



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR
VÍZI KÖZMŰ ÉS KÖRNYEZETMÉRNÖKI TANSZÉK
TANSZÉKVEZETŐ: KONCSOS LÁSZLÓ



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Vízellátó rendszerek hidraulikai rendszervizsgálata, vizsgálati módszertana

módszertani elemző tanulmány

**Készült
a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium
kezdemenyezésére
a Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság
megbízásából**

**2009.02.13
Budapest**

A tanulmány összeállításában közreműködtek:

**Dávidné Dr.DELI Matild
BÓDI Gábor**

Témafelelős

Dr.DARABOS Péter

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	6
2. Eszközrendszer – Hidraulikai programok áttekintése.....	7
2.1. A modellezés típusai	7
2.1.1. „Statikus”, üzemállapot vizsgálatok.....	8
2.1.2. Folyamat-elemzés, „kvázi-stacioner” szimuláció	9
2.1.3. Hálózati vízminőség változások modellezése	11
2.1.4. Hidraulikai modellező programok rövid áttekintése.....	12
2.1.5. WaterCad.....	13
2.1.5.1. Modellkészítés (WaterGEMS)	14
2.1.5.2. Hálózatszámítás (WaterCAD).....	14
2.1.5.3. Alkalmazási hatékonyságot fokozó szolgáltatások	15
2.1.6. EPANET.....	16
2.1.7. PICCOLO.....	18
2.1.7.1. A munkakörnyezet	19
2.1.7.2. Hidraulikai szimuláció	19
2.1.7.3. Működési költség kiszámítása.....	20
2.1.7.4. A vezetékméretező modul.....	20
2.1.7.5. GANESSA – stratégiatervező modul.....	20
2.1.8. HCWP	21
2.1.8.1. A programról általában.....	21
2.1.8.2. A HCWP program fő alkalmazási területei.....	22
2.1.8.3. A HCWP program működési elvei, a feladatok megoldásának lehetőségei	22
2.1.8.4. Modell készítés, digitális adatmigrációval	22
2.1.8.5. Változat kezelés.....	23
2.1.8.6. Nézetkezelés.....	23
2.1.8.7. Export lehetőségek	23
2.2. A hidraulikai modellekkel megoldható feladatok áttekintése	24
3. Modellek.....	26
3.1. Hidraulikai alapok.....	26
3.1.1. A folytonosság.....	27
3.1.2. A Bernoulli-egyenlet.....	27
3.1.3. Energiaveszteségek	27
3.1.4. A csősúrlódási tényező.....	28
3.1.5. Hidraulikailag hosszú és rövid csövek	30
3.1.6. Magányos csővezetékek, csőszál	31
3.1.7. Elágazások és csatlakozások	32
3.1.8. A körvezeték	33
3.1.9. Csővezeték és szivattyú.....	34
3.1.9.1. Szívó oldali nyomások	34
3.1.9.2. Emelőmagasság és teljesítményigény	35
3.1.9.3. Munkapont, kagylódiagram	35
3.1.9.4. Több szivattyú együttes üzeme	37
3.2. Topológiai modell	38
3.3. Fizikai-hidraulikai modell	42

3.3.1. Csővezeték, valódi ág.....	42
3.3.2. Tározók, kötött nyomású pontok.....	44
3.3.3. Szivattyú (centrifugál szivattyú)	45
3.3.4. Kút.....	46
3.3.5. Hidráns, szabadkifolyás	46
3.3.6. Nyomás-szabályozó berendezések	46
3.3.7. Hálózati szerelvények	47
3.3.8. Szűrő.....	47
3.4. A fogyasztás modellezése	47
3.4.1. A vízfogyasztás területi megoszlásának modellezése	48
3.4.1.1. Lakossági (kommunális) vízfogyasztás kivételi helyei.....	48
3.4.1.2. Közintézményi vízkivételek helyei	49
3.4.1.3. Nagyfogyasztók vízkivételi helyének modellezése.....	50
3.4.1.4. A vízfogyasztás helyének és nagyságának együttes megállapítása	50
3.4.2. A vízfogyasztás nagyságának időbeli változása.....	50
3.5. A modellezés szintjei	53
3.5.1. Részletes modell.....	53
3.5.2. Egyszerűsített modell	53
3.5.3. Helyettesítő modell	54
3.6. Modellek identifikálása, kalibrálása.....	56
3.7. Optimalizációs feladatok.....	58
3.7.1. Üzemoptimalizálás	58
3.7.1.1. Az üzemoptimalizálás peremfeltételei	59
3.7.1.2. Az üzemoptimalizáció általános célfüggvényei	61
3.7.2. Létesítés orientált optimalizálás	62
4. Vizsgálati módszertan	64
4.1. Műszaki-gazdasági célok, tervezési módszertan.....	65
4.2. Vízkormányzási stratégiák	67
4.3. Hidraulikai vizsgálatok	70
4.3.1. Üzemállapot vizsgálatok	70
4.3.1.1. Üzemállapotok meghatározása.....	70
4.3.1.2. Hidraulikai számítás eredményei	72
4.3.1.3. Az eredmények értékelése.....	73
4.3.2. Szivattyúk felülvizsgálata	76
4.3.2.1. Csőhálózati jelleggörbe fogalma.....	76
4.3.2.2. A csőhálózati jelleggörbék kiszámítása	80
4.3.2.3. Szivattyúválasztás	81
Hidraulikai feltételek.....	81
Energetikai feltételek.....	82
4.3.3. Üzemszimulációs vizsgálatok, üzemrend ellenőrzés	84
4.3.3.1. A számítás kiindulási adatai.....	84
4.3.3.2. A számítások eredményei.....	84
4.3.3.3. Az eredmények értékelése.....	88
4.3.4. vízminőségi vizsgálatok	90
4.4. Vízellátó rendszerek komplex szemléletű tervezése.....	95
4.4.1. A vezeték állapot értékelés helye a tervezésben	96
4.4.2. Hidraulikai analízis	96
4.4.3. Példák komplex felülvizsgálatok buktatóira	97
4.4.3.1. A „kis” vízellátó rendszer csapdája.....	97

4.4.3.2. A rendszer kialakítás energetikai összehasonlítása	99
4.4.3.3. „Kis térségi” rendszerek csapdái	100
5. Alapadatok beszerzése	101
5.1. A rendszermodellek elkészítéséhez szükséges adatok	101
5.1.1. A csővezetékek adatai	101
5.1.2. Szabályozott hálózati szerelvények	102
5.1.3. Egyéb hálózati szerelvények	103
5.1.4. A tározók adatai	104
5.1.5. Szivattyúk adatai	104
5.1.6. Kutak adatai	104
5.2. Hagyományos adatgyűjtés és forrásai	105
5.3. Vízigények megalapozása – Értékesítési és termelési adatsorok elemzésének módszertana 108	
5.4. Modellkészítés és karbantartás informatikai követelményei	109
5.4.1. A csővezetékek adatai	110
5.4.2. Hálózati szerelvények	110
5.4.3. A tározók adatai	111
5.4.4. Gépházak és szivattyúk adatai	111
5.4.5. Kutak adatai	112
6. Összefoglalás	113
6.1. Követelmények	114
6.2. Ajánlások	115
7. Irodalom	116

1. Bevezetés

Hazánk Európai Unió csatlakozásának következményeként, részben az ivóvíz minőségi követelmények változása miatt, részben a közüzemi ivóvíz szolgáltatás területén egyébként fennálló és ismert vízminőségi problémák megoldására 2001. évben országos Ivóvízminőség-javító Program került kidolgozásra. A program elsődleges célja az, hogy Magyarország települései az Európai Unió előírásoknak megfelelő minőségű ivóvízzel legyenek ellátva. A Program megvalósításának mára már vannak eredményei. A végrehajtás az ország egyes területein elkezdődött, illetve előkészítés alatt áll. Jelen tanulmánnyal Megbízó az Ivóvízminőség-javító Programmal kapcsolatos szakmai döntések megalapozását, az előkészítési munka minőségi követelményeinek meghatározásával kívánja segíteni, ezzel fokozva az állami és uniós források hatékonyabb felhasználását.

Az Ivóvízminőség-javító Program megvalósításával összefüggésben a vízellátó rendszerek korszerű tervezéséhez és üzemeltetéséhez olyan – megfelelő adatbázisra támaszkodó – hálózatszámítási eszközök szükségesek, amelyek a növekvő követelményeknek megfelelően és a lehető legalacsonyabb szintű beruházási, üzemeltetési költségekre törekvés szemléletének érvényesülése mellett segítik a biztonságos ellátás, valamint a hatékony üzemeltetés biztosítását.

A vizsgálati elemzés készítőjétől elvárás, hogy

- a meglévő rendszer üzemeltetésének hatékonyabbá tételét, illetve a távlati fejlesztések rendszerbe illesztését szolgáló hidraulikai rendszervizsgálatokkal kapcsolatban tárja fel és részletezze a műszaki, valamint a műszaki-gazdasági célokat;
- a felsorolt célok elérése érdekében mutassa be és dolgozza ki az alkalmazható hidraulikai vizsgálati módszereket;
- részletezze a hidraulikai számítások, vizsgálatok lehetséges eredményeit, az erre alapozott szükséges beavatkozásokat, ezen belül is azokat, amelyeknek közvetlen vagy közvetett hatása van a hálózati vízminőségre, külön nevesítve egyúttal a rekonstrukciós feladatok közé illeszthetőket.

A vízellátással foglalkozó szolgáltató szervezetek már több évtizede igénylik, hogy a fogyasztók megfelelő mennyiségű és minőségi vízzel való ellátása mindenkor megfelelő legyen, illetőleg ez a szolgáltatás a fogyasztó számára minél alacsonyabb költséggel legyen biztosítható.

Gyorsította a folyamatokat a tulajdonosváltás, valamint a piacgazdálkodásra való áttérés, hiszen a víz ára megváltozott, nagyságrendileg növekedett meg, a közel értékarányos vízdíjakat egyre nehezebben tudták a fogyasztók kifizetni. A jelenlegi gazdasági helyzet, valamint az EU előírásai – a teljes költségmegtérülés – előrevetítik a vízdíj infláción felüli növekedését, *illetőleg annak kiegyenlítési problémáit is.*

Mint már említettük az igény a minél jobb, korszerűbb, olcsóbb üzemeltetés megvalósítására már több évtizede felmerült. Hazai szakemberek is tudták, hogy a fejlődés kulcsa a tudomány kezében van. Olyan módszereket, eljárásokat, új technológiákat kell alkalmazni, amelyek a további fejlődést elősegítik. A hihetetlen gyors ipari fejlődés megteremtette erre a lehetőséget, megjelentek és hazánkban is elérhetővé váltak a számítógépek. Megszülettek – hazánkban is – a vízellátó rendszereket vizsgáló, a tervezést segítő programok. Ezek számítási algoritmusait, az alkalmazás feltételeit és lehetőségeit, az elérhető eredményeket, azok összefüggéseit stb. mutatjuk be a továbbiakban.

2. Eszközrendszer – Hidraulikai programok áttekintése

- *Modellezés típusai (stacioner, dinamikus)*
- *Hidraulikai modellező programok rövid áttekintése (egyezőségek, különbözőségek, előnyök, hátrányok)*
- *Hidraulikai modellekkel megoldható feladatok áttekintése*

A vízellátó rendszerek, hálózatok számítógéppel történő modellezése, a modellek tervezésben és üzemeltetésben való alkalmazása több évtizedes múltra tekint vissza. Hazánkban, akárcsak külföldön a 60-as években készültek az első számítógépi programok, amelyeket vízellátó hálózatok tervezéséhez, a hálózat hidraulikai ellenőrzéséhez használtak fel. Az azóta eltelt évtizedek alatt a fejlesztések folyamatosan követték az informatika egyéb ágainak fejlődését (operációs rendszerek, adatbázis kezelés, térinformatika) és mára a tervező és üzemeltető mérnököknek rendkívül fejlett hálózat számítási eszközök állnak rendelkezésére.

Ebben a fejezetben áttekintjük

- a vízellátó hálózatok modellezési lehetőségeit;
- a modellek segítségével megoldható tervezési és üzemeltetési feladatokat;
- bemutatjuk a világon leginkább elterjedt hálózatszámítási szoftvereket, illetve egy a hazai gyakorlatban elterjedt alkalmazást.

2.1. A modellezés típusai

A nyomás alatti vízellátó hálózatok hidraulikai vizsgálatai az áramlás jellege szerint két nagy csoportra oszthatók:

- állandósult (permanens), illetve
- nem-permanens

áramlási viszonyokat feltételező modellek.

A rendszerek tervezése és üzemeltetése szempontjából mindkét megközelítés fontos lehet. Tekintettel arra, hogy a vízellátó rendszerek működtetése során kifejezetten cél a tranziens jelenségek elkerülése, minimalizálása az ellátás biztonsága érdekében, már a tervezéskor igyekezzenek a nyomáslengés jelenségek kialakulásának még a lehetőségét is elkerülni. Mindezek következtében a vízelosztó hálózatok viselkedése, a tapasztalatok szerint, üzemzavarmentes körülményeket feltételezve, a mérnöki pontosság követelményeit kielégítő módon közelíthető, állandósult áramlási viszonyok feltételezésén alapuló matematikai modell alkalmazásával. Tanulmányunkban éppen ezért elsősorban az állandósult áramlási viszonyok feltételezésén alapuló modellezési eljárásokat és vizsgálati lehetőségeket mutatjuk be, mint a tervezésben nemzetközileg is leginkább elterjedt módszereket. Ezek a modellek, mint az a szakirodalomból ismert, megfelelő pontosságú eredményeket tudnak szolgáltatni a hirtelen változásoktól mentes üzem egyes időpillanataiban (üzemállapotok) pillanatfelvételek formájában, illetve egy hosszabb üzemzavarmentes időszakra (pl. 24 óra) vonatkozóan is.

Az ismert hazai és nemzetközi szoftverfejlesztő és forgalmazó cégek többsége mindkét áramlási esetre, általában külön-külön szoftver terméket tud ajánlani. Tanulmányunkban ezek közül az állandósult áramlási viszonyok feltételezésén alapuló alkalmazásokat tekintjük át, és csak megemlítjük, ha a fejlesztőnek tranziens jelenségek modellezésére alkalmas szoftver terméke is elérhető.

2.1.1. „Statikus”, üzemállapot vizsgálatok

Definíció: Üzemállapot

Az üzemállapot a vízellátó rendszerben lejátszódó üzemi folyamat egy pillanatfelvételeként értelmezhető.

Az üzemállapot kifejezés leszűkített értelemben tehát az üzemi viszonyok - betáplálási menetredek, vízkormányzási beavatkozások - különbözőségét jelenti. Tágabb értelemben azonban a fogyasztás időbeli és térbeli változása is jellemzi a vízellátó rendszer üzemállapotait.

A hálózat hidraulikai vizsgálata során jellemzőnek tekintett üzemállapotok céljukat tekintve két csoportba sorolhatók:

- Méretezési üzemállapotok, melyek a rendszert zavartalan üzem esetén jellemzik, és alkalmasak a hálózat gerinc és elosztóvezetékei szükséges szállítókapacitásának (átmérő) meghatározására.
- Ellenőrzési üzemállapotok, melyek valamilyen zavaró esemény (pl. tűzoltás) hatásainak elemzésére irányulnak, és a negatív hatások kiküszöbölésére teendő beavatkozások meghatározását teszik lehetővé.

Az üzemállapot vizsgálatok elsődleges célja a hálózat kritikus, szélsőséges körülmények fellépése esetén várható viselkedésének felderítése. Bár a kritikus üzemállapotok meghatározás nagymértékben rendszerfüggő, mégis a következő estekre célszerű külön is felhívni a figyelmet:

- Legnagyobb fogyasztású időszakok vizsgálata
- Legkisebb fogyasztású időszakok vizsgálata
- Tározók maximális vízforgalmi esetének (töltődés/ürülés) vizsgálata
- Betáplálások kiesésének vizsgálata
- Vezeték meghibásodások és következményeik vizsgálata

A beállított üzemállapotokra vonatkozóan, egy-egy számítás végeredményeként, a következő kérdésekre kaphatunk választ:

Különböző előre megadott

- fogyasztási,
- betáplálási, átemelési helyzetekben (üzemállapotokban)

hogyan alakul a

- a tározók vízforgalma,
- a hálózat vezetékei mentén a vízszállítás, a sebesség, a nyomásveszteség, és
- a hálózat csomópontjain milyen nyomások alakulnak ki.

A felsorolt szokványosnak mondható, tervezésben és üzemeltetésben egyaránt előforduló üzemállapot vizsgálatokon kívül, ennek a megközelítésnek van két speciális alkalmazási lehetősége is.

- A betáplálást és átemelési pontok szélső csőhálózati jelleggörbéinek meghatározása, majd ezt követően a beépített szivattyúk ellenőrzése, illetve új költséghatékonyan üzemeltethető szivattyúk kiválasztása.
- Egy-egy üzemállapotra, illetve különböző független változókra (fogyasztás, csőtörés) meghatározható a hálózati csomópontok nyomásérzékenység mátrixa.

Az utóbbi nyomásérzékenységi mátrix számos alkalmazási lehetőséget rejt magában, ezek közül csak néhányat említünk:

- A hálózat nyomásváltozás szempontjából kritikus pontjainak kijelölése, ahová nyomásmérő műszereket célszerű elhelyezni.
- Az egyes betáplálások nyomás szempontjából érzékeny hatásterületének kijelölése.
- Csőtöréskockázat számítás alapjául szolgáló érzékenységi mátrixok előállítása.

2.1.2. Folyamat-elemzés, „kvázi-stacioner” szimuláció

Már az 1970-es években kifejlesztésre kerültek a ma használatos hálózatszámító programok alapváltozatai. Ezek közül a fejlettebbek már (Almássy B. 1966, Bozóky-Szeszich K. 1968, Almássy B.-Budavári S.-Vajna Z. 1981) a hálózat topológiája alapján a kiegyenlítő számításokhoz szükséges hálózati kapcsolatokat leíró együttható mátrixokat (kapcsolási-, hurok mátrix) automatikusan állították elő. Ezzel lehetővé vált egyes eltérő üzemiállapotok gyors egymás utáni számítása is.

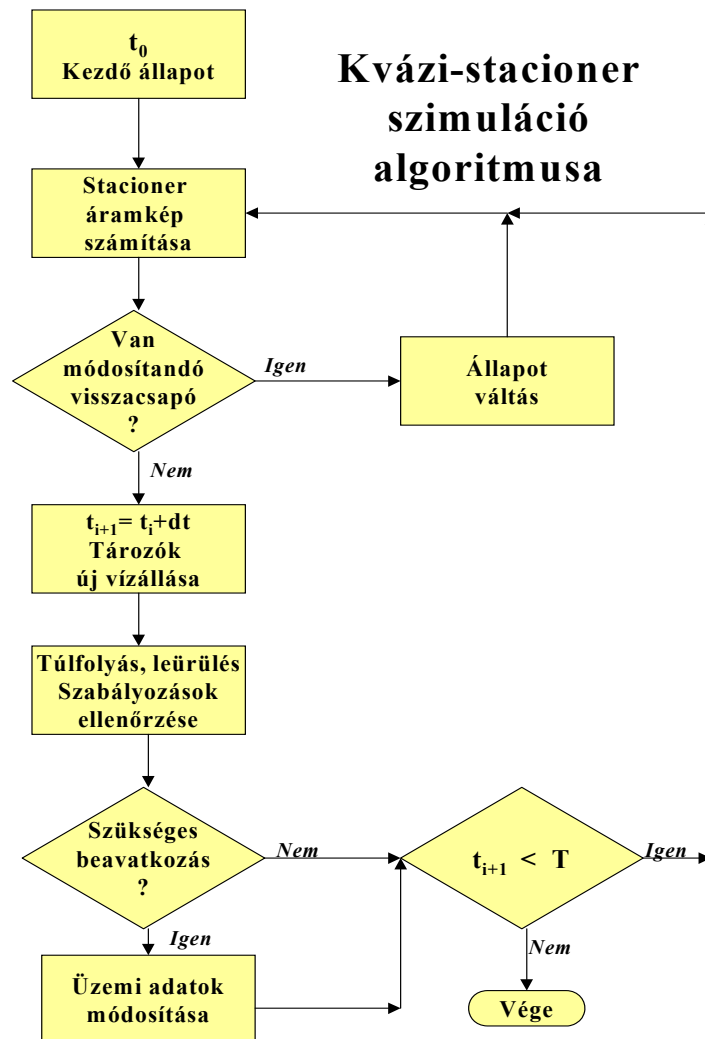
Éppen ezek a lehetőségek, valamint a vízelosztó rendszerek tározóinak vizsgálatai vetették fel azt az igényt, hogy ne csak a teljes üzemből kiragadott pillanatfelvételek álljanak rendelkezésünkre, hanem az üzemi folyamatot áttekinthessük. A hetvenes évek elején a BME Vízellátás-Csatornázás Tanszékén Bozóky-Szeszich Károly készített programot, amely már tartalmazta a kvázi-stacioner szimuláció leglényegesebb alapelemét a tározók időfüggő vízszintváltozását.

Definíció:

A kvázi-stacioner szimuláció nem más, mint a valóságban lejátszódó - valójában nem-permanens - folyamat stacioner állapotok sorozatával végzett közelítése. Feltételezi, hogy az egyes stacioner üzemiállapotok között eltelő időben (dt -lépésköz), a vizsgált rendszer állapotváltozásának sebessége elhanyagolható mértékű, azaz minden elemre

$$\frac{dh_v}{dt} \approx 0$$

A módszer egyszerűsített algoritmusát a **2-1.ábrán** mutatjuk be



2-1. ábra

A folyamat ilyen megközelítése természetesen rejt magában hibalehetőségeket. Amennyiben az üzemzavar jellegű változások figyelembevételétől eltekintünk (pl. nyomáslengésből származó üzemzavarok), valamint feltételezzük, hogy a szimuláció alapját képező modell minden lehetséges, üzemszerű állapotban kellő pontossággal követi a valós hálózat viselkedését, a szimuláció hibái a következők lehetnek:

- A szivattyúk összegzett vízszállítása eltér a valóságtól.
- A tározók vízforgalom összege eltér a valóságtól.

A szivattyúk esetén a hiba származhat abból, hogy a kvázi-stacioner szimuláció során a szivattyúk emelőmagassága ugrásszerűen változik több ok miatt:

- a tározók vízállásának,
- a szivattyú saját üzemállapotának

ugrásszerű, hirtelen változása miatt.

A tározó vízszintek hirtelen változásából adódó hibák elsősorban a lapos jellegű szivattyúkat érintik, amikor is a szivattyú szállítómagasságának kis változása is jelentős vízszállítási változást idézhet elő. Ez a hiba az idő lépésköz helyes megválasztásával csökkenthető.

A szivattyúk ki-be kapcsolásából származó hiba Bozóky-Szeszich K. megállapítása szerint feltételezve, hogy a valóságban történő ki és bekapcsolás száma közel azonos, és azonos időtartam alatt zajlik le, illetve azonos dV térfogatot jelent, kiegyenlítődik, illetve elhanyagolható a teljes vizsgált időszak szempontjából.

A **kvázi stacioner szimulációt** ma már hagyományosnak tekinthető módon tervezési és üzemellenőrzési célokra használják.

Egy nagyobb és bonyolultabb települési, de még inkább egy regionális vízmű tervezése során nem lehet elhanyagolni az üzemeltethetőség vizsgálatát. Ezzel a vizsgálattal igazolható, hogy a rendszer megfelelő szabályozások mellett a szélsőséges (minimális, maximális) terhelések esetében egyaránt üzemeltethető, és a számítások során kapott eredmények a rendszer irányítástechnikai tervezésének alapadatait is szolgáltatják.

Másik igen fontos, de ma még nem igazán elterjedt alkalmazás az operatív üzemirányításon belül az egyes konkrét irányítási stratégiák tervezése és ellenőrzése. Várhatóan a közeljövőben ezen a területen jelentős változások fognak bekövetkezni, amikor is mind a tárgyi, mind a személyi feltételei az egyes szolgáltató szervezeteknél meg lesznek az ilyen alkalmazás napi gyakorlatba való beépülésének.

A szimulációs vizsgálatok során, tekintettel arra, hogy az alkalmazott szimulációs program nem csak a tényleges vízellátórendszer működését, hanem az azt irányító rendszer egyes szabályozó elemeinek működését is képes modellezni, képet kaphatunk az egyes rendszerelemek időbeni együttműködéséről is. Ezzel a módszerrel lehetőség van szabályozási stratégiák tesztelésére, kipróbálására, vagy akár tervezésére is.

2.1.3. Hálózati vízminőség változások modellezése

A vízellátó hálózatokban, mint fizikai-kémiai-biológiai reaktorokban lejátszódó folyamatok a hálózatban tartózkodó víz minőségét folyamatosan befolyásolják, módosítják. Ezek a vízminőségi változások közel 20 éve foglalkoztatják a vízellátással foglalkozó kutatókat. A kutatási és fejlesztési munka jelenlegi fázisában a folyamatokat teljes komplexitásukban még nem vagyunk képesek modellezni, azonban bizonyos elkülöníthető részfolyamatok, illetve paraméterek vizsgálatára már van lehetőség.

A nemzetközi, illetve hazai gyakorlatban elterjedt megoldások, szoftverek ezt a problémát, a kvantitatív kvázi stacioner szimulációs feladat folytatásaként kezelik, illetve oldják meg. A gyakorlatban két paraméter meghatározására készültek szoftver megoldások:

- tartózkodási idő (vízkor),
- klórkoncentráció.

A tervezési gyakorlatban inkább az előbbinek van jelentősége, mivel számítása nem igényel kalibrációs méréseket és vízminőségi szempontú modell validációt. A nemzetközi és hazai szakirodalom ezt a paramétert egyes kedvezőtlen vízminőség változási folyamatok esetében megfelelő indikátor paraméternek tekinti. Ezek a következők (Dombay, 2007):

- íz- és szagproblémák,
- klórfogyás,
- maradék fertőtlenítőszer jelenlétében a víztest baktériumszáma.

Különösen regionális, térségi vízellátórendszerek tervezésekor célszerű a tervezett rendszer vízkorra történő ellenőrzése.

2.1.4. Hidraulikai modellező programok rövid áttekintése

Ebben a fejezetben a világon leginkább elterjedt, és a hazánkban is használatos vízellátó hálózatok modellezésére alkalmas szoftverekről adunk rövid, a lényeges jellemzőket kiemelő, az egyezőségekre, különbségekre, előnyökre, és hátrányokra fókuszáló áttekintést.

A nemzetközi gyakorlatban legelterjedtebb, illetve a hazai alkalmazásban előforduló programok a következők:

<i>WaterCad</i>	Bentley – Haestad Methods	USA
<i>Epanet</i>	US Environmental Protection Agency	USA
<i>Piccolo</i>	SUEZ - SAFEGE	Franciaország
<i>HCWP</i>	HydroConsult Kft.	Magyarország

2.1.5. WaterCad



2-2.ábra – WaterCAD honlap

A Bentley Systems a világ egyik legnagyobb CAD és GIS szoftverfejlesztő és forgalmazó cége, amely felvásárlással jutott hozzá a WaterCAD szoftver jogaihoz, melyet előzőleg a Haestad Methods cég fejlesztett és forgalmazott. A fúzió eredményeként a Haestad Methods beolvadt a Bentley Systems-be, nagyrészt megtartva eredeti profilját, amely a települési vízgazdálkodás (vízellátás-vízvezetés) körébe tartozó hidraulikai rendszerek modellezésére terjed ki.

A vízellátó hálózatok hidraulikai modellezésére készült programcsomagból a zászlóshajó ugyan a WaterCAD program, de érdemes megemlíteni, hogy ezt az eszközt milyen kiegészítőkkel ajánlják:

Szoftver	Funkcionalitás
WaterGEMS	Modellkezelési és modellgenerálási eszköz, mellyel különböző grafikus, térinformatikai platformokon (ArcGIS, AutoCAD, MicroStation) rendelkezésre álló modellelemeket lehet egységesen kezelni és belőlük modellt készíteni.
HAMMER	Nyomáslengés modellezés. Nem-permanens szimuláció.
SCADAConnect	Folyamatirányító rendszer és a hálózatszámító szoftver adatbázisának összekapcsolására alkalmas szoftver eszköz, mellyel a folyamat valós adataiból kiinduló számítások előkészítése elegánsan megoldható.
Darwin Calibrator	A WaterGEMS szoftverbe integrált funkció, mellyel a modell kalibrációt segítik.
Darwin Designer	A WaterGEMS szoftverbe integrált funkció, genetikai algoritmuson alapuló hálózat tervezési optimalizáció.
Skelebrator	A bonyolult modellek egyszerűsítésre használható, a WaterGEMS szoftverbe integrált eszköz.

Szolgáltatásait és komplexitását tekintve a WaterCAD a leginkább komplex megoldás, a vízellátó hálózatok tervezésével és üzemeltetésével kapcsolatban felmerülő feladatok megoldására.

A WaterCAD egy kifinomult eszköz, mellyel a fejlett és igényes közmű szolgáltatási technológiát alkalmazó, jól meghatározott és magas szakmai követelményeknek megfelelő vízellátásban dolgozó üzemeltetők és tervezők példátlan pontossággal és hatékonysággal képesek felügyelni, elemezni a hálózatokat, és rekonstrukciós illetve fejlesztési alternatívákat kidolgozni a távlati igények kielégítése céljából.

2.1.5.1. Modellkészítés (WaterGEMS)

A program automatikusan konvertálja a már meglévő CAD vonalakat, illetve törött vonalakat intelligens hidraulikai elemmé, felhasználva a kifinomult „töröttvonalból vonal” eszközt. Problémamentesen illeszthető közvetlenül a GIS rendszerekhez, adatbázisokhoz, illetve gyorsan importálhatóak a fájlok más modellező csomagokból.

2.1.5.2. Hálózatszámítás (WaterCAD)

A WaterCAD alkalmas üzemállapot vizsgálatokra és az üzemi folyamat szimulációjára egyaránt. Ehhez

- könnyen vezérelhető és beállítható nyomásszabályozó modell elemek (dinamikus szelepek),
- szivattyúkonfigurációk (a legegyszerűbbektől a bonyolultabbakig),

széles választéka áll rendelkezésre.

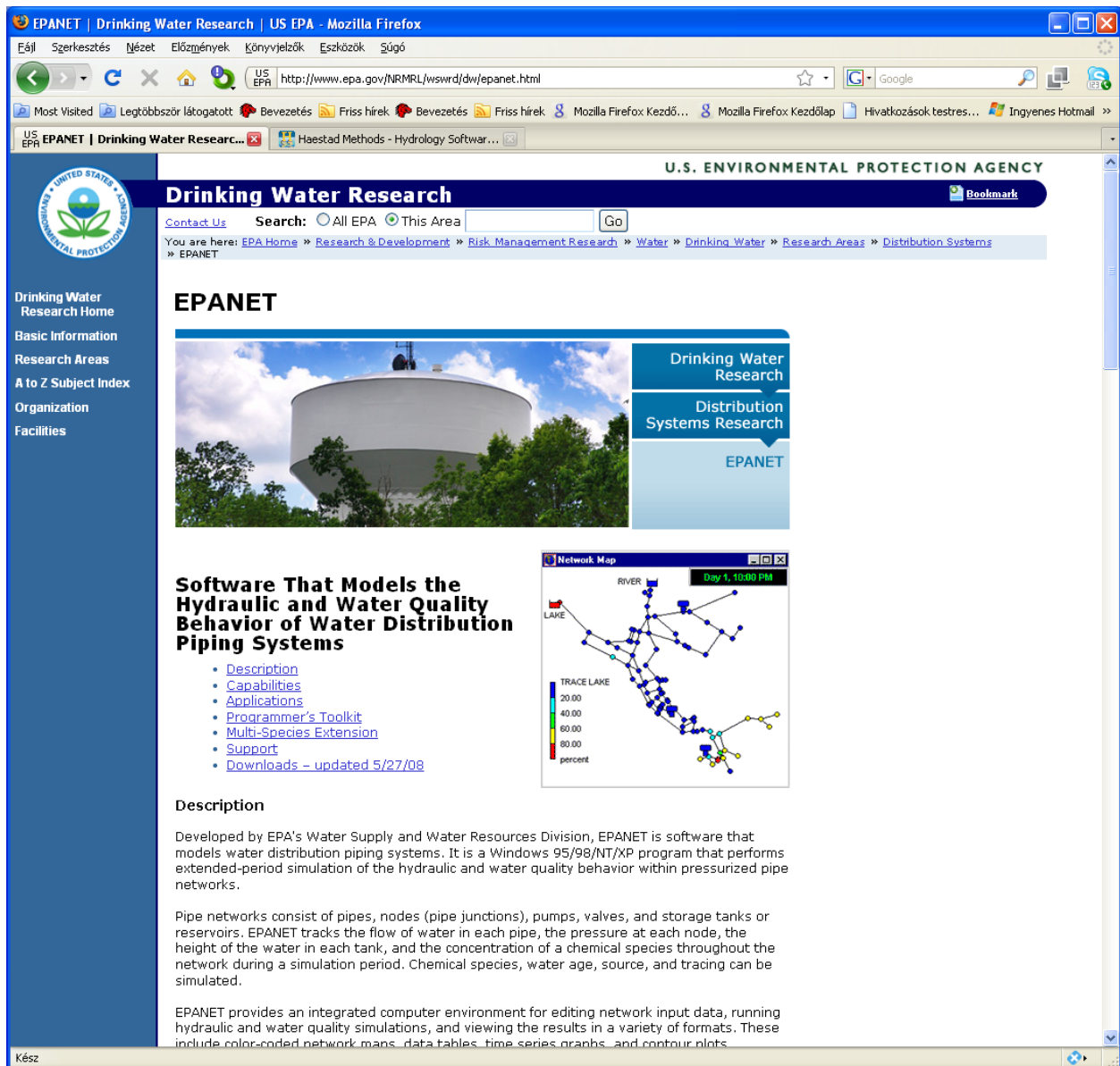
Képes a konzervatív anyagok elkeveredésének és transzportjának számítására (vízkeveredés, vízkor, klórkoncentráció).

Az USA-ban jellemzően mértékadó terhelési esetnek számít a tűzoltási vízigények kiszolgálása. A hálózatok tervezésének így egyik kulcskérdése ennek a feladatnak a megoldása, amihez a WaterCAD automatikus eszközt biztosít (Darwin Designer), melynek segítségével gyorsan és pontosan meghatározható a rendszer reakciója, a szükséges csőméretek különböző mértékadó tűzoltási esetek ismeretében.

2.1.5.3. Alkalmazási hatékonyságot fokozó szolgáltatások

- Fa struktúrájú változatkezelés.
- A korlátlan művelet-visszavonás segítségével magabiztosabb a modellezés.
- A beépített oktatóprogrammal percek alatt meg lehet tanulni a WaterCAD használatát.
- Részletes angol nyelvű dokumentáció és beépített HELP rendszer. E mellett külön oktatási anyagok a modellezési technológiáról.

2.1.6. EPANET



2-3.ábra – EPANET honlap

Az EPANET az USA kormánya által, illetve az EPA mint kormányhivatal által finanszírozott kutatási projekt keretében került kifejlesztésre. A fejlesztés homlokterében a vízminőség hálózati változása állt. A probléma megoldás metodikájából adódóan azonban, tekintettel arra, hogy a minőségi változások modellezésének előfeltétele az áramlási viszonyok meglehetősen pontos ismerete, a kvantitatív modellezési feladatot is meg kellett oldani. Ezért az EPANET szoftver tulajdonképpen két részből áll:

- a szimulációs hidraulikai számításokat végző programból, és
- a hidraulikai számítások végeredményeiből kiinduló minőségváltozási számításokat végző részből.

Az EPANET program óriási előnye, hogy nyílt forráskódú szoftver, vagyis a program teljes C++ nyelven írt forráskódja szabadon letölthető szoftver honlapjáról. Alkalmazása, felhasználása ingyenes !

Az EPANET egy Windows 95/98/Nt/2000/XP operációs rendszerek alatt futó program, mely teljes hidraulikai szimulációt végez és egyes vízminőségi paraméterek változásának vizsgálatára is alkalmas, a nyomásalatti vezetékhálózatban. A hálózat tartalmazhat vezetékeket, csomópontokat, szivattyúkat, szabályozható elzárókat és víztározókat. Az EPANET nyomon követi a vizet minden vezetékekben, a nyomást minden csomóponton, a vízállást minden tározóban és a kémiai anyagok koncentrációját a hálózat teljes kiterjedésében.

Az EPANET integrált, grafikus környezetet biztosít a bemenő adatok kezeléséhez, a hidraulikai és vízminőség szimuláció közbeni és végeredményeinek megjelenítéséhez. Ez magában foglalja a színekkel, tematikus hálózati vázrajzot, adattáblázatokat és nyomáshossz-szelvényeket is.

Működési és használati jellemzők:

- Képes a korlátlan méretű hálózatokat kezelni.
- A súrlódási veszteségi tényező kiszámításához a Hazen-Williams, Darcy-Weisbach vagy Chezy-Manning formulákat használja (*Hazánkban inkább Colebrook-White képletet részesítjük előnyben, az IWA ajánlások alapján !*)
- Képes kezelni a fordulatszám szabályozott szivattyúkat.
- Képes kiszámolni a szivattyú energiafelhasználását és annak költségét.
- Modellezi a különböző típusú szabályozható elzáró szerelvényeket, illetve nyomásszabályozókat.
- Bármilyen víztározóformát megenged.

Az EPANET vízminőség analízáló része képes:

- modellezni a nem reakcióképes anyagok haladását a hálózaton minden időpillanatban.
- modellezni a reakcióképes anyagok áramlását, növekedését, bomlását minden időpillanatban.
- modellezni a vízminőséget a teljes hálózaton belül.
- nyomon követni a víz áramlását a betáplálástól egészen a végpontokig.

2.1.7. PICCOLO



WATER DISTRIBUTION NETWORK MODELLING SOFTWARE

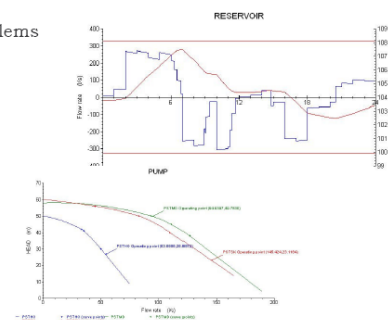
BETTER KNOWLEDGE FOR BETTER NETWORK MANAGEMENT

Piccolo is a general software application that simulates flow problems in networks. PICCOLO works out the velocity, pressure and flow rates according to the network data. Simulations can be run for steady-state or dynamic conditions.

The setting-up and calibration of a PICCOLO network model offers the following possibilities:

Diagnosis of Operation:

- Overall functioning of network
- Reservoir marling survey
- Low pressure area surveys
- High velocities and high gradients surveys
- Identification of unexpected singularities, such as closed valves



FORWARD PLANNING AND SIZING OF NETWORKS

2-4.ábra – PICCOLO dokumentáció részlet

A francia érdekeltségű SUEZ vállalatcsoport kutatóintézetében (CIRSEE - SAFAGE) kifejlesztett programcsomag. A fejlesztés itt több célú volt, részben hálózattervezés, részben folyamat ellenőrzés és tervezés, részben vízminőségi változások követése.

A szoftver általános jellemzői:

- Kiemelkedő grafika
 - Több egyidejű modellnézet különböző ablakokban.
 - Az alaptérkép segítségével könnyebb és még pontosabb földrajzi meghatározás (DXF vagy más képeket is képes kezelni).
 - Rajzeszköz a szöveg vagy grafikai kommentárokhoz.
 - Nyomtatható vagy exportálható egy vagy akár több réteg is.
- Kiemelkedő sokoldalúság
 - Lehetőséget biztosít a felhasználónak, hogy a vezetékekhez színeket rendelhessen a sebesség és a súrlódási veszteség ábrázolásához.
 - A rendszer mértékegységei és megjelenítési formái dinamikusan újrakonfigurálhatóak.
 - Az automatikus egyszerűsítés lehetőséget ad a felhasználónak, hogy kivonatokat készítsen egy részletesebb hálózathoz.
 - Automatikusan szimulálja a tűzvíz kivételt. A PICCOLO kiszámítja a megmaradó nyomást a tűzvízhez és a legsebezhetőbb szektorokat kiemeli.
- Kiemelkedő teljesítmény
 - A PICCOLO a leghatásosabb módszert használja a hálózati problémák megoldására. 60.000 ágat és csomópontot tud modellezni a számítógépen.

- A PICCOLO forrása az EDM (Esemény vezérelt eljárás), ami lerövidíti a számítás menetét és a legprecízebb vízminőség vizsgálatot nyújtja a kisebb hálózatokban.
- Mindamellett, hogy nagyon erőteljes az alap konfiguráció, a PICCOLO kiegészítő moduljai szimulálják a vízminőséget, a lerakódások viselkedését, és a vezetékek méretezésében is segítenek.

A programcsomag felépítése:

- Alapmodulok:
 - Munkakörnyezet
 - Hidraulikai szimuláció
 - Működési költség kiszámítása
 - GANESSA (stratégiatervező modul)

2.1.7.1. A munkakörnyezet

Az alapmodul magában foglalja az integrált szerkesztőprogramot, grafikai adatok bevitelének és módosításának a funkcióját. Végrehajtja a hidraulikai számításokat a víz áramkép kiszámítására, sebességek és nyomások meghatározására mind üzemállapotokra, mind folyamat szimuláció esetében.

Az adatokat képes megjeleníteni tematikus térképen, szövegesen és grafikon formájában egyaránt.

Általános jellegzetességek:

- Több egyidejű modellnézet lehetséges különböző grafikus ablakokban.
- Tetszőlegesen állítható színpaletta és háttérszín, a különböző hidraulikai elemek és jellemzőik ábrázolásához, a tematikus térképek készítéséhez.
- Táblázatkezelő felhasználói felület a hálózati struktúráknak, fogyasztásnak, általában az adatoknak kezeléséhez.
- Grafikai menü a hálózati elemek geometriai adatainak módosításhoz, létrehozáshoz, új elem beillesztéséhez.
- Szivattyúk és jellemzőik, jelleggörbéjük grafikus ábrázolása.
- A legtöbb Windows-os alkalmazásból képes fájlokat importálni: táblázatkezelőkből, adatbázisokból, földrajzi információs rendszerekből stb.
- DXF vagy GIF fájlokat képes importálni, DXF vagy WMF fájlokba képes exportálni vagy a vágólapon keresztül a másolás/beillesztés funkcióval Word-be is másolhatjuk adatainkat.
- 650 oldalas angol és francia nyelvű felhasználói kézikönyv és on-line HELP.

2.1.7.2. Hidraulikai szimuláció

A PICCOLO a hálózat bármely részére képes kiszámolni a áramképet, vízszállításokat, sebességeket és nyomásokat. A számítás lehet statikus, egyetlen üzemállapotról vonatkozó, vagy folyamat szimuláció.

2.1.7.3. Működési költség kiszámítása

Ez a funkció megbecsüli a működés költségét. Különböző szempontok alapján különböző tarifákat határoz meg.

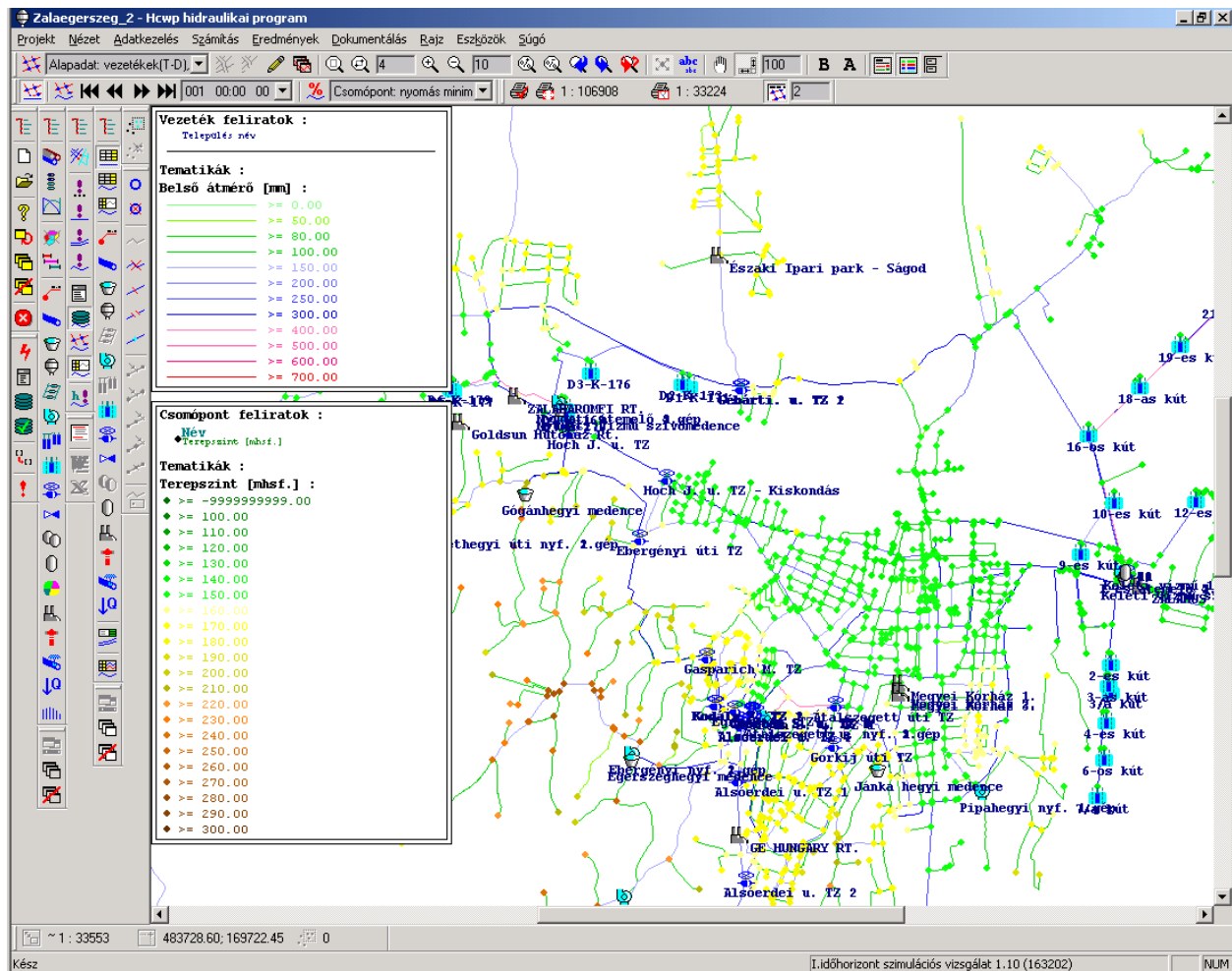
2.1.7.4. A vezetékméretező modul

Ez a modul automatikusan kiszámítja az átmérőket, figyelembe véve a használati feltételeket, mint a sebesség vagy a minimális nyomás. Az átmérők kiválaszthatóak egy névleges átmérőlistából is, mely minden típusú vezetékekhez kapcsolható.

