

**Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei**

**VIZIKÖZMŰ HÁLÓZATOK ENERGIA-FELHASZNÁLÁSÁNAK CSÖKKENTÉSE**

**Zsabokorszky Ferenc**

**Témavezető:**

Prof. dr. Sinóros - Szabó Botond  
az MTA Doktora



**DEBRECENI EGYETEM**  
**Kerpely Kálmán Doktori Iskola**

Debrecen  
2015

## 1. BEVEZETÉS

Az elektromos energia – a mindennapi életben – teljes mértékben elfogadott többségi erőforrás mind az ellátottsági szintje, mind a környezeti hatása. A termelést és komfortot szolgáltató ellátottsági szintje, illetve a környezetre gyakorolt hatása egyre inkább harmonikus jelleget ölt.

Mindezt főleg azóta láthatjuk, amióta a megújuló energiákkal kapcsolatos érdeklődés előtérbe került. A korábbi évtizedekben a források kiapadhatatlannak tűntek, vagyis viszonylag kiegyensúlyozott állapotok uralkodtak a kereslet és kínálat viszonyában. Az urbanizáció fejlődése, ill. az életszínvonal emelkedése, továbbá az erőforrás-készletek átrendeződése, mint az olajválság, időről-időre előtérbe állította az energetikai kérdések vizsgálatát.

Ma már egyre inkább napi aktualitássá válik a környezet és az energia kapcsolata, és ez a tendencia a lakosság és az ipar ellátását végző vízi közmű szolgáltatók körében is megjelenik. Minden jel arra enged következtetni, hogy az energetika a jelen kor technikai és társadalmi tevékenységét leginkább befolyásoló termelői és szolgáltatási forrás, szoros összefüggésben a környezetvédelemmel és a gazdasággal hasznosulhat.

Az infrastruktúrán belül a másik kiemelkedő, hanem az első erőforrás a vezetékes ivóvízellátás, melynek hatékony működtetése a társadalom fejlettségének egyik legfontosabb értékmérője. A történelem számos helyen bebizonyította már, hogy a közművek megfelelő színvonalon történő kialakítása és működtetése alapvető társadalmi érdek. Magyarországon a következő évtizedekben a vízi közmű hálózatok fejlesztése, bővítése, annak hatékony működtetése a gazdaság egyik legnagyobb kihívásai közé fog tartozni. Fejlődését, fejleszthetőségét részben befolyásolni fogja a felhasználható energia mennyisége és annak ára.

Megfigyelhető, hogy a múlt század közepétől jelentős mértékben nőtt, és folyamatosan növekszik az energia igény, az ipari fejlődés és a népesség növekedése (ENSZ, 1987). Széles körben elfogadottá válik, hogy a jelenlegi energia rendszerünk, kezdve az elsődleges energiaforrásoktól egészen a végfelhasználókig nem fenntartható. Egyre nagyobb aggodalomra ad okot a városok levegőjének szennyezettsége és az üvegházhatású gázok okozta globális felmelegedés. Mindemellett a lassan, de biztosan elapadó – klasszikus – fosszilis energiaforrások komoly energiahiánnyal fenyegetnek.

A kialakuló helyzetben napjaink egyik legégetőbb szakmai, gazdasági és egyben politikai feladatává vált egy globális léptékben fenntartható, működtethető energiaellátási és felhasználási rendszer kiépítése.

Energiaellátási oldalról a legfontosabb feladat olyan technológia alkalmazása, amelynek révén csökkenthető az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklése. Ezt leginkább a megújuló energiaforrások egyre nagyobb mértékű kihasználása révén lehet elérni. Politikai, ipari, gazdasági és szakmai csoportok működnek együtt, a különböző megoldási lehetőségek kidolgozása és a technológiák fejlesztése érdekében. Az energiafelhasználási cél, a GDP-re vonatkoztatott mennyiség csökkentése. Ez a lakossági és az ipari energia igények módosítását, illetve gazdaságos hasznosítását jelenti.

Ha energia megtakarításról beszélünk, általában és alapvetően két lehetőség kerül mérlegelésre. Az egyik lehetőség az energiatakarékos technológiák bevezetése, energiatakarékosabb eszközök telepítése, a másik lehetőség az üzemelő rendszerek felhasználásának optimalizálása.

Az elmúlt időszakban a vízellátás és a szennyvíztisztítás költségei folyamatosan emelkedtek. A szolgáltatók a tulajdonosi jogokat gyakorló önkormányzatokkal állandó alkut folytattak a díjak elfogadtatásáért.

A jelenlegi kormányzat a díjmegállapítást központi, állami kézbe helyezte és a díjak fokozatos csökkentésére törekszik. Ennek oka, hogy európai összehasonlításban a legdrágábban szolgáltattunk, ezért a fogyasztók nehezen tudják fizetni a jövedelemnövekedésüket gyakran meghaladó szolgáltatási árakat. A díjemelések csökkentése érdekében – a kormányzati törekvésekkel összhangban – a vízi közműszolgáltatók kiemelt feladatként kezelik a víztermelés és - ellátás, valamint a szennyvíztisztítás energia felhasználásának folyamatos optimalizálását.

Korábban a vízellátó hálózatokat és a szennyvíz átemelőket nagyobb kapacitásra méretezték, ugyanakkor az elmúlt 25 év jellemzője a vízfogyasztás drasztikus csökkenése és ennek következtében a kapacitások kihasználásának romlása. A többlet kapacitások feltárása és kihasználása révén jelentős megtakarításokat lehet elérni, amely a fogyasztók kiadásait lényegesen csökkentheti.

A módosulások hatásának vizsgálata során új, horizontális megközelítésre volt szükség, amely a vízmozgatás teljes folyamatát ellenőrzi, a vízkivételtől a tározóig. A legnagyobb energia megtakarítás érdekében az ellátási és a tisztítási technológiai szivattyúkat továbbá a hálózati szivattyúkat – működésük során – a felhasználás figyelembe vételével kell elemezni, és a kapott eredmények alapján azok optimális működését kell meghatározni.

A vízszállító rendszer minden elemének és azok jellemzőinek figyelembe vételével szabályozzuk a szivattyúkat, hogy – lehetőség szerint – mindig az optimális energia felhasználással üzemeljenek.

Az értekezés célkitűzései:

- a rendelkezésre álló energiafelhasználási optimalizációs algoritmus adaptálásával, alkalmazásával mérések végzése a magyar vízi közmű szolgáltatóknál az üzemelési energia hatékonyságának vizsgálata céljából, kWh/m<sup>3</sup> mérőszámmal jellemezve,
- a mérések alapján meghatározni a potenciális megtakarítási mértékét: kWh-ban és hosszú távon a megtakarítható működési költséget, valamint CO<sub>2</sub> kibocsátás, ill. megtakarítás mértékét,
- a vizsgálatok eredményeképpen feltárt potenciális megtakarítás elérhetőségének ellenőrzése különböző vízműveknél,
- a vizsgálatok értékelése és a kapott eredmények alapján további energia potenciál megtakarításokra javaslat tétel és hatékonyság növelésére új megoldások javaslata.

Az értekezés célkitűzései összhangban vannak az Európai Unió célkitűzéseivel. Az *Európai Parlament és a Tanács 2005/32/EK irányelve (2005. 07. 06.) az energia felhasználó termékek környezetbarát tervezésére vonatkozó követelmények megállapításának kereteiről* szóló 4. bekezdése szerint „az energiahatékonyság javításának a leghatékonyabb módja, a végfelhasználás csökkentése”. Ezen célirányzat megvalósításához az alkalmazott eljárás és a mérési eredmények alapján elvégzett módosítások mintaként szolgálhatnak a hazai rezsicsökkentések végrehajtásában (Léderer, 2010; Horváth, 2002; Gazdasági és Környezeti Minisztérium, 2003).

## **2. ANYAG ÉS MÓDSZER**

Az energia megtakarítási potenciál feltárására irányuló méréseink fő jellemzője a szivattyúknak a beépítés helyén történő tesztelése vagyis „on-line” üzemmódban, azaz azok működés közbeni ellenőrzése. A mérések alapján legfontosabb feladat a megtakarítási potenciál növelése, amelyet a teszt során mért fajlagos hatékonysági értékekből számított megtakarítás jellemez. A mérési módszerből következően nagy pontossággal modellezni lehet a várható, ill. elérhető megtakarítás mértékét.

### **2.1.A kísérletek helye**

A kísérletek helyéül kis- és közepes települések vízigényét kielégítő vízmű telepeket választottunk, amelyek esetében a vízszolgáltatás költsége nagymértékben függ a hálózat és a szivattyú üzemelési kapcsolatától. A vizsgálatokat az ivóvíz és a szennyvíz hálózatokon egyaránt végeztük.

#### **2.1.1. Ivóvíz szolgáltató telepek**

- Dombóvári Vízmű
- Paksi Vízmű

#### **2.1.2. Szennyvíz hálózatok**

- Székesfehérvári szennyvíztelep és hálózat
- Csákvári hálózat
- Soproni hálózat

## **2.2. Kísérleti eszközök**

Az energia mennyiség csökkentésére, ill. optimalizálására a szállított vízmennyiség és a felhasznált elektromos áram kapcsolata alapján végrehajtandó módosítások révén kerül sor. A szivattyúk energetikailag leggazdaságosabb üzemét, az adott üzemi körülmények teljes körét figyelembe véve egy frekvenciaváltó és egy ultrahangos áramlásmérő segítségével megbízható teszteléssel végeztem el.

A mérés alapja, hogy a frekvenciaváltón megjelenik a szivattyú pillanatnyi áramfelvétele [kW] és az áramlásmérőn megkapjuk az időegység alatt átfolyt víz mennyiségét [m<sup>3</sup>/h]. A mért adatok viszonyszámának kalkulációja alapján kapjuk meg a fajlagos energiafelhasználást kWh/m<sup>3</sup> értékben. A teszt során a sorozatméréseket úgy kell végeznünk, hogy folyamatosan változtatjuk a frekvenciaváltó fordulatszámát. A mérést 30–50 Hz-es határok között végeztük. A minimum frekvencia értékét általában a szivattyúgyártó ajánlásai alapján kell figyelembe venni.

### 2.2.1 Az alkalmazott frekvenciaváltó jellemzői

A DANFOSS gyártó cég AQUA DRIVE típusú készülékeit alkalmaztuk, amelyek jellemzői:

- Mérési tartomány: a 10 kW teljesítmény alatti tartományban működő szivattyúkhöz – leggyakrabban – víztermelő kutakról van szó – AQUA DRIVE 5,5-10 kW teljesítményű, e felett 50 kW teljesítményű típust alkalmaztunk. A mérés pontosságának érdekében az alkalmazott frekvenciaváltó mérési tartományának illeszkednie kell a vezérelt szivattyúhoz. Azokon a mérési helyeken ahol a frekvenciaváltót korábban beszerelték ott annak alkalmazására került sor. Legtöbb esetben DANFOSS típussal találkoztunk. Ezt a körülményt az egyes tesztmérések leírásánál jelezzük (DANFOSS, 2006; DANFOSS, 2009).
- Hálózati csatlakoztatás úgy történik a mérés során, hogy az energia betáplálásnál a szivattyú és a betáplálás közé ideiglenes jelleggel kerül bekötésre a frekvenciaváltó. A szivattyú motorjára a már modulált frekvencia kerül. A teszt során alkalmazott frekvenciaváltók alaptípusa megegyezik azokkal a frekvenciaváltókkal, amelyek a későbbiek során beépíthetőek, ill. Dombóváron a kísérleti alkalmazás során be is építettük.
- Az 50 kW feletti teljesítmény esetén csak beépített készülékkel végeztük a mérést. A mobil eszköz beépítése az e feletti tartományban nehezen kivitelezhető.

### 2.2.2. Az ultrahangos átfolyásmérő jellemzői

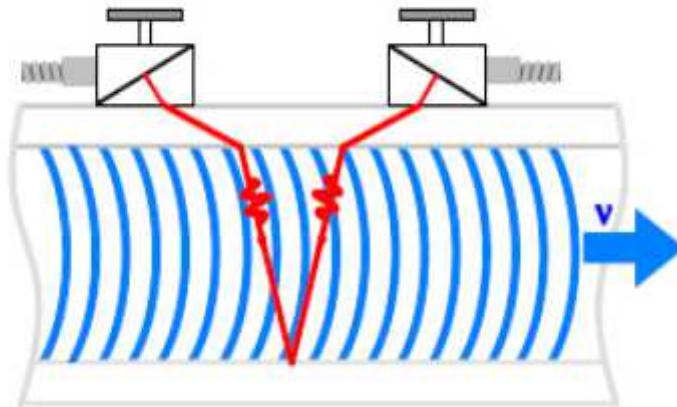
A FLEXIM gyártó cég FLUXUS ADM 6725 típusú készülékét (1. ábra) alkalmaztuk a hálózatok különböző keresztmetszetén áramló folyadéktest meghatározására, amelynek jellemzői:

- a vizsgált csőtípusok és átmérők mérésére alkalmas,
- a mobil mérési körülményekhez igazodva/adódóan egyszerűen és gyorsan kezelhető. Vizes és nedves körülmények között is használható.



