

A dabasi szennyvíztisztító rendszer korszerűsítése

Prof. emeritus Dr. Garbai László – Dr. Szánthó Zoltán PhD – Jasper Andor*

1. Előzmények

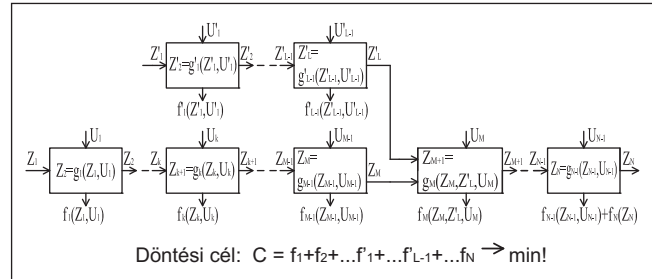
A Dabas és Környéke Vízügyi Kft. 2013-ban nyújtotta be „Szennyvíztisztító telep korszerűsítése” című pályázatát a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap „Piacorientált kutatás-fejlesztési tevékenység támogatása” című pályázataira. A Kutatási és Technológiai Innovációs Alapból nyújtott támogatások célja „a kutatás-fejlesztési és innovációs aktivitás, és a vállalati-kutatóhelyi együttműködés növelése” az Új Széchenyi Tervben meghatározott célkitűzésekkel összhangban. A „Piacorientált kutatás-fejlesztési tevékenység támogatása” pályázat célja olyan kutatás-fejlesztési tevékenységek támogatása, amelyek jelentős szellemi hozzáadott értéket tartalmazó új, piacképes termékek, szolgáltatások, technológiák, illetve ezek prototípusainak kifejlesztését eredményezik. A projektben közreműködik a BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás Technika Tanszéke. A sikeres pályázat Piac-13-1-2013-0030 azonosító számon 2014. január 1-jével indult. A projekt futamideje 2016. június 30-ig tart.

A Dabas és Környéke Vízügyi Kft. által elnyert pályázat közvetlen célja a dabasi szennyvíztisztítási technológia korszerűsítése, ezáltal a szakaszosan túlterhelt szennyvíztisztító telep tehermentesítése és a kibocsátási paraméterek folyamatosan az előírt értékeken belül tartása, a szennyvíztisztítás hatásfokának javítása, mindeközben az üzemeltetés optimalizálásával a rendszer villamosenergia-felhasználásának csökkentése.

2. A dabasi szennyvízhálózat gráfelméleti leírása

A szennyvíz csatornahálózatok rendszerelméletileg és rendszertanilag úgynevezett összeágazó rendszerek, amelyek leírását és a dinamikus programozással történő optimalizációját például az [1] számon hivatkozott közleményben mutattuk be. Az összeágazó rendszer vizsgálatához az alapmodellt az **1. ábra** szemlélteti.

Megállapítottuk, hogy a dabasi szennyvíz csatornahálózat viszonylag egyszerű morfológiai gráffal modellezhető. A gráf nem összefüggő, illetve több szuverén részgráfra bontható, amelyeket alrendszernek, illetve részrendszernek nevezünk. Az ezeket leíró részgráfok ún. összeágazó, több gyökerű, fordított fastruktúrájú gráfok. A rajtuk értelmezhető döntési modellek összeágazó döntési rendszereket képeznek. A rajtuk értelmezhető feladatok ún. szállítási feladatok.



1. ábra. Az összeágazó rendszer döntési modellje

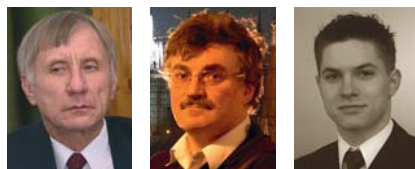
A keletkező szennyvizet különböző szállítási útvonalakon – zárt vagy nyitott, gravitációs vagy szivattyús szállítással, közbenső gyűjtőpontokon keresztül a tisztítótelepre szállítjuk. A sík területen fekvő kiterjedt rendszer 23 db nagyteljesítményű átemelőszivattyút tartalmaz, szívóoldalukon számottevő tárolókapacitást jelentő gyűjtőaknákkal. A döntési cél a felhasznált szivattyúzási energia minimalása, mindeközben a tisztítótelepre beérkező szennyvízhozam csúcsainak a levágása.

