasszikusa, a hátizsák probléma (knapsack problem) [58,59a] és ezt módosítjuk a hőszállítás speciális esetére.

4.1. A hátizsák probléma

4.1.1. Alap probléma (0-1 hátizsák probléma)

A feladat elnevezése onnan származik, hogy egy hátizsákba kell tárgyakat elhelyezni úgy, hogy

- a hátizsák tele legyen és
- a benne levő tárgyak összértéke a lehető legnagyobb legyen.

Így az egyes tárgyak jellemezhetők

- Térfogatukkal (vagy tömegükkel) és (!)
- Értékükkel (fontosságukkal)

A hátizsák probléma megoldása során (azaz a hátizsákba pakolásakor) az a cél, hogy a hátizsák a lehető leghasznosabb tárgyakkal legyen telipakolva, úgy, hogy a tömege a lehető legkisebb legyen. A hátizsák probléma egyik szépsége, hogy a hasznosság értéke szabadon választható meg az éppen aktuális igények szerint (például egy süllyedő hajóról menekülő embernek más kerül a

hátizsákjába, mint annak aki a kikötőben látogatja meg az őrizetlen hajót) így a modellel számos lehetőség vizsgálatára adódik mód.

A modell matematikai leírása kapcsán a hátizsák-problémát a tárgyak tekintetében a **tömegükkel**, az értéküket pedig **fontossági paraméterükkel** jellemzem és így korlátként a hátizsák teherbírását veszem figyelembe.

Matematikailag a feladat az alábbi módon írható fel:

Legyen adott n -számú elem, minden elemhez ($i=1, \dots, n$) hozzárendelünk egy $f_i > 0$ fontossági értéket és egy $m_i > 0$ tömeget. A c teherbírású hátizsákot kell az elemekkel úgy feltölteni, hogy a hátizsákban lévő elemek összértéke maximális legyen.

Bevezetünk egy bináris változót, x_i -t ($i=1, \dots, n$), ahol $x_i=1$ azt jelenti, hogy az i -edik elem bekerül a hátizsákba, míg az $x_i=0$ pedig azt, hogy az i -edik elem nem kerül be a hátizsákba.

Célunk a hátizsák feltöltése olyan módon, hogy az összérték a lehető legnagyobb legyen, az alábbi feltételekkel:

i, A hátizsákba behelyezett elemek össztömege nem haladhatja meg a hátizsák kapacitását:

$$\sum_{i=1}^n m_i x_i \leq c \quad (23)$$

ii, A rendelkezésre álló elemek vagy bekerülnek a hátizsákba, vagy nem:

$$\forall i \in \{1, \dots, n\} x_i \in \{0, 1\} \quad (24)$$

iii, Az összes fontossági érték akkor maximális, ha az egyes fontossági értékek és a bekerülő elemek szorzatainak összege maximális, azaz

$$\sum_{i=1}^n f_i x_i \rightarrow \max. \quad (25)$$

A triviális megoldások kiküszöbölése érdekében feltételezzük, hogy:

iv, A hátizsákba kerülő elemek tömegének összege nem nagyobb, mint a hátizsák kapacitása:

$$\sum_{i=1}^n m_i \leq c \quad (26)$$

A hátizsák probléma megoldása egy n -elemű halmaz $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, amely megadja, hogy az egyes elemekből hányat helyezünk a hátizsákba. A problémához tartozó döntési problémáról bebizonyítható [60], hogy $\mathcal{NP}$ -teljes, míg az optimalizációs feladat $\mathcal{NP}$ -nehéz, azaz a feladat megoldására polinom-idejű algoritmus nem ismert, sőt még az sem ismert, hogy ez az algoritmus létezik-e. A problémára azonban számos közelítő módszert dolgoztak ki, melyekkel kellő pontosságú megoldás nyerhető, mely esetünkben kielégítő [61].

Az alap probléma módosításával újabb típusú hátizsák problémákhoz juthatunk, úgy mint:

4.1.2. Korlátos hátizsák probléma (Bounded Knapsack Problem, BKP)

Amennyiben a (24) feltételt úgy módosítjuk, hogy az egyes elemekből nem csak 1 db áll rendelkezésünkre, hanem minden x_i elem esetén egy adott z_i egész szám, akkor a korlátos hátizsák problémához jutunk. A (24) feltétel új alakja a következő lesz:

$$\forall_{i \in \{1, \dots, n\}} x_i \in \{0, 1, \dots, z_i\} \quad z_i \in \mathbb{Z} \quad (27)$$

4.1.3. Nem-korlátos hátizsák probléma (Unbounded Knapsack Problem, UKP)

Ha az elemek számára nem határozunk meg felső korlátot, azaz bármelyik elem bármennyiszer szerepelhet, akkor a nem-korlátos hátizsák problémához jutunk, s így a (27) a következőre módosul:

$$\forall_{i \in \{1, \dots, n\}} x_i \geq 0 \quad x_i \in \mathbb{Z} \quad (28)$$

A nem korlátos hátizsák problémáról bebizonyítható, hogy szintén $\mathcal{NP}$ -nehéz [62].

4.1.4. Folytonos (vagy törtes) hátizsák probléma

Amennyiben megengedjük, hogy az egyes elemek száma ne csak egész számként szerepeljen a feladatban, akkor folytonos hátizsák problémához jutunk.

$$\forall_{i \in \{1, \dots, n\}} x_i \geq 0 \quad x_i \in \mathbb{R} \quad (29)$$

Ez a látszólag jelentéktelen változás azt eredményezi, hogy a feladat polinomiális időben megoldhatóvá válik, míg az eredeti probléma (lévén, hogy $\mathcal{NP}$ -nehéz) nem oldható meg. A megoldásra szolgáló algoritmus műveletigénye n -számú elem esetén legrosszabb esetben is $O(n^k)$, valamely k konstanssal [62].

4.1.5. A módosított hátizsák probléma (hőelosztási feladat)

Figyelembe véve az előző fejezetben tárgyalt hátizsák probléma változatokat, megalkotható egy **módosított hátizsák probléma**, mely probléma megoldása biztosítja, hogy az adott település hőigényét a rendelkezésre álló hőforrásokból optimálisan elégítsük ki.

A módosított hátizsák probléma matematikai modelljének megalkotásához az alábbiak szükségesek:

- 1, Az eredeti problémában szereplő hátizsák a vizsgálandó település lesz, a hátizsák kapacitása így a település hőigényével lesz azonos, azaz $c \rightarrow Q_{igény}$
- 2, Az egyes elemek tömege helyett az egyes hőforrásokból rendelkezésre álló hőmennyiségek szerepelnek a modellben, azaz $m_i \rightarrow Q_i$. Az eredetileg megfogalmazott feltétel, miszerint $m_i > 0$ továbbra is fennáll, az egyes hőmennyiségek szintén pozitív számok, azaz $Q_i > 0$.
- 3, Az egyes elemek f_i fontossági értékét a vizsgált településen a rendelkezésre álló hőforrások prioritása határozza meg.
- 4, Az alap hátizsák probléma tárgyalása során bevezetett x_i bináris változó helyett bevezetjük az y_i változót, mely felső korlátul szolgál az egyes hőforrások tekintetében és az $y_i = r_i$ azt jelenti, hogy az i -edik elemet r_i -alkalommal használjuk fel.
- 5, A feladat megfogalmazásából és a fizikai alapokból adódóan a modellben használt Q_i , f_i , r_i és y_i értékek nemcsak egész értékeket, hanem tört értékeket is felvehetnek.

Fentiek alapján a hőelosztási feladatra optimalizált hátizsák probléma matematikai reprezentációja az alábbi:

- i, Az egyes hőforrásokból származó hőmennyiségekből a település hőigénye maradéktalanul kielégíthető:

$$\sum_{i=1}^n Q_i y_i = Q_{igény} \quad (30)$$

ii, A rendelkezésre álló hőforrások felső korláttal rendelkeznek:

$$\forall_{i \in \{1, \dots, n\}} y_i \in \{0, \dots, r_i\} \quad r_i \in \mathbb{R} \quad (31)$$

Fontos megjegyezni, hogy a primer energiahordozókból előállított Q_4 hőmennyiség elvileg korlátlanul áll rendelkezésünkre, de ez a modell szempontjából kezelhető úgy, hogy a korlátlan mennyiség helyett egy tetszőleges nagy, de mégis korlátos értéket rendelünk hozzá, melyet $\aleph$ szimbólummal fogunk jelölni és igaz rá a $\aleph \gg Q_{igény}$ feltétel.

iii, Az összes fontossági érték akkor maximális, ha a fajlagos fontossági értékek és a bekerülő elemek szorzatainak összege maximális, azaz

$$\sum_{i=1}^n f_i y_i \rightarrow \max. \quad (32)$$

iv, Az eredeti probléma bemutatásakor bevezetett (25) és (26) feltétel alapján kikötjük, hogy a $Q_1 > Q_{igény}$ vagy $(Q_1 + Q_2) > Q_{igény}$ esetet triviális megoldásnak tekintjük. Erre az esetre később részletesen kitérünk, lásd: 3.4.3. fejezet.

Az így megalkotott modell az 5. pont miatt folytonos a ii. pont miatt pedig korlátos hátizsák probléma és az, mint korábbiakban láttuk a folytonosság és az egyik elem tetszőlegesen nagyra való választásának lehetősége miatt polinom-idejű algoritmusokkal megoldható. Egy ilyen algoritmus például a greedy vagy mohó algoritmus, melynek elve a következő:

BEMENET: n számú hőforrás, $Q_i > 0$ hőmennyiséggel és $f_i > 0$ értékkel, valamint egy $Q_{igény}$ települési hőigény, ($i=1, \dots, n$)

KIMENET: A hőigény optimális forrásokból való kielégítése $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ alakban.

A korábban bevezetett elemeket újraindexeljük úgy, hogy *monoton csökkenő* sorrendbe kerüljenek az alábbiak szerint: $\frac{f_i}{Q_i}$ ($i=1, \dots, n$), azaz $\frac{f_1}{Q_1} \geq \frac{f_2}{Q_2} \geq \dots \geq \frac{f_n}{Q_n}$, ezzel azt biztosítjuk, hogy a fajlagosan legfontosabb elem kapja a legmagasabb prioritást. Mivel már az egyes hőforrásokat korábban a prioritásuk alapján szedtük sorba (ezt jelöli az 1,2,3,4 index), ez az indexcsere lényegi változást nem hoz, azonban lehetőséget biztosít, hogy a korábbi prioritási sorrendet felül bírójuk, figyelembe véve az egyes települések eltérő jellegéből származó különbségeket is. Bevezetjük a fennmaradó hőigényt ($\overline{Q_{igény}}$) ami az algoritmus futása során előálló pillanatnyi hőigény és a

teljes hőigény különbsége. Kiindulásképpen, minden hőforrásból származó hőmennyiség értéke nulla, a kielégítendő hőigény a teljes $Q_{igény}$ -el egyezik meg, azaz $\overline{Q_{igény}} = Q_{igény}$.

ELSŐ LÉPÉS-ként az egyes hőforrásokból származó hő nullára állítjuk, azaz $y_i = 0$ ($i=1, \dots, n$), és a kielégítendő hő értékét egyenlővé tesszük az összes hőigénnyel $\overline{Q_{igény}} = Q_{igény}$, azaz még semmiféle hőigény nincs a forrásokból kielégítve. Legyen a segédváltozó $j=1$!

MÁSODIK LÉPÉS: Ha $Q_j \leq \overline{Q_{igény}}$ akkor $y_j := 1$, egyébként $y_j := \frac{\overline{Q_{igény}}}{Q_j}$.

Legyen $\overline{Q_{igény}} = \overline{Q_{igény}} - Q_j \cdot y_j$ és legyen $j=j+1$!

HARMADIK LÉPÉS: Ha $\overline{Q_{igény}} > 0$, akkor ugrás a MÁSODIK LÉPÉS-re.

TÉTEL: A fenti algoritmus a korábban felállított hőelosztási feladat megoldását adja eredményül és a kapott megoldás optimális.

BIZONYÍTÁS: Mivel feltételeztük, hogy a $\sum_{i=1}^n Q_i > Q_{igény}$ és $f_i > 0$, minden i -re, így a hátizsák az algoritmus műveleteinek elvégzése után teljesen teli van (azaz a települési hőigény teljes egészében kielégítésre kerül). Ebből az következik, hogy létezik olyan j index, hogy $1 = y_1 = \dots = y_{j-1} > y_j \geq y_{j+1} = \dots = 0$, ahol $y_{n+1} = 0$. A megoldás optimális voltát úgy bizonyítjuk be, hogy a kapott eredményt a hátizsák probléma egy $z_1, \dots, z_n$ lehetséges megoldásával összehasonlítjuk. A korábbiak miatt minden f_i érték pozitív értéket vesz fel, így ez az eredmény csak akkor lesz optimális, ha $\sum_{i=1}^n Q_i \cdot z_i = Q_{igény}$. Jelölje k azt a legkisebb indexet, amelyre fennáll, hogy $z_k < 1$, illetve legyen l az a legkisebb index, amelyre fennáll, hogy $k < l$ úgy, hogy $z_l > 0$. Ez az l index minden esetben létezik, csak abban az esetben nem, ha a $z_1, \dots, z_n$ megoldás azonos az algoritmus által előállított $y_1, \dots, y_n$ megoldással. A z_k növelésével és a z_l csökkentésével – a többi érték változatlan hagyása mellett – új megoldást képezzünk. Legyen $\varepsilon = \min\{Q_k(1 - z_k), Q_l z_l\} > 0$. Növeljük z_k értékét $\frac{\varepsilon}{Q_k}$ -val és csökkentsük z_l értékét $\frac{\varepsilon}{Q_l}$ -el! Az így kapott megoldás a korábbi $z_1, \dots, z_n$ megoldástól nem kisebb, továbbá vagy z_k vsz fel 1 értéket, vagy z_l vesz fel 0 értéket. Ezt az érvelést folytatva belátható, hogy a kapott megoldás az eredeti $y_1, \dots, y_n$ megoldással azonos lesz. ■

4.2. A modellben szereplő tényezők meghatározása:

4.2.1. Az Q_i hőforrások meghatározása

- $Q_{igény}$ az adott település esetén adott érték, amennyiben a számítást olyan településre kell elvégezni, ahol az éves hőigény nem ismert, ott a távfűtésbe bekapcsolt fogyasztók száma alapján becsülhető.

- $Q_{1,p}$ a korábbi fejezetekben tárgyalt Q_1 prioritású hőforrások összessége

$p = \text{num}\{\text{szemétegetés, szemet elgázosítás, szennyvíziszap égetés, szennyvíziszap gázosítás, szennyvíz hőszivattyúval kinyert hője, stb.}\}$

- $Q_{2,q}$ a korábbi fejezetekben tárgyalt Q_2 prioritású hőforrások összessége

$q = \text{num}\{\text{technológia hő1, stb.}\}$

- $Q_{3,s}$ a korábbi fejezetekben tárgyalt Q_3 prioritású hőforrások összessége

$s = \text{num}\{\text{megújuló energiaforrások (napenergia, geotermikus, bio, stb.)}\}$

- $Q_{4,t}$ a korábbi fejezetekben tárgyalt Q_4 prioritású hőforrások összessége

$t = \text{num}\{\text{fosszilis energia (földgáz, kőolaj, szén, stb.)}\}$

Van tehát összesen $(p+q+s+t)$ számú hőforrás, melyek által termelt hő mennyisége a korábbi fejezetekből ismert. Amennyiben egy adott településen valamely hőforrás nem áll rendelkezésre, akkor a modellben $\emptyset$ értékkel szerepel.