2.1.7.5. GANESSA – stratégiatervező modul

A GANESSA egy szoftver, mely a legalkalmasabb stratégiát keresi meg a működéshez, ami a fő hidraulikai sajátosságok tulajdonságain alapszik (tározók, szivattyúállomások, elektromos költségek, fogyasztás). A GANESSA egyike a Piccolo választható moduljai közül. Ha a rendszer paramétereit meghatároztuk, a szoftver kiszámolja a legmegfelelőbb szivattyústratégiát.

2.1.8. HCWP



A HCWP programot Bozóky-Szeszich Károly munkásságára támaszkodva hazai szakemberek fejlesztették ki. Ennek megfelelően a fejlesztések több mint 40 éves múltra tekintenek vissza és a még napjainkban is folynak. A programot illetve annak különböző változatait, verzióit a hazai gyakorlatban tervező és üzemeltető szervezetek sikerrel alkalmazzák.

2.1.8.1. A programról általában

A HCWP program a térinformatikai alapú HCWF közmű információs rendszer egy eleme, de önálló a HCWF többi részétől elkülönülő használata is lehetséges. A HCWF rendszer a következő feladatok megoldását támogatja:

- Szakági közműnyilvántartás és vagyon nyilvántartás
- Hálózati meghibásodások dokumentálása, kezelése, hibastatisztika (workflow management)
- Víz- és csatornahálózati fejlesztések és rekonstrukció tervezése
- On-line hálózatszámítás és üzemtervezés

Maga a HCWP program, a komplex műszaki szemléletű vállalat irányítási feladatcsoporton belül több a fejlesztési és rekonstrukció tervezési, valamint a hálózatszámítási feladatrészekhez kapcsolódik. Ennek megfelelően, egy rendkívül összetett feladat megoldását támogatja. Éppen az

összetettségéből adódóan lehetséges, és a tapasztalatok szerint gyakran elfordul, hogy az egyes felhasználók a programnak különböző funkcionálisan elkülönülő részeit használják. Ezek között a felhasználók között az alapvető különbség általában feladataik tekintetében van. Vannak köztük olyanok, akik a napi üzemviteli feladatok megoldása során egy-egy részletkérdésre, vagy éppen ellenkezőleg egy-egy koncepcióra, de mindenképpen esetlegesen keresnek választ a programcsomag segítségével. Kell azonban néhány felhasználónak lennie, akinek ennél jóval mélyebben kell ismernie a rendszert és annak működését. Ezek azok a felhasználók, akik a modelleket készítik, kalibrálják, bonyolult rendszeranalíziseket végeznek.

2.1.8.2. A HCWP program fő alkalmazási területei

- Vízellátó rendszerek analízise, felülvizsgálata.
- Gépházakba és kutakba telepített szivattyúk üzemeltetési feltételeinek ellenőrzése, optimális szivattyú kiválasztása.
- A rekonstrukciók és a fejlesztések pontos, időben ütemezett, gazdaságos tervezése.
- Gazdaságos és biztonságos üzemrendek, szabályozási algoritmusok kialakítása.
- Üzemzavarok utólagos ellenőrzése, valós mérési adatok alapján. Okok, hatások, károk felderítése.
- Vízkeveredés, tartózkodási idő meghatározása.

2.1.8.3. A HCWP program működési elvei, a feladatok megoldásának lehetőségei

A HCWP program hidraulikai számításokat végző programja stacioner (állandósult) áramlást, illetve a szimulátor funkció esetében kvázi-stacioner áramlási viszonyokat feltételező modellt alkalmaz.

Ezek a modellek, mint az a szakirodalomból ismert, a mérnöki pontosság követelményeinek megfelelő minőségű eredményeket tudnak szolgáltatni a hirtelen változásoktól mentes üzem egyes időpillanataiban (üzemállapotok), pillanatfelvételek formájában, illetve egy hosszabb üzemzavar mentes időszak (pl. 24 óra) folyamatos üzemére vonatkozóan.

Az alkalmazás szakmai feltétele a nyomás alatti vízellátó rendszerek modellezésében, és hidraulikai számításaiban való jártasság.

2.1.8.4. Modell készítés, digitális adatmigrációval

A HCWF programrendszer HCMigrálás nevű modulja alkalmas arra, hogy digitálisan tárolt vezetékhálózati adatokat (pl. digitális hálózati térképek) megfelelő előkészítés után egy struktúrált adatbázisba betöltse. A migrálás előkészítése során, a digitalizált rajzok homogenizálása után, a vezetékhálózat topológiai ellenőrzése is megtörténik. A HCWF adatbázisában tárolt hálózati geometriai és topológiai adatok alkalmasak minden további feldolgozás nélkül a HCWP program adatbázisába való betöltésre és utána a hálózatszámítás végrehajtására.

2.1.8.5. Változat kezelés

A HCWP program sajátossága a változatkezelés. Ennek lényege, hogy a változatokban egy eredeti **"Alapváltozat"** modellt struktúrából kiindulva a modellen végrehajtott változtatásokat külön kezelhetően tároljuk, így a felhasználónak lehetősége van

- Visszatérni valamely előző változathoz és a tervezés kiindulási adatait megváltoztatva a változtatások hatását több származtatott változatban is ellenőrizni.
- A változatok eredményeit összehasonlítva műszakilag megalapozott döntéseket hozni.

Az egyes változatokban eltérő strukturális elemeket definiálhatunk, modell elemeket törölhetünk, újakat vihetünk be, megváltoztathatjuk a fogyasztási és betáplálási viszonyokat, stb.

A változat vezetés faalakzat szerűen strukturált. Egy projekten belül tetszőleges számú egymásból származtatott változatot hozhatunk létre.

2.1.8.6. Nézetkezelés

Az adatbázisban tárolt adatok és számítási eredmények megjelenítése tematikus térkép és táblázatok segítségével lehetséges. A tematikus térképek megjelenítése ún. Nézetkezelés-en keresztül valósítható meg, melyben a felhasználó saját maga határozhatja meg a térképszerű megjelenítés jellemzőit. Ilyen megjelenítési lehetőségek például:

- Alapadatok megjelenítése (pl.: átmérő tematika)
- Modellezési hibák megjelenítése (pl.: kieső csomópontok)
- Modellezést segítő megjelenítések (pl.: zónák keresése)
- Eredmények megjelenítése
 - Statikus eredmények (pl.: vezetéken a v , h_v , Q tematika, csomóponti nyomás stb)
 - Dinamikus vizsgálat (eredmények megjelenítése egy-egy időpontban, aggregált szélsőértékábrák megjelenítése – v_{\max} és H_{\min} vagy v_{\min} és H_{\max})

A hálózati rajz háttereként alaptérkép, légifotó raszterkép megjelenítésére is lehetőséget biztosít a szoftver.

A táblázatos adat és eredmény megjelenítésekben rendezési és szűrési lehetőséget biztosít a szoftver.

2.1.8.7. Export lehetőségek

A HCWP programból kétféle export lehetőség van.

A különböző táblázatos adat és eredmény megjelenítések EXCEL formátumba való exportálásával lehetőség nyílik a listák későbbi feldolgozására, dokumentációkba, jelentésekbe való beépítésére.

A másik lehetőség az egyes hálózati rajzi megjelenítések, nézetek AutoCAD formátumba való konvertálása. A konvertálás során a nézetkezelése beállított tematikákkal és feliratokkal történik a konvertálás. Ezzel a lehetőséggel meggyorsítható a dokumentálás, mivel a kész DWG rajzok még utólagosan szerkeszthetők.

2.2. A hidraulikai modellekkel megoldható feladatok áttekintése

A 2.1 pontban bemutatott programrendszerek mindegyike esetében a hidraulikai számításokat végző algoritmus stacioner (állandósult) áramlást, illetve a szimulátor funkció esetében kvázi-stacioner áramlási viszonyokat feltételező modellt alkalmaz. Ezek a modellek, mint az a szakirodalomból ismert, a mérnöki pontosság követelményeinek megfelelő minőségű eredményeket tudnak szolgáltatni a hirtelen változásoktól mentes üzem egyes időpillanataiban (üzemállapotok), pillanatfelvételek formájában, illetve egy hosszabb üzemzavarmentes időszak (pl. 24 óra) folyamatos üzemére vonatkozóan.

1. Az üzemállapot számításokkal választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy különböző előre megadott fogyasztási és betáplálási, átemelési helyzetekben (üzemállapotokban) hogyan alakul a tározók vízforgalma, a hálózat vezetékei mentén a vízszállítás, a sebesség, a nyomásvesztés, és a hálózat csomópontjain milyen nyomások alakulnak ki.
2. Az üzemállapot vizsgálatok kiterjesztésével meghatározhatók a betáplálási és átemelési pontokra vonatkozó csőhálózati jelleggörbék, melyek alapján lehetőség van a beépített szivattyúk üzemi tartományának ellenőrzésére és a legmegfelelőbb szivattyúk kiválasztására.
3. A szimulációs vizsgálatok során, tekintettel arra, hogy az alkalmazott algoritmusok nem csak a tényleges vízellátórendszer működését, hanem az azt irányító rendszer egyes szabályozó elemeinek működését is képes modellezni, képet kaphatunk az egyes rendszerelemek időbeni együttműködéséről is. Ezzel a módszerrel lehetőség van szabályozási stratégiák tesztelésére, kipróbálására, vagy akár tervezésére is.
4. A szimulációs számítások eredményeinek felhasználásával meghatározható a hálózat egyes csomópontjain, hogy a kivett víz honnan származik, és mennyi időt töltött a hálózatban (vízkor), valamint a klórkoncentráció is jó közelítéssel.

Az alábbi táblázatban összefoglaljuk az előzőekben röviden ismertetett lehetőségeket, melyek közül a legtöbb mára elsősorban a nemzetközi gyakorlatban - a tervezésben és üzemeltetésben – minden napossá, sőt elvárhatóan elvégzendő feladattá vált.

Feladat	Eredmény
Vízellátó rendszerek tervezése	Új ellátandó területek hidraulikai vizsgálata, átmérők meghatározása, tározótérfogatok megállapítása/ellenőrzése, szivattyúk kiválasztása és megfelelőségük ellenőrzése. Lehetőség van bármely üzemi állapot vizsgálatára, beleértve a tüzeseteket, illetve a haváriákat is.
Vízellátó rendszerek analízise, felülvizsgálata	Meglévő és tervezett rendszerek hidraulikai felülvizsgálata (a fogyasztás és a betáplálás változásai és annak hatása a rendszer üzemére), kapacitásvizsgálat, alulterhelt vezetékek (gyakoriság alapján is) kiválasztása (lehetséges vízminőségi problémák hidraulikai oldalról történő megközelítése), szivattyúk ellenőrzése.
Üzemeltetési stratégiák kidolgozása	Meglévő és tervezett vízellátó rendszerek lehetséges üzemeltetési stratégiáinak kijelölése, illetve azok figyelembevételével szimulációs vizsgálatok elvégzése. Ennek eredményei alapján megállapítható az egyes üzemeltetési stratégiák „jósága”, a figyelembe vett kerületi feltételek mellett kialakuló hidraulikai viszonyok, a tározó magasságának és térfogatának elégséges, vagy elégtelen volta, az adott (feltételezett) szivattyúk megfelelősége (hatásfok), az energia felhasználás nagysága, a szivattyúzás energiaköltsége, ...
A rekonstrukciók és a fejlesztések pontos, időben ütemezett, gazdaságos	A vízellátó rendszerek rekonstrukciója, illetve fejlesztése során szükséges figyelembe venni, hogy a rekonstruálandó (illetve új) rendszerelemek (vezeték, tározó, szivattyú, stb.) milyen terhelése várható a következő évtizedekben,

Feladat	Eredmény
tervezése	illetőleg milyen szerepet töltenek be, illetve hogyan fog változni szerepük a teljes rendszerben. Például egy több évtizede épült és már rossz állapotban lévő vezeték rendszerben lévő szerepe megváltozhatott az idők során. Elosztóvezetékbecél fővezetékbecél, vagy fordítva alakulhat át. A teljes rendszer vizsgálata nélkül megbízhatóan nem határozható meg az új létesítmények szükséges, jellemző paraméterei (pld. átmérő, térfogat, stb.).
Vízminőségváltozások követése	Mind meglévő, mind tervezett rendszereke esetében lényeges szempont a hálózatbeli vízminőség várható alakulása. A vízkeveredési és tartózkodási idő vizsgálatokkal a tervezési időszakban deríthetünk fényt a várható vízminőségi kockázatokra. Üzemeltetési célú vizsgálatok esetében pedig egyes vízminőségi panaszok lehetséges okainak feltárásában lehet segítségünkre ez a számítási módszer. <ul style="list-style-type: none"> - Keveredési zónák kijelölése. - Vízkor meghatározása - Klór koncentráció, klórfogyás

Meg kell említenünk, és egyben fel kell hívjuk a figyelmet arra, hogy a vízellátó rendszerek hidraulikai analízisének és tervezésének egyaránt szerves részét képezi a nem permanens áramlási viszonyok vizsgálata. A jól hurkolt hálózatok esetében, a jelentős hálózati csillapítás miatt, ennek jelentősége kisebb, de távvezetéki rendszerek esetében szükségesnek tartjuk ellenőrző nyomáslengés vizsgálatok elvégzését és a vizsgálatok alapján a vezetékek anyagának, és a beépítendő lengésvédelmi berendezéseknek a meghatározását.

3. Modellek

- Hálózat modellezése (topológia, hidraulikai – fizikai)
- Fogyasztás modellezése
- Modellezési ismeretek (modell részek – rész modellek, elhanyagolás módszertana, helyettesítő számítások stb.)
 - Modellek típusai (részletes-, egyszerűsített-, helyettesítő modell)
 - Modellek használhatósága (hosszú távú tervezés, rövidtávú tervezés, operatív tervezés)
- Identifikáció, kalibráció (viszonyítási halmaz – valóság, folyamatfelügyeleti adatok felhasználása)
- Optimalizálási feladatok (üzemeltetés- és létesítés orientált optimalizálás)

A hidraulikai rendszervizsgálatok (rendszeranalízis, hálózat-analízis) elvégzéséhez matematikai modellt hozunk létre. A matematikai modellben a valóságos rendszer elemeinek a vizsgálat szempontjából jellemző tulajdonságait szerepeltetjük. A modellben az egyes rendszerelemek geometriai és fizikai paraméterei (mennyiségei) közötti összefüggéseket matematikai formában jelenítjük meg és kezeljük. A matematikai modellen végzett problémamegoldás algoritmizálható ("programozható") lépései alkotják a számítástechnikai modellt, melynek alapján készülhet a feladat megoldására számítógépi program. Napjainkban a komolyabb hálózatvizsgálatokat szinte kizárólag számítógépi programok alkalmazásával végzik (lásd a 2. fejezetben bemutatott szoftver megoldásokat).

A rendszeranalízis végrehajtásának első lépéseként meg kell alkotnunk a **vízellátó rendszer modelljét**, illetve meg kell választanunk a számításokhoz felhasználni kívánt módszert és algoritmust.

A valóságot jellemző adatokat, ahhoz, hogy számolni tudjunk velük, le kell képeznünk olyan formában, hogy azt a számítógép is „megértse”. Természetesen ebben az esetben is a rendszer egyes elemeiből kell kiindulnunk. A modellezés során három nagy modell csoportot különböztethetünk meg:

- Topológiai modell, amely a vezetékhálózat geometriáját és kapcsolatait írja le.
- Hidraulikai modell, amely az egyes rendszerelemek fizikai viselkedését reprezentálja.
- Fogyasztási modell, amely a terhelések, vízelvételek térbeli és időbeli változásának leírására szolgál.

Ezek együttese alkotja vízellátó rendszer matematikai modelljét.

A vízellátó hálózatok modellezésének legkritikusabb és legmunkaigényesebb feladatrésze a modell adatok összegyűjtése, és a modell előállítása. Ez azért jelent nagy problémát, mert a vízellátó rendszer rengeteg elemből tevődik össze, amik közül a modellekben is igen sokat figyelembe kell venni.

3.1. Hidraulikai alapok

Ebben a fejezetben tömörítve, ismétlés jelleggel összefoglaljuk azokat a hidraulikai alapismereteket, amelyek az állandósult áramlást feltételező hálózathidraulikai számítások elméletének megértéséhez feltétlenül szükségesek (A 3.1 fejezet rész alapjául Dr. Csoma Rózsa: Hidraulikai alapok Vízellátó rendszerek c. oktatási anyag szolgált)

3.1.1. A folytonosság

Az anyagmegmaradás törvényét állandó sűrűségű folyadék esetén *folytonosságnak* nevezzük. Időben állandó mozgás esetén, elágazás nélküli csőszakaszon az áramlás bármely i szelvényére érvényes a következő összefüggés: $Q = A_i v_i$. Ez azt fejezi ki, hogy a vizsgált szakaszon folyadék nem keletkezik, vagy vesz el, oldalról sem hozzáfolyás, sem elfolyás, valamint a szakaszon tározódás vagy ürülés nincsen. Az a folyadékmennyiség, azaz Q hozam, amely a szakaszra belép, azon végig is halad és onnan ki is lép.

3.1.2. A Bernoulli-egyenlet

Időben állandó mozgás esetén az energia megmaradás törvénye egy csőszakasz két szelvénye, az áramlási irányban felső **1.** jelű és az alsó **2.** jelű szelvények között a *Bernoulli-féle* egyenlettel fejezhető ki:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_L$$

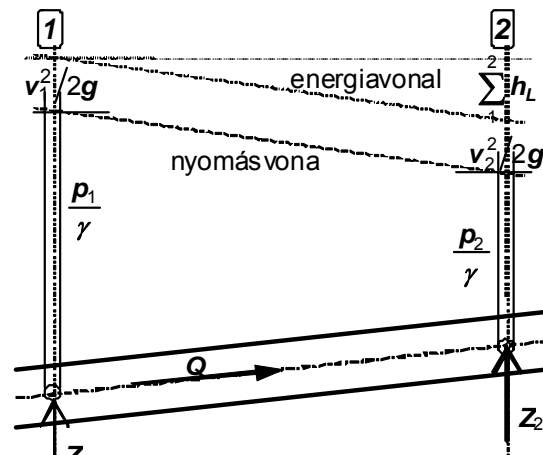
Az egyenlet egyes tagjai egységnyi súlyra vonatkozó fajlagos energiatartalmakat jelentenek, így a dimenziójuk hosszúság.

Az egyenlet egyes tagjait a **3-1.ábra** szemlélteti.

Az első tag az egyenlet mindkét oldalán a *geodéziai magasság*, mely az adott csőszelvény valamely viszonyító sík fölötti magassága. A második tag a *nyomásmagasság*, melyet a **3-1.ábrán** piezométer csövek szemléltetnek. A nyomásmagasság valójában azt fejezi ki, hogy az adott nyomásviszonyok mellett a folyadék milyen magasra lenne képes felemelkedni, ha ebben a csőfal nem gátolná. Az egyenlet harmadik tagja a mozgást figyelembe vevő *sebességmagasság*. Ezen három tag adja meg egy adott szelvényben a mozgó folyadék összes energiatartalmát. A negyedik tag, a *vesztésmagasság* csak a jobb oldalon szerepel. Ez fejezi ki az **1 - 2** szakasz mentén az áramlás összes energiavesztését. (A h_L jelölés helyett gyakran alkalmazzuk a régebbi, h_v -t is.)

A geodéziai és nyomásmagasság a mozgó folyadék helyzeti energiáját adja meg, míg a sebességmagasság a mozgási energiára utal. A geodéziai és sebességmagasság a mozgó folyadék saját energiája, míg a nyomásmagasság a környezetből származó külső, "kölszönzött" energia.

Ha a vizsgált szakasz mentén a meghatározzuk az összes energiatartalmat ($Z + p/\gamma + v^2/2g$) összekötő vonalat, az *energiavonalat* kapjuk. Amennyiben ezen összegzésből a sebességmagasságot kihagyjuk, és csak a helyzeti energiára utaló $Z + p/\gamma$ tagokat vesszük figyelembe, a *nyomásvonalat* kapjuk (**3-1.ábra**).



3-1.ábra

A Bernoulli-egyenlet értelmezése

3.1.3. Energiaveszteségek

Az energiavesztés oka egyrészt a súrlódás, másrészt a csőszelvények okozta helyi hatások. Bármely esetről is van szó, az így elvesző energiát az áramlás vissza nem nyerheti (irreverzibilis

folyamat), az hővé, esetleg hanggá alakul. Energiaveszteség csak mozgó folyadék esetén fordulhat elő, ezért mindig a sebességmagasságra vonatkoztatjuk.

A **súrlódási veszteség** részben a mozgó folyadék és a csőfal közötti, részben a folyadék belső súrlódásából ered. Mivel a súrlódás az áramlás teljes hossza mentén hat, nagysága a mozgás irányában fokozatosan nő. Ez okozza az energiavonal folyamatos esését (**2-4.ábra**). A súrlódási veszteség az l csőhosszal egyenesen, a d csőátmérővel fordítottan arányos:

$$h_{L,s} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = C \cdot Q^2, \text{ és } C = \frac{8\lambda l}{gd^5 \pi^2}.$$

A λ **csősúrlódási tényező** a cső, az áramló folyadék és az áramlás jellemzőitől függ

A **helyi energiaveszteséget** az okozza, hogy valamely csőszerelvény lokálisan megváltoztatja az áramlás sebességének nagyságát vagy irányát, esetleg mindkettőt. A veszteség tehát egy adott helyhez - szelvényhez, esetleg rövid szakaszhoz - kötődik, melyet az elnevezése is jól tükröz. A helyi veszteség az energiavonal hirtelen csökkenését okozza. Helyi veszteséget okoznak a csővezeték be- és kilépési szelvényei, irányváltások, szelvényváltások, elzárószerkezetek, elágazások és csatlakozások, stb. A helyi veszteség számításához - a súrlódáshoz hasonlóan - a sebességmagasságot alkalmazzuk:

$$h_{L,h} = \zeta v^2 / 2g$$

ahol ζ az adott szerelvény **helyi veszteségtényezője**.

A veszteségtényező nagysága elsősorban az adott szerelvény kialakításától függ, meghatározása elméleti úton általában nem lehetséges, értékének meghatározás kísérleti úton történik. Nagysága elméletileg 0 (kedvező kialakítású elzárószerkezet, teljesen nyitva) és végtelen (teljesen zárt elzárószerkezet) között változhat. Az áramlás irányának hirtelen, erőteljes megváltoztatása a nagyságát növeli, míg az íves, lekerekített, fokozatos változást okozó kialakítás csökkenti. Elágazások, csatlakozások esetén minden lehetséges áramlási irányhoz tartozik egy-egy veszteségtényező.

Szelvényváltások, szelvényváltással járó elágazások, csatlakozások esetén a szerelvényt megelőző és követő sebességek eltérnek. A veszteségtényezőket általában úgy határozzák meg, hogy azok a követő szelvény sebességmagasságára vonatkoznak, azonban elágazások esetén ezt célszerű ellenőrizni.

Csőszerelvények helyi energiavesztesége figyelembe vehető a helyettesítő csőhosszal is. Ez egy olyan, fiktív, egyenértékű csőszakasz beiktatása, melynek súrlódási vesztesége a kiváltott szerelvény helyi energiaveszteségével egyezik meg. A helyettesítő hossz így:

$$\boxed{}$$

3.1.4. A csősúrlódási tényező

A λ csősúrlódási tényező nagyságát az áramló folyadék jellemzői, az áramlás jellege, valamint a cső jellemzői határozhatják meg. **Lamináris áramlás** esetén a súrlódási tényező csak a folyadék belső súrlódásából ered, nagysága az elméleti úton levezethető $\lambda=64/Re$ összefüggéssel határozható meg. **Turbulens áramlás** esetén ilyen elméleti összefüggés nincsen. A rendelkezésre álló elméletileg megalapozott tapasztalati összefüggések közül leggyakoribb a **Colebrook-White** képlet alkalmazása, mely implicit formában tartalmazza a súrlódási tényezőt:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71d} \right)$$

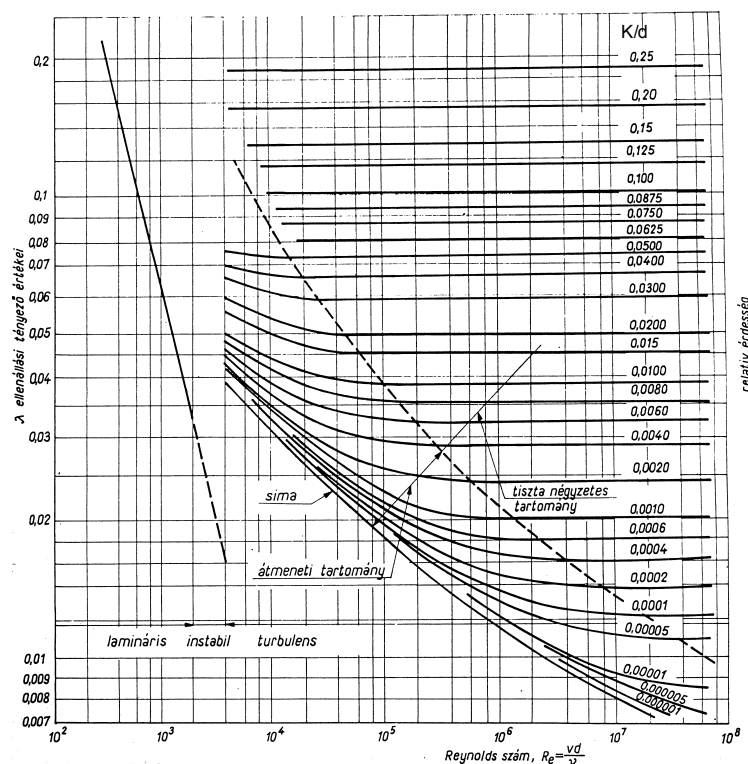
ahol: **k** : a csőfal abszolút érdessége mm-ben kifejezve
k/d : a csőfal relatív érdessége

A **3-1. táblázatban** néhány csőanyag abszolút érdességének tájékoztató értékei találhatók. A megadott intervallumok az új, illetve használt csövekre jellemző értékek. Megjegyezzük azonban, hogy lerakódás, sérülések, stb. az abszolút érdességet jelentősen növelhetik.

A fentiek összefoglalását adja a *Moody*-diagram (**3-2. ábra**). Ez a mindkét irányban logaritmikus léptékű grafikon a *Reynolds*-szám függvényében adja meg a cső súrlódási tényezőt.

Abszolút érdességek	
Csőanyag	k, mm
Beton	0.3 - 3
Öntöttvas	0.25 - 1
Horganyzott acél	0.1 - 0.3
Azbesztcement	0.1 - 0.6
Műanyag (PVC, PE)	0.003 - 0.03

3-1 táblázat



3-2. ábra - A Moody-diagram

A diagram feltünteti a lamináris áramláshoz tartozó elméleti összefüggést, melyet az átmenet instabil tartományára is feltételelesen kiterjeszt. A turbulens tartományban látható görbesereg paramétere a relatív érdesség, mely a magasabb λ értékek irányában növekszik. A turbulens zóna több részre osztható attól függően, hogy mely paraméterek hatása meghatározó.

A **hidraulikailag sima** tartományban, nagy átmérőjű, kis abszolút érdességű csövek esetén, a relatív érdesség hatása elhanyagolható: $\lambda = f(Re)$. Ekkor a *Colebrook-White*-féle összefüggés zárójelen belüli első tagja a meghatározó, a második elhanyagolható.

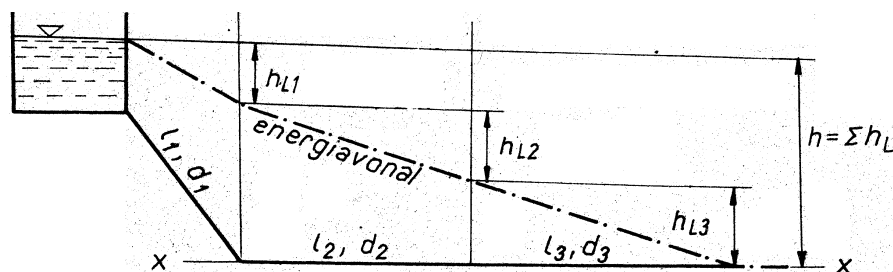
A **hidraulikailag érdes** - tiszta négyzetes - tartományban a kisebb átmérőből, és nagyobb abszolút érdességből eredő nagy relatív érdesség mellett a Re hatása elhanyagolható: $\lambda = f(k/d)$. Ekkor a *Colebrook-White*-féle összefüggés első tagja hagyható figyelmen kívül, a λ a Reynolds-számtól független, a görbék a tengellyel párhuzamosak.

A "tiszta négyzetes" elnevezés is innen ered. Mivel a λ -t a Reynolds-szám illetve az abban foglalt sebesség nem befolyásolja, a teljes súrlódási veszteségmagasság a sebességmagasságtól, azaz a sebesség négyzetétől függ.

A két tartomány közötti átmeneti zónában mind a relatív érdesség, mind a Reynolds-szám hatása jelentős, azaz ahol a teljes *Colebrook-White*-féle összefüggés figyelembe veendő.

3.1.5. Hidraulikailag hosszú és rövid csövek

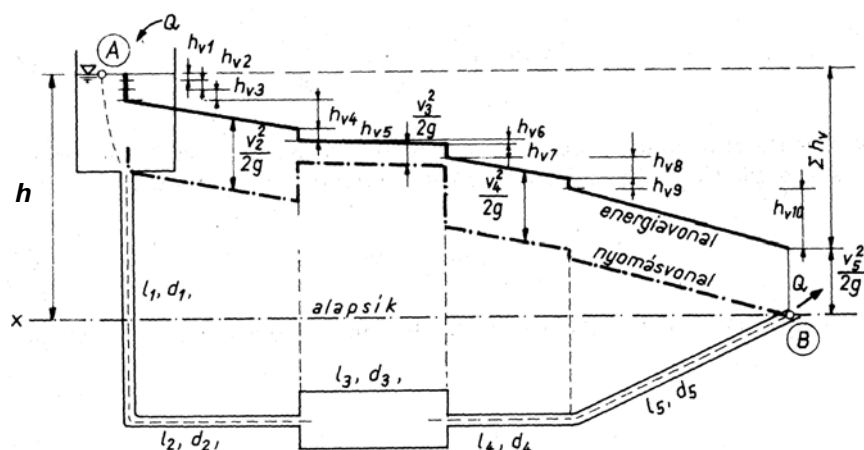
Ha egy csővezeték jelentős hossz és viszonylag kevés szerelvény jellemez, a csőfal menti súrlódási veszteség nagyságrendekkel nagyobb lehet, mint a helyi veszteségek összege, $h_{L,s} \gg h_{L,h}$. Ekkor a $h_{L,h}$ helyi veszteségek elhanyagolhatók, a cső **hidraulikailag hosszúnak** tekinthető. Ez esetben gyakran a sebességmagasság figyelembe vételétől is el lehet tekinteni.



3-3.ábra - Hidraulikailag hosszú csővezeték

Egy ilyen, magányos csővezeték mutat a 3-3.ábra. A sebességmagasság elhagyása miatt az energiavonal és a nyomásvonal egybeesik. Az egyes szakaszok mentén csak a súrlódási veszteség jelenik meg.

Ha a kétféle veszteség nagyságrendje közel azonos, $h_{L,s} \approx h_{L,h}$, a helyi veszteségek nem hagyhatóak figyelmen kívül. Ekkor a vezeték **hidraulikailag rövid**. Ilyen vezeték látható a 3-4.ábrán.



3-4.ábra - Hidraulikailag rövid csővezeték

Itt már megjelenik a helyi veszteség, mint az egyes szerelvények (ívek, szűkületek, bővületek) szelvényében az energiavonal lépcsője is. A veszteségekhez képest nem elhanyagolható

sebességmagasság az energia- és nyomásvonalak között látszik. A bővületnél az alacsonyabb sebességmagasság miatt a nyomásvonal emelkedik, a nyomás nő, míg a szűkület esetében a fordítottja figyelhető meg.

Hidraulikailag rövid csővezetékek számításokhoz hidraulikailag hosszúvá tehetők, ha a helyi veszteségeket helyettesítő hosszak segítségével vesszük figyelembe. Ezen lehetőséggel gyakran élünk, különösen összetett rendszerek vizsgálata esetén.

3.1.6. Magányos csővezetékek, csőszál

A **magányos csővezeték** egyetlen, elágazás nélküli csőből áll, mely azonban szerelvényeket tartalmazhat.

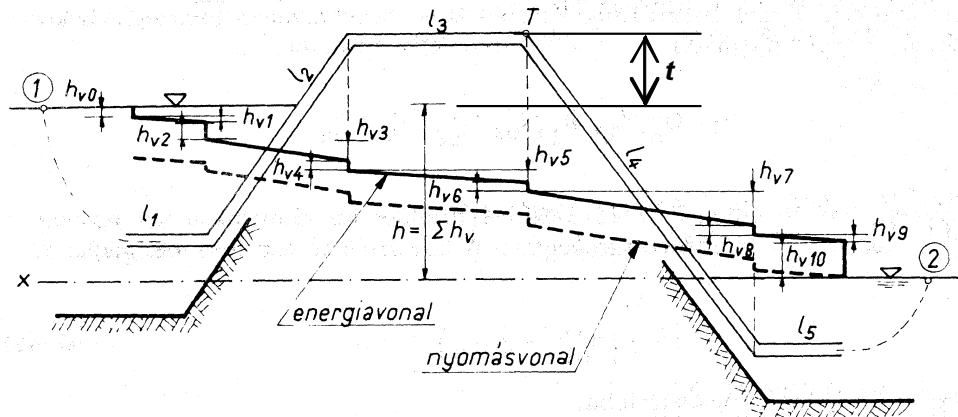
Ha a csővezeték egy magasabban fekvő folyadéktérből tisztán, egyéb beavatkozást nem igényelve szállít folyadékot egy alacsonyabb helyre, a vezeték **gravitációs**. A 3-3. és 3-4. ábrák ilyen magányos, gravitációs csővezetékeket mutatnak. Bár mindkét eset a vezeték alsó végén szabad légterbe való kilépést jelöl, azonban itt bármely esetben lehet tartály is. A felső és alsó tartály vagy szabad kilépés szelvénye közötti szakaszra felírható *Bernoulli*-egyenlet segítségével belátható, hogy a magas tartály és a kilépés szelvénye közötti szintkülönbség, mint helyzeti energia, az áramlás során az energiavesztésre fordítódik:

$$h = \sum h_L \text{ (kilépés tartályba),}$$

illetve emellett mozgási energia is keletkezik belőle:

$$h = \sum h_L + v^2/2g \text{ (kilépés légterbe).}$$

Az energia- és nyomásvonal végig a csőtengely fölött helyezkedik el, ami a csőben túlnyomásra utal.



3-5. ábra - Szivornya

A magányos vezeték egyik speciális esete a **szivornya**, vagy **szifon** (3-5. ábra). Ez a vezeték szintén egy magasabb folyadéktérből szállít vizet egy alacsonyabbba, de közben a cső a magasabb tartály szintje fölé emelkedik. A két folyadéktér között felírt *Bernoulli*-egyenlet itt is a fent említett alakot kapja:

$$h = \sum h_L,$$

azonban az ábrán jól látható, hogy mind az energia-, mind a nyomásvonal jelentős szakaszon a csőtengely alatt halad. A csőtengely alatt húzódó nyomásvonal a légkörnél alacsonyabb abszolút

nyomást, azaz szívást jelent. Ezen szívás "segíti át" a vizet a magaslaton. A szifon csak akkor tud üzemelni, azaz vizet szállítani, ha ezt a szívást valamely külső hatás létrehozza, azaz a vezetéket az üzembe helyezéskor légteleníteni kell.

Megvizsgálva a nyomásvonalat megállapítható, hogy az a magas szakaszon, az áramlási irányban legalsó szerelvényt követő szelvényben (a **3-5.ábrán** *T*-vel jelölt ív után) fekszik legtávolabb a csőtől. Ezen szelvényben alakul ki a legalacsonyabb nyomás, azaz a legnagyobb szívás. A szívás "nyomásmagasságát" a nyomásvonal és a csőtengely távolsága adja meg:

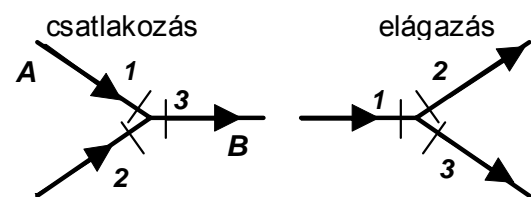
$$p_T/\gamma = -t - v^2/2g - \sum_1^T h_L$$

ahol a veszteségek értelemszerűen csak a *T* szelvényig összegzendők.

Ha ezen minimális nyomás megközelíti a telítettségi párányomást, a csőben légbuborékok képződése kezdődik. Ennek több következménye is lehet. Egyrészt ha a légbuborékok akár milyen rövid időre is teljesen kitöltik a cső szelvényét, **vízszál szakadás** alakul ki, az áramlás megszűnik. Másrészt a légbuborékok nyomásingadozást is okozhatnak, mely hatására egyes buborékokat akkora nyomás éri, hogy azok mintegy "felrobbannak". Emiatt igen rövid időtartammal igen kis felületen óriási nyomás keletkezhet, mely roncsolja a csövet. Ez röviden a **kavitáció** jelensége.

3.1.7. Elágazások és csatlakozások

Az olyan rendszereket, melyek csőcsatlakozást vagy elágazást tartalmaznak, **elágazó hálózati rendszereknek** nevezzük. Ezek esetében a csomópontban (akár elágazás, akár csatlakozás) a **3.1.1. pont** folytonossági feltétele módosításra szorul. Továbbra is fennáll az, hogy amely vízmennyiség a csomópontba belép, az onnan ki is lép, azonban most több be- és kilépési szelvény is lehet. A **3-6.ábra** jelöléseivel csatlakozás esetén $Q_1 + Q_2 = Q_3$, míg elágazásnál $Q_1 = Q_2 + Q_3$, melyeket összefoglalóan így jelölhetünk: $\sum Q_i = 0$



3-6.ábra - Csomópontok

A **Bernoulli**-egyenlet csomópontot megelőző és azt követő szelvények között annyiszor alkalmazandó, ahány áramlási irány lehetséges. A **3-6.ábra** csatlakozására így az alábbi:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + h_{L,1-3} \quad \check{Z}_s Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + h_{L,2-3}$$

míg elágazás esetén:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{L,1-2} \quad \check{Z}_s Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + h_{L,1-3}$$

ahol $h_{L,i-j}$ az elágazás/csatlakozás $i \rightarrow j$ irányú helyi veszteségmagassága.

Fentiek a hidraulikailag rövid csővezetésekre vonatkozó összefüggések, a hidraulikailag hosszú csövek csomóponti **Bernoulli**-egyenleteit a körvezetéseknél adjuk meg.

Két csomópont között továbbra is alkalmazható a magányos szakaszra megadott **Bernoulli**-egyenlet (**3.1.2. pont**). Mivel egy adott szelvényben a $Z + p/\gamma + v^2/2g$ összeg csak egyféle lehet, a

csomóponti és a magányos csőre felírt egyenletek egymásba helyettesíthetők. Így egy csomópontot is tartalmazó csőszakasz bármely két szelvénye között alkalmazható a **Bernoulli**-egyenlet, mindössze a veszteségmagasságok összegzésénél kell különös gonddal eljárni. Például a **3-6.ábra** csőcsatlakozásánál a csatlakozást az **1.** jelű ágon megelőző **A** és a főágon követő **B** szelvények között az alábbi egyenlet alkalmazandó:

$$Z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} = Z_B + \frac{p_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + \sum_A^1 h_L + h_{L,1-3} + \sum_3^B h_L$$

ahol az összegzett veszteségek az egyes magányos csőszakaszok energiaveszteségei.

Tisztán elágazó vezetékek alkalmazása a vízellátásban igen ritka, inkább az öntözőtelepekre jellemző.

3.1.8. A körvezeték

A vízellátó hálózatokra jellemző **körvezetékek** csomópontokból és az azokat összekötő csőszakaszok alkotta gyűrűkből (hurkokból) állnak. A körvezetékek legtöbbször hidraulikailag hosszúnak tekinthetők. Ez azonban nem befolyásolja a csomóponti folytonosság feltételét, a $\sum Q_i = 0$ változatlanul alkalmazható. Mivel azonban a vezetékek hidraulikailag hosszúak, a helyi veszteség és sebességmagasság elhanyagolható, így energiamegmaradás a **3-6.ábra** szerinti bármely csomópontban:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \approx Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \approx Z_3 + \frac{p_3}{\gamma},$$

azaz az adott csomópont egy geodéziai magassággal és egy nyomásmagassággal jellemezhető, függetlenül attól, hogy melyik, a csomópontból kiágazó csővégről van szó.

A **3-7.ábra** egy körvezeték egyetlen gyűrűjét mutatja. Az ábra jelöléseit követve a víz ez esetben az **1.** jelű csomópontból a **3.** csomópontba kétféle úton juthat el, azaz két egyenlet adható meg:

az **1-3.** szakasz mentén:

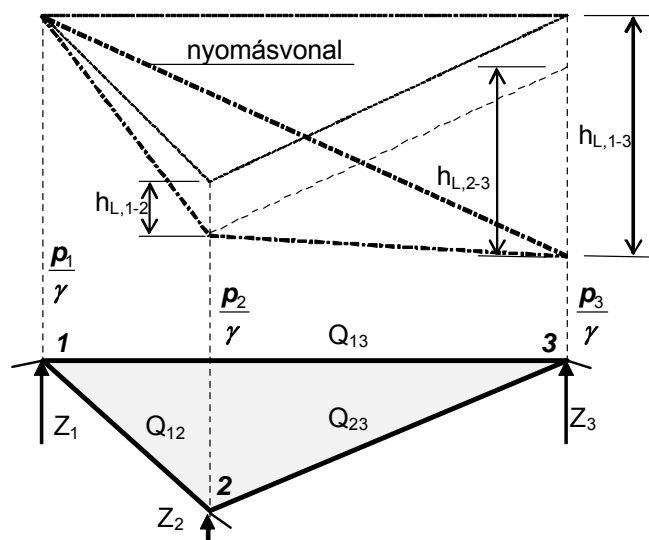
$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + h_{L,1-3}$$

az **1-2.** és **2-3.** szakaszok mentén:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + h_{L,1-2} + h_{L,2-3}$$

ahol $h_{L,i-j}$ az **i-j** szakasz surlódási vesztesége.

A fenti két egyenletből az következik, hogy $h_{L,1-3} = h_{L,1-2} + h_{L,2-3}$, azaz két csomópont között bármely irányban a súrlódási veszteségek összege azonos, melyet a **3-7.ábra** nyomásvonala is jól szemléltet. A gyűrű menti veszteségek összefüggésének átrendezésével a $\sum h_L = 0$ alakot kaphatjuk, amely azonban a veszteséget, mint előjelhelyes mennyiséget tekinti. Többféle előjel



3-7.ábra - Körvezeték

konvenció is alkalmazható, például ha a gyűrűt körüljárva az áramlási irány a körüljárási iránnyal megegyezik, a veszteség pozitív, ha ellentétes, a veszteség negatív. Bármely előjelszabályt alkalmazunk is, a gyűrű mentén a súrlódási veszteségek előjelhelyes összege zérus kell legyen.

Általános esetben, egy hurkolt hálózat egyensúlyi áramképének meghatározásához a KIRCHOFF törvényekből származtatható nemlineáris egyenletrendszer használjuk. A csomópont mennyiségi folytonosságot kifejező KIRCHOFF I. törvény:

$$\sum Q_i = 0$$

és a hálózat független hurkaira felírható KIRCHOFF II. törvénye:

$$\sum h_L = 0$$

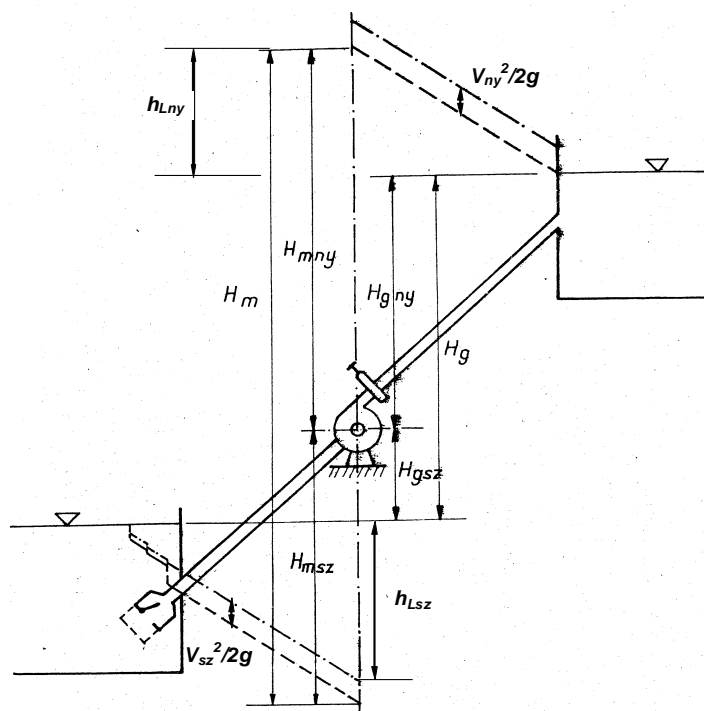
képezik a csőhálózatok számításának alapvető összefüggéseit. Ezen összefüggésekre támaszkodnak az egyes számításokat végző programok is.

