

MIKOVINY SÁMUEL
FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A doktori iskola vezetője:
Dr.h.c.mult.Dr.Kovács Ferenc
az MTA rendes tagja

**A földgázszállító rendszer irányításának
módszertana és hidraulikai alapjai**

Doktori (PhD) értekezés

Írta:
Zsuga János
okl. gázmérnök

Kutatóhely:
Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Kőolaj- és földgáz Intézet

Tudományos vezető:
Dr. Tihanyi László
intézetvezető egyetemi tanár

2002.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
2.	Gázszállító rendszerek Európában	4
2.1.	Általános áttekintés	4
2.2.	Transzkontinentális távvezetékek	6
2.3.	Nemzeti gázszállító rendszerek	8
2.4.	Útban az egységes európai gázpiac felé	9
3.	A hazai gázszállító rendszer	11
3.1.	Kialakulása, fejlődési korszakai	11
3.2.	A földgázellátás üzleti modellje Magyarországon	13
3.3.	A földgázszállító rendszer szerepe a földgázellátásban	15
4.	Sajátos követelmények a földgázellátásban	18
4.1.	Szezonális terhelésingadozás	21
4.2.	Forrásoldali határfeltételek	23
4.3.	Ellátásbiztonság.....	25
5.	A rendszerirányítás módszertana	27
5.1.	A rendszerirányítás szerepe az ellátásbiztonság szavatolásában.....	27
5.2.	Fogyasztás előrejelzés	28
5.3.	Off-line és on-line szimuláció szerepe	31
5.4.	Elvárások a telemechanikai rendszerrel szemben	18
5.5.	Kihívások a rendszerirányítás területén (Esettanulmány).....	32
6.	A rendszeregyensúlyozás hidraulikai alapjai	36
6.1.	Szakmai-tudományos háttér	36
6.2.	Matematikai modellek.....	36
6.3.	Állandósult áramlás szimulációja.....	37
6.4.	Tranziens áramlás csak csőtávvezetékekből álló rendszerben	43
6.5.	Rendszeregyensúlyozás egy napon belül	48
6.6.	A szállítókapacitás meghatározásának módszere.....	56
7.	Új tudományos eredmények.....	66
8.	Az eredmények gyakorlati hasznosítása	67
9.	Összefoglalás.....	68
	Irodalomjegyzék	69

1. Bevezetés

Mottó: Minden változik...

Napjainkban a gázipar területén leggyakrabban elhangzó szó a liberalizáció. Az Európai Unió csatlakozás közeledtével alapjaiban módosítani kell a jelenlegi jogszabályi környezetet és ez új pályára állítja a hazai földgázpiac szereplőit. Megszűnnek az eddigi monopóliumok, szabad hozzáférést kell biztosítani a vezetékrendszerekhez és a földalatti gáztárolókhoz. Hosszú idők óta az iparban dolgozó szakemberek is csak tanulják az új működési mechanizmust és megpróbálnak a jogalkotókkal közösen olyan törvényi szabályozást kidolgozni, amely lehetővé teszi, hogy a megkívánt kereskedelmi szabadság ne menjen a műszaki-biztonságtechnikai követelmények kárára.

Kérdések merülnek fel és maradnak átmenetileg megválaszolatlanul, mivel a gázpiaci liberalizáció még az Európai Unióban sem lezárult és letisztult folyamat. Nagyon nehéz olyan, alapjaiban új működési folyamatokat megalkotni, amelyek garantálják a megfelelő pénzügyi megtérülést a szereplőknek, ugyanakkor biztosítja a műszaki rendszerek megfelelő színvonalú üzemeltetését, karbantartását és fejlesztését.

A helyzetet tovább bonyolítja, hogy az új szabályozás nagyszámú olyan új engedélyes tevékenységet sorol fel, amely jelenleg nem létezik. Ezeknek az új engedélyeseknek a birtokosai még nincsenek kijelölve, ugyanakkor a tevékenységüket leíró szabályzatok kidolgozása már folyamatban van. Az egyik ilyen, ma még nem létező engedély a rendszerirányítási engedély. Ezen engedély tulajdonosának kell összehangolni majd a teljes hazai földgázszállító rendszer fogyasztás-forrás egyensúlyát. Tevékenységét átláthatóan és diszkrimináció mentesen kell végeznie. Mivel valamennyi piaci szereplővel folyamatos kapcsolatban lesz ezért tevékenységi körének meghatározása volt az egyik legnehezebb feladat az új szabályozás megalkotása során. Munkámban megpróbáltam összefoglalni és megválaszolni néhány olyan problémát amellyel ezen munka során szembesültem. Az értekezésben tudatosan vállaltam az egyes fejezetek önállóságát. Történelmi áttekintést adtam a földgázszállítás nemzetközi és hazai múltjáról, majd vizsgáltam azokat a problémákat, amelyek megnehezítik, de egyben széppé is teszik majd a rendszerirányítói engedélyes munkáját.

Őszintén remélem, hogy az itt felvázolt problémák és az azokra adott válaszok hasznosak lesznek azok számára, akik most ismerkednek meg a rendszeregyensúlyozás gyakorlatával. Az új eredményekkel szeretnék hozzájárulni a jogszabályok elméleti megalapozásához, és a rendszerirányítással foglalkozó szakemberek ismereteinek kibővítéséhez.

Siófok, 2002.augusztus

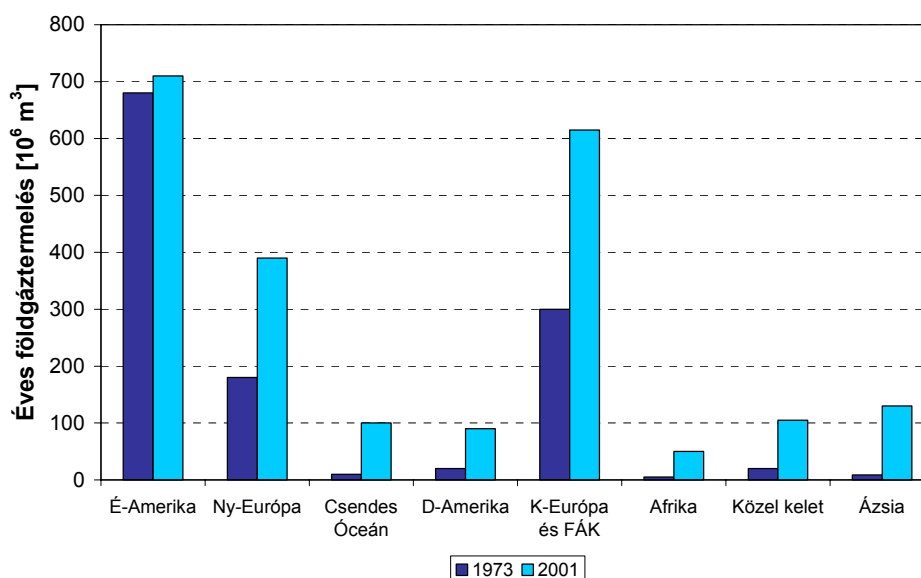
Zsuga János
okl. gázmérnök.

2. Gázszállító rendszerek Európában

2.1. Általános áttekintés

A földgáz mind a felhasználhatóság, mind pedig a környezetvédelem szempontjából kényelmes és előnyös energiahordozó. A nagy szén és kőolajkészletek miatt azonban csak az 1950-60-as években kezdett el a szerepe jelentőssé válni az energia felhasználásban. Ismert, hogy az Egyesült Államokban már a századfordulóban is felhasználták energiahordozóként, de a szerepe elhanyagolható volt. Az 1950-es évektől azonban Európában, Ázsiában és a Közel-Keleten jelentős földgázmezőket fedeztek fel majd állítottak termelésbe, amely egy új energiahordozó korszakának a kezdetét jelentette.

A világ energiafelhasználása 1970-2001 közötti években megduplázódott, 4800 Mtoe értékről közel 9000 Mtoe értékre. Ezen számon belül a földgáznak, mint energiahordozónak a szerepe 17,5%-ról 23%-ra nőtt (IEA, *International Energy Outlook 2001*). Ennek kielégítése érdekében a világ földgáztermelése több mint megkétszereződött és elérte a 2400 milliárd m³-t, azonban a termelés területi eloszlása nagyon egyenetlen, mivel az Egyesült Államok és a Szovjetunió utódállamai adják a termelésnek mintegy 60%-át, ami a 2.1-1 ábrán látható.