4.2.2. Az r felső korlátok meghatározása

Minden fenti Q_{ij} értékhez tartozik egy r_{ij} felső korlát (összesen $(p+q+s+t)$), melyek az adott település viszonyait ismerve szintén meghatározhatók, például a 3.2. fejezet (10)(11)(13)(16b) és (17) egyenleteit felhasználva (a jelölések magyarázata ott):

$r_{11} = Q_{\text{hulladékok}} = \sum_{i=1}^n (m_i \cdot H_{\text{inf},i})$	(10)
$r_{12} = Q_{\text{szennyvíziszap}} = m_{\text{iszap}} \cdot H_{\text{iszap}}$	(11)
$r_{13} = H_{\text{CH}_4} \cdot 0,35 \cdot (KOI_{be} - KOI_{ki}) \cdot Q$	(13)
$r_{14} = Q_{\text{hőszivattyú}}^{\text{tiszt, tény}} = \gamma \cdot c_t \cdot m_t \cdot \Delta T_t$	(16b)
$r_{15} = Q_{\text{erdészeti}} = m_{\text{erdészeti}} \cdot H_{\text{erdészeti}}$	(17)
$\vdots$	$\vdots$
$r_{41} = \aleph$	

$r_{42} = \infty$	
$r_{43} = \infty$	

16. táblázat
A modellben szereplő felső korlátok

A táblázatban nem szerepelnek a technológiai hőforrások (azaz a 2-es indexű) korlátok, mert azok az alkalmazott technológiától függenek és adott településen külön-külön vizsgálandók.

A megújuló energiaforrásra vonatkozó (azaz 3-as indexű) korlátok szintén nem szerepelnek, mert azokat gyakorlatilag – legalábbis a települési hőigény mértékéhez képest - tetszőlegesen nagyra vehetjük fel.

4.2.3. Az f fontossági érték meghatározása

Az eredeti hátizsák problémában a nagyobb értékű vagy nagyobb fontosságú értékű elem bekerülése a kívánatos, míg a hőelosztási feladatban –ha kizárólag a költséghatékonyságot vesszük figyelembe – a legkisebb költségű elemek beválogatása a cél. Így a primer energiahordozó költségéhez való hasonlítás tűnik a legcélravezetőbbnek, azok közül is a legnagyobb mennyiségben felhasznált földgáz költségéhez. Ennek megfelelően tehát egy adott hőforrásból származó hő annál nagyobb valószínűséggel kerül bele a hőigény kielégítésére szolgáló hőmennyiségek halmazába minél alacsonyabb az adott hő előállítási költsége a földgáz költségéhez viszonyítva.

Ha azonban nemcsak a költséghatékonyságot vesszük figyelembe, hanem a környezetvédelmi, szociális, jogszabályi és nemzetgazdasági szempontokat is, akkor a költségek számszerűsítése nem egyszerű feladat. Elveket azonban meghatározhatunk, és így az egyes hőforrásokból származó hőmennyiséget csoportokba rendezhetjük, mely csoportok már a modellben felhasználhatók. Vegyük figyelembe, hogy ezek a csoportok a 3.3. fejezetben (48. old.) meghatározott prioritási sorrendnek felelnek meg, így az ott leírtak alapján a modellben szereplő hőforrások hasznossága (f) adott települt tekintve ismert, azokat a település (energetikai) viszonyait ismerő, felmérő energetikus határozza meg.

4.3. A $Q_1 > Q_{\text{igény}}$ feltétel előfordulása és ennek következményei

Előfordulhat olyan eset is, amikor a hulladékokból (hulladék+szennyvíz+erdészeti) előállított hő meghaladja a település teljes távhő igényét, azaz $Q_1 > Q_{\text{igény}}$. Ez jellemzően akkor fordul elő, ha jóval több felhasználó veszi igénybe a hulladékszállítást és szennyvízelvezetést, mint ahány fogyasztó a távhőrendszert használja. Feltételezzük, hogy a lakosság által előállított hulladék és szennyvíz mennyisége a lakosság számával egyenes arányban áll, így a fajlagos értékek (azaz az egy

főre eső hulladék és szennyvíz, illetve az ezekből előállítható hőmennyiség) grafikonja a 39/a. ábrán az x-tengellyel párhuzamos egyenes. Ugyanakkor a távhőigény görbéje a távfűtést igénybe vevő fogyasztók számával egyenes arányban nő és a nulla értékről (ha senki nem veszi igénybe a szolgáltatást) a teljes települési hőigényt jelölő $Q_{igény}$ mennyiségig nő.

Felírható tehát, hogy

$$n_{táv hő} \cdot \overline{Q_{igény}} = n_{hull.} \cdot \overline{m_{hull.}} \cdot \overline{H_{hull.}} + n_{szv.} \cdot (\overline{m_{szv.iszap}} \cdot \overline{H_{szv.}} + c_{szv.} \cdot m_{szv.} \cdot \overline{\Delta T_{szv.}}) \quad (33)$$

Ahol,

$n_{táv hő}$: a távhővel ellátott fogyasztók száma [fő], $n_{hull.}$: a hulladékszállításban résztvevők száma [fő], $n_{szv.}$: a szennyvízelvezetést (vagy szállítást) igénybe vevők száma [fő], $\overline{m_{hull.}}$: az adott évben elszállított hulladék egy főre jutó része átlagosan [kg], $\overline{H_{hull.}}$: az adott évben keletkező hulladék átlagos fűtőértéke [MJ/kg], $\overline{Q_{igény}}$: adott évi egy főre jutó átlagos távhőfelhasználás [MJ/fő], $\overline{m_{szv.iszap}}$: az adott évben begyűjtött szennyvízből keletkező iszap egy főre jutó része átlagosan [kg], $\overline{H_{szv.iszap}}$: az adott évben begyűjtött szennyvízből származó iszap átlagos fűtőértéke [MJ/kg], $c_{szv.}$: a szennyvíztelepről távozó tisztított víz fajhője [kJ/kg·K], $m_{szv.}$: a szennyvíztelepről adott évben távozó tisztított víz tömege [kg], $\overline{\Delta T_{szv.}}$: a szennyvíztelepre beérkező és az onnan távozó víz hőmérsékletének különbsége, éves átlagban [K]

Mivel mind a szemétszállítás, mind pedig a szennyvízelvezetés kötelező közszolgáltatás, így a fogyasztók száma elméletileg azonos, a lakosság számával egyenlő, így a számításokban a

$$n_{hull.} \approx n_{szv.} \approx n_{lakosság} \quad (34)$$

közelítéssel fogunk élni.

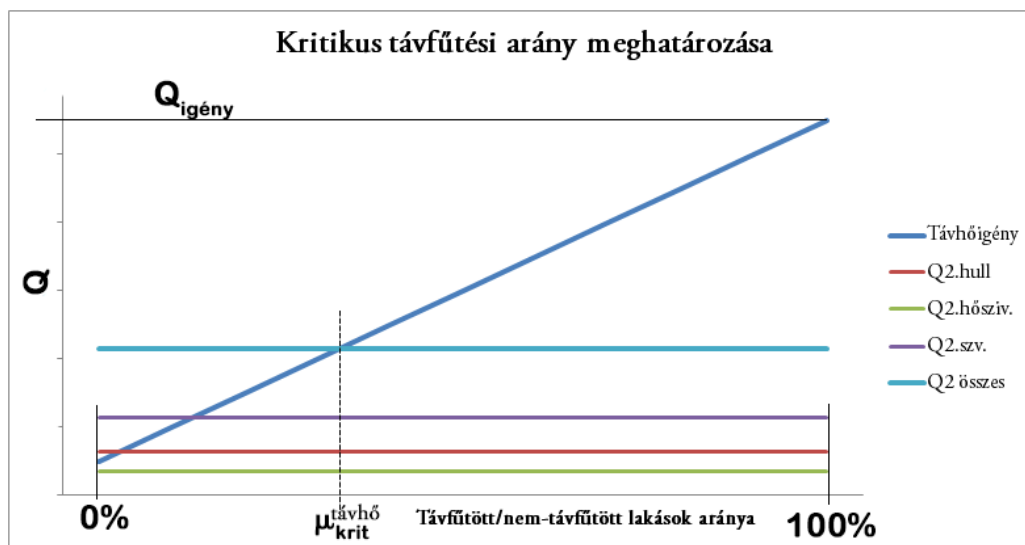
Bevezetjük a települési távfűtési arányt:

$$\mu_{táv hő} = \frac{n_{táv hő}}{n_{lakosság}} \quad (35)$$

azaz, hogy a település mekkora hányada veszi igénybe a távhőszolgáltatást. Így, (33), (34) és 35 segítségével meghatározható az a kritikus távfűtési arány, ami alatti értékeknél a település távhőigénye kizárólag a hulladékok megsemmisítésével megoldható:

$$\mu_{táv hő}^{krit} = \frac{\overline{m_{hull.}} \cdot \overline{H_{hull.}} + \overline{m_{szv.iszap}} \cdot \overline{H_{szv.iszap}} + c_{szv.} \cdot m_{szv.} \cdot \overline{\Delta T_{szv.}}}{\overline{Q_{igény}}} \quad (36)$$

Felírható tehát, hogy ha $\mu_{táv hő} \leq \mu_{táv hő}^{krit}$, akkor $Q_1 \geq Q_{igény}$.



38. ábra
A $\mu_{táv hő}^{krit}$ értelmezése

Mivel a Q_1 csoportba eső hőforrásoknak a 3.3 Fejezetben bemutatottakon túl további előnye, hogy mind a hulladék, mind pedig a szennyvíziszap nagyobb távolságokra is szállítható, így ha egy településen a $Q_1 > Q_{igény}$ egyenlőtlenség fennáll, akkor a $Q_1 - Q_{igény}$ hőmennyiséget (azaz a fölös energiát) tartalmazó hulladékot és szennyvíziszapot más, olyan településre lehet szállítani, amire az egyenlőtlenség nem áll fenn és a szállítás többletköltsége nem teszi gazdaságtalanná. Természetesen, mivel a Q_1 csoportban lévő hőmennyiségek közül a hőszivattyúval termelt hő nem szállítható nagyobb távolságokra, így a modellben ezt a hőforrást kell a legkisebb indexel (azaz legnagyobb hasznossággal) ellátni, hogy a hőigény kielégítésére elsősorban ebből kerüljön sor.

Ha fentiekén túl, a vizsgált településen még Q_2 prioritású (azaz technológia) hő is rendelkezésre áll, - amely szintén nem szállítható nagyobb távolságokra jelentős veszteség és költség nélkül – akkor a Q_2 prioritású hőforrást kell a hőszivattyúval szennyvízből kinyert hővel közel azonos prioritásúvá tenni, hogy a modell megoldása során az algoritmus elsősorban ezen két (vagy több) hőforrást vegye előre a távhőigények kielégítésében. Mivel a Q_2 prioritású hőforrások száma Magyarországon elenyésző, így a modell fenti módosítására ritkán kerülhet sor. Még ennél is ritkább, ha fentiekén túl még Q_3 prioritású (azaz megújuló) hőforrás is rendelkezésre áll, mely esetén az eljárás azonos.

A módosított hátizsák probléma γ_i ($i=1, \dots, n$) megoldásai tehát megadják, hogy az adott település $Q_{igény}$ hőigénye a rendelkezésre álló Q_1 , Q_2 , Q_3 és Q_4 hőmennyiség-csoportokba sorolt hőforrásokból rendelkezésre álló hő milyen elosztása esetén lesz optimálisan (azaz a legnagyobb fontossági értékkel jellemezve) kielégítve.

A számítások során kapott eredmények felhasználásával az egyes energiatípusok felhasználását már ismerve meghatározható a megsemmisített hulladék mennyisége, az ártalmatlanított szennyvíz mennyisége, az ebből származó károsanyag kibocsátás mértéke, a közvetett (fűtési költség, deponálási költség, stb.) és közvetlen (energiahordozó költsége) költségek csökkenése, a település és az egész ország energiafüggettségének változása.

Mindezen túl a modell alkalmas –kiterjesztését követően – az alábbiakra is:

- Amennyiben a hőelosztási feladatra optimalizált hálózati modell paramétereit települési (lokális) szintről országos szintre emeljük, azaz a hálózati modell már nem a település hőigényét testesíti meg, hanem az országos hőigényt, az egyes korlátok, hőforrások és hasznossági fokok értékeit országos szinten vesszük figyelembe, akkor a modell segítségével az egész ország optimális –táv hő célú – energiaellátása meghatározható. Mindezeket túl a modell tetszőlegesen skálázható, így akár régiós vagy EU-s szinten is használható. Természetesen minél nagyobb területet fog át, a paramétereket annál pontosabban kell meghatározni.

Ez esetben lehetőség nyílik a hálózati probléma⁴¹ egy speciális változatának alkalmazására, amikor is több hálózati problémába pakolunk (többszörös hálózati probléma, multiple knapsack problem), az egyes hálózati problémák az egyes településeket jelképezik. Ezen modell tárgyalása nem képezi ezen értekezés tárgyát, megalkotása távlati céljaim között szerepel.

A fentebb részletezett megfontolások alapján megalkotott modell alapján elkészítettem Magyarország összes távfűtött településére vonatkozóan a számításokat két lehetséges forgatókönyv (A és B) szerint, melyeket a **5. számú Függelék** tartalmaz. A számítások excel számolótáblában készültek, mely lehetőséget biztosít az egyes paraméterek tetszőleges megváltoztatására, így számos lehetőséget vizsgálatára van lehetőség.

Az **A forgatókönyv** azt feltételezi, hogy ha vannak is a településen gázmotorok, azok nem üzemelnek, a település a már kiépített hulladékhasznosítási eljárásokból és technológiai hőforrásokon felüli hőigényét további hulladékhasznosításból fedezi, így a hő termelésével egy időben a hulladék ártalmatlanítása is megtörténik. Ez a forgatókönyv használható például az Oroszországból érkező gáz korlátozása esetén, vagy természeti katasztrófa esetén bekövetkező földgázhiány esetén is.

A **B forgatókönyv** azt az esetet vizsgálja, amikor a gázmotorok üzemelnek és kapcsolt energiatermelés folyik, mivel a gázmotorok többsége földgázzal működik és más gázok eltüzelésére nem vagy korlátozottan alkalmasak, így ezt a kapacitást nem tudjuk, csak részben kiváltani. Ezért a modell a gázmotoros energiatermelés hőjét a már meglévő hőforrások korábban bevezetett Q_2 csoportjába sorolja a csoportnak megfelelő prioritással. Ez esetben nem a szennyvíztiszt

⁴¹ Bár a többszörös hálózati probléma struktúrája a hálózati problémához hasonló, szigorú matematikai értelemben a többszörös hálózati probléma a lineáris programozás szállítási feladatának felel meg [59b].

elégetéséből származó hőt hasznosítjuk, hanem az elgázosításból származó biogázt keverjük be a gázmotor üzemanyagába –figyelembe véve a bekeverési arányokat – vagy pedig biogáz tüzelőanyagra optimalizált gázmotort használunk és csak a *nem-kapcsolt* energiatermelés energiaforrásait optimalizáljuk a modell segítségével. A módszer ezt leszámítva az előzővel azonos.