3.1.9. Csővezeték és szivattyú

3.1.9.1. Szívó oldali nyomások

Csővezetékek a megfelelő nyomás biztosítására gyakran tartalmaznak szivattyút (3-8.ábra). A szivattyú energiát közöl a rendszerrel, így a szívó oldalhoz képest a nyomó oldalon mind az energiasvonal, mind a nyomósvonal magasabb.

Megvizsgálva a nyomósvonalat látható, hogy az a szívó oldalon szinte végig a csőtengely alatt halad és közvetlenül a szivattyú előtt húzódik legtávolabb a csőtől, azaz itt a legalacsonyabb a nyomás, legnagyobb a szívás, ezért itt a legnagyobb a, a szivó oldalon is említett kavitáció veszélye. Megjegyezzük azonban, hogy ez csak a csővezeték szempontjából helytálló, mivel magában a szivattyúban, a lapátok szívott oldalán ennél alacsonyabb nyomások alakulnak ki, azaz kavitáció szempontjából az utóbbi hely a mértékadó.



3-8.ábra - Szivattyút tartalmazó csővezeték

3.1.9.2. Emelőmagasság és teljesítményigény

Egy szivattyús rendszer teljesítményigényét a rendszer adottságai és az igényelt vízszállítás határozza meg. Egyrészt egy alacsonyabb folyadéktérből egy magasabb folyadéktérbe kell emelni a vizet, másrészt a kapcsolódó csővezetékek mentén fellépő energiaveszteséget (veszteségmagasságot) is fedezni kell. A **manometrikus emelőmagasság**, ezen magasságok összege, azaz a nyomásvonal lépcsője a szivattyú szelvényében a **3-8.ábra** jelöléseit követve:

$$H_m = H_{gsz} + h_{Lsz} + H_{gny} + h_{Lny} + v_{sz}^2/2g - v_{ny}^2/2g$$

melyből a sebességmagasságok különbsége általában elhanyagolható.

*Az **sz** alsó index a szívó, míg a **ny** alsó index a nyomóoldalra utal. H_g a geodéziai magasság a szivattyú tengelyére vonatkoztatva, h_L a veszteségmagasság.*

A rendszer teljesítményigénye, azaz a szivattyú egységnyi időre eső emelőmunkája a H_m , mint igény alapján:

$$N_i = \gamma Q H_m$$

azonban a vételezendő (pl. elektromos hálózatról) teljesítményt a szivattyú energiaátalakításának hatásfoka is módosítja:

$$N_f = N_i / \eta$$

ahol a hatásfok, $\eta < 1$.

3.1.9.3. Munkapont, kagylódiagram

Figyelembe véve, hogy a veszteségmagasság - mivel a sebességmagasságot tartalmazza - a szállított vízhozamtól függ, a manometrikus emelőmagasság a hozam függvényében az alábbi lesz:

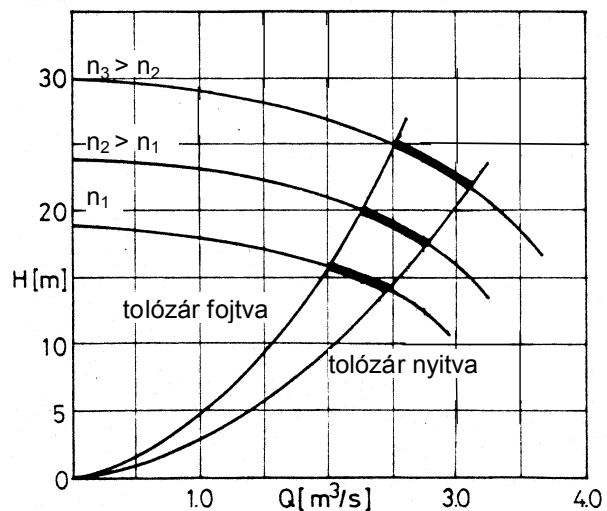
$$H_m = H_g + C Q^2$$

Itt figyelembe vettük a súrlódási veszteségre vonatkozó összefüggést, mely formára a helyi veszteség is átalakítható.

Megjegyezzük, hogy a fentieket a nyomó oldalon magányos csőre mutattuk be, azonban csőhálózatokra is hasonló alakú kifejezés érvényes.

Fenti összefüggés a csőszál jelleggörbéje, azaz a szivattyú által kiszolgált rendszer emelőmagasság igénye.

A **3-9.ábra** ilyen csőszál jelleggörbéket mutat. Az ábrán - ahol geodéziai magasság nem szerepel - kétféle csőszál jelleggörbét tüntettünk fel, melyben a **3-8.ábrán** közvetlenül a szivattyú nyomócsőnkjárt követő szelvényben levő tolózár játszik szerepet. A laposabbik görbe esetén a tolózár teljesen nyitva van, veszteséget nem okoz, míg a meredekebb görbe a részlegesen zárt tolózár veszteség tükrözi. Ezen elzárószerkezettel tehát szabályozható a rendszer nyomásigénye, azonban ez a fajta korszerűtlen szabályozási megoldás energiapocsékoló. A tolózárakat a szivattyúk környezetében ma már általában egyéb üzemi feladatokra alkalmazzák.

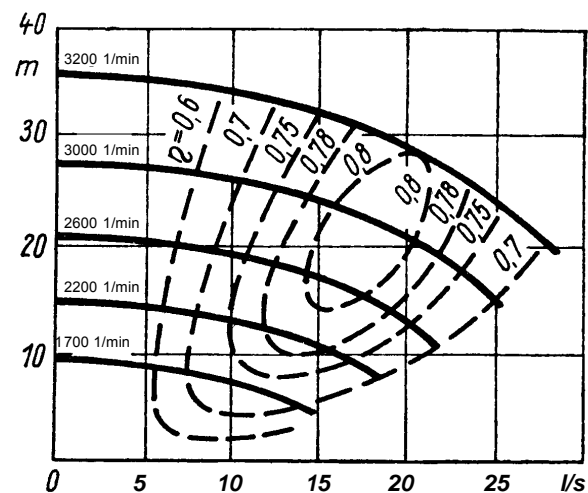


3-9.ábra - Csőszál és szivattyú jelleggörbe

A szivattyú emelőmagassága és vízszállítása közötti összefüggést, a szivattyú jelleggörbéit szintén feltüntettük az ábrán. Mint látható az ábra több görbét tartalmaz. Ezek a szivattyú járókerékének n fordulatszámától függnék. Minél nagyobb a fordulatszám, adott hozamot annál magasabbra képes a szivattyú emelni, illetve nagyobb fordulatszám esetén adott magasságra több vizet képes szállítani. Ezzel a módszerrel maga a szivattyú is szabályozható, és ez a megoldás már jóval korszerűbb, és hatékonyabb, mint az előzőekben emlegetett tolózárral történő szabályozás.

A tolózár adott állapota melletti csőszál jelleggörbe - mint igény - és az adott fordulatszám melletti szivattyú jelleggörbe - mint lehetőség - metszéspontja adja a **munkapontot**, melyhez tartozó vízhozam és manometrikus emelőmagasság mellett a csővezeték és szivattyú alkotta rendszer üzemelni képes. A munkapont helye mind a csővezeték (jelen esetben a tolózár) mind a szivattyú (fordulatszám) szabályozásával módosítható.

A szabályozási lehetőségekkel a munkapont helye tág határok közé kerülhet. Azonban minden egyes munkapont - azaz vízszállítás-emelőmagasság párosítás - esetén eltérő lehet a szivattyú hatásfoka. A szivattyú jelleggörbe ábráján feltüntetve az azonos hatásfokú vonalakat, kapjuk a **kagylódiagramot**. Ilyen kagylódiagram látható a **3-10.ábrán**. Az ábrán jól látható az a térség, ahol a hatásfok a legjobb. Célszerű a rendszert úgy szabályozni, hogy a munkapont ezen maximum közelébe essen. Természetesen ezt a szabályozáson kívül egyéb tényezők is befolyásolják.

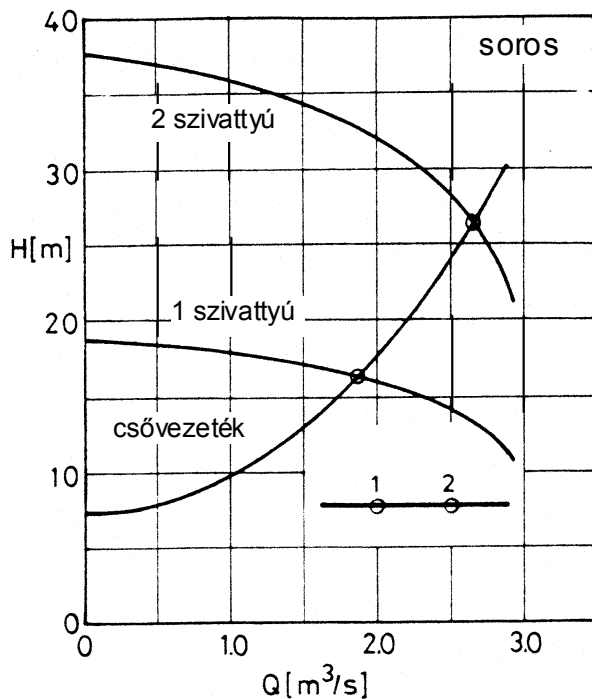


3-10.ábra - A kagylódiagram

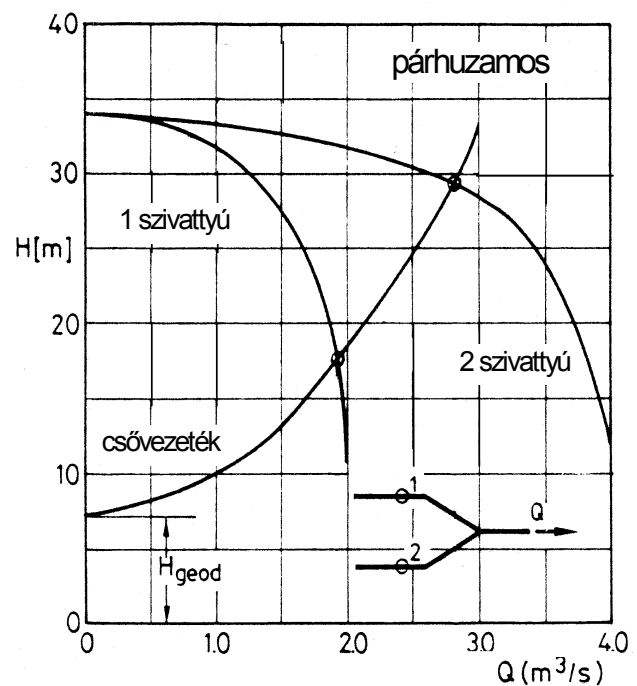
3.1.9.4. Több szivattyú együttes üzemé

Előfordul olyan eset, amikor egy csőhálózat igényeit egy szivattyú nem képes kielégíteni. Ez esetben a két vagy több szivattyút sorosan vagy párhuzamosan kapcsolhatunk. Mindkét esetben az egyedi szivattyú jelleggörbék összegződnek, azonban eltérő módon, így a kétféle kapcsolási mód eltérő igényeket szolgálhat.

A 3-11. és 3-12. ábra két-két azonos típusú szivattyú soros illetve párhuzamos kapcsolását mutatja.



3-11. ábra - Soros kapcsolás



3-12. ábra - Párhuzamos kapcsolás

Soros kapcsolás ugyanazon vezetékbe egymást követően beépített két vagy több szivattyút jelent (3-11. ábra). Ez esetben adott vízszállítás mellett az egyedi szivattyúk emelőmagassága összegződik.

Párhuzamos kapcsolás esetén egymás mellett futó vezetékbe kerülnek a szivattyúk, azonban a gépeket követően a vezetékek egyesülnek (3-12. ábra). Ebben az esetben adott emelőmagasság mellett az egyedi szivattyúk vízszállítása összegződik.

Mindkét ábrán látható a csőszál jelleggörbe is, amelynek metszéspontjai a szivattyú jelleggörbékkel az aktuális üzemi helyzethez tartozó munkapontokat mutatják.

3.2. Topológiai modell

- *A rendszerelemek topológiai jellemzőinek, a hálózati vezetékek kapcsolatrendszerének modellezése.*

A hálózat topológiája a hálózat geometriája anélkül, hogy a hálózat fizikai jellegével foglalkoznánk.

A hálózat egyes elemei kapcsolatának leírására a legcélszerűbb eszköz a gráfelmélet alkalmazása.

A gráfelmélet a matematika, ezen belül a kombinatorika egyik fontos ága. Kialakításához jelentős mértékben hozzájárultak a magyar kombinatorikai iskola tagjai: Kőnig Dénes, Erdős Pál, Gallai Tibor, Rényi Alfréd, Lovász László, Pósa Lajos.

A gráfelmélet alapfogalma a [gráf](#), olyan [struktúra](#), ami csúcsokból vagy szögpontokból valamint élekből áll, és minden él - egyszerű gráfok esetében - két csúcsot köt össze. Ezzel a módszerrel általában a hálózatok topológiai összefüggései egyértelműen leírhatók, és a matematikai modell, ebben az esetben a gráfok matematikai reprezentációját képező mátrixokat jelenti (kapcsolási-, hurok mátrixok, stb.). Ezek jelentősége a KIRCHOFF- törvények alapján felírható kontinuitási és egyensúlyi egyenletek előállításában van.

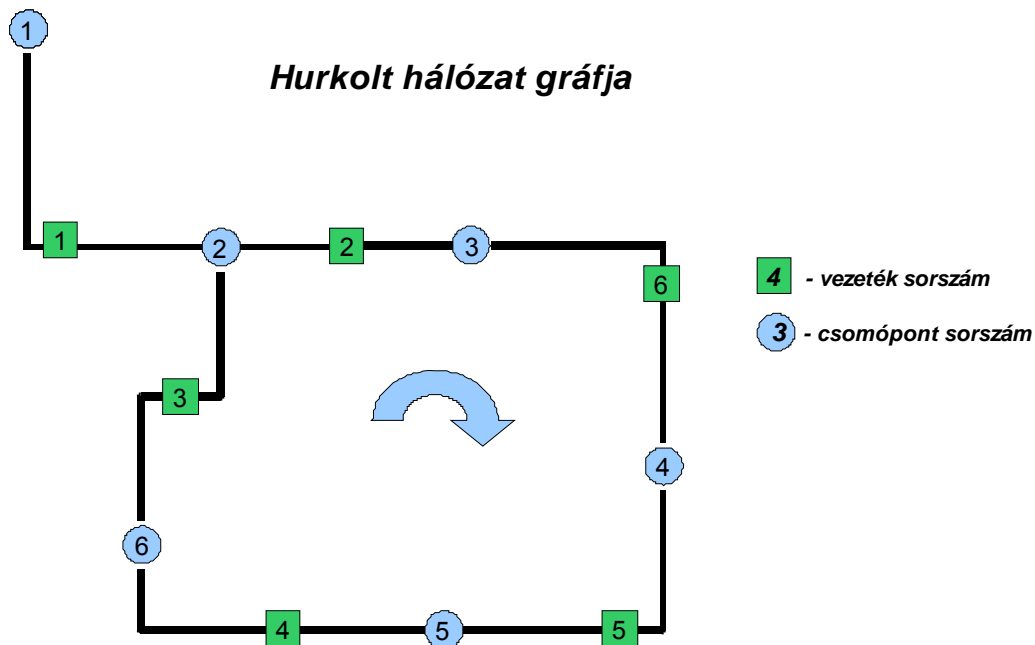
A korszerű hálózatszámítási módszerekhez alkalmazott modellekről általában elmondhatjuk, hogy a hálózatokat, így esetünkben a vízelosztó hálózatot, illetve rendszert gráfként értelmezik. A gráfelmélet, mint matematikai módszer úgy alkalmazható, hogy a gráf éleihez különböző relációkkal, algoritmusokkal fizikai vezeték tulajdonságokat rendelnek.

A nyomás alatti csőhálózatok hidraulikai számításaiban a topológiai modell mindig egy összefüggő, folytonos irányított gráffal írható le. Az irányított gráf kapcsolatainak leírására használatos az ún. kapcsolási mátrix.

A kapcsolási mátrix a gráf ágai és csomópontjai közötti összefüggést írja le oly módon, hogy a csomópontoknak a mátrix sorai, míg az ágaknak az egyes oszlopok felelnek meg. A kapcsolási mátrix egyes elemei a 0, +1, vagy a -1 értékeket vehetik fel a következők szerint:

- +1 - ha az i-dik csomópont a j-dik ág kezdőcsomópontja,
- 1 - ha az i-dik csomópont a j-dik ág végcsomópontja,
- 0 - ha az i-dik csomópont és a j-dik ág nem esik össze.

A kapcsolási mátrix értelmezéséhez tekintsük a **3-13.ábrát**, melyen egy egyszerű, összefüggő, hurkolt gráfot láthatunk.



3-13. ábra

Az ábrán látható gráf alap **kapcsolási mátrixa** a következő alakban írható fel:

$$A = \begin{bmatrix} +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & +1 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & +1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A kapcsolási mátrix segítségével a KIRCHOFF I. (kontinuitás) törvényét a következő alakban írhatjuk fel (egy csomópontra érkező és távozó vízmennyiségek előjelhelyes összege nulla):

$$A * q = q_f$$

Ahol q a vezetékszakaszok vízszállítás vektora, és q_f a csomópontokon egységnyi idő alatt kivett, illetve betáplált vízmennyiség (fogyasztás, betáplálás).

A kapcsolási mátrixból származtathatjuk az ún. **hurokmátrixot**, melyben a mátrix sorainak a hurkok (gyűrűk), oszlopainak az ágak felelnek meg. A mátrix egyes elemei - a kapcsolási mátrixhoz hasonlóan - a 0, +1, -1 értékeket vehetik fel az alábbiak szerint:

- +1 - ha az i-dik hurok a j-dik ágot tartalmazza és az ág és a hurok irányítása egyezik,
- 1 - ha az i-dik hurok a j-dik ágot tartalmazza de az irányításuk eltérő,
- 0 - ha az i-dik hurok a j-dik ágot nem tartalmazza.

Az 3-13. ábrán látható gráf alap **hurokmátrixa** a következő alakban írható fel:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & +1 & -1 & +1 & +1 & +1 \end{bmatrix}$$

A gráfelméleten alapuló hálózatmodellek esetében az egyenletrendszer felállítása, létrehozása, a hurokmátrix előállítása algoritmizálható. Az algoritmus a következő lépésekből áll.

A hurkok (gyűrűk) előállításához először az alapkapsolási mátrixot kell előállítani. Ez a kapcsolási mátrix particionálásával érhető el:

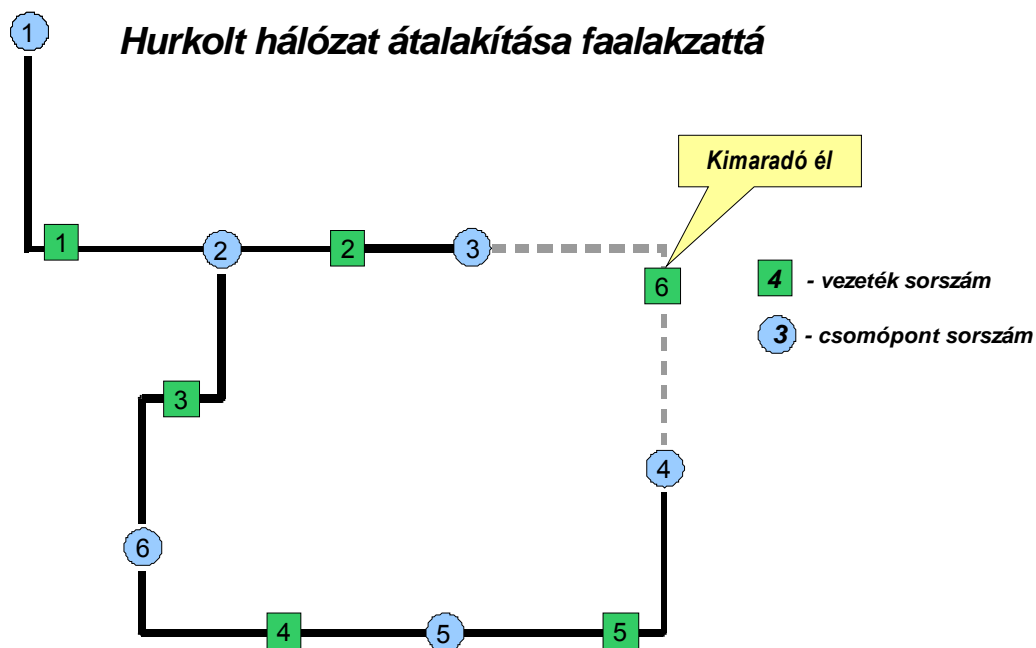
$$A_a = [A_f, A_h]$$

ahol

A_f a faágakat,

A_h a húrágakat

tartalmazó kapcsolási mátrix (3-14.ábra).



3-14.ábra

$$A_f = \begin{bmatrix} +1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & +1 & +1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & +1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad A_h = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ +1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A hurokmátrix hasonlóképpen particionálható:

$$B = [B_f, B_h]$$

ahol

B_f a faágakat,

B_h a húrágakat

tartalmazó hurokmátrix, és

$$B_h = I$$

vagyis egységmátrix.

A részletes levezetés mellőzésével, az alap kapcsolási mátrix és a faágak hurok mátrixának transzponáltja B_f^* közötti összefüggés:

$$B_f^* = -A_f^{-1} * A_h$$

Ezek után KIRCHOFF II. törvénye szerint (egy gyűrűben a nyomásveszteségek előjelhelyes összege nulla), ha a h az ágak nyomásveszteségeinek vektora:

$$B * h = 0$$

A fenti algoritmus segítségével tetszőleges, alapkapsolási mátrixával magadott vízellátó hálózatra felírhatók a KIRCHOFF egyenletek, melyek megoldása egy egyensúlyi áramképet ad.

3.3. Fizikai-hidraulikai modell

- *A rendszerelemek fizikai jellemzőinek modellezése*

A nyomás alatti vízelosztó hálózatokban, a permanens áramlás modellezésekor mindig az egyes rendszerelemekeken fellépő nyomásvesztés meghatározása a feladat. Az ezzel kapcsolatos alapvető ismereteket a 3.1. fejezetben tárgyaltuk.

Lényegesnek tartjuk megjegyezni, hogy a topológiai modellezésből (gráfok) adódóan a különböző rendszerelem fajtákat, mint pl.:

- a csővezetékek,
- a tározók,
- a szivattyúk,
- a tolózárak,
- a kutak,
- a szabályozott hálózati szerelvények,
- a nyomás-szabályozók
 - tolózárak,
 - szelepek,
 - stb.,
- a hidrások,
- a szűrők,
- stb.

egy-egy gráf-élként, vagy azok kombinációjaként modellezhetjük, a rájuk vonatkozó nyomásvesztés összefüggéseket pedig ezekhez a gráfélekhez lehet rendelni.

A következőkben az egyes rendszerelemfajtákat és a rájuk vonatkozó nyomásvesztés-összefüggéseket mutatjuk be.

3.3.1. Csővezeték, valódi ág

A viszkózus folyadék csővezetékben való permanens áramlása során kialakuló nyomásvesztését a klasszikus

$$h_v = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

képletből számíthatjuk. A képletben szereplő λ , a v középsebességtől függő ellenállási tényezőt, az IWSA ajánlása alapján az

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{k}{3,7d} + \frac{2,5l}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

COLEBROOK-WHITE összefüggésből lehet iteratív úton meghatározni. A képletről, és annak alkalmazási feltételeiről a 3.1. fejezetben már szoltunk.

Az ellenállási tényező meghatározását úgy célszerű végezni, hogy a számítás kezdetekor egy felvett, vagy a megelőző számításokból származó, sebességértékhez határozzuk meg az ellenállási tényezőt. Az iteráció végeztével a tényleges sebességet már jól megközelítő sebességekhez újra kiszámítjuk az ellenállási tényező értékét, és az iterációt újra végrehajtjuk.

Mivel a Kirchhoff törvények alapján felírható egyenletrendszer másodfokú, megoldása csak iteratív úton lehetséges. Az iterációs módszerek többsége relaxációs jellegű (Newton-Rahpson, Cross-Lobacsev, stb.), így a nyomásveszteség-függvénynek a sebességre, illetve a szállított vízhozamra vonatkoztatott deriváltjára is szükség van.

A hurkolt hálózatokon végzett kiegyenlítő számítások során, az irányított gráf modellből adódóan, a $h_v = C * Q^2$ képlet helyett célszerű egy

$$h_v = C Q |Q|$$

alakú képlettel számolni, ahol

$$C = \frac{8 l \lambda}{d^5 \pi^2 g}$$

Ha az iteráció során az ellenállási tényezőt állandónak tételezzük fel, a derivált

$$h'_v = 2 C |Q|$$

alakban írható.

A vezetékhálózat modelljének elkészítéséhez általában a következő adatok szükségesek:

- meglévő hálózat esetében a hálózati helyszínrajzok,
- tervezett hálózat esetében pedig a tervek

A hálózat vezetékei ágakból (gráfelméleti elnevezéssel: élekből) tevődnek össze, az ágak csomópontokból (gráfelméleti elnevezéssel: szögpontokból) indulnak ki, és csomópontokba futnak be. A csomópont nemcsak egy ág kezdő, illetve végpontja, hanem a hálózat azon helye (helyei), amelyen a fogyasztók vízigényét kiadjuk (pontosabban, ahol a fogyasztás kiadását képzeljük). Csomópontban csatlakoznak az egymást ténylegesen keresztező vezetékek, de csomópontban változnak valamely vezeték geometriai, és/vagy hidraulikai jellemzői is.

A tényleges hálózat, főleg nagyobb települések esetén nagyszámú ágból és csomópontból áll. Ilyen esetekben két út követhető:

- Rendelkezünk megfelelő hardver, szoftver háttérrel; a tényleges hálózat és a modellbeli ágak száma gyakorlatilag megegyezik. Ebben az esetben a modell természetesen többféle célt szolgálhat, a hidraulikai számításokon kívül pl. egy későbbi nyilvántartási rendszer kiindulási alapja is lehet.
- Nincs megfelelő kapacitásunk (hardver, szoftver) és ezért a modellbeli ágak száma csökkentésre kerül (Mai felkészültségünk ezt már szinte kizárja). Ez veszélyes is lehet abban az esetben, ha a modell készítője nem rendelkezik kellő tapasztalattal, helyismerettel, és emellett nincs módja a valóságban és a modellben lejátszódó folyamatok összevetésére, a modell identifikáció, validáció és kalibráció elvégzésére. A kellő gyakorlattal és helyismerettel rendelkező szakember, megalapozott tudásra támaszkodó mérlegeléssel tudja eldönteni, hogy mely vezetékszakaszokat hagyunk

figyelman kívül. Általános szabályként az fogalmazható meg, hogy az elosztó jellegű vezetékek általában elhagyhatók a rendszerből, míg a szállító jellegű vezetékeket nem szabad elhanyagolni. Ehhez a megközelítéshez képest másodlagos az a szakmában elterjedt ökölszabály, amely a vezetékek elhanyagolásának lehetőségét az átmérők arányában adja meg:

$$D_{min} = D_{max}/n$$

Vagyis a vezetékhálózatban található legnagyobb csőátmérő valahányad részét meghaladó átmérőjű vezetékek maradhatnak csak a modellben. Ez a meghatározás csupán másodlagos szabályként, esetleg párhuzamos vezetékekre alkalmazható, és azt a tényt fejezi ki, hogy a vízszállító kapacitás a csőátmérő változásával exponenciálisan változik!

A hálózati modellezésre általában egzakt, pontos tanácsok nem adhatók. A legfontosabb szempont, hogy a modell, figyelembe véve az elosztóhálózat állapotát befolyásoló nagyszámú bizonytalan tényezőt

- a megjelölt feladatnak,
- a gyakorlati igényeknek

megfelelő pontossággal utánozza a valóságot. Erre a kérdésre a modell identifikáció, validáció és kalibráció kapcsán visszatérünk.

3.3.2. Tározók, kötött nyomású pontok

A tározók a nyomás alatti csőhálózat azon kötött nyomású pontjai, melyekben a nyomás nem függ a tározóba érkező, vagy onnan távozó vízmennyiségtől. A tározó modelljének felállításához be kell vezetnünk két fogalmat:

- a fiktív ág, melynek mentén a nyomásveszteség nem függ a szállított vízhozamtól,
- fiktív csomópont, a hálózat azon kitüntetett pontja, mely a hasonló síkban fekszik.

A tározók modellezése a fiktív ág, illetve a fiktív csomópont bevezetésével két módon lehetséges:

- A tározót egy olyan fiktív ággal modellezzük, melynek kezdő csomópontja a fiktív csomópont és rajta a nyomásveszteség a vízforgalomtól függetlenül éppen annyi, mint az aktuális vízállás hasonló sík feletti magassága.
- A fiktív csomópontot kiiktatva a hálózathoz, a fiktív ágak a tározókat kötik össze, és rajtuk a nyomásveszteség a vízforgalomtól függetlenül a tározók aktuális vízszintkülönbsége.

A modellezésnél a tározókat az adatmegadás szempontjából csomópontként kezeljük. Ez a megoldás a felhasználó munkáját hivatott megkönnyíteni, mivel nem kell külön foglalkoznia modelljében a fiktív csomópont, és a fiktív ágak megadásával, ezt a programok általában automatikusan végzik. Fel kell hívnunk a figyelmet azonban arra, hogy minden egyes tározó legalább egy új ágat jelent a modellben és a csomópontok minden esetben kiegészülnek egy ún. fiktív csomóponttal.

Mind a magas-, mind a mélytározók (szívómedence) esetében

- a tározó alakja (a V-h görbe meghatározása érdekében),
- a térfogat,

- a túlfolyó és a fenékszint,
- a tározó és a hálózat kapcsolata (zárkamra)

képezik a modellezés további alapadatait.

Ha a tározót több, közvetlenül egymás mellé épült - azonos jellemző vízállásokkal rendelkező és a rendszerben azonos feltételekkel üzemelő, stb. - medence alkotja, akkor azokat a modellezés szempontjából általában egyetlen tározónak tekinthetjük, és egyetlen csomóponttal modellezzük.

Figyelembe kell venni a tározó és a hálózat kapcsolatát. A tározóban lévő víz pangásának elkerülése érdekében általában - a zárkamrában - a hálózati vezeték töltő-, illetve ürítő vezetékre válik szét, amelyeken visszacsapó szelepek szabályozzák a vízáramlást. Modellezés szempontjából azonban a töltő- és ürítő vezetékek általában egyetlen vezetékeknek tekinthetők.

Más a helyzet, ha a medence megtelése esetén a töltővezeték lezárjuk (pl. szintérzékelő által működtetett elzáró-szerkezettel), és az ürítővezetéken lévő visszacsapó csak akkor nyit ki, ha a medence környezetében lévő hálózati nyomás a medence szintje alá kerül. Ilyenkor a töltővezeték, illetőleg a rajtuk lévő elzáró-szerkezeteket (tolózár, visszacsapó) is külön modellezni kell.

Megjegyzendő még, hogy vízminőség vizsgálatok, tartózkodási idő számítás esetében ez már nem ilyen egyértelmű, különösen, ha egy jelentős térfogatú tározó esetében a tározóbeli vízminőség változások is szerepet játszanak a vizsgálatban. Ilyen esetekben magának a tározótérnek kell egy elkeveredési, reakció kinetikai modelljét előállítani. Erre vonatkozóan részletesebb információk a WaterCAD programhoz kapcsolódó *Advanced Water Distribution Modeling and Management* című szakkönyvben (kiadó: *Haestad Methods*) állnak rendelkezésre.

Végül elmondhatjuk, hogy a tározók, mint kötött nyomású pontok, modellezése viszonylag egyszerűen megoldható, nem szabad azonban elfeledkezni arról, hogy a körültekintő modellezés, az üzemeltető helyismerete itt sem nélkülözhető.

3.3.3. Szivattyú (centrifugál szivattyú)

A vízelosztó rendszerekben szinte kizárólagosan alkalmazott centrifugálszivattyúk emelőmagasságának meghatározásához a

$$H_{sz} = a_0 + a_1 Q_{sz} + a_2 Q_{sz}^2$$

alakú polinomot szokták alkalmazni, melynek a_0 , a_1 , a_2 paramétereit a szivattyú hitelesített jelleggörbéjéből lehet meghatározni. A gyakorlatban igen elterjedt egy ennél valamivel egyszerűbb közelítés, amikor a jelleggörbe egyenlete

$$H_{sz} = H_0 - a Q_{sz} |Q_{sz}|$$

alakú. Ez a jelleggörbe típus negatív Q_{sz} értékekre is ad metszéspontot bármely csőhálózati jelleggörbével, ami az iterációs számítási módszer szempontjából komoly biztonságot jelent. Ennek a (nyomásvesztés) függvénynek a deriváltja

$$H'_{sz} = -2a Q_{sz}$$

alakban írható fel.

A szivattyúk modellezésére szintén ágakat használunk. A szivattyúkhöz, átemelőkhöz kiegészítő szerelvények, berendezések (elzárószerkezetek, visszacsapó, vízmérő, stb.) tartoznak. Ezeket csak közvetve modellezzük, amikor is a modellben egy szivattyúnak négy-féle állapota lehet:

1. A szivattyú üzemszerűen működik, ekkor jelleggörbáját mint másodfokú parabolát adjuk meg.
2. Az üzemelő szivattyú típusát nem ismerjük (pl. nagyobb távra történő tervezéskor), ekkor a kiválasztott vízhozam adható meg. Amíg jelleggörbe megadása esetén a vízszállítást és a nyomásokat a hálózat hidraulikai viszonyai befolyásolják, meghatározott vízhozam megadása esetén (fix vízhozam) csak a szállítómagasságot befolyásolják a hidraulikai viszonyok (mintha függőleges lenne a jelleggörbe).
3. A szivattyú (átemelő) nem működik, zárva van.
4. A szivattyú (átemelő) nem működik, de a víz áramlása tetszőleges irányban lehetséges. (Ez az eset tulajdonképpen egy nyitott állapotban lévő megkerülő vezeték modellez).

Párhuzamosan működő szivattyúk esetén mindegyik gépegyiséget egy-egy külön átemelő ággal célszerű modellezni, de lehetőség van a párhuzamosan kapcsolt gépek egyesített jelleggörbéjének tárolására is.

3.3.4. Kút

Általában a hálózathidraulikai modellekben, amikor vizsgálatainkat csak permanens vízmozgásokra vonatkoztatjuk, a kutak modellezésénél kizárólag egymásra hatástól mentes kutak figyelembevételére van lehetőség. Ebben az esetben élhetünk a következő közelítéssel:

$$H_k = H_0 - k Q_k$$

Vagyis a kút modellje két modellező ág, egy konstans- és egy lineáris veszteségű ág együttese.

3.3.5. Hidráns, szabadkifolyás

A tűzcsapok, közkifolyók, modellezésére használatos szabadkifolyást egy

$$H_{vh} = H_0 + a Q_h |Q_h|$$

kifejezéssel lehet modellezni, ahol a H_0 a szabadkifolyás hasonlító sík feletti magassága, míg a második tag a kifolyás helyi ellenállását hivatott figyelembe venni. Tehát a hidráns két modellező ágként, egy konstans- és egy négyzetes veszteségű ágként modellezhető.

3.3.6. Nyomás-szabályozó berendezések

A modellben alkalmazható nyomás-szabályozókat primer-, illetve szekunder oldali nyomás szabályozásra, nyomástartásra, valamint vízszállításra lehet beállítani. A különböző modellmegvalósításokban, szoftverekben ezen lehetőségek közül számos változat került

megvalósításra. Ezekre vonatkozó információk az egyes szoftverek felhasználói dokumentációiban megtalálhatók, itt ennek részleteire nem térünk ki.

3.3.7. Hálózati szerelvények

A hálózati szerelvények közül - modellezési szempontból - elsősorban az elzáró szerkezeteknek és a visszacsapóknak van jelentőségük. Mindkettőt ág modellezi.

– Elzárószerkezetek

- Elzáró (áglezárás) esetén az ág kezdő- és végsomópontjaival kapcsolatban nincs semmi kötöttség. Zárás esetén az ág “megszűnik”, kiiktatódik a modellből. A program az elzárást utasításra végrehajtja, közvetlen személyes beavatkozás nem szükséges.
- Az elzárószerkezetnek a teljes elzáráson kívül feladata lehet még a vezeték fojtása is. A fojtás tulajdonképpen egy ellenállást hoz létre, tehát elegendő egy helyi ellenállási tényező figyelembevétele. Ez az ellenállási tényező általában a nyitottság függvényében adható meg.
- Megoldás lehet az “elzáró” (fojtás helye) ág hosszának növelése; olyan hosszal venni fel az ágot, hogy annak ellenállása megegyezzen a helyi ellenállás értékével. Ilyenkor lehet egyenértékű ellenállásról, vagy egyenértékű csőhosszról beszélni.

- A **visszacsapót** egy olyan ág modellezi, amelynél a kisebb sorszámú csomópont felől a nagyobb sorszámú csomópont felé szabadon áramolhat a víz. Ha a hidraulikai számítások eredményei szerint a nagyobb sorszámú csomóponton nagyobb a nyomás, mint a kisebb sorszámú csomóponton, vagyis a víz az előbb említettel ellentétes irányba folya, akkor a visszacsapó zár.

3.3.8. Szűrő

A nyomás alatti, zárt gyorsszűrők nyomásveszteség összefüggéseire a VITUKI-ban végeztek kísérleteket. A kísérleti eredmények felhasználásával egy

$$h_{vs} = C Q_s |Q_s| + k Q_s$$

alakú összefüggést vezettek le, amely párhuzamosan kapcsolt szűrők hidraulikai vizsgálatánál alkalmazható. Tehát a szűrőt két ágként, egy négyzetes és egy lineáris veszteségű ágként modellezhetjük. A képletben a lineáris tag a szűrőrétegbeli, míg a négyzetes tag az egyéb helyi veszteségeket veszi figyelembe.

3.4. A fogyasztás modellezése

A fogyasztás - illetve a vízigények - helyes, a valóságnak leginkább megfelelő modellezése a rendszervizsgálatoknál az egyik legbonyolultabb, legkevésbé egzaktul megfogható probléma.

Három kérdésre keresünk választ:

- Hol ? - A fogyasztás, vízigény területi megoszlása. Hol, milyen arányokkal modellezzük a különféle vízfogyasztókat/vízfogyasztásokat?

- Mennyi ? - A vízfogyasztás nagysága, illetőleg a vízfogyasztás jellemző értékei (Q_{dmax} , $Q_{dátl}$, Q_{dmin}).
- Mikor ? - A vízfogyasztás/vízigény időbeli változásának trendjei.

3.4.1. A vízfogyasztás területi megoszlásának modellezése

A fogyasztás - a fogyasztók - jellege szerint megkülönböztetünk

- lakossági,
- alapfokú közintézményi,
- közintézményi,
- ipari,
- egyéb

fogyasztókat.

Ezek a fogyasztók a vízellátó hálózatokból gyakorlatilag egy pontban (pl. házi bekötés) vételeznek vizet. Kérdés, hogy a hálózati modell kialakításánál ezeket a vízvétellezési helyeket - pontokat - milyen módon vesszük figyelembe. Ez a kérdés a nagyszámú lakossági fogyasztási helyek esetében merül fel elsősorban. Amennyiben a fogyasztási helyek, házi bekötések mindegyikét figyelembe vesszük, úgy rendkívül nagyméretű hálózati modellt kapunk. Ennek kezelésére, mióta a víziközmű üzemeltetésben az integrált informatikai fejlesztések elterjedtek, van lehetőség. De azokban az esetekben, amikor ez a lehetőség nem adott, ha az adatok nem integrált informatikai háttérben állnak rendelkezésre, akkor igen jelentős többletmunkát jelent a nagyszámú csomópontra történő fogyasztásgenerálás.

Másrészt a modellt alkotó ágak és csomópontok számának növelése a számításokhoz szükséges időt is növeli, ezért még üzemtani vizsgálatok esetén is ennél kisebb mértékű részletességgel szokás megoldani a feladatot.

Elméleti megfontolások alapján igazolható, hogy egy-egy vezetékszakaszon (pl. két utcasarok között), amennyiben a lakossági fogyasztást a vezeték két végpontjára terheljük (Bozóky Szeszich Károly), és nem jelennek meg a modellben a házi bekötések, akkor a számítások során kapott vezeték menti vízszállítások, és ebből következően a csomóponti nyomások, tekintetében a biztonság javára tévedünk. Tehát az ilyen jellegű elhanyagolás kvantitatív, tervezési és üzemtani feladatoknál minden további nélkül elfogadható. Víztisztítási célú vizsgálatoknál már elképzelhető, hogy nagyobb pontossági igény merül fel.

3.4.1.1. Lakossági (kommunális) vízfogyasztás kivételi helyei

A vízkivételek helyéül célszerűen csomópontokat kell megjelölni. Ezek - mivel a modellbeli pontosságot lényegesen nem befolyásolja - az egyébként is rendelkezésünkre álló, a topológiai modellezés során kijelölt, csomópontok lehetnek.

A lakossági vízfogyasztás, illetve vízigény modellezésekor célszerűen el kell különítenünk, hogy tervezési célú, vagy üzemtani számításokról van szó. Ugyanis ebben a tekintetben a rendelkezésünkre álló, a vízfogyasztás/vízigény területi megoszlására vonatkozó adatok szerkezetük tekintetében jelentős eltérést mutatnak.

Tervezési célú vizsgálatok esetében, amikor vízigényekről beszélhetünk, a területi megoszlás elsődlegesen fogyasztási körzetekben testesülhet meg, melyeket a rendezési, szabályozási

tervekből származó területhasználatok alapján tudunk meghatározni. Egy-egy ilyen fogyasztási körzetben azonos jellemzőkkel rendelkező fogyasztókat feltételezünk (fajlagos vízigény, fogyasztási szokások, fogyasztási menetgörbe,...). Ebben az esetben a feladat a fogyasztási körzetre megadott terhelés transzformálása a hálózat csomópontjaira. Ez a transzformáció többféle módon történhet:

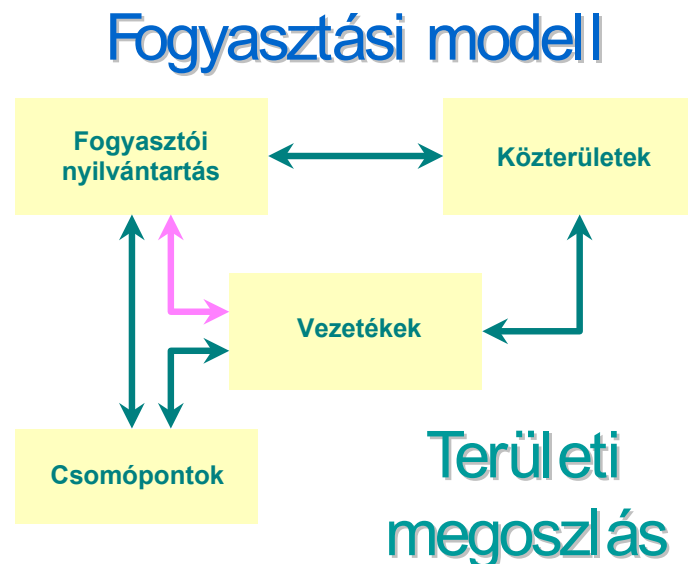
- a körzet ellátásban résztvevő vezetékszakaszokra megadott súlysúlyszámok arányában,
- a körzetbe eső csomópontokra megadott súlysúlyszámok arányában.

Mindkét esetben a kulcsfeladat a súlysúlyszámok meghatározása. Ez történhet

- az új hálózatrészekén:
 - a körzetbe eső vezetékszakaszok hosszainak arányában,
 - a körzetbe eső vezetékszakaszok által ellátott terület arányában,
- a meglévő hálózatrészekén, a fentiekén kívül:
 - tényleges, archív vízfogyasztási adatok alapján.

Tervezési munka esetében, a vízfogyasztás szétosztása bármely módon történik is meg, a fogyasztási körzetekre megadott vízigény, a súlysúlyszámok alapján az ág kezdő- és végcsomópontjaira terhelődik.

Üzemeltetési célú vizsgálatok esetében, amikor az ellátási terület megegyezik a vizsgált területtel, archív vízfogyasztási és víztermelési adatok állnak rendelkezésre. Ezek területi megoszlása azonban, a mérési adatok jellegéből adódóan nem fogyasztási körzetekben, hanem nyomáscsomópontokban jelentkezik, és a két területi lehatárolás nem feltétlenül esik egybe. Ilyen esetben a területi megoszlást reprezentáló súlysúlyszámok generálása általában a vízdíjszámlázás éves összesítésű adatai alapján reális (**3-15.ábra**).



3-15.ábra

3.4.1.2. Közintézményi vízkivételek helyei

Ebben az esetben már mérlegelés kérdése, hogy a fogyasztás valós helyein, illetőleg a kommunális vízkivételi helyekhez hasonlóan a már meglévő csomópontokon modellezzük a

fogyasztást. Ha az adott területen a lakossági fogyasztáshoz viszonyítva a kommunális fogyasztás kicsi, ez utóbbi eset léphet életbe. Ha a kommunális fogyasztás aránytalanul nagy, úgy már a kommunális fogyasztó "nagyfogyasztónak" is felfogható, akkor pedig az ott leírtak lépnek életbe.

Lényegesnek találtuk fenti eszmefuttatás bemutatását, mert a vízfogyasztás csökkenése általában nem arányosan történik. Amíg a lakossági fogyasztás csökkenése - elsősorban az általános (rossz) gazdasági helyzet, illetve a vízdíjak nagymértékű növekedése miatt - jelentős mértékű, a kommunális vízfogyasztás "kommunális" részének csökkenése nem jellemző (elég itt arra gondolnunk, hogy a szociális intézményekre- óvoda, bölcsőde, iskola, stb. - áttérhelődött a lakossági fogyasztások egy része). Ezért is nehéz manapság annak egyértelmű - általánosítottan alkalmazható - eldöntése, hogy mikor, mit, hogyan modellezzünk.