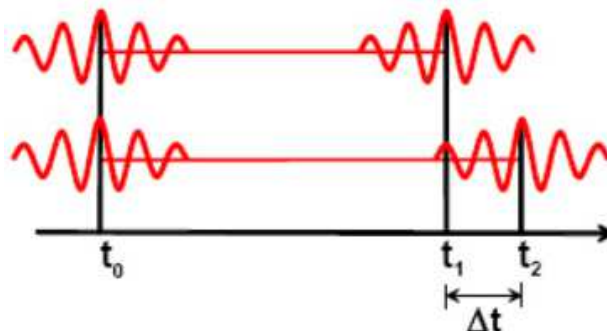
1. ábra: A tesztmérésekhez alkalmazott mobil ultrahangos áramlásmérő kezelőfelülete

Az áramlásmérő ultrahangos jeleket használ a folyadék áramlásának méréséhez, az úgynevezett áthaladási idő módszert alkalmazza. Az ultrahangos jeleket a cső egyik oldalán elhelyezkedő jelátalakító bocsátja ki, ezek visszatükröződnek a szemközti oldalon és a második jelátalakító veszi őket (2. ábra). A jelek az áramlás irányába, illetve arra ellentétesen kerülnek kibocsátásra (FLEXIM, 2008).



**2. ábra:** Az ultrahangos jelek áthaladási útja a folyadéktestben

Mivel a közeg, amiben a jelek terjednek, áramlik, a hangjelek áthaladási ideje az áramlás irányában rövidebb, mint az áthaladási idő az áramlás irányával ellentétesen. A  $\Delta T$  áthaladási idő mérhető, és ez lehetővé teszi az ultrahangos jelek haladási útján az átlagos áramlási sebesség meghatározását (3. ábra).



**3. ábra:** Áthaladási idődifferencia  $\Delta T$  keletkezése

Az egyes tesztmérések leírásánál elemezzük azokat a jellemzőket, amelyek a folyadékáramlást befolyásolhatják a tesztmérés szempontjából, pl. tolózárak állapota. Az adott mérési tartományban valamennyi beállítás rögzítésre kerül a 4. ábrán bemutatott adatlapon.

Szivattyú teszt adatlap					
<b>VÍZMŰ</b>		Helyszín: _____			
		Datum: _____			
		Jele: _____			
Szivattyú megnevezése:					
		adattfelvétel			
%	Hz	[Q-1] m <sup>3</sup> h	[P-1] kW	[Q-2] m <sup>3</sup> h	[P-2] kW
40	20				
44	22				
48	24				
52	26				
56	28				
60	30				
64	32				
68	34				
72	36				
76	38				
80	40				
84	42				
88	44				
92	46				
96	48				
100	50				

4. ábra: Egy szivattyú tesztmérési adatlapja

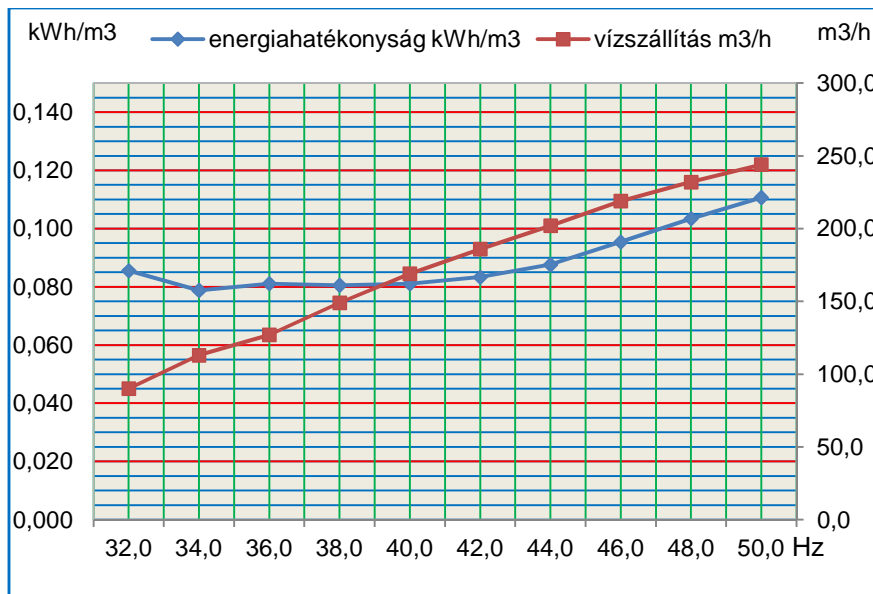
### 2.3 A mérések végzése

A dán PICCA cég magyarországi fejlesztő partnereként végeztük a mérési módszerek adaptálását (Steffensen, 2011).

A szabályozás célja optimális állapot elérése, amely a munkapont közeli üzemeltetés esetén áll elő, vagyis az említett szabályozási módokkal a kívánt hidraulikai igényeket kielégítve a szivattyúkat alacsony energiafelhasználással üzemeltetjük (Józsa 2013; MAVÍZ 2010). Itt azonban még mindig nem vesszük figyelembe a szivattyú motorjának, illetve a komplett egységnek a legjobb hatásfok- pontját. Ez általában nem egyezik meg a vízigények adta munkaponttal, vagyis a legjobb hatásfokú munkapont megállapítása a beépítés helyén üzem közben történő méréssel, ill. irányítás elérésével történhet.

A mérések célja a legjobb hatásfok-pont megállapítása a beépítés helyén, üzem közbeni tesztméréssel.

A vizsgálatok során alkalmazott eszközök elektronikus üzemelésűek. A mérést hordozható számítógépen Excel program segítségével rögzítjük. Az adatok értékelése során egyenként kiszámításra kerülnek a fajlagos energiafelhasználási mutatók és létrehozuk az ún. energiaprofil. Egy minta energia profilt a 5. ábrán mutatok be.



**5. ábra:** Egy szivattyú energiahatékonyságának és vízszállításának vizsgálata, 32–50 Hz motor terhelés esetén

A leghatékonyabb fajlagos energia felhasználási értéken történő üzemeltetéssel elérhetjük, hogy a szivattyú minden esetben energetikailag optimális üzemállapot tartományban dolgozzon.

A víziközműveknél megfogalmazott és maximálisan elvárt követelmény a szolgáltatás mennyiségének elsődleges biztosítása.

Ennek következtében – jelenleg – az optimális beállítás nem minden esetben alkalmazható, vagyis nem mindig érhető el, hogy a fajlagos energia felhasználás a legkedvezőbb legyen.

Az elvárt és meghatározott vízigény rendszerint mindig magasabb a ténylegesnél és ennek következtében az optimális energiafelhasználás csak közelítőleg valósulhat meg.

A szolgáltatás biztonsága és az optimális energia felhasználás kritériuma legtöbb esetben nem esik egybe a vízi közmű szolgáltatóknál.

A teljes vizsgálati módszer célja, hogy megállapítsuk az A pontból B helyre történő szivattyúzás / szállítás esetén a szivattyúk fajlagos energia fogyasztását kWh/m<sup>3</sup> mérőszámmal kifejezve. A megtakarítást minden esetben az 50 Hz-en mért értékhez viszonyítottuk.

A számított megtakarítás függ a mindenkori üzemrendtől. Minél pontosabb üzemelési adatok állnak rendelkezésre, annál pontosabban ki lehet számítani a megtakarítást, ami a szállított vízmennyiség eltérés következtében napról napra, hónapról hónapra változik.

A jelen kutatási mérések során az ún. egyszerű optimumok kerültek meghatározásra. Az optimum Hz értéke önállóan nem adható meg, mivel állandóan változhat attól függően, hogy hány szivattyú és/vagy kút és azok milyen kombinációban működnek, és milyen a tározók töltöttségi szintje. Ennek az optimumnak a teljes kiaknázása csak egy energiahatékonyságra optimalizált vezérlés alkalmazása által lehetséges.

Ha a szolgáltató cég feladatként jelöli meg az energiahatékonyság javítását az adott rendszeren belül, akkor az előző fejezetben megfogalmazott állapotfelmérés után a megkapott eredményeket elemezve javaslat készül az energiahatékonyság javítására.

A vizsgálat eredménye alapján készült kalkuláció nagy pontossággal meg tudja adni a várható energia megtakarítást az adott rendszeren belül.

Az üzemeltetési körülmények változása esetén, – ha alapvetően nagy változások nem történnek – a hosszú távú üzemeltetés során elérhető energia megtakarítás a várhatótól kismértékben tér csak el. Megfelelő informatikai háttérrel biztosítani lehet, hogy a gépegység vízszállítása mindig megfeleljen a pillanatnyi vízigényeknek és csak abban az esetben üzemeljen a beállított tartományon, amikor az üzemi körülmények ezt engedik.

## **2.4. Ivóvíz hálózatok vizsgálata**

Az ivóvíz hálózatok jellemzése energia hatékonysági szempontok figyelembe vétele esetén a rendszer energia felhasználásán és annak hatékonyságán alapul. Eltérő jellemzőkkel írhatjuk le a kis településeket, a közepes és nagyvárosi rendszereket. Jelentős különbségek mutatkoznak a víznyerés jellege tekintetében is. Az elosztó hálózat jellemzői (csőhosszúság, átmérő, szintkülönbség, szerelvények stb.) döntő hatással befolyásolják az energia felhasználást és ennek következtében a várható megtakarítás mértékét. Nagyobb fajlagos felhasználású hálózatokon nagyobb megtakarítási potenciál várható, ugyanakkor a lehetséges potenciál kiaknázása nem minden esetben valósítható meg.

### **2.4.1. Tesztmérési helyszínek kiválasztása ivóvíz hálózatoknál**

Ebben meghatározó a víznyerés típusa, ez azért lényeges, mert jelentős energia igények jelentkeznek a hozzájutás feltételei alapján. Könnyen belátható, hogy lényegesen nagyobb energia felhasználással járhat mélyfúrású kutakból történő vízkivétel, mint egy

forrásfoglalásból vagy karsztaknából, ill. felszíni vízkivételből. A helyszínek kiválasztásánál egyik legfontosabb szempont a település mérete és ebből következően a vízfelhasználás mennyisége.

Tesztmérési, energia hatékonysági szempontból kis településnek tekintjük a 800–1000 m<sup>3</sup>/nap vízfogyasztás alatti településeket, ill. az olyan vízműveket, amelyek ennél kisebb termeléssel működnek. Az átlagosnak tekinthető 100 l/fő vízfogyasztással számolva ez a mennyiség 8–10 000 lakos igényét elégíti ki. Az ipari fogyasztók ezt módosíthatják.

A 10 000 főnél nagyobb lakónépeségű települések száma Magyarországon 142 db, a megyei jogú városokkal és a fővárossal együtt. A vizsgálatokat két ilyen típusú településen, Dombóváron (17 017 lakos) és Pakson (19 481 lakos) végeztem (KSH, 2014).

Az ennél kisebb kapacitású vízművek jellemzően olyan kisebb településeket látnak el, ahol a megtakarítási lehetőségek korlátozottak. Adott esetben ezeknek a vízműveknek a fajlagos hatékonysági értékei igen rosszak is lehetnek. Szigorún csak hatékonysági szempontból vizsgálva a megtakarítás lehetősége más vízműhöz történő csatlakozással oldható meg, amennyiben a domborzati viszonyok és a földrajzi távolság ezt lehetővé teszik (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2007).

Úgy a felszíni, mind a felszín alatti víznyerési módok lehetőséget adnak a tesztmérések elvégzésére. Egyedi elővizsgálattal kell eldönteni, hogy speciális felszín alatti víznyerés esetén milyen megközelítést alkalmazzunk a tesztmérés kivitelezésére. Ilyen speciális megoldásnak számítanak a csápos kutak, parti és meder galériák (Karácsony és Mészáros, 1998). A több métert is elérő vízszintmozgások jelentősen befolyásolják az alkalmazott szivattyúk fajlagos hatékonyságát megnehezítve a szabályozás lehetőségét.

Jó vizsgálati területnek számítanak a mélyfúrású kutak és azok telepei, valamint a karsztaknából történő vízkivétel.

A változatlan csőhálózat esetén a szivattyúk optimális üzemeltetése, esetleg cseréje révén tudjuk az üzemeltetési és rezszi költségeket csökkenteni.

A szivattyúk jellemzői mellett befolyásoló tényezők:

- a vízbeszerzés helye,
- a vízkezelés szükségessége,
- a víznyerés módja,
- a hálózatba táplálás.

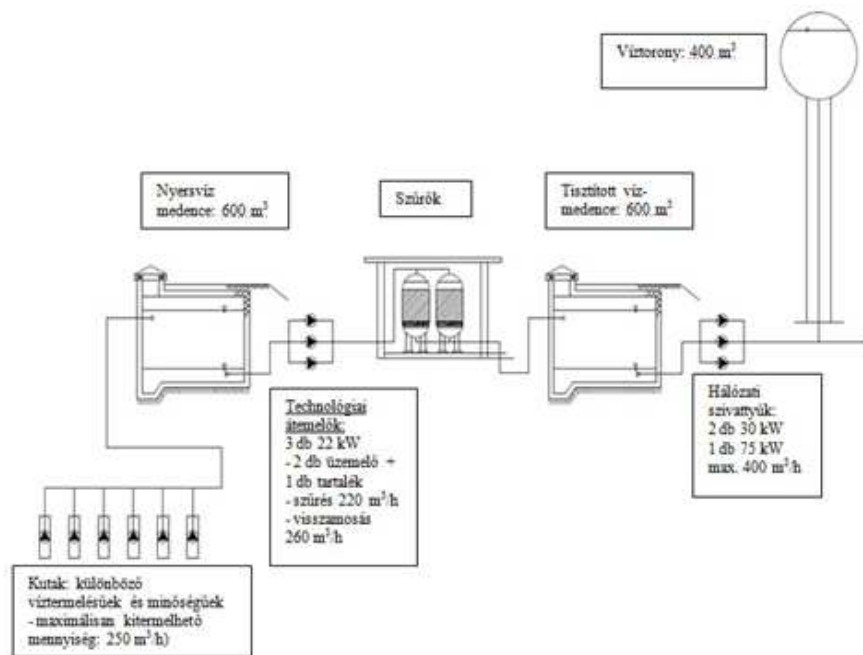
Alapvetően mindegyik alkalmazás lehetőséget nyújt a költségcsökkentésre, de néhány kizáró, korlátozó tényező előfordulhat, amennyiben a rendszer kötöttsége nem módosítható. Kevésbé csökkenthető a kutak energia felhasználási költsége, ha azok közel folyamatosan napi 18–20 órát üzemelnek és/vagy 3,5 kW alatti teljesítményű motorral üzemelnek.