Az **A forgatókönyv** algoritmus:

1. Meghatározzuk a település hőigényét: $Q_{igény}$
2. A hulladéktartalatlanításból származó hőt két részre bontjuk, a *szállítható* $Q_1^{száll.}$, és a *nem szállítható* $Q_1^{nem-száll.}$. A szállítható rész arra utal, hogy a szemetet és a szennyvíziszapot nem csak az adott településen égethetjük el, hanem más településen is, míg a *nem-szállítható* rész a szennyvíz hőszivattyúval kinyert hőtartalmát jelenti, melyet ésszerű gazdasági keretek között szállítani nem lehet, így azt a keletkezés helyén kell felhasználni. A modellben ez a hányad magasabb prioritással, azaz magasabb fajlagos fontossági értékkel rendelkezik.
3. A település hőigényét a már meglévő $Q_1^{tény}$ és $Q_2^{tény}$ mennyiségekkel lecsökkentjük, csak a fennmaradó részt kell a hőelosztási feladatra optimalizált hátizsák problémával megoldani ($\overline{Q_{igény}} = Q_{igény} - Q_1^{tény} - Q_2^{tény}$). Erre példa például Paks, ahol a városi hőigényt (az eddigi jelölésekkel: $Q_{igény}^{Paks} \leq Q_2^{Paks}$) az atomerőmű technológia hője teljes egészében kielégíti, az algoritmus itt a végéhez ér.
4. Ha $\overline{Q_{igény}} > 0$, akkor a modell a *nem-szállítható* hő mennyiségével csökkenti a fennmaradó települési hőigényt, azaz $\overline{Q_{igény}} := \overline{Q_{igény}} - Q_1^{nem-száll.}$, ha $\overline{Q_{igény}} \leq 0$, akkor az algoritmus a végéhez ér. A modell alapján 7 település teljes távhőigénye a fenti módon kielégíthető (Csongrád, Hajdúböszörmény, Kapuvár, Nagyatád, Nagykőrös, Nyírbátor, Paks, lásd: **5. számú Függelék Z oszlopa**).
5. Ha a $\overline{Q_{igény2}} > 0$ még továbbra is fennáll, akkor a modell a *szállítható* hő mennyiségével tovább csökkenti a települési hőigényt, azaz $\overline{Q_{igény2}} := \overline{Q_{igény2}} - Q_1^{száll.}$, ha $\overline{Q_{igény2}} \leq 0$, akkor az algoritmus leáll. A modell alapján további 39 település teljes távhőigénye a fenti módon kielégíthető (lásd: **5. számú Függelék AA oszlopa**). Ha $\overline{Q_{igény2}} < 0$, akkor a fennmaradó $|\overline{Q_{igény2}} - Q_1^{száll.}|$ nagyságú *szállítható* hőmennyiség nem szükséges az adott település távhőigényeinek kielégítéséhez, így az más (kellően közel lévő) településen, ahol távhőigény lép fel felhasználható (lásd: **5. számú Függelék AC oszlopa**).
6. Ha $\overline{Q_{igény3}} > 0$, akkor a település távhőigénye teljes egészében nem elégíthető ki hulladékból származó és technológia hőből, ez esetben a $\overline{Q_{igény3}}$ mennyiség egy része kielégíthető az előző pontban szereplő, más településen keletkezett, $|\overline{Q_{igény3}} - Q_1^{száll.}|$ mennyiségű hulladék elégetésével és/vagy megújuló energiaforrások (Q_3) felhasználásával, vagy végső esetben (amikor már Q_3 sem elég) fosszilis energiahordozók elégetésével (Q_4).

Az elvégzett számítások alapján látható, hogy az 5. pontban említett 39 településen a *szállítható* hulladékból származó hő mennyisége a fennmaradó települések hőigényét 17%-ban fedezi, feltéve, hogy a szállítás hatósugara a gazdaságoson belülré esik. Ennek vizsgálata külön szükséges.

A **B forgatókönyv** algoritmus:

1. Meghatározzuk a település hőigényét: $Q_{igény}$
2. Meghatározzuk a településen a *kapcsoltan* ($Q_2^{kapcsolt}$) és *nem-kapcsoltan* ($Q_2^{nem-kapcsolt}$) termelt hőmennyiséget (lásd: 5. számú Függelék AD és AE oszlopa).
3. Ha $Q_2^{kapcsolt} \leq Q_{szennyvíz}$, akkor a kapcsoltan termelt hő előállításához szükséges primer földgáz a szennyvíz biogáztartalmával teljes egészében kiváltható, az algoritmus leáll, ez a modell alapján 2 településen valósítható meg (Érd, Siófok) (lásd: 5. számú Függelék AF oszlopa), a fennmaradó ($Q_{szennyvíz} - Q_2^{kapcsolt}$) nagyságú hőmennyiséget reprezentáló biogáz vagy más célra felhasználható, vagy a szennyvíziszapból csak akkora részt kell rothasztani, ami ennyi hőmennyiség előállításához szükséges biogázt termel, a fennmaradó szennyvíziszapot pedig más településen fel lehet használni.
4. Ha $Q_2^{kapcsolt} > Q_{szennyvíz}$, akkor a ($Q_2^{kapcsolt} - Q_{szennyvíz}$) mennyiségű hő állítható elő a szennyvíziszapból származó biogázzal, a fennmaradó kapcsolt energia megtermeléséhez szükséges hőmennyiséget Q_4 hőforrásból kell kielégíteni.
5. Ezt követően az algoritmus az **A forgatókönyv** algoritmusával azonos, az alábbi két módosítással:
 - a *szállítható* $Q_1^{száll.}$ mennyiségbe a **B** esetben nem tartozik bele a szennyvíziszap elégetéséből származó hő (mert ezt kiváltja a biogáz), míg az **A** esetben igen, illetve
 - az optimalizálás csak a *nem-kapcsoltan* termelt hőre vonatkozik, míg az első esetben az összes hőre.

Fenti módosítások miatt a szállítható hulladék mennyisége megnövekedik (lásd: 5. számú Függelék AJ oszlopa), és abból a többi település nem-kapcsolt hőtermelése teljes egészében kielégíthető lenne, megfelelő szállítási távolságok esetén, melyek egyedi vizsgálatot igényelnek. Természetesen ez azért fordulhat elő, mert a távhőigény csak egy kisebb szeletét tudjuk kiváltani, a kapcsolt energiatermelés miatt továbbra is jelentős a földgázból előállított hő aránya.

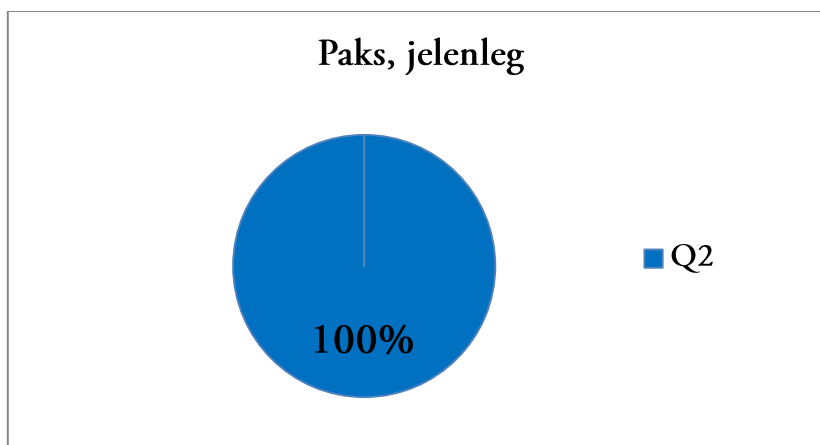
Az 5. számú Függelékben szereplő táblázatból – a következő fejezetben részletezett korlátozásokat figyelembe véve – megállapítható, hogy az egyes településeken milyen arányban van jelen a távfűtés, a távfűtött lakások mekkora hőigényt jelentenek, illetve az, hogy a távhőigény a korábban vázolt prioritású hőforrásokból milyen mértékben és arányban elégíthető ki és mekkora primer energia megtakarítás érhető el. Tartalmazza továbbá az így kiváltott primer energia miatti, valamint a megsemmisített kommunális hulladék és települési szennyvíz ártalmatlanítása miatti károsanyag kibocsátás csökkenés mérőszámát is.

4.4. A modell alkalmazhatósága, gyakorlati példák

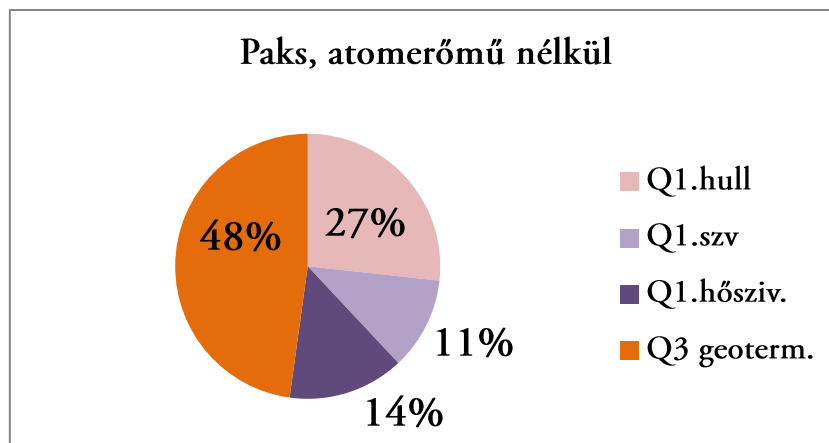
A modell által generált eredmények segítségével számos lehetőség vizsgálatára kerülhet sor, vizsgálható az egyes települések vagy egyes régiók jelenlegi távhőforrás ellátottsága illetve vizsgálhatók a jövőbeli elképzelések és optimális megoldások képezhetők vele. Az alábbiakban bemutatok –jellegében eltérő – elméleti példát, melyek azonban a jövőben megvalósításra kerülhetnek.

4.4.1 Paks

Pakson jelenleg – az országban egyedülálló módon – a teljes városi távhőigényt az atomerőmű technológiai hője (a disszertáció jelöléseivel Q_2) biztosítja (39. ábra). Megvizsgálva azt az elméleti lehetőséget, hogy az atomerőmű leáll (pl. meghibásodás vagy energiapolitikai szemlélet megváltozása miatt) a modell alapján a kieső technológia hő pótlására részben a legmagasabb fontosságú értékkel bíró Q_1 hőmennyiség, a fennmaradó részre pedig a kisebb fontosságú Q_4 hőmennyiség szolgálna (40. ábra). Megállapítható, hogy a város távhőigényének 63%-a primer energiahordozó eltüzelése nélkül is megoldható lenne.



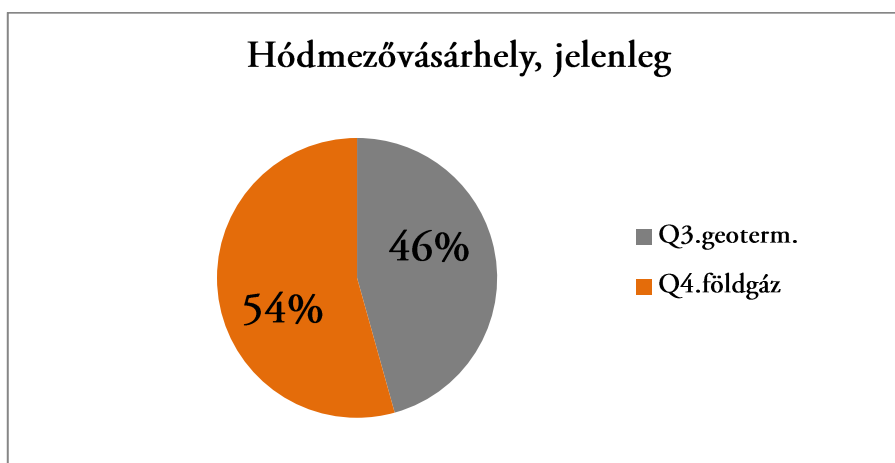
39. ábra
Paks távhőforrásai jelenleg



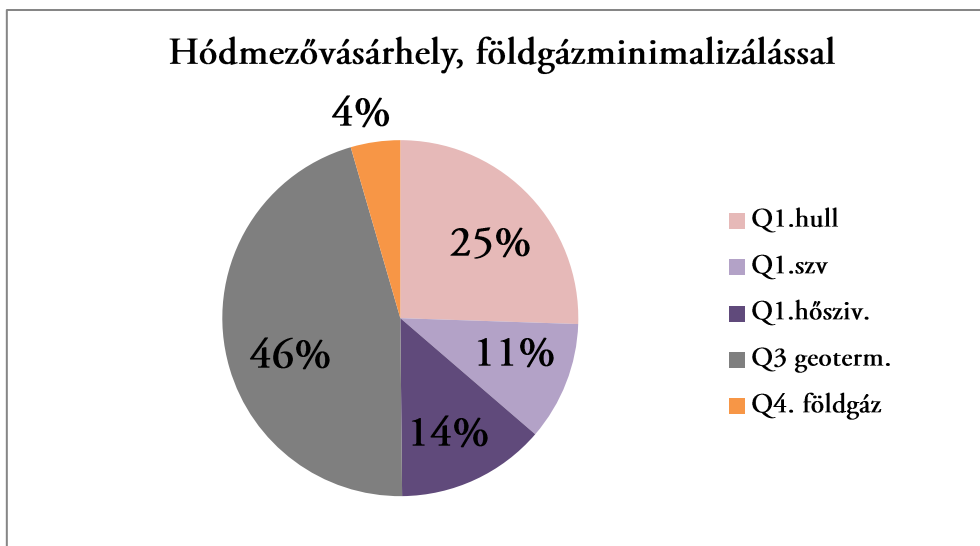
40. ábra
Paks távhőforrásai atomerőmű nélkül (modell eredmény)

4.4.2 Hódmezővásárhely

Hódmezővásárhelyen a távhőszolgáltatás részben megújuló (geotermikus) energiaforrásból (a modellben Q_3 -al jelölve) történik, a fennmaradó igényt pedig fosszilis tüzelőanyag (földgáz (Q_4)) égetésével elégítik ki (41.ábra). A modell alapján megállapítható, hogy a hulladékból előállított hő (Q_1) majdnem teljes egészében kiválthatja a földgázt, azaz a jelentős primer energia költség megtakarításon felül csökkenhetne a településen keletkező és deponálásra hulladék mennyisége is. A fennmaradó 4%-nyi földgázalapú távhő relatíve kis költséggel megszüntethető (célszerűen a legrosszabb hőszigetelő lakóépületek korszerűsítésével, mint azt a 40. oldal keretes beszúrt részében láthattuk, a szigetelés hatása számottevő mértékben csökkenti az épület távhőigényét).