3.4.1.3. Nagyfogyasztók vízkivételi helyének modellezése

A nagyobb közintézmények, az ipar, stb. vízfogyasztási helyeinek modellezése már nem jelent problémát, hiszen a fogyasztók helyileg lehatároltak, vízkivételi helyük konkrétan meghatározható.

3.4.1.4. A vízfogyasztás helyének és nagyságának együttes megállapítása

Mivel a vízművek többsége ma már rendelkezik konkrét, számítógépes adathordozón rendelkezésre álló fogyasztási adatokkal (pl. vízdíjszámlák, stb.), így lehetőség van arra, hogy a digitális hálózaton (a modellben) a valódi helyén modellezzük a fogyasztókat. A fogyasztók helyén (csomópont) a fogyasztási értékek is adottak. A probléma itt is kettős:

- Minden fogyasztói hely szerepeljen-e, mint csomópont a modellben ?
 - o Ha igen, akkor a fogyasztás helyét rögzítettük.
 - o Ha nem akarjuk, hogy a modellben a szükségesnél több csomópontunk legyen, akkor eldönthetjük, hogy mi legyen az a hossz (utca szakasz), amin belül a fogyasztókat nem a helyükön, hanem az ág két végpontján modellezzük.
- Hogyan vegyük figyelembe a két vízóra-leolvasás között eltelt időszak fogyasztását ?
 - o Az általában alkalmazott (min. 60 naponkénti) leolvasási gyakoriság nem ad lehetőséget arra, hogy napi maximális értékeket határozzunk meg. Arra van csak lehetőségünk, hogy a fogyasztás átlagos értékét határozzuk meg a két leolvasás közötti időre vonatkoztatva.

3.4.2. A vízfogyasztás nagyságának időbeli változása

A vízfogyasztás nemcsak területileg, hanem időben is változó. Egy település vízfogyasztásának/vízigényének időbeli változásának jellemzésére több paraméter is szolgál. Ezen paraméterek általában egy teljes, éves időciklusban jellemeznék egy-egy települést, vagy fogyasztót:

Fajlagos vízigény	-	q	[l/fő/d]
Éves átlagos vízigény vagy vízfogyasztás	-	$Q_{\text{átl}}$	[m ³ /d]
Éves legnagyobb napi vízigény vagy vízfogyasztás	-	Q_{max}	[m ³ /d]

Évszakos egyenlőtlenség

$$\beta = \frac{Q_{d \max}}{Q_{d \min}}$$

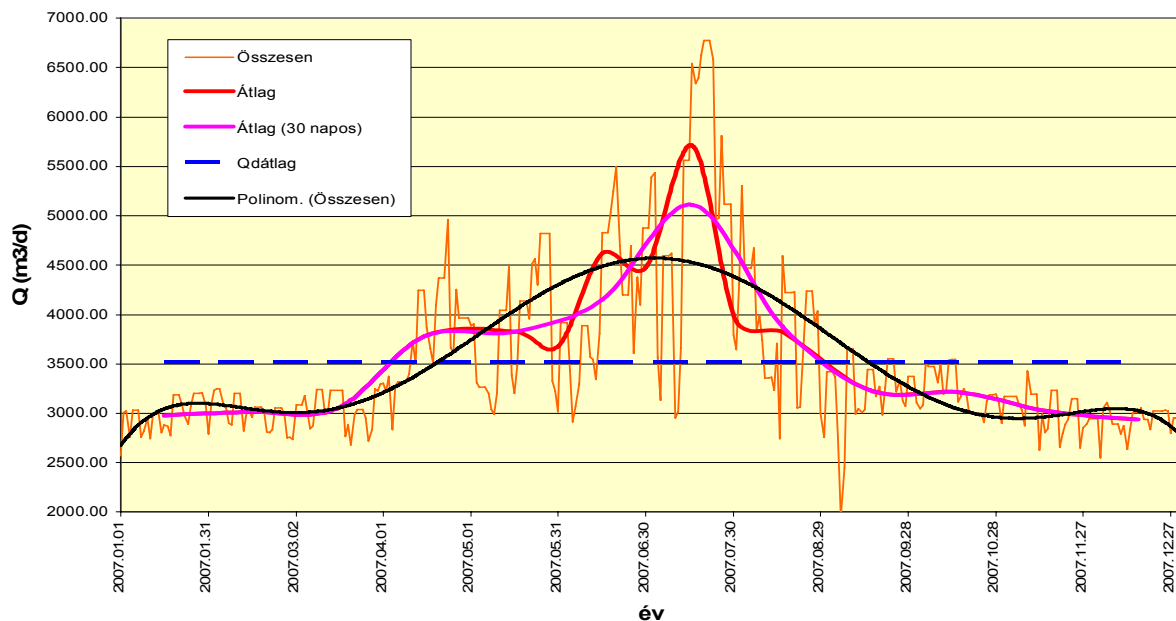
Ezen adatok hosszú távú, több éves, esetleg évtizedes prognózisa általában archív adatokra támaszkodik, melyeket vízértékesítési, illetve víztermelési adatok aggregációjával lehet előállítani.

Fontos kiemelnünk, hogy a vízfogyasztás/ vízigény időbeli változásával kapcsolatban három jellemző ciklikus trendet szoktunk megkülönböztetni:

- éven belüli, vagy másképp évszakos,
- heti és
- napi

trendeket. A három trend közül az első kettőnek a napi vízigények/vízfogyasztások megállapításában van jelentősége, míg a harmadiknak az üzemállapotok meghatározásakor illetve a folyamatmodellezésben van kiemelt jelentősége.

A település naponkénti **vízfogyasztásának** évszakos változása adott, konkrét, a termeléssel azonosnak vehető idősor, amely tartalmazza a hálózati veszteséget is. Amennyiben vannak mérési adatok, úgy ez az idősor a település egyes elkülöníthető részeire is, illetve egyes nagyfogyasztókra is rendelkezésünkre állhatnak (**3-16.ábra**).



3-16.ábra

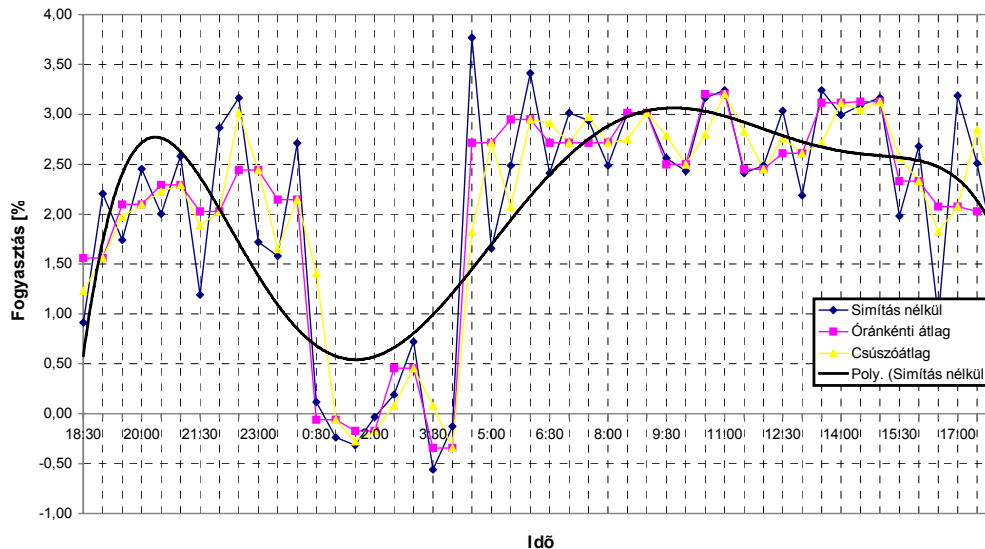
A **vízigények** éves idősorát már nehezebb előrebecsülni, de a **mérési** (és tapasztalati adatok, esetleg irányelv, ill. szabvány) alapján az éves átlagos vízigény a napi maximális vízigény meghatározása után, az évszakos egyenlőtlenségi tényező számítható.

A vízfogyasztás héten belüli változásának elsősorban üdülőterületeknél lehet jelentősége. Ez a ciklus a szokványos hidraulikai számításokban általában nem játszik lényeges szerepet. Használata inkább a vízbázis kapacitások, többnapos tározással történő kiváltása kapcsán merülhet fel.

A hálózathidraulikai számításokban már általában egy prognosztizált, vagy konkrétan mért napi vízigény, illetve vízfogyasztási adatból indulunk ki.

Fogyasztási modell

Fogyasztási menetgörbék



Zónafogyasztás - menetgörbék

3-17.ábra

A napon belüli - órai - vízfogyasztási idősorok (menetgörbék) megfelelő adatok birtokában a település egészére, illetve funkcionális egységenként (pl. nyomáscsónánként) termelési, átemelési, illetőleg tározó-vízforgalom adatok alapján meghatározhatók (3-17.ábra)

Tervezési célú feladatok megoldása során, a vízigény számításokhoz használt fogyasztási körzetek esetében azonban, a legtöbb esetben csak irodalmi adatokra támaszkodhatunk. A célzott mérésekkel meghatározott, és statisztikai kiértékeléssel megalapozott napon belüli fogyasztását leíró menetgörbék egymástól kisebb-nagyobb mértékben eltérnek, eltérhetnek (pl. egy városközponttól távol eső lakótelepen a menetgörbe szokásos kora reggeli növekedése hamarabb, délutáni növekedése pedig később kezdődik, mint a központi helyen fekvő lakótelepen).

Üzemtani vizsgálatok esetében azonban az egész településre, illetve az egyes nyomáscsónákra, mérésekkel meghatározott menetgörbét célszerű használni.

3.5. A modellezés szintjei

A modellezés különböző szintjei, különböző részletességű modellek

A vízellátó rendszerek modelljének elkészítésekor, különösen az elosztóhálózat tekintetében, a figyelembe vett elemek számától függően a modellezés három szintjét különböztetjük meg:

Részletes modell - azonosítás a valósággal	
Egyszerűsített modell -	azonosítás a valósággal, vagy a már azonosított részletes modellel
Helyettesítő modell -	azonosítás a már előzőleg azonosított modellekkel

3.5.1. Részletes modell

A vízellátó rendszerek minden részletre kiterjedő modellezésekor, elsősorban az elosztó-hálózati modell készítése során egy rendkívül komoly mennyiségi problémával találja szembe magát a modell készítője. Amennyiben modelljét pl. a házi bekötésekig visszavezetve készítené el, még egy kisvárosi (10-20 ezer m³/d nagyságrend) vagy kistérségi rendszer esetében is több ezer vezetékszakasz modellbe való bevonását és kezelését kellene megoldania. Ezen adatok összegyűjtése, rögzítése a hagyományos, kézi (kisipari) módszerekkel gyakorlatilag lehetetlen.

Újabban olyan informatikai (szoftver és hardver) eszközök váltak közvetlenül elérhetővé, amelyekkel a hálózatot alkotó vezetékek adatainak bevitele jelentősen hatékonyabbá válik. Ezzel a lehetőséggel élve ma már viszonylag rövid idő alatt lehet előállítani akár több ezer vezetékszakaszról álló hálózati modelleket is.

Fontos: a módszer adott, a beviteli lehetőségek jók, de az adatokat pontosan ismerni kell (házi bekötések, vezetékek, helye, átmérője, anyaga, kora, stb.).

A részletes modellben a vezetékek teljes (vagy majdnem teljes) körén kívül minden egyéb rendszerelem is részletesen modellezésre kerül.

Meg kívánjuk jegyezni, hogy egy modell nem attól lesz "részletes" modell, hogy minden, az üzem szerint esetleg lényegtelen ág, a modellbe kerül, hanem attól, hogy a vizsgálati cél szempontjából lényeges összes rendszerelemet, a szükséges paraméterekkel tartalmaz.

Felhasználási terület:

- rendszeranalízis (minden szinten)
- tervezési feladatok
- rekonstrukció-tervezés
- üzemtani vizsgálatok
- vízminőségi célú vizsgálatok

3.5.2. Egyszerűsített modell

Az egyszerűsített modellek előállításának jelentős hagyományai vannak a hazai és a nemzetközi gyakorlatban egyaránt. Lényege: a vezetékszakaszok (és kizárólag ezek) számának csökkentése annak érdekében, hogy a számítások elvégzéséhez szükséges számítógép kapacitás igényt

csökkentsék. Korábban, amíg nem rendelkezünk megfelelő hardver és szoftver háttérrel, szinte kizárólagosan ilyen modellekkel számoltunk.

A lényeg az egyszerűsített modell előállításánál, hogy elhagyni csak azokat a vezetékszakaszokat lehet, amelyek nem okozzák a csomóponti nyomások, és a csőhálózati jelleggörbék jelentős mértékű deformációját.

Az egyszerűsített modellt a részletes modellből célszerű levezetni, előállítani. A már megismert (ismerem a rendszer üzemét, az ott kialakuló hidraulikai viszonyokat, ezeket jónak találtam) rendszer segítségével megállapítható azon vezetékek köre, melyek a modellből "kihagyhatók", nélkülözhetők. Ez elég sok tapasztalatot kíván és nem mentes a modellkészítő szubjektivitásától sem. Viszonylag könnyen előállítható, ezért elterjedése, illetve alkalmazása várható.

Felhasználási terület:

- üzemtani vizsgálatok, a vízelosztó rendszer gazdaságos üzemeltetési, üzemirányítási algoritmusának meghatározása céljából,
- tervezési célú, közelítő hidraulikai vizsgálatok több településre kiterjedő (regionális vagy térségi) vízellátó rendszerek működőképességének vizsgálatához.

3.5.3. Helyettesítő modell

Az eddigiekben az elsődleges cél az volt, hogy a modell méreteit (csak a hálózat, az ágak és csomópontok számát) csökkentsük. A nagyteljesítményű számítógépek megjelenésével gyakorlatilag a számítások a részletes modellen viszonylag gyorsan elvégezhetőek. Változik azonban a helyzet akkor, ha valamilyen (pl. optimalizáció) célból a megszokottnál lényegesen több, és igen rövid idő alatt elkészítendő számításokra, az abból nyerhető információra van szükségünk. Ebben az esetben a gyorsítás lehetősége: a modell átalakítása, az igen nagymennyiségű ismeretlen (ezek az ágak vízszállításai) drasztikus csökkentése.

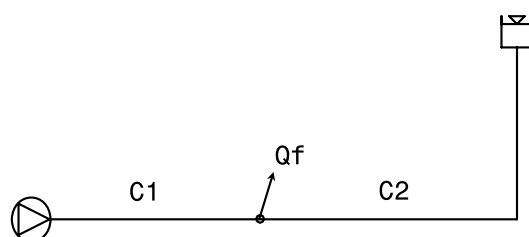
A helyettesítő modellek elsődleges célja az üzemszimulációs vizsgálatok elvégzéséhez szükséges tárigény és gépidő lecsökkentése, és ezzel az üzemeltetői munka keretében végzendő vizsgálatok egyik legfontosabb előfeltételének biztosítása. Ezt a célt csak a modellek drasztikus egyszerűsítésével lehet elérni. Figyelembe véve, hogy az operatív üzemirányítás szempontjából, üzemzavar-mentes időszakban

- a tározók vízállásának, vízforgalmának,
- a szivattyúk paramétereinek (vízszállítás, emelőmagasság, teljesítmény, stb.)

időbeli alakulása az elsősorban döntő, nyilvánvaló, hogy a helyettesítő modellekben ezeknek az elemeknek kell dominánsan szerepelni. Csökkenteni, illetve megszüntetni kell a gyűrűket (természetesen helyettesítjük őket), valamint csökkenteni kell a fogyasztói kivételek számát.

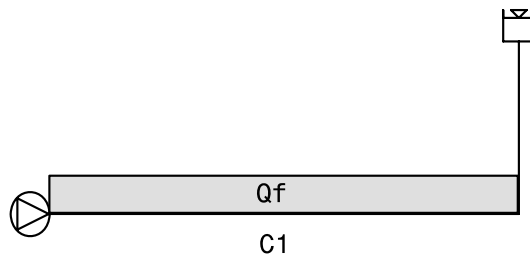
A helyettesítő modell előállítása és identifikációja két lépésből áll:

1. A részletes modell analizisére támaszkodva választandó ki a modell típusa (struktúra, paraméterek száma). Általában három jellemző struktúrájú modell jöhet szóba:



Koncentrált fogyasztás két ág közös csomópontján kiadva

Az ábrán olyan modell mutatunk be, amely egy C_1 és egy C_2 ellenállású ágból áll, a két ág közös csomópontján koncentráltan adjuk ki a Q_f fogyasztást.



Megoszló fogyasztás a teljes ág mentén

A fenti esetben a fogyasztás egyenletesen oszlik meg az egyetlen ág teljes hosszában.



Megoszló fogyasztás egy ág mentén

Ebben a harmadik esetben, a modellben a fogyasztás megoszlóként lett felvéve, de csak az egyik ág mentén.

Természetesen a helyettesítő modell a három felvázolt eset szuperponálásából is származhat. Nagyon fontos azonban, hogy a valóság és a modell tározóinak, szivattyútelepeinek (átmelőinek), esetleges egyéb szabályozó elemeinek száma megegyező lehet csak, az egyszerűsítés ezekre nem terjedhet ki.

2. A részletes modellel végzett vizsgálatok (rendszeranalízis) eredményei, illetőleg mérési adatok alapján határozandók meg a helyettesítő modell paramétereinek numerikus értékei.

A helyettesítő modell paramétereinek meghatározásakor abból kell kiindulni, hogy ezekkel a modellekkel csak közelítjük a részletes modellel, vagy gondos méréssel meghatározott csőhálózati jelleggörbéket. Ennek megfelelően illeszteni kell egymáshoz az etalonként elfogadott, illetve a helyettesítő modell által képviselt leíró egyenletrendszert. E megfogalmazás alapján belátható, hogy ehhez a részfeladathoz a regresszió-analízis módszereinek alkalmazása célszerű. Ennek megfelelően regresszió vizsgálat keretében, tulajdonképpen a már kiválasztott helyettesítő modell struktúrájának keressük azon paraméter értékeit, amelyekkel a legjobban közelíteni tudjuk az összehasonlításként elfogadott jelleggörbéket.

Felhasználási terület:

- operatív üzemirányítás,
- vizsgálatok az üzemrendek gyors változtatásához,
- üzemoptimalizálási feladatok megoldása.

3.6. Modellek identifikálása, kalibrálása

A modell identifikációt a már elkészült részletes modellen kell kezdeni. Ennek előmunkálatait és végrehajtását, különösen nagyobb rendszerek esetében célszerű tervben rögzíteni.

A modell valósághoz való azonosítása kétféle módon történhet:

- A valós rendszerben végrehajtott erre a célra alkalomszerűen végzett mérések eredményei alapján.
- A valós rendszer állandó, üzemszerűen keletkező, a meglévő on-line adatgyűjtő rendszer mérési adatainak felhasználásával (ebben az esetben megbízható, legalább 24 órás idősoroknak kell rendelkezésre állni).

Bármely lehetőséget választjuk is, mindenképpen figyelnünk kell az alábbiakra:

- A mérőműszerek hitelesek legyenek.
- A mérés, illetőleg a vizsgálati idő közben történt meghibásodást, üzemzavart jelezni kell, ha szükséges a mérést újból el kell végezni.
- Minél hosszabb időszak (legalább 24 óra lehetőleg) adatait kell a vizsgálatba bevonni.
- Ha a mérés nem 24 órás, akkor meg kell előre határozni a mérendő üzemi állapotokat (ezek lehetnek szélső állapotok is).
- Megbízható személyzetről kell gondoskodni.
- Közvetlen mérés esetén a mérésben résztvevőket ki kell oktatni nemcsak a mérés elvégzésére, hanem az egész feladat jelentőségéről is részletes információt kell adni.

A részletes modell identifikációja, illetve kalibrációja az alábbi lépésekből áll:

- Ki kell választani azt az időintervallumot, amikor a méréseket végre akarjuk hajtani, illetőleg az on-line adatgyűjtő rendszer adatait fel kívánjuk használni (mindkét esetben zavarmentes - pl. nem lehet vízhiányos időszak - időintervallum kijelölése szükséges).
- A fogyasztás zónánkénti megállapítása:
 - a betáplálások és továbbemelések figyelembevétele;
 - mérés esetén a betáplálás és/vagy a továbbemelés leállítása adott időszakra.
- Különböző, lehetőleg nagy vízszállítású betáplálási pontok beindítása, nagy nyomásingadozást előidéző üzemállapotok előállítása (csak közvetlen mérés esetén lehetséges; hálózaton nyomásméréshez alkalmas üzemállapot).
- A közvetlen mérés elvégzése, vagy az on-line mérőkörök adatainak elemzése után elsőként meg kell állapítani a mérési időszak alatti fogyasztás nagyságát, valamint időbeli (órai) változását.
- Ez után kerülhet sor a mért üzemállapotok számítására (24 órás vizsgálat esetén szimulációs vizsgálatok). A számítással meghatározott, összehasonlításban résztvevő adatok:
 - nyomások a szivattyúk szívó- és nyomócsőkjain (valóságban és a modellben),
 - tározó(k) vízállás idősorának kiszámítása és a valósággal való összevetése,
 - nyomások a hálózat kijelölt, mértékadó helyein (valóságban és a modellben).

Amennyiben az azonosítás sikertelen (nagyok a mért és számított eredmények közötti eltérések), meg kell keresni a hibák okait.

A mért és számított adatok közötti eltéréseknek számtalan oka lehet. Eddigi tapasztalataink szerint a leggyakrabban előforduló okok az alábbiak szerint csoportosíthatók:

Az előkészítő munka, rendszeranalízis hibái, hiányosságai:

- tározók jellemző vízszintjeinek bemérési hibája,
- szint- és nyomásmérő műszerek „0” pontjának magassági hibája,
- a szivattyúk jelleggörbéjének bemérési hibái,
- mérőműszerek kalibrálásának elmaradása, műszerek pontatlansága.
- tározók vízállás térfogat összefüggésének felmérési hibája,
- tározó vízszint mérések pontossága, ami nagy térfogatú medencék esetében a fogyasztás számításában okozhat jelentős hibát.

A modellezés hibái:

- a fogyasztás területi és időbeli változásának nem megfelelő felvétele,
- a vezetékek nem valós átmérővel, hosszal, anyaggal, nem a megfelelő helyre kerültek a modellben,
- a hálózati szerelvények nem megfelelően felvett üzemi adatai (pl. nyitott/zárt/fojtott tolózár),

A valós rendszer “hibái”

A rendszer identifikációja során igen gyakori az, hogy a valós rendszerben lévő hiányosságok is felszínre kerülnek:

- a hálózaton található üzemszerűen nyitva tartandó elzáró szerelvények fojtott állapota,
- zónázarak meghibásodásból, vagy hibás üzemeltetésből adódó áteresztése,
- a felszínen meg nem jelenő csőtörések,
- stb.

A hibák javítása, kiküszöbölése után a számítások és az összehasonlítás újból elvégzendő.

Az identifikáció megfelelőnek tekinthető, ha

- a gépházak és szivattyúk összegzett vízszállításában jelentkező eltérés kisebb, mint a mért érték 5 %-a;
- a szivattyúk szívó- és nyomócsonkjain, a hálózati nyomásmérési pontokon a mért és számított nyomásadatok eltérése nem nagyobb, mint 1 m (0,1 bar);
- a tározók vízállása, vízállásváltozása a mért és számított esetben közel azonos (itt konkrét cm értéket nem lehet meghatározni, hiszen a tározó nagysága, alakja is befolyásolja a cm/m³ arányokat);
- a tározók összegzett vízforgalmában jelentkező eltérés kisebb, mint a mért érték 5 %-a.

A részletes modell identifikálása után kerülhet sor az egyszerűsített, illetve a helyettesítő modellek előállítására és kalibrálására. Ezen modellek kalibrálása elvégezhető mind a részletes modellen számított, mind a valós mérési adatokkal való összehasonlítással.

3.7. Optimalizációs feladatok

Üzemeltetési- és létesítés orientált optimalizálási feladatok

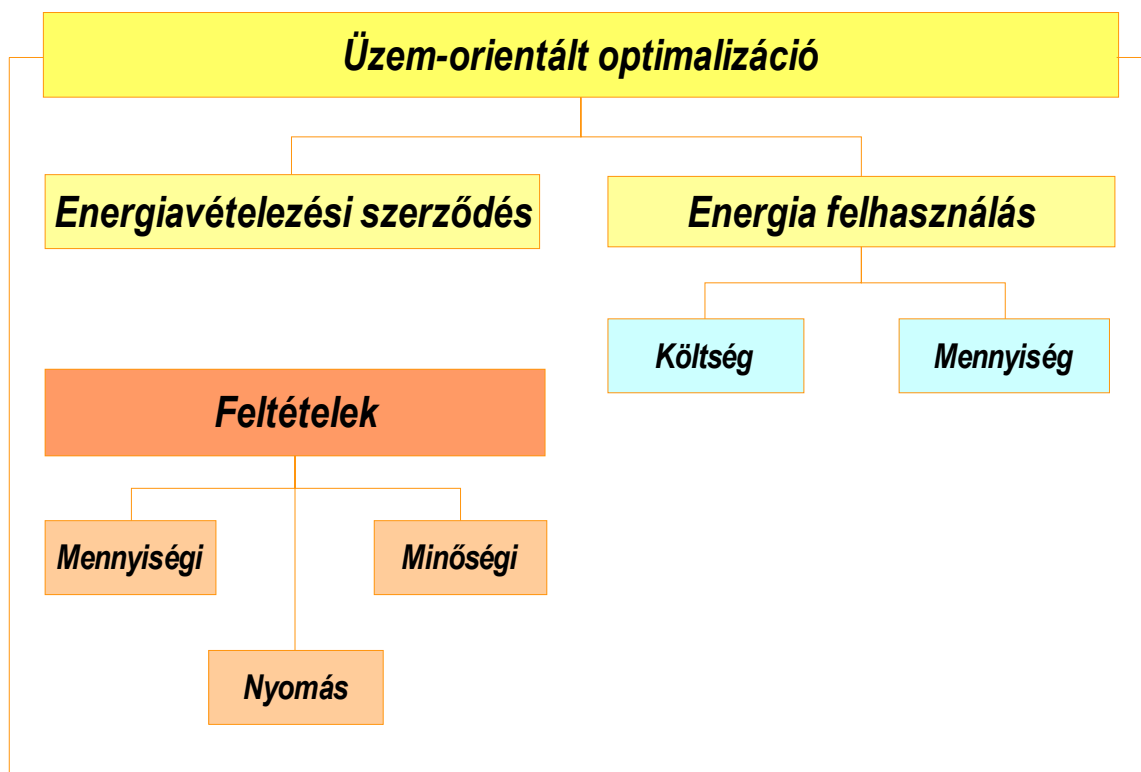
A feladat megoldásához a szimulációs vizsgálatok adnak segítséget. A vizsgálatokhoz az identifikált, kalibrált rendszermodellre van szükség.

Abszolút optimum a gyakorlati megvalósítás során általában nincs, nem is lehet. Az optimumkeresésnél ugyanis rendkívül sok lehet a korlátozó tényező (pld. energiaszerződések, beruházási kötöttségek, a korlátozott pénzügyi lehetőségek). Az optimalizálási feladatokat éppen a korlátozó feltételek szerint szokták osztályozni:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| Üzemoptimalizálás | – amikor a korlátozó feltételek a legszámosabbak, a rendszer szabadságfoka korlátozott. |
| Létesítés orientált optimalizálás | – amikor a legkevesebb korlátozó feltételt kell figyelembe venni, a rendszer magas szabadságfokú |

3.7.1. Üzemoptimalizálás

Ebben az esetben a vízellátó rendszer strukturális adottságait megváltoztathatatlanoknak tekintjük, és csupán a szivattyúk és az üzemirányítás egyéb beavatkozási eszközeinek segítségével törekszünk optimális üzemrendet kialakítani. Az optimalizálás korlátozó feltételeit ebben az esetben a nyomásigények, a tározók térfogata és jellemző szintjei, esetlegesen egyes szabályozható elemekre vonatkozó megkötések (pl. kutak szivattyúk minimális üzemideje) jelentik. A **3-18.ábrán** az üzemoptimalizálás lehetséges módjait és feltételeit foglaltuk össze.



3-18.ábra

Az üzemoptimalizáláson belül érdemes elkülönítenünk három feladatot:

- Az energiavételezési helyekre vonatkozó szabályok, szerződések feltételeinek optimumát meghatározó számítások.
- Meglévő rendszer üzemére vonatkozó valós idejű, úgynevezett operatív üzemoptimalizálást, amikor az optimalizálás végeredménye közvetlenül az üzemirányító rendszer vezérlési szabályozási algoritmusát adja meg.
- Off-line, indirekt üzemoptimalizálást, amikor jellemző fogyasztási és üzemi körülményekre vonatkozóan dolgozunk ki optimális, vagy annak nevezhető üzemrendeket, szabályozási algoritmusokat, amelyeket mintegy étlapot lehet felkínálni az üzemet felügyelő diszpécsernek.

Az üzemoptimalizálás konkrét megvalósítása további kérdéseket is felvet, mégpedig azt, hogy a számítások során milyen modelleket kell alkalmaznunk. A 3-5. fejezetben bemutatott modellek közül az egyszerűsített és helyettesítő kifejezetten arra a célra szolgálnak, hogy az ilyen számítások elvégzésének idejét jelentősen lecsökkentsék.

Az optimalizálás peremfeltételeinek és célfüggvényének ismertetése előtt két feltételt szeretnénk kiemelni:

- Az energia felhasználásra vonatkozó optimalizálás kulcskérdése a fogyasztás előrejelzés, illetve annak megbízhatósága. A jelenleg a szakirodalomból ismert optimum keresési eljárások majd mindegyike ugyanis a fogyasztás idősorát determinisztikus kezdeti feltételként kezeli. Ebből következik, hogy az előrejelzés hibája az optimalizálás hibáját okozza. Ezért az optimális szabályozási algoritmusok alkalmazása során az előrejelzés hibáját időszakosan ellenőrzik, és szükség esetén az előrejelzést korrigálva az optimum számításokat akár menet közben megismétlik, ezzel próbálva igazodni a valóságban zajló folyamatokhoz. Ezeknek az ellenőrző műveleteknek az eredményei azonban ugyancsak rejtőnek magukban hibalehetőségeket, amennyiben nem fordítunk kellő figyelmet az üzemzavar helyzetek detektálására. Üzemzavar esetében ugyanis az előrejelzéshez és optimum számításokhoz használt matematikai modellek érvényessége is megkérdőjelezhető. Ilyenkor persze marad az emberi tapasztalat és intuíció.
- Szeretnénk kiemelni, hogy az optimalizálás nem képzelhető el alapos előkészítés, rendszeranalízis nélkül. Ez a munkarész teszi lehetővé, hogy a rendszer üzemét - a változó peremfeltételek mellett - teljes mértékben megismerjük, az érzékeny helyeket felderíthessük, a mérési lehetőségeket megteremthessük, a méréseket, modell kalibrációt elvégezhessük, stb., tehát az optimalizálást előkészíthessük.

3.7.1.1. Az üzemoptimalizálás peremfeltételei

Egy vízellátó rendszer üzemoptimalizálása valamilyen T kiegyenlítési időszakra (általában 24 óra, vagy bármilyen, előre meghatározott értékre), azon belül pedig r időközökben történik oly módon, hogy nem a következő r időköz, hanem a teljes T kiegyenlítési idő optimális üzemét kell kialakítani, figyelembe véve az alkalmazott üzemelés műszaki követelményeit.

Ez utóbbiakat a következő, elsősorban üzemzavarmentes időszakot feltételező, peremfeltételek szabják meg:

- A tározók nem ürülhetnek le és nem folyhatnak túl.

- Az egyes termelő telepeken termelt víz mennyisége nem haladhatja meg a vízbázis kapacitását.
- A vízbázisok együttes termelése a kiegyenlítési időszakban lehetőleg egyezzen meg a kiegyenlítési időszak összes fogyasztásával (vízigényével), attól csak minimális értékkel térhet el.
- A kiegyenlítési időszakban a nyomásigények folyamatosan és maradéktalanul ki legyenek elégítve.
- A rendszerben nem alakulhatnak ki káros túlnyomások.
- A szivattyúk (kutak) ki- és bekapcsolása között azok műszaki paraméterei által meghatározott minimális időköz betartása szükséges.
- A vízkezelő létesítmények technológiai adottságait figyelembe véve kell azok terhelését, kihasználtságát tervezni.

Az említett peremfeltételeket kifejező egyenletek és egyenlőtlenségeket a következőkben mutatjuk be. A felírára kerülő egyenletben és egyenlőtlenségekben a következő jelöléseket alkalmaztuk:

I	- a víztermelő helyek, vízbázisok száma
J	- a tározók száma
L	- a fogyasztók száma
T	- a kiegyenlítési időszak [h] (24 óra, vagy annak egész számú többszöröse)
τ	- a szimulációs időköz hossza [h]
N	- gépházak (átemelő telepek) száma
P	- nyomászónák, nyomásövezetek száma
f_l	- az l -dik fogyasztás az r időközben
F_b	- az l -dik fogyasztás a kiegyenlítési időszakban
B_i	- az i -dik víztermelő helyen a víztermelés a kiegyenlítési időszakban
K_i	- az i -dik víztermelő hely kapacitása a kiegyenlítési időszakban
N_p	- p -dik nyomásövezet gépházainak (átemelő telepeinek) száma
L_p	- a p -dik nyomásövezet fogyasztóinak száma
J_p	- a p -dik övezet nyomóoldali tározóinak száma
ΔV_j	- a j -dik tározóban tározott víz térfogatának változása τ idő alatt
$Q_{n,t}$	- az n -dik szivattyúgépház, kút, kútcsoport vizállítása a t -dik τ hosszúságú szabályozási időközben

A rendszer minden egyes **tározójára** külön-külön a következő két egyenlet írható fel, melyek azt fejezik ki, hogy a T kiegyenlítési időszak kezdetén érvényes vízszint feletti szabad medencetérfogatnál (V_f) (a vízszint emelkedése esetén), vagy a vízszint alatti kitöltött medencetérfogatnál (V_a) (a vízszint süllyedése esetén) az időszak alatti térfogatváltozás nem lehet nagyobb a tényleges töltődés, vagy ürülés mennyisége.

$$\Delta V_{j_p} \leq V_{a,j_p}$$

$$\Delta V_{j_p} \leq V_{f,j_p}$$

Ezekből az egyenletekből $\frac{J \cdot T}{\tau}$ számú egyenlet írható fel a kiegyenlítési időszakra.

Minden egyes **víztermelő helyre**, ill. az onnan vizet továbbító szivattyúkra felírható a kiegyenlítési időszakban termelt víz mennyiségére vonatkozó egyenlőtlenség, amely szerint a termelt víz mennyisége kisebb vagy megegyezik a termelőhely kapacitásával:

$$B_i = \sum_{t=l}^{\frac{T}{\tau}} Q_{n,t} \cdot \tau \leq K_i$$

Ebből az egyenletből I számú írható fel a kiegyenlítési időszakra.

Az egész rendszerre is felírható a teljes kiegyenlítési időszak víztermelését és fogyasztását figyelembe vevő egyenlet, amelynél ideális esetben a kiegyenlítési időszakban a termelt és fogyasztott vízmennyiség megegyezik. A valóságban általában, éppen a fogyasztás előrejelzés hibája miatt mindig tapasztalunk valamennyi eltérést.

Többnapos kiegyenlítésű rendszereknél előfordulhat, hogy egyes időszakokban más rendszerek részére is történik vízáadás vagy azokból vízátvétel. Ilyen esetben ezt, mint fogyasztást kell figyelembe venni, az átadás/átvétel tényétől függő előjellel:

$$\sum_{i=L}^I B_i = \sum_{l=1}^L F_l + \varepsilon$$

Ebből az egyenletből, mivel az egész rendszerre vonatkozik, a kiegyenlítési időszakra egyetlen egy írható fel.

3.7.1.2. Az üzemoptimalizáció általános célfüggvényei

Az optimalizálás célfüggvényének felírása előtt újra hangsúlyozni kell, hogy optimalizálási célkitűzésünk a rendszer struktúrájába és főműveibe történő változtatásokra nem terjed ki.

A célfüggvény különböző szempontok alapján írható fel. Az egyik cél lehet egy bizonyos időszakon belül **felhasznált elektromos energia**, a másik pedig a **szolgáltatott víz önköltségének minimalizálása**.

Amennyiben energia-minimumra törekszünk, a célfüggvény a következő alakban írható fel:

$$E = \sum_{n=1}^N \sum_{t=l}^{\frac{T}{\tau}} \frac{Q_{n,t} \cdot H_{n,t} \cdot \lambda}{\eta_{n,t}} + \sum_{i=1}^I ETI_i = \min$$

ahol

- $Q_{n,t}$ - Az n -dik szivattyútelep vagy átemelő telep vízzállítása a t -dik időközben
- $H_{n,t}$ - Az n -dik szivattyútelep vagy átemelő telep emelőmagassága a t -dik időközben
- $\eta_{n,t}$ - Az n -dik szivattyútelep vagy átemelő telep hatásfoka a t -dik időközben
- ETI_i - Az i -dik telepen a vízkezelés energiaigénye (Q -tól függ).

Meg kívánjuk jegyezni, hogy az energiafelhasználás minimalizálására felírt célfüggvény a különböző víztermelő helyek sajátos viszonyait csak részben veszi figyelembe. Pl. vízkezelés esetén a felhasznált vegyszerek termelési költséget befolyásoló hatása nem jelentkezik, illetőleg a különböző minőségű vizek optimumot befolyásoló hatását sem veszi figyelembe.

Amennyiben üzemelési költségminimumra törekszünk, a célfüggvény a következő alakban írható fel:

$$\dot{U}K = \sum_{n=1}^N (k_{x,n} \cdot \sum_{t=l}^{\frac{T}{\tau}} Q_{n,t} \cdot \tau + \sum_{t=l}^{\frac{T}{\tau}} k_{e,t} \frac{Q_{n,t} \cdot H_{n,t} \cdot \gamma}{\eta_{n,t}} \cdot \tau) = \min$$

ahol

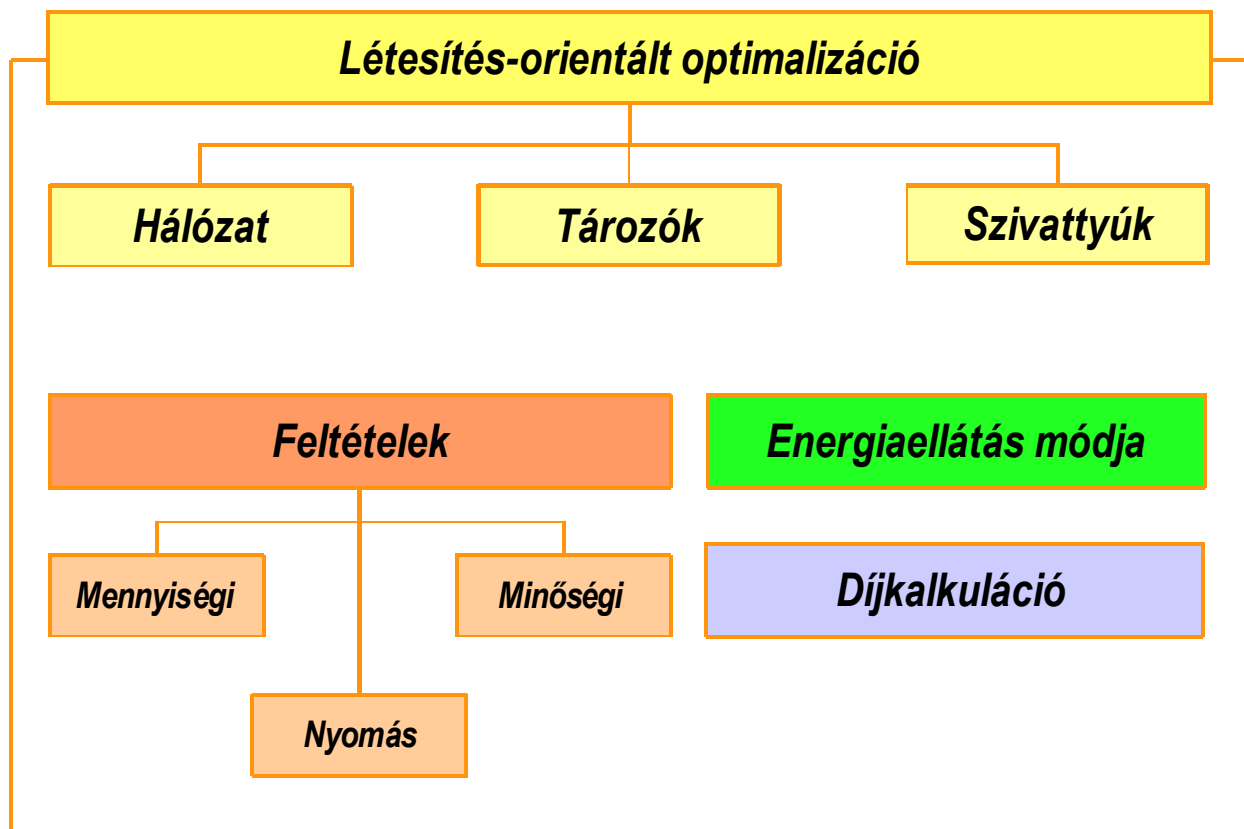
- $k_{e,t}$ - A fajlagos energiaköltség a t -dik időközben,
 $k_{x,n}$ - Az n -dik telepen a szivattyú szívócsonkján a víz egységára, mely a bérkötségeket, amortizációs költségeket, valamint a hálózatba betápláló szivattyútelepeknél a vízkezelés anyag- és energiaköltséget is tartalmazza, és belevonható a kedvezőtlen vízminőségek szankcionálása is.

3.7.2. Létesítés orientált optimalizálás

A létesítés orientált optimalizálási feladatok esetében már nem tekintik megváltoztathatatlannak a vízellátó rendszer egyes objektumainak jellemző paramétereit. Sőt kifejezetten, ezen paraméterek optimumának meghatározása a feladat. Ebben a tekintetben rendszerelem típusonként szeparált optimalizálási feladatok léteznek:

- Vezetékek szükséges átmérőjének optima, különböző jellemző üzemállapotok figyelembevételével.
- Tározók térfogatának, és alsóüzemi vízszintjének optimumai.
- A rendszerbe telepítésre kerülő optimális szivattyúk kiválasztása.
- A különböző rendszerváltozatok „teljes költségmegtérülésen” alapuló vízdíj minimuma

A felsorolt feladatokra vonatkozóan a szakirodalomban, számos publikáció áll rendelkezésre. A 2. fejezetben bemutatott programok közül több is alkalmas ezek közül egyes részfeladatok megoldására. A **3-19.ábrán** a létesítés orientált optimalizálás lehetséges módjait és feltételeit foglaltuk össze.



3-19.ábra

A terjedelemre való tekintettel ezen optimum meghatározási feladatok részletes bemutatására itt nem térünk ki, csupán azt emeljük ki, hogy már a részfeladatok tekintetében is igen bonyolult matematikai apparátust igénylő módszerekről van szó, és sok esetben az előérhető eredmény sincs összhangban a feladat megoldásához szükséges energia befektetéssel. A hazai gyakorlatban ezért is ilyen jellegű módszerek nem terjedtek el, helyette a mérnöki tapasztalatra és intuícióna építve végzik a tervező munkát.

4. Vizsgálati módszertan

- Vízkezelési stratégiák készítése (Vízmerlegek készítése)
- Vizsgálatok ismertetése (Stacioner vizsgálatok, Szivattyúk felülvizsgálata, Dinamikus vizsgálat, Vízkor meghatározása)
- Hidraulikai felülvizsgálat eredményei, értelmezése, elemzése

A vízellátó rendszerek korszerű tervezéséhez, üzemeltetéséhez ma már általános követelmény, hogy elméletileg megalapozott, megfelelő adatbázisra támaszkodó, korszerű szoftver eszközöket alkalmazzunk. A korszerű eszközökkel végzett hidraulikai számítások színvonalas, igényes végrehajtása komoly segítséget jelent a tervezés és üzemeltetés következő céljainak elérésében:

- Műszaki célok
 - a vízbázisok mennyiségi és minőségi lehetőségeinek kiaknázása
 - a meglévő hálózat kapacitásának optimálisnak tekinthető felhasználása
 - a műszakilag optimális üzemrendek megválasztása
- Műszaki - gazdasági célok
 - rekonstrukció gazdaságos megvalósítása
 - a szivattyúk kiválasztásának műszaki-gazdasági vizsgálata
 - gazdaságossági szempontok figyelembe vétele az üzemrendek megválasztásánál



4-1.ábra

A vízellátó rendszer „rendszervizsgálata” (analízise) a különböző idősíkokban prognosztizált vízigényekre és hálózat kialakításokra végzett teljes körű elemzést jelent (4-1.ábra).

A tervezésben és az üzemeltetésben egyaránt alkalmazott, illetve alkalmazandó rendszervizsgálatok fejlesztésének két területe lehetséges:

- A feladatmegoldás komplexitásának fokozása
- Új modellezési módszerek, megoldások bevezetése

A rendszervizsgálat komplexitásán azt kell érteni, hogy a hálózathidraulikai modellt ma már valamilyen térinformatikai alapú, hálózat nyilvántartási rendszerhez integrálva, sőt ha ennél tovább megyünk egy teljes körű Műszaki Információs Rendszer (MIR) integráns részeként érdemes elképzelni. Ez az alapfilozófia egyre több, a Műszaki Információs Rendszerek létrehozásában és fejlesztésében élenjáró vízműnél tapasztalható. A gyakorlat által visszaigazolt megközelítés több okból is életszerű:

- A lakosság ivóvízzel való ellátottsága 98 %-os. Mindenütt vannak vízellátó hálózatok, és ezek jelentős többsége a bonyolult rendszerek kategóriájába tartozik!
- A víziközmű üzemeltető szervezeteknek vagyon- és közmű-nyilvántartási kötelezettségei vannak. A hálózati elemek, a hálózati vagyontárgyak megfelelően strukturált nyilvántartása jelentősen leegyszerűsíti a hálózati modellek elkészítését.
- A bonyolult, nagy kiterjedésű, összefüggő vízellátó rendszerek üzemeltetésben és tervezésében (energia költségek, vízminőség) egyre gyakrabban fordulnak elő olyan kérdések, amelyekre szakmailag magalapozott választ hálózathidraulikai elemzés nélkül felelőtlenség adni.