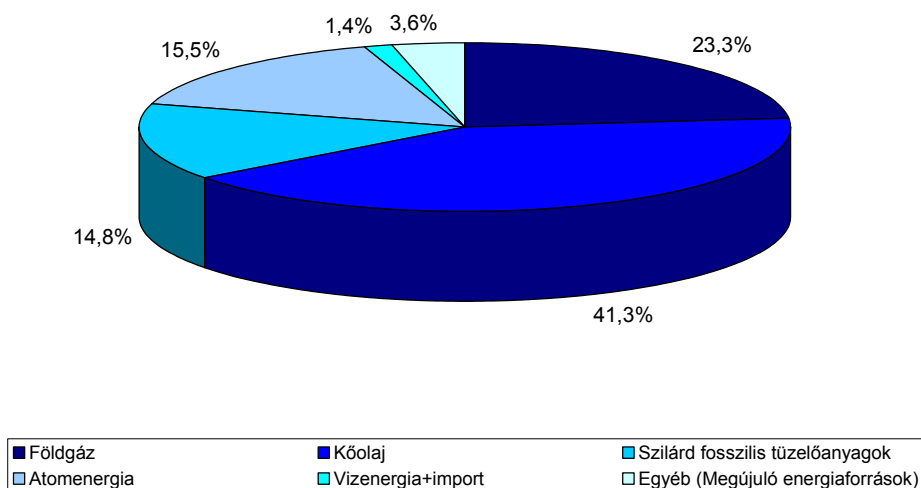
2.1-1 ábra A Világ régióinak éves földgáztermelése

Forrás: IEA International Energy Outlook 2001

A földgázfelhasználás mértékének időbeni változása eltérő volt az elmúlt évtizedekben. A 80-as években a földgázfelhasználás rendkívül dinamikusán nőtt, majd mérséklődött a 90-es évek elején. Az évezred végén ismét dinamikus növekedés mutatkozott a felhasználásban. Ennek az ingadozásnak a legfőbb oka az volt, hogy az egykori Szovjetunió tagországaiban a földgáz iránti kereslet a gazdasági teljesítmény csökkenése miatt erősen visszaesett.

A 2.1-2 ábrán látható az Európai Unió energia fogyasztásának szerkezete. Ezt vizsgálva megállapítható, hogy a földgáz fogyasztás mértéke nagyon jelentős, több mint 23% és jelenleg csak a kőolaj felhasználás mértéke magasabb ennél. Ez a szám megfelel a világpiaci trendnek. A felhasználást EU tagországoként vizsgálva szembevetendő, hogy a földgáz részaránya az elsődleges energia felhasználásban jelentősen magasabb az EU átlaghoz képest Hollandiában (52%) és az Egyesült Királyságban (37%) (IGU, *International Gas Union*, 2001). Az EU tagországok mindegyike jelentős gázosítási programot hajt végre, de a

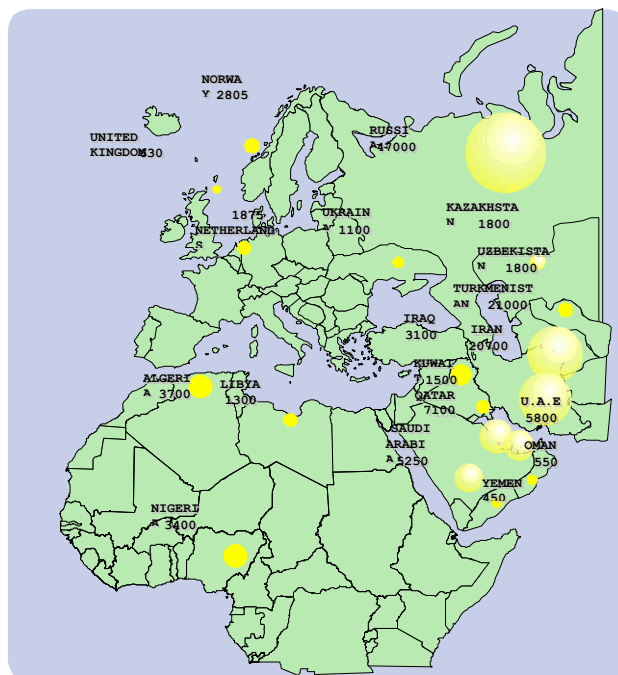
lokális földgáz készletek hiányában import bázison. A gázosítási programokat az energiatakarékossági szempontok általánossá válása és a környezetvédelmi szempontok indokolják. A Nemzetközi Energiaügynökség előrejelzése szerint az elmúlt évtizedek trendje folytatódni fog és 2010-ig a világ földgázfelhasználása a jelenlegi szint közel másfélszeresére fog növekedni.



2.1-2 ábra Az EU energiafogyasztásának szerkezete

Forrás: IGU, International Gas Union, 2001

Jelenleg Európa ellátására figyelembe vehető földgázkészletek mértéke meghaladja a 110 ezer 10^9 m^3 -t, amely a világ összes ismert készletének közel 80%-a. Ezen készletek területi elhelyezkedését és mértékét mutatja be a 2.1-3 ábra.



2.1-3 ábra A forráskörzetek földrajzi elhelyezkedése

Az elmúlt évtizedek kutatási tevékenységének köszönhetően a bizonyított készletek nagyobb mértékben növekedtek, mint a földgázfelhasználás. A legnagyobb mértékű volt a

bizonyított készletek növekedése a Közel-Keleten, ahol a készletek az elmúlt két évtizedben több mint a háromszorosára nőttek (BP Statistical Review of World Energy, 2000). Az ún. FÁK tagországok bizonyított készletei megduplázódtak az elmúlt évtizedekben, azonban sajnálatos módon a kontinentális Európa földgáz készleteinek szintje folyamatosan csökken. Ennek hatására alakult ki az a jelenlegi helyzet, hogy Európa földgázigényét döntő mértékben külső forrásokból kell biztosítani.

2.2. Transzkontinentális távvezetékek

Az európai - folyamatosan növekvő - gázigények biztosítása a 2.1-3 ábrán is látható négy lehetséges és elérhető ún. „forráskörzet”-ből történik:

- a volt FÁK tagországok, elsősorban Oroszország
- az Északi tenger térsége és Hollandia (Groningeni gázmezők)
- Algéria
- Közel-Kelet (lecseréléses alapú gázellátás a FÁK országokon keresztül)

Az 1. sz. mellékleten látható, hogy jelenleg Európa ellátásra 3 fő irányból szállítanak gázt távvezetéseken: az Északi-tenger (beleértve Hollandia termelését), Algéria, illetve a volt FÁK országok irányából. A meglévő fizikai csőkapcsolatokra épülnek a szerződéses kapcsolatrendszerek is. Általános tendenciának tekinthető, hogy az egyes országok energiapolitikája arra irányul, hogy ellátásbiztonsági okokból diverzifikálja az ország energiaellátását. Európában a nemzeti gázfelhasználást, származási helyenként mutatja a 2. sz. melléklet. Az ábrát elemezve megállapítható, hogy Európa keleti és középső felén domináns szerepet játszik az orosz földgáz. Kedvező helyzetben van Németország, Franciaország és Belgium, mivel ezek az országok, földrajzi elhelyezkedésükből adódóan több forrásból is tudnak kedvező áron földgázt beszerezni. Európa északi részében az Északi-tenger térségéből származó földgáz dominál, míg Dél-Európában az algériai földgáz felhasználása jellemző.

A 3. sz. mellékleten bemutatom, hogy az európai távvezeték rendszerek milyen lehetőségeket biztosítanak országonként arra, hogy azok több forrásból biztosíthassák a számukra szükséges földgáz mennyiséget. Jelenleg három fő részre osztható a kontinens, úgymint:

- több irányból ellátható/ellátott országok;
- egy forrásból ellátható/ellátott országok (izolált országok);
- új vagy potenciálisan növekvő és a későbbiekben több irányból ellátható piacok (pl. Görögország, Törökország).

A források és a felhasználási területek egymástól földrajzilag jelentős távolságra helyezkednek el, ezért az európai ellátás biztosításához jelentős földgázvezeték rendszerek épültek ki. Az új források bekapcsolása és az új igények megjelenése ennek megfelelően a vezetékrendszer folyamatos bővítését igénylik.