41. ábra
Hódmezővásárhely távhőforrásai jelenleg

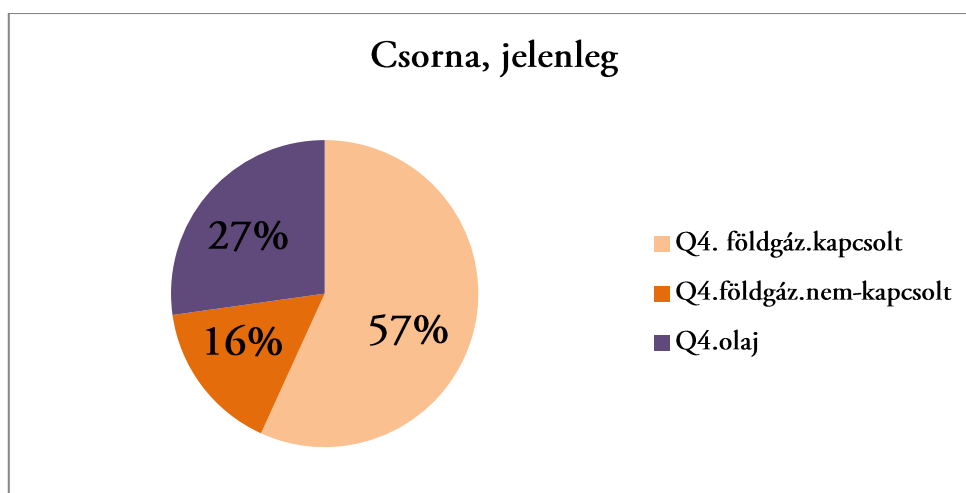


42. ábra

Hódmezővásárhely távhőforrásai primer energiahordozó nélkül (modell eredmény)

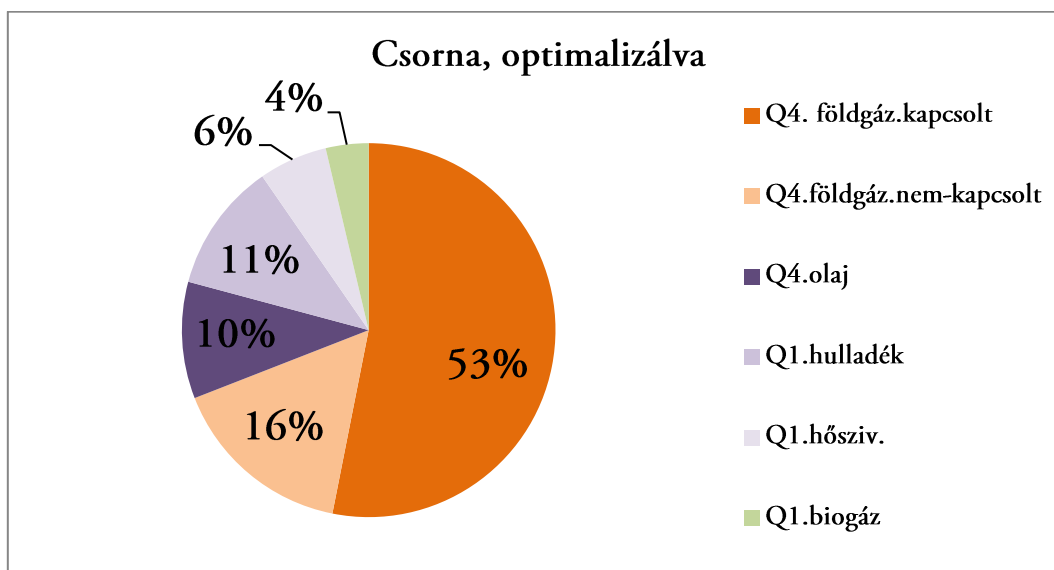
4.4.3 Csorna

Csornán a település távhőigényét teljes egészében fosszilis energiahordozókból állítja elő (73%-ban földgázból és 27%-ban fűtőolajból), mivel a településen kapcsolt hő- és villamos energiatermelés is folyik (43. ábra), így a földgáz 78%-a kapcsolt energiatermelésre fordítódik, míg 22%-a közvetlenül hőtermelésre, a primer energia optimalizálásakor figyelembe kell tehát venni, hogy a két elkülönült használat során a helyettesítő hőforrások is különbözőek. Mivel a kapcsolt energiatermelés gázmotorokban történik, így az ott felhasznált földgáz kiváltása csakis a szennyvízből előállított biogázból történhet, míg a közvetlenül hőtermelésre felhasznált fűtőolaj és földgáz a hulladékégetés hőjével, vagy a szennyvíz hőtartalmával is helyettesíthető. Fentieket figyelembe véve a modell eredményei azt mutatják, hogy a település távhőigényének korábbi 100%-os fosszilis energiafelhasználása 79%-ra csökkenthető. A fennmaradó 21%-nyi hőigényt Q_1 prioritású hővel helyettesíthetjük (44. ábra).



43. ábra

Csorna távhőforrásai jelenleg

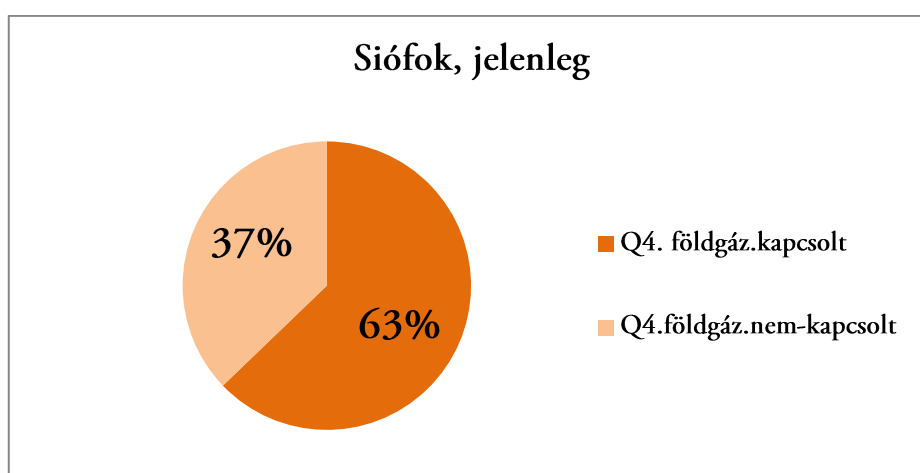


44. ábra

Csorna távhőforrásai primer energiahordozó minimalizálással (modell eredmény)

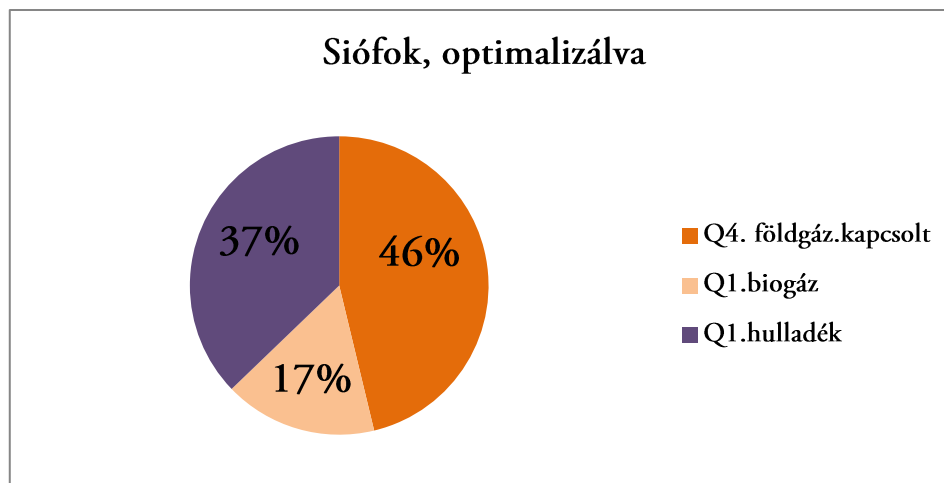
4.4.5 Siófok

A siófoki távhőtermelés teljes egészében földgázon alapul, azaz a fosszilis energiahordozó felhasználás 100%-os. A földgáz eltüzelése kazánokban (37%) illetve gázmotorokban (63%) történik (45. ábra), hasonlóan a Csorna településen bemutatottaknál, a két földgázforrás kiváltása más és más. A korábbi 100% fosszilis energia több mint fele (54%) kiváltható nem-fosszilis energiahordozó felhasználásával, úgy hogy a szemét hőtartalmából még fölös energia is keletkezik (46. ábra), melynek alapanyaga gazdaságos távolság esetén más településen felhasználható. Siófokhoz közúton legközelebb Balatonfűzfő található (34,4km) illetve kompot is figyelembe véve Balatonfüred (27,7km), a szállítás megvalósíthatósága (különösen azt figyelembe véve, hogy a hulladék jelentős része pont a turistaidényben keletkezik) gondos előkészítést követel.



45. ábra

Siófok távhőforrásai jelenleg



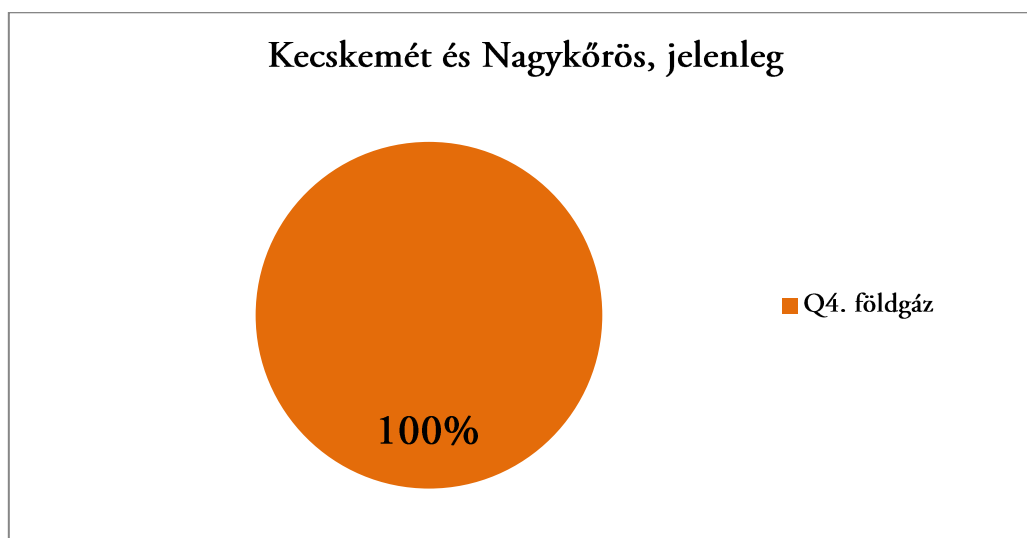
46. ábra

Siófok távhőforrásai primer energiahordozó minimalizálással (modell eredmény)

4.4.6 Kecskemét-Nagykőrös együtt

A modell egyik előnye, hogy a számítások nem csak adott településre, hanem több településre együtt is elvégezhető, lehetőséget kínálván régiók, kistérségek, megyék vagy akár az egész ország területére vonatkozó energetikai megfontolások ellenőrzésére is.

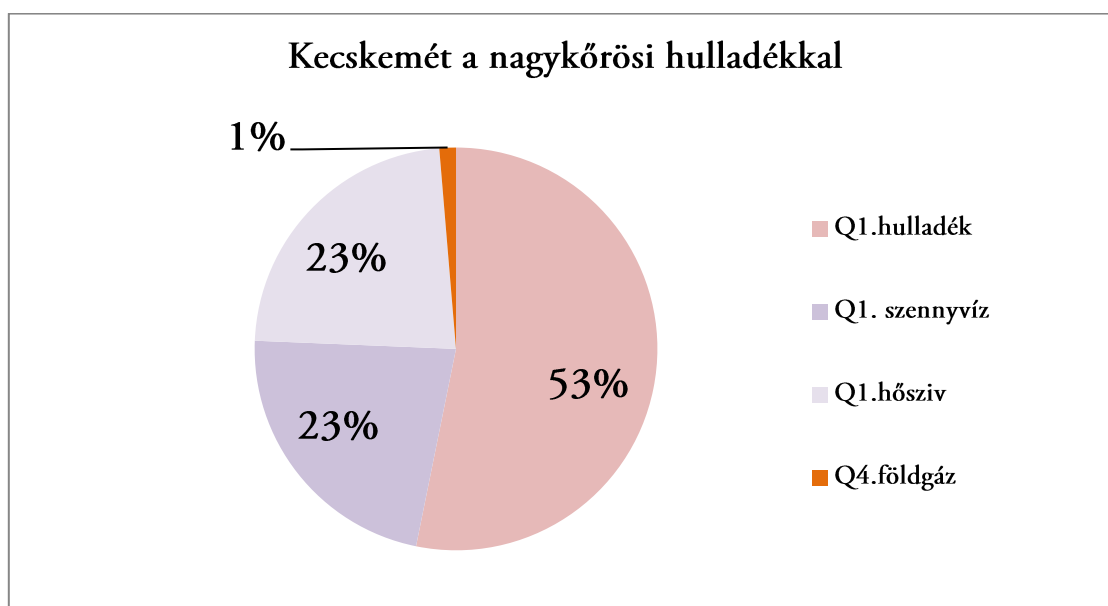
Jelenleg mind Kecskeméten, mind pedig Nagykőrösön földgázból állítják elő a távhő célú hőmennyiséget (47. ábra), mindkét településen gázmotoros kapcsolt energiatermelés is folyik, azonban ebben a példában azt nem vesszük figyelembe, a 70. oldalon bemutatott **A forgatókönyv** szerint végezzük el a számításokat.



47. ábra

Kecskemét és nagykőrös távhőforrásai jelenleg (egyezően 100% fosszilis energiahordozó felhasználás)

Mivel a nagykovári éves távhőigény 20 704 GJ, a szennyvízből hőszivattyúval kinyerhető hő mennyisége 22 052 GJ, így megállapítható, hogy Nagykovári város távhőigénye a szennyvíz hőtartalmából maradéktalanul kielégíthető, a hulladék- és szennyvíziszap pedig más, relatíve közeli településre (jelen esetben a közúton 18,4km-re lévő és távhőigénnyel rendelkező Kecskemétre) szállítható és ott távhő előállítására felhasználható. A modell eredményeiből megállapítható, hogy amennyiben a nagykovári távhőigényeket az ott keletkező szennyvíz hőszivattyúval kinyert hőjéből látjuk el és az ott keletkező kommunális hulladékot és szennyvíziszapot Kecskemétre szállítjuk és az ott keletkezett hulladékkal és szennyvíziszappal együtt égetjük el, akkor a nagykovári teljes fosszilis kiváltáson túl a kecskeméti távhő előállítására felhasznált fosszilis energiahordozó 99%-a is kiváltható (48. ábra)!



48. ábra
Kecskemét és nagykovári távhőforrásai szinte teljesen fosszilis nélkül

4.5. A modell jószágának ellenőrzése:

Mivel az egyes távfűtött városok több tekintetben is különbözhetnek egymástól, így a modell alkalmazása során figyelembe kell venni a helyi adottságokat, úgymint:

Távhő tekintetében:

- a távhőberendezések hatásfokát és a távhővezeték hőveszteségét
- a HMV előállításához felhasznált hidegvíz hőmérsékletét
- a lakások szigeteltségi arányát
- az esetlegesen jelen lévő és hőt biztosítani képes ipari létesítményeket

A hulladékégetés tekintetében:

- a szelektív hulladékgyűjtés elterjedési arányát
- a település jellegét (a lakótelepek és kertvárosi részek arányát)
- a települési hulladék keletkezési helyét (lakosság és ipar aránya)

A szennyvízkezelés tekintetében:

- egyesített szennyvízrendszer van-e a településen, vagy szétválasztott
- a keletkező szennyvíz jellegét (lakosság és ipar aránya)
- a szennyvíztisztító mű technológiáját és távhő termelő egységtől való távolságát (49. ábra)



49. ábra

A szennyvíztisztító telep (sárga téglalap) és a Bakony utcai erőmű (piros téglalap) a mi szempontjaink alapján ideális elhelyezkedése Székesfehérváron [Google Maps]

Biomassza termelés tekintetében:

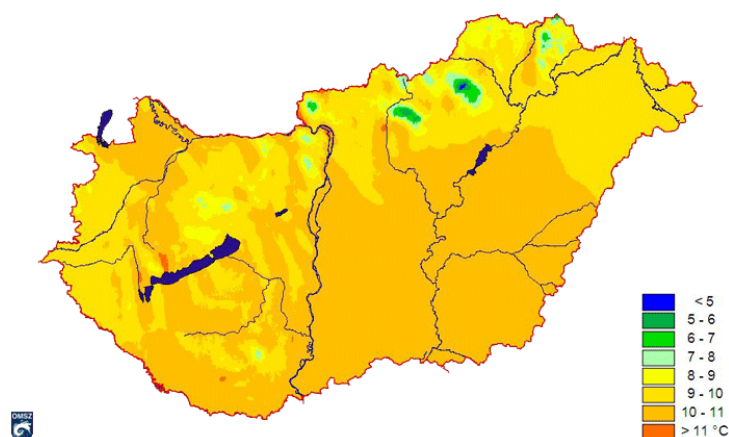
- a termőföld minősége és elhelyezkedése (sík vagy dombos, északi vagy déli fekvésű, ...)
- a napsütéses és csapadékos órák száma
- a távfűtött település közelsége (szállítási költségek)

Megújuló energiák tekintetében (bővebben lásd a 2. fejezetben):

- a geotermikus gradiens
- a napsütéses és szeles órák száma
- stb...