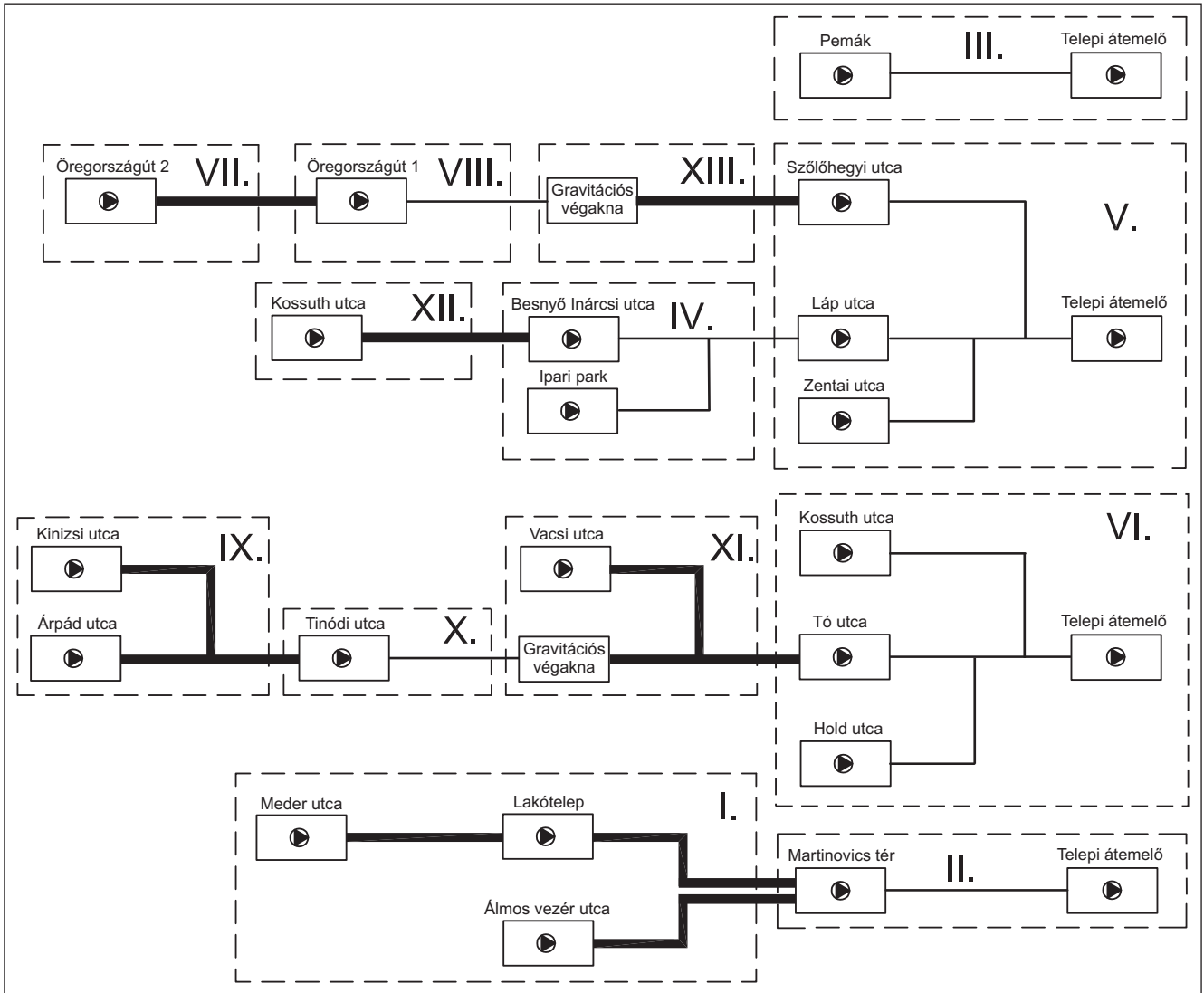
Az összeágazó rendszert az ágak levágásával soros rendszerekre bontjuk, és a soros rendszerekre visszafelé haladó rekurzív optimalizációt hajtjuk végre.