A vizsgálatokat úgy kell kezelni, hogy a MIR által szolgáltatott adatok képezzék a vizsgálatok kiinduló értékeit, a számítási eredményeket pedig össze kell tudni hasonlítani a MIR-ben tárolt adatokkal on-line hálózatszámítás). Ezt az informatikai és számítástechnikai integrációt addig lehet mélyíteni, hogy a rendszervizsgálat akár a pillanatnyi üzem alátámasztására szolgáljon. Ez az operatív üzemtervezés, illetve üzemoptimalizálás, melyre napjainkban egyre gyakrabban tesznek egyes vízműveknél kísérleteket (jelenleg, hazánkban még igen kevés szolgáltató szervezet rendelkezik ilyen mélységű Információs Rendszerrel).

A fejlesztések másik fajsúlyos iránya a vízminőség hálózati változásának modellezése. Ezen a témakörön belül a forrás meghatározás (vízkeveredés), a vízkor meghatározása (tartózkodási idő), az egyes kémiai paraméterek lebomlási folyamatai (pl.: klórkoncentráció), valamint a biológiai folyamatok modellezése (biofilm modellek).

4.1. Műszaki-gazdasági célok, tervezési módszertan

Egy vízellátórendszer tervezési feladat, egy olyan országban, ahol az ellátottság 98 %-os nagyon ritkán tekinthető „zöldmezős” beruházásnak. Az esetek 98 %-ban egy meglévő rendszer fejlesztése, ahhoz kapcsolódóan egy új hálózatrész kialakítása és rendszerbe kapcsolása, sok esetben térségi rendszerek kialakítása a feladat. Ebből következik, hogy minden tervezés kiindulása a meglévő vízellátó rendszer aktuális állapotára vonatkozó diagnózis készítése úgynevezett rendszeranalízissel. Ez a rendszeranalízis természetesen készülhet a tervezési feladat részeként, de mint az előző gondolatokból következik, ennek egy korszerű színvonalasan működő vízműben naprakészen rendelkezésre kell állnia.

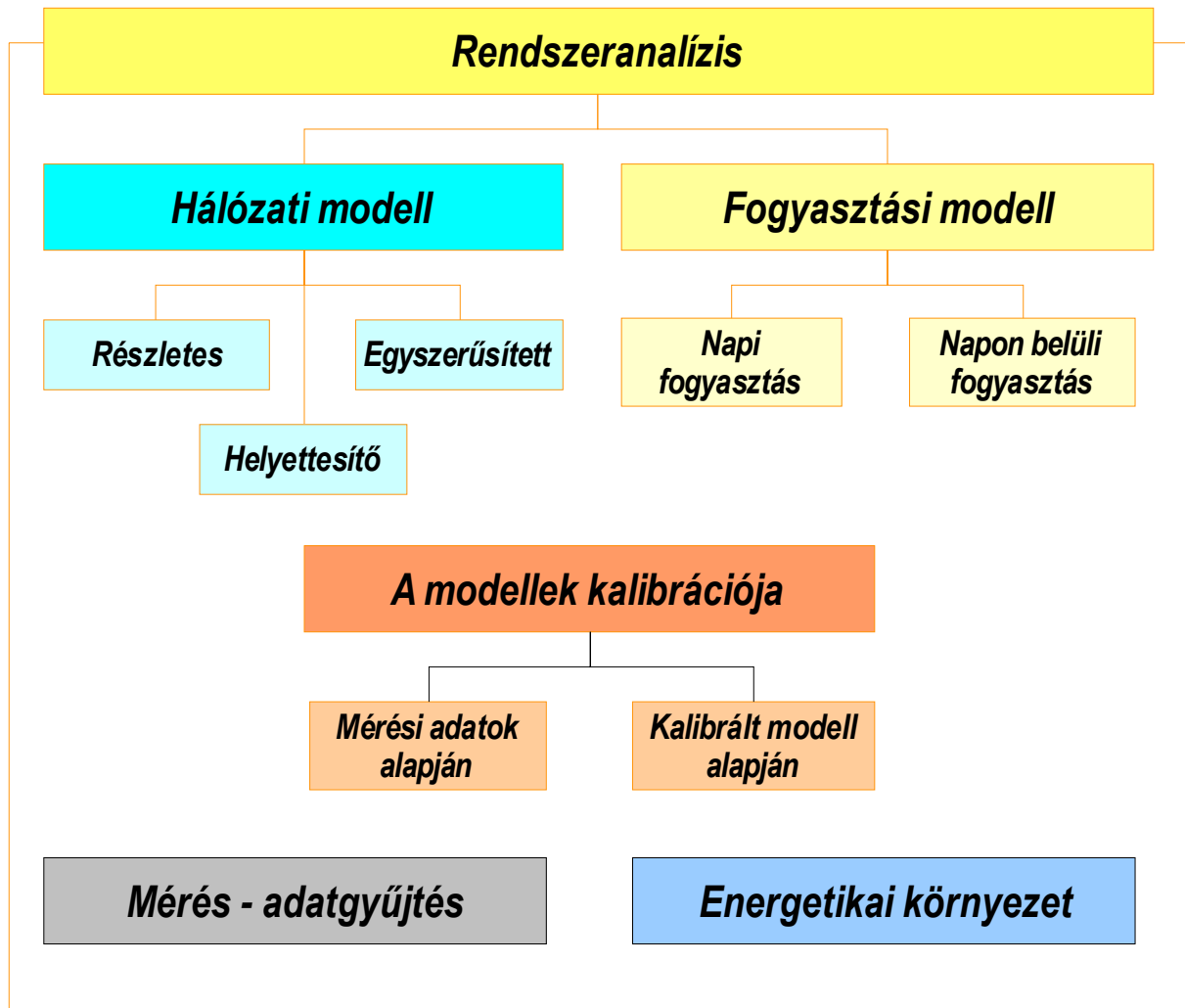
A rendszeranalízis (4-2.ábra) célja, hogy feltérképezzük a rendszerünk állapotát és meghatározzuk azokat a szükséges beavatkozásokat, melyeket nem lehet halogatni. Ezek megállapításához fel kell tárni:

- a szállítási kapacitáshiányokat,
- a nyomáshiányokat,
- a tározási kapacitáshiányokat.

El kell végezni emellett:

- a szivattyúk és üzemi körülményeik felülvizsgálatát, és

- az üzemeltetési stratégiák felülvizsgálatát is.



4-2.ábra

Az azonnal szükségessé váló rekonstrukciós, illetve fejlesztési feladatok meghatározása után általában célszerű a tervezés legtávolabbi időhorizontjára vonatkozó, legnagyobb (mértékadó) vízigényére a vizsgálatokat elvégezni és egyben meghatározni a végső kiépítésben szükséges fejlesztéseket.

Végül az időtávtól függően a közbenső fejlesztési ütemek meghatározása lehet a feladat. Ebben a tekintetben az ellátandó terület mérete, az új illetve rekonstruálandó létesítmények száma, sőt bizonyos esetekben az építési kapacitások, vagy akár a finanszírozás lehetőségei is befolyásolhatják a közbenső ütemek időbeli elhelyezkedését és számát.

A tervezés munka az előző gondolatokat összefoglalva a következő lépésekből áll:

- Rendszeranalízis a meglévő állapotra.
- Távlati vízigények meghatározása.
- Távlati vízbázisok meghatározása
- Vízmérlegek és hozzájuk kapcsolódva távlati vízkormányzási stratégiák készítése
- Kiválasztott vízkormányzási stratégiákra hidraulikai vizsgálatok elvégzése és a konkrét fejlesztési, beruházási alternatívák meghatározása.

- A távlati fejlesztési igények ismeretében az ütemezés meghatározása.

Itt is hangsúlyozni szeretnénk, hogy a tervezési tematikában, a hidraulikai vizsgálatok keretében, elsősorban távvezetési rendszerek esetében szükségesnek tartjuk ellenőrző nyomáslengés vizsgálatok elvégzését és a vizsgálatok alapján a vezetékek anyagának, és a beépítendő lengésvédelmi berendezéseknek a meghatározását.

A tervezési feladatot rekonstrukciós és/vagy fejlesztési célból kell elvégezni. A tervezés alapvető célja, hogy műszakilag megfelelő és egyenértékű megoldásokat tárjon fel. A kivitelezhetőség mellett fontos feladat az üzemeltethetőség biztosítása.

A gazdasági döntéseknél nem szorítkozhatunk egyedül a beruházási költségekre, hanem vizsgálni kell, hogy a tervezett műszaki megoldásnak, illetve a kidolgozott alternatíváknak milyen hatása van az üzemeltetési költségre és azon keresztül a vízdíjra. A kalkulált üzemeltetési költség és a beruházási költség csak egy meghatározott időszakra vonatkozóan hasonlíthatók össze. Tapasztalataink szerint ez legalább 10 év hosszúságú kell legyen. A műszakilag egyenértékűnek tekinthető változatokhoz külön-külön üzemköltséget kalkulálunk a figyelembe vett időszakra és ezt a beruházási költséggel összegezzük. A pénzügyi számítások során természetesen az inflációs hatásokat figyelembe kell venni (egy megállapodás szerinti időpontra diszkontálni kell a költségeket).

A műszakilag egyenértékű beruházások közül az adott időszak alatt számított minimális összköltségű (beruházási és üzemköltség) javasolt megvalósítani.

4.2. Vízkormányzási stratégiák

Egy bonyolultabb (térségi, regionális) vízellátó rendszer hosszú távú, rekonstrukciós illetve fejlesztési tervezése esetében, a fejlesztések és azok ütemezésének meghatározása megkívánja, hogy több időhorizontban (minimum 2, jelen és legalább egy távlati) vizsgáljuk a rendszert.¹ Ehhez a kijelölt időhorizontokra először meghatározzuk a jellemző vízigényeket (Q_{dmax} , $Q_{dátlag}$, Q_{dmin}), valamint az egyes vízigényekhez évszakosan kapcsolható vízbázis kapacitásokat.

Az időben összetartozó vízigények és vízbázis kapacitások mennyiségi összevetésével vízmérlegeket készítünk. Vízmérlegek készíthetők a teljes rendszerre, illetőleg a részrendszerekre (körzetek, zónák) is.

A vízmérlegek elkészítése után két eredmény születhet:

- Az ellátáshoz (időhorizontként) **elégleges a vízbázis kapacitás** (mennyiség, minőség). Ezen belül érdemes megkülönböztetni
 - pozitív, többletet mutató, és
 - 0-s egyenlegű vízmérleget.
- Az ellátáshoz (időhorizontként) **nem elégleges a vízbázis kapacitás** (mennyiség és/vagy minőség)
 - Vízbázis hiány lehet:
 - Kismértékű és egyben látszólagos, mely esetben
 - a hiány pótolható a vízveszteségek csökkentésével (néhány % csökkentés lehetséges).

¹ A magyarországi vízellátó rendszerek rekonstrukciós tervezésének főbb elemei, Készítette a MAVÍZ, a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium megbízásából, Budapest 2008.

- üzemrend megváltoztatásával (ez elsősorban több zónás rendszerek esetében szöbakerülő megoldás)
- a tározótérfogatok jobb kihasználásával, illetve tározó térfogat bővítésével (pl. több napos tározás).
- Jelentős mértékű és valós hiány esetén új vízbázis létesítéséről, vagy a meglévők bővítéséről kell gondoskodni.

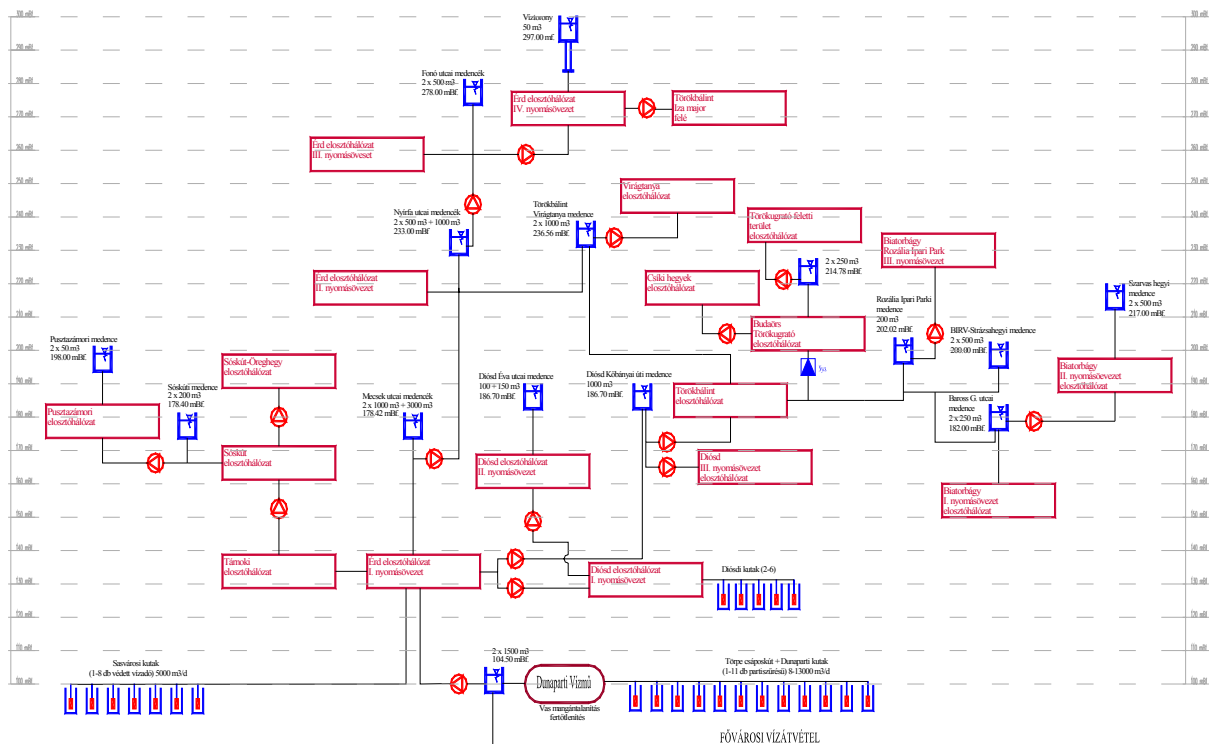
A vízmérleg számítások eredményeit felhasználhatjuk a teljes rendszer távlati vízbázis fejlesztési feladatainak kijelöléséhez (önmagában hidraulikai számítások nélkül azonban nem alkalmas, illetve csak tájékoztató eredményeket adhat), a részrendszerek vízbázis fejlesztési programjának eldöntésére.

A vízmérlegek felhasználásával és lehetséges vízzsállítási útvonalak ismeretében **vízkeormányzási stratégiákat** készíthetünk.

Vízkeormányzási stratégia - Egy adott időhorizont, egyik jellemző vízigényéhez tartozó betáplálási, és vízzsállítási kombináció, amelyre a napi vízmérleg 0.

Vízzsállítási útvonal - A vízzsállító hálózatot, a nyomásfokozó, átemelő létesítményeket jelképező, fiktív vezeték. Ez jelképezheti egy települési nyomászóna vízelosztó hálózatát, a zónát megtápláló gépházakkal együtt, de lehet egy településeket összekötő távvezeték jelképe is.

A vízkormányzási stratégia megjelenítésére általában a vízellátó rendszernek valamilyen részletességű funkcionális sémáját használjuk (**4-3.ábra**)



4-3.ábra – Vízellátó rendszer sémaábrája

A sémán a fogyasztókat és az elosztóhálózatot általában egy kerettel jelenítjük meg. A keretben célszerű feltüntetni a rendszerrész (település, nyomászóna) megnevezését és az aktuális napi vízigényét.

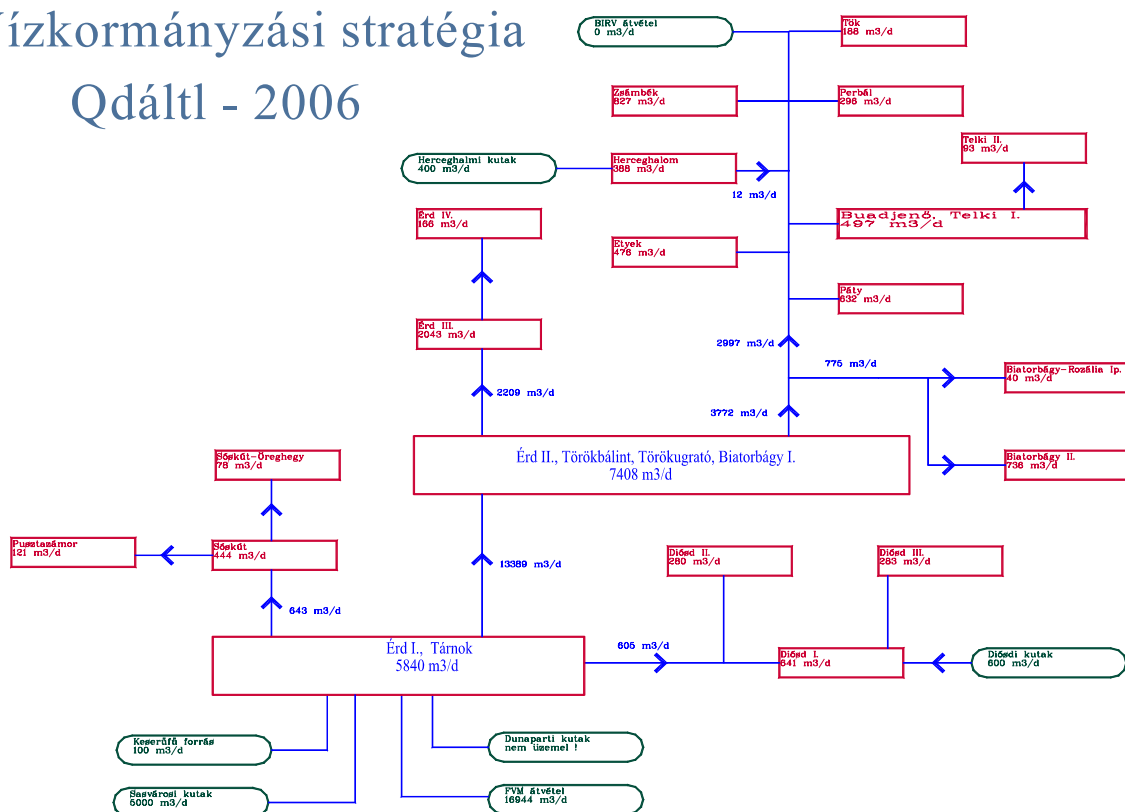
A sémán célszerű külön jellel megjeleníteni a betáplálási, és külön az átemelési és nyomásfokozási pontokat. Ezekhez adatként célszerű feltüntetni a napi átlagos szállítási igényt [m^3/d], illetve az ebből számított szivattyú szállítókapa­citás igényt [l/s vagy m^3/h]. A szállítókapa­citás igényt a napi szállítási igényből számíthatjuk az maximálisan megengedett üzemóra felvételével.

Hasonlóan külön jellel célszerű jelölni, amennyiben ismertek, a meglévő, illetve tervezett tározókat, túlfolyó szintjük és térfogatuk feltüntetésével. Ehhez kapcsolódva érdemes megjegyezni, hogy nagy kiterjedésű, tagolt terepen elhelyezkedő vízellátó rendszer sémáját célszerű úgy elkészíteni, hogy a medencék és az elosztóhálózatot jelképező keretek magasságilag léptékhelyesen helyezkedjenek el a rajzon.

Természetesen nem feltétlenül szükséges sémaábra részletességű megjelenítés, elegendő lehet csak a fogyasztókat, illetve az elosztóhálózatot és átemeléseket, nyomásfokozatokat együttesen jelképező keretek és a szállítási útvonalak egyvonalas jelölése is (*4-4.ábra*).

3. Vízkormányzási stratégia

Qdált1 - 2006



4-4.ábra – Vízkormányzási stratégia

A vízkormányzási stratégiák készítésével kapcsolatban érdemes felhívni a figyelmet arra, hogy pozitív egyenlegű vízmérleg esetében a vízkormányzási stratégiák száma több is lehet a következő esetekben:

- Több, térben egymástól elkülönülő vízbázisról is megtáplálható a rendszer.
- A lehetséges szállítási útvonalak hurkot alkotnak.

Az utóbbi esetben 0-ás egyenlegű vízmérleg mellett is több vízkormányzási stratégia lehetséges.

Az szóhajóható stratégiák számát - pozitív vízmérleg esetében - tovább növeli, ha a mennyiségi oldal mellett a minőségi oldalt is figyelembe kell venni (több betáplálás, különböző mennyiségi és minőségi paraméterrel).

A tervezési folyamatban, a vízkormányzási stratégiák elkészülte után, célszerű tervkonzultációt tartani. Ezen a tervezési folyamatban érintettek, véleményezőik vízmérlegek alapján kidolgozott vízkormányzási stratégiákat áttekintve a fejlesztés fő irányairól tájékozódhatnak. Sőt döntési helyzet is kialakulhat, amennyiben az elkészült vízkormányzási stratégiák közül ki kell választani azokat, amelyeket a különböző hidraulikai számítások kiindulásaként fogunk felhasználni.

Ezek a stratégiák a következő a hidraulikai számításokhoz szükséges kiindulási és ellenőrzési adatokat tartalmazzák explicit, illetve implicit formában:

- Települések, nyomászónák, fogyasztási körzetek aktuális vízigénye.
- Betáplálások napi összes mennyisége, illetve a maximális vízszállítási igény.
- Vízszállítási útvonalak, átemelések, nyomásfokozások napi összes mennyisége, illetve a maximális vízszállítási igény.

4.3. Hidraulikai vizsgálatok

- *Üzemállapot vizsgálatok*
- *Szivattyúk felülvizsgálata*
- *Szimulációs vizsgálat*
- *Vízkeveredés és vízkor meghatározása*

4.3.1. Üzemállapot vizsgálatok

A vízellátó rendszer folyamatos üzemű. Az üzemi folyamat során az egyes rendszerelemek különböző állapotokat vehetnek fel (fogyasztás változása, szivattyúk ki-bekapcsolása, záruk nyitása-zárása, stb). Üzemállapot alatt a folyamatról készült "pillanatfelvételt" értjük, amikor is a rendszerelemek pillanatnyi állapotát rögzítjük.

Az üzemi állapotok vizsgálatának célja, hogy meghatározzuk és elemezzük azokat a jellemző eseteket (időhorizontonként, évszakonként, illetve napon belül), amelyek vagy a teljes rendszerre, vagy egyes kitüntetett rendszerelemekre az üzemeltetés szempontjából, vagy bármely más okból, pld. havária jellemzőek, illetve mértékadóak lehetnek.

A hálózat hidraulikai vizsgálata során jellemzőnek, illetve egyes rendszerelemek szempontjából mértékadónak tekinthető üzemállapotok céljukat tekintve két csoportba sorolhatók:

- Méretezési üzemállapotok, melyek a rendszert zavartalan üzem esetén jellemzik.
- Ellenőrzési üzemállapotok, melyek valamilyen zavaró eseményt, vagy üzemzavart feltételeznek (pl. csőtörés, tűzoltás), és ezek hatásainak elemzésére szolgálnak.

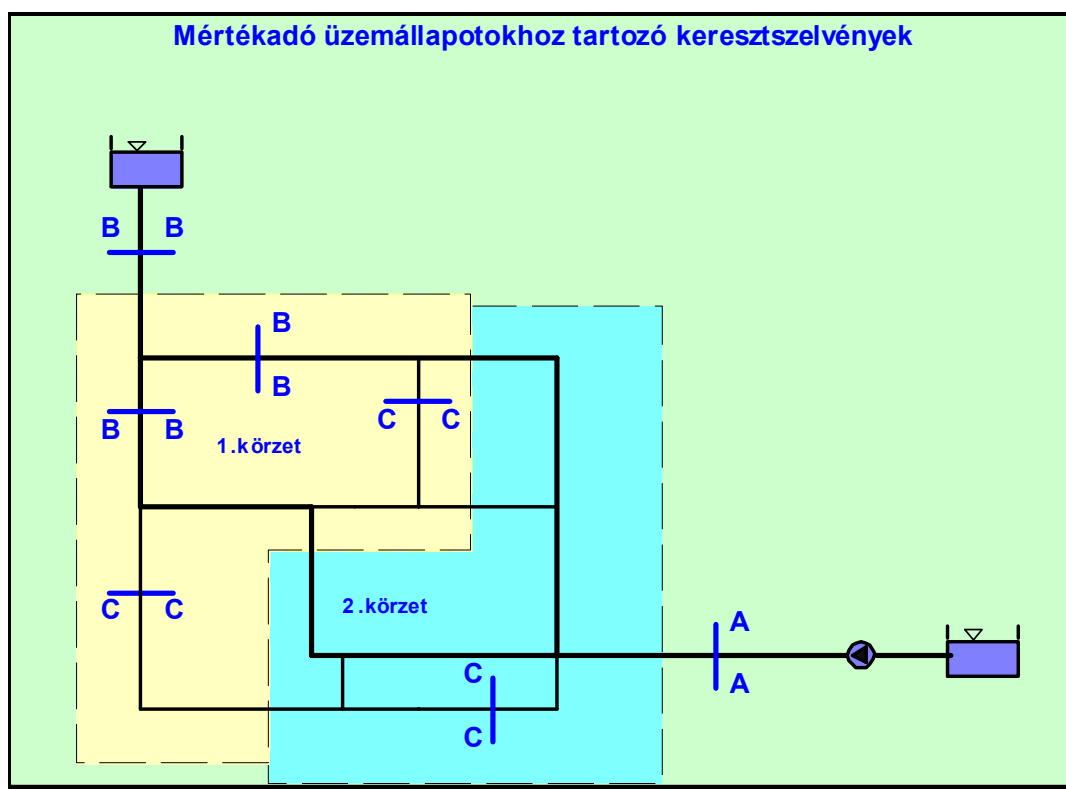
4.3.1.1. Üzemállapotok meghatározása

Az üzemállapotok számításához kiindulási adatokra van szükség, melyek meghatározása általános esetben következő adatok megadásával történik:

- a fogyasztás/vízigény
 - időhorizontonkénti változások figyelembevételével ($Q_{jelenleg}$, $Q_{távlatok}$),
 - éven belüli változások figyelembevételével (Q_{dmax} , $Q_{dátl}$, Q_{dmin}),
 - napon belüli változások figyelembevételével (Q_{fmax} , $Q_{fátl}$, Q_{fmin} , Q_{cspmax} , stb.),
- a betáplálások, időhorizontonként rendelkezésre álló kapacitások figyelembevételével ($Q_{be}(t)$),
- az átemelések, (beleértve a betáplálási pontokat is) időhorizontonkénti, évszakos és napon belüli tervezett üzemrendek figyelembevételével (Q_{szmax} , Q_{szmin} , stb),
- a tározók jellemző szintjeinek figyelembevételével (H_t).

Mint látható egy vízellátó rendszeren annak bonyolultságától függően számtalan üzemállapot határozható meg, és ezek más-más rendszerelemek szempontjából lehetnek kritikusak, vagy mértékadóak.

Ezek közül az ellennyomó típusú vízellátó rendszerekre vonatkozó néhány tipikus esetet szemléltetünk a 4-5. ábrán.



4-5. ábra

Keresztmetszet jele	Fogyasztás (Terhelési eset)	Magyarázat, megjegyzés
A-A	Q_{szmax}	A betáplálási ponttól húzódó fővezetésekre a szivattyúzási üzemrend maximális vízszállítás értéke.
B-B	$\max(Q_{sz}-Q_f)$	A betáplálási pontot a tározóval összekötő fővezetékekre (főkör) a szivattyúzás és fogyasztás legnagyobb pozitív, vagy legkisebb negatív értéke. Másként fogalmazva az ellennyomó tározó legnagyobb töltődésekor, vagy ürülésekor fellépő állapot.
C-C	Q_h	Az elsőrendű elosztóvezetékekre, az általuk ellátott terület órahelész csúcs fogyasztása a mértékadó te

A **4-5.ábrán** és az azt követő táblázatban bemutatott üzemállapotok tipikusan valamely rendszerelem, esetünkben a tápvezeték, a főkör és egy elosztó vezeték méretezése szempontjából meghatározó méretezési üzemállapotok.

Ezen

Természetesen a fenti ábrán bemutatott rendszer és a táblázatban ismertetett eseteken kívül egy összetettebb és bonyolultabb hálózat esetében számtalan egyéb, más rendszerelemre, rendszerrészekre vonatkozó mértékadó, vagy jellemző üzemállapot lehetséges.

Fontos megjegyezni, hogy ebben a gondolatmentben eljuthatunk addig a következtetésig is, hogy egy vízellátó rendszer elemeinek megfelelőségét nem csak pillanatfelvételekkel, hanem szimulációval is ellenőrizhetjük. Természetesen ez elsősorban az üzemzavarmentes esetekre vonatkozik. Erre a későbbiekben a szimulációs vizsgálatok kapcsán még visszatérünk.

4.3.1.2. Hidraulikai számítás eredményei

Az egy-egy üzemállapotra végzett kiegyenlítő számítások elvégzéséhez az alábbi kiindulási adatok meghatározására van szükség:

- A tározó(k) aktuális vízállása hasonlító sík felett (mBf.)
- A betáplálások aktuális vízszállítását (l/s).
- A továbbemelések aktuális vízszállítását (l/s).
- A fogyasztás napi értékét (m^3/d).
- A fogyasztási menetgörbe aktuális órai értékét (%).
- A feltételezett tűzivíz-kivétel helyét és a tűzivíz nagyságát.
- Az esetleges haváriát jellemző adatokat (pld. csőtörés helye, stb.)

Megjegyzés: Amennyiben a betáplálásoknál és átemeléseknél a szivattyúkat nem vízszállításukkal, hanem jelleggörbéjükkel modellezzük akkor a megadandó adat a szivattyú fordulatszáma.

Az egyes üzemállapotokra végzett hidraulikai kiegyenlítő számítás elsődleges eredményei a következők

- a vezetékszakaszok menti vízszállítás nagysága és iránya,
- a szivattyúk vízszállításának nagysága és iránya,
- a tározók vízforgalma, a töltődés, vagy ürülés intenzitása, ...

Ezen vízszállítások és irányainak, valamint a tározók, kötött nyomású pontokban uralkodó abszolút nyomások ismeretében a hálózat csomópontjaiban uralkodó nyomások számíthatók.

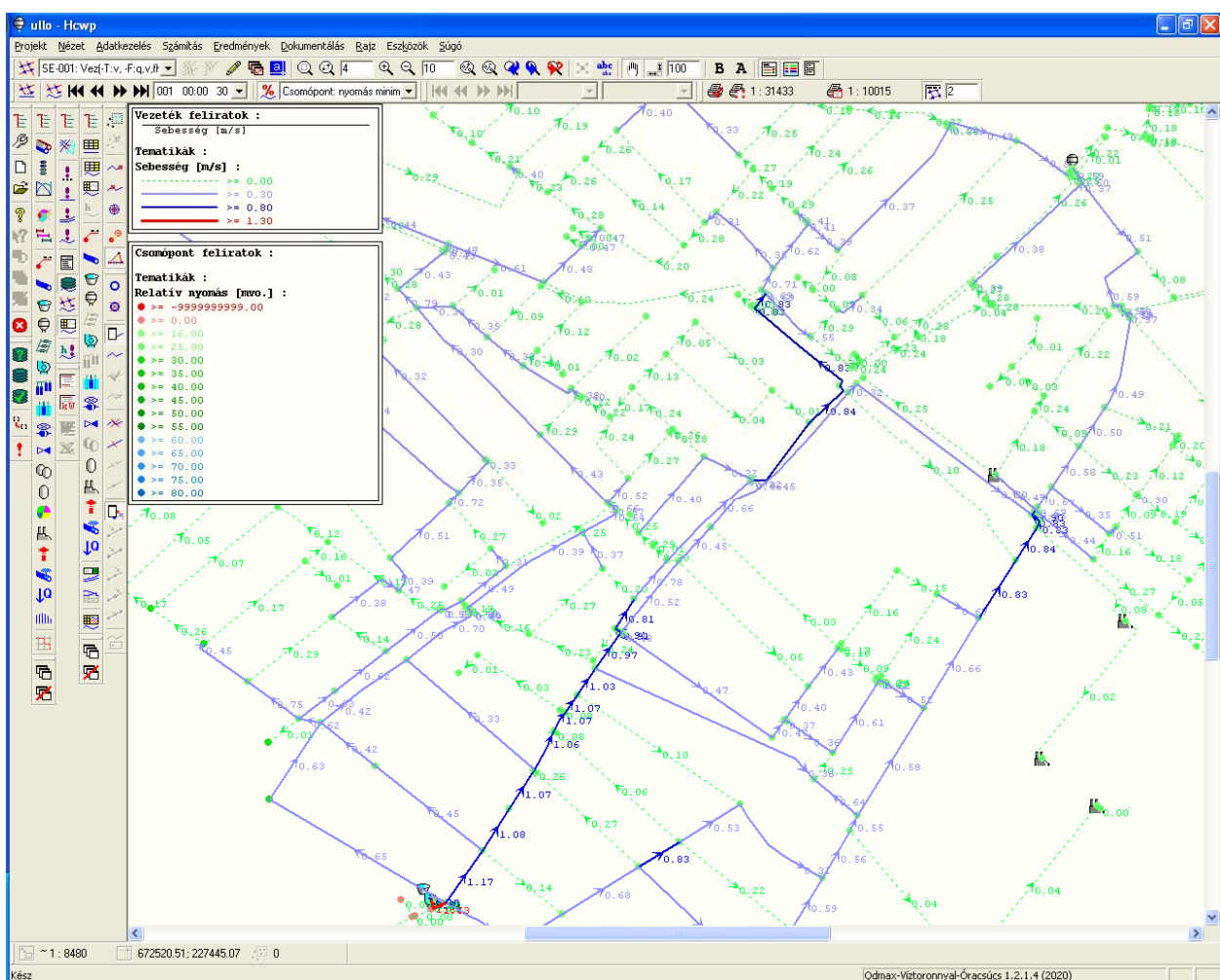
Részleteiben is áttekintve a hidraulikai számítások végeredményeként a programok általában a következő eredményeket tudják szolgáltatni:

- Az egyes **vezetékszakaszokon** kialakuló
 - vízszállítás mennyisége (l/s) és iránya,
 - a sebesség nagysága (m/s),
 - a nyomásveszteség (m).
- A **csomópontokon**
 - terepszinttel megadott csomópont esetében a terep feletti nyomást (mvo.), illetve az abszolút nyomást (mBf),
 - terepszinttel nem rendelkező csomópontok esetében az abszolút nyomást (mBf.)

- A tározók
 - o aktuális, pillanatnyi vízforgalma (töltődés + l/s; ürülés - l/s)
- Az átemelők
 - o megadott vízszállításához tartozó emelőmagassága (mvo.),
 - o jelleggörbe megadása esetén a vízszállítása (l/s).

4.3.1.3. Az eredmények értékelése

Az eredmények értékelése a numerikus adatok és/vagy a grafikus megjelenítés alapján történhet. A grafikus megjelenítésre a **4-6.ábra**, míg az alfanumerikus megjelenítésre a **4-7.ábra** mutat példát.



4-6.ábra – Üzemállapot számítási eredmény, tematikus térkép

A tematikus térképek segítségével vizuálisan tájékozódhatunk a hálózatban uralkodó áramlási és nyomásviszonyokról. Ez a megjelenítési mód talán a leghatékonyabb információ feldolgozási mód. Így egyrészt átfogó képhez is juthatunk és egyben a kritikus helyekre is ráirányulhat a figyelem.

A táblázatos adatmegjelenítés akkor hasznos, ha különböző szempontok szerinti rendezésre, szűrésekre van lehetőségünk (pl.: sebesség, fajlagos nyomásvesztés). Ebben az esetben a

Vízellátó rendszerek hidraulikai rendszervizsgálata

hálózat kritikus vezetékai és kritikus pontjai igen gyorsan elkülöníthetők, ami további elemzések elvégzését jelentősen megkönnyítik.

Vezetékek - szimuláció: Qdmax-Víztoronnyal-Óracsúcs

Képféltés Megjelenítés Ugrás Eszközök Export

00:00 00:01 30 Csomópont: nyomás minimum, vezeték: vízzsárlítás

Kód	Név	záró nyílás: átf. név	számlított hossz: [m]	kezdi csomópont név	vég csomópont név	előző csomópont név	utolsó csomópont név	csatlakozás: [m]	vezeték típusa	vezeték anyaga	vezeték átmérője [mm]	vezeték sebessége [m/s]	vezeték c [s/m]	nyomásvesztés [mvo.]	fajlagos nyomásvesztés [mvo./km]	előző csomópont név	utolsó csomópont név
1	1683	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	17.37	29/2910	28/2911	ytv	93/10	80.00	<--	1.63	32.75	0.21	12.06	
2	1698	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	30.26	25/2478	29/2910	ytv	93/10	80.00	<--	1.63	57.78	0.37	12.22	
3	1681	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	148.77	25/2476	25/2478	ytv	93/06	57.37	<--	1.17	288.16	0.95	6.38	
4	1938	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	115.02	93/1936	25/2476	ytv	93/06	52.80	<--	1.08	224.59	0.63	5.44	
5	1937	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	106.00	07/2048	93/1936	ytv	92/01	52.75	<--	1.07	207.05	0.58	5.43	
6	1703	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	49.56	07/2045	01/2494	ytv	92/01	52.50	<--	1.07	95.72	0.26	5.32	
7	1702	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	49.71	01/2494	08/2011	ytv	92/01	52.32	<--	1.07	95.70	0.26	5.27	
8	1689	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	103.65	07/2048	07/2045	ytv	92/01	52.21	<--	1.06	201.22	0.55	5.29	
9	1695	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	75.42	08/2011	08/2040	ytv	92/01	50.60	<--	1.03	146.80	0.38	4.98	
10	1688	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	103.39	08/2040	09/2062	ytv	92/01	47.56	<--	0.97	202.06	0.46	4.42	
11	1664	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	4.60	01/2503	09/2062	ytv	92/01	28.48	<--	0.91	25.48	0.02	4.49	
12	1663	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	11.88	09/2062	01/2503	ytv	92/01	28.47	<--	0.91	70.01	0.06	4.78	
13	1659	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	13.87	16/2251	16/2271	ytv	92/01	28.35	<--	0.90	82.76	0.07	4.79	
14	1699	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	10.56	28/2929	22/2939	ytv	93/10	41.86	<--	0.85	19.76	0.03	3.28	
15	1669	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	89.00	15/2240	16/2255	ytv	92/01	26.52	<--	0.84	561.97	0.40	4.44	
16	1736	km-pvc-200	139	ac-KM.10/00	imil	320.09	11/2102	12/2242	ytv	92/01	26.25	<--	0.84	1632.78	1.13	3.52	
17	1757	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	17.21	16/2253	16/2255	ytv	92/01	26.14	<--	0.83	108.75	0.07	4.32	
18	1749	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	23.60	16/2251	16/2253	ytv	92/01	26.13	<--	0.83	147.09	0.10	4.25	
19	1738	km-pvc-200	139	ac-KM.10/00	imil	278.96	12/2242	11/2244	ytv	92/01	26.11	<--	0.83	1416.61	0.97	3.46	
20	1805	Új vezeték	30E	12.00	imil	110.73	09/2047	39/2900	ytv	92/01	6.51	<--	0.83	21709.87	0.92	8.31	
21	1740	km-pvc-200	139	ac-KM.10/00	imil	8.27	11/2244	01/2545	ytv	92/01	26.01	<--	0.83	40.86	0.03	3.34	
22	1737	km-pvc-200	139	ac-KM.10/00	imil	34.22	01/2545	11/2195	ytv	92/01	26.00	<--	0.83	173.33	0.12	3.42	
23	1679	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	159.27	14/2033	15/2240	ytv	92/01	25.93	<--	0.83	1017.27	0.68	4.29	
24	1685	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	1.18	29/2916	29/2917	ytv	93/10	40.01	<--	0.82	1.98	0.00	2.69	
25	1701	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	1.09	29/2933	29/2935	ytv	93/10	40.01	<--	0.81	1.98	0.00	2.82	
26	1697	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	1.02	29/2914	29/2933	ytv	93/10	40.00	<--	0.81	1.98	0.00	3.10	
27	1687	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	1.04	29/2917	29/2926	ytv	93/10	40.00	<--	0.81	1.98	0.00	3.05	
28	1690	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	1.04	29/2926	28/2929	ytv	93/10	40.00	<--	0.81	1.98	0.00	3.05	
29	1684	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	1.19	29/2913	29/2914	ytv	93/10	39.99	<--	0.81	1.98	0.00	2.67	
30	1691	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	0.90	29/2916	29/2913	ytv	93/10	39.99	<--	0.81	0.00	0.00	0.00	
31	1678	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	80.99	09/2095	09/2098	ytv	92/01	25.37	<--	0.81	512.56	0.33	4.07	
32	1512	ac-100	139	ac-Azt.40/00	imil	61.94	05/2171	09/2144	ytv	92/01	6.17	<--	0.79	15207.25	0.58	9.34	
33	1677	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	119.76	09/2098	10/2100	ytv	92/01	24.42	<--	0.78	763.47	0.46	3.80	
34	1700	ac-250	139	ac-Azt.40/50	imil	12.64	29/2935	22/2939	ytv	93/10	38.14	<--	0.78	23.81	0.03	2.74	
35	1770	Új vezeték	30E	12.00	imil	147.29	39/2861	38/2862	ytv	93/05	5.86	<--	0.75	29228.34	1.00	6.81	
36	1528	ac-100	139	ac-Azt.40/00	imil	34.87	08/2076	06/2138	ytv	92/01	5.64	<--	0.72	8490.23	0.27	7.74	
37	1597	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	56.15	11/2206	11/2193	ytv	92/01	22.29	<--	0.71	361.24	0.18	3.20	
38	1448	ac-100	139	ac-Azt.40/00	imil	185.15	09/2050	00/2512	ytv	92/01	5.50	<--	0.70	46456.15	1.41	7.80	
39	1471	ac-100	139	ac-Azt.40/00	imil	5.22	00/2512	08/2054	ytv	92/01	5.46	<--	0.69	1255.40	0.04	7.16	
40	1746	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	5.75	01/2542	11/2195	ytv	92/01	21.68	<--	0.69	32.31	0.02	2.64	
41	1745	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	6.61	11/2193	01/2542	ytv	92/01	21.68	<--	0.69	38.79	0.02	2.76	
42	1789	Új vezeték	09	km.KM.12/50	imil	210.68	39/2895	09/2047	ytv	93/06	12.07	<--	0.68	5052.51	0.74	3.50	
43	1650	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	9.09	16/2271	09/2603	ytv	92/01	21.12	<--	0.67	58.19	0.03	2.85	
44	1651	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	58.28	03/2603	16/2281	ytv	92/01	21.10	<--	0.67	374.96	0.17	2.86	
45	1560	ac-100	139	ac-Azt.40/00	imil	112.40	14/2022	14/2033	ytv	92/01	5.23	<--	0.67	28150.13	0.77	6.85	
46	1675	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	245.05	14/2033	14/2025	ytv	92/01	20.83	<--	0.66	1596.12	0.69	2.91	
47	1665	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	268.62	10/2100	01/2524	ytv	92/01	20.80	<--	0.66	1734.99	0.75	2.79	
48	1605	ac-150	139	ac-Azt.40/50	imil	7.81	08/2113	08/2108	ytv	92/01	11.67	<--	0.66	206.50	0.03	3.60	
49	1660	ac-200	139	ac-Azt.40/00	imil	7.65	01/2524	11/2102	ytv	92/01	20.73	<--	0.66	45.33	0.02	2.65	
50	1798	Új vezeték	09	km.KM.12/50	imil	476.93	11/2890	29/2478	ytv	93/06	11.50	<--	0.65	11536.48	1.53	3.20	
51	1556	ac-100	139	ac-Azt.40/00	imil	132.26	12/2041	13/2020	ytv	92/01	5.05	<--	0.64	33323.32	0.95	6.43	
52	1806	Új vezeték	09	km.KM.12/50	imil	179.52	29/2478	39/2893	ytv	93/06	11.33	<--	0.64	4313.86	0.55	3.08	
53	1780	Új vezeték	09	km.KM.12/50	imil	151.65	39/2893	39/2895	ytv	93/06	11.22	<--	0.63	3668.54	0.46	3.05	
54	1942	km-pvc-100	139	ac-KM.10/00	imil	103.44	39/2861	94/1941	ytv	93/05	4.95	<--	0.63	20611.18	0.50	4.88	
55	1802	Új vezeték	09	km.KM.12/50	imil	214.88	05/2052	11/2890	ytv	93/06	11.10	<--	0.63	5204.85	0.64	2.98	

4-7-ábra – Üzemállapot számítás eredményei, táblázatos eredmények

Az üzemállapotok eredményeit a következő szempontok figyelembevételével célszerű értékelni:

Vezetékek esetében:

- A vezeték átmérőjét úgy célszerű megválasztani, hogy a kívántos sebesség tartomány 0.4 - 1.2 m/s.
- A vezeték mentén kialakuló fajlagos nyomásvesztés kívántos értéke ≤ 10 ‰

Csomóponti nyomások tekintetében:

- A hálózati nyomás értéke nem lehet kisebb egyetlen csomóponton sem, mint az épületek szintszáma alapján előírt érték, illetve elosztó vezeték esetében, nem lehet nagyobb mint 60 mvo.
- Nyomáshiány esetében az okot két irányban érdemes keresni:
 - A szállítóvezetéseken fellépő túlterhelések miatt.
 - A terepszint és/vagy a nyomásigény a zóna jellemző nyomásszintjét meghatározó tározó szintjéhez képest magas.

Tározók esetében:

- A tározó(k) magassági elhelyezésének megfelelősége.

Amennyiben a vezetékhálózaton az áramkép megfelelő és nem mutat túlterhelést, és mégis nyomáshiányok alakulnak ki a tározó által meghatározott nyomású zónában, úgy felvetődik annak lehetősége, hogy a tározó alsó üzemi szintjének magassága nem megfelelően lett megválasztva. Ilyen esetben lokális nyomásfokozott zóna, vagy új tározó létesítésével új nyomászóna kialakítása lehet a megoldás.