Általános tekintetben:

- a településre jellemző időjárási adatokat (50. ábra, valamint 11. ábra, 25. ábra)



50. ábra

*Az évi átlagos középhőmérséklet Magyarországon az 1971-2000 közötti időszak alapján
[Forrás: OMSZ]*

Az évi átlagos középhőmérséklet közvetve és közvetlenül is jelentős hatással van a távhőigények alakulására, hiszen magasabb évi középhőmérséklet alacsonyabb hőigényt eredményez, valamint ugyancsak magasabb terméshozam érhető el biomassa termelés esetén illetve a szennyvíz hőmérsékletére – és ezen keresztül a kinyerhető hő mennyiségére – is hatással van.

A primer energiahordozó minimalizálásának további előnyei:

- közvetlen földgáz költség csökkentés

A földgáz felhasználója az általa lekötött földgázmennyiség után különböző jogcímen díjakat fizet, mely díjak egy része a fogyasztással arányos, míg egy része attól független, fix díj és csak a lekötött volumentől függ. A jelenleg érvényben lévő 3/2014. (VI. 13.) MEKH rendelet alapján a fizetendő nettó díjak:

	Díjtétel:	Díj (nettó):
Forgalomarányos	Molekuladíj:	13,485 \$/GJ, azaz ⁴² 3064 Ft/GJ
	Energiaadó ⁴³ :	88,50 Ft/GJ
	MSZKSZ díj:	60,50 Ft/GJ
	Forgalomarányos rendszerhasználati díj (RHD):	36,46 Ft/GJ
	Elosztói RHD:	33,23 Ft/GJ
Fix	Fix RHD:	482 700 000 Ft/év
	Elosztói fix RHD:	159 564 360 Ft/év

16. táblázat

A földgáz díjelemei [Forrás: Kárpát Gáz Kft.]

⁴² 2014. július 10-i MNB középárfolyam: 1 \$ = 227,210 Ft

⁴³ A lakossági fogyasztás és a kapcsolt energiatermelés után visszaigényelhető, így itt nem vesszük figyelembe.

Mivel a fogyasztóknak értékesített hő hálózati veszteséggel korrigált értékét korábban már meghatároztuk és az éves szinten (2011-ben) 844 660 GJ-nak adódott (lásd: 3.2. fejezet), így a hőtermelő berendezések hatásfokát egységesen 90%-osnak feltételezve a felhasznált földgáz éves mennyisége 938 511 GJ. Ezen mennyiség beszerzése a fenti árakon számítva: nettó **3.650.046.811** forint, melyből a fix díjak 652.264.360 forintot tesznek ki, míg a fennmaradó 2.997.782.451 forint a forgalomarányos díj. 1 GJ hőtartalmú földgáz súlyozott ára tehát: 3889,19 Ft/GJ.

Amennyiben tehát a korábbi fejezetekben részletezett módon kiváltjuk a primer földgáz felhasználását, azaz a városi hőigényből (844 660 GJ) levonjuk a hulladék (74 784 GJ) és szennyvíziszap (31 514 GJ) elégetésével nyert hő hatásfokkal korrigált, továbbá a szennyvíz hőtartalmát hasznosító hőszivattyú által szolgáltatott hő jósági fokkal korrigált hőjét (46 525 GJ), azaz mindösszesen 152 823 GJ-t (ez egyben a Q_1^{helyi} -ként korábban definiált mennyiség), akkor 691 837 GJ hőt kapunk, melyet 768 708 GJ-nyi földgáz elégetésével állíthatnánk elő. **A primer földgáz megtakarítás tehát 169 803 GJ, azaz fenti árakon számítva évi 660 395 988 Forint.** Fontos megjegyeznünk, hogy ezt a megtakarítást kizárólag a Q_1^{helyi} hőmennyiség felhasználásával értük el, a Q_2^{helyi} és a Q_3^{helyi} mennyiségek a pénzügyi eredményt tovább javítják.

- fuvar- és deponálási költség csökkenés:

Amint azt korábban bemutattuk, a szemétiégetés során a keletkező hulladék tömege a kiinduló tömeg 20-25%-a csak, a térfogata pedig 5-10%-a, míg a szennyvíziszap tömege égetés után 40-50%-a az eredetinek, a térfogata pedig 10-20%-a. Azaz a keletkező 10 799 tonna hulladékból a szelektálást és égetést követően mintegy 2 430 tonna salak és egyéb hulladék keletkezik, míg a 1 773,9 (≈ 1774 t) tonna szennyvíziszapból 798 tonna salak keletkezik, a szállításra kerülő mennyiség tehát 12 573 tonnáról 3228 tonnára csökken. Mivel a szállító teherautók kapacitása 7-12 t/fuvar és a fogyasztásuk átlagosan 30 l/100 km, és a deponálás helye Adony (21,5 km) illetve Sárobgárd (31 km) így az évenkénti fuvarok száma 1323-ról 340-re csökken. Átlagos értékekkel számolva évenként $52,5 \text{ km} \cdot 30 \text{ l/100km} \cdot (1323-340) \text{ db} = 15\,482$ liter **gázolaj takarítható meg**, melynek költsége jelenlegi áron (426 Ft/l) **6,6 millió forint**.

Hasonló a helyzet a deponálási költségeknél⁴⁴, a csökkenő hulladékmennyiség (12 573 t $\rightarrow$ 3228 t) miatt a **deponálási költségek csökkenése:** $(12\,573 - 3\,228) \text{ t} \cdot 11\,600 \text{ Ft/t} \approx 108 \text{ millió ft}$.

- a hulladék újrahasznosított arányának növekedése

⁴⁴ A kommunális hulladék átlagos átvételi ára: 2013 évben: 8 800 Ft/t, 2014 évben: 11 600 Ft/t.

Mivel az égetés kedvező energetikai hatásfoka miatt a hulladékot szelektálni kell (pl. üveg és fémhulladék eltávolítása), így az **újrahasznosítás aránya jelentősen növekedik**, így egyrészt kevesebb hulladék kerül deponálásra, másrészt az újrahasznosított hulladék ismételt felhasználása nemzetgazdasági szinten előnyt jelent.

- károsanyag kibocsátás csökkentés

Korábbi ponthoz kapcsolódóan megállapítható, hogy deponálásra kerülő hulladék mennyisége töredékére csökken, a szállításhoz szükséges üzemanyag felhasználás jelentősen csökken, így a környezetet érő káros hatások nagymértékben mérséklődnek, az el nem tüzelt **169 803 GJ** –nyi földgáz miatt **évente 9848,4 tonna⁴⁵ CO₂** légkörbe kerülését is elkerüljük.

- energiafüggőség csökkentése

Jelenleg az ország távfűtött települései kevés kivételtől eltekintve (40. ábra) kizárólag szinte földgázt használnak a távhőigények kielégítésére. Magyarország éves földgázfelhasználása kb. 11 milliárd m³, azaz 374 000 TJ, ebből a távhő célú felhasználás 44 848 TJ, azaz 12%. Jelenleg az ország földgázfüggősége kb. 85 %, amennyiben a **5. számú Függelékben** meghatározott módon 19 464 TJ-nyi földgázt kiváltunk, akkor az ország energiafüggősége a jelenlegi 85 %-ról 80,6 %-ra csökken.

⁴⁵ Átlagos 34MJ/m³ fűtőértékkel és 0,54 kg/m³ karbon tartalommal számolva [Forrás: Kárpát-Gáz Kft.]

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T1. Meghatároztam egy adott tetszőleges település esetén a távhőellátásban alkalmazott hőenergia előállítási források prioritását. Bevezettem a Q_1 , Q_2 , és Q_3 mennyiségeket, melyek a lokális energiaforrások egyes kategóriáit jellemzik [66].

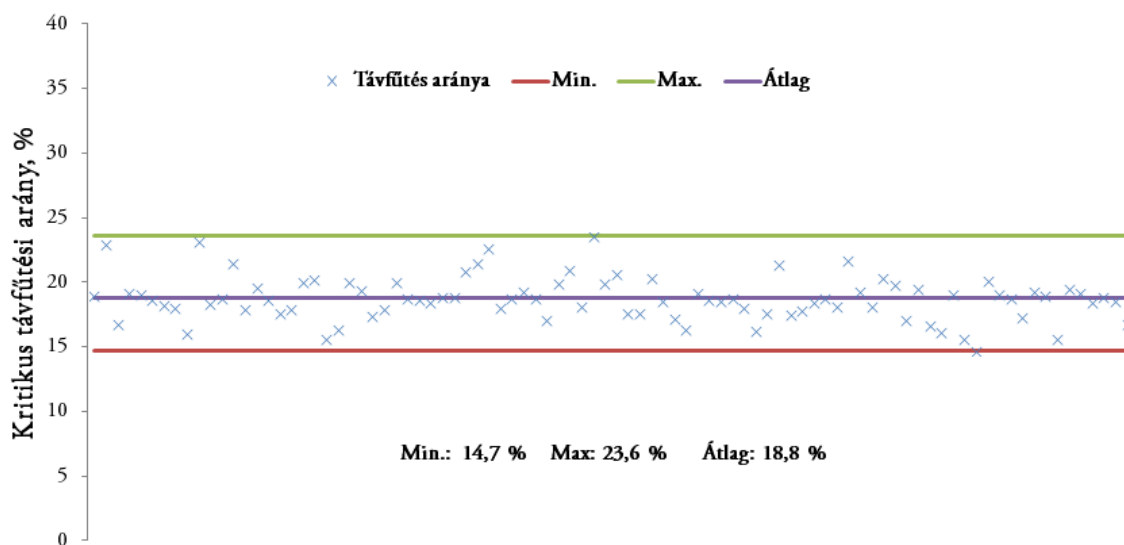
T2. Megalkottam egy módszert, adott, tetszőleges településen keletkező, energetikailag hasznosítható hulladék (kommunális hulladék, szennyvíz, erdészeti melléktermék, stb.) mennyiségének, jellemzőinek és energiatartalmának meghatározására [69] és modellt alkottam

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n Q_i y_i &= Q_{igény} \\ \forall_{i \in \{1, \dots, n\}} y_i &\in \{0, \dots, r_i\} \quad r_i \in \mathbb{R} \\ \sum_{i=1}^n f_i y_i &\rightarrow \max. \end{aligned}$$

matematikai reprezentációban adott település hőigényének és a hőigények helyi forrásból származó energiával való ellátásának bemutatására és számszerűsítésére.

T3. Bemutattam, hogy a matematikai modell megoldható, a megoldás optimális, és hogy eredményei a gyakorlatban felhasználhatók. Meghatároztam a modellben szereplő paramétereket és algoritmus segítségével megoldottam a fenti modellt [65,68].

T4. Bevezettem a η_{krit} küszöbszámot, mely megmutatja, hogy egy település mely távfűtési aránytól képes teljes távhőigényét helyi energiaforrásokból kielégíteni [66]. A kritikus távfűtési arány magyarországi átlagos távfűtési szokásokat és átlagos hulladék és szennyvíz keletkezési mennyiségek alapján 18,8%. Ezen távfűtési arány alatt elméletileg a település távhőigénye a Q_1 hőmennyiségekből maradéktalanul kielégíthető (T1. ábra).



T1. ábra

Magyarország összes (94 db) távfűtött települése meghatározott kritikus távfűtési arány

T5. A T4 pontban szereplő modell segítségével két eltérő forgatókönyv (A: kapcsolt energiatermelés nélkül, B: kapcsolt-energiatermeléssel együtt) meghatároztam Magyarország összes távfűtést használó településére vonatkozóan az éves távhőigényt, a településen keletkező kommunális hulladék, szennyvíz és erdészeti hulladék (vagy ezzel egyenértékű biomassza megtermeléséhez szükséges termőterület nagyságát) mennyiségét, ezek energiatartalmát, a kiváltható primer energiahordozó mennyiségét, a kiváltott energia révén keletkező megtakarítást valamint a környezetterhelés csökkenésének mértékét.

T5.1 A modell segítségével meghatároztam, hogy az **A forgatókönyv** szerinti számítások alapján 7 magyarországi távfűtött település (Csongrád,

Hajdúböszörmény, Kapuvár, Nagyatád, Nagykőrös, Nyírbátor, Paks)
hőigénye a hulladék *nem-szállítható* részéből teljes mértékben fedezhető.

T5.2 A modell segítségével meghatároztam, hogy a **B forgatókönyv** szerinti számítások alapján 2 magyarországi távfűtött település (Érd, Siófok) kapcsolt hő és villamos energia termeléséhez szükséges földgázmennyiség a településen keletkező hulladékból előállított biogázból teljes mértékben kielégíthető.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Megfagyott egy férfi fűtetlen lakásában, MTI hír, 2005.02.08.
- [2] Megfagyott egy férfi saját lakásában, HVG, 2012.12.20.
- [3] Taylor & Francis: Strategic Planning for Energy and the Environment, ISSN 1048-5236
- [4] Energy Technology Perspectives, International Energy Agency (IEA), 2008
- [5] World Energy Outlook, International Energy Agency (IEA), 2007
- [6a] Fossil Fuel Use Surges, *Vital Signs 2005*, pp. 30-31
- [6b] Kiotói jegyzőkönyv, (Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change), UNFCCC
- [7] Háromnapos szünet hétfőtől 18 megye önkormányzati középiskoláiban, Hír3, 2009. január 8.
- [8] Elzárták a csapot: nem kapunk gázt Ukrajnából, Hírszerző, 2009. január 6.
- [9] Százvezrek fagyoskodnak a Balkánon, Index, 2009. január 8.
- [10] Oroszország és Ukrajna gáz nélkül hagyja az Uniót, EurActiv.hu, 2009. január 7.
- [11] 18 countries affected by Russia-Ukraine gas row, Reuters, 2009. január 7.
- [12] Member States' Energy Dependence: An Indicator-Based Assessment EUROPEAN ECONOMY, Occasional Papers 145 | April 2013, ISSN 1725-320
- [13] Clinton P. Conrad, Bradford H. Hager: Spatial variations in the rate of sea level rise caused by the present-day melting of glaciers and ice sheets, *Geophysical Research Letters* Volume 24, Issue 12, pages 1503–1506, 15 June 1997
- [14] Climate Change and Its Impacts on Glaciers and Permafrost in the Alps Wilfried Haeberli and Martin Beniston *Ambio* Vol. 27, No. 4, Research for Mountain Area Development: Europe (Jun., 1998), pp. 258-265
- [15] F. E. Nelson, O. A. Anisimov, N. I. Shiklomanov: Climate Change and Hazard Zonation in the Circum-Arctic Permafrost Regions, *Natural Hazards* July 2002, Volume 26, Issue 3, pp 203-225
- [16] Antarctic ice-sheet loss driven by basal melting of ice shelves, H. D. Pritchard, S. R. M. Ligtenberg, H. A. Fricker, D. G. Vaughan, M. R. van den Broeke & L. Padman *Nature* 484, p502–505, (26 April 2012)
- [17] Cropper M; Griffiths C: The interaction of population growth and environmental quality, *AMERICAN ECONOMIC REVIEW*. 1994 May; 84(2):250-4.
- [18] Besieged by the rising tides of climate change, Kiribati buys land in Fiji, *The Guardians*, 2014. július 1.
- [19] India, the sleeping giant of urbanisation, *World Economy*, 27 Apr 2010
- [20] Stephen Porter: *The Great Plague*, Amberley, 2009
- [21] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2009/406/EK HATÁROZATA (2009. április 23.) az üvegházhatású gázok kibocsátásának a 2020-ig terjedő időszakra szóló