Vízkezelés esetén a szűrőket ellátó szivattyúk szabályozhatóságának korlátot szabhatnak technológiai követelmények: pl. magas szűrőnyomás vagy a nyers- ill. tisztított víz medencék térfogata.

Ugyanakkor fontos szerepük van az átemelő szivattyúknak, amelyek tározók, magasponti medencék, víztornyok töltését végzik és kapcsolatrendszerük több feladat ellátására irányul.

### 2.4.2. Dombóvári vízmű kiválasztásának szempontjai

A Dombóvári Vízmű (6. ábra) esetében a víznyerés jellege, az üzemelés módja, a termelt víz mennyisége tekintetében is tesztmérésre és később a kísérletre is ideálisnak bizonyult. A kapott eredmények is ezt igazolják.



6. ábra: Dombóvári vízmű folyamatábra

A két vízmű telep együtt látja el Dombóvár városát és néhány közeli települést. A meglévő kapacitás lehetővé teszi, hogy szükség esetén pl. egyes kutak kimaradása vagy a hálózat csőtörése esetén, ki tudják egészíteni a z igényelt vízmennyiséget. A vízmű fogyasztóinak száma 20 000 körüli. Az éves szolgáltatott víz mennyisége 1 200 000 m<sup>3</sup> a tesztmérés és az

értékelés időszakában 2008–2012-ig. A vízbeszerzés kizárólag mélyfúrású kutakra épül, jellemzően a többi – hasonló méretű – hazai vízműhöz hasonlóan.

## **2.5. Szennyvíz hálózatok vizsgálata**

A vizsgálatunk tárgya az olyan szennyvíz hálózatok, amelyek esetében az átemelő szivattyúk az adott csatornaszakaszon gyűjtőaknába majd a tisztítótelepre továbbítják szennyvizet és a csapadékvizet.

A dolgozatban nem foglalkozunk a szennyvíztelepen üzemelő technológiai szivattyúkkal, mivel csak a tisztítás technológiával összhangban történhet a szabályozásuk.

Nagyobb energia felhasználású átemelőknél nagyobb megtakarítási potenciál várható. Ugyanakkor ennek a potenciálnak a kiaknázása nem minden esetben lehetséges.

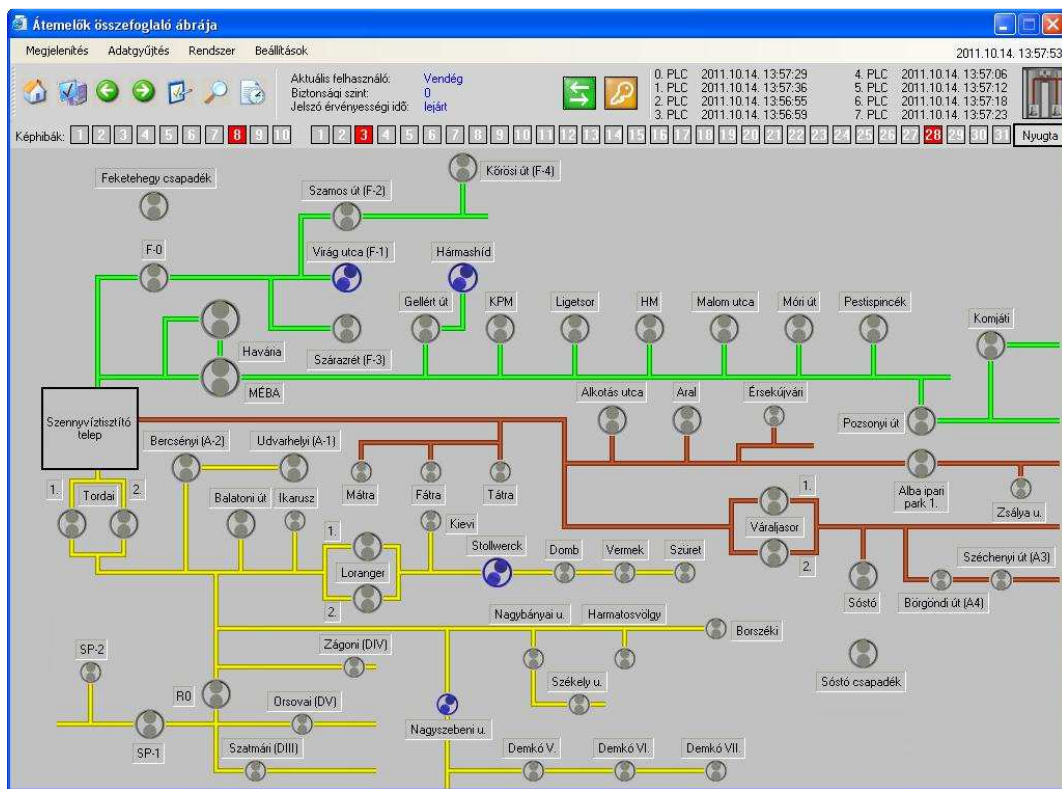
### **2.5.1 Tesztmérési helyszínek kiválasztása szennyvíz hálózatoknál**

Tesztmérési, energia hatékonysági szempontból a szennyvíz szivattyúzásánál az átemelő aknában lévő szivattyúk jelentik a vizsgálat tárgyát. Elválasztott rendszerű csatornahálózatokon üzemelő átemelők normál üzemi állapotban egy településen a vízfogyasztással közel megegyező szennyvizet szállítanak (Juhász, 2008). (Normál üzemi állapotban eltekintek az infiltráció és a csapadékvíz bekerülés jelenségétől.) A vízhálózatok vizsgálatának analógiáját követve kis településnek tekinthetjük a 800–1000 m<sup>3</sup>/nap vízfogyasztás alatti településeket. A szennyvíz gyűjtő-átemelő hálózat jellegéből adóan olyan kisméretű szivattyúkkal üzemelnek, hogy a megtakarítási lehetőségek korlátozottak.

A szennyvíztelepek kihasználva a gravitációs elvezetési lehetőségeket leggyakrabban a település mélypontjának környezetében épülnek. Az ott gyülekező szennyvíz átemelésére mindenképpen szükség van ahhoz, hogy tisztítótelepi technológiára kerüljön. Ezeket az átemelőket végátemelőnek nevezzük. Számításaink szerint legalább 1000 m<sup>3</sup>/nap átemelt vízmennyiség esetén lehet potenciális megtakarítással számolni. Az ennél kisebb átemelők olyan kevés áramfogyasztással működnek, hogy a várható megtakarítás összege valószínűleg nem tudja fedezni a megtakarítás realizálásához szükséges beavatkozás összegét.

A szennyvíz-átemelők üzemeltetésénél a szállított víz mennyiségének mérése korlátozott. Kis településeken kizárólag a végátemelők esetén alkalmazzák az eljárást, így ellenőrizve a tisztítótelepre beérkező szennyvíz mennyiségét. Közepes nagyságú városokban – nagyobb átemelők esetén – egyre gyakoribb az alkalmazásuk, de nem általános. Ennek következtében a tesztmérés helyszínének kiválasztásánál a szivattyúk üzemórája és a szivattyúk névleges

áramfelvétélből számított áramfogyasztás megbízható alapja a szivattyúk kiválasztásának. Ezzel a módszerrel könnyen ellenőrizhetjük, hogy az üzemelés jellegéből adódóan várható-e megtakarítás. A szennyvíz átemelőket úgy méretezik, hogy - figyelemmel a helyi sajátosságokra - csúcsidejű terheléseket is képesek legyenek ellátni, vagyis továbbítani. Csúcsidejű terhelések leggyakrabban csapadékos időben jelentkeznek. A csúcsidejű szivattyúzási igények miatt a normál üzemi szennyvíz továbbításánál többszörös teljesítménynek kell rendelkezésre állnia az átemelőben. Ezt a feladatot a leggyakrabban több, legalább 3 db. szivattyú beépítésével oldják meg egy átemelőben (1 db. közülük tartalék). Gyakran eltérő teljesítményű szivattyúkat építenek be egy aknába. Mindezek a körülmények jelentős megtakarítási potenciált jelentenek a normál un. szárazidejű működés időszakára. A székesfehérvári átemelők kiválasztásánál fenti szempontok fontos szerepet játszottak. A székesfehérvári átemelők üzemelésének folyamatábráját a 7. ábrán mutatom be.



**7. ábra:** Székesfehérvári átemelők és csatornahálózat folyamatábra

Műszaki kiépítettség ismerete a tesztelés szempontjából kiemelten fontos, tekintettel a vízmennyiség mérések pontosságára. A beépített és rendszeresen kalibrált átfolyásmérők megkönnyítik a mérés végrehajtását és növelik annak megbízhatóságát. Tekintettel arra, hogy szennyvíznél ritkán alkalmaznak átfolyásmérőt, ezért mobil mérőeszköz beépítése szükséges

a tesztmérés idejére. Ezeknél az átemelőknél figyelemmel kell lenni a mérési hely optimális kiválasztására – a mérőműszert gyártó utasításai szerint – és szemrevételezéssel kell ellenőrizni a mérés tervezésekor. Kutatásom során mindkét típusú átemelőnél végeztem méréseket.

A székesfehérvári szennyvízcsatorna hálózat és az átemelők a működésük során rendszeres felújításra kerültek, de célzott energetikai optimalizációs vizsgálatok és fejlesztés az átemelőknél még nem történt meg a korábbi időszakban. Jó vizsgálati területnek tűnt egy hazai nagyváros átemelői energia potenciáljának vizsgálata. Székesfehérváron a nagyobb 22 kW teljesítmény feletti szivattyúkat jelöltük ki mérésre a városi hálózaton.

A viszonylag hosszú nyomás alatti szakaszok miatt nagy teljesítményű szivattyúk kerültek beépítésre jelentős áramfogyasztással. Ezekben az esetekben kisebb megtakarítási potenciál is nagy megtakarítási eredményezhet. (Méréseink igazolták feltevésünket) Az átemelőket részletesen a mérések leírásánál jellemezzük. Hordozható áramlásmérőre alapozott vizsgálat minden esetben alkalmazásra került.

A számítások során a Vízmű által megadott 36 Ft/kWh – áfa nélkül áramdíjjal számoltunk – ami a Vízmű átlagára vonatkozik.

### **3. EREDMÉNYEK**

#### **3.1. Vízhálózatok vizsgálatának eredményei**

##### **Dombóvár**

Dombóváron a környékbeli települések vízellátásra két vízműtelep létesült. A telepet, a kutakat, a technológiai szűrést és a nyomásfokozó szivattyúkat már a 6. ábrán bemutattuk.

A 2008. évben kezdtük el a tesztméréseket. A telep jellemzője, hogy a víz kitermelését követően technológiai szűrést alkalmaznak. Ezután közvetlenül nyomásfokozó szivattyúk juttatják el a vizet a hálózatba vagy a hidroglóbuszba. A szolgáltatott víz mennyisége viszonylag állandó, a víz minősége - teljes mértékben megfelel az előírásoknak. A tesztmérésekhez mindkét vízműtelep bevonásra került: mérési sorrendben, név szerint V. és IV. vízmű telep.

##### **V. sz. Vízmű telep jellemzői:**

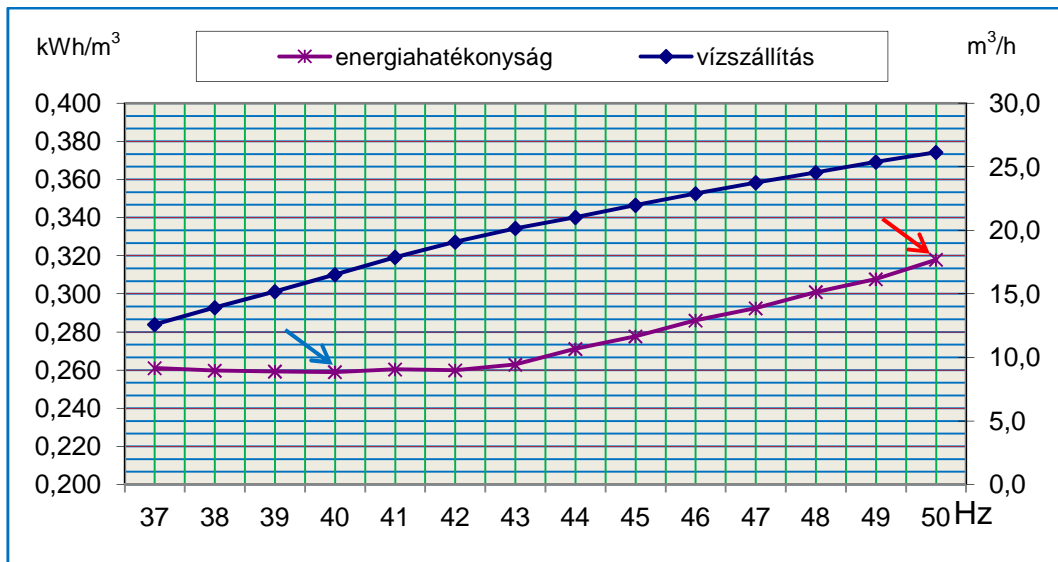
A telepen két mélyfúrású kút van az N2 és az N5. Az N2 mélyfúrású kút a telepen kívül, míg az N5 kút a telepen belül helyezkedik el.