Betáplálási és átemelési pontok esetében:

- Vízszállításukkal meghatározott szivattyúk esetében a megadott betáplálási és átemelési vízszállításokhoz a szívó- és nyomóoldali nyomások számíthatók ki.
- Jelleggörbéjükkel megadott szivattyúk esetében a szivattyú vízszállítása maga is számítási eredmény.
- Ezek alapján az eredmények alapján ellenőrizhetjük, hogy
 - a meglévő szivattyúk alkalmasak lehetnek-e arra, hogy a kívánt vízmennyiséget a rendszerbe adják (ezzel a kérdéssel a 4.3.2. fejezetben külön is foglalkozunk),
 - a csatlakozó vezetékek kapacitása elégséges-e a betáplált/kivett vízmennyiségek továbbszállítására.
- A szivattyúk szívóoldalán legalább 1 bar (~ 10 m) nyomásnak kell lennie, különben kavitációval kell számolni.
- A nyomóoldali nyomás nem lehet nagyobb, mint a nyomóoldali vezeték névleges megengedett nyomása.

Méretezési üzemállapot vizsgálata során, amennyiben az eredmények azt mutatják, hogy a rendszer nem felel meg a követelményeknek, akkor meg kell határozni a szükséges beavatkozásokat. Ezek a következők lehetnek:

- Vezetékek átmérőjének módosítása (növelés/csökkentés).
- Nyomászóna határok módosítása, új zónák elhatárolása.
- Tervezett tározó esetében a tározó helyének és magasságának módosítása.

A beavatkozások hatást a modell segítségével ellenőrizhetjük, amennyiben azokat a modellben átvezetjük és a hidraulikai számításokat és kiértékelésüket megismételjük. Ezt addig folytatjuk, amíg a méretezési üzemállapotok mindegyikében, egy minden szempontból megfelelő hálózathoz nem jutunk.

Az ellenőrzési üzemállapotok vizsgálata során nem elsődleges cél, hogy a havária jellegű terheléseknek is teljes mértékben megfeleljen a hálózat. Ezek vizsgálatakor a már a méretezési üzemállapotokra megfelelőnek bizonyult rendszerkialakításon azt vizsgáljuk, hogy milyen következményekre számíthatunk az üzemzavar, vagy a külső zavaró körülmény fellépésekor. Ezzel a módszerrel akár váratlan, ritkán előforduló eseményekre is felkészülhet az üzemeltető. Nem véletlen, hogy az üzemtani vizsgálatok legtöbb esetben ilyen üzemállapotokra készülnek.

Az ellenőrző üzemállapotok közül kiemelkedik jelentőségével a **tűzoltás** üzemállapota. Itt nem csak arról lehet szó, hogy ellenőrizzük, hogy a hálózat az aktuális jogszabályokban foglalt követelményeknek eleget tud tenni. Abban az esetben, ha nem megfelelőség derül ki, ugyan úgy kell eljárunk, mint a méretezési üzemállapotok esetében. A tűzoltási vízigény biztosítása azonban nem minden határon túl, és kizárólagosan az ivóvíz elosztó hálózathoz biztosítható. Mérlegelni érdemes a helyi tározás, sőt egyes kiemelten tűzveszélyes létesítmények esetében a kizárólag tűzoltás céljára létrehozott hálózat, alkalmazását is.

4.3.2. Szivattyúk felülvizsgálata

A vízművek üzemeltetésében az egyik kulcsfontosságú rendszerelem a kutakban, gépházakban, nyomásfokozókban, átemelőkben üzemelő **szivattyú**. Ezen rendszerelemek esetében van lehetőségünk ugyanis viszonylag kisebb költséggel a legtöbb megtakarítást elérni (szivattyú hatásfok, energiaköltség, stb). Természetes, hogy a többi rendszerelemre is van/lehet hatása egy-egy szivattyúcserének, ezek azonban egy viszonylag jól üzemelő rendszernél kisebb jelentőséggel bírnak. A gyakorlatban, a vízműveknél két alapeset különböztethető meg:

- a **szivattyú-kiválasztás helyes** volt, az idők során azonban a gyári jelleggörbe eltolódott, és ezért a szivattyú az adott helyen nem a kívánt hatásfokkal, nyomással, stb. üzemel (energiaköltség, szivattyú felújításra szorul),
- a **szivattyú-kiválasztás** már eredetileg **sem volt megfelelő**, vagy a megváltozott körülmények nem megfelelővé tették.

A hidraulikai vizsgálatok eredményei alapján, a kiválasztott pontokra meghatározott csőhálózati jelleggörbék felhasználásával lehetőségünk van arra, hogy a gazdaságossági szempontból is megfelelő szivattyút kiválasszuk, illetve a szivattyúk szabályozási módjait megkeressük:

- mely időintervallumokban működjenek a szivattyúk (energiacsúcs, energiaszerződések figyelembevétele),
- a szivattyúk szabályozási feltételeit meghatározzuk (fordulatszám szabályozás).

Akár a szivattyúk ellenőrzése, akár új szivattyúk választása is a cél (egyébként az egyik a másból következik), a kiindulási állapot a csőhálózati jelleggörbék ismerete. Minden egyes pontra (szivattyú nyomócsonkjá) meghatározott csőhálózati jelleggörbék ismeretében az alábbiak szerint járunk el:

A meglévő, beépített szivattyúk ellenőrzése

- A csőhálózati jelleggörbékhez rendeljük a meglévő szivattyú jelleggörbéjét (erre a program grafikusan ad lehetőséget),
- Elemezzük a kapott eredményeket vízszállítási, energiagazdálkodási szempontból. Ha az eredmény megfelelő, akkor a szivattyú is megfelelő, ha nem, akkor új szivattyút kell választanunk.

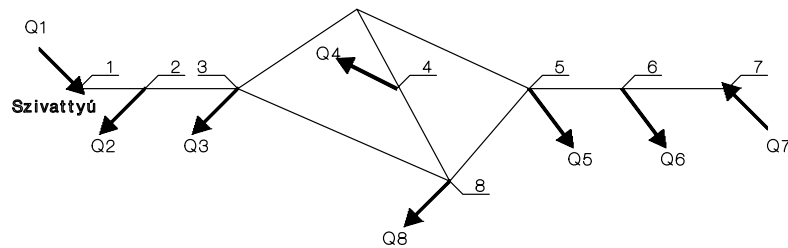
Új szivattyú kiválasztása

- A csőhálózati jelleggörbék ismerve, megállapítjuk, kiválasztjuk azt/azokat a vízmennyiségeket (24 órás vagy bármilyen más üzem), melyeket a rendszerbe kívánunk juttatni (Q).
- A csőhálózati jelleggörbék közül a szállítandó vízmennyiség kijelöli a kívánt emelőmagasságokat (H) is (függőleges jelleggörbéjű szivattyúkat adtunk meg tulajdonképpen).
- A kijelölt Q-H értékpárok alapján a megfelelő szivattyú kiválasztható, és a jelleggörbébe helyezhető.

4.3.2.1. Csőhálózati jelleggörbe fogalma

A betáplálási és átemelési pontokon beépített szivattyúk ellenőrzéséhez és kiválasztásához csőhálózati jelleggörbék használunk. A csőhálózati jelleggörbe fogalmának megértéséhez tekintsük a **4-8. ábrán** lévő egyszerű hálózati modellt. A hálózat 7-es csomópontján egy víztorony csatlakozik. A hálózat betáplálási pontja az 1-es csomópont, amelyhez egy

szivattyútelep kapcsolódik. Ennek kialakítását még nem ismerjük, viszont tudjuk, hogy a hálózatba innen 20 órán keresztül Q_1 [m³/h] vízhozamot kell bejuttatnunk.

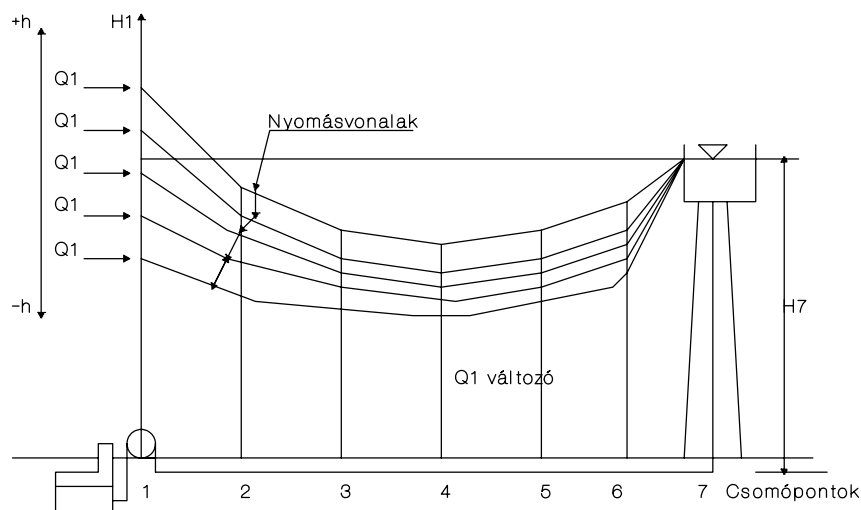


4-8.ábra

Amennyiben a fogyasztás értékét, a tározó vízállását állandónak tekintjük, csak a betáplált vízhozamot változtatjuk pl. a

$$0 - 1,25 \cdot Q_h$$

értékhatárok között, úgy a **4-9.ábrán** látható nyomásvonal sereget kaphatjuk.



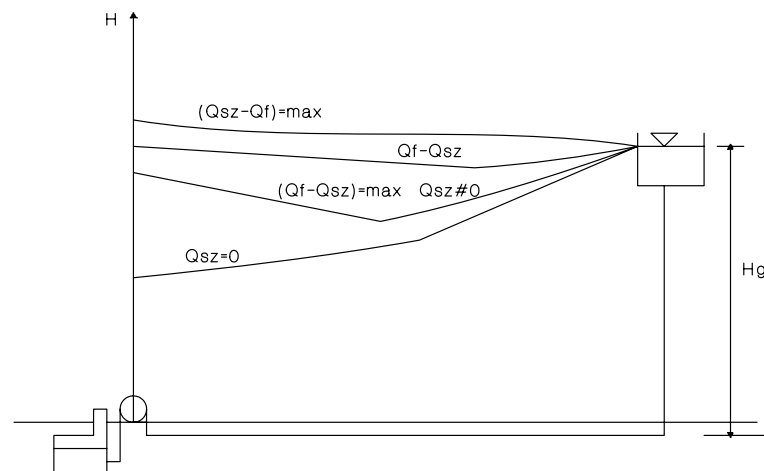
4-9.ábra

Ha ebből kiemeljük a betáplálási ponton szükséges emelőmagasságokat és ezeket a hozzájuk tartozó betáplálási hozamok függvényében ábrázoljuk, akkor az ún. csőhálózati jelleggörbét kapjuk (**4-10.ábra**).



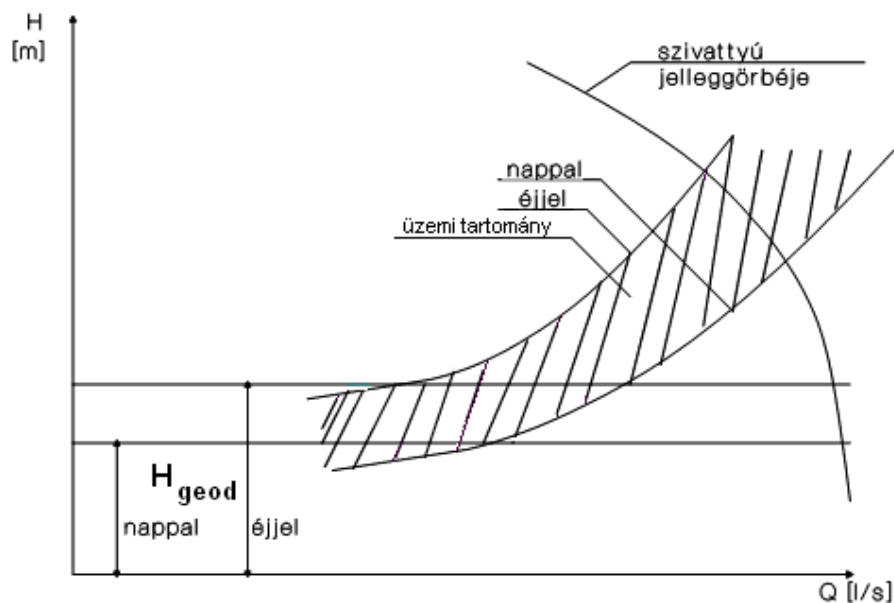
4-10.ábra – Csőhálózati jelleggörbe

Az előbbieken definiált csőhálózati jelleggörbe az előre megadott fogyasztáshoz, és a tározóvízálláshoz tartozott. Ha ezek bármelyikét megváltoztatjuk, úgy egy új csőhálózati jelleggörbét kaphatunk. Általánosságban elmondhatjuk, hogy valamely betáplálási pont csőhálózati jelleggörbéjét a vele közös hidraulikai rendszerben lévő elemek mindegyike befolyásolja. Minden egyes csőhálózati jelleggörbe a ható, befolyásoló elemek egy rögzített állapotát tükrözi. Ez azt jelenti, hogy egy-egy betáplálási, ill. átemelési pontra nem csak egy csőhálózati jelleggörbe, hanem jelleggörbe sereg értelmezhető (**4-11.ábra**).



4-11.ábra – Jellemző üzemállapotok

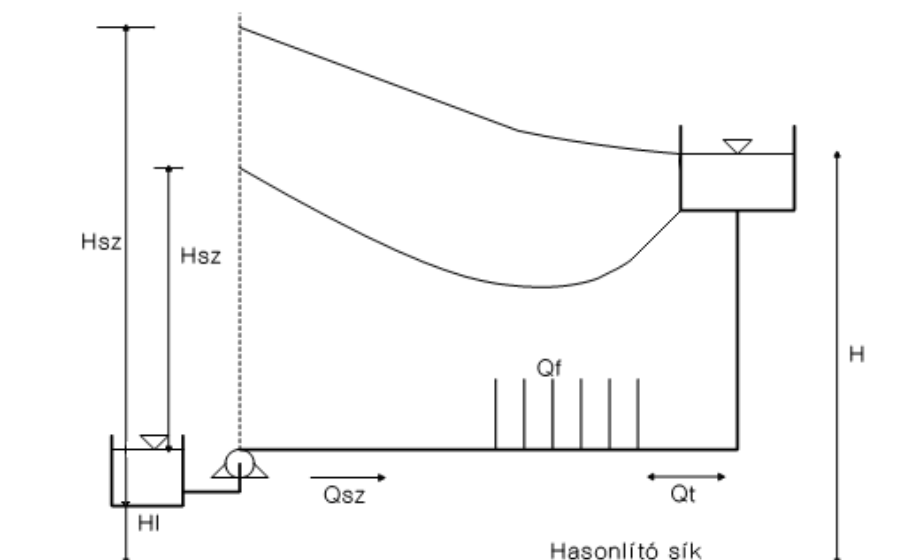
Ezen jelleggörbe seregnek azonban létezik két szélső határoló görbéje, amelyekre vonatkozó üzemállapotok szélsőségesek a vizsgált szivattyúk szempontjából, de üzemileg még elképzelhetők. Erre a két határoló görbére elmondható, hogy a keresett szivattyú munkapontja üzemzavarmentes időszakban mindig a két görbe között lesz (**4-12.ábra**). Ezzel a kiválasztásra kerülő szivattyú vagy szivattyúk emelőmagasság igényeit meghatároztuk.



4-12.ábra – Csőhálózati jelleggörbék, üzemi tartomány

Egy-egy ilyen jelleggörbe előállítása úgy történik, hogy azonos fogyasztás és tározó vízállás mellett különböző vízhozamokat táplálunk be a szivattyútelepeknél és meghatározzuk az ehhez tartozó emelőmagasságot. A kapott Q és H értékpárokat a **4-10.ábra** szerint ábrázolva egy görbét kapunk. Ez a görbe általában egy legalább harmadfokú polinommal közelíthető, mivel inflexiója van. Az inflexió helye erősen függ a tározó, a szivattyúk és a fogyasztók egymáshoz képesti elhelyezkedésétől. Pl. tisztán ellennyomó tározó esetén az inflexió ott található, ahol a szivattyúzás megegyezik a fogyasztással. Súlyponti tározó esetén azonban ez már nem esik olyan pontosan erre a helyre. A gyakorlatban a szivattyúk üzemi tartományának lehatárolásához rendszerint elegendő a jelleggörbe sereg két üzemileg elképzelhető szélső határoló görbéjének meghatározása.

A **felső határoló görbe** olyan üzemállapotban érvényes amikor a szivattyútelepen a legnagyobb nyomások léphetnek fel. Ilyen üzemállapot pl. **4-13.ábra** szerint :



4-13.ábra – Szélső határoló üzemállapotok

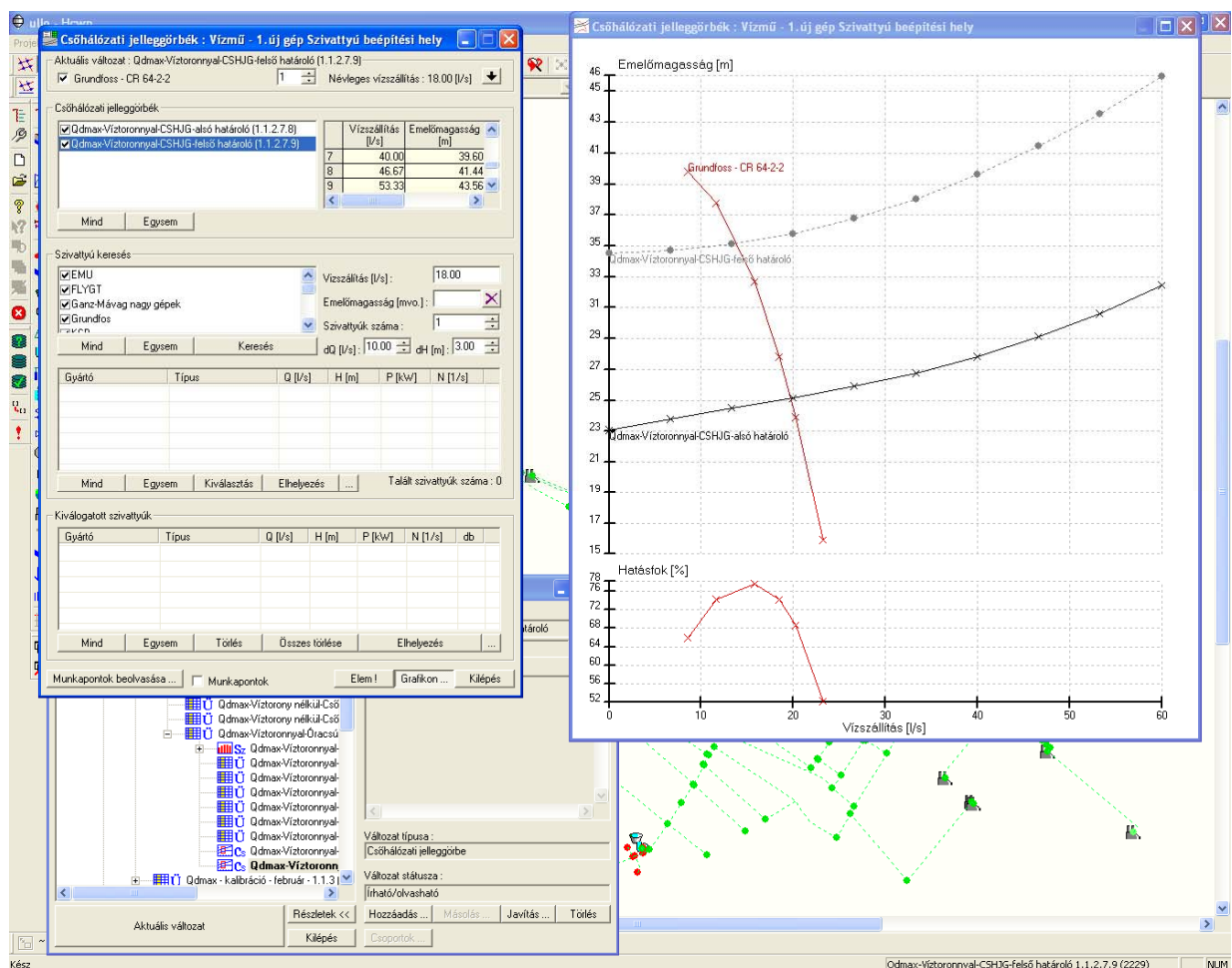
- A geodetikus emelőmagasság maximuma veendő figyelembe:
 - a nyomó oldali tározó vízállása megegyezik a túlfolyóval,
 - szívóoldali medence vízállása megegyezik a fenékszinttel.
- a fogyasztás minimális (pl. éjszaka).

Az **alsó határoló görbe** olyan üzemállapotban áll elő, amikor a szivattyútelepen a legkisebb nyomások léphetnek fel. A **4-13. ábra** alapján ehhez

- a geodetikus emelőmagasság minimuma veendő figyelembe:
 - a nyomó oldali tározó vízállása megegyezik a fenékszinttel,
 - szívóoldali medence vízállása megegyezik a túlfolyóval.
- a fogyasztás maximális (pl. óracsúcsban).

4.3.2.2. A csőhálózati jelleggörbék kiszámítása

Magának a csőhálózati görbéknek a kiszámítás üzemállapotok sorozatával történik, amikor a szivattyú helyén a modellben fix lépésközzel változtatjuk a betáplált vízmennyiséget és eredményként a csőhálózati jelleggörbéket kapjuk. A **4-14. ábrán** látható a számítás eredményeit megjelenítő képernyő kép a HCWP programból.



4-14. ábra – Csőhálózati jelleggörbe számítás eredményei

4.3.2.3. Szivattyúválasztás

Valamely kútba, átemelőbe, szivattyúgépházba egy minden szempontból megfelelő kiválasztása egy sok különböző szempont együttes mérlegelését teszi szükségessé. Ilyenek pl. :

1. megfelelő vízellátású legyen,
2. megfelelő emelő magasságú legyen,
3. munkapontja normális üzemi feltételek mellett a legkedvezőbb hatásfokú tartományban mozogjon,
4. minimális energetikai beruházást, és ráfordítást igényeljen,
5. szerkezeti méreteit tekintve feleljen meg a helyi követelményeknek. (pl. meglévő gépalapok, kút bélésű méretek, stb)

Természetesen felsorolásunk közel sem teljes, de már az elmondottakból is kitűnik, hogy a szivattyúk kiválasztása szempontjából következő szempontok figyelembe vétele a legfontosabb:

1. Hidraulikai feltételek.
A vízelosztó hálózatra a szivattyú betáplálási helyén jellemző üzemi tartomány:
 - Csőhálózati jelleggörbék az emelőmagasság igény meghatározására.
 - Átlagos vagy névleges vízszállítás.
2. Energetikai feltételek
Az alkalmazott szivattyú energetikai jellemzői.
3. Egyéb feltételek
 - Elhelyezés, beépítés módja,
 - párhuzamosan kapcsolt gépek száma,
 - környezeti feltételek, stb.

Hidraulikai feltételek

A szivattyú üzemi tartományát a csőhálózati jelleggörbék, valamint a szükséges (névleges) vízszállítás alapján lehet meghatározni. A csőhálózati jelleggörbék elsődlegesen a szállítómagasság szempontjából determinálják a kiválasztást, míg a névleges vízszállítás mennyiségi szempontból.

A probléma megoldásához első feladatként meg kell határozni a szivattyú működési helyén érvényes csőhálózati jelleggörbék közül az üzemileg még elképzelhető határoló görbéket, ezekkel határozva meg a szükséges emelőmagasság tartományát. Emellett meg kell választanunk azt a névleges vízszállítást, amely körül egy alkalmasan választott e_p intervallumban fog üzemelni a kiválasztott szivattyú, azaz

$$abs(Q_{sz} - Q_{névl}) > e_p$$

Ezen kívül célszerű még megadni egy e_h -t is, mely meghatározza azt a felső és alsó emelőmagasság értéket amik közé kell esnie a szivattyú emelőmagasságának az üzem során. (Csőhálózati jelleggörbe parabola jellege miatt nem a tényleges határoló görbékkel válogatunk, hanem egy alkalmasan választott téglalappal, „célkömbbel”).

$$h_{alsó}(Q_{névl}) - e_h < H_{sz} < h_{felső}(Q_{névl}) + e_h$$

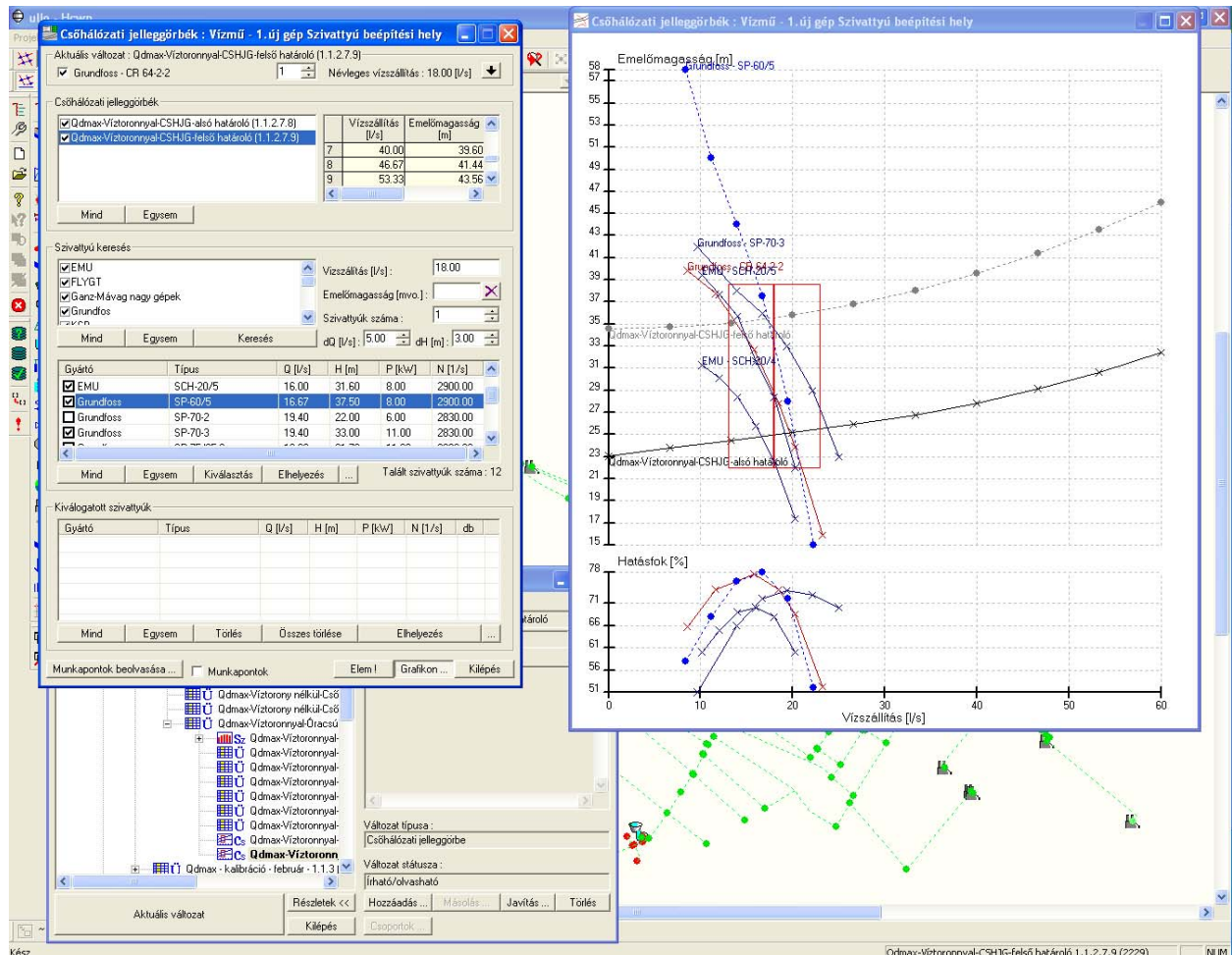
A kiválasztás során az első szűrés kiejti azokat a szivattyúkat, melyek üzemi tartományának (a szivattyú jelleggörbéje és a két szélső hálózati jelleggörbe metszéspontjai által meghatározott tartomány) bármely munkapontjára nem teljesülnek a fent leírt egyenlőtlenségek.

Természetesen az így megfogalmazott feltételek nem tekinthetők az optimum keresés szempontjából teljesen egzaktaknak, azonban a tapasztalatok szerint a diszkrét adatokból álló

adattázból a megfelelő szivattyúk szelektálására alkalmas. Vagyis a minden szempontból optimális szivattyú a kiválasztottak között lesz, megfelelő

$$e_q \text{ és } e_h$$

értékek megválasztása esetén. A módszer támadható pontja éppen ezért ezen értékek felvétele, melyet minden esetben célszerű gyakorlati tapasztalatokra alapozva kiválasztani. Egy ilyen válogatás eredményei láthatók a **4-15. ábrán**.



4-15. ábra - Szivattyú keresés eredménye

A válogatási kritériumok alapján kiválasztott szivattyúkat azonban további, energetikai kritériumok alapján is vizsgálni kell.

Energetikai feltételek

A szivattyú, illetve az azt meghajtó villamosmotor telepítésének számos energetikai és költség vonzata van. Ezeket két csoportra bonthatjuk :

- Egyszeri beruházási költségek (pl. közmű fejlesztés)
- Üzemeltetési költségek (energia, karbantartási, javítási költség)

Mivel a szükséges vízszállítás, és emelőmagasság a szükséges energia mennyiséget szinte teljesen egyértelműen definiálja, ez pedig a meglévő vagy tervezett csatlakozási mód ismeretével

együtt a közműfejlesztésre fordítandó összeget határozza meg. Ebben tehát az optimalizálásra sok lehetőség nincs.

Az üzemeltetési költségek tekintetében azonban az igen változatos árszabási feltételek miatt, elég komoly elemző munkát igényel a megfelelő szerződési mód kiválasztása. Ilyen megközelítésben a megfelelő szivattyú kiválasztása tulajdonképpen egyfajta optimalizálást jelent, amelynél a célfüggvény tartalmilag kétféle lehet:

- minimális energia felhasználás,
- minimális energia költség.

Ennek okai az energia díjszabás szerkezetére vezethetők vissza. A következőkben bemutatásra kerülő kiválasztási algoritmusban olyan válogatási kritériumot alkalmazunk, melynél nem a költség, hanem a szivattyú fajlagos teljesítménye a döntési tényező.

Általában egy szivattyú gépcsoport energia felhasználása egy t_1, t_2 időintervallumban a

$$E = \int_{t_2}^{t_1} \frac{\gamma Q(t) H(t)}{\eta(t)} dt$$

egyenletből számítható. Ahol

- $Q(t)$ - a szivattyú vízszállítás időszora,
- $H(t)$ - a szivattyú emelőmagasság időszora,
- $\eta(t)$ - a szivattyú hatásfok időszora.

Ehhez azonban a $Q(t)$, $H(t)$, $\eta(t)$ függvények ismerete szükséges. Itt egy olyan akadályba ütközünk amely szinte megoldhatatlan, vagy nagyon nehezen megoldhatóvá teszi a feladatot. Nevezetesen ezen függvények ismeretéhez szükséges mind a fogyasztás $Q_f(t)$ függvény ismerete, mind a hálózat összes, egymással másodfokú egyenletrendszerrel leírható összefüggésben álló hidraulikai elemének $Q_i(t)$, $h_{v_i}(t)$ ismerete. Mint köztudott ilyen másodfokú egyenletrendszerek megoldására jelenleg analitikus megoldás nem ismeretes, csak iteratív numerikus megoldásokat ismerünk. A numerikus integráláshoz pedig a hosszadalmas kvázi-stacioner szimulációt szokás alkalmazni.

A gyors döntés érdekében néhány elhanyagolást téve azonban, jó közelítéssel megfelelő szivattyú választható. Egyrészt tételezzük fel, hogy az összehasonlításban résztvevő szivattyúk 24 órás folyamatos üzeműek, tehát az energiafelhasználást, illetve költségeket erre az időtartamra számítjuk.

Az energia felhasználás tekintetében a kiválasztáshoz határozzuk meg a szivattyú jelleggörbéjének és a csőhálózati jelleggörbének a metszéspontjait. Ezekre a munkapontokra számítsuk ki a fajlagos felhasznált energiát. Ezen fajlagos energiamennyiségek átlaga lehet a döntés, kiválasztás alapja.

4.3.3. Üzemszimulációs vizsgálatok, üzemrend ellenőrzés

Tervezési feladat esetében az üzem szimulációs vizsgálatok elvégzése gyakorlatilag az utolsó fázisa a munkának. Ilyen vizsgálatot általában akkor végzünk, ha a hálózat az áramlási és nyomásviszonyok tekintetében már megfelelő. A betáplálási és átemelési pontokon a megfelelő szivattyúk ki vannak választva.

A tervezési feladat során végzett szimulációs vizsgálatok célja ennek megfelelően:

- bizonyítani, ellenőrizni, hogy az üzemállapot vizsgálatokkal és szivattyú kiválasztással kialakított vízellátó rendszer üzemeltetése lehetséges, illetve
- meghatározni, hogy milyen szabályozásokat kell a folyamatirányító rendszerben alkalmazni a biztonságos és gazdaságos üzemmenethez.

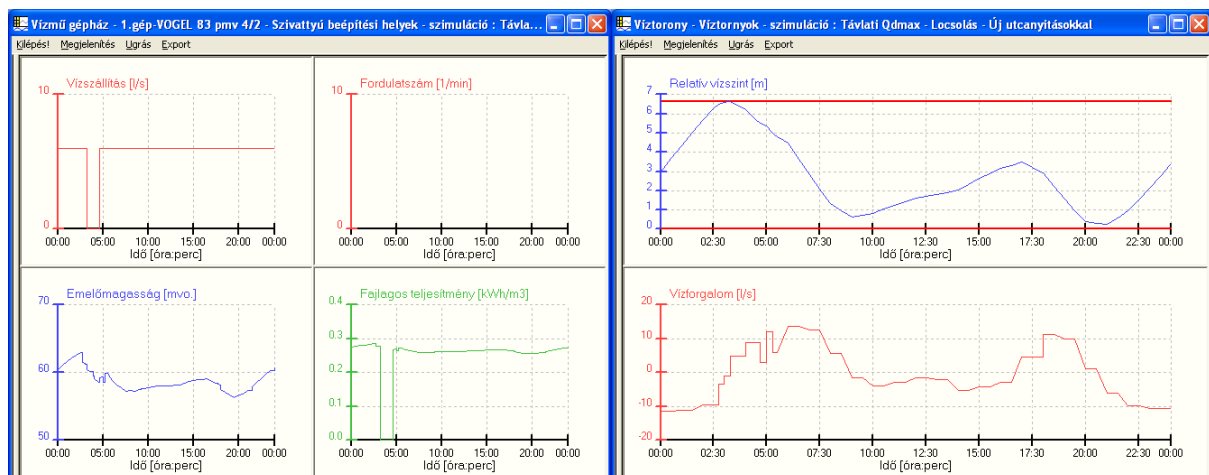
Az üzem szimulációs vizsgálatok azt jelentik, hogy hosszabb (általában 24 órás) időszakra vonatkozóan, az időközbeni változások figyelembevételével meghatározzuk a rendszer egyes elemei hidraulikai paramétereinek időbeni változását.

4.3.3.1. A számítás kiindulási adatai

A számítás kiindulási adataiként kell megadni:

- a fogyasztás területi és időbeli változását (fogyasztási súlyszámok, napi összes fogyasztások, fogyasztási menetgörbék),
- az egyes tározók térfogatát és alakját,
- az egyes tározók kezdő időpontbeli vízállását,
- az egyes szivattyúk jelleggörbéit (betáplálási, közbenső és továbbemelő szivattyúk),
- az egyes betáplálási pontokhoz, szivattyúkhöz tartozó szabályozási algoritmusokat.

4.3.3.2. A számítások eredményei

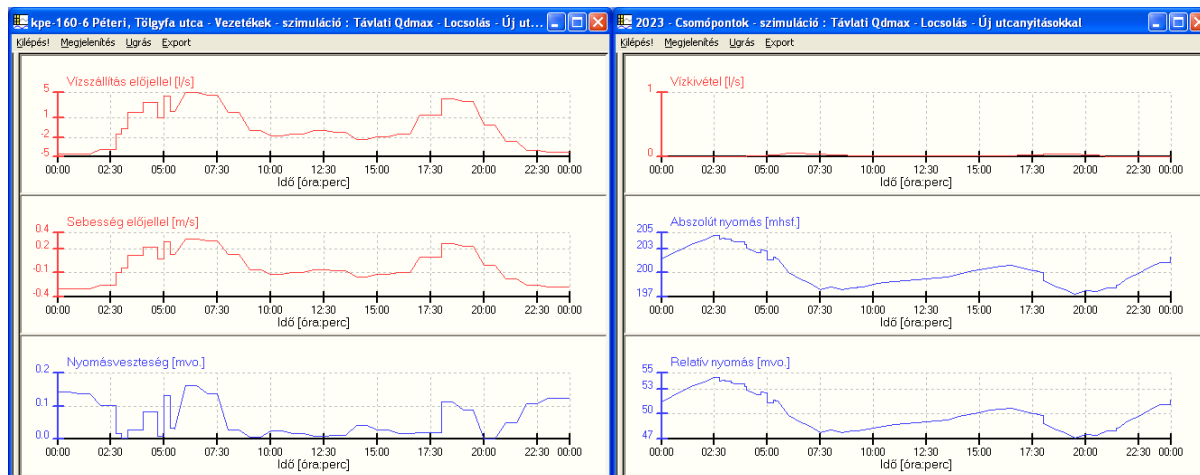


4-16.ábra

4-17.ábra

- az egyes tározók vízállás, vízforgalom idősorai (4-16.ábra),
- az egyes szivattyúk vízszállítás-, emelőmagasság-, szívóoldali nyomás-, kimenő nyomás-, energia felvétel idősorai (4-17.ábra),

- a vezetékek vízszállítás-, sebesség, nyomásveszteség, fajlagos nyomásveszteség idősorai (4-18.ábra)
- az egyes csomópontokon az abszolút-, a terep feletti- nyomás, és a fogyasztás idősorai (4-19.ábra),



4-18.ábra

4-19.ábra

Az idősorokat természetesen nem csak grafikusán, hanem táblázatosan is meg kell tudni jeleníteni.

Az egyes rendszerelemekre vonatkozóan készült idősorokból azonban statisztikák is készíthetők. Pl. a tározók rendszerbeli viselkedésének általános áttekintésére célszerű az alábbi táblázatos összesített statisztikát használni:

```

Egerszeghegyi medence (26 299) :
Térfogat                               : 1000,00 m3
Túlfolyó szint                         : 265,60 mhsf. (4,50 m)
Fenék szint                            : 261,10 mhsf.
Vízállás - térfogat függvény :
Vízállás [m] [mhsf.] Térfogat [m3]
0,00 261,10
4,50 265,60
Kezdő vízszint                        : 264,86 mhsf. (3,76 m)
Utolsó vízszint                       : 264,87 mhsf. (3,77 m)
Szimuláció időtartama                 : 00:00 - 00:00 (270 lépés - 1 440 perc)
Töltődés időtartama                   : 633 perc; 10 óra 33 perc
Ürülés időtartama                     : 807 perc; 13 óra 27 perc
Túlfolyás időtartama                  : 0 perc; 0 óra 0 perc
Leürült állapot időtartama            : 0 perc; 0 óra 0 perc
Befolyó mennyiség                     : 1012,72 m3;
Kifolyó mennyiség                     : 1010,75 m3;
Túlfolyó mennyiség                    : 0,00 m3;
Vízforgalom                           : -1,97 m3;

```

Ebben a statisztikában a kulcsfontosságú paraméterek a következők:

- Túlfolyás időtartama és mennyisége
- Leürült állapot időtartama
- Vízforgalom (a vizsgálati időszakra integrált érték), aminek napi kiegyenlítésre tervezett tározó megfelelő működése esetében 0-nak kell elvileg lennie.

Hasonlóan készíthető statisztikai feldolgozás a többi rendszerelemre is:

Gépház-nyomásfokozó:

Átalszegett u. nyf. - (26 305) :
 Összegzett vízszállítás : 4150,78 m3
 Összegzett energiafelvétel : 1197,24 kWh
 Fajlagos teljesítmény : 0,29 kWh/m3

Gépházba beépített szivattyú

Átalszegett u. nyf. - Átalszegett u. nyf. 1.gép (26 344)

EMU - KM-150/5 :

Névleges vízszállítás : 42,50 l/s 153,00 m3/h
 Névleges fordulatszám : 2900,00 1/min 100,00 %
 Névleges teljesítmény : 56,00 kW
 Működési mód : Jelleggörbével
 Kezdő üzemállapot : 100,00 % 2900,00 1/min
 Szabályozások :

 Sorszám : 1
 Prioritás : 50
 Érvényességi időszak : 00:00 - 08:00
 Típus : Nyomóoldali tároló
 Szabályozó tároló : Egerszeghegyi medence (26 299)
 Szabályozási szintek :
 Vízszint [mhsf.] [m] Fordulatszám [%] [1/min]
 264,10 3,00 100,00 2900,00
 265,60 4,50 0,00 0,00

Sorszám : 2
 Prioritás : 50
 Érvényességi időszak : 08:00 - 14:00
 Típus : Nyomóoldali tároló
 Szabályozó tároló : Egerszeghegyi medence (26 299)
 Szabályozási szintek :
 Vízszint [mhsf.] [m] Fordulatszám [%] [1/min]
 263,10 2,00 100,00 2900,00
 264,60 3,50 0,00 0,00

Sorszám : 3
 Prioritás : 50
 Érvényességi időszak : 14:00 - 18:00
 Típus : Nyomóoldali tároló
 Szabályozó tároló : Egerszeghegyi medence (26 299)
 Szabályozási szintek :
 Vízszint [mhsf.] [m] Fordulatszám [%] [1/min]
 264,10 3,00 100,00 2900,00
 265,60 4,50 0,00 0,00

Sorszám : 4
 Prioritás : 50
 Érvényességi időszak : 18:00 - 21:00
 Típus : Nyomóoldali tároló
 Szabályozó tároló : Egerszeghegyi medence (26 299)
 Szabályozási szintek :
 Vízszint [mhsf.] [m] Fordulatszám [%] [1/min]
 263,10 2,00 100,00 2900,00
 264,60 3,50 0,00 0,00

Sorszám : 5
 Prioritás : 50
 Érvényességi időszak : 21:00 - 23:59
 Típus : Nyomóoldali tároló
 Szabályozó tároló : Egerszeghegyi medence (26 299)
 Szabályozási szintek :
 Vízszint [mhsf.] [m] Fordulatszám [%] [1/min]
 264,10 3,00 100,00 2900,00
 265,60 4,50 0,00 0,00

Összegzett vízszállítás : 3341,52 m3
 Összegzett energiafelvétel : 956,87 kWh

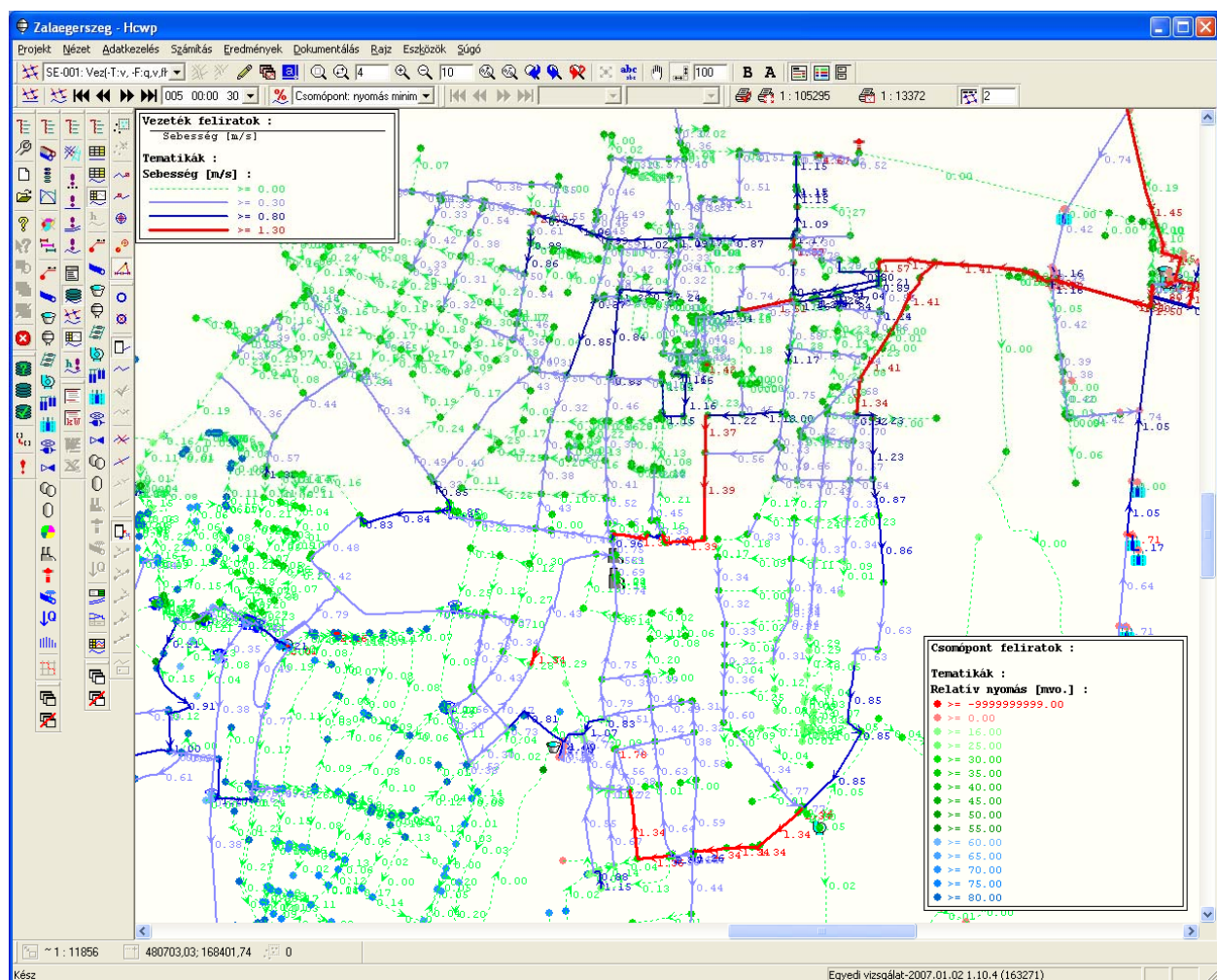
A statisztikai adatok közül a kiemelt fontosságúak:

- Összegzett vízszállítás
- Összegzett energiafelvétel
- Fajlagos teljesítmény felvétel

A hálózat vezetékeire és csomópontjaira vonatkozóan speciális, tematikus térképen is megjeleníthető statisztikát lehet készíteni. Az idősorokból tematikus térképeken csak a szélsőértékeket feltüntetve két szélsőérték tematikát kaphatunk:

- az egyes vezetékszakaszok a 24 óra alatt előfordult legnagyobb sebességek szerint színezettek, míg a csomópontok tematikája az előfordult legkisebb terep feletti nyomások szerint készül.
- a minimális sebességek szerint színezzük a vezetékeket, és a csomópontok tematikája az előfordult maximális terep feletti nyomásokat mutatja.