- közösségi kötelezettségvállalásoknak megfelelő szintre történő csökkentésére irányuló tagállami törekvésekről
- [22] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2012/27/EU IRÁNYELVE (2012. október 25.) az energiahatékonyságról, a 2009/125/EK és a 2010/30/EU irányelv módosításáról, valamint a 2004/8/EK és a 2006/32/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről
- [23] Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010-2020, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium kiadványa
- [24] A.G. Drachmann, "Heron's Windmill", Centaurus, 7 (1961), pp. 145-151.
- [25] Dan Chiras: Wind Power Basic, New Society Publishers, 2010. p24-29.
- [26] Pramod Jain: Wind Energy Engineering, McGraw Hill Publications
- [27] Energy information Administration, International Energy Annual
- [28] British Petroleum Statistical Review of World Energy, www.bp.com, 2015.aug.
- [29] Turcotte, D. L.; Schubert, G. (2002), "4", Geodynamics (2 ed.), Cambridge, England, UK: Cambridge University Press, pp. 136–137, ISBN 978-0-521-66624-4]
- [30] Thomas R Blakeslee: Fuel free! Living well without fossil fuels, CreateSpace Independent Publishing Platform (November 20, 2009), ISBN: 144958859X
- [31] Fort Hays State University - Geosciences Dept. 600 Park Street, Hays, KS 67601-4099
- [32] James R. Bolton, David O. Hall The maximum efficiency of photosynthesis, Photochemistry and Photobiology, Volume 53, Issue 4, pages 545–548, April 1991
- [33] G. Boyle. Renewable Energy. Second Edition, Oxford University Press, Oxford,UK, 2004. 107. oldal
- [34] Financial times, The US must take biofuel action to prevent a food crisis By José Graziano da Silva, 2012. aug.9
- [35] Amela Ajanovic: Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices? Energy, Volume 36, Issue 4, April 2011, Pages 2070–2076, 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water & Environment Systems
- [36] United Nations Environment, The Environmental Food Crisis: The Environment's Role in Averting Future
- [37] G. Boyle. Renewable Energy. Second Edition, Oxford University Press, Oxford,UK, 2004. Chapter 4.
- [38] Green Energy, Technology, Economics and Policy, Edited by U. Aswathanarayana, 2010 Taylor and Francis Group, ISBN: 798-0-415-87628-5
- [39] Éves jelentés. 2011, Dunaújvárosi Víz-, Csatorna, Hőszolgáltató Kft.
- [40] Éves jelentés. 2012, Dunaújvárosi Víz-, Csatorna, Hőszolgáltató Kft.
- [41] Éves jelentés. 2013, Dunaújvárosi Víz-, Csatorna, Hőszolgáltató Kft.
- [42] Több ezer ajkai maradhat fűtés nélkül, Napi.hu, 2012.12.10.
- [43] Hőerőműháború Dunaújvárosban, Origo.hu, 2004.11.05
- [44] A dunaújvárosi erőműbiznisz, Népszabadság, 2005.03.18.
- [45] Éves jelentés. 2010, Dunanett Kft.

- [46] Éves jelentés. 2011, Dunanett Kft.
- [47] Éves jelentés. 2012, Dunanett Kft.
- [48a] Municipal Solid Waste Incineration, The World Bank, 1999.
- [48b] Tamás J.: Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés, Debreceni Agrártudományi Egyetem, 1998
- [49] Barótfi István (Szerk.): Környezettechnika, Mezőgazda Könyvkiadó, 2003.
- [50] A szennyvíztisztítás alapjai, Szerk: Dr. Kárpáti Árpád, 2007
- [51a] G. Knowles, A. L. Downing and M. J. Barrett: Determination of Kinetic Constants for Nitrifying Bacteria in Mixed Culture, with the Aid of an Electronic Computer, Water Pollution Research Laboratory, Stevenage, Hertfordshire
- [51b] Clifford W. Randall, James L. Barnard, H. David Stensel (ed.): Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal, Technomic Publishing Co., 1992
- [52] Felix Schmid, Sewage Water: Interesting Heat Source For Heat Pumps and Chillers SwissEnergy Agency for Infrastructure Plants, Gessnerallee 38a, CH-8001 Zürich, Switzerland
- [53] S.A. Tassou: Heat recovery from sewage effluent using heat pumps, Heat Recovery Systems and CHP, Volume 8, Issue 2, 1988, Pages 141–148
- [54] Peter Liebhard: Energetikai faültetvények, CSER kiadó
- [55] Friedrich E., L. Dimitri, R. Schulzke: Züchterische Maßnahmen zur Steigerung und Sicherung der Produktion und Anbautechnik der Biomasseproduktion in Forstlichen Schnellwuchsplantagen, 1994
- [56] Burger F.: Ökologische Auswirkungen von Energiewäldern, Bornimer Agrartechnisch Berichte, H35. 2004
- [57] Boelke B.: Schnellwachsende Baumarten, 2001
- [58] Gáspár-Temesi: Lineáris programozási gyakorlatok, Tankönyvkiadó, 1990
- [59a] Bernard Colman, Robert E. Beck, Elementary linear programming with applications, Elsevier Science and Technology Books, 1995
- [59b] Silvano Martello, Paolo Toth: Knapsack Problems, Algorithms and Computer Implementations, John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 1990 ISBN:0-471-92420-2
- [60] M. R. Garey, D. S. Johnson: Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. W.H. Freeman, 1979.
- [61] D.S., 1979. Hochbaum: Approximation Algorithms for NP-hard problems, PWS Publishing Company, 1997
- [62] Lueker, G.S. (1975). "Report No. 178, Computer Science Laboratory, Princeton
- [63] Goodrich, Michael T., Tamassia Romerto: Algorithm Design: Foundations, Analysis, and Internet Examples, John Wiley & Sons, 2002.

- [64] Unesco Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report, page 22.

A szerző saját publikációi:

- [65] Göblyös Béla, Prof. Dr. Réger Mihály: Matematikai modell távhőszolgáltatás hőforrásainak optimális elosztására, X. Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás, 2015. október 11-13., Balatonalmádi, ISBN 978 615 5270 20 8, p103.
- [66] Béla Göblyös, Prof. Dr. Mihály Réger: Determining the priority of heat sources used in district heating, SISY 2015. 13th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, September 17-19, 2015, Subotica, Serbia
- [67] Göblyös Béla: Távhőszolgáltatás - megújuló energiaforrások?, Doktorandusz Fórum, Miskolci Egyetem, 2014. november 20.
- [68] Béla Göblyös, Prof. Dr. Mihály Réger: Mathematical model for the optimal distribution of district heat sources, IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2016) January 21-23, 2016, Herl'any, Slovak Republic
- [69] Béla Göblyös, Prof. Dr. Mihály Réger: Study of the possible uses of local energy heat sources in district heating, XXI. International Scientific Conference of Young Engineers, March 17-18., 2016, Cluj-Napoca, ROMANIA.

A szerző saját – nem a doktori értekezéshez kapcsolódó – publikációi:

- [70] Béla Göblyös, László Tóth: Short History of Fractography, Journal of Material Testers, 4/2002, ISSN 1215-8410, p 131-133
- [71] Göblyös Béla: Az ütővizsgálat fejlődése egy PhD-hallgató szemével, Anyagvizsgálók lapja, ISSN 1215-8410 , 2001. (11. évf.) 3. sz. 106-108. old
- [72] Béla Göblyös, Fülöp Zsoltné, Králik Gyula: Judging of modern steels from the aspect of weldability, 3. GTE-MI-ITE-DVS International Welding Conference, Budapest, Hungary, June 6-9., 2000. ISBN 963 003 302 X, p. 60-65.
- [73] Zsolt Csepeli Ph.D., Béla Göblyös, Szilvia: Kőszegi: How Hot Dip Galvanizing Influences the Properties of Welded Joints, euro-techmat, First European Conference on Advanced Materials and Technologies, Bucharest, Romania, Sept. 10-14., 2000
- [74] Béla Göblyös: Short History of Notch Bead Impact Test, Junior EUROMAT, Lausanne, Switzerland, Aug 28-Sept 1, 2000,
- [75] Csepeli, Z., Göblyös, B. and Kőszegi, S. (2000) Some Comparative Test on Traditionally and Thin Slab Cast Rolled Sheets, in Steels and Materials for Power Plants, Volume 7 (eds

P. Neumann, D. Allen and E. Teuckhoff), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG. doi: 10.1002/3527606181.ch27

- [76] Varjas Péter, Kőszegi Szilvia, Gőblyös Béla: A tűzihorganyzás hatása a hegesztési varratok tulajdonságára, Gépgyártástechnológia, 1999. október, ISSN 0016-8580, p. 35-41.
- [77] Csepeli Zsolt, Gőblyös Béla, Kőszegi Szilvia: Néhány összehasonlító vizsgálat hagyományosan és vékonybrammából hengerelt lemezekben, Gépgyártástechnológia, 1999. október, ISSN 0016-8580, p. 12-19.
- [78] Gőblyös Béla: Development of the Notch Bend Impact Test, 1999. MicroCAD Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, Miskolc, 1999. február 24-25. ISBN 963 661 353 2, p.55-63.

RÖVIDÍTÉSEK

A dolgozatban használt rövidítéseket, mozaikszókat az alábbiakban foglaltam össze:

HMV	Használati melegvíz
BP	British Petrol
MKEH	Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal
EU	Európai Unió
KSH	Központi Statisztikai Hivatal
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Nemzeti Éghajlati Adatközpont)
ENSZ	Egyesült Nemzetek Szervezete
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Éghajlatváltozás Keretegyezménye)
MATÁSZSz	Magyar Távhőszolgáltatók Szakmai Szövetsége
OMSZ	Országos Meteorológiai Szolgálat
DVCSH	Dunaújvárosi Víz-, Csatorna- Hőszolgáltató Kft.
DUNANETT	Dunaújvárosi Regionális, Köztisztasági és Hulladékkezelő, Szolgáltató Nonprofit Kft.
DSzSz	Dunaújvárosi Szennyvíztisztító Kft.
DVG	Dunaújvárosi Vagyonkezelő Zrt.
PP	polipropilén, $(C_3H_6)_x$
PE	polietilén, $(C_2H_4)_x$
PVC	poli(vinil-klorid), $(C_2H_3Cl)_n$
PET	polietilén-tereftalát, $(C_{10}H_8O_4)_n$
BOI	Biológiai oxigénigény
KOI	Kémiai oxigénigény
FAO	Food and Agriculture Organization (Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet)
BKP	Bounded Knapsack Problem (Korlátos hátizsák probléma)
UKP	Unbounded Knapsack Problem (Nem-korlátos hátizsák probléma)
NP	nemdeterminisztikusan polinomális
szv.	szennyvíz
MSZKSZ	Magyar Szénhidrogén Készletező Szövetség
RHD	Rendszerhasználati díj

JELÖLÉSEK

A dolgozatban használt fontosabb jelölések magyarázatai:

$Q_{igény}$	Hőigény (adott településé), J
$Q_{rend.álló}$	Rendelkezésre álló hőigény (adott településen), J
$Q_{lak,fűtés}$	Lakossági célú fűtési hő, J
$Q_{lak,HMV}$	Lakossági célú, használati meleg víz hője, J
$Q_{egyéb,fűtés}$	Közületi célú fűtési hő, J
$Q_{egyéb,HMV}$	Közületi célú, használati meleg víz hője, J
$Q_{erdészeti}$	Erdészeti (mellék)termékből származó hőenergia, J
$Q_{hull.}$	Hulladékégetésből származó hőenergia, J
$Q_{szennyvíz}$	Hulladékégetésből származó hőenergia, J
$Q_{gmegújuló}$	Megújuló energiaforrások felhasználásával előállított hőenergia, J
$Q_{techn.}$	Technológia folyamatból származó hőenergia, J
Q_{primer}	Fosszilis energiahordozó eltüzeléséből származó hőenergia, J
η	Hatásfok
Q_1	Hulladék megsemmisítésével együtt keletkező hőenergia, J
Q_2	Technológia folyamatból származó hőenergia, J
Q_3	Megújuló energiaforrásból származó hőenergia, J
Q_4	Fosszilis energiahordozó eltüzeléséből származó hőenergia, J
$Q_{szelektív}$	Szelektív hulladék eltüzeléséből származó hőenergia, J
V_{CH_4}	Keletkező metán térfogata, m ³
KOI_{be}	Kémiai oxigénigény (itt most: beérkező szennyvíz), mg/l
H_{iszap}	Fűtőérték (itt most: iszap), MJ/kg
m_{iszap}	Tömeg (itt most: iszap), kg
$Q_{hőszivattyú}^{ny}$	Nyers szennyvízből hőszivattyúval kinyert hő mennyisége, GJ
c_{ny}	Fajhő (itt most: nyers szennyvíz), kJ/kgK
γ	Hőszivattyú jósági foka, -
$\overline{Q_{igény}}$	Fennmaradó hőigény (a modell futása során), GJ
$n_{táv hő}$	fogyasztók száma (itt most: távhővel ellátott), fő
$\overline{\Delta T_{szv}}$	átlagos hőfok különbség (itt most: szennyvízé), K
$\overline{m_{hull.}}$	átlagos tömeg (itt most: hulladéké), kg
$\overline{H_{hull.}}$	átlagos fűtőérték (itt most: hulladéké), MJ/kg
$Q_1^{száll.}$	a Q_1 hőmennyiség szállítható része, GJ
$Q_1^{nem-száll.}$	a Q_1 hőmennyiség nem-szállítható része, GJ
$Q_2^{kapcsolt}$	a Q_2 hőmennyiség kapcsoltan megtermelt része, GJ
$Q_2^{nem-kapcsolt}$	a Q_2 hőmennyiség nem-kapcsoltan megtermelt része, GJ
$Q_1^{ténny}$	a ténylegesen rendelkezésre álló hőmennyiség (a modell futtatása során), GJ
$\mu_{táv hő}$	arány, (itt most: települési távfűtési arány), -

1. SZÁMÚ FÜGGELÉK

A hazai távhőrendszerek jellemzői

A TÁBLÁZAT A DOLGOZAT VÉGÉN, A BORÍTÓBAN TALÁLHATÓ.

2. SZÁMÚ FÜGGELÉK

Globális Felmelegedés Potenciál (GWP)

Név	Kémia összetétel	Életciklus (év)	GWP (Időtáv)		
			20 év	100 év	500 év
Széndioxid	CO ₂	változó	1	1	1
Metán *	CH ₄	12±3	56	21	6.5
Dinitrogén-oxid	N ₂ O	120	280	310	170
HFC-23	CHF ₃	264	9100	11700	9800
HFC-32	CH ₂ F ₂	5.6	2100	650	200
HFC-41	CH ₃ F	3.7	490	150	45
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17.1	3000	1300	400
HFC-125	C ₂ HF ₅	32.6	4600	2800	920
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	10.6	2900	1000	310
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14.6	3400	1300	420
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	1.5	460	140	42
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	3.8	1000	300	94
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	48.3	5000	3800	1400
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	36.5	4300	2900	950
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	5100	6300	4700
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	6.6	1800	560	170
Kén-hexafluorid	SF ₆	3200	16300	23900	34900
Tetrafluormetán	CF ₄	50000	4400	6500	10000
Hexafluormetán	C ₂ F ₆	10000	6200	9200	14000
Oktfluorpetán	C ₃ F ₈	2600	4800	7000	10100
Perfluorbután	C ₄ F ₁₀	2600	4800	7000	10100

a táblázat folytatódik

Perfluorciklobután	C ₄ F ₈	3200	6000	8700	12700
Perfluorpentán	C ₅ F ₁₂	4100	5100	7500	11000
Perfluorohexán	C ₆ F ₁₄	3200	5000	7400	10700

Forrás: [64]

Meghatározása:

(GWP) : azt kifejező mérőszám, hogy a termodinamikai ciklusban felhasznált hűtőközeg 1 kg-ja kilogramm szén-dioxid-egyenértékben kifejezve, adott időhorizontra (általában 100 évre) vetítve mennyivel járul hozzá a globális felmelegedéshez. A GWP értékeit a 842/2006/EK rendelet I. melléklete szerint kell figyelembe venni.