A dabasi szennyvízcsatorna rendszert a következő oldalon bemutatott **2. ábra** szemlélteti. A rendszer hidraulikailag négy független alrendszerre bontható, amelyek a következő részrendszerekből állnak:

- III. részrendszer,
 - VII, VIII, XIII, XII, IV, V. részrendszerek,
 - IX, X, XI, VI. részrendszerek,
 - I, II. részrendszerek.
- Az első hidraulikai alrendszer a III. részrendszer önmagában. Végpontja a Pemák átemelő, amelynek gyűjtőjéből egy szennyvízáttemelő szivattyú nyomott rendszeren keresztül szállít a Telepi átemelőbe.
 - A második alrendszer végpontjai az Öregországút 2., a Névtelen utca, Ipari park és Zentai utcai átemelők. Ez az alrendszer bár hidraulikailag összefüggő, vannak benne gravitációs és nyomott részrendszerek is.
 - A harmadik alrendszer végpontjai a Kinizsi utcai, Árpád utcai, Vacsi utcai, Kossuth utcai és Hold utcai átemelők. Ebben az alrendszerben is vegyesen fordulnak elő gravitációs és nyomott alrendszerek.
 - A negyedik alrendszer végpontjai a Meder utcai és az Álmos vezér utcai átemelők, amelyekből átemelő szivattyúkkal, de gravitációs szállítással jut a szennyvíz a Martinovics téri aknába, ahonnan nyomás alatti szállítással jut tovább a telepi átemelőbe.

* BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás Technika Tanszék





2. ábra. A dabasi szennyvízhálózat alrendszerekre bontása

A vastag vonal a gravitációs elvezetést, míg a vékony vonal a nyomás alatti szállítást jelöli

A négy alrendszerben a szállítási feladatok még tovább bonthatók; további részrendszerek alakíthatók ki és azok külön-külön vizsgálhatók. A hidraulikai számítások módszertana különbözik aszerint, hogy a részrendszerekben gravitációs, vagy nyomott szállítás valósul meg.

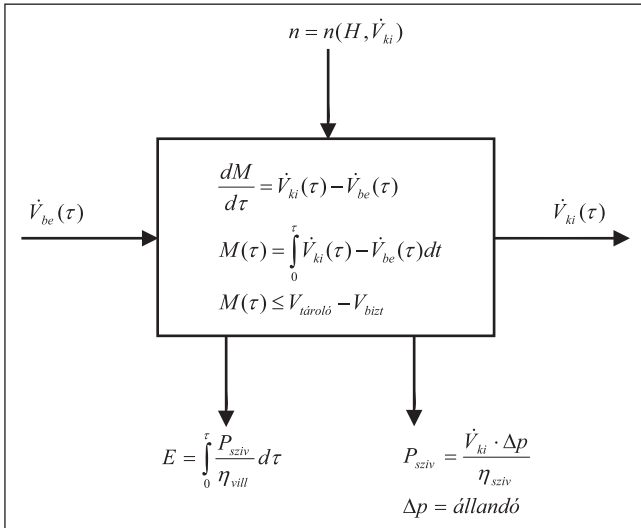
A következőkben bemutatjuk a gravitációs szállítás és nyomás alatti szállítás hidraulikai analízisét. A hidraulikai analízis alkalmazása során az úgynevezett „módosított alapfeladat”-ot kell elvégeznünk. Azt vizsgáljuk, hogy az aknák üritése során, különböző szállítási teljesítmények választása esetén egy-egy telítődési profil figyelembevételével milyen áramlási kép alakul ki, és milyen szivattyú munkapontokat kell beállítanunk.

A különböző szállítási stratégiák összehasonlításával kapjuk az optimális szállítási stratégiát, amelynek részleteit a hidraulikai analízis feladatait bemutatását követően ismertetjük.

3. Az al- és részrendszerek bemenet-kimenet modelljei, elemi döntési modellek

3.1. A gravitációs végaknából történő gravitációs szállítás irányítási-döntési modellje

Ezekbe a végaknába a szennyvíz gravitációs, nyíltfelszínű szállítással érkezik, az átemelő szivattyú a szennyvizet egy újabb gravitációs vezetékbe szállítja. A változó térfogatáramú gravitációs szállítás jellemzője, hogy az áramlási paraméterek (térfogatáram, áramlási sebesség, töltési fok) a helynek és az időnek is függvényei. Ha például az átemelő szivattyú hosszabb üzemszünet után indul, akkor a vezeték eltérő szelvényeiben az említett áramlási paraméterek eltérő időfüggvény szerint fognak változni. Az ilyen típusú aknák és szállítási feladatok az Álmos vezér utca, Árpád utca, Kinizsi utca, Meder utca, Országút 2, Vacsi utca jelzésű részrendszerekben vannak. A feladatok bemenet-kimenet típusú *white-box modelljét* a 3. ábra szemlélteti. A modellekben a bemeneti és kimeneti változókat, a döntési változót és a döntések következtében előálló gazdasági eredményt, valamint az ezek közötti