Erre mutat példát a **4-20.ábra**, melyen az első változat szerinti tematika látható. A tematikus térképen ugyan időben össze nem tartozó eredmények vannak feltüntetve, azonban magából az ábrából a leghatékonyabban következtethetők a nyomás és szállítóképacitás hiányokra, illetve feleslegekre. Ilyen tematikus ábrák használata a hálózat ellenőrzési munkát jelentősen lerövidíti és az értékelés hibalehetőségeit is csökkenti.



4-20. ábra – Szimulációs szélsőérték tematika ($v_{max}h_{min}$)

A szimulációs vizsgálatok elmaradhatatlan eredménye az üzemi folyamatról szóló **eseménynapló** melyben a vizsgált nap folyamán az üzemmenetben történt változások kerülnek naplózásra:

8. lépés (57. perc) 00:56 Szivattyú beépítési hely fordulatszám váltás :
 0.00 -> 2900.00 [l/min] : Aranyoslapi nyf. - Aranyoslapi nyf. 1.gép (26371)
 12. lépés (70. perc) 01:10 Kút fordulatszám váltás :
 0.00 -> 2900.00 [l/min] : Nyugati víznyerő terület - D5-K-177 (163108)
 16. lépés (95. perc) 01:34 Szivattyú beépítési hely fordulatszám váltás :
 2900.00 -> 0.00 [l/min] : Átalszegett u. nyf. - Átalszegett u. nyf. 1.gép (26344)

Energia számítás						
Időszak :						
	Megnevezés	Kezdő időpont	Vég időpont	Völgy	Csúcs	
1	Csúcs-Délelőtt	08:00	14:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Csúcs-Este	18:00	21:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Völgy-Éjszaka	21:00	23:59	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Völgy-Hajnalban	00:00	08:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Völgy-Nappal	14:00	18:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Időszakok ...						
Számítás						
Excel						
Kilépés						
Eredmény :						
	Név	Típus	Mz.völgy [kW]	Max.csúcs [kW]	Völgy [kWh]	Csúcs [kWh]
10	Ebergényi nyf. 2.gép	Szivattyú	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Erzsébethegyi úti nyf.	Szivattyú	0,00	0,00	0,00	0,00
12	Erzsébethegyi úti nyf.	Szivattyú	0,00	0,00	0,00	0,00
13	I-es átemelő 1.gép	Szivattyú	200,61	0,00	2740,09	0,00
14	I-es átemelő 2.gép	Szivattyú	0,00	0,00	0,00	0,00
15	I-es átemelő 4.gép	Szivattyú	0,00	0,00	0,00	0,00
16	I-es átemelő 5.gép	Szivattyú	0,00	115,69	0,00	806,18
17	Nagykúti nyf. 1.gép	Szivattyú	5,73	0,00	27,89	0,00
18	Nagykúti nyf. 2.gép	Szivattyú	0,00	0,00	0,00	0,00
19	Nyugati átemelő 1.gép	Szivattyú	84,30	0,00	1151,82	0,00
20	Nyugati átemelő 2.gép	Szivattyú	0,00	0,00	0,00	0,00
21	Nyugati átemelő 3.gép	Szivattyú	0,00	50,98	0,00	158,85
22	Nyugati átemelő 4.gép	Szivattyú	0,00	0,00	0,00	0,00
Összesített eredmény :						
	Név	Típus	Max.völgy [kW]	Max.csúcs [kW]	Völgy [kWh]	Csúcs [kWh]
1	Átalszegett u. nyf.	Gépház	104,97	51,76	740,92	334,22
2	Bazitai nyf.	Gépház	10,56	10,18	14,59	9,70
3	Bocföldi nyf.	Gépház	9,18	9,17	99,58	35,72
4	Domb u. nyf.	Gépház	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Ebergényi nyf.	Gépház	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Erzsébethegyi úti nyf.	Gépház	0,00	0,00	0,00	0,00
7	I-es átemelő	Gépház	200,61	115,69	2740,09	806,18

4-21. ábra

A szivattyúkkal és gépházakkal kapcsolatban további eredménystatisztika az **energiafelhasználás** eredményei (4-21. ábra). Egy ilyen statisztika alapján számítható a napi villamosenergia költség a villamosenergia szolgáltatóval kötött szerződés alapján.

4.3.3.3. Az eredmények értékelése

Egy szimulációs számítás eredményeinek értékelése során, az első lépés mindig a számításhoz tartozó vízmérleg ellenőrzés. Vízmérleg ellenőrzéshez a szimuláció következő eredményeit használjuk fel:

- Tározók összegzett vízforgalma.
- Gépházak, nyomásfokozók összegzett vízszállítása

Le kell ellenőrizni, hogy ezek zónánkénti előjelhelyes összege, megegyezik-e zónára megadott fogyasztással. Ha nem, akkor a zónák között illegális kapcsolat, átfolyás van, amit meg kell szüntetni.

Második lépésként érdemes leellenőrizni egyenként is a tározókat, gépházakat, átemelőket és nyomásfokozókat:

- Tározókra vonatkozó eredmények ellenőrzése
A tározók az üzem-szimuláció elsőrendű indikátorai. Amennyiben túlfolyás, vagy leürülés fordult elő vizsgált időszak alatt, akkor nem megfelelőséggel van dolgunk. A nem megfelelőség oka ebben az esetben sokféle lehet:
 - Nem megfelelő a szivattyúk szabályozási algoritmusa.
 - Nem elegendő a tározó térfogat.
 - Nem elegendő szivattyúk szállítókapacitása.
 - Nem megfelelő a tározó magassága.
- Gépházakra vonatkozó eredmények, vízmérleg ellenőrzés
Ez akkor szükséges elsősorban, ha a szivattyúkat jelleggörbéjünkkel modelleztük, mivel ilyen esetben előfordulhat, hogy a munkapontok mozgása miatt a vízkormányzási stratégiában megadott napi mennyiségnél egy-egy gépház, átemelő, nyomásfokozó többet, vagy esetleg kevesebbet szállít. Amennyiben az eltérés mértéke a stratégiában megadott érték 10 %-ánál nagyobb úgy érdemes ennek az okát megvizsgálni. Az ok lehet:
 - Nem megfelelő a szivattyúk szabályozási algoritmusa.
 - Nem a megfelelő szivattyút szabályozzuk.
 - Nem elegendő, vagy túl nagy szivattyú(k) szállítókapacitása.
- A gépházakban elhelyezett egyes szivattyúkra vonatkozó eredmények
Az egyes szivattyúkra vonatkozóan érdemes ellenőrizni:
 - A munkapont nem ment-e ki megfelelő hatásfokú tartományból ?
 - A szivattyú szívóoldalán nem csökkent-e a nyomás 1 bar alá (kavitáció veszélye).
 - A szivattyú nyomóoldalán a nyomás nem nagyobb-e, mint az ott alkalmazott cső nyomásfokozata.

Az értékelés harmadik szakaszában már a hálózattal foglalkozunk és azt keressük, hogy vannak-e vezetékhálózati problémák, túlterhelt vezetékszakaszok, nyomáshiányok, túl nagy nyomások.

Az eredmények értékelésekor külön kell választanunk azokat a nem megfelelőségeket, amelyeket üzemtani beavatkozásokkal lehet korrigálni, és amelyeket csak valamely rendszerelem, vagy rendszerelemek paramétereinek módosításával, vagy új rendszerelemek létesítésével lehet megszüntetni.

Üzemtani beavatkozásokkal korrigálható nem megfelelőségek esetében csupán az üzemrend, a szabályozási algoritmusok, kezdőállapot megváltoztatásával befolyásoljuk az üzemmenetet.

Amikor viszont a nem megfelelőség megszüntetéséhez valamilyen a rendszer struktúrájába történő beavatkozásra, valamely rendszerelem, vagy elemek tulajdonságának, tulajdonságainak megváltoztatására (vezeték átmérő, tározó magasság, szivattyú jelleggörbe, stb.) van szükség, akkor az azt mutatja, hogy az előzetes vizsgálatokat nem végeztük el kellő alaposséggel, mert nem megfelelő a rendszer kialakítása valamely üzemszerűen előforduló helyzetben. Ilyenkor meg kell keresni a hiba konkrét okát és az előzetes vizsgálatokat meg kell ismételni, mivel az ezek kapcsán módosuló rendszerkialakítás nem csak a kritikus elemre, hanem az összes többi rendszerelemre is hatással van.

4.3.4. Vízminőségi vizsgálatok

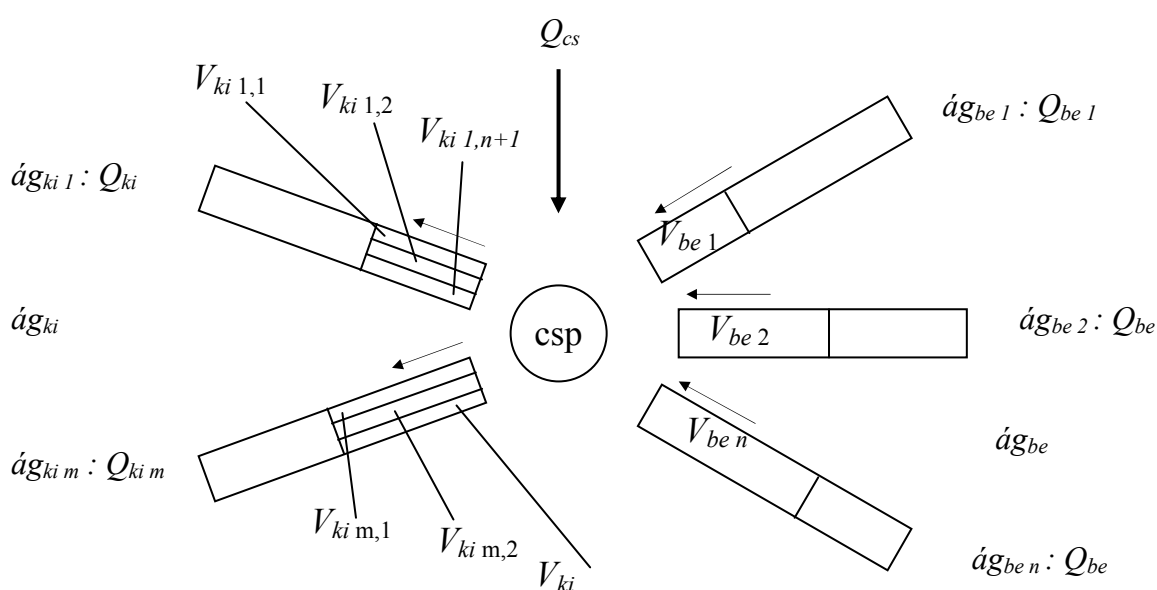
A vízminőségi vizsgálatok közül a tervezési feladatok megoldásakor elsősorban a vízkor és a keveredési zónák meghatározása kerülhet szóba, mivel a klórfogyás modellezése a tapasztalatok szerint modell kalibrációs vizsgálatok nélkül megalapozatlannak minősül.

Az alkalmazható szoftverek többségében a vízkor számítása a szimuláció számítás eredményei alapján történik, a szimulációs lépések közötti időben változatlan áramlási viszonyokat feltételezve. A számítás általában dugószerű vízmozgást feltételez, keveredést a vízdugók között a vezetékben nem vizsgálva. Általában a különböző betáplálásokból, és különböző időpontban “születő” vízdugók keveredését mindig csak csomópontoknál veszik figyelembe, a csomópontba időegység alatt beáramló, érkező víztérfogatok arányában.

A kezdeti állapot tekintetében kétféle megközelítés van, míg az EPANET és PICCOLO a számítás kezdetén a csőszakaszokban található víz korára kezdeti érték megadását lehetővé teszi, a HCWP a számítás kezdetén a rendszerben lévő vízről nem él semmilyen feltételezéssel. A HCWP, ennek alapján ez a víz “ismeretlenként” van az eredményekben jelölve. A HCWP ellentétben a PICCOLO és EPANET algoritmusokkal az egyes vízdugókban lévő vizet nem “homogenizálja”, azaz a különböző időben született “vízdugó részekből” nem számít súlyozottan vízkort, hanem a vízdugókban megőrzi a betáplálás helyét, és idejét, és ezeknek a részeknek az arányát tartja számon. Ezzel eredményként egy adott időpontban egy adott csomópontban lévő víznek nem csak az átlagos korát, hanem a korának szélső értékeit is szolgáltatja, és a források azonosítására is lehetőséget ad.

A vízkor számításnál betáplálásnak számít minden olyan csomópont, amelyből egy szimulációs lépcsőben víz kerül a rendszerbe. Ezek: tárolók, kutak, koncentrált betáplálások.

A HCWP programban alkalmazott algoritmus működését mutatja a következő ábra, vagyis azt, hogy az egyes hálózati csomópontoknál hogyan keveredik és halad tovább a vezeték által szállított víz:



4-22. ábra – Vízkor számítás alapelve

Az egyes jelölések jelentése:

- j – a csomópontból vizet elvezető ágak ciklus változója
- i – a csomópontba vizet bevezető ágak ciklus változója
- $V_{be\ i}$ – a csomópontba vizet bevezető i -edik ágon a homogén vízdugó térfogata
- $Q_{be\ i}$ – A csomópontba vizet bevezető i -edik ágon a vízszállítás
- $Q_{ki\ j}$ – a csomópontból vizet elvezető j -edik vezeték vízszállítása
- $V_{ki\ j,i}$ – a csomópontból a j -edik vezetékbe az i -edik vezetékből kikerülő víztérfogat
- t – a legrövidebb ág-kiürülési idő

Az algoritmus vázlata:

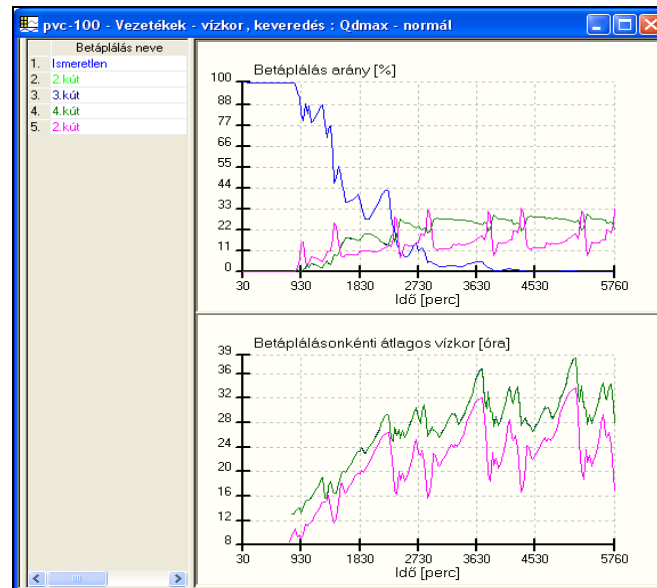
```
{
  j = 1-től m-ig:
  {
    Az előző ciklusban (ha volt) feltöltött  $V_{ki\ j}$  vízdugók elmozdulnak a vezetékben,
    hogy helyet adjanak a ciklusban feltöltendő új vízdugóknak
  }
   $t = \min_{i=1-től\ n-ig} (V_{be\ i} / Q_{be\ i})$ 
  j = 1-től m-ig:
  {
    i = 1-től n-ig:
    {
       $V_{ki\ j,i} = (t * Q_{ki\ j}) * (t * Q_{be\ i}) / (\text{szumma}_{i=1-től\ n-ig}(t * Q_{be\ i}) + t * Q_{csp})$ 
    }
     $V_{ki\ j,n+1} = (t * Q_{ki\ j}) * (t * Q_{csp}) / (\text{szumma}_{i=1-től\ n-ig}(t * Q_{be\ i}) + t * Q_{csp})$ 
  }
  i = 1-től n-ig:
  {
     $V_{be\ i} = V_{be\ i} - (t * Q_{be\ i})$ 
    Ha  $V_{be\ i} == 0$ 
    {
       $V_{be\ i}$  helyére a vezetékben következő vízdugó lép
    }
  }
}
```

A HCWP programban, hasonlóan az EPANET és PICCOLO programokhoz, a vízkor számítás eredményei a szimulációs számítás által adott időpontokban (maximum 30 percenként) kerülnek meghatározásra, az egyes vezetékekre, csomópontokban, tárolókra. Ez pedig nem más, mint a különböző betáplálásokból, különböző idő alatt odaérkező vízmennyiségek aránya.

Az eredmények általában többféle módon is megjeleníthetők.

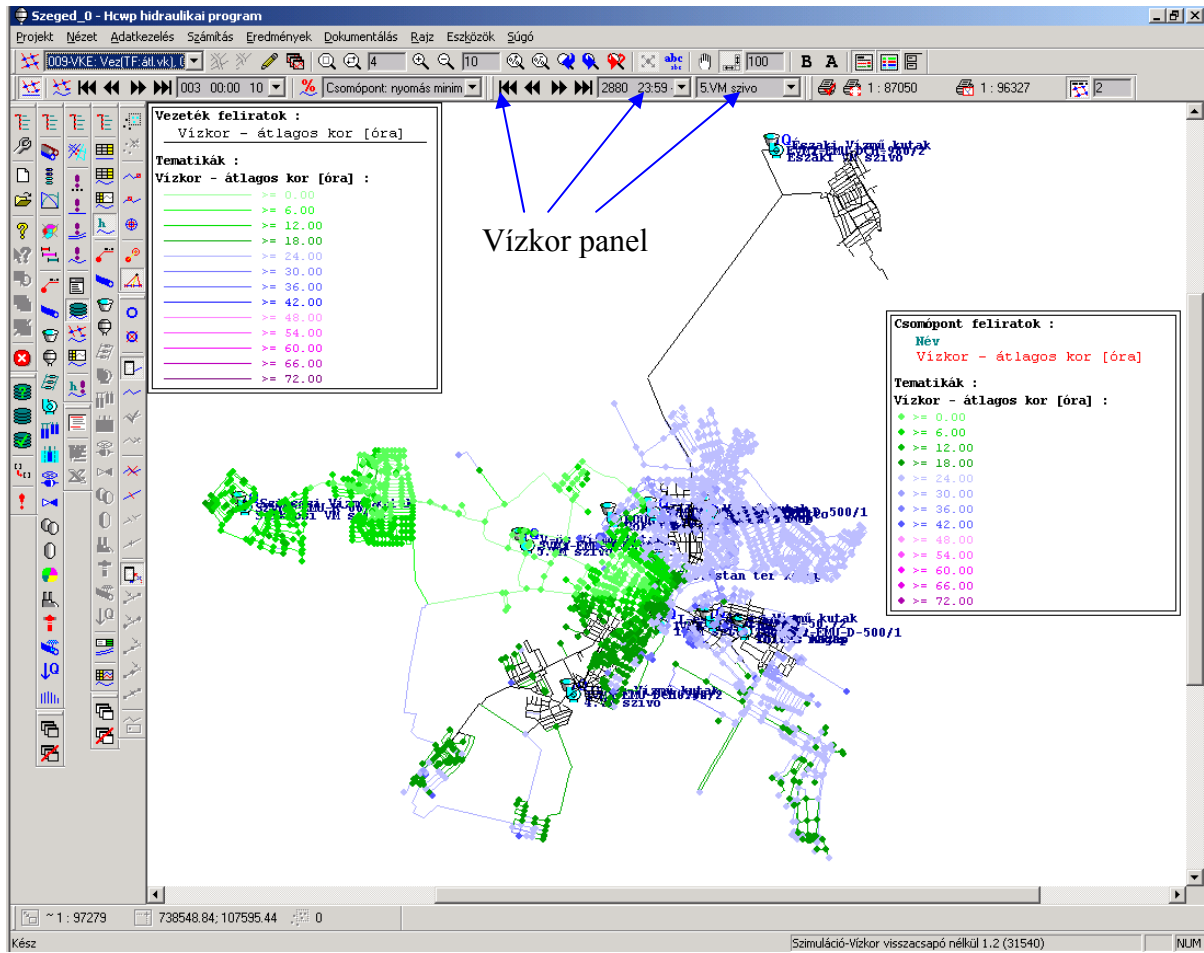
- Egyes csomópontokra, vezetékekre és tárolókra vonatkozóan táblázatos és diagram formában:
 - Az egyes forrásokból, betáplálási pontokból származó vizek aránya és annak időbeli változása

- Az egyes forrásokból, betáplálási pontokból származó vizek átlagos kora és annak változása.



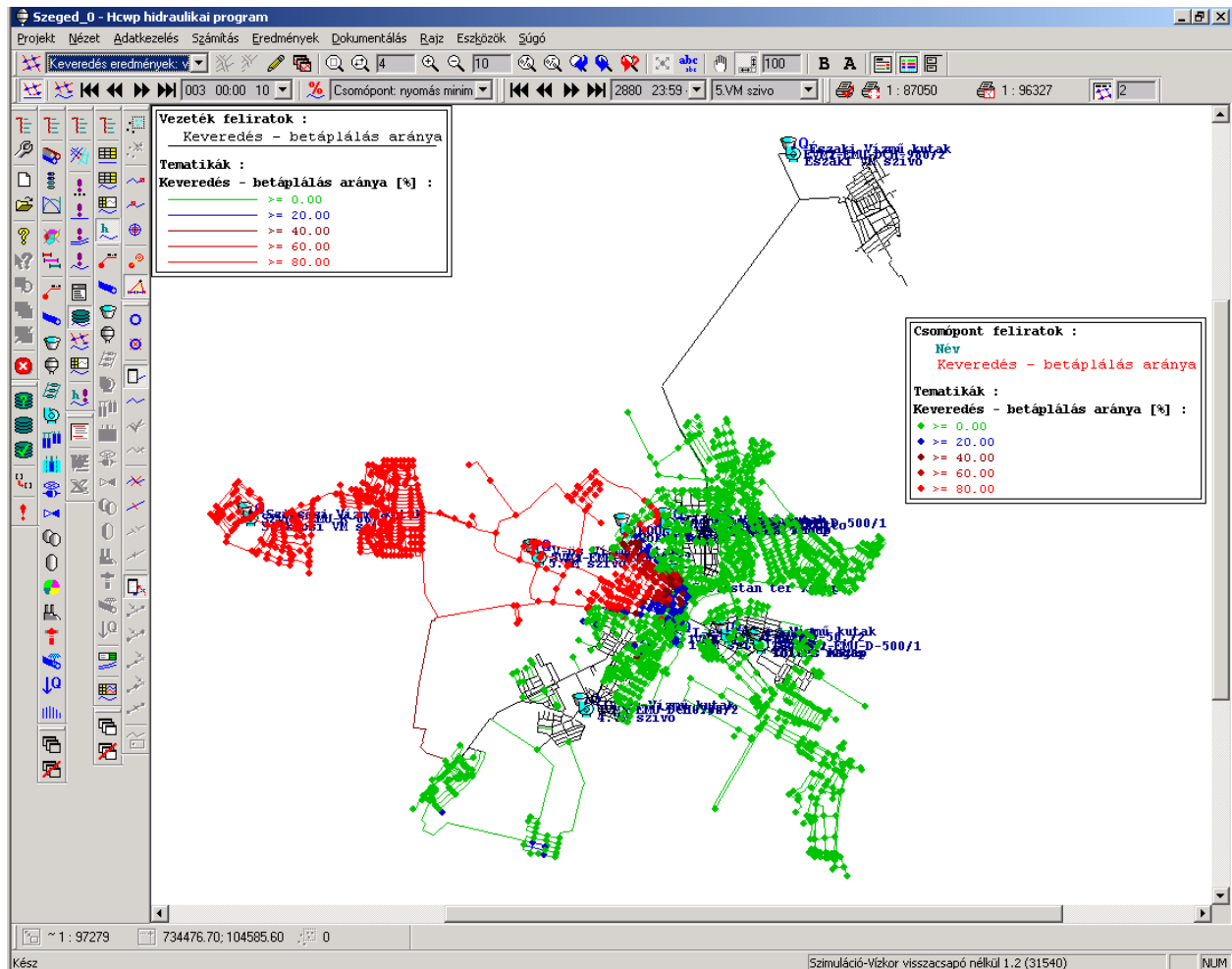
4-23.ábra – Csomóponti vízkor, keveredés ábra

- Hálózati tematikus térképek formájában:
 - Egy-egy kiválasztott forrásból származó víz kor szerinti megoszlása a hálózaton, és annak időbeli változása manuálisan vezérelhető animáció segítségével megjelenítve.



4-24.ábra – Kiválasztott forrásból származó víz kora

- Egy-egy kiválasztott forrásból származó víz térfogat aránya az egyes csomópontokon és vezetékeken, illetve ennek időbeli változása manuálisan vezérelhető animáció segítségével megjelenítve.



4-25.ábra - Kiválasztott forrásból származó víz térfogat aránya

A vízkor és keveredés számítás eredményei tervezési feladat esetében a várható vízminőségi kockázatok tekintetében adnak támpontot.

- Kimutatható, hogy egyes vízbázisok, betáplálások hatásterülete milyen kiterjedésű.
- Hol várhatóak keveredési zónák ?
- A hálózat szélső területein mekkora a várható vízkor ?

A vízkor kritikus értékére ugyan nincs egyértelműen meghatározható érték, azonban a tapasztalatok szerint a 24 óra, mint kívánatos érték szakmailag elfogadottnak tekinthető. A 24 órát meghaladó vízkorok esetében az utólagos fertőtlenítés alkalmazása megfontolandó.

4.4. Vízellátó rendszerek komplex szemléletű tervezése

A vízellátó rendszerek fejlesztési és rekonstrukciós tervezésének jelentős hagyományai vannak hazánkban. A Bozóky-Szeszich Károly, Almássy Bálint nevével fémjelzett iskolákból kikerült tervezők, a vízellátás hazai fejlesztési hőskorszakában jelentős tapasztalatokat szereztek és számos fejlesztési eredményt produkáltak. Sajnálatos módon mára ezek az ismeretek és tapasztalatok nagyrészt feledésbe merültek a teljesen szétaprózódott tervezési gyakorlatból adódóan. Ez magával hozta azt is, hogy az ezzel a témakörrel professzionálisan foglalkozó, hozzáértő specialistákra nemigen van igény, hiszen ezt az igényt már nincs aki meg tudja fogalmazni. Az igénytelenség miatt kialakult helyzetben ezért is találkozhatunk sokszor megalapozatlan, elnagyolt, elvi hibákkal teli hálózattervezési és rekonstrukciós tervekkel. Különösen a kis települések és térségi vízellátó rendszerek fejlesztési terveiben, sok esetben a nem kellően felkészült tervezőkben automatikusan előkerül a rossz beidegződés:

- „Kisrendszer – ökölszabályok alkalmazása elég !”
- „A tűzivíz igény miatt úgyis túl kell méretezni !”
- „Minek ezt vizsgálni ? Fejből megmondom mit kell csinálni !”
- „Egyébként is az üzemeltető szerint minden rendben van !”

A vízellátó hálózatok tervezésének egy-egy fázisban különböző vizsgálatokkal cáfolhatók a rossz beidegződésből adódó állítások és kétségek. Az egyes tervfázisokban az alábbi analitikus eljárásokat alkalmazhatjuk:

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – Tanulmányterv – Döntéselőkészítő tanulmány – Megvalósíthatósági tanulmány – Környezeti hatástanulmány – Engedélyezési tervek – Kiviteli terv | } | <ul style="list-style-type: none"> – Kritikus üzemállapotok vizsgálata – Csőhálózati jelleggörbék meghatározása – Szivattyú választás – Szimulációs vizsgálat – Erőtani méretezés |
|---|---|--|

Hazánkban a jelenlegi 98 %-os ivóvíz ellátottsági színvonal mellett a meglévő hálózatok bővítéseinél, fejlesztési terveinél sem szabad megfélekezni – ami a rekonstrukciós tervezésnél többé-kevésbé már a gyakorlat része – a rendszerszemléletű tervezésről. Hiszen igen ritkán, sőt úgyis lehet fogalmazni, hogy szinte soha sem merül fel komplett, zöldmezős vízellátási beruházás. Abban az esetben pedig, ha a fejlesztés, valamely meglévő hidraulikai rendszerhez kapcsolódik, még a kis rendszerek esetében is, a hidraulikai összefüggőség miatt, egy fejlesztésnek mindig vannak az egész rendszerre vonatkozó hatásai, vagyis az új létesítmények kiválthatnak a meglévő rendszeren rekonstrukciós igényeket. Éppen ezért a fejlesztési és rekonstrukciós terveket nem szabadna elválasztani egymástól, bár ennek finanszírozási (számvetési) oldalról még jelentős akadályai lehetnek.

A komplex szemléletű tervezés keretében éppen az lehet a feladat, hogy a fejlesztéseket alapelvszerűen, mindig egy meglévő rendszer rekonstrukciójával kössük össze, ahol prioritást élveznek a fejlesztés kiváltotta rekonstrukciós igények.

A rekonstrukció tervezés metodikájával már egy másik anyagban foglalkoztunk, itt annak részleteire nem térünk ki, csupán néhány fontos részletet kívánunk említeni, amennyiben azok hidraulikai rendszervizsgálatok szempontjából relevánsak.

4.4.1. A vezetékek állapot értékelés helye a tervezésben

A vízellátó rendszerek tényleges állapotáról jelenleg hazánkban csak kevés üzemeltető szervezet tud pontos képet adni. A vízművek többsége nem rendelkezik információs rendszerrel, amelyek a művek egyes objektumainak elvárható részletességű műszaki gazdasági, pénzügyi történetét képes lenne feldolgozni, nyilvántartani és értékelni. Az elkövetkezendő évek egyik kiemelt fontosságú feladata az üzemeltető szervezeteknél a megfelelő információ technológia bevezetése.

Tudjuk, hogy a létesítmények legnagyobb hányadát kitevő hálózatok életkora lassan meghaladja az 50 évet, és műszaki élettartamuk sok esetben a végéhez közeledik. Ezért az egyik legfontosabb, de egyben legnehezebb informatikai feladat egy vízellátó (és csatorna) rendszerek vezetékhálózatának „feltérképezése”, majd pedig ezen adatok karbantartása. A feltérképezés alatt természetesen nem csak a csőszakaszok pontos helyének meghatározását, bemérését értjük, hanem ehhez kapcsolódóan a szakaszok az állapot- és vagyoneértékelés szempontjából lehetőleg minél több jellemzőjének az összegyűjtését is.

A vezetékszakaszok esetében igen nehéz megalapozott döntést hozni, ha nem állnak rendelkezésre, hosszabb időre visszamenőleg a szakaszokhoz kapcsolódó nyilvántartási- és eseményadatok. (Nyilvántartási adatok alatt a vezetékek elemeit, szerkezetét, összefüggéseit, topológiáját, geometriai és fizikai-hidraulikai jellemzőit, stb., az eseményadatok alatt a vezetékekkel kapcsolatos – a vezetékszakaszok esetében ide tartoznak a hiba, hibaelhárítási, javítási adatok, ezek költségei, stb. – történeti adatokat értjük.)

Azonban ha a rekonstrukciót kiváltó okokat áttekintjük látható, hogy számos olyan létezik, amely nem kötődik a vezetékek állapotához. Ezért sem elegendő a vezetékek állapotát csak önmagukban értékelni ahhoz, hogy rekonstrukciós vagy fejlesztési alternatívákat dolgozhassunk ki. Nem kerülhető meg a hidraulikai viselkedés vizsgálata az állapotértékelés mellett, sőt a technikai avulásból származó rekonstrukciós igények felmérése minden esetben meg kell, előzze az elhasználódásból származó igények meghatározását.

4.4.2. Hidraulikai analízis

A vízellátó rendszerek hidraulikai méretezésének, ellenőrzésének jelenlegi gyakorlata mintegy 35 éves múltra tekint vissza. A vizsgálatokhoz ma már jelentős tapasztalatokra építve, nagy biztonsággal készíthetők el a rendszerek topológiai, hidraulikai és fogyasztási modelljei. A modellek készítésénél egyre jelentős szerepet kap az integrált informatika, egyre folyamat közelebbivé válik a számítógépes modellezés.

Az analízis során jelentős szerepet kap a vízkormányzási stratégiák kidolgozása, mely segítségével értékelni lehet a rendelkezésre álló vízbázisokat mennyiségi – és mostanában mindjobban előtérbe kerülő módon – minőségi szempontból. Meghatározhatók a stratégiaiilag fontos vízbázisok és ezekhez meghatározhatók a fő vízszállítási útvonalak, valamint az azokon jelentkező terhelések.

A vízkormányzási stratégiák ismeretében hidraulikai szempontból értékelni kell a teljes rendszert, az elemek együttműködését. Szinte a megvalósítás szintjéig ki kell és lehet dolgozni azokat a rekonstrukciós és fejlesztést igénylő beruházásokat (fejlesztési és rekonstrukciós alternatívákat), melyek már nem csak beruházási költségek minimalizálását, hanem a költség-hatékony működés szempontjait is figyelembe tudják venni.

4.4.3. Példák komplex felülvizsgálatok buktatóira

A gyakorlatunkban előfordult komplex felülvizsgálatok közül két tipikusnak mondható példát emeltünk ki, melyek jól jellemezhetik a komplex vizsgálat nélkül várható következményeket.

A példák megfelelő értelmezéséhez már most ki kell kiemelni két fontos alapelvet:

- A vízellátó rendszerek elemei műszaki élettartamának meghatározásánál a gazdaságosságból kiindulva kívánatos, hogy (elsősorban a legnagyobb számosságú elemre – vezetékekre és szerelvényekre – gondolva) a várható élettartam legalább 50 év legyen.
- Alapvető jelentőségű az üzemeltetés során az erőtani felülvizsgálattal meghatározott „határ nyomásérték” betartása.

Különösen, a hazánkban előszeretettel alkalmazott hőre lágyuló csővezetékekre jellemző, hogy a vezetéken – építési hibák miatt - komplex statikai hiányosságok lépnek fel (deformáció és káros feszültségek). Ezek a hatások a csőanyag hirtelen, gyors „öregedését”, idő előtti tönkremenetelét okozhatják. Egy-egy ilyen hatás akár 5-10 éves „öregedést” is okozhat a csővezetékben. Éppen ezért fontos, hogy a csővezetékek erőtani szempontból „normál” állapotban maradjon, így biztosítható leginkább a tervezett műszaki (gazdasági) élettartam.

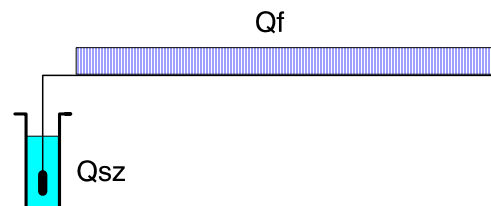
4.4.3.1. A „kis” vízellátó rendszer csapdája

Tapasztalatunk szerint változtatni kellene azon a gyakorlaton, hogy kis településeken a tervezők a költségkímélésre hivatkozva a nyomásfokozott rendszerkialakítás szorgalmazzák. Ennek a kialakításnak több hátrányos tulajdonsága is van.

A nyomásfokozott rendszereknél sok esetben, a vízbázisból (mélyfúrású kút) tisztavíz medence közbeiktatása nélkül táplálják a vizet a hálózatba, úgy hogy az alkalmazott kút hidrogeológiaiailag engedélyezett kapacitása nagyságrendileg megegyezik a fogyasztással ($Q_{\text{kút}} \approx Q_f$). Ilyen esetben a tűzoltó víz kiszolgáltatásának lehetősége nem adott, mivel az ilyen kistelepüléseken a pillanatnyi tűzoltóvíz igény nagyságrendileg megegyezik, sőt előfordulhat, hogy egy nagyságrenddel meg is haladja, még csúcsfogyasztású esetben is, a település pillanatnyi vízigényét. Ez azt jelenti, hogy a víztermelő berendezést a tűzoltó vízigény kiszolgálás idejére a hidrogeológiaiailag megengedett érték többszörösével túlterhelik, ami a kút állapotának romlásához vezethet.

A probléma megoldása természetesen evidens, hiszen ha a víztermelés és a hálózat közé beiktatunk egy tisztavíz medencét, és külön nyomásfokozást biztosítunk tűzoltás esetére, így a probléma elkerülhető. Egy régebben szokásos megoldás volt - síkvidéki területeken - erre a problémára, hogy nem térszíni tározót, hanem víztornyot építettek. Ezzel több legyet is ütöttek egy csapásra,

- A kút üzemét stabilizálták, egyenletessé tették.
- Az ellátás biztonsága jelentősen megnőtt, hiszen áramszolgáltatási zavar esetén a víztornyoból tudták biztosítani ideiglenesen az ellátást.
- A tűzoltáskor a hálózatból kivett vízmennyiség nem terhelte túl a kutat.



4-26.ábra
Nyomásfokozott rendszerkialakítás

A nyomásfokozott rendszerek másik hátrányos tulajdonságát a **4-27.ábra** alapján kívánjuk bemutatni. Az ábrán a hálózatban tartósan kialakuló sebességeket jelöltük különböző színnel (zöld tartósan 0,3 m/s alatt, kék 0,3-0,7 m/s között), a csomópontokon alkalmazott színjelölés pedig a terep feletti nyomást jelentik (zöld 20-40 m között, lila 60 m fölött).



4-27.ábra

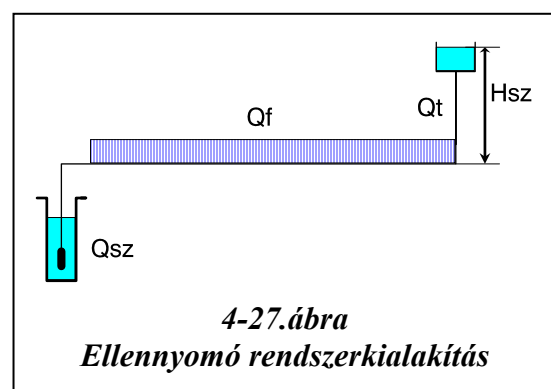
Az ábrán látható, hogy a betáplálási hely környezetében hálózati vízmozgás (kék vezetékek), intenzív, és ahogy a hálózat szélei felé haladunk az intenzitás egyre csökken. A hálózat szélein ezért miatt pangó vezetékszakaszokat talánunk. Ezekben a pangó vízterekben (zöld vezetékek) a másodlagos szennyeződés „melegágya” alakul ki.

A másik észrevétel, hogy a betáplálás környezetében a nyomások üzemi körülmények között 60-70 mvo körül alakulnak, ami hirtelen vízfogyasztás belépés miatt (csőtörés, tűzivíz használat) jelentősen még meg is ugorhat (90 mvo).

A nyomásfokozott rendszerkialakításnál maradva, az a lehetőség adódik, hogy a hálózati szivattyúkat a lehető legpontosabban illesztjük a rendszerhez (csőhálózati görbe felvétele, optimális szivattyú választás). Ez sok esetben, főleg a tűzivíz igény kiszolgálásánál azonban nem korlátozza a hálózat egy részének túlterhelését.

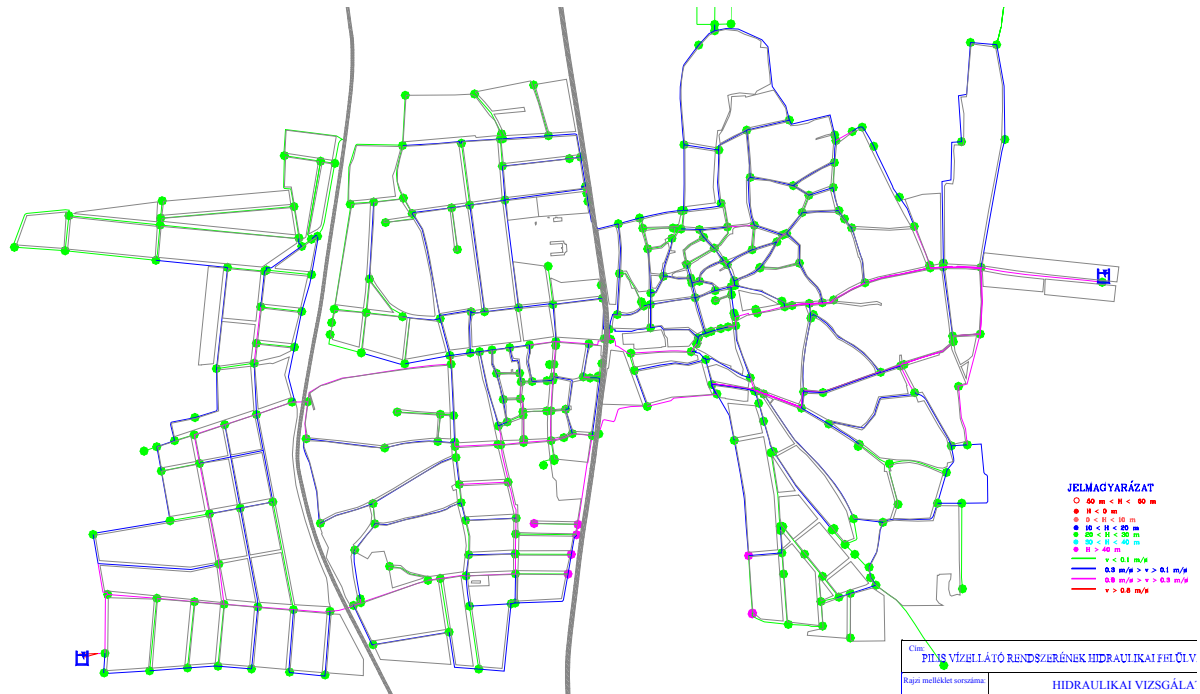
A hálózati nyomások sokkal inkább kézmentarthatóbbá válnak abban az esetben, ha ún. „ellennyomó” rendszerkialakítást alkalmazunk.

Ebben az esetben a nagy fogyasztású (és tűzivíz kivételi) időszakban a hálózat táplálása két oldalról történik (vízbázis és tározó), így a nyomásvonal sokkal kedvezőbb. A **4-28.ábrán** bemutatásra kerülő eredmény a tartósan legnagyobb sebességeket ábrázolják és a rendszeren kialakuló legkisebb üzemi nyomást.



Az „ellennyomó” rendszer egyik fő eredménye, hogy a nyomások tartósan nem haladják meg a 30-45 mvo-t. Ez az érték a tűzivíz igény kiszolgálása esetén a gépház környezetében legfeljebb

50 mvo közelébe emelkedik. A kialakítás másik eredménye, hogy a hálózat zömében a kialakuló maximális sebesség 0,3-0,7 m/s között van legalább egyszer a kiegyenlítési időszakban. Ez azt jelenti, hogy naponta egyszer „átmossuk” a hálózatot, csökkentve a pangó terek kialakulásának lehetőségét.



4-28.ábra

A másodlagos vízminőségi problémák legtöbb esetben összefüggésbe hozhatók a hálózat kialakításával. Rendszer kialakítási szempontból előnyösebb ilyen esetekben ún. „ellennyomó” megoldás, mivel vízminőségileg, energetikailag, nyomások szempontjából, vagyis hidraulikailag jobban kézben tarthatóbbá válik a hálózat. Így feloldható a vízigények és a tűzivíz által igényelt hálózat kialakítás „ellentmondásai”.

Az alulterhelt hálózatra jellemző, hogy a vízben lévő anyagok kiülednek a hálózatban. Maga a kiüledés ugyan okozhat vízminőségi panaszokat (vízáramlás irányának hirtelen megváltozásából adódó felkeveredés), de igazán az üledéken és csőfalon elszaporodó biofilm jelenthet közegészségügyi kockázatot. A bemutatott hálózati áramképek alapján látható, hogy a nyomásfokozott üzemeltetésnél a hálózat jelentős részét - ellennyomós esetben kisebb részét - kell rendszeres hálózatmosatásnak alávetni, és ez üzemköltség megtakarítást eredményezhet.

A példa és egyéb vizsgálataink alapján kijelenthető, hogy a hálózat kialakítás optimális megválasztása megtakarítás eredményez. A pénzben meghatározható megtakarításban természetesen nem szerepel a tározásból származó ellátási biztonság (tűz esetén is!!!), a hálózati nyomások kisebb ingadozásából (30-45 m szemben a nyomásfokozott rendszerrel előforduló 60 m körüli maximális nyomás, ami a 6 bar-os csöveknél megnöveli a hibatartományt) származó hibajavítási költség csökkenés. Ez azt jelenti, hogy egy ellennyomó tározó beruházási költsége kármegelőző, kárhatás csökkentő beruházásnak is tekinthető.

4.4.3.2. A rendszer kialakítás energetikai összehasonlítása

A hálózati szivattyúk teljesítmény igénye nyomásfokozott rendszer esetén csúcsban nagyobb (kb. 30 %), és így a csúcsidőben lekötött teljesítmény igény is megnő. A két üzemeltetésből

adódó átlagokkal számítva az alábbi táblázatban láthatjuk az évi becsült üzemeltetési költségek alakulását.