Az N2 jelű mélyfúrású kút optimalizálása Az N2 mélyfúrású kút több kilométer vezetékkel csatlakozik a telephez. A vizsgálat során 14 tesztmérést végeztünk. A mérések eredményeit az un. energiaprofilokon a 8. ábrán mutatjuk be.

A legkevésbé gazdaságos energiafogyasztás  $0,318 \text{ kWh/m}^3$ , 50Hz-en mért értéke, (8. ábra piros nyíl). A leg gazdaságosabb energiafogyasztás  $0,259 \text{ kWh/m}^3$ , 40Hz-en mért értéke. (8. ábra kék nyíl). A kettő közötti különbség kerekítve 18%.

##### **Energiaprofilok-görbék jellemzése, levonható következtetések**

A méréseket 50 Hz-ről indulva 1 Hz-enként csökkentve végeztük 37 Hz-re csökkentve az áram frekvenciáját. A 8. ábrán jobbról /50 Hz-től/, balra /37 Hz-ig/ történik a mérés végzése. A fajlagos  $\text{kW/m}^3$  (lila színű) mérőszámmal jellemzett energia hatékonysági értékek folyamatos csökkenése (javulása) mellett a vízáramlás  $\text{m}^3/\text{h}$  (kék színű) mérőszámmal jellemezve csökken. Ott jelenik meg a leg gazdaságosabb energiafogyasztási érték, ahol ugyanazt a napi vízmennyiséget tudja szállítani a kút szivattyúja, mint a korábbi időszakban, de ehhez kevesebb áramot használ fel. Ebben az üzemállapotban hosszabb idő alatt termeljük ki a vizet a kútból.



**8. ábra:** Az N.2 jelű kút energiahatékonysága és vízszállítása, motor terhelése 37–50 Hz

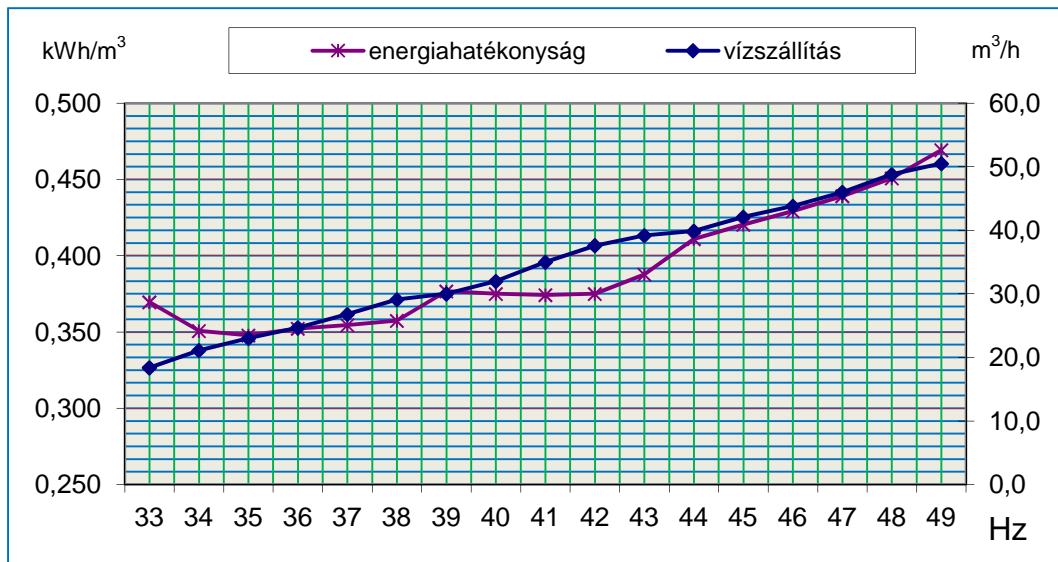
A kútból a meglévő üzemrend figyelembe vétele mellett, a termelt vízmennyiséget változatlanul fenntartva, szabályozott energia hatékony üzemrendet feltételezve a következő értékeket kapjuk: A leggazdaságosabb üzemmód bevezetése esetén a várható megtakarítás évente mintegy 10.000 kWh-t jelent, ami évente kb. 5 t széndioxid kibocsátás csökkentést von maga után.

A 12 éves élettartamra számított megtakarítás mintegy kb. 125.000 kWh és a széndioxid kibocsátás ezen idő alatt közel 62,5 t. Mind a két tényező értéke jelentős környezetvédelmi kihatású.

A további mérések kiértékelésénél ezt az alapelvet követem, csak akkor részletezem az elemzést, ha eltérés lenne.

### **Az N5 jelű mélyfúrású kút optimalizálása**

Az N5 mélyfúrású kút a vízművek területén belül helyezkedik el. A mérés során egyes tesztméréseket többször meg kellett ismételni a szivattyú leállása miatt, – mint utóbb kiderült – ez a szivattyú elhasznált állapota miatt történt. A energia profilon látható egyenetlenségek ennek tulajdoníthatóak. A mérésekből a következő energia profil állapítható meg (9. ábra).



9. ábra: N5 jelű kút energiahatékonysága és vízszállítása 33-49 Hz motor terhelés esetén

A legkevésbé gazdaságos energiafogyasztás: 0,455 kWh/m<sup>3</sup>.

A leggazdaságosabb energiafogyasztás: 0,352 kWh/m<sup>3</sup>.

A kettő közötti különbség kerekítve 23%.

A megtakarítás mértékét csökkenti, hogy a kitermelendő víznek el kell érni a 350.000 m<sup>3</sup>/év értéket, az energetikai optimumon azonban csak 235.000 m<sup>3</sup>/év lehetséges.

Ez a 10% megtakarítási potenciál is - ezen kútnál - 15 000 kWh megtakarítást jelent évente, ami a széndioxid kibocsátást mintegy 7.5 t-val csökkenti.

Környezetvédelmi szempontok elemzése és értékelése szempontjából ez jelentős megtakarításként értékelhető.

Ha a mért eredményeket 12 évre kivetítjük, akkor annak értéke /a megtakarítás/ 187.000 kWh és a széndioxid kibocsátásnál 93.5 t csökkenést eredményez.

### Hálózati szivattyúk

Három szivattyút vizsgáltunk: SZ4, SZ6 és SZ7 hálózati szivattyúk a szivattyúházban, a vízművek területén belül helyezkednek el.

A tesztmérések az állapotfelmérést követően kezdődtek el. Összefoglalóan elmondható, hogy ezeknek a szivattyúknak az állapotparaméterei kiválóak voltak, így a tesztméréseket is gyorsan eredményesen lehetett végrehajtani.

A tesztmérések alapján a 10. ábrán csak az energiaprofilokat ábrázoltuk, a vízszállítást azonban nem annak érdekében, hogy jobban összehasonlíthatóak legyenek.



**10. ábra:** SZ4, SZ6, SZ7 jelű hálózati szivattyúk energiahatékonysága 44-50 Hz motor terhelés esetén

A szivattyúk működés közbeni vizsgálatát a következő kapcsolati rendben vizsgáltuk:

- 1. mérés - csak az SZ6 szivattyú
- 2. mérés - csak az SZ7 szivattyú
- 3. mérés - SZ6 és SZ7 szivattyú együtt
- 4. mérés - csak az SZ4 szivattyú

A négy tesztmérés során megállapítható volt, hogy a különböző kombinációban vizsgált szivattyúk (SZ6 külön, SZ7 külön, SZ6 és SZ7 együtt, SZ4 külön) nagyjából ugyanazt a hatékonyságot mutatják. A mérések alapján megállapítható, hogy a négy szivattyú esetében a legkevésbé gazdaságos energia fogyasztása közel egyforma:  $0,184 \text{ kWh/m}^3$ .

A leg gazdaságosabb energiafogyasztás  $0,165 \text{ kWh/m}^3$ .

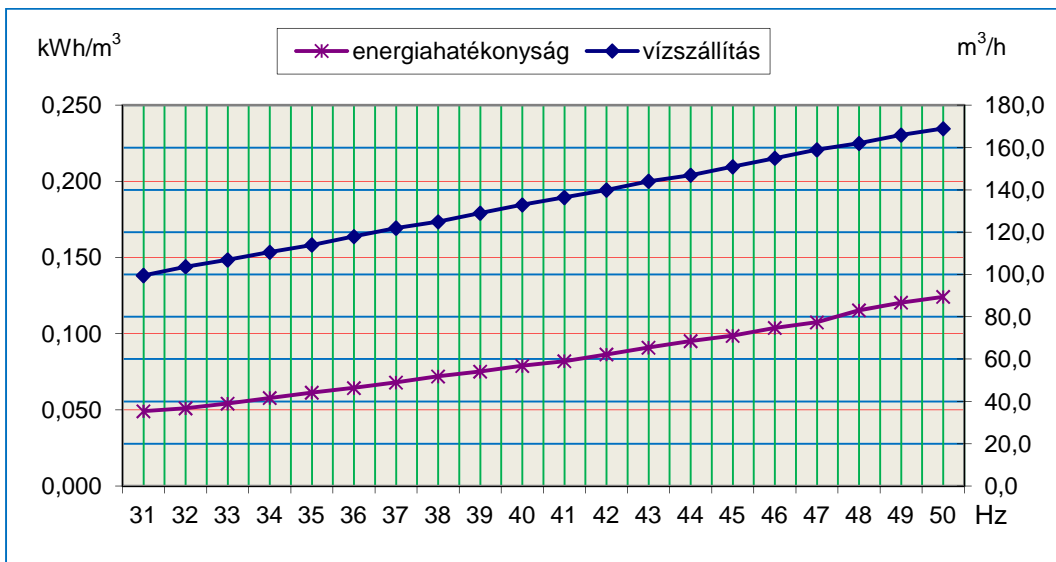
A két üzemmód közötti különbség  $0,019 \text{ kW}$ , ami mintegy 10% eltérést jelent a két üzemeltetési mód esetén.

A leg gazdaságosabb üzemmód elérésekor az energia megtakarítás a javasolt paraméterek beállítását követően  $17.000 \text{ kWh}$  éves mennyiségű és ez  $8,5 \text{ t}$  évi széndioxid kibocsátás csökkentést jelent az adott szivattyúra vonatkoztatva. Az üzemóra megtakarítás az összes szivattyú esetén  $6.500$  üzemóra éves szinten. A megtakarítás hosszabb időtartamra számítva, 12 éves élettartamot figyelembe véve  $204.000 \text{ kWh}$  és ez  $102 \text{ t}$  széndioxid megtakarítást jelent.

## Gépház szivattyúk

Az SZ1, SZ2 és SZ3 vízgépház szivattyúk a gépházban, a vízművek területén belül helyezkednek el. A szivattyúk paraméterei, beépítési módjuk teljes egészében megegyeznek. A tesztméréseket csak az SZ1 szivattyún végeztük és az így kapott eredmények alapján a többi szivattyú működési körülményeire is helyes következtetések vontunk le. A tesztmérések minden esetben értékelhető eredményeket adtak.

A mérés tervezésekor figyelembe kellett venni, hogy a szivattyú részlegesen zárt tolózárrel működött. Ezt a megoldást akkor alkalmazza az üzemeltető, ha a szivattyú tervezett munkapontja jelentősen eltér az üzemi állapottól. Az értékelés során a megtakarítás számításánál kiinduló állapotként ezt vettük figyelembe. A tesztmérések során kapott energia profilt a 11. ábrán mutatom be.



**11. ábra:** SZ1, SZ2, SZ3 vízgépház szivattyúk energiahatékonysága és vízszállítása 31–50 Hz motor terhelés esetén

Az SZ1 jelű szivattyú esetén a legkevésbé gazdaságos energiafogyasztás:  $0,124 \text{ kWh/m}^3$ . Az SZ1 leg gazdaságosabb energiafogyasztás:  $0,044 \text{ kWh/m}^3$ .

A legkevésbé gazdaságos és a leg gazdaságosabb energiafogyasztás közötti különbség  $0,080 \text{ kWh}$ , ez 65 %-ot jelent.

Azonban az egyéb szolgáltatási paramétereket is figyelembe véve – vízminőségi előírások, mennyiségi követelmények a vízbiztonság érdekében – a megtakarítás mértékét csak 35 %-on vehetjük figyelembe. Ezzel az értékkel is évente  $55.000 \text{ kWh}$  megtakarítás érhető el. Amennyiben ezt kivetítjük, akkor az átlagos  $-34 \text{ Ft / kWh}$  – értékkel számolva, éves szinten

1,9 millió Ft megtakarítást érhető el. A széndioxid kibocsátás csökkenő értéke sem elhanyagolandó mivel 27,6 tonna évente.

Ezeket a mutatókat együttesen vizsgálva, mind a gazdasági, mind a környezetvédelmi szempontokat figyelembe véve az optimalizált állapot hatékonyabb, ill. környezetbarát működtetést jelent.

A vizsgálati eredmények további javulását eredményezte, a két szivattyú (SZ1 és SZ2) együttes működése.

A két szivattyú – SZ1 és SZ2 – esetén a hatékonysági értékek tovább javulnak. Ebben az esetben a 65 %-os energia potenciált is el lehet érni.