3. ábra. Gravitációs végakna, szivattyús kiszállítási gravitációs továbbszállítási bemenet-kimenet típusú white-box modellje

transzformációs összefüggéseket, mérlegegyenleteket és korlátokat tüntettük fel. A valódi döntési változó a szivattyú fordulatszáma. Meg kell jegyeznünk, hogy gravitációs végaknából történő szivattyús kiszállítási, majd gravitációs továbbszállítási esetén a szivattyú emelőmagassága lényegében állandó. A szivattyú fordulatszámának megválasztásával olyan munkapontokat kell beállítanunk, amelyeket állandó emelőmagasság és változó térfogatáram jellemez.

Az optimális szivattyú-fordulatszám beállítása az alábbi cél-függvény szerint történik:

$$C = \int_0^{24} E(\tau) d\tau = \int_0^{24} \frac{P_{sziv}}{\eta_{vill}} d\tau = \Delta p \int_0^{24} \frac{V_{ki}(\tau) \Delta p(\tau)}{\eta_{sziv}} d\tau \rightarrow \min! \quad (1)$$

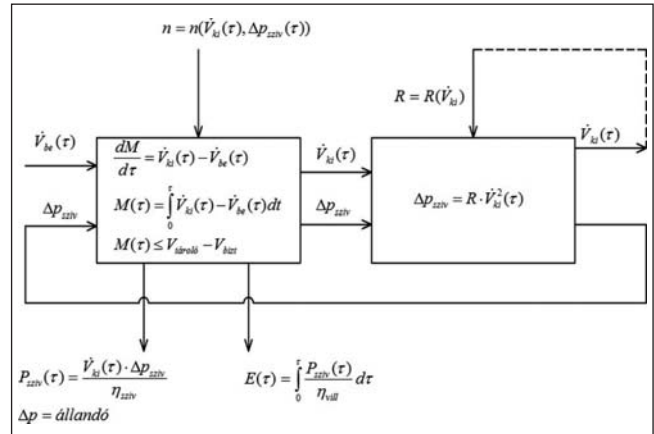
azaz a cél olyan szivattyúzási menetrend megvalósítása, amely a napi szivattyúzási munka minimumát eredményezi az egyéb követelmények (minimális és maximális aknaszintek; a szennyvíz maximális tartózkodási idejének stb.) egyidejű betartása mellett.

3.2. Gravitációs végakna, nyomás alatti szivattyús szállítás, soros rendszer

Ezekbe az aknába a szennyvíz gravitációs úton érkezik, az átemelt szennyvíz nyomás alatti vezetékben lép ki. A nyomás alatti változó térfogatáramú szállítás jellemzője, hogy a gravitációs vezetékektől eltérően állandó keresztmetszet és lejtés esetén az áramlási jellemzők (térfogatáram, áramlási sebesség, töltési fok) nem függvényei a helynek, csak az időnek. Az ilyen típusú aknák és szállítási feladatok a Martinovics tér, Pemák jelzésű részrendszerekben vannak.

A bemenet-kimenet típusú white-box modellt a 4. ábra szemlélteti.

A nyomás alatti szivattyús szállításban a csővezeték hidraulikai ellenállása jó közelítéssel állandónak vehető. A döntési feladatban a szivattyú fordulatszám–menetrendjét kívánjuk



4. ábra. Gravitációs végakna, nyomás alatti szivattyús bemenet-kimenet típusú white-box modellje

meghatározni, az alábbi cél-függvény szerint, ahol a cél a felhasznált energia minimalizálása:

$$C = \int_0^{24} E(\tau) d\tau \rightarrow \min \quad (2)$$

3.3. Összeágazó rendszerek, nyomás alatti szállítás

3.3.1. Az V. és VI. részrendszerek elemzése

Az ilyen típusú aknák és szállítási feladatok az V. és VI. részrendszerekben vannak (lásd a 2. ábrát). A bemenet-kimenet típusú white-box modellt a következő oldalon látható 5. ábra szemlélteti. A nyomás alatti szivattyús szállításban a csővezetékek hidraulikai ellenállása jó közelítéssel állandónak vehető. A döntési feladatban a szivattyú fordulatszámának a meghatározása a cél, amelynek alkalmazásával a kívánt térfogatáramokat minimális energiafelhasználással szállítjuk.