Európában kétféle szállítási technológia terjedt el széles körben:

- a csőtávvezetésekből és kompresszor állomásokból álló rendszereken keresztül történő szállítás
- cseppfolyós halmazállapotban történő szállítás(ún. LNG -Liquefied Natural Gas-technológia)

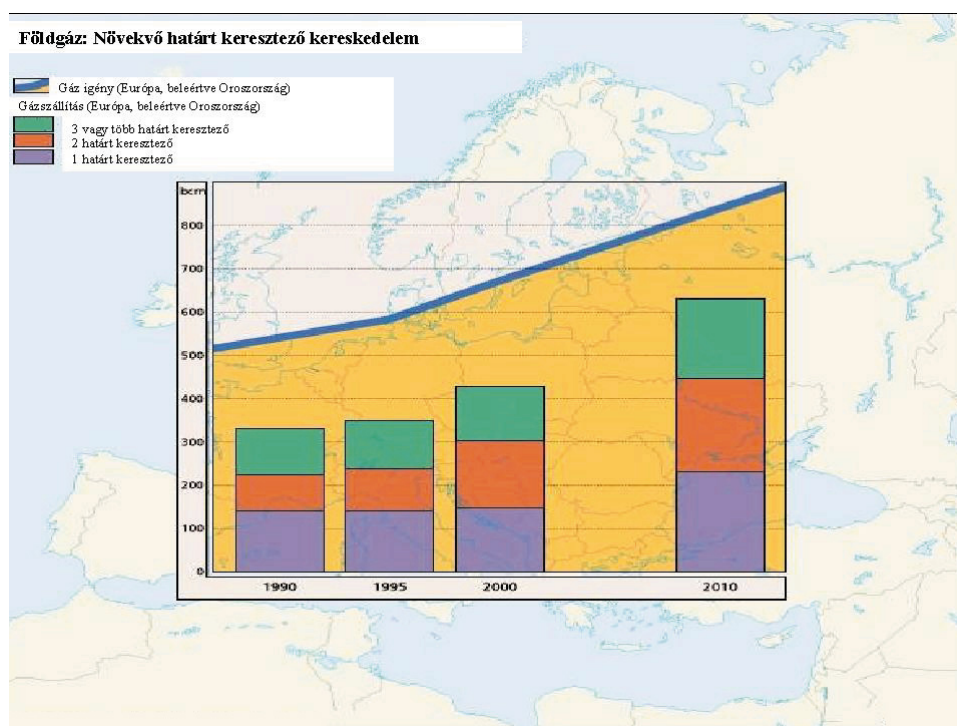
A növekvő gázigények ellátására folyamatosan építették és bővítették az európai távvezetékrendszert. A legjelentősebb kapacitású távvezetékek a következők:

- NORPIPE és ZEEPIPE, amelyek az Északi-tengeri termelést szállítják a kontinensre,
- INTERCONNECTOR, amely a brit szigeteket köti össze a kontinenssel,

- YAMAL-EUROPE,
- NORTHERN LIGHTS
- TRANSGAS és a BROTHERHOOD távvezetékek az egykori FÁK tagországok területén található gázmezők termelését szállítják Európába,
- TRANSMEDITERRANEAN és a MAGHREB távvezetékek az algériai gázmezők termelést szállítja Európába.

Az 1973-as olajár-robbanást követően, a megnövekedett európai földgáz kereslet miatt, a szovjet gázszállítások mellett Irán is bekapcsolódott a nemzetközi földgáz kereskedelembe. Megjelent egy új fogalom a gázpiacon az ún. „lecseréléses” gázszállítás. Irán a Szovjetunió déli határán adta át a gázt, a Szovjet fél pedig ezzel a mennyiséggel megnövelte a nyugat-európai importját. Ezen szállítások megvalósítására épült meg 1979-ben az IGAT-1 távvezeték. Az Irak-Irán közötti háború alatt a szállítások szüneteltek, majd a Szovjetunió felbomlását követően Oroszország és az új független államok szembenállása nehezítette meg a lecseréléses szállítást

Az Európai Unióból származó források (*Gasuni, 2001*) alapján 2010-re az Európában nemzetközi távvezetéseken szállított gáz mennyisége meghaladja a 600 Mrdm³-t. Mint a 2.2-1 ábrán látható, a szállított gázmennyiség közel egyharmada három vagy több országhatáron keresztül érkezik majd meg a rendeltetési helyére. Ezt a hatalmas szállítási igényt kell a nemzetközi távvezeték rendszereknek kielégíteniük.



2.2-1 ábra A földgázkereskedelem mértéke Európában

Fokozza a szállítóvezetékek építése iránti igényt, hogy a különböző földgázmezőkön kutatási és termelési koncessziós jogokkal rendelkező vállalkozások versenyeznek a fogyasztókért és egymást kiszorítva próbálnak piacot szerezni a földgázuknak. Ez folyamatosan új vezetékek építését indukálja.

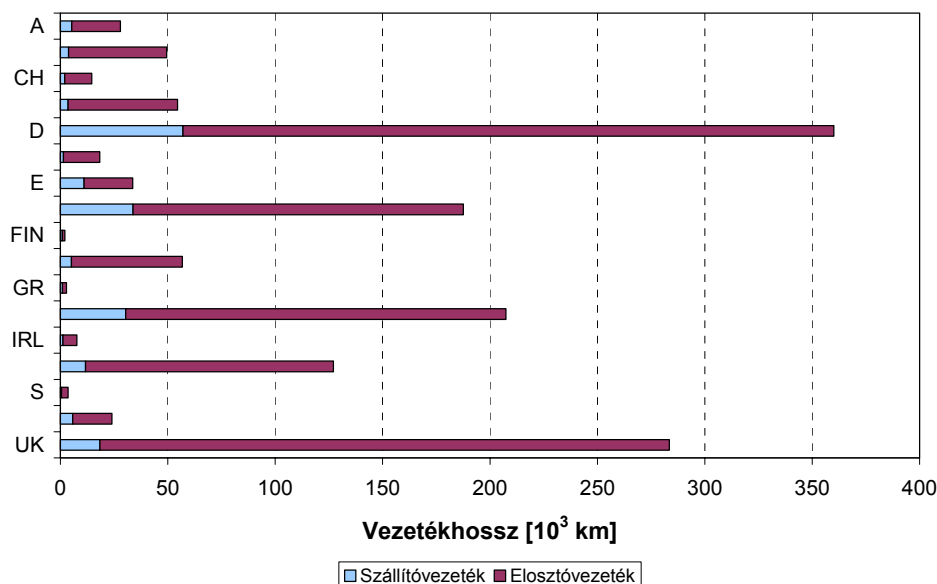
2.3. Nemzeti gázszállító rendszerek

Az 1960-as években fellépő „földgázbőség” miatt gyors ütemben kezdtek kiépülni az egyes országok nemzeti földgázszállító hálózatai. A transzkontinentális vezetékekhez csatlakozva a nemzeti gázszállító rendszerek végzik az adott országon belül a földgáz szállítását az elosztó rendszerekig. A távvezeték építésekkel közel egyidőben –1964-ben– földgáz cseppfolyósító terminált építettek Algériában és fogadó terminálokat Nyugat-Európában. A nemzeti távvezetékrendszerek építésében fontos dátum volt 1973, amikor a szovjet földgáz megjelent az európai piacon. A Szovjetunióból induló távvezeték Waidhausnál lépte át a cseh-német határt. Ezt követően 1979-ben átadták az erről a vezetékről Ausztria és Olaszország irányába leágazó távvezetékét. Ennek a távvezetéknek kelet-nyugati szakaszát West Austria Gasline (WAG), az észak-déli szakaszát Trans Austria Gasline-nak (TAG) nevezik. A TAG vezeték orosz eredetű földgázt szállít Olaszország felé, és erről ágazik le a SOL vezeték, amely Szlovéniába és Horvátországba szállít földgázt.

Németországból a waidhausi belépési ponttól a Mittel-Europäische Gasleitung (MEGAL) szállítja tovább az orosz gázt Franciaországba.

A mediterrán térségben a korábban már említett TRANSMEDITERRANEAN vezetéken kívül az ún. MAGHREB vezeték szállít Marokkón és a Gibraltári szoroson keresztül földgázt Spanyolországba.