Definíció szerint egy x komponens TH időtávra számított Globális Felmelegedés Potenciálja az adott x komponens 1 kg tömegére vonatkoztatott sugárzásos fűtési indexének adott időtávra számított integráljának és a referenciagáz 1 kg tömegére számított sugárzásos fűtési indexének idő szerinti integráljának a hányadosa:

$$GWP(x) = \frac{\int_0^{TH} a_x \cdot [x(t)] dt}{\int_0^{TH} a_r \cdot [r(t)] dt}$$

3. SZÁMÚ FÜGGELÉK

Név	Fűtőérték (MJ/kg)	Fűtőérték (MJ/m ³)
Biogáz (szennyvíztelepi)		22
Tőzeg	15	
Barnaszén	17	
Barnaszén brikett	20	
Kőszén	27-32	
Lignit	12,57	
Szalma	15	
Energianád	17	
Energiafű	17	
Napraforgósár	13,5	
Kukoricaszár	14,5	
Tűzifa ⁴⁶	7-16	
Hidrogén, H ₂	120	9,9
Torokgáz (nagyolvasztói)	1,5-2,1	2,5-3,3
Földgáz		32-42
Metán, CH ₄	50,0	32,7
Etán, C ₂ H ₆		58,2
Propán, C ₃ H ₈		83,2
Bután, C ₄ H ₁₀		108
Repceolaj metilészter	37	
Metilalkohol, CH ₃ OH	19,9	
Gázolaj	43	
Fűtőolaj	40-43	
Benzin	43	

a táblázat folytatódik

⁴⁶ Fafajától és nedvességtartalomtól függően.

Név	Fűtőérték (MJ/kg)	Fűtőérték (MJ/m3)
Papír	16	
Gumi	35	
Pamut	18	
Poliészter	31	
Polisztirol	40	
Polipropilén	43	
Poliuretán	23	

4. SZÁMÚ FÜGGELÉK

Egyes hulladékfajták átvételi ára (2014.június):

Név	Átvételi ár (Ft/kg)
Vegyes papír	14,70
Hullámpapír	20,70
PET A (vítiszta színű)	89,00
PET B (kék színű)	66,00
PET C (zöld, vagy egyéb színű)	51,00
Vítiszta fólia	93,00
Színes fólia	25,00
pp-hdpe (pl.: mosószeres, majonézes flakon)	21,00
pp-hdpe kupak	40,00
vas	35,00
alumínium	220,00
vegyes üveg	2,50
kompozit (Pl: tetrapack csomagolás)	25,00

5. SZÁMÚ FÜGGELÉK

A modell eredményei

A TÁBLÁZAT A DOLGOZAT VÉGÉN, A BORÍTÓBAN TALÁLHATÓ.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A győzelem azoké, akik felkészülten várják — az emberek ezt szerencsének hívják.”- Roald Amundsen, norvég felfedező

Köszönettel tartozom mindazoknak, akik a disszertáció elkészítése során segítettek, elsősorban, de nem kizárólag:

Prof. Dr. Réger Mihálynak, az Óbudai Egyetem rektorhelyettesének,
Prof. Dr. Tóth Lászlónak, a BAY-LOGI Intézet egykori igazgatójának,
Lenkeyné Dr. Biró Gyöngyvérnek, aki szintén a BAY-LOGI Intézet egykori igazgatója.

Munkatársaimnak:
Kozik Árpádnak, Varga Gézának és Nyalka Lászlónak.

Továbbá:
Ceglédi Attilának (DUNANETT Kft.)
Szabados Ottónak (ECOTEC Kft.)

Végezetül pedig köszönöm a szüleimnek és a családomnak, hogy munkámat türelemmel viselték.

TÁRGYMUTATÓ

A forgatókönyv.....	72, 74	hamu.....	15, 17, 31, 48, 53, 54
algoritmus	64, 65, 66, 67, 71, 72, 73, 74	használati meleg vizet	3
anaerob	54	hatásfok.....	43, 74, 76
átésztetkezés	29	hátizsák	2, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 71, 72, 82
B forgatókönyv.....	72, 73	hő ...	4, 10, 11, 20, 24, 30, 31, 38, 40, 41, 42, 43, 45,
baktérium.....	56	51, 53, 55, 57, 58, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74,	
befogadó	58	75, 76, 83	
biodízel	27, 29, 30, 32	hőelosztási feladat.....	66, 71, 72
bioetanol	27, 28, 29, 32	hőenergia	54, 55, 83
biogáz.....	54, 55, 62, 72, 73, 74	hőforrás.....	66, 68, 71
biomassza	11, 16, 25, 26, 27, 32, 75	hőlépcső.....	57
Biomassza.....	2, 25, 38, 59, 62, 75	hőszivattyú	57, 58, 76
BIZONYÍTÁS	67	hulladék 4, 15, 17, 19, 25, 27, 30, 31, 32, 38, 39, 43,	
BOI ₅	51	44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 59, 70, 71, 72, 73,	
CO ₂	7, 8, 15, 17, 23, 31, 37, 54, 77, 85	74, 76, 77, 83	
csapadék.....	37, 59	hulladékégető	32, 51, 53
Cselekvési Terv.....	10	hulladéktároló	30
deponálás	53, 55, 71, 77	iszap.....	22, 51, 52, 53, 54, 56, 70, 83
DVCSH.....	39, 40, 41, 43, 59, 82	jósági tényező	57
égetés	11, 50, 62, 68, 77	károsanyag.....	71, 74, 77
égető berendezés.....	32	kazán.....	27, 28, 41
előkezelés.....	52	kibocsátás.....	8, 37, 71, 74, 77
energetikai célú ültetvények.....	26	Knapsack Problem.....	64, 82
energiaforrás.....	10, 60, 83	kohászat	43
energiafüggőség	77	KOI ₅	51, 52
energiahordozó.....	3, 4, 17, 32, 43, 44, 60, 62, 69, 71,	kommunális szemét.....	25, 39, 45
75, 83		középhőmérséklet.....	75
ENSZ.....	4, 9, 10, 27, 82	légszennyezés.....	54
erdészeti	25, 27, 32, 39, 59, 70	megoldás	65
erőmű	14, 27, 29, 35, 37, 41	MEKH.....	11, 44, 76
fahulladék.....	59	modell.....	2, 5, 39, 40, 43, 44, 62, 63, 66, 71, 72, 73,
felső korlát.....	64, 68	74, 83, 90	
fogyasztók	4, 20, 43, 68, 70, 83	napenergia.....	3, 16, 17, 19, 20, 21, 68
folytonos	15, 65, 66	nedvességtartalom	48
fontossági érték.....	63	nem-kapcsolt	72, 74
fosszilis.....	7, 9, 11, 15, 16, 17, 36, 68, 73	nem-korlátos	64
fotoszintézis.....	26	<i>Nitrobacter</i>	56
földgáz	4, 9, 32, 41, 44, 68, 69, 73, 76, 77	<i>Nitrosomonas</i>	56
földgázkiadás.....	76	<i>NP-nehéz</i>	64, 65
földhő	21, 24	<i>NP-teljes</i>	64
fűst.....	15, 17	nyersiszap.....	53
fűtés	3, 10, 17, 20, 80	nyersvíz	57
fűtési időszak.....	3, 20, 42	nyesedék.....	59
fűtőérték.....	48, 49, 50, 59, 83	optimalizációs módszer.....	45
gáz.....	7, 11, 22, 25, 30, 31, 44, 45, 72, 79	paraméter.....	13, 48
gázmotor	11, 41, 44, 55, 58, 72	pénzügyi eredmény.....	76
geotermikus.....	7, 11, 16, 21, 22, 23, 24, 25, 68, 75	PET	89
hálózati veszteséget	43	polinomiális	65

Magyarország távfűtött településeinek adatai, energiafelhasználása, energiahordozók összetétele

	TELEPÜLÉS					Q4			Q3			Q2		Q1								
		Összes lakos	Lakások száma	Távhős lakás	Távhős lakások aránya	Földgáz	Szén	Olaj	Megújuló	Geotermikus	Éghető megújuló	Nukleáris	Technológiai	Hulladék	Kapcsolt hő	Kapcsolt vill. energia	Tüzelőanyag	Nem kapcsolt földgáz	Egyéb	Tüzelőanyag	Összes	
		fő	db	db	%	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	GWh	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
1	Ajka	29 998	12 544	7 017	55,9		3 955,0								1672,0	92,7	szén, éghető megúj.		1101,8		2773,8	
2	Almásfüzitő	2 259	1 146	903	78,8	53,2									33,0	15,2	földgáz	11,4			44,4	
3	Baj	2 803	1 040	295	28,4	10,0												8,9			8,9	
4	Baja	37 573	15 914	1 987	12,5	90,1									36,3	11,0	földgáz	43,6			79,9	
5	Balatonfűred	13 279	5 587	663	11,9	36,3									17,6	4,0	földgáz	14,0			31,6	
6	Balatonfűzfő (Fűtőigénytelep)	4 311	1 781	789	44,3	252,2									97,3	3,7	földgáz	104,7			202,0	
7	Békéscsaba	63 752		0	0,0	56,9												49,9			49,9	
8	Berettyóújfalu	15 490	6 255	631	10,1	39,8												34,1			34,1	
9	Bonyhád	13 968	5 576	865	15,5	50,0									21,1	4,9	földgáz	20,8			41,9	
10	Budaörs	27 665	9 800	2 372	24,2	132,2									24,3	5,8	földgáz	88,9			113,2	
11	Budapest	1 702 297	872 177	243 797	28,0	15 119,1		13,5					1,0	653,0	8995,8	2573,6	földgáz, olaj	4051,6	1,0	hulladék	13048,4	
12	Cegléd	38 315	15 546	1 610	10,4	74,5									53,6	15,4	földgáz	12,6			66,2	
13	Céldömölk	11 257	4 663	463	9,9	33,0									14,2	3,2	földgáz	14,6			28,8	
14	Csongrád	17 906	8 500	515	6,1	3,1			22,2									2,6	22,2	techn.	24,8	
15	Csorna	10 738	4 245	404	9,5	111,2		41,6							43,6	12,0	földgáz	52,4	35,4	olaj	131,4	
16	Debrecen	205 084	88 944	31 268	35,2	2 280,8		6,9							1523,0	412,0	földgáz, olaj	440,9	5,3	olaj	1969,2	
17	Dombóvár	20 186	8 310	1 965	23,6	109,7		1,3							36,5	8,4	földgáz	57,1	1,3	olaj	94,9	
18	Dorog-Esztergom	42 858	16 690	3 419	20,5	535,3	141,0	5,0			29,4				601,1	89,4	földgáz, szén, olaj, éghető megúj.				601,1	
19	Dunakeszi	34 936	13 846	2 569	18,6	130,0										10,2	földgáz	76,6			114,7	
20	Dunaújváros	49 183	21 780	19 341	88,8	1 880,7		10,8					2 669,5			182,5	földgáz, hulladék, techn.	1479,5	384,4	techn.	3839,5	
21	Eger	56 082	25 110	4 806	19,1	253,0									97,8	24,4	földgáz	118,5			216,3	
22	Érd	63 077	21 781	1 044	4,8	60,5									19,7	5,0	földgáz	32,4			52,1	
23	Gödöllő	32 907	11 878	1 990	16,8	128,2									28,8	7,1	földgáz	82,3			111,1	
24	Gyöngyös	32 733	14 443	2 818	19,5	123,1									42,1	10,5	földgáz	63,4			105,5	
25	Győr	128 808	55 164	23 726	43,0	2 162,2		0,8							756,3	158,1	földgáz	1069,0	0,5	olaj	1825,8	
26	Hajdúböszörmény	31 748	12 178	210	1,7	8,1												7,2			7,2	
27	Hajdúnánás	17 648	6 974	652	9,3	38,2									14,0	3,4	földgáz	19,3			33,3	
28	Hajdúszoboszló	23 349	10 301	1 216	11,8	65,3									33,5	9,4	földgáz	23,7			57,2	
29	Hódmezővásárhely	47 296	19 560	2 824	14,4	70,8			59,5									62,4	59,5	geotermikus	121,9	
30	Kaposvár	67 464	27 824	6 856	24,6	347,8									122,2	28,0	földgáz	166,5			288,7	
31	Kapuvár	10 523	4 284	23	0,5	12,0												8,6			8,6	
32	Kazincbarcika	30 185	12 579	8 240	65,5	549,0									187,3	54,8	földgáz	278,2			465,5	
33	Kecskemét	110 316	46 048	11 194	24,3	586,3									159,2	44,1	földgáz	361,6			520,8	
34	Keszthely	21 201	9 785	1 180	12,1	87,0									37,7	9,4	földgáz	36,3			74,0	
35	Kiskunfélegyháza	30 730	14 567	1 492	10,2	67,9									35,6	9,9	földgáz	22,6			58,2	
36	Kiskunhalas	29 168	14 567	1 280	8,8	58,1									21,5	5,0	földgáz	25,8			47,3	
37	Kisvárd	17 246	6 863	1 240	18,1	93,3									35,6	9,9	földgáz	45,7			81,3	
38	Komárom	19 563	8 115	1 793	22,1	114,6									25,7	5,9	földgáz	72,0			97,7	
39	Komló	26 210	11 160	5 059	45,3	358,4									298,4	41,5	földgáz	17,3			315,7	
40	Körmend	12 128	5 012	1 621	32,3	49,0			0,3		30,6				17,6	4,1	földgáz	26,2	26,3	éghető megúj., egyé	70,1	
41	Kőszeg	12 021	4 548	482	10,6	33,4									7,8	1,8	földgáz	20,4			28,2	
42	Lábatlan	4 968	2 180	292	13,4	19,0												15,9			15,9	
43	Makó	24 658	11 401	799	7,0	51,4												46,6			46,6	
44	Mátészalka	17 557	7 013	1 702	24,3	98,0					21,7				37,4	10,2	földgáz	46,4	17,7	éghető megúj.	101,5	
45	Mezőhegyes	5 578	2 899	510	17,6	30,9												26,3			26,3	
46	Miskolc	171 096	75 429	31 369	41,6	1 750,8			0,3						687,9	189,1	földgáz	845,4	0,3	egyéb megújuló	1533,7	
47	Mohács	19 035	8 661	2 015	23,3	89,1									47,3	6,1	földgáz	26,6			73,9	
48	Mosonmagyaróvár	31 799	12 369	3 619	29,3	350,3		14,4							169,2	48,4	földgáz, olaj	88,6	63,4	földgáz, olaj	321,1	
49	Mór	14 466	5 637	1 210	21,5	79,4									50,8	11,3	földgáz	17,5			68,3	
50	Nagyatád	11 275	5 058	240	4,7	5,1			3,1									4,7	3,1	geotermikus	7,8	
51	Nagykőrös	25 127	10 324	534	5,2	26,0									15,8	4,1	földgáz	6,5			22,3	
52	Nyergesújfalu	7 603	2 888	989	34,2	50,9												45,9			45,9	
53	Nyírbátor	12 674	4 573	120	2,6	12,4												10,5			10,5	
54	Nyíregyháza	116 874	49 515	16 063	32,4	1 378,6		4,2							800,3	176,5	földgáz, olaj	381,8			1185,7	
55	Óroszlány	19 133	7 894	4 661	59,0																	