Az optimális szivattyú-fordulatszám beállítása az alábbi cél-függvény szerint történik, ahol a cél a felhasznált energia minimalizálása:

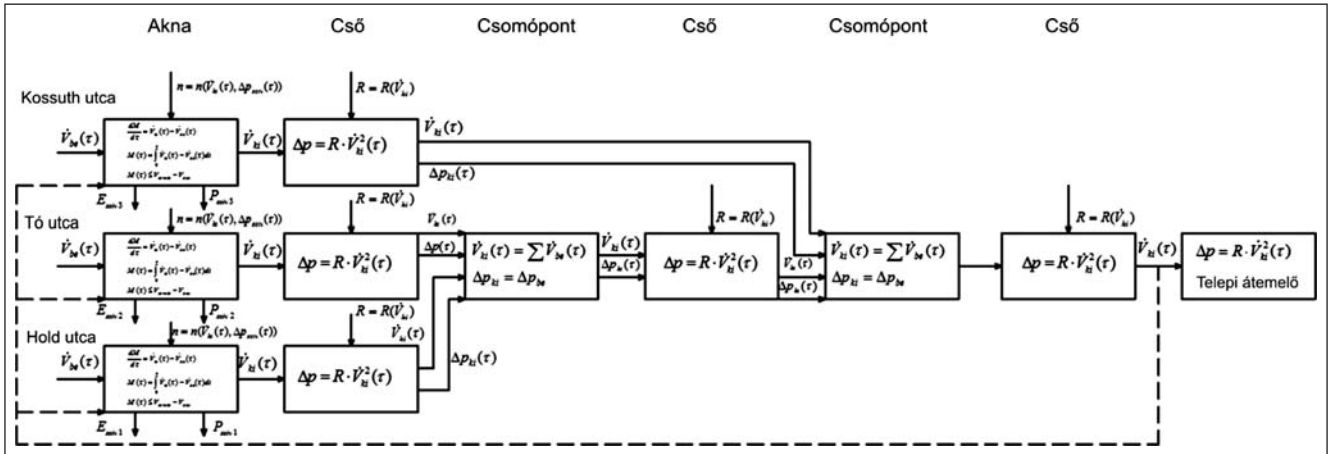
$$C = \int_0^{24} E_{sziv1}(\tau) d\tau + \int_0^{24} E_{sziv2}(\tau) d\tau + \int_0^{24} E_{sziv3}(\tau) d\tau \rightarrow \min! \quad (3)$$

A feladatban a döntési változók a szivattyú fordulatszámai: n_1, n_2, n_3 .

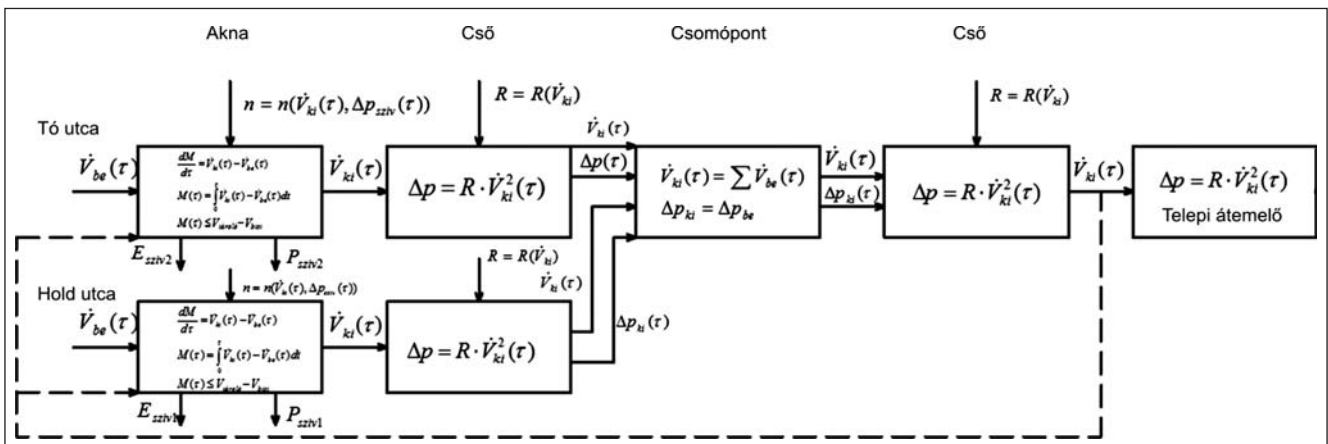
Hasonló elven, de más döntési modell segítségével határozhatjuk meg azon aknák szivattyúinak optimális fordulatszám–menetrendjét, ahol például nyomás alatti vezetékek csatlakoznak közös aknába, ahonnan az átemelő szivattyú gravitációs vezetékre dolgozik. Ezeket a jelen cikkben nem mutatjuk be.