A rendszerek mérete és felépítése meglehetősen függ az ország földrajzi elhelyezkedésétől. A nemzeti rendszerek kettős feladatot látnak el, úgymint a nemzeti ellátási igények szállítása és a tranzit forgalmazás biztosítása. A vezetéks rendszerek jellemzően magántulajdonban vannak. A magántulajdon védelme érdekes szerkezeti kialakításhoz vezetett pl. Németországban, ahol egymással párhuzamosan épültek ki gázszállító távvezeték rendszerek.



3.3-1 ábra Gázszállító és –elosztó vezetékek hossza az EU tagállamaiban

Forrás: EUROGAS Annual Report 2000

A 3.1-1 ábrán az európai országok gázszállító és –elosztó vezetékének a hossza látható.

2.4. Útban az egységes európai gázpiac felé

A különböző ún. „forrásterületekről” kiinduló gázvezetékek számos országhatárt kereszteznek, így a kontinensek közül Európában szállítják a legnagyobb gázmennyiségeket országhatárokon keresztül. Az európai energiafelhasználási és földgázfogyasztási sajátosságok miatt ebben a régióban alakult ki a legnagyobb nemzetközi földgázpiac. Ez a piac azonban napjainkig csak látszólagos volt, hiszen bonyolult, hosszú távú szerződéses kapcsolatok szabályozták és nem volt lehetőség a földgáz szabad adás-vételére.

A kőolaj- és a földgázkereskedelem közötti különbséget jól jellemzi az a mutatószám, hogy a kitermelt kőolaj, illetve földgáz mekkora hányada kerül be a nemzetközi kereskedelem folyamatába. 2001-ban a kitermelt kőolajnak a 60 %-át, a földgáznak viszont csak a 17 %-át értékesítették nemzetközi kereskedelem keretében. A nemzetközi földgázkereskedelem szerény mértéke a földgázszállító rendszerek sajátosságával, mindenekelőtt a csőtávvezeték rendszerek nagy tőkeigényével, illetve a szállítás fajlagos energiaigényességével függ össze. A nagy beruházási igény miatt mind az eladó, mind pedig a vevő hosszú távú garanciákra törekszik annak érdekében, hogy a befektetett tőkéjének a megtérülése kiszámítható és garantált legyen. Ennek megfelelően a transzkontinentális, és nemzetközi vezetékekhez minden esetben hosszú távú kereskedelmi szerződések is tartoznak. Ennek a biztonságnak azonban ára van, mivel a szerződések lemerevítik a rendszert, mind kereskedelmi, mind pedig rendszeregyensúlyozási szempontból.

Az Európai Unió megalakulása után az árukra és szolgáltatásokra vonatkozó szabályozások az energiahordozók piacán csak korlátozottan érvényesültek. A vezetékes energiahordozók piaca monopol szabályozású nemzeti piacokként működtek, ahová külső szereplők nem minden országban léphettek be. A vezetékes energiaszolgáltatás magas költségszintje akadályozta az európai ipar versenyképességének javulását az amerikai és távol-keleti vetélytársakkal szemben. Ezt felismerve az EU –az érintett energetikai társaságok erős tiltakozása ellenére- politikai döntést hozott a vezetékes energiahordozók piacának átalakításáról.

Az Európa Parlament 98/30/EC számú irányelve rögzítette a földgázpiac közös szabályait, amely értelmében a tagországoknak fokozatosan lehetővé kell tenniük a területükön a piaci versenyt. Az irányelv a földgáz távvezeteki szállítás, elosztás, ellátás és tárolás szervezetére, működésére, a piachoz való hozzáférésre, valamint a rendszerek üzemeltetésére és az engedélyezési eljárás folyamatára tartalmaz előírásokat. A legfontosabb előírásai a következők:

- a földgázipari vállalkozások részére biztosítani kell a versenyfeltételeket, ezzel párhuzamosan bármenny tagállam közszolgáltatási kötelezettséget írhat elő (Public Service Obligation - PSO) az ellátás biztonsága, az árak színvonalának megőrzése és a környezet védelme érdekében;
- a gázellátó rendszer építésének és üzemeltetésének engedélyezésére megfelelő hatóságot kell kijelölni és biztosítani kell annak objektív, diszkriminációmentes működését;
- a szállító, a tároló és az elosztó hálózatokhoz szabad hozzáférést kell biztosítani. A hozzáférés feltételeit tárgyalásos (Negotiation Third Party Access - NTPA), vagy szabályozott (Regulated Third Party Access - RTPA) formában lehet szabályozni. A hozzáférés csak kapacitáshiány vagy a közszolgáltatási kötelezettségek teljesítése érdekében tagadható meg;
- A szállító, tároló és szolgáltató társaságok, üzleti partnereik között nem tehetnek különbséget, és biztosítani kell a hozzáférési szabályok diszkrimináció mentes érvényesítését. A fenti rendszereket üzemeltető társaságok, partnereik részére kötelesek információkat szolgáltatni (pl. szabad kapacitás).

A piacnyitás ütemét a tagállamok –az EU minimális követelményeinek a betartásával– maguk állapíthatják meg. A Földgáz Irányelv 2000. augusztusi hatályba lépésekor minimálisan 30%-os, 2003-ra 38%-os és 2008-ra 43%-os minimális piacnyitást ír elő a tagországok számára. Várhatóan a földgázfogyasztók nyomására a piacnyitás mértéke meg fogja haladni az irányelv által előírt minimális értéket, és a prognózisok szerint 2010-re a tagországok többségében megvalósul a teljes piacnyitás.

Az EU tagországokon belül is nagy különbség van a piacnyitás mértékét illetően. Az Egyesült Királyságban és Németországban már létrejött a teljes piacnyitás, ugyanakkor Görögország és Portugália egyelőre elzárkózott a földgázpiacának megnyitásától. A többi tagországban eltérő a piacnyitás jelenlegi és célul kitűzött mértéke.

A legújabb fejlemény, hogy az EU tagországok pénzügyminisztereinek 2002. március 5-i találkozóján Franciaország megvétózta a Közösség által elképzelt gázpiaci liberalizációs menetrendet, mivel nem kívánt hozzájárulni ahhoz, hogy a vállalatok szabadon válasszanak gázszolgáltatót. Ezt követően azonban a március 15-16-i Madridban megtartott EU kormányfői szintű találkozón valamennyi tagország, így Franciaország is hozzájárult energia piacának liberalizációjához 2004-től. Ez azt jelenti, hogy a fogyasztók 60-70%-ánál tilos lesz bármilyen diszkrimináció, azaz szabadon vásárolhatnak bármely kereskedőtől földgázt. Ebben a fogyasztói körbe beletartoznak a kórházak, iskolák és egyéb közintézmények is. A francia kompromisszumkészség ára azonban az volt, hogy a közüzemi fogyasztókat érintő liberalizáció időpontjára a csúcstalálkozó résztvevői még csak távlati dátumot sem határoztak meg.

Meghatározó lesz a hazai gázpiac számára, hogy az EU direktívához történő magyar alkalmazkodás üteme elhúzódóan, vagy gyorsított ütemben megy-e végbe. A direktíva több lehetőséget tartalmaz a hatályának ideiglenes felfüggesztésére az ún. derogációra. Eddig nem volt gyakorlat az EU integrációs folyamatokban az, hogy egy direktívában garantált derogációkat fogalmazzanak meg, azonban a 98/30/EC irányelv esetében erről van szó. Egyértelműen meghatározza, hogy mely országok kérhetnek derogációt és milyen feltételek fennállása esetén:

- azok a tagállamok, amelyek nem kapcsolódnak közvetlenül valamely más tagállam rendszeréhez és egyetlen fő külső beszállítójuk van 75%-nál nagyobb részesedéssel;
- azok a tagállamok, amelyeknek a „take-or-pay” (TOP) szerződések következtében számottevő pénzügyi nehézségeik lehetnek;
- azok a tagállamok, ahol a gáz kereskedelmi bevezetésére 1988 után került sor.

Mivel ezek a feltételek Magyarországra nem teljesültek a Magyar Kormány a csatlakozási tárgyalások során kijelentette, hogy nem kér derogációt. Ezt annak ellenére tette, hogy a MOL Rt. jelezte, élni kíván az ideiglenes derogáció lehetőségével, mivel a gázkereskedelmi szerződésekben elfogadott „take-or-pay” kötelezettség jelentős pénzügyi nehézségeket okozhat számára.