A modell segítségével kapott eredmények

F	S	T	U	V
Hukúlgættur arneya á hóben	Sonneyr nap arney	Höfnunary arneya á hóben	Tölubók	
			Q4 tölub. óst.	Q3 tölub. óst.
%	%	%	Q2 tölub. óst.	Q1 tölub. óst.
19%	8%	10%	3 955 000	
16%	7%	4%	31 200	
33%	14%	10%	10 000	
86%	36%	43%	90 100	
90%	38%	45%	90 300	
24%	10%	10%	25 200	
			56 900	
101%	43%	54%	39 800	
65%	28%	37%	30 600	
37%	16%	20%	132 000	
46%	20%	25%	151 22 600	1 000
99%	42%	53%	15 600	653 000
100%	45%	50%	35 000	
188%	86%	105%	3 100	22 200
105%	44%	61%	10 200	
35%	13%	17%	2 287 700	
44%	19%	23%	111 000	
48%	20%	25%	681 300	27 600
54%	23%	29%	130 000	
13%	5%	7%	1 891 500	76 379
59%	25%	31%	253 000	
183%	77%	97%	60 000	
55%	23%	29%	128 200	
57%	24%	30%	123 100	
25%	11%	13%	2 160 000	
563%	238%	298%	8 100	
107%	45%	57%	38 200	
99%	40%	50%	65 300	
72%	31%	38%	20 800	59 500
42%	18%	22%	347 800	
1918%	816%	1017%	3 1200	
16%	7%	9%	59 600	
43%	18%	23%	586 300	
97%	41%	51%	87 000	
113%	49%	62%	67 800	
144%	61%	76%	58 100	
56%	24%	30%	33 300	
47%	20%	25%	144 000	
24%	10%	13%	358 400	
32%	14%	17%	49 000	30 900
90%	38%	48%	35 400	
83%	35%	43%	97 000	
167%	71%	88%	51 400	
42%	18%	22%	98 000	21 700
79%	32%	40%	98 000	
27%	11%	14%	1 750 800	
49%	21%	26%	89 100	
34%	14%	18%	365 700	
46%	19%	24%	79 400	
239%	101%	127%	5 100	1 100
201%	85%	107%	26 000	
28%	12%	15%	40 900	
349%	147%	184%	12 400	
33%	14%	18%	342 800	
18%	7%	9%	460 800	
28%	12%	15%	379 800	
32%	14%	17%		184 300
23%	10%	13%	1 732 300	688 700
20%	8%	10%	21 000	
18%	8%	10%		
52%	22%	28%	2 400	
76%	32%	40%	4 900	
57%	24%	30%	335 100	
146%	62%	77%	33 500	
62%	26%	33%	361 000	
52%	22%	28%	85 500	
70%	30%	37%	88 500	
38%	16%	20%	3 660	
123%	52%	65%	92 500	
41%	18%	22%	788 700	
17%	7%	9%	4 285 500	
35%	13%	17%	1 218 200	20 700
29%	12%	15%	324 900	
60%	25%	32%	79 000	
99%	42%	52%	1 480	82 600
35%	16%	20%	31 800	
38%	16%	20%	47 500	
22%	9%	12%	1 124 400	
79%	33%	42%	99 500	
38%	16%	20%	67 600	5 300
43%	18%	23%	800 100	
32%	13%	17%	660 300	70 100
39%	16%	21%	99 600	
51%	21%	27%	1 490	77 500
14%	6%	7%	145 800	
14%	6%	7%	357 600	
115%	49%	61%	28 700	
62%	26%	33%	25 100	
56%	23%	29%	139 600	
24%	10%	13%	243 300	
37%	16%	20%	397 600	
			258 600	
45%	19%	24%	28 700	
128%	54%	68%	167 700	
			50 180 400	832 000
				261 679
				653 000

B Model											
AD	AE	AF			AG	AH	AI	AJ			
Kapokoh h	Nem kapokoh h	Kapokoh h-hlogia	Biopie helenia aiata		Nem kapokoh-QI nem mullitah	AG-W	QI ai femurahi hlogia	Hoolitah h			
QI	QI	QI	QI	%	QI	QI	QI	QI			
1 627 000	11 460	1 655 500	31 374	1 039	-26 794	98 701	2 382	2 382	98 705		
33 000	0	0	0	0	4 807	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	6 679	717	717	717	0		
36 000	43 600	15 113	63 698	9 668	81 623	0	81 623	0	81 623		
17 500	13 700	10 162	23 596	3 426	27 963	0	27 963	0	27 963		
104 700	104 700	24 324	0	253 841	100 000	90 000	90 000	90 000	0		
0	0	0	0	0	49 900	49 900	49 900	0	0		
21 100	20 900	13 667	36 938	5 490	20 740	15 119	15 119	15 119	0		
8 900	8 900	11 253	55 658	67 968	23 857	13 786	13 786	13 786	0		
2 895 800	401 000	7 834 654	13 842 16	2 188 665	-2 813 328	0	2 813 328	0	2 813 328		
35 000	12 600	82 303	60 303	88 000	-20 066	0	0	0	0		
14 200	14 200	7 092	45 656	4 640	22 092	0	22 092	0	22 092		
0	0	0	0	0	-15 556	64 284	64 284	64 284	0		
43 600	43 600	97 543	124 778	18 903	14 903	0	18 907	18 907	0		
1 523 000	540 100	1 404 547	8 058	250 919	-258 977	0	258 977	0	258 977		
35 000	477 100	25 437	31 515	39 350	-8 309	0	8 309	8 309	0		
661 100	0	578 880	3 843	-25 649	-131 329	0	131 329	0	131 329		
0	0	0	0	0	32 550	32 550	32 550	32 550	0		
0	0	0	0	0	1 432 979	1 308 119	1 308 119	0	0		
97 800	118 500	64 371	355 649	64 666	-59 048	0	59 048	0	59 048		
18 700	32 400	0	151 806	-14 128	18 809	0	18 809	0	18 809		
28 800	82 500	12 087	50 908	56 929	-11 165	0	11 165	0	11 165		
42 100	63 000	22 872	67 489	32 550	-50 248	0	50 248	0	50 248		
556 300	1 000 000	680 029	951 172	684 928	-18 812	88 625	684 928	88 625	0		
13 000	19 700	17 715	68 959	1 404	35 577	0	35 577	0	35 577		
44 000	23 300	49 786	42 569	1 697	57 866	0	57 866	0	57 866		
0	0	0	0	0	91 512	91 512	91 512	91 512	0		
122 200	166 500	85 157	31 518	107 869	-52 449	0	52 449	0	52 449		
0	0	0	0	0	25 110	25 110	25 110	25 110	0		
187 300	279 200	170 933	292 978	251 332	179 219	179 219	179 219	179 219	0		
159 200	361 600	97 895	40 699	263 343	0	739	739	739	0		
37 700	36 000	24 673	33 898	15 460	-40 096	0	40 096	0	40 096		
35 000	16 600	56 661	0	51 853	-70 824	0	70 824	0	70 824		
21 500	25 200	2 107	93 788	-5 315	88 823	0	88 823	0	88 823		
45 000	45 700	26 363	26 680	31 941	8 903	8 903	8 903	8 903	0		
27 500	24 900	46 399	56 661	81 465	81 465	8 145	8 145	8 145	0		
16 700	15 900	0	11 300	-4 537	70 515	0	70 515	0	70 515		
27 500	36 200	10 927	30 490	15 495	-12 238	0	12 238	0	12 238		
0	0	0	0	0	20 446	15 387	15 387	15 387	0		
0	0	0	0	0	11 244	12 254	12 254	12 254	0		
0	0	0	0	0	22 638	-13 511	0	13 511	0		
37 400	46 000	28 063	59 788	31 420	-8 703	0	8 703	8 703	0		
20	20	20	20	20	8 469	0	8 469	8 469	0		
687 900	845 400	587 480	15 7788	684 327	251 869	251 869	251 869	251 869	0		
47 500	26 000	35 769	52 848	8 100	41 551	0	41 551	0	41 551		
80 600	152 100	61 016	61 016	61 016	-8 208	0	8 208	8 208	0		
15 900	17 500	43 295	13 560	9 300	-26 836	0	26 836	0	26 836		
0	0	0	0	0	-1 014	35 100	35 100	35 100	0		
15 800	0	2 055	90 449	-15 552	-54 719	0	54 719	54 719	0		
0	0	0	0	0	23 175	23 175	23 175	23 175	0		
0	0	0	0	0	732	-25 048	0	25 048	0		
0	10 800	734 340	8 564	276 038	-7 826	0	7 826	7 826	0		
128 500	121 900	1 359	1 359	-1 681	-62 116	0	62 116	62 116	0		
154 700	175 400	134 869	13 669	143 487	57 833	57 833	57 833	57 833	0		
184 800	0	173 313	3 199	-176 68	-64 941	0	64 941	64 941	0		
1 225 300	127 700	1 133 340	7 805	-19 857	-153 888	0	153 888	153 888	0		
0	0	0	0	0	51 900	41 081	41 081	41 081	0		
0	50 000	0	0	-295	-1 086	0	1 086	1 086	0		
23 200	16 800	15 268	35 598	4 878	-10 112	0	10 112	10 112	0		
36 300	221 600	43 975	37 090	182 574	77 880	77 880	77 880	77 880	0		
15 800	12 500	9 040	44 498	1 754	-27 257	0	27 257	27 257	0		
20 900	21 500	12 920	36 487	10 306	10 306	10 306	10 306	10 306	0		
0	41 000	40 202	17 6128	12 347	-32 956	0	32 956	32 956	0		
14 200	15 500	8 081	38 576	26 360	-12 932	0	12 932	12 932	0		
12 900	15 000	8 081	38 576	35 500	-32 524	0	32 524	32 524	0		
626 200	94 100	593 338	5 475	41 576	-100 131	0	100 131	100 131	0		
3 673 700	0	0	0	0	55 939	0	55 939	55 939	0		
428 100	692 900	228 362	316 678	332 880	103 393	103 393	103 393	103 393	0		
109 100	173 100	89 341	188 513	141 938	56 312	56 312	56 312	56 312	0		
29 900	37 000	17 391	43 069	17 236	-36 635	0	36 635	36 635	0		
0	0	0	0	0	-26 033	0	26 033	26 033	0		
0	21 600	0	0	0	21 560	2 665	2 665	2 665	0		
440 600	472 800	383 556	134 628	16 252	1 826	1 826	1 826	1 826	0		
0	0	0	0	0	180 616	180 616	180 616	180 616	0		
0	40 000	10 097	58 040	5 370	-55 099	0	55 099	55 099	0		
164 000	162 100	119 911	28 518	51 243	27 748	27 748	27 748	27 748	0		
195 300	340 700	150 903	3 650	269 310	77 703	77 703	77 703	77 703	0		
0	66 700	0	0	52 098	12 894	12 894	12 894	12 894	0		
1 193 200	1 880 400	3 000	78 817	-11 082	-55 223	0	55 223	55 223	0		
126 500	1 200	1 133 992	3 468 818	-27 467	-324 813	0	324 813	324 813	0		
8 900	9 900	117 167	7 671	173 427	133 240	133 240	133 240	133 240	0		
4 900	5 900	0	2 848	70 795	67 811	67 811	67 811	67 811	0		
16 100	15 900	15 513	16 519	1 527	-9 416	0	9 416	9 416	0		
28 800	35 100	9 264	65 703	9 910	-15 637	0	15 637	15 637	0		
80 800	134 500	69 590	154 541	116 570	67 710	67 710	67 710	67 710	0		
160 800	388 500	126 313	22 288	333 136	-15 328	0	15 328	15 328	0		
0	21 600	0	0	17 760	7 432	7 432	7 432	7 432	0		
26 250 000	14 331 800	23 599 182	9 612 699	-3 951 443	3 391 797	6 444 180	6 444 180	6 444 180	0		

A Modeli						
AK	AL	AM	AO	AP		
El nien ignite flugte	El nien ignite flugte	Megmentum baluda	Megmentum mognomus	Dowadit kolob mogarutia	Sofitia kolob mogarutia	
Gj	milja Ft	t	t	milja Ft	milja Ft	
1311	12.3	438	561	62.3	5.8	
10	0.0	399	47	5.2	0.3	
8790	33.3	6101	713	77.0	4.8	
1396	18.8	2162	250	27.7	1.7	
1380	13.1	683	80	8.8	0.5	
2766	10.0	2398	280	31.1	1.9	
1923	19.2	2138	250	27.7	1.7	
113520	6049.0	3752	439	481.9	29.5	
842333	32756.0	38437	39166	4357.9	267.0	
1380	13.1	683	80	8.8	0.5	
19780	76.9	1788	209	23.2	1.4	
0	0.0	3259	381	42.2	2.6	
14088	76.9	1629	209	23.2	1.4	
127911	4935.0	3410	3394	441.8	25.0	
84486	3366.0	3186	372	41.3	2.3	
15399	39.4	6399	738	82.2	5.0	
14662	39.4	5308	626	69.2	4.2	
77353	306.6	4308	976	108.9	6.6	
169991	738.9	9227	1125	126.7	7.6	
1380	13.1	830	95	10.2	0.6	
97582	37.9	4554	532	59.0	3.6	
113343	439.6	5357	647	71.7	4.4	
98340	3103.7	3469	413	45.6	2.8	
0	0.0	4669	545	60.5	3.7	
29201	113.6	2474	312	34.6	2.1	
48786	19.7	3399	401	51.2	3.1	
8790	33.3	7489	876	97.2	5.9	
294237	1144.0	10667	1266	138.2	8.4	
1090	3.9	1642	192	21.3	1.3	
1380	13.1	4253	503	55.5	3.4	
47466	186.1	17054	2063	228.7	13.9	
45233	176.8	3731	438	46.6	2.8	
1380	13.1	5685	683	75.5	4.6	
45305	176.8	5585	652	72.4	4.4	
95153	214.5	2401	307	34.1	2.1	
95150	207.5	313	383	46.3	2.8	
21930	817.0	4279	500	55.4	3.4	
0	0.0	1922	224	24.9	1.5	
22590	87.7	1784	201	22.6	1.4	
8790	33.3	836	95	10.2	0.6	
80587	119.0	4371	531	56.6	3.4	
75410	25.5	2689	314	34.8	2.1	
1380	13.1	474	56	6.2	0.4	
129344	408.8	2818	3379	374.6	22.8	
78385	304.9	3328	388	43.0	2.6	
1606	66.2	4783	572	63.0	3.8	
14962	213.8	2163	252	28.0	1.7	
0	0.0	1939	227	25.1	1.5	
14088	89.5	3399	401	51.2	3.1	
40085	179.0	1107	129	14.3	0.9	
8807	25.9	1753	205	22.7	1.4	
67190	2410.0	18683	2218	245.9	15.0	
1380	13.1	474	56	6.2	0.4	
218327	927.7	3768	469	74.2	4.5	
1380	13.1	5124	620	69.0	4.3	
135732	4953.8	38653	3169	343.1	20.9	
42896	166.7	77	85	9.4	0.6	
0	0.0	53	6	6.7	0.4	
1286	28.5	494	156	17.2	0.9	
93035	136.3	2384	287	31.6	1.8	
144462	933.0	7005	818	90.7	5.5	
15379	60.6	1749	227	25.2	1.5	
1380	13.1	4789	572	63.0	3.8	
33084	206.3	2363	276	30.6	1.9	
43851	176.5	2428	307	34.8	2.1	
1380	13.1	5128	620	69.0	4.3	
41844	162.7	4743	536	57.2	3.5	
260398	1981.6	9465	1106	122.6	7.5	
1380	13.1	2228	271	31.5	1.8	
105787	418.2	2752	3356	372.1	22.7	
229646	893.5	5690	665	73.7	4.5	
70991	27.6	3462	421	46.7	2.8	
1380	13.1	4879	586	64.3	3.8	
28157	94.0	1264	148	16.4	1.0	
20	0.0	363	113	12.5	0.8	
80519	336.4	16437	1968	184.1	11.4	
0	0.0	474	472	52.4	3.2	
48846	186.0	1572	184	20.4	1.2	
1380	13.1	1278	153	16.5	1.0	
47035	189.7	12434	1497	166.0	10.1	
79118	30.7	3212	306	34.0	2.1	
0	0.0	3428	414	47.8	2.9	
94370	366.6	11663	1339	148.1	9.1	
231086	898.9	10688	314	34.8	2.1	
1380	13.1	1745	201	22.6	1.4	
134240	441.2	5395	636	69.9	4.3	
156862	687.0	3254	380	42.2	2.6	
34375	123.5	3386	1160	126.6	7.8	
17953	68.6	609	81	8.9	0.5	
1380	13.1	4789	572	63.0	3.8	
2408070	9365	84698	9897	1079.1	66.1	