Ez számszerűsítve azt jelenti, hogy a megtakarítás évente 80.000 kWh, ez értékben 34 kWh/ Ft-tal számolva 2.7 millió Ft költségmegtakarítást eredményezhet. A széndioxid kibocsátás 40 t-val csökkenne. A 12 éves élettartamra számítva a megtakarítás mértéke 990.000 kWh, de éves szinten – 55.000 kWh-nál is – eléri a 650.000 kWh-t. A széndioxid kibocsátás csökkenés is jelentős tétel, mivel elérheti az évi 325–495 tonnát.

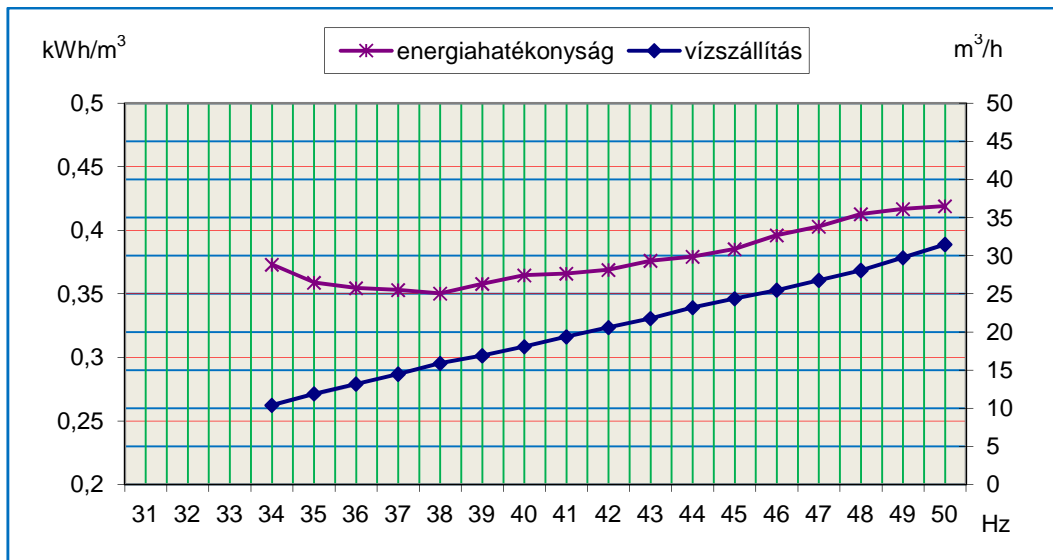
#### **A IV. számú Vízműtelep jellemzői**

A teszt vizsgálati tervbe bekerült a IV. sz. Vízműtelep is. Itt egy mélyfúrású kút 3A és egy hálózati szivattyú (SZ1) optimalizálását végeztük el.

A többi méréshez hasonlóan itt is a hordozható DANFOSS frekvencia szabályozót, valamint kúthoz illeszthető átfolyás mérőt használtam.

#### **A mélyfúrású kút-3A-jellemzői**

A kút a vízmű területén belül helyezkedik el. Az üzemeltetés sajátossága ennél a kútnál, hogy az alacsony vízhozama miatt szinte folyamatosan működik. A működés összefüggéseit a 12. ábra mutatja.



**12. ábra:** A 3/A jelű kút energiahatékonyságának és vízszállításának vizsgálta 34–50 Hz motor terhelés esetén

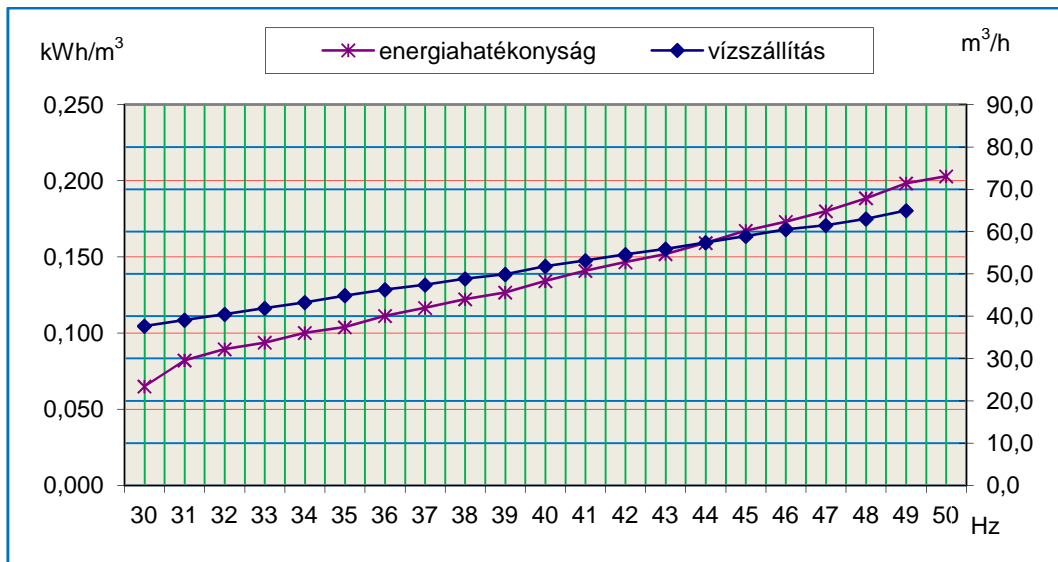
A mért energia profilból kiolvasható, hogy a legkevésbé gazdaságos energia fogyasztás kb.  $0,419 \text{ kWh/m}^3$ -nél található, míg a leg gazdaságosabb működés  $0,353 \text{ kWh/m}^3$ . A kettő közötti eltérés kerekítve 15%.

Annak ellenére, hogy elvi energia megtakarítási lehetőség áll elő, a kiaknázására nincs mód a jelenlegi helyzetben. Ez abból következik, hogy optimális ponton történő üzemelés esetén  $16 \text{ m}^3/\text{h}$  lenne a vízhozam a jelenlegi  $32 \text{ m}^3/\text{h}$ -val szemben. Ezt a kiesést nem tudják pótolni más kutakból. Megtakarítás csak akkor várható, ha a kitermelés több mélyfúrású kútból történne. Javaslatomra egy új kút fúrása meg is valósult (lásd a 3.3 fejezetben).

### Gépház szivattyúk vizsgálata

A gépházban két / SZ1 és SZ2 / szivattyú vizsgálatára került sor. A teszt mérés során a vízminőségi és a mennyiségi paramétert nem kellett figyelembe venni, hanem csak a megtakarítás mértékét. Ez alapján tesztmérések eredményesek voltak.

Modell jelleggel az SZ1 szivattyú vizsgálatára került sor. Az eddigi tapasztalatok eredményei azt mutatták, hogy a tartalékként beépített szivattyúk ez esetben az SZ2-es ugyanazt az eredményt mutatná. A szivattyú részben zárt tolózárrel működött. A mérések alapján kapott összefüggést a 13. ábra mutatja be.



**13. ábra:** Az SZ1 jelű vízgépház szivattyú energiahatékonysága és vízszállítása 30–50 Hz motor terhelés esetén

A legkevésbé gazdaságos energiafogyasztás: 0,203 kWh/m<sup>3</sup>.

A leggazdaságosabb energiafogyasztás: 0,058 kWh/m<sup>3</sup>.

A kettő közötti eltérés 68 %.

A teljes potenciál kihasználásával számolva 55.000 kWh / év ~ 27,5 t CO<sub>2</sub> / év megtakarítást érhetünk el 6.500 üzemóra / évvel számolva.

A megtakarítás 70 % az üzemidőtől függetlenül.

A szivattyúk nyomócsövének beépítési módja miatt ebben az esetben a két szivattyú együttes működtetése nem változtatná meg az eredményt.

A 12 éves élettartamra számított megtakarítás mintegy 660.000 kWh ~ 330 t CO<sub>2</sub> / év.

### A dombóvári vízellátás optimalizálása

A szabályozás felhasználásával történő módosítás eredményeként mindkét vízműtelepen energiát lehet megtakarítani.

A mélyfúrású kutak esetén ez a megoldás javítja az üzemelési körülményeket, mivel a terhelés minden kút esetében kisebb lesz (hosszabb idő alatt), és ez megnöveli az élettartamukat.

A mért megtakarítási értékek 15-60 % között szóródtak. A mérés alapján számított összes elérhető érték 137.400 kWh/év (11.450 kWh/hó), ez 3.570.000 Ft/év megtakarítást jelent. Az elérhető CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkenés évente 76 t, az előirányzott élettartamra (12 év) vonatkoztatva 900 t.

### **Az V. sz. vízműtelepen végrehajtandó felújítások ill. beruházások**

A gépház szivattyúk esetében nagy a megtakarítási potenciál, a mérési eredmények egyértelműen azt bizonyítják, hogy a szivattyúk alkalmasak optimalizált működtetésre. A hálózati szivattyúk esetében nem olyan nagy a megtakarítási potenciál, de itt is javasolni lehet a szivattyúk működésének optimalizálását. A kutaknál kisebb a megtakarítási potenciál, és a megtérülési idő relatíve hosszú.

Az **N5 sz. kút felújítása** (frekvenciaváltó és motorindító egység együtt) biztosítja a várt eredményt, egyértelműen javasolható a beruházás megvalósítása. A telephez tartozó további kút esetében hasonló következtetésekre jutottam. Megállapítható, hogy ha a tesztmérések alapján optimalizálják a szivattyúkat, energia megtakarítás érhető el változatlan ellátási feltételek mellett.

### **A IV. sz. vízműtelepen végrehajtandó felújítások ill. beruházások**

A gépház szivattyúk esetében nagy a megtakarítási potenciál, mindenképpen javasolandó a szivattyúk működésének optimalizálása.

A növekvő mennyiségi igény és a vízminőség javítása érdekében tervezik új kút építését. Megépülte esetén javasoljuk, hogy az a meglévővel együtt kerüljön optimalizálásra.

## **3.2. Szivattyús szennyvíz hálózatok**

### **Székesfehérvár Tordai-2 átemelő vizsgálata**

Ennek az átemelőnek a vizsgálata során írjuk le az optimális üzemállapot meghatározását és a potenciális megtakarítás számítását. A többi átemelőnél is ezt az elvet alkalmazzuk, azonban nem részletezzük, csak az eltéréseket említjük. Az átemelő néhány km-hosszúságú nyomócsövön juttatja el a szennyvizet a tisztítótelepre. A tordai átemelő szivattyútelep üzemadatait a 1. táblázatban mutatom be.

A 2 db 22 kW-os szivattyút felváltva kapcsolja a vezérlés, közel egyforma üzemidőt biztosítva. A két szivattyú egyforma típusú és azonos motorral üzemel. A vizsgálat során vízmennyiséget a beépített áramlás mérővel határoztuk meg.

A mérés végzésekor az aknában magas vízszintet engedtünk meg – 100 %-hoz közelítve – annak érdekében, hogy a mérést folyamatosan tudjuk végezni.

### 1. táblázat: Tordai átemelő üzemadatai

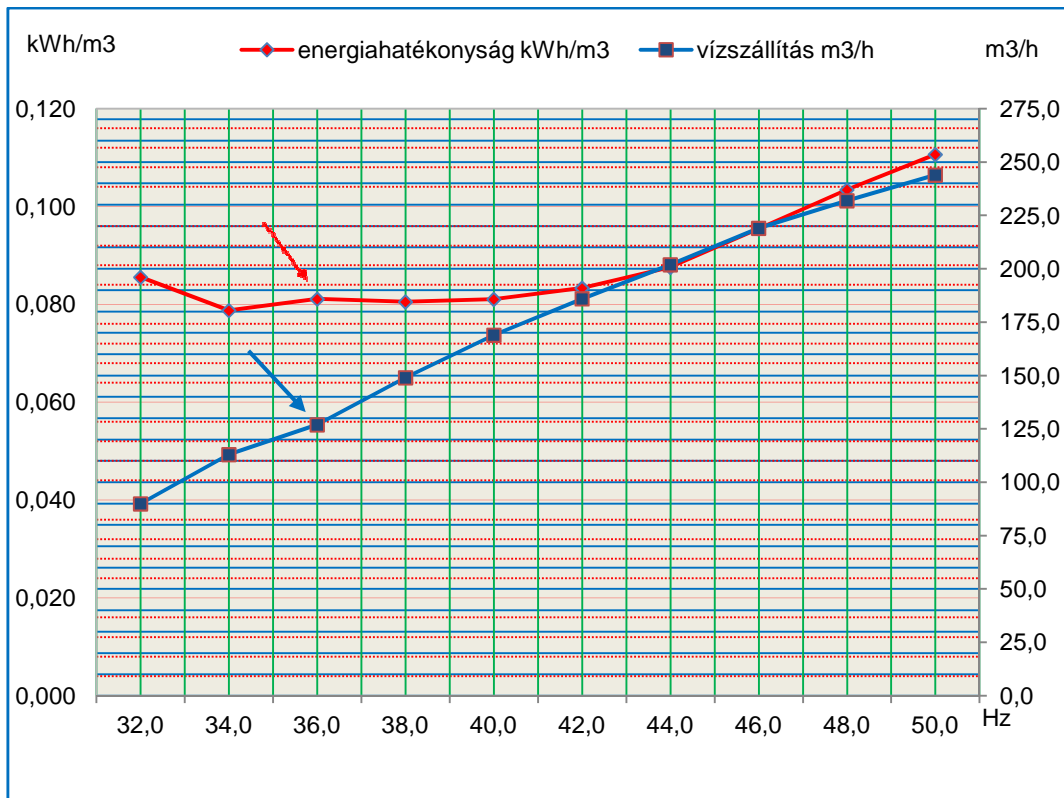
Átemelő megnevezése:	<b>Tordai-2</b>	
Szivattyúk darabszáma:	2	
Mennyiségmérő:	szennyvíztelepen mérve	
Vezérlés:	Egyéb PLC, szintvezérlés	
Vízszállítás (m <sup>3</sup> ) 2010:	598 773	
<hr/>		
Szivattyú jele:	<b>1.</b>	<b>2.</b>
Teljesítmény (kW):	22	22
Indítási mód:	direkt	direkt
Üzemóra napi:	5,30	4,70
Üzemóra éves:	1933	1716

A magas vízszint azt eredményezte, hogy a vizsgált szivattyú vízszállítása 50 Hz-en 244 m<sup>3</sup>/h értéket mutatott, jelentősen többet, mint a 2. táblázatban megadott üzemórából számított átlagérték: 164 m<sup>3</sup>/h – direkt indítás mellett: (2010. évi összes vízszállítás 598 773 m<sup>3</sup>/év /365 nap = 1640 m<sup>3</sup>/nap/10 óra összes üzemidő = 164 m<sup>3</sup>/h átlagos vízszállítás).