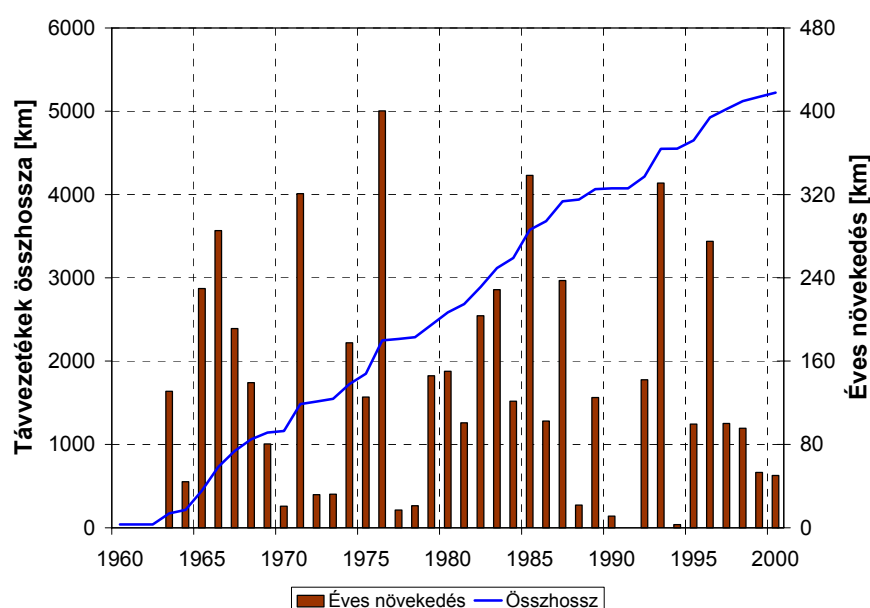
3. A hazai gázszállító rendszer

3.1. Kialakulása, fejlődési korszakai

A hazai földgázszállító rendszer fejlődését vizsgálva az alábbi jellegzetes korszakokat lehet megkülönböztetni (Tihanyi és tsa., 1987., Tihanyi 2002.):

- 1960-ig a helyi jellegű, lokális földgázfelhasználás korszaka
- 1960-1970-ig a célvezetékek kiépítésének korszaka
- 1970-1980-ig a hurkolt gázszállító rendszer kialakulása
- 1980-1990-ig a gázgazdálkodás korszaka
- 1990-től a piacgazdaságra való áttérés korszaka.

A korszakok eltérő jellegűek, egymástól karakteresen különböznek. A felsorolt időszakokban a szállítóvezeték rendszer hosszának növekedése látható évenkénti bontásban és összesítve a 3.1-1 ábrán:



3.1-1 ábra A távvezetéképítési tevékenység Magyarországon

A szállítórendszer komoly múlttal rendelkezik, mivel a távvezetékes szállítás kezdete az 1937-ben megépült Bázakerettye-Ortaháza 3"-os kőolaj távvezeték üzembe helyezéséhez kötődik. A II. világháborút követően 1949-ben a Bázakerettye-Újudvar-Budapest távvezetéken megindult az ún. „dugós” gázszállítás. (4.sz. melléklet)

Ugyancsak 1949-ben alakult meg az Ásványolaj- és Földgáz Távvezeték Vállalat, siófoki központtal, amely bár más néven, de ma is a hazai földgázszállítás központja. A hazai gázfelhasználás mértéke $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{év}$ -ről $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{év}$ mennyiségre nőtt az 1950-es években. Az egyre növekvő igények kielégítésére 1959-ben megépült az ún. Román gázvezeték, amelyen évi $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ mennyiséget importáltak, főképpen a nagymértékben fejlődő borsodi iparvidék ellátására. (5.sz. melléklet)

Az 1960-as években minden korábbi meghaladó mértékű volt a gázszállító- és gázellátó rendszerek fejlődése. Termelésbe állították a dél-alföldi gázmezőket (Szank, Algyő, Kardoskút). Üzembe helyezték 1963-ban a Hajdúszoboszló-Center gázvezetékét. Megépült 1964-ben a Vecsés-Budafok távvezeték, majd 1965-ben a Hajdúszoboszló-Vecsés és a Kardoskút –Algyő vezeték. Ezt követte 1966-ban a Kardoskút-Adony gázvezeték megvalósítása. 1967-ben átadták az Adony-Kápolnásnyék-Pét-Ősi távvezetékét, majd 1968-

ban a Szank-Városföld és a Center-Kisterenye, és az évtized végén 1969-ben az Ősi-Ajka-Devecser távvezetéseket. Az évtized mennyiségi növekedésére jellemző, hogy az éves földgázforgalom $3,05 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ -el, a gázvezetékek hosszúsága pedig 1368 km-el nőtt. Ez a növekedés a gázforgalomnál 14,6-szeres, a távvezetési hosszaknál pedig 8-szoros volt (6.sz. melléklet).

A fejlődés lendülete nem tört meg az 1970-es években sem, azonban a mennyiségi növekedések mellett megjelentek a minőségi változások is. Ebben az évtizedben az éves földgázforgalom $6,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ -el, a gázvezetékek összhosszúsága pedig 1297 km-el nőtt. A növekedés a gázforgalomnál 2,9-szeres, a távvezetési hosszaknál 1,8-szoros volt. 1971-ben megépült az Algyő-Városföld és a Városföld-Vecsés gázvezeték. Az 1975-ös év mérőföldkő volt a hazai gázellátás és szállítás történetében, mert megindult a szovjet import gáz szállítása a Beregdaróc-Zsámbok vezetéken (ún. Testvériség gázvezeték). 1976-ban átadták az első kompresszorállomást Városföldön és megépült a Devecser-Jánosháza-Szombathely távvezeték. 1977-ben üzembe helyezték a pusztadericsi földalatti gáztárolót. Újabb mérőföldkő volt az 1979-es év, amikor megindult a tranzitszállítás Jugoszláviába és üzembe helyezték a beregdaróci kompresszor állomást (jelenleg 4 gépegység/10,8 MW teljesítmény) és a hajdúszoboszlói föld alatti gáztárolót. A mennyiségi változások hatására több területen is jelentkeztek minőségi változások. Ezek egyike a céltávvezeték rendszerből az együttműködő gázszállító rendszer kialakulása volt. A nagyarányú vezetéképitések során egyre több ponton kapcsolták össze a korábbi célvezetéseket. A másik minőségi változás a kompresszorállomások üzembe helyezése (7. sz. melléklet), a harmadik minőségi változás pedig a jogi szabályozás megjelenése volt. Megalkották 1969-ben a Gáztörvényt, amely végrehajtási utasításaival egységes keretbe foglalta a földgázellátás jogi és biztonságtechnikai kérdéseit.

Az 1980-as években sem szakadt meg a fejlődés üteme. Ez az évtized tekinthető a tervszerű gázgazdálkodás kialakulási korszakának, mivel egyre nagyobb súlyt kapott a gázgazdálkodási tevékenység az üzemeltetési feladaton belül. A földgázimport jelentős mértékben növekedett (közel $4 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ mennyiségre), amely azonban az év során egyenletesen, esetenként kis mértékű szezonalitással érkezett az országba. Ebből adódóan ez a földgázforrás nagyon merev volt, nem alkalmazkodott a fogyasztás nagymértékű ingadozásához, azaz a nagymértékű téli és a kismértékű nyári igényekhez. A probléma megoldását a földalatti gáztárolók létesítése jelentette. Ennek következtében előtérbe került a tárolás-tervezés, mint a gázgazdálkodási tevékenység egyik alapvető eleme. Az együttműködő rendszer egyre bonyolultabbá vált, ezért elkerülhetetlen volt az irányítás korszerűsítése. Ezért 1984-ben üzembe helyezték az ún. Országos Telemechanikai Rendszert (OTR), amely lehetővé tette a gázszállító rendszer irányítását az egyre komplexebb feltételrendszer mellett. 1980-ban üzembe helyezték a Mezőszentgyörgy-Lengyeltóti-Jánosháza-Nagylengyel vezetéket. Kenderes és Tiszaújváros között 1981-ben megépült az ún. inert távvezeték. Magyarország dél-dunántúli területeire is eljutott a földgáz az 1982-ben megépített Szank-Kiskunhalas-Baja-Pécs távvezetéken és ebben az évben átadták a nemesbikki kompresszor állomást (jelenleg 6 gépegység/2,8 MW teljesítmény). A következő évben, 1983-ban megépültek a Városföld-Vecsés és a Városföld-Kiskundorozsma vezetékek, valamint átalakították és kibővítették a városföldi kompresszor állomást (jelenleg 7 gépegység/5,6 MW teljesítmény), majd 1984-ben megépült az Endrőd-Városföld vezeték. Ezt követően 1985-ben átadták a Jánosháza-Sopron, Lengyeltóti-Kaposvár és a Lengyeltóti-Nagykanizsa távvezetéseket. 1987-ben megépült az ún. Összefogás gázvezeték Beregdaróc-Hajdúszoboszló-Endrőd között, majd 1988-ban az Endrőd-Városföld vezeték. Az évtized végén pedig 1989-ben átadták a Pilisvörösvár-Dorog vezetéket (8.sz.melléklet).