3.3.2. A IV. részrendszer elemzése

A IV. részrendszer (lásd: 2. ábra) bemenet-kimenet típusú white-box modelljét a 6. ábra szemlélteti. A nyomás alatti szivattyús szállításban a csővezetékek hidraulikai ellenállása jó közelítéssel állandónak vehető. A döntési feladatban a Besnyő-Inárcsi utca, illetve „Ipari park” átemelőaknáknak



5. ábra. Összeágazó rendszerek, nyomás alatti szivattyúzás bemenet-kimenet típusú white-box modellje



6. ábra. IV. alrendszer, nyomás alatti szivattyúzás bemenet-kimenet típusú white-box modellje

lévő szivattyúk fordulatszám-menetrendjének a meghatározása a cél, amelynek alkalmazásával a kívánt térfogatáramokat minimális energiafelhasználással szállíthatjuk.

Az optimális szivattyú-fordulatszám beállítása az alábbi célfüggvény szerint történik:

$$C = \int_0^{24} E_{sziv1}(\tau) d\tau + \int_0^{24} E_{sziv2}(\tau) d\tau \rightarrow \min! \quad (4)$$

A feladatban a döntési változók a szivattyúk fordulatszámai: n_1, n_2 . A munkapontok meghatározásához meg kell oldanunk a részrendszerekre a Kirchhoff-egyenleteket. Mivel az 1. és 2. átemelőszivattyúk azonos szintre dolgoznak, így a megoldáshoz a csomóponti egyenleten kívül fiktív hurkokegyenletet is meg kell oldanunk.

4. Összefoglalás

Cikkünkben bemutatuk a DAKÖV Kft. szennyvízcsatorna hálózatának dekompozícióját, amellyel a hálózatot alrendszerekre és részrendszerekre bontottuk. Az alrendszerek hidraulikailag és irányítástechnikailag autonóm egységeket képeznek. Az alrendszerek részrendszerekből állnak, amelyek gravitációs, vagy nyomott szállítással a Telepi átemelőbe szállítják a szennyvizet. Minden alrendszerre és részrendszerre felírtuk az áramlási egyenleteket (terjedelmi korlátok miatt

ezeket nem közöltük), amelyekkel a szennyvíz szállítása során az áramlás paraméterei nyomon követhetők, és beállíthatók olyan szivattyú munkapontok, amelyek a kívánt üzemeltetési stratégiához a szükséges szivattyú teljesítményt és szállítást biztosítják.

A szivattyúk műszaki adatait és minden egyéb korlátozó feltételt, így a korlátos tározókapacitásokat is figyelembe véve, az optimális szállítási stratégia a dinamikus programozás segítségével határozható meg. Jelenleg még nem áll rendelkezésünkre kellő mennyiségű adat a feladat elvégzéséhez, ezért a szabályozást öntanuló módon kell kialakítani.

Megállapítottuk, hogy a tanulás időszakában a változtatható fordulatszámú szivattyúhajtással lehetőség szerint szinttartó szabályozást kell megvalósítani. A következő időszak kutatásai arra irányulnak, hogy az egyes részrendszereket hogyan kell összehangolni a tárolási lehetőségek jobb kihasználása, és a telepi tározó egyenletesebb töltése érdekében.

5. Irodalomjegyzék

- [1] Garbai László, Jasper Andor: A matematikai rendszerelmélet feldolgozása és alkalmazása épületgépészeti optimalizációs feladatok megoldására; Magyar Épületgépészet 59. évf. (3) pp. 3-6. (2011)
- [2] Garbai László: Távhőellátás: Hőszállítás; Budapest: Typotex Kiadó, 2012. 956 p. (ISBN: 978-963-279-739-7)