		Hónapok száma	Teremelt vízmennyiség m ³ /d	Fajlagos üzemköltség Ft/m ³	Napi üzemköltség Ft/nap	Időszaki üzemköltség Ft
Ellenyomó	Nyári időszak	3	1750	3,34	5846	526 146
	Átlagos időszak	9	1346	3,26	4389	1 185 101
	Téli időszak	3	1077	3,26	3511	316 027
	Évi energiaköltség					2 027 274
Nyomásfo- kozás	Nyári időszak	3	1750	4,342	7600	683 990
	Átlagos időszak	9	1346	4,238	5706	1 540 632
	Téli időszak	3	1077	4,238	4565	410 835
	Évi energiaköltség					2 635 457

4-29.ábra - Szivattyúk évi üzemköltsége

Példánkban a megtakarítás várható értéke hozzávetőlegesen 5-600 eFt-ra tehető évente.

4.4.3.3. „Kis térségi” rendszerek csapdái

A kistelepülési rendszereknél tapasztalható problémák a kistérségi rendszereknél másképp jelentkeznek. Itt alapvető kérdés a vízkormányzási stratégiák korrekt és részletes elkészítése és ezek ellenőrzése. A vízkormányzási stratégiák megfontolt készítése és elemzése során szinte rendszeresen merülnek fel nem szokványos, extra üzemállapotok kiszolgáltatásának igényei. Erre jó példa egy térségi ellátó rendszeren létesítendő „biztonsági” összekötés tervezése. Példánkban a tervezési feladat szerint az A és B településeket összekötő, tervezendő vezetéken két egymástól jelentősen eltérő üzemállapot fordulhatott elő:

- normál üzemen gravitációsan naponta 2000 m³ víz gravitációs átvezetése volt a feladat A-ból B-be
- „havária” esetben pedig ezt a vízmennyiséget éppen az ellenkező irányba kellett szállítani, természetesen nyomásfokozással.

A hidraulikai számításokból kiderült, hogy normál gravitációs üzemen az „igényelt” 2000 m³/d vízmennyiség 4 bar maximális nyomásterhelést jelentett a vezetéknek. Ami azt jelentette, hogy a PN 6 bar-os, vagy a tranzienseket is figyelembe véve PN 10 bar-os cső megfelel. Azonban havária esetén, megfordított irányú szállításkor, a nyomásfokozási igény miatt, a vezeték üzemszerű nyomásterhelése 8 bar közelébe emelkedik. Amennyiben tehát élni akarunk az üzemszerű idején megfordított irányú szállítás lehetőségével, úgy PN 16 bar-os csövet kell alkalmaznunk (nagyobb beruházási költség), vagy a 10 bar-os vezeték nyomáskorlátja miatt az átadható vízmennyiség 1000-1300 m³/d-re csökken (6-7 bar induló nyomással).

Kistérségi rendszerek távvezetékeinél nagyon fontos a tervezés alapjául szolgáló vízkormányzási stratégiák kidolgozása, ezek hidraulikai elemzése. A szállítható vízmennyiség meghatározásánál a szükséges vízmennyiséghez, nem csak a csőátmérőt, hanem az alkalmazott cső nyomásfokozatát is igazítani kell. A távvezetékeknél lényeges a „határ nyomásérték” meghatározása és előírása, mert a későbbi igénynövekedésnél nem alkalmazhatunk egyszerűen nagyobb emelőmagasságú szivattyúkat, hanem a „határ nyomásérték” betartását több közbenső átemelő létesítésével, vagy párhuzamos vezeték építésével tudjuk biztosítani.

5. Alapadatok beszerzése

- *Hagyományos adatgyűjtés és forrásai (térképek, digitalizálás hibái, hibák szűrése – javítása, javítás automatizálása stb.)*
- *Termelési adatsorok elemzésének módszertana – vízigények megalapozása (adatsorok szabályos hibáinak kiszűrése, periodicitás elemzése – éves, szezonális, havi, heti, napi, napon belüli –, termelésre ható egyéb tényezők bemutatása – termelés csökkenése, nyugalmi szint változása)*
- *Modellkészítés és karbantartás informatikai követelményei*

Általában a közmű hálózatok modellezésének, így ezen belül is a vízellátó rendszerek modellezésének legmunkaigényesebb feladatrésze a modellépítés. A modellépítés során a valóságos rendszer adatait gyűjtjük össze, és az alkalmazott matematikai modell(ek) igényei szerint rendszerezük. Ebben a tekintetben a modellezés egy meglehetősen szigorú szabályrendszer szerinti nyilvántartási igényt fogalmaz meg. A közműhálózatok nyilvántartásának követelményeit sokféle igény alapján lehet meghatározni és ezek között a topológia és a tartalom tekintetében talán a legszigorúbb, legösszetettebb és legegzaktabban meghatározható a hálózati modellek készítésére vonatkozó szabályrendszer.

Ebben a fejezetben áttekintjük a jelenlegi szakmai gyakorlatban rendelkezésre álló adatforrásokat és felhasználási lehetőségüket, majd meghatározzuk azokat az informatikai követelményeket, amelyek a hálózat nyilvántartások korszerű, a felmerülő hálózatmodellezési igények mindegyikét maradéktalanul kiszolgálni tudó struktúráját meghatározzák.

5.1. A rendszermodellek elkészítéséhez szükséges adatok

Ebben a részben áttekintjük azokat a modell elemeket, amelyekből a hálózati modellünk felépül és meghatározzuk a hidraulikai számításokhoz elengedhetetlenül szükséges azon paramétereiket, amelyek kiindulási, vagy ellenőrző adatai a hidraulikai számításoknak.

5.1.1. A csővezetékek adatai

Az egyik legkényesebb és legmunkaigényesebb feladat a csőhálózat szakaszokra bontása. A szakaszokra bontás szabályainak meghatározásához először a vezeték objektumok hidraulikai számításokhoz elengedhetetlenül szükséges tulajdonságait szükséges áttekinteni. Ezek a tulajdonságok a következők:

Alapadatok (nyilvántartási adatok):

Adatmegnevezés	Dimenzió	Megjegyzés
Vezeték nyomvonal	EOV koordináták [m]	A vezeték 3D nyomvonala töréspontjaival megadva. Hazánkban a koordinátákat EOV-ban kell megadni. A hidraulikai számításokhoz szükséges pontosság meghatározásának alapja a vezeték hosszúsága ! Ezért a modellek alkalmazásában megengedett az is, hogy a tényleges nyomvonal és a modellen végzett számítások eredményeinek megjelenítéséhez használt nyomvonal jelentősen eltérjen egymástól, bár ez nem szerencsés megoldás, mivel a tematikus térképen történő megjelenítések érbeli azonosíthatóságának lehetősége, a vizuális értékelés hatékonysága jelentősen leromlik !
Kezdőcsomópont	-	A vezetékszakasz elejét azonosító logikai csomópont azonosítója. Ez praktikusán egy sorszám.

Adatmegnevezés	Dimenzió	Megjegyzés
Végcsomópont	-	A vezetékszakasz végét azonosító logikai csomópont azonosítója. Ez praktikusán egy sorszám.
Belső átmérő	[mm]	Nem tévesztendő össze a névleges átmérővel !
Abszolút érdesség	[mm]	A csőfal belső érdessége. Erre vonatkozóan általában a gyártók adatait, illetve irodalmi adatokat szoktunk megadni. Ritka kivételes eset az, amikor az érdesség értéke mérés alapján kerül meghatározásra.

A belső átmérő és az érdesség a cső olyan tulajdonságai, amelyek általában gyártmány szintjén, és a cső aktuális állapotához tartozóan egyaránt meghatározásra kerülnek. Ezért a nyilvántartásokban ezeket mind gyártmány szinten, mind az aktuális vezeték szintjén célszerű nyilvántartani. A hidraulikai számításokhoz azonban – a vizsgálat céljától függően – tervezési feladat esetében a gyártmányhoz megadott, míg üzemtani feladat esetében – amennyiben az rendelkezésre áll - az aktuális értékeket használjuk.

Mint látható egy szakági közműnyilvántartáshoz, vagy vagyonyilvántartáshoz képest igencsak szegényes az adatigény, azonban az adatgyűjtéskor érdemes mégis a nyilvántartások vezetéséhez szükséges adatokat is rögzíteni és az adatbeszerzés pontosságát is – különösen a geometriai adatok tekintetében – a nyilvántartási igényekhez igazítani.

Megjegyezzük azt is, hogy a hidraulikai számításokhoz szükséges hálózati modell a legritkább esetben – gyakorlatilag sohasem – tartalmazza a bekötéseket (ilyen szempontból még a részletes modell is csak egyszerűsítetnek nevezhető). Hasonló a helyzet a szakaszoló elzárókkal, tűzcsapokkal, közkifolyókkal, ürítőkkel, légtelenítőkkel, és egyéb hálózati szerelvényekkel és műtárgyakkal.

A hálózat szakaszokra bontásának szabálya a fentiek alapján a következőképpen fogalmazható meg:

Vezeték szakasz határ olyan helyen veendő fel, ahol a vezeték nyilvántartás szerinti valamely tulajdonsága megváltozik.

Üzemi-mérési adatok:

A későbbi feladatok elvégzéséhez (a rendszeranalízishez, az identifikációhoz, stb.) szükséges üzemi-mérési adatok közül elsősorban a hálózat kitüntetett pontjain mért nyomásadatokra lehet szükség. A nyomásmérések esetében azonban nem szabad megfelekedni arról, hogy a mért és számított nyomásértékek összehasonlításához mindkét adatnak azonos hasonlító síkra vonatkoztatottnak kell lennie. Ehhez a nyomásmérő műszerek 0 pontjának abszolút – hasonlító sík feletti – magasságát geodéziai módszerekkel, cm pontossággal meg kell határozni. A hidraulikai számításokban, akárcsak a geodéziában a hasonlító síkot a Balti alapszintre vonatkoztatjuk.

5.1.2. Szabályozott hálózati szerelvények

A szabályozható hálózati szerelvények a hálózaton, gépházakban, medence zárkamrákban elhelyezett olyan tolózára, csapózárok, szelepek, amelyeknek a vízkormányzási és nyomásszabályozási beavatkozások modellezése szempontjából jelentősége van. A hálózaton, illetve az említett helyeken azonban jóval több ilyen berendezés is előfordul, azonban ezek közül csak azokat emeljük be a modellbe, amelyek a vizsgált vízkormányzási beavatkozások szempontjából jelentőséggel bírnak. Ilyen a szerelvények például:

- Két zóna, vagy két rendszer határán vízátdásra, és egyben annak szabályozására létesített távműködtetett, vagy önműködő berendezések (szabályozott tolózár, HAWIDO szelep, stb.).
- Tározók töltődését, ürülését szabályozó berendezések.

Alapadatok:

Adatmegnevezés	Dimenzió	Megjegyzés
Térbeli elhelyezkedés	EOV koordináták [m]	Pont 3D koordinátákkal megadva.
Logikai csomópont	-	Hivatkozás a vezetékekkel megadott valós hálózat valamely logikai csomópontjára.
Ellenállási tényező nyitott állapotban	$[s^2/m^5]$	A nyomásvesztés számításához.
Szabályozási algoritmus		A szabályozás módjától függő szabályozási algoritmus.

Üzemi-mérési adatok:

- A szerelvény aktuális üzemi viszonyai (zárt, nyitott, fojtott, nyomásszabályozási, vízhozam szabályozási adatok, stb.).
- Vízszállítás.
- Nyomástávadók „0” pontjának abszolút magassága [mBf].
- Mindkét oldali nyomás időszora.

5.1.3. Egyéb hálózati szerelvények

Hálózati szerelvényeket a hidraulikai számítási modellbe akkor emelünk be, ha azoknak a vizsgálatok során valamilyen meghatározó jellegű szerepük van. A modell elkészítése szempontjából ide tartoznak (tartozhatnak a modell szintjétől függően):

- Tűzcsapok
- Közkifolyók

Ezeket csak olyankor emeljük be a modellbe, ha kifejezett szükség van egy-egy ilyen egyedi berendezés működésének és a működés hatásainak vizsgálatára. Ilyen feladat például a tűzoltás vizsgálata.

Alapadatok:

Adatmegnevezés	Dimenzió	Megjegyzés
Térbeli elhelyezkedés	EOV koordináták [m]	Pont 3D koordinátákkal megadva.
Logikai csomópont	-	Hivatkozás a vezetékekkel megadott valós hálózat valamely logikai csomópontjára.
Ellenállási tényező nyitott állapotban	$[s^2/m^5]$	A nyomásvesztés számításához.

Üzemi-mérési adatok:

- Kezdő üzemállapot
- A szerelvény üzemeltetésére vonatkozó utasítás, szabályozó algoritmus.
- Nyomás távadó „0” pontjának abszolút magassága [mBf].
- Nyomásmérés idősor.

5.1.4. A tározók adatai

Alapadatok:

Adatmegnevezés	Dimenzió	Megjegyzés
Térbeli elhelyezkedés	EOV koordináták [m]	Pont 3D koordinátákkal megadva.
Logikai csomópont	-	Hivatkozás a vezetékekkel megadott valós hálózat valamely logikai csomópontjára.
Túlfolyó szint	[mBf]	A túlfolyó felső, bukási élének abszolút magassága.
Alsó üzemi vízszint	[mBf]	A tározóban megengedett legkisebb üzemi vízszint abszolút magassága. Ennél kisebb vízállás esetén a tározó már nem tud vizet adni a hálózatba.
Vízállás-térfogat összefüggés	[m], [m ³]	A tározó vízállása és a tárolt térfogat közötti összefüggést reprezentáló adatok. Ez lehet képlet, de lehet egy táblázat is.
Csak víztornyok esetében a toronyszárban található töltő-ürítő vezeték adatai		
Belső átmérő	[mm]	Nem tévesztendő össze a névleges átmérővel !
Abszolút érdesség	[mm]	A csőfal belső érdessége.

Üzemi-mérési adatok:

- Tározó vízállás idősor.
- Szint (nyomás) távadó „0” pontjának abszolút magassága [mBf].

5.1.5. Szivattyúk adatai

Adatmegnevezés	Dimenzió	Megjegyzés
Térbeli elhelyezkedés	EOV koordináták [m]	Pont 3D koordinátákkal megadva.
Logikai csomópont a szivattyú szívóoldalán	-	Hivatkozás a vezetékekkel megadott valós hálózat valamely logikai csomópontjára.
Logikai csomópont a szivattyú nyomóoldalán	-	Hivatkozás a vezetékekkel megadott valós hálózat valamely logikai csomópontjára.
A szivattyú jelleggörbéje		Q-h és Q-P, vagy Q-η jelleggörbe pontok, vagy egyenlet.

Üzemi-mérési adatok:

- Kezdő üzemállapot.
- Üzemrend, a berendezés használat idősora, vagy szabályozási algoritmus.
- Nyomás távadók (szívó- és nyomóoldali) „0” pontjának abszolút magassága [mBf].
- Nyomásmérés (szívó- és nyomóoldali) idősorok.
- Vízszállítás idősor.
- Teljesítmény felvétel idősor.

5.1.6. Kutak adatai

Adatmegnevezés	Dimenzió	Megjegyzés
Térbeli elhelyezkedés	EOV koordináták [m]	Pont 3D koordinátákkal megadva.
Logikai csomópont a kút nyomóoldalán	-	Hivatkozás a vezetékekkel megadott valós hálózat valamely logikai csomópontjára.
Termelő cső hossza	[m]	A búvárszivattyú nyomócsonkját a kútfejjel összekötő

Adatmegnevezés	Dimenzió	Megjegyzés
		vezetékszakasz.
Termelő cső belső átmérő	[mm]	Nem tévesztendő össze a névleges átmérővel !
Termelő cső abszolút érdesség	[mm]	A csőfal belső érdessége. Erre vonatkozóan általában a gyártók adatait, illetve irodalmi adatokat szoktunk megadni. Ritka kivételes eset az, amikor az érdesség értéke mérés alapján kerül meghatározásra.
Kút jelleggörbe		A kút leszívási görbét reprezentáló pontok, vagy függvény.
A kútba telepített búvárszivattyú jelleggörbéje		Q-h és Q-P, vagy Q-η jelleggörbe pontok, vagy egyenlet.

Üzemi-mérési adatok:

- Kezdő üzemállapot.
- Üzemrend, a berendezés használat időszora, vagy szabályozási algoritmus.
- Kútfej, nyomás távadó „0” pontjának abszolút magassága [mBf].
- Kútvízszint, szint távadó „0” pontjának abszolút magassága [mBf].
- Nyomásmérés idősor.
- Kútvízszint mérés idősor.
- Vízszállítás idősor.
- Teljesítmény felvétel idősor.

5.2. Hagyományos adatgyűjtés és forrásai

A közműnyilvántartás vezetésének hazánkban jelentős hagyományai vannak. A nagyobb településeken, városokban az 1980-as években létrehozott papír alapú szakági és egyesített közmű térképek biztosították a közműegyeztetésekhez szükséges adatforrást. A kor technológiai színvonalán kidolgozott nyilvántartási metódus azonban, elsősorban a pénzügyi források hiánya miatt - sem központilag, sem lokálisan - nem került korszerűsítésre. A digitális térképezés közismert problémái miatt kialakult helyzet csak napjainkra látszik megoldódni, de jellemző, hogy az e tárgyban rendelkező 1979-es, és azt módosító 1984-es jogszabály megújítása csak napjainkban kezdődhetett el.

A helyzetet csak súlyosbítja, hogy az üzemeltető szervezetek szétaprózódtak, aminek a nyilvántartások, különösen a hálózat nyilvántartások szempontjából több kedvezőtlen hatása is volt:

- A vagyonátadások, szervezeti átalakulások kapcsán a nyilvántartás dokumentumai, tervek elvesztek.
- A működés racionalizálásakor a nyilvántartási tevékenység háttérbe szorult, sőt volt ahol teljesen fel is számolódott.
- A nyilvántartások vezetésének szükségességét felismerő, szakmailag képzett emberek eltűntek a szervezetből.
- A meglévő hálózat nyilvántartás, ha egyáltalán volt ilyen, nem került továbbvezetésre, aktualizálásra.

Mindezeket a körülményeket az is súlyosbította, hogy a nyilvántartási kötelezettséget előíró jogszabályok hatályukat veszítették és az állami- és önkormányzati igazgatásnak kisebb gondja is nagyobb volt annál, hogy ezzel a kérdéssel foglalkozzon, olyannyira, hogy még a hatályos szabályozások számonkérése is sok esetben elmaradt.

Mindezek miatt nem lehet azon csodálkozni, hogy a víziközmű szolgáltatásban csak a leginkább felkészült, és igényes szolgáltatók folytatták, illetve újították meg hálózat nyilvántartásaikat. A hazai helyzetre várhatóan még sokáig jellemző lesz, hogy a vezetékhálózatokról teljesen heterogén minőségű, rendezetlen adathalmazok állnak rendelkezésre.

A BME Rekonstrukciós projekt kapcsán, melyben 26 - a fejlesztések iránt szakmailag elkötelezett - üzemeltető szervezet vett rész, felmérést végeztünk a hálózat nyilvántartások állapotát illetően. Ennek egyik eredménye volt azoknak a kategóriáknak a meghatározása, amelyek a hazai nyilvántartások állapotát tükrözik:

1. Csupán papír alapú térképi nyilvántartás áll rendelkezésre, az is hiányosan (pl.: egyes ellátott településekről egyáltalán nincs semmilyen térkép, vagy helyszínrajz), eltérő vetületi rendszerekben.
2. Digitális térképek állnak rendelkezésre ITR, AutoCAD, egyéb Microstation, stb. formátumában, a hálózatok egy részére, de a térkép csak látványként használható a rajzokon nincsenek objektumok azonosítva. A digitalizálás során előfordul, hogy a vetületi rendszerek közti transzformációról megfeledkeztek a hozzáértés hiánya miatt.
3. Teljes körű digitális térkép, de a térkép csak látványként használható, mert a rajzokon nincsenek objektumok azonosítva.
4. Műszaki Információs Rendszerbe szervezett objektum nyilvántartás, de az objektumok geometriája és topológiája nincs tárolva.
5. Műszaki Információs Rendszerbe szervezett objektum nyilvántartás, ahol az objektumok geometriája is tárolásra kerül, de külön adatbázisban az attributív adatoktól. A hálózati objektumok topológiáját, kapcsolatait nem gráffal írják le. Az adatbázisból nem gyártható le közvetlenül egy hálózatszámítási modell.
6. Műszaki Információs Rendszerbe szervezett objektum nyilvántartás, amelyben az objektumok geometriai, topológiai és egyéb jellemző tulajdonságait leíró adatok egységes konzisztens adatbázisba rendezettek, melyből a hálózatszámítási modell is automatikusan generálható.

A hálózati modell előállításának folyamatán a legkedvezőtlenebb 1. esetből kiindulva haladunk végig, hiszen a többi állapot a folyamat közbeni állomásainak tekinthető.

A hagyományos papír alapú térképek, helyszínrajzok esetében az elvégzendő munka a következő részekből tevődik össze:

1. A vizsgálandó területre vonatkozó térképek, helyszínrajzok összegyűjtése.
2. Helyszínrajzok digitalizálása relatív koordinátákkal. A hálózati modell automatikus generálását jelentősen megkönnyíti, ha a digitalizálás során a következő szabályokat alkalmazzuk:
 - a. A digitalizálást úgy kell végezni, hogy minimálisan csőanyag és csőátmérő szerint szeparáljuk a szakaszokat. Amennyiben további tulajdonságok szerint is tudunk szeparálni, úgy az adatbevitel még hatékonyabb lehet (pl. életkor, tulajdonos, stb.).
 - b. A térképen az egyes objektumok topológiai kapcsolatait geometriai szabályok alapján lehet definiálni (pl. vezetékek végpontok egybeesése). A szabályok alapján az egyes objektumok relációi, kapcsolatai is létrehozhatók az adatbázisban. A szabályok betartását ellenőrizni kell, amit célszerű segéd szoftverek felhasználásával végezni.

3. A digitalizált helyszínrajzokon legalább két pont térbeli azonosítása valós EOVS koordinátákkal.
4. A digitalizált hálózati modell transzformálása EOVS-ba.
5. A strukturált, topológiailag ellenőrzött digitális rajzból speciális szoftver segítségével a hálózati geometria és attribútumok feltölthető bármely hálózat nyilvántartási, vagy hidraulikai szoftver adatbázisába, a szoftver adatbázis struktúrájának és szabályrendszerének ismeretében.

A digitalizálásnál bizonyos szabályok betartásával a modellkészítés automatizálásának lehetőségét teremtjük meg. Ez a munkaráfordítást jelentősen csökkenti, és a pontosságot növeli. Ilyen szabályok a következők:

1. Két vezeték modellező poligon (vonallánc) akkor csatlakozik egymáshoz, ha legalább egy-egy végpontjuk geometriailag egybeesik.
2. Ha egy vezeték végpontja egy másik vezeték vonalláncának közbenső töréspontjára illeszkedik, nem jelent összekötést ! Ezt úgy kell értelmezni, mint egymást térben elkerülő vezetéseket.
3. A végpont nélkül vízszintes vetületben egymást metsző vezetéseket nincsenek egymással összekötve, egymást a térben elkerülik, az összekötés csak látszólagos.
4. Egy vezeték kezdő és végpontja nem eshet geometriailag egybe.

Mindezen szabályok mellett azonban számos hibát lehet elkövetni. Ilyenek lehetnek a következők:

- Egymásra digitalizált, duplikált szakaszok.
- Egymást teljesen, vagy részben elfedő vezetékszakaszok.
- „0” hosszúságú vezetékszakaszok.
- Vezeték végpontok nem találkoznak pontosan.
- Vezeték végpont egy másik vezeték közbenső töréspontjára csatlakozik.
- Valamely tulajdonság váltásnál nem kezdődik új objektum.

A digitalizálási hibák keresése javítása egyedül szoftveres megoldással hatékony !

A hálózati adatok beszerzésének másik problematikus része a magassági adatok beszerzése. A számításokhoz és az eredmények értékeléséhez a következő adatokra van szükségünk:

- Terepszintek a vezeték nyomvonala mentén [mBf].
- A vezeték záradékának (csőtető) magassága a magassági töréspontokban [mBf]. A dolog problematikája abból adódik, hogy a vezeték vízszintes és magassági töréspontjai nem feltétlenül esnek egybe.
- Maximális nyomásigény terep felett a vezeték mentén, vagy végpontján.

Nyilvántartási feladatok esetében a megkívánt pontosság cm nagyságrendű ! Abban az esetben azonban, ha csupán hidraulikai számításokhoz kívánjuk felhasználni az adatokat méteres pontosság is megfelelő lehet. Így használhatunk digitális terepmodellt, vagy digitalizált szintvonalakat is. A vezeték záradékának magassága elsősorban nyilvántartási szempontból lényeges, mivel a nyomás és nyomásigények értékeléséhez elegendő a terephez képesti relatív érték.

A magassági adatok tekintetében azonban ki kell emelnünk egy a távvezetékeknél jellemző problémát. Ez a vezeték magas pontjainak pontos ismerete. Ezeknek a helyeknek a pontos ismerete a hidraulikai számításoknál is jelentős, mivel az itteni nyomáshiányok vízszál szakadáshoz, és az alkalmazott számítási módszer elvi ellehetetlenüléséhez vezetnek, ami e mellett még üzemzavari kockázatra is felhívja a figyelmet (nyomáslengés, csőtörés, talajvíz beszivárgás - légtelenítés, légbeszívás).

Mindezek a rendkívül munkaigényes, ebből következően drága munkarészek megtakaríthatók, ha folyamatosan karbantartott digitális, objektum alapú, tréinformatikai elven működő hálózat nyilvántartást vezetünk.

5.3. Vízigények megalapozása – Értékesítési és termelési adatsorok elemzésének módszertana

A vízigények, a vízfogyasztás, a terhelés különböző időhorizontokra történő meghatározása a vízellátó hálózatok tervezésének másik kulcsfontosságú feladata. Az elmúlt évtizedekben bekövetkezett változások, nevezetesen a víznek valós, vagy azt megközelítő értéken való szolgáltatása miatti fogyasztás csökkenés vízigény csökkenésben is tetten érhető. A prognózisok készítése során nem hagyhatók figyelmen kívül a közelmúltban a vízfogyasztásban érzékelhető változások tendenciái. Ebből a szempontból vizsgálni célszerű a tervezési területen működő vízi közmű szolgáltatók vízértékesítési és víztermelési adatait.

Az elemzések homlokterében a vízigény számítások következő alapadatai szerepelnek:

- Fajlagos vízfogyasztás (lakosság, közületek, ipar)
- Veszteség
- Évszakos egyenlőtlenségi tényező

A felsorolt alapadatok közül a **fajlagos vízfogyasztást** vízértékesítési adatok alapján, településenként, és azon belül lakosság és közület szerint szeparálva tudjuk meghatározni. A lakossági, és/vagy kommunális fajlagos vízigény megállapításához a fogyasztási helyekre meghatározható éves átlagos vízfogyasztáson kívül a település hozzávetőleges, statisztikai alapon meghatározott lakos számot, illetve annak trendjét is ismerni kell.

Meg kell említeni, hogy a nagyobb ipari, mezőgazdasági fogyasztók, ipari parkok koncentráltan jelentkező vízigényével mindig érdemes egyedileg foglalkozni !

A **veszteség** meghatározását általában nyomászónánként, vagy ha a rendszereken a szállítás közbeni, átadási pontokon a vízmérés megoldott akár településenként is meg lehet valósítani. Az utóbbi esetben a veszteség értéknek kiindulása az éves értékesítési különbözet meghatározása, melyet a saját, technológiai célú vízfelhasználással csökkentve kapjuk a tényleges veszteség értékét. Ennek idősora települési hálózat állapotára, vagy annak változására vonatkozóan is hordoz információt.

Az **évszakos egyenlőtlenségi tényező** meghatározásához napi gyakoriságú adatokra van szükség. Ilyenek kizárólag a termelési oldalon keletkezhetnek, és elsősorban azoknál a vízműveknél, ahol teljes körben működő folyamatirányítás és folyamatfelügyelet található. Az évi maximális és átlagos víztermelés [m^3/d] arányából számítható az évszakos egyenlőtlenségi tényező.

Megjegyezzük, hogy a vízértékesítésből származó éves átlagos vízfogyasztási adatot a termelésből származó maximális termeléssel nem célszerű összehasonlítani, mivel komoly hibát

véhetünk avval, hogy a termelési adat tartalmaz veszteséget, míg az értékesítési nem. Ha azzal a feltételezéssel élünk, hogy a veszteség nagysága mindig konstans érték szerint arányos a termelt vízmennyiséggel, úgy termelési adatok alapján számított évszakos egyenlőtlenségi tényező a vízfogyasztásból származtathatóval egyenértékűnek vehető.

A **vízfogyasztás és vízigények időbeli változásának meghatározása** természetesen nem csak az évszakos változásokra kell, kiterjedjen. Különösen üdülőterületeken figyelhető meg egy sajátosan a nyári üdülőszezonban jellemző **heti periódus**. Ennek sajátossága a hétvégi (szombat-vasárnap) csúcs. Az ingadozás figyelembe vétele a csúcs kapacitások csökkentésében lehetséges, amikor is megfelelő tározó térfogatok létesítésével víztermelő kapacitás létesítése váltható ki.

Az időbeli változások legrövidebb ciklusa a napi (24 órás) ciklus. Eerre vonatkozó adatsorok beszerzése nyomásházánkénti bontásban valósítható meg. Kivételes esetben, amikor a hálózaton több vízhozam mérő és távadó is van szisztematikusan telepítve, nyomás házánál kisebb léptékben is készíthető vízmérleg, illetve vízfogyasztási idősor.

A termelési adatsorok elemzésének speciális területe a felszínalatti vízkészletek állapotának követése. Ebben a tekintetben országosan is szabályozott adatgyűjtés folyik, hiszen nemzeti érdek a felszín alatti vízkincs állapotának és mennyiségének nyilvántartása. Egy-egy közműfejlesztési, és/vagy rekonstrukciós tervezés kapcsán mindenféleképpen tájékozódni kell a rendelkezésre álló vízbázis(ok) jövőben várható állapotáról, az állapotváltozások lehetőségéről.

5.4. Modellkészítés és karbantartás informatikai követelményei

A vízhálózatok modelljeinek elkészítéséhez és karbantartásához ma már vitán felül áll, hogy a korszerű térinformatikai alapú, digitális nyilvántartások létrehozása és vezetése melléktermékeként kerülhet sor a leggazdaságosabban. Amennyiben a vízi közmű üzemeltetők a jogszabályokban előírt nyilvántartási kötelezettségeiket meghaladóan digitális formában, térinformatikai alapon vezetnek nyilvántartásaikat, akkor megfelelő struktúráltágú adatbázis esetében egy-egy hálózati modell (ebben az esetben nem csak vízhálózatról, hanem csatornáról is szó lehet) előállítása csupán egyszerű relációs adatbázis lekérdezési feladattá degradálható.

Természetesen, ahhoz hogy ezt meg lehessen tenni rendkívül alapos előkészítő és karbantartó munkára van szükség, azonban az elérhető eredmény igencsak kívánatos:

- Naprakész, közműegyeztetésre alkalmas nyilvántartás térképszerű és alfanumerikus megjelenítéssel.
- Vagyonkataszter, mint a vagyongazdálkodási, és vagyonértékelési feladatok alapja.
- Műszaki objektum nyilvántartás
 - a karbantartási feladatok tervezéséhez,
 - hibaelhárítás, és karbantartás eseményadatainak rögzítéséhez,
 - objektum állapotfelvételhez és állapotértékeléshez.

A többféle szempontnak való megfeleltetés azonban rendkívül gondos előkészítő és elemző munkát igényel az egyes nyilvántartásba bekerülő objektum típusok és jellemző tulajdonságaik meghatározásakor.

A következőkben a hálózatmodellezéshez szükséges speciális nyilvántartási feladatokra kívánjuk a figyelmet irányítani.

5.4.1. A csővezetékek adatai

A csővezeték szakaszok adatai ideális esetben a korszerű térinformatikai szemléletű adatbázisba foglalva állnak rendelkezésre. Ez a következőket jelenti:

- A teljes hálózat vezetékszakaszokra van bontva, ahol egy vezetékszakasz tekintetében a következő adatok nem változnak. Ilyenek például:
 - Műszaki adatok: csőanyag, névleges átmérő, vagy vezeték gyártmány stb.
 - Számviteli adatok: Létesítés, üzembe helyezés, megszüntetés időpontja, beruházási érték, jelenérték, értékcsökkenési ráta, stb.
 - Geometria adatok: szelvény alak és méretek.
- A vezetékszakaszok úgy vannak kijelölve, hogy elágazásnál, vagy bármely paraméter változásánál új szakasz kezdődik.
- A vezetékszakasznak külön jellemzője a nyomvonal 3D geometriája.
- A vezetékhálózat topológiai (kapcsolatok) leírásáról, ahol az lehetséges - implicit módon - a geometria kapcsán, ahol nem lehetséges ott logikai csomópontok alkalmazásával kell gondoskodni. Az előbbi esetben a vezeték végpontok pontos geometriai illeszkedéséről gondoskodni kell !
- A vezetékszakaszok, házi bekötések és a fogyasztási helyek között relációs adatkapcsolatot kell létrehozni. Ez lehetséges direkt geometriai alapon is, amennyiben a bekötő vezetékeket is a hálózat szerves, geometriailag is kezelendő részének tekintjük, és ennek végpontjánál találhatók a fogyasztási helyek.

5.4.2. Hálózati szerelvények

Ezek a szerelvények a hálózat meghatározott pontján helyezkednek el, és általában vezetékszakaszok végeihez, vagy valamely másik szerelvényhez, objektumhoz csatlakoznak. Ennek megfelelően a kapcsolatot a hálózattal geometriai alapon, vagy logikai csomópontokkal meg kell teremteni.

A nyilvántartási feladatok megfelelő ellátásához azonban további adatokra is szükség lehet:

- Szerelvény gyártmány típusa.
- A szerelvény elhelyezésének sémarajza, vagy fényképe, az összes kapcsolódó szerelvény feltüntetésével.
- A szerelvény működésének, a működés alapfeltételeinek leírása, üzemeltetési, karbantartási utasítás.
- A szerelvényt meghajtó szerkezet (ahol ez van) villamos-ellátásának sémája, a lehetséges energiavételezési módok feltüntetésével.

A vízellátó hálózatok esetében sokszor a szerelvények védelme, kezelésének, karbantartásának megkönnyítése céljából ezeket a berendezéseket aknáknak helyezzük el. A nyilvántartásban természetesen az aknáknak is szerepelniük kell, bár ezeket nem szoktuk a hidraulikai számításban forrás adatként felhasználni.

5.4.3. A tározók adatai

A nyilvántartási adatokból a hálózati modellben alkalmazandó tározó modellt akkor lehet előállítani, ha az 5.1.4. pontban meghatározott adatokat a nyilvántartás tartalmazza. Ezek közül talán a legkomplikáltabb a tározó és a hálózat kapcsolatának megadása. Bár topológiaiilag a tározó csupán egy csomóponton csatlakozik a hálózathoz, mégis a tározók zárkamrájának kialakítása okozhat gondot, különösen olyan esetben, ha az ott elhelyezett szerelvényeknek szabályozási szerepe van. Ilyen esetekben a zárkamra szerelvényeit az 5.1.3. és 5.4.2. pontokban foglaltaknak megfelelően külön kell modellezni !

A nyilvántartási adatok tekintetében számos kiegészítő adat is szükséges lehet. A teljesség igénye nélkül ezek közül néhány:

- A tározó típusa (medence, víztorony)
- Szerkezet anyaga (acél, vasbeton, feszített vasbeton, ...)
- Szerkezeti rajzok, tervek, megvalósulási dokumentációk.
- Zárkamra és tározótér gépészeti kialakítása, vízbevezetés és elvezetés megoldási módja, a töltő- és ürítő vezetékek szerkezeti kialakítása.
- ...

5.4.4. Gépházak és szivattyúk adatai

A gépházak modellbeli megjelenése adatszinten nem bír különösebb jelentőséggel, inkább csupán arra szolgál, hogy a szivattyúk csoportokba kapcsolása, és egyes adataik, főleg eredmények aggregálása elvégezhető legyen. Nyilvántartási oldalról azonban mint építmények, illetve szerkezetek saját adatstruktúrával rendelkeznek, melynek elsősorban nagyon nyilvántartási és karbantartási szempontokból van jelentősége. Néhány a gépházakhoz rendelhető evidens nyilvántartási adatsomag a teljesség igénye nélkül:

- A gépház kapcsolási rajza, sémája az összes szerelvény feltüntetésével, külön jelölve a mérőköröket és a távműködtetési lehetőségeket.
- A gépház üzemeltetésére vonatkozó utasítás, algoritmus.
- A gépház villamosenergia-ellátásának sémája a lehetséges energia-vételezési módok feltüntetésével.
- Az aktuálisan érvényes energiavételezési szerződés.

A gépházba telepített szivattyúkat tekintve az 5.1.5. pontban megadott adatokon kívül célszerű a szivattyúkhöz egyedei eseményadatokat rögzíteni. Ilyenek például:

- A beépített szivattyúk legutolsó bemérés szerinti jelleggörbéi (Q-h, Q-P).
- Karbantartási és üzemeltetési utasítások.
- ...

A szivattyúk a hálózathoz logikai csomópontokon keresztül csatlakoznak. A szivó és nyomóoldali csatlakozásokat kellő gondossággal kell modellezni, hogy a gépházon belüli energiaveszteségek megfelelő szinten legyenek figyelembe véve. Ez szinte minden esetben egyedi mérlegelést igényel, mivel itt már nem hosszú csővezetékéről van általában szó, hanem jelentős helyi veszteségek is felléphetnek. Az elhanyagolásból származó hibákat, nem kellő előrelátás esetén, a modell kalibráció során kell korrigálni.

5.4.5. Kutak adatai

A vízellátó rendszer nyilvántartása tekintetében a vízbázis egyik legkomplikáltabb létesítménye a kút. A kutakkal kapcsolatban a nyilvántartási kötelezettséget elsősorban jogszabályok határozzák meg. Az előírt adattartalom bőven meghaladja a hidraulikai számításokhoz szükséges adatok körét. Azonban a teljesség kedvéért itt is felsoroljuk, azokat az adatokat amelyek a hidraulikai számításokhoz szükséges adatok előállításához fel tudunk használni:

- A vízföldtani naplóban szereplő adatok (leszívási görbe adatai, talajadatok, stb.)
- A kút (csoport) sémarajza az összes szerelvény feltüntetésével (külön kijelölve a mérőköröket és a távműködtetési lehetőségeket).
- A beépített szivattyúk legutolsó bemérés szerinti jelleggörbéi (Q-h, Q-P).
- A kútcsoport villamosenergia-ellátásának sémája a lehetséges energia-vételezési módok feltüntetésével.
- Az aktuálisan érvényes energiavételezési szerződés.
- Nyomás- és szinttávadók "0" pontjának abszolút magassága.
- A kútcsoport üzemeltetésére vonatkozó utasítás, algoritmus.

6. Összefoglalás

Különösen a bonyolult, nagy kiterjedésű vízellátó rendszerek esetében a rendszerek fejlesztési lehetőségeinek, alternatíváinak áttekintése, a megalapozott műszaki-gazdasági döntések meghozatala ma már a világon sehol sem képzelhető el hidraulikai rendszervizsgálatok nélkül.

Emellett, a jól meghatározott módszertan mentén alkalmazott hidraulikai rendszervizsgálatoknak, a kis rendszerek esetében is komoly jelentősége lehet, amint arra a komplex szemléletű vizsgálatok kapcsán is rámutattunk.

Sajnálatos módon előfordulhatnak rossz beidegződésekből, szakmai ismeretek hiányával párosuló elbizakodottságból adódó súlyos tévedések, melyeknek később a fogyasztók és az üzemeltetők fogják meginni a levét. Ezek a hibák csak akkor küszöbölhetők ki, ha jól meghatározott módszertan szerint alkalmazzuk a hidraulikai rendszervizsgálatokat, mint elsősorban a koncepcionális tervezési munka egy fontos fázisát.

Éppen ezért, és különösen egy olyan időszakban, mikor a hazai vízellátás fejlesztésében egy rendkívüli forráslehetőség áll rendelkezésre, kiemelt jelentőséget kellene tulajdonítani a színvonalas előkészítő, tervező munkának (műszakilag megalapozott gazdasági optimumkeresés). Tudjuk, hogy bonyolult, több települést ellátó térségi, regionális rendszerek kialakításakor az alternatívák sokasága jöhet szóba. Nem tartjuk szerencsésnek, ha a szóba jöhető alternatívákat kidolgozás nélkül, megalapozott műszaki-gazdasági adatok nélkül intuitív alapon hasonlítják össze és választanak megoldást. Egy beruházási és beruházás előkészítési dömpingben csak és kizárólag a határozott és megbízható módszertani előírások, és azok számonkérése garantálhatják, hogy a beruházások költséghatékonyan valósuljanak meg.

Tanulmányunkban éppen ezért, igyekeztünk feltárni a lehetőségeket, meghatározni azt a módszertant, ami elvárható lenne a Vízminőség Javító Programban megvalósuló fejlesztések előkészítésében. A tanulmányban ismertetett módszerekkel már a koncepcionális tervezés fázisában lehet hatékonyan, és meglehetősen pontossággal műszaki alternatívák sokaságát kidolgozni, az alternatívákhoz beruházási, üzemköltségeket, sőt vízminőségi jellemzőket is rendelni (vízkor). Ez a technológia lehetőséget biztosít a műszakilag-, gazdaságilag- és vízminőség szempontjából is legkedvezőbb megoldások megtalálására.

Tanulmányunk 4.1 fejezetében meghatároztuk a meglévő rendszer üzemeltetésének hatékonyabbá tételét, illetve a távlati fejlesztések rendszerbe illesztését szolgáló hidraulikai rendszervizsgálatokkal kapcsolatos műszaki, és műszaki-gazdasági célokat.

A 4.2, 4.3, 4.4 fejezetekben bemutattuk az alkalmazható hidraulikai vizsgálati módszereket, a hidraulikai számítások, vizsgálatok lehetséges eredményeit, az erre alapozott szükséges beavatkozásokat, ezen belül is azokat, amelyeknek közvetlen vagy közvetett hatása van a hálózati vízminőségre, külön nevesítve egyúttal a rekonstrukciós feladatok közé illeszthetőket.

6.1. Követelmények

A hidraulikai rendszervizsgálatok alkalmazásának feltételei:

- A meglévő vízellátó rendszerek szakági közmű és műszaki objektum nyilvántartásának vezetése, naprakészsége, pontossága.
- Fogyasztási, vízértékesítési és víztermelési adatok szervezett gyűjtése és rendszeres statisztikai értékelése.
- A hálózathidraulikai modellek készítésére, alkalmazására, az eredmények értékelésére alkalmas szakember alkalmazása.

A hidraulika rendszervizsgálat módszere:

- Ellátandó terület lehatárolása
- Fejlesztési időhorizontok meghatározása
- Vízigények meghatározása
- Vízbázisok kapacitásának, és minőségének feltárása
- Vízszállítási útvonalak kijelölése
- Vízkormányzási stratégiák készítése
- Hidraulikai vizsgálatok
 - Meglévő rendszer vizsgálata
 - Modell kalibráció és validáció
 - Szivattyúk, kutak
 - Hálózat
 - Jellemző fogyasztási esetek és üzemállapotok vizsgálata, a meglévő hiányosságok, nem megfelelőségek feltárása.
 - Vizsgálat a távlati időhorizontokra
 - A kidolgozott vízkormányzási stratégiák alapján a hálózat kialakítás meghatározása elsősorban üzemállapot vizsgálatokkal, esetleg szimulációval.
 - Szivattyúk kiválasztása
 - Üzemeltethetőség ellenőrzése, az üzemeltetés energiaköltségeinek becslése.
 - Vízkor és vízkeveredés meghatározása. Szállítási útvonalak mentén létesítendő fertőtlenítő állomások helyének meghatározása.
- Létesítési és üzemeltetési költségek számítása a hidraulikai számítások eredményei alapján.
- Finanszírozási alternatívák kidolgozása. Szolgáltatási díj stratégia tervezése.

6.2. Ajánlások

- A szakági közmű és műszaki objektum nyilvántartás vezetésére célszerű egy vállalati műszaki információs rendszerbe integrált térinformatikai megoldást alkalmazni, ami a hálózati és egyéb objektum adatok többcélú felhasználását is hatékonyan szolgálhatja. (vagyongazdálkodás, közmű egyeztetés, erőforrás felhasználás követése, rekonstrukció tervezés,...).
- Meg kéne határozni a digitális víziközmű szakági objektum nyilvántartás követelményrendszerét. Ez lehetővé tenné, hogy
 - műszaki szemléletű benchmarkingot lehessen magvalósítani az ágazatban;
 - szerves kapcsolódást biztosít az egységes digitális közműnyilvántartáshoz;
 - megalapozza a fejlesztések és rekonstrukció tervezését, és ezáltal a hazai központi és EU források felhasználása hatékonyabbá válik.

Budapest, 2009. február

Dr. Darabos Péter
adjunktus

dr. Koncsos lászló
egyetemi docens
tanszékvezető

7. Irodalom

Hivatkozott irodalom:

EPANET: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>

WATERCAD: <http://www.bentley.com/en-US/Products/WaterCAD/>

PICCOLO: *Reference Manual*, SAFEGE Consulting Engineers, Nantre, 1993-98

PICCOLO: *Modeling Guide*, SAFEGE Consulting Engineers, Nantre, 1994-98

HCWP 6.0, *Felhasználói kézikönyv*, HydroConsult Kft., 2006,
<http://www.hydroconsult.hu>

Öllős G.: *Vízisztítás-Üzemeltetés*, Egri Nyomda Kft., 1998.

Dombay G.: *Hálózati ivóvízminőség-romlási folyamatok mérséklése a vízminőség modellezés alkalmazásával*, Vízműpanoráma, 2008.

Ajánlott irodalom:

Walski at.al., *Advanced Water Distribution Modeling and Management*, Haestad Methods 2002

Öllős G.: *Vízellátás K+F*, Vízdok, Budapest, 1987

Starasolszky Ö.: *Vízépítési hidraulika*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970

Mérnöki Kézikönyv, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1985

Józsa I.: *Örvényszivattyúk*, Infro Prod, Budapest, 2003