Az 1990-es évek fejlődési ütemére jelentős hatással volt a magyar gazdaság piacgazdaságra történő átállása, ami mélyreható változásokat eredményezett. Ennek a

folyamatnak a részeként a monopolhelyzetben lévő OKGT (Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt) szétvált többek között gázszolgáltató társaságokra és a MOL Rt.-re. A privatizációt követően a vezetékes földgázellátó rendszer, amely termelő, tároló, szállító és elosztó létesítményekből állt, különböző tulajdonosi szerkezetű társaságok birtokába került. 1990-ben a megnövekedett tranzitigények kielégítésére megkezdődött az Endrőd-Kiskundorozsma vezeték építése. 1992-ben átadták a Dorog-Győr távvezetékét, majd 1993-ban a Mezőtúr-Kiskundorozsma vezetékét. Ebben az évben kezdett el működni a Maros-I föld alatti gáztároló is. Újabb mérföldkő volt a hazai földgázellátás szempontjából, hogy 1996-ban üzembe helyezték a zsanai föld alatti gáztárolót és diverzifikálták az import beszállítási lehetőségeket a HAG vezeték megépítésével. A vezeték üzembehelyezése, és a nyugati import lehetősége, pozitív irányban befolyásolta a hazai gázszállító rendszer üzemviszonyait, mivel kétoldali megtáplálásúvá tette az országot, és csökkentette a szállítási távolságokat. Megszűnt a Dunántúli térség évtizedes „hátrányos” helyzete, mivel a nyugati irányú import betáplálás magasabb nyomáslehetőségeket eredményezett a térségben. Ebben az évben átadásra került még a Városföld-Szank és a Szank-Zsana gázvezeték is. 1998-ban üzembe helyezték a Mosonszentmiklós-Kapuvár-Répcelak, és 1999-ben a Hajdúszoboszló-Endrőd új párhuzamos távvezetékét. Ezzel lezárult egy közel negyvenéves folyamatos fejlődési folyamat.

Az új évezred első éveiben a tovább növekedett szállítási igények kielégítésére 2001-ben üzembe helyezték a mosonmagyaróvári kompresszor állomást (3 gépegység/4,4 MW teljesítmény) és 2002-ben a hajdúszoboszlói kompresszor állomást (3 gépegység/3,7 MW teljesítmény) (9. sz. melléklet).

3.2. A földgázellátás üzleti modellje Magyarországon

A hazai földgázellátás jogi alapjait jelenleg az 1994. évi XLI. számú törvény szabályozza, amely meghatározza az ún. engedélyesek jogait és felelősségeit. A törvény két engedélyest határoz meg, a gázértékesítőt (amelynek rendelkeznie kell tárolói és szállítói kapacitással, saját termeléssel és nagykereskedelmi képességekkel), valamint a gázszolgáltatót (aki közüzemi kiskereskedelemmel és gázelosztással foglalkozik). A törvény meghatározza a fogyasztó jogait és kötelezettségeit is, így összességében a jelenlegi gáztörvény három gázpiaci szereplőt határoz meg:

- gázértékesítőt;
- gázszolgáltatót;
- fogyasztót.

A három gázpiaci szereplő közötti kapcsolatokat a Magyar Energia Hivatal (MEH) által jóváhagyott üzemi szabályzatok és az üzletszabályzatok írják le.

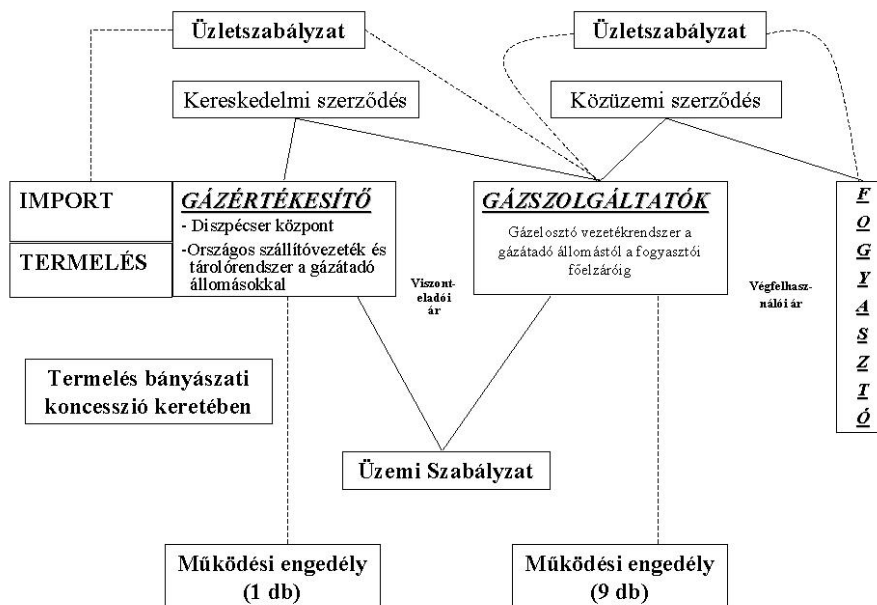
A jelenlegi rendszer működési modellje látható a 3.2-1 ábrán.

A MEH által kiadott működési engedélyek részletezik az engedélyesek jogait és kötelezettségeit. Ez alapján a gázértékesítési engedély birtokosának (jelenleg a MOL Rt.) a fő feladatai a következők:

- gáztermelés (kutatás-feltárás-kitermelés);
- a földgáz forrásigények távlati előrebecslése a gázszolgáltatók adatszolgáltatása alapján;
- gázimport (a mindenkori és a prognosztizált közellátás mértékének megfelelő hosszú távú szerződések előkészítése, megkötése és bonyolítása);
- az országos nagynyomású földgázszállító- és földalatti gáztároló rendszer üzemeltetése, karbantartása és a prognosztizált igényeknek megfelelő mértékű fejlesztése;

- a nagynyomású földgázellátó (termelés-tárolás-szállítás) rendszer fogyasztás-forrás egyensúlyának fenntartása, üzemmenetének irányítása, összehangolása;
- gázértékesítés a gázszolgáltatók és a működési engedélyében szereplő nagyfogyasztók részére;

A GÁZRENDSZER JELENLEGI MŰKÖDÉSI MODELLJE



3.2-1 ábra A gázipar üzleti modellje

A gázszolgáltatói engedélyesek feladata:

- az elosztó hálózatok üzemeltetése és fejlesztése;
- a legkisebb költség elvén alapuló gázelosztás és minőségi szolgáltatás;
- igény-kielégítési és gázszolgáltatási kötelezettség a működési engedélyében meghatározott településekre;
- évenkénti fogyasztás prognosztizálás a gázértékesítési engedélyes felé;

A jelenlegi gázszolgáltató társaságok tevékenységének területi eloszlását a 10. sz. melléklet szemlélteti.

A hatályos Gáztörvény kimondja, hogy a gázszolgáltatás közüzemi szolgáltatás, ennek megfelelően a törvény kötelezte a piaci szereplőket a fogyasztók folyamatos és biztonságos gázellátására. A Gáztörvényhez kapcsolódó árrendelet a földgáz árát központon szabályozta. Az árszabályozás azonban nem a piaci értékarányos árakat eredményezte, ennek kettős hatása volt. A 90-es években egyrészt túlfűtött keresletet gerjesztett, másrészt az egyes fogyasztói csoportok között keresztfinanszírozáshoz vezetett.