Ez a különbség az energiahatékonyság szempontjából annyit jelent, hogy magasabb aknaszint esetén sokkal hatékonyabban tudjuk üzemeltetni a szivattyúkat. A különböző aknaszintekhez tartozó hatékonysági különbségek kimutatására nem végeztünk vizsgálatot.

#### Az 1 sz. szivattyúnál mért adatok

A méréseket a 14. ábrán feltüntetett grafikonon jobbról balra végeztük 2 Hz-enként. A legkevésbé gazdaságos energiafogyasztás kb. 0,111 kWh/m<sup>3</sup> 50 Hz-en, a leggazdaságosabb energiafogyasztás kb. 0,081 kWh/m<sup>3</sup> 36 Hz-en mért értéke (a 14. ábrán piros nyíllal jelöltük). A kettő közötti eltérésből adódó potenciális megtakarítás 26,7 %. A leggazdaságosabb energiafogyasztási értékhez tartozó vízszállítási érték 125 m<sup>3</sup>/h (8. méréshez tartozó vízhozam értéke a 14. ábrán kék nyíllal jelölve). Ennek a vízhozamnak az eljuttatására mindkét szivattyúnak napi 13,4 órára van szüksége (13,4 h/nap x 125 m<sup>3</sup>/h x 365 nap/év=611 375 m<sup>3</sup>/év) ahhoz, hogy a mintegy 600 000 m<sup>3</sup>/év szennyvizet a tisztítótelepre juttassa. A 14. számú ábrán a mérés fajlagos értékeit tüntettük fel.



**14. ábra:** Tordai szennyvíz átemelő szivattyú energia hatékonysága 32–50 Hz motor terhelés esetén

Az éves mintegy 600 000 m<sup>3</sup> szennyvíz szivattyúzása a 2 db. szivattyúval naponta 7 óra alatt a jelenlegi üzemállapottal – emelt vízszint mellett, illetve 13,4 óra alatt *optimális üzemállapotban* teljesíthető.

Az optimális üzemelési mód időtartamát a teljes üzemidő 85%-ában becsültük meg. A többi időszakra nem számoltunk megtakarítással. Az elérhető megtakarítást a hozzá tartozó fajlagos értékekkel a 2. táblázatban foglaltam össze.

**2. táblázat:** Tordai-2 átemelő szivattyú megtakarítási számítása

	kWh/m <sup>3</sup>		megtakarítás	kWh	TON CO2	
	előtte	utána				
<b>Energia fogyasztás</b>	előtte	0,111		68 985	34,5	
	utána	0,081	26,7%	50 561	25,3	
<b>Gazdaságosság</b>						
		kWh	potencia	kWh	HUF	TON CO2
Megtakarítás kWh/év	1	18 424	85%	<b>15 661</b>	<b>563 779</b>	9,21
Megtakarítás/ x év alatt	6	110 545		<b>93 9635</b>	<b>3 382 677</b>	47
"x" év alatti megtakarítás éve				<b>1,6</b>		

36 Ft/ kWh-val számolva 560 000 Ft /év megtakarítás érhető el, 9 t CO<sub>2</sub> kibocsátás takarítható meg. Az üzemi körülmények között elérhető energia-megtakarítás a várhatótól kismértékben eltérhet.

### A MÉBA jelű átemelő vizsgálata

Az átemelő néhány km-es nyomócsövön juttatja el a szennyvizet a tisztítótelepre. Az átemelő üzemadatait 3. táblázatban mutatom be.

**3. táblázat: MÉBA átemelő üzemadatok**

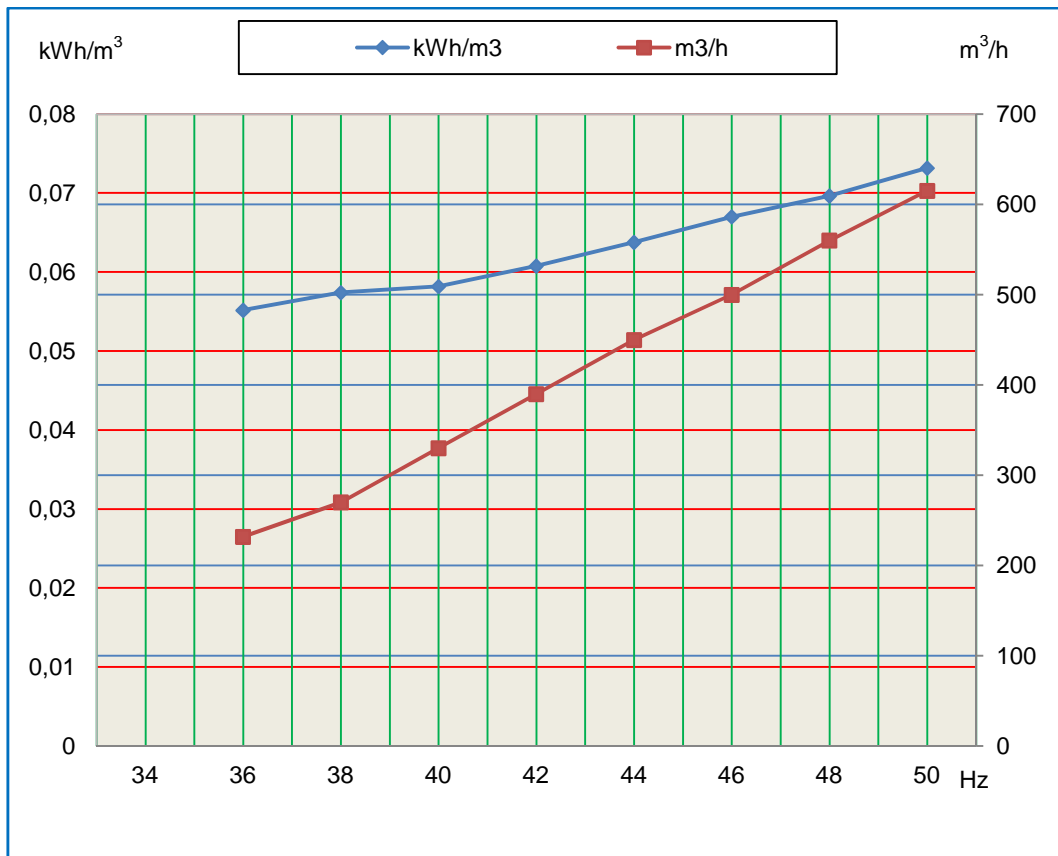
<b>MÉBA</b>			
Szivattyúk darabszáma:	3		
Mennyiségmérő:	üzemen kívül		
Vezérlés:	Egyéb PLC, szintvezérlés		
Vízszállítás (m <sup>3</sup> ) 2010:	2 242 747		
Szivattyú jele:	<b>1.</b>	<b>2.</b>	3.
Teljesítmény (kW):	44	44	44
Indítási mód:	direkt	direkt	lágymű
Üzemóra napi:	3,56	3,12	3,33
Üzemóra éves:	1300	1138	1214

A 3 db 44 kW-os szivattyút felváltva kapcsolja a vezérlés, közel egyforma üzemidőt biztosítva. A mérés során az aknában üzemi vízszint volt a mérés során. A szállított vízmennyiséget mobil áramlásmérőről olvastuk le. A három szivattyú egyforma típusú és azonos motorral üzemelnek. A szivattyúk vízszállítását a megadott 2 243 000 m<sup>3</sup>/év értékkel vettük figyelembe.

Az éves szennyvíz mennyiség szivattyúzása a 3 db szivattyúval napi átlag 10 óra alatt a jelenlegi üzemállapot mellett, illetve 18,6 óra alatt optimális üzemállapotban teljesíthető. A csúcsterhelési időszakokat figyelembe kell venni.

### A 3. sz. szivattyú működési jellemzői

A legkevésbé gazdaságos energiafogyasztás: 0,073 kWh/m<sup>3</sup>, a leg gazdaságosabb energiafogyasztás: 0,058 kWh/m<sup>3</sup> a kettő közötti eltérésből adódó potenciális megtakarítás 26,7 %. A mérés fajlagos értékeit a 15. ábrán tüntettem fel.



**15. ábra:** A MÉBA átemelő szivattyú energiahatékonysága és vízszállítása 36-50 Hz motor terhelés esetén

Az optimális üzemelési módhoz tartozó időtartam a teljes üzemidő 85%-ára becsültük. A többi időszakra nem számoltunk megtakarítással. Az elérhető megtakarítást a hozzá tartozó fajlagos értékekkel a 4. táblázatban foglaltuk össze.

**4. táblázat:** MÉBA átemelő szivattyú megtakarítási számítása

Megtakarítás számítása						
		kWh/m <sup>3</sup>	megtakarítás	kWh	TON CO2	
Energia fogyasztás	előtte	0,073		164 250	82,1	
	utána	0,058	20,5%	130 604	65,3	
Gazdaságosság						
		kWh	potencia	kWh	HUF	TON CO2
Megtakarítás kWh/év	1	33 646	85%	28 599	1 029 579	16,82
Megtakarítás/ x év alatt	6	201 878		171 596	6 177 472	85,8
"x" év alatti megtakarítás éve				1,23		

36 Ft/kWh-val számolva 1 000 000Ft/év összegű csökkenés érhető el, amely 17 t CO<sub>2</sub> kibocsátással egyenlő.

Az üzemi körülmények között elérhető energia-megtakarítás a várhatótól kismértékben eltérhet.

### A Váralja sor I. és II. jelű aknák optimalizálása

A szennyvíztelep központi gyűjtőjére a Váralja sori iker átemelő emeli át a szennyvizet. Kiindulási adatokat 5. táblázat tartalmazza. Ennél az átemelőnél ún. ikeraknás megoldást alakítottak ki. Az 1.sz. aknában lévő 30 kW-os szivattyút gyakorlatilag nem használják ellenben, a 2. sz. aknában lévő 2 db 15,8 kW-os szivattyúkat üzemeltetik esetenként mindkettőt azonos időben is. A két akna össze van kötve csővezetékekkel és a mostani üzemrend szerint le van zárva. Műszaki lehetősége van annak, hogy a két akna üzemeltetését felcseréljük, ezért kínálkozott a két szivattyú hatékonyságának összehasonlítása.

Az átemelő több km-es viszonylag hosszú nyomócsövön juttatja el a szennyvizet a szennyvíztelepre.

**5. táblázat:** Váralja sor átemelő üzemadatai

Átemelő megnevezése:	Váralja 1	Váralja 2	
Szivattyúk száma (db.):	1	2	
Mennyiségmérő:	nincs	van	
Vezérlés:	Egyéb PLC, szintvezérlés	Egyéb PLC, szintvezérlés	
Vízszállítás (m <sup>3</sup> ) 2010:	nincs adat	Vízszállítás (m <sup>3</sup> ) 2010:	348 300
Szivattyú jele:	<b>1.</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>
Teljesítmény (kW):	30,0	15,8	15,8
Indítási mód:	direkt	direkt	direkt
Üzemóra napi:	0,13	4,30	4,53
Üzemóra éves:	48,81	1570	1655

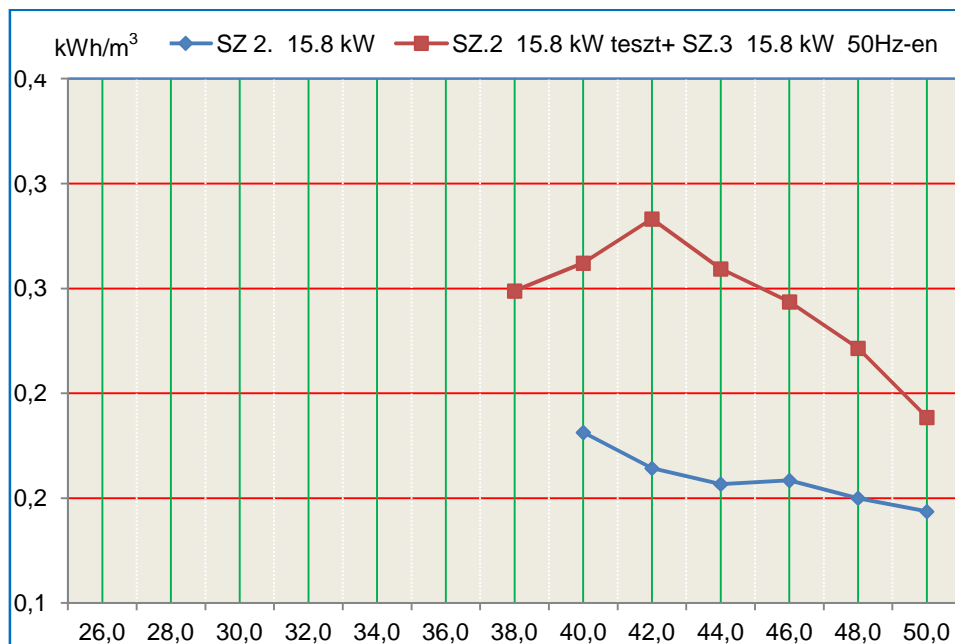
A 15,8 kW-os szivattyúk üzemóráját összeadva 8,6 értékkel vettük figyelembe a számításunkban. A vízmennyiséget a beépített átfolyás mérőről olvastuk le. A 30 kW-os szivattyú nincs ellátva áramlásmérővel, ezért mobil áramlásmérőt alkalmaztunk.