Az EU Földgáz Irányelvének való megfelelés szükségessé tette egy új Gázellátási Törvény megalkotását. A piaci szereplők bevonásával elkészített új törvényjavaslatot a Kormány 2001. decemberében elfogadta, de parlamenti jóváhagyásra nem került. A 2002-es kormányváltást követően kismértékben átdolgozásra került, és a tárcaközi egyeztetéseket követően, várhatóan 2002 októberében, benyújtásra kerül a parlament elé.

A törvénytervezet főbb tartalmi elemei a következők:

- az eddigi 2 engedéllyel szemben 11 engedélyest határoz meg;
- az engedélyköteles tevékenységeket szét kell választani (jogi és számviteli szétválasztás);

- megszűnnek a gázipari monopóliumok a belföldi földgázkereskedelem, és a szállító és elosztó vezetékek, valamint a föld alatti gáztárolók létesítésében;
- a földgáztárolói, szállítói- és elosztói engedélyesek kötelesek az általuk üzemeltetett rendszerhez hozzáférést biztosítani szabályozott módon;
- párhuzamosan működik a verseny és a közüzemi piac;
- szabad import lehetőségek.

Az új Gáztörvény hatálya várhatóan nem terjed ki a földgáz termelésére, így a termelők jogállását továbbra is a Bányatörvény szabályozza. A törvény ugyanakkor kimondja, hogy azok a termelők, akik 1993. előtt is rendelkeztek bányászati joggal, azok kizárólag a közüzemi nagykereskedő részére értékesíthetik a földgázukat.

A gázpiacot fokozatosan tervezik megnyitni 2003. július 01-től, és ezt követően párhuzamosan működik majd egymás mellett a verseny- és a közüzemi piac. A közüzemi piacon nem lesz verseny, mivel csak egy közüzemi nagykereskedő és a közüzemi szolgáltatói engedélyesek lesznek jelen a piaci szegmensben. A közüzemi szegmensben a földgáz értékesítési ára továbbra is hatóságilag meghatározott lesz. A közüzemi nagykereskedői engedélyes továbbra is köteles lesz ellátni a közüzemi igényeket. A közüzemi szolgáltatók kizárólag ezen engedélyestől vásárolhatnak földgázt, és kizárólag a közüzemi fogyasztóknak értékesíthetik azt. A közüzemi nagykereskedő nem értékesíthet földgázt feljogosított fogyasztóknak és nem exportálhat.

A versenypiaci szegmensben a piacnyitás fokozatos lesz és a feljogosított fogyasztók szabadon választhatnak saját gázellátót. Liberalizálják a külkereskedelmet, és nem lesz árszabályozás.

A piacnyitás „lépcsői” a jelenlegi elképzelések szerint a következő módon alakulnak:

1. Szakasz:

2003. július 1-től 25%-os piacnyitás, amely során a $61 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ mennyiség felett fogyasztók választhatnak szabadon ellátót, amennyiben nem kívánnak a közüzemi szektorban maradni

2. Szakasz:

38%-os piacnyitás, amely során már a $9,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ mennyiség felett fogyasztók választhatnak szabadon ellátót

3. Szakasz

41%-os piacnyitás, amely során már az $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ mennyiség felett fogyasztók is választhatnak szabadon ellátót.

3.3. A földgázszállító rendszer szerepe a földgázellátásban

Az előző pontban bemutatásra került a jelenleg működő, és az új Gáztörvény által elképzelt piaci modell. Mindkét modellben meghatározó szerepe van a földgázszállító rendszernek. A földgázszállító rendszer juttatja el a termelő mezőkről, importból és a föld alatti gáztárolókból származó földgázt a fogyasztókhoz, illetve az elosztó hálózatokhoz, vagyis a forrásokat köti össze a felhasználási helyekkel.

A földgázszállító rendszer vezetékeit és tartozékait a földgázellátásban való szerepük szerint két alapvető csoportra lehet felosztani:

- nagy távolságú szállítást végző távvezetékek;
- regionális szétosztást végző távvezeték rendszerek.

Az első csoportba tartozó vezetékek jellemzően a forrásponttól nagy távolságra elhelyezkedő fogyasztási pontig szállítják a földgázt. Egyszerű struktúrájúak, és meghatározott távolságonként kompresszor állomások állítják elő a szállítási feladat elvégzéséhez szükséges nyomásszintet. A második csoportba tartozó vezetékrendszerek több betáplálási, és sok elvételi pont között szállítják a földgázt. Struktúrájuk bonyolult, általában többszörösen hurkolt. A két csoport üzemeltetési viszonyai jelentősen különböznek egymástól. Amíg az első csoportba tartozó vezetékek esetében jellemzően kvázi-állandósult gázáramlással lehet számolni, addig a regionális szállítórendszerre közvetlenül hatnak a gázfogyasztás órai és napi ingadozásai, amelyek az üzemjellemzők folyamatos változását jelentik.

A hazai földgázszállító rendszer jellemző adatai

A hazai nagynyomású szállítórendszer főbb jellemző paraméterei jelenleg a következők:

- 14 db betáplálási pont, melyből 2 import és 12 hazai (ún. „0”-pont);
- 5225 km nagynyomású távvezeték;
- 16 db gázszállítási csomópont;
- 374 db gázátadó állomás;
- 1 tranzit kiadási pont (Szerbia és Montenegró, valamint Bosznia-Hercegovina irányába);
- 14 db központi szagosító hely;
- 5 db kompresszor állomás;
- 100%-os telemechanizáltság;
- szállítókapacitás kb. $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ (szállítási feladattól függően).

Betáplálási pontok

Feladatuk az importból vásárolt vagy hazai termelésből, illetve a föld alatti tárolókból származó földgáz mennyiségi és minőségi átvétele.

A hazai nagynyomású szállító rendszer betáplálási pontjai (ún. '0'-pontok):

Import:

- Beregovo (Ukrajna);
- Baumgarten (Ausztria);
- Center (kapcsolódási pont a szlovák szállító rendszerrel, jelenleg nem üzemel);

Hazai termelés betáplálási pontjai:

- | | | | |
|--------|--------------|----------------|--------------|
| Algyő | Méhkerék | Babócsa/Barcs | Pusztaderics |
| Szank | Kardoskút | Kisújszállás | |
| Endrőd | Karcag/Bucsa | Hajdúszoboszló | |

Föld alatti gáztárolók (FGT):

- Hajdúszoboszló;
- Kardoskút;
- Zsana;
- Maros-I.;
- Pusztaderics;

Földgázszállító rendszer

A földgázszállító rendszeren történik a földgáz eljuttatása a betáplálási pontoktól a gázátadó állomásokra.

A távvezeték rendszer főbb adatai:

a távvezetékek összhossza: 5225 km

jellemző névleges átmérő: 100-800 mm

jellemző üzemnyomás: 35-63 bar

a gázátadó állomások jellemző kiadási nyomása: 3-25 bar

A hálózat jelentős mértékben hurkolt, így a gázátadó állomások többsége több irányból is megáplálható.

Az üzemeltetőnek a szállítási feladat teljesítése érdekében három lehetőség áll a rendelkezésére a földgázszállító rendszer üzemállapotának változtatására:

- a távvezetékek kapcsolódásának a megváltoztatása a távvezetési csomópontokban;
- különböző nyomásszintű gázáramok szabályozása a távvezetési csomópontokban;
- a kompresszorállomások üzemi paramétereinek a megválasztása.

Főbb távvezetési csomópontok:

Zsámbok	Szank	Vecsés	Algyő
Tiszaújváros	Városföld	Alag	Endrőd
Hajdúszoboszló	Adony	Mezőszentgyörgy	Kistokaj
Győr	Nagykanizsa	Jánosháza	Kiskundorozsma

A gázszállító rendszer csomópontjaiban kiépített gázösszetétel mérő rendszerek lehetőséget adnak a minőségi paraméterek bármely szállítási irányban történő meghatározására.