Az éves 350 00 m<sup>3</sup> szennyvíz szivattyúzása a 15,8 kW-os szivattyúkkal 8,8 óra alatt a 2. sz. aknából jelenlegi üzemállapottal, vagy a 30 kW-os szivattyúval 6,5 óra alatt az 1. sz. aknából optimális üzemállapotban teljesíthető. A csúcsterhelési időszakokat figyelembe kell venni.

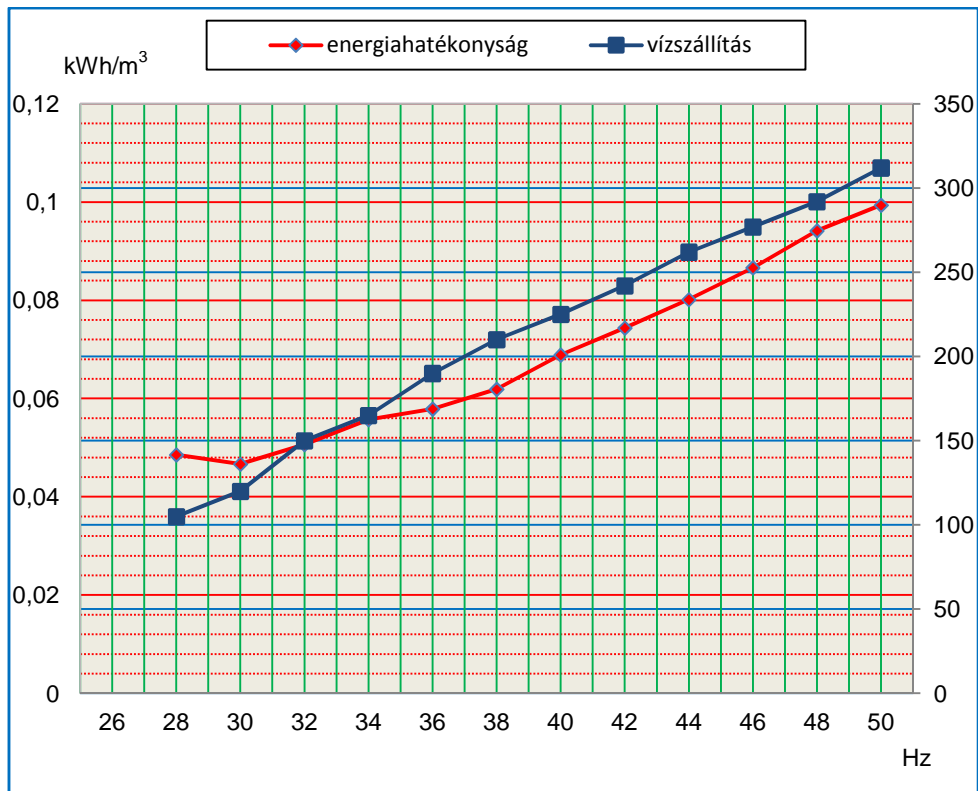
A 15,8 kW-os szivattyú legkevésbé gazdaságos energiafogyasztása 0,144 kWh/m<sup>3</sup>. A 30 kW-

os szivattyú 32 Hz en mért értéke optimum közeli energiafogyasztása 0,051 kWh/m<sup>3</sup>. A kettő közötti potenciális megtakarítás kerekítve 64 %.

A 16/I. számú ábrán az Sz.2 és Sz.3 15,8 kW-os szivattyúk mérési értékeit tüntettük fel. Jól látható, hogy a legkevésbé hatékony energia felhasználás, azaz a legrosszabb érték akkor jelentkezik, ha a két kisebb szivattyú együtt üzemel (piros görbe). Kevésbé rossz, ha ugyanez a szivattyú önállóan működik (kék görbe). Ennek a két görbének a lefutása arra is utal, hogy az optimum érték teljes motorterhelésnél jelentkezik. Más mutat azonban a nagyobb Sz.1 szivattyú, amelyik alacsonyabb sebesség tartományban sokkal hatékonyabb tud működni. Tekintettel arra, hogy a vízszállítása sokkal nagyobb – 150 m<sup>3</sup>/h az optimális 32 Hz-en – kevesebb üzemórával tudja teljesíteni a feladatot. A teszt eredménye a 16/II. számú ábrán látható.



**16/I. ábra:** Váralja sor Sz.2 és Sz.3 szennyvíz átemelő szivattyúk energiahatékonysága 38–50 Hz motor terhelés esetén



**16/II. ábra:** Váralja sor **Sz.1** 30 kW-os szennyvíz átemelő szivattyú energiahatékonysága és vízszállítása 28–50 Hz motor terhelés esetén

Az optimális üzemelési mód időtartamát a teljes üzemidő 85%-ára becsültük. A többi időszakra nem számoltunk megtakarítással. Az elérhető mennyiséget a hozzá tartozó fajlagos értékekkel az alábbi 6. táblázatban foglaltuk össze.

**6. táblázat:** Váralja sor átemelő megtakarítási számítása

Megtakarítás számítása						
		kWh/m <sup>3</sup>	megtakarítás	kWh	TON CO <sub>2</sub>	
Energia fogyasztás	előtte	0,144		50 750	25,4	
	utána	0,051	64,7%	17 902	9,0	
Gazdaságosság						
		kWh	potencia	kWh	HUF	TON CO <sub>2</sub>
Megtakarítás kWh/év	1	32 848	85%	<b>27 921</b>	<b>1 005 150</b>	16,42
Megtakarítás/ x év alatt	6	197 088		<b>167 525</b>	<b>6 030 903</b>	83,8
"x" év alatti megtakarítás éve				<b>3,88</b>		

36 Ft/kWh-val számolva 1 000 000 Ft /év megtakarítás érhető el, 16 t CO<sub>2</sub> kibocsátás takarítható meg. Az üzemi körülmények között elérhető energia-megtakarítás a várhatótól kismértékben eltérhet.

A mérések azt mutatják, hogy a legtöbb tesztelt szivattyú esetében 25 – 35% energiát lehet megtakarítani. Egyedül a Váralja sor tér el jelentősen az átlagtól, ahol 64 % megtakarítás várható. Az eredmények megfelelnek a hazai és külföldi mérési tapasztalatainknak. A szennyvíz szivattyúzás hatékonysága javítható akkor, ha az optimális üzemállapotot részesítjük előnyben. A szennyvíz szivattyúk és az átemelő aknák üzemeltetésének jellegzetességeit: pl. dugulás, tisztítótelepi terhelési követelmények, szennyvíz tartózkodási idő az átemelőben a méretezés során figyelembe kell venni.

### **3.3. Eredmények alkalmazása az ivóvíz szállító hálózatokban**

A kísérleti alkalmazás a Dombóvár és környéke Víz-és Csatornamű Kft dombóvári 2 vízművében valósult meg.

A vízműben üzemeltetett kutakat, a technológiai szűrést és nyomásfokozó szivattyúkat vettük vizsgálat alá. A tesztmérések alapján az elérhető megtakarítási értékek a különböző szivattyúknál 15–55 % közötti tartományban találhatóak. 2009 decemberében beépítésre kerültek a frekvenciaváltók az ENQUASAVE (on-line energia-hatékonyság kijelző) egység, a szükséges SIEMENS gyártmányú PLC vezérléssel, majd összekapcsoltuk a meglévő Omron típusú PLC-vel a rendszerünket. Ezt követően történt a rendszer úgynevezett alapbeállítása a mérés során megállapított üzemállapotra. A próbaüzem első három hónapját követően a mért megtakarítási értékek a következőképpen alakultak:

A mért energia-megtakarítás átlagosan 10.849 kWh/hó, azaz a próbaüzem első 3 hónapjában a mért megtakarítási értékek 95%-ra közelítik meg az előzetes felmérés adatait. (Megjegyzés: az első három hónap az alacsonyabb vízfogyasztási időszakra esett). A próbaüzem során szerzett tapasztalatok alapján úgy állítottuk be a rendszerünket, hogy az összhangban legyen a változó vízigényekkel, és tegyen eleget a vízminőségi elvárásoknak, valamint a további megtakarítás legyen elérhető.

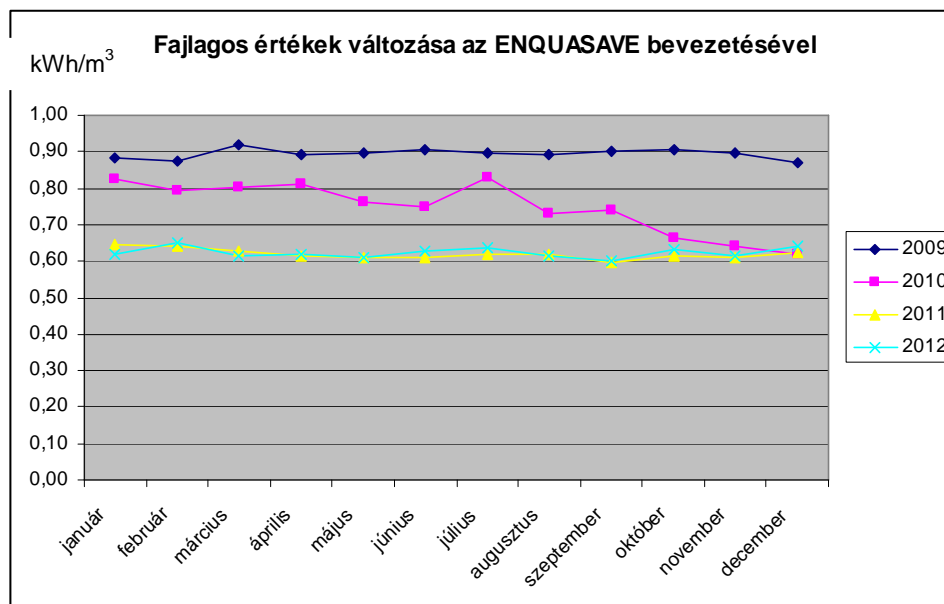
### **Elért megtakarítások statisztikai elemzése**

A próbaüzemet követően elértük a havi 15 000 kWh megtakarítást, majd az év végére a tényleges energia megtakarítás meghaladta ezt az értéket. A tervezettnél magasabb eredmény azzal magyarázható, hogy év közben 3 db új kút került beüzemelésre és rendszerbe állításra.

Az energia-hatékony módon üzemeltetett és hatékonyabb új kutak ki tudták váltani a kevésbé hatékony régieket, pl. a 3A jelű kutat a IV- es számú vízműtelepen. A megtakarítás mértéke az új szabályozási módszer szerint üzemeltetett IV- es számú vízműtelepen elérte a 40%-ot, míg az V-ös számú vízműtelepen a 25%-ot.

A fajlagos energia felhasználás statisztikai elemzését úgy végeztük el, hogy a programba bevont szivattyúk energia hatékonyságának [kWh/m<sup>3</sup>] javulását a beavatkozás előtt és utáni években páros t próbával vizsgáltuk. A hatást 5%-os szinten tekintettük szignifikánsnak. 2009 évi átlagos hatékonyságot tekintettük kiinduló állapotnak. 2009 évhez képest minden vizsgált év energiahatékonysága: 2010–2013-ban szignifikáns különbséget mutatott.

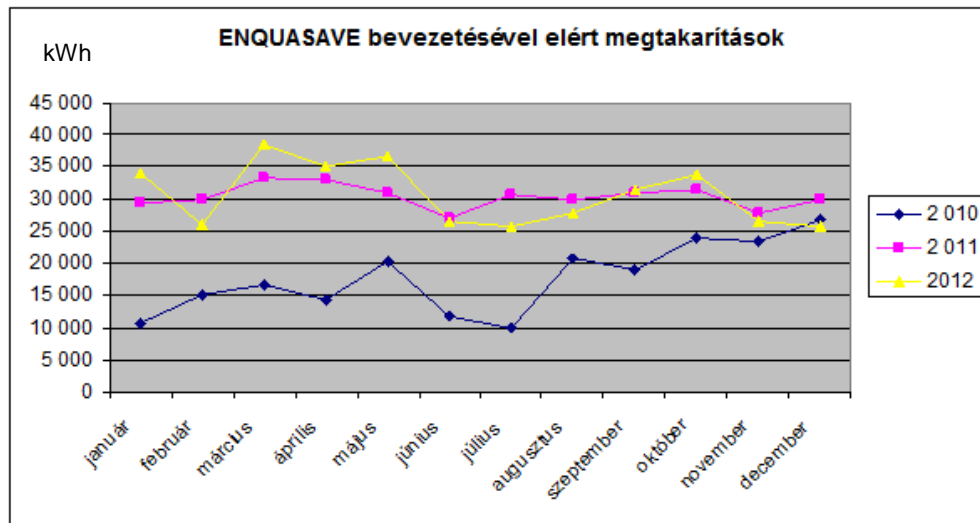
Az 17. ábrán azt mutatom be, hogyan alakult a fajlagos energia-megtakarítás a próbauzem indítása óta. Az ábrán jól látható a fajlagos energiafelhasználás csökkenése a 2010. évi üzemelés során. Az értékek a két vízműtelep átlagának fajlagos értékeit mutatják, az összes áramfogyasztás és az összes víztermelés hányadosát. A 2009. évben még a régi beállításokkal üzemelt a telep. A folyamatos javulás a rendszer szemléletű üzemeltetéssel lett elérhető. A szivattyúk nemcsak önmagukban, hanem rendszerben lettek optimalizálva. A 2011–2012 évek már a beállt üzemi helyzetet mutatják.



**17. ábra:** Dombóvári vízmű fajlagos energia-felhasználások alakulása a 2010–2012 években

A 18. ábrán az elért megtakarításokat mutatom be. Az üzemelés három éve igazolta az előzetes elvárásaimat. 2011 és 2012 évek havi megtakarításai rendre meghaladták a 25 000

kWh-t, esetenként túllépve a 30 000 kWh-t. A havi megtakarítások ingadozása részben a vízigény változásával részben üzemeltetési feladatokkal indokolható.



**18. ábra:** Dombóvári vízmű energia-megtakarításának alakulása a 2010–2012 években

#### 4. KÖVEKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

- A kutatási munkám során új megközelítést alkalmaztam, melynek során a vízmozgatás teljes folyamatát vizsgáltam – a kutakat a tározókig, a technológiai szivattyúkat és a hálózati szivattyúkat. Az üzemelő szivattyúk energiaállapotának felmérését és optimalizálását tekinti fő célkitűzésének – függetlenül a szivattyú típusától. Ennek megfelelően bármilyen szivattyú típusnál és szivattyúzási feladatnál alkalmazható.
- Három hazai víziközmű szolgáltatónál tesztméréseket végeztünk a megtakarítási lehetőségek felmérésére. Az elérhető megtakarítás: 740.000 kWh/év, átlagosan 21%.
- A dombóvári kísérleti alkalmazás során bizonyításra került, hogy a szivattyúk relatív optimum üzemállapoton történő üzemeltetése jelentős megtakarítást eredményez.
- Az energiahatékonyság elérése érdekében a szolgáltatási stratégia megváltoztatása szükséges, a környezetvédelmi szempontok érvényesítése mellett teljes szemléletváltozást és jelentős informatikai fejlesztést igényel. Az eredmény egy hatékony, energiatakarékos, kisebb költségű üzemeltetés, ami a rezsik csökkentésének is az alapja lehet, összhangban a kormányzati célkitűzésekkel.
- A fent leírt információkból azt a következtetést lehet levonni, hogy a kidolgozott tesztmérési módszer alkalmas a szivattyúk energiahatékonyságának vizsgálatára és a hatékonyság nagy pontosságú számszerű kimutatására. A mérések alapján tervezhető meg az új üzemrend és a megtakarítás mértéke, ami a fejlesztési költségek forrása lehet.

## 5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- A dán kutatások alapján olyan eljárást dolgoztam ki ahol a víz mozgatása során az energia felhasználás hatékonysága üzem közben nagy pontossággal vizsgálható és [kWh/m<sup>3</sup>] mérőszámmal kimutatható.
- A kutatás során alkalmazott vizsgálati módszerrel a tesztmérésekkel lehetséges pontosan felmérni és kimutatni az energia-megtakarítási potenciált. A mérések alapján válik tervezhetővé az elérhető energia megtakarítás valamint az elérhető CO<sub>2</sub> kibocsátás megtakarítás.
- A minta alkalmazás során szignifikáns megtakarítást értünk el. Az üzemelés első három éve igazolta az előzetes elvárásainkat. 2011 és 2012 évek havi megtakarításai rendre meghaladták a 25 000 kWh-t, esetenként túllépve a 30 000 kWh-t.
- A gyakorlati alkalmazás elemzése során beigazolódott, hogy energiahatékonyság javítása egy több lépcsőben megvalósítható innovatív tevékenység a víziközmű szolgáltatóknál. Jellemzője, hogy az innovatív szemlélet a folyamat során teljeseedik ki, megfelelő eszközök alkalmazásával. A folyamat során a hatékonyság egyre javul. Ennek a folyamatnak a részei:
  - o az energiahatékonysági vizsgálatok tervezése
  - o célzott vizsgálatok elvégzése,
  - o mintaalkalmazások létesítése egy kijelölt helyszínen a vizsgálatok eredményei alapján,
  - o eredmények kiértékelése, új helyszínek bevonása
  - o rendszerben történő optimalizálás
  - o energia hatékonyság integrálása a vízmű felügyeleti rendszerébe
- Az alkalmazott módszer eltér a szivattyúk cseréjével történő energia megtakarítástól. Az üzemelő szivattyúk energiaállapotának felmérését és optimalizált szabályozását tekinti fő célkitűzésének - függetlenül a szivattyú típusától. Ennek megfelelően bármilyen szivattyú típusnál és szivattyúzási feladatnál alkalmazható.

## 6. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK

A mérési eredmények alapján olyan üzemeltetési optimalizálási gyakorlat bevezetésére nyílik lehetőség, amellyel jelentős energia megtakarítás érhető el. Észrevételeink és javaslataink felhasználásával a célkitűzés megvalósítható. Az üzemelés során tapasztalt üzemállapotok, amelyek megszüntetése révén gazdaságos üzemelés érhető el.

### Víztermelő kutak esetében:

- Jelentős eltérés lehet egy vízmű telephez tartozó kutak energiahatékonysága között.
- A csökkenő termelés miatt a szivattyút tolózárral szabályozzák.
- A frekvenciaváltókat gyakran lágyindítóként használják.
- Nem használják ki a frekvenciaváltók adta lehetőségeket. Időszakonként kézi beállítással üzemeltetik gyakran nem az optimumon, emiatt nem érnek el megtakarítást és tovább növekednek az üzemelési költségek.

### Vízgépházak esetében:

- A csökkent vízfogyasztás miatt túl nagy a beépített szivattyú, túl magas a lekötési díj is. Emiatt a szivattyúcsere merül fel első és gyakran alkalmazott megoldásként, átmenetileg tolózáras szabályozást alkalmaznak.

A „túl nagy szivattyú” lecserélése gyakori megoldás az energiahatékonyság növelésére. A szabályozottan vezérelt nagyobb motorok - a tesztmérések tanúsága szerint - a leggyakrabban jobb energia-hatékonysággal üzemelnek, mint a kisebb motorok. A szélsőséges időjárás miatt szükség lehet arra, hogy növeljük a vízszállítás biztonságát és nagyobb géppel üzemelünk szabályozott módon.

### Szennyvíz átemelők esetében:

- Nem jellemző a frekvenciaváltók alkalmazása.
- Elválasztott rendszer ellenére csapadékvíz jut a csatornába- túlméretezés szükséges ezért indokolt a energetikailag szabályozott üzemelés.

A szennyvíz átemelők szabályozott üzemeltetése az energia-megtakarítás mellett további előnyöket is jelenthet:

- Átemelők összehangolásának lehetőségét kiiktatva az ellenhatásokat
- Szennyvíztisztító telep terhelésének kiegyenlítését.

Az energia-megtakarítást eredményező fejlesztések nagy előnye az, hogy a fejlesztés költsége az elért megtakarításokból kifizethető. Felmerül a kérdés mikor tekinthető gazdaságosnak egy ilyen beruházás. Dániai tapasztalatok szerint olyan energia-megtakarítási fejlesztésbe amelyek 8 év alatt megtérül érdemes belekezdeni. A hazai tapasztalatok azt jelzik, hogy az üzemeltetők

nem szívesen kezdenek olyan fejlesztésbe, amelyik 4 – 5 évnél hosszabb időszak alatt térül meg. A fejlesztések finanszírozása lehet mégis a legnagyobb feladat, mert ha már realizálni tudjuk a megtakarítást – a fejlesztés eredményeképpen – a törlesztő részletek és a kamatok kifizetésére fedezetet nyújthat a megtakarítás.

## 7. IRODALOM

- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (2007): Vízisztítás. jegyzet, p.16.
- DANFOSS (2006) Kezelés útmutató VLT 5000 sorozat. Danfoss Kft. pp. 65–70.
- DANFOSS (2009): Okos megtakarítás az automatizálás terén. DANFOSS DD-SMCC, [www.danfoss.hu](http://www.danfoss.hu) pp. 22–24.
- FLEXIM (2008): ADM6725,\_manual\_hu.pdf [www.flexim.com](http://www.flexim.com)
- Gazdasági és Környezeti Minisztérium (2003): Tájékoztató az EU kibocsájtás-kereskedelmi rendszeréről és annak magyarországi bevezetéséről, 2003.november
- Horváth Z. (2002): Kézikönyv az Európai Unióról. Magyar Országgyűlés, p. 330–337.  
<http://www.ff3.hu/fejloides.html>
- Józsa István (2013): Örvényszivattyúk a gyakorlatban, Invest Marketing Bt. pp. 148–179.
- Juhász E. (2008): A csatornázás története. Magyar Víziközmű Szövetség, p. 250.
- Karácsony S. – Mészáros G. (1998): Vízellátás – Vízszerezés. Eötvös József Műszaki Főiskola, gyakorlati útmutató. p. 5–10.
- Léderer Á. (2010): Az Európai Unió Szerepe a Klímakonferenciákon. BGF Külkereskedelmi Kar, jegyzet.p.22.
- KSH (2014): Magyarország közigazgatási helynévkönyve. [www.ksh.hu](http://www.ksh.hu)
- MAVIZ – Műszaki Bizottság (2010): Szivattyúk energetikai vizsgálata-a szivattyúzás általános áttekintése a víziközmű szolgáltatásban. 2–49.
- Steffensen, P. (2011): Vesthimmerland Forsyning Stistrup Rensenanlaeg, mellenpumper, Foranalyse. p.5 [www.picca.dk](http://www.picca.dk)

## 8. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/128/2015.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Zsabokorszky Ferenc

Neptun kód: PNWLE0

Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Növénytermesztési- és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (7)

1. **Zsabokorszky F.:** Az Európai Unió csatlakozásunk hatása a szennyvíztisztításra.  
*Magy. Ip. Környvéd. Mag. 13 (1-2), 17-19, 2014. ISSN: 1588-3809.*
2. **Zsabokorszky F.:** Rezsicsökkentés a víziközmű szolgáltatóknak is.  
*Magy. Ip. Környvéd. Mag. 12 (1-2), 14-15, 2013. ISSN: 1588-3809.*
3. **Zsabokorszky F., Spindelberger W.:** Szennyvíziszap-hasznosítás Ausztriában.  
*Vízmű Panor. 21 (4), 22-23, 2013. ISSN: 1217-7032.*
4. **Zsabokorszky F.:** Új energiamagtakarítási innováció a szivattyúzásnál.  
*Magy. Ip. Környvéd. Mag. 10 (1-2), 24-25, 2011. ISSN: 1588-3809.*
5. **Zsabokorszky F., Steffensen P.:** Energia optimalizálás vízművek szivattyúinál.  
*Környezetvédelem. 17 (6), 28, 2009. ISSN: 1216-8610.*
6. **Zsabokorszky F.:** Mi történik a szennyvíziszappal az Európai Unióban.  
*Környezetvédelem. 16 (5), 7, 2008. ISSN: 1216-8610.*
7. **Zsabokorszky F., Nagy G.:** Mobil szennyvíziszap víztelenítési technológiák alkalmazhatósága a nemzeti szennyvízprogram tükrében.  
*Vízell. Csatornázás. 7, 58-60, 2004. ISSN: 1585-5260.*



Cím: 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. □ Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 39. □ Tel.: (52) 410-443  
E-mail: [publikaciok@lib.unideb.hu](mailto:publikaciok@lib.unideb.hu) □ Honlap: [www.lib.unideb.hu](http://www.lib.unideb.hu)



Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (2)

8. Ligetvári, F., **Zsabokorszky, F.**, Kovács, K., Zsirai, I.: Wastewater Treatment and Sludge Utilisation in Hungary.

*J. Env. Sc. Eng.* 4 (3), 141-147, 2015. ISSN: 1934-8932.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17265/2162-5263/2015.03.005>

9. **Zsabokorszky, F.**: Socio-Political Reception of Sewage Sludge Recycling: The Hungarian Perspective.

*J. Res. Sci. Tech.* 8 (4), 159-164, 2011. ISSN: 1544-8053.

IF:0.508

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (1)

10. Ligetvári F., **Zsabokorszky F.**: Szennyvíztisztítás és iszaphasznosítás.

In: Víz és szennyvízkezelés az iparban [elektronikus dokumentum]. Szerk.: Rodek Nóra,

Soós Ernő Víztechnológiai Kutatóközpont, Nagykanizsa, [6], 2014. ISBN: 9789633960394

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

11. **Zsabokorszky, F.**: A future challenge for environmental management: Raising energy efficiency in the water utilities sector.

In: 4th International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies [elektronikus dokumentum]. Ed.: Ákos Borbély, Óbuda Univ., Budapest, 98-100, [2014].

ISBN: 9786155018930

12. **Zsabokorszky, F.**: Present and Future Sewage Sludge Treatment in Hungary and its Energetic Utilisation.

In: 3rd ICEEE International Scientific Conference on Environmental Engineering [elektronikus dokumentum]. Ed.: Hosam Bayoumi Hamuda, Óbuda University, Budapest, 245-253, 2012.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 0,508**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 0,508**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetria ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.06.16.