Kompresszorállomások

A távvezeték rendszer nyomásának szabályozására és fokozására 5 kompresszor állomás üzemel:

Beregdaróc (orosz / ukrán eredetű földgáz szállítására)

Tiszaújváros (orosz / ukrán / hazai termelés/tárolói gáz szállítására)

Városföld (orosz / ukrán / hazai termelés / tárolói gáz szállítására)

Mosonmagyaróvár (Ausztria irányából érkező földgáz szállítására)

Hajdúszoboszló (orosz / ukrán / hazai termelés/tárolói gáz szállítására)

Gázátadó állomások

A távvezetékek fogyasztói oldali végpontjai a gázátadó állomások, amelyeknek a feladata az alábbiak szerint adható meg:

- a gáz átadása a gázvételezőknek;
- mennyiségi paraméterek mérése az OMH által hitelesített mérőeszközökön;
- az átadási nyomás szabályozása a gázértékesítési szerződésben rögzített paramétereknek megfelelően (jellemzően 3-25 bar);
- mechanikai szennyeződések kiszűrése (normál üzemmenetben 98%-os szűrés, 5 mikron nagyságig);
- a gázáram melegítése a szabályozó előtt annak érdekében, hogy a kimenő földgáz hőmérséklete ne csökkenjen 0 °C alá;
- a gázáram szagosítása.

A gázátadó állomásokat kialakításuk szerint három csoportba sorolják: vannak sík-, szekrényes- és épületben elhelyezett állomások.

Országos Telemechanikai Rendszer (OTR)

Az OTR hat területi központban (üzemközpontban) gyűjti a technológiai adatokat.

Miskolc Vecsés Kápolnásnyék

Hajdúszoboszló Kecskemét Gellénháza

Feladatuk:

- a területileg hozzájuk tartozó technológia távműködtetése, távfelügyelete;

- adatok biztosítása a siófoki Rendszerirányító Diszpécser Központ felé;
- adatok biztosítása a gázvételezők felé.

Az OTR részét képező főbb berendezések:

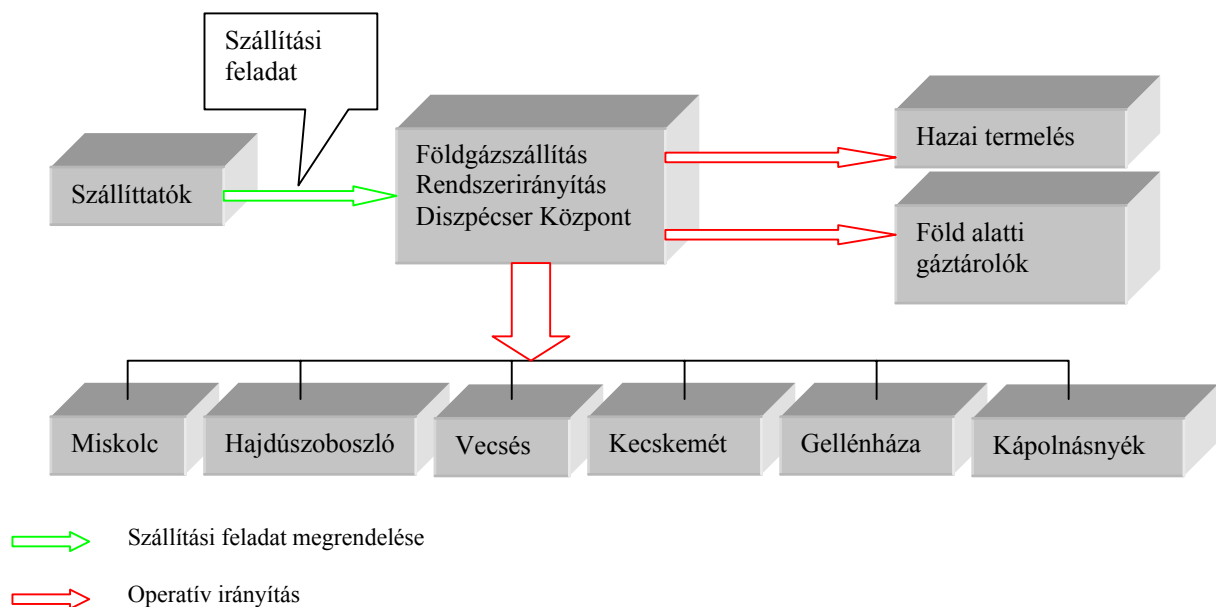
- földgáz nyomásmérők (távvezetési, átadási);
- földgáz mennyiség mérők;
- földgáz minőség mérők;
- technológiai elemek működését figyelő egységek;
- földgáz hőmérsékletmérők.

Az országos rendszeregyensúlyt irányító diszpécser központok

A siófoki Rendszerirányító-Diszpécser Központ feladata az operatív földgáz-forgalmazási irányelvek meghatározása, a havi/napi forgalmi előirányzatok egyeztetése, a megvalósulás ellenőrzése és a forgalmi adatok elemzése. A földgázszállító rendszer üzemmenetének irányítása és ellenőrzése, továbbá az egyensúly helyreállításához szükséges intézkedések elrendelése a hat területi diszpécser központ felé.

A távvezetési üzemekben található Diszpécser Központok feladata a földgázszállító rendszer üzemmenetének ellenőrzése, az egyensúly helyreállításához szükséges intézkedések operatív végrehajtása.

A diszpécseri irányítási lánc látható a 3.3-1 ábrán:



3.3-1 ábra A diszpécser irányítási szervezet kapcsolódása

3.4. Elvárások a telemechanikai rendszerrel szemben

A telemechanikai rendszer az összekötő kapocs az információáramlás területén az egymástól távol elhelyezkedő műszaki objektumok között. A rendszer szerepe az, hogy az egymástól távol lévő objektumok információkat (adatokat) gyűjthessenek a másik objektumról és/vagy beavatkozzanak a másik objektumok működésébe, illetve a kapott információk alapján szabályozzák a másik objektum működését. A telemechanikai rendszer alapvető elemei a következők:

- terepi műszerezés (érzékelők, távadók, stb.);

- az irányított technológiához kapcsolódó végpontok (terminál);
- az objektumok között kapcsolatot teremtő információs csatorna (adatátviteli vonalak, kommunikációs összeköttetések);
- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) szoftver;
- diszpécser központok hardver eszközei.

A telemechanikai rendszer tehát egy olyan információs rendszer, amely a döntés előkészítési folyamatától kezdve a meghozott döntés végrehajtásáig szolgálja ki a folyamatokat.

A hazai nagynyomású gázszállító rendszerben a budapesti körvezetéken, valamint a Hajdúszoboszló-Vecsés gázvezetéken került kialakításra 1966-67-ben 2 területi központtal az Északi Telemechanikai Rendszer (ÉTR), melynek alapját a Pignone-Sud technikai elembázis képezte. Ezt követően 1983-ban helyezték üzembe az ún. Országos Telemechanikai Rendszert (OTR-I), amely 1993-ig üzemelt 4 db Területi Diszpécser Központtal. Ez a rendszer hazai gyártású TPA-1148 típusú számítógépekkel, pszeudografikus megjelenítőkkal és alfanumerikus terminálokkal végezte a szállítás irányítási és ellenőrzési feladatait. Az 1990-es évek elején a Távvezetéki Üzemek diszpécser központjait VAXStation3100-as munkaállomásokkal szerelték fel és üzembe helyezték az OTR-II szoftver-hardver konfigurációt. A diszpécser központok kialakításával kapcsolatosan különleges szempont a többfokozatú biztonság megteremtésének kritériuma. Ez a különféle funkciócsoportokat ellátó berendezések duplikálásával volt garantálható. A területi diszpécser központként 4 db hírközlési hurokra felfűzött ún. telemechanikai állomások adatainak összegyűjtéséért az ún. adatkoncentrátor a felelős. Ez a PC alapú eszköz az előfeldolgozott információt a hírközlési lokális hálózaton adja át a diszpécseri munkát elsődlegesen támogató munkaállomásoknak.

A SCADA szoftver-hardver konfigurációk megjelenése előtt a betáplálási és az elvételi pontokon 24 órás szolgálat volt szükséges a technológia előírászerű működtetéséhez. Szükség esetén ez a személyzet végezte el a szerelvények mozgatását, a mérési eredmények összegyűjtését, stb. A SCADA szoftver által használt eljárásoknak köszönhetően automatikusan előállnak a rendszerirányításhoz, hidraulikai vizsgálatokhoz és a gázelszámoláshoz szükséges adatok, és rögzítésre kerülnek az esemény és zavarjelzések. A SCADA rendszer tehát számos gázipari megoldás halmaza, melyek együttműködése révén válik lehetővé, hogy akár egyetlen diszpécser megbízhatóan felügyelje a teljes hazai hálózatot, valamint koordinálhassa szakemberek tucatjainak a teljes távvezetéki technológián végzett tevékenységét.

A nagynyomású szállítórendszert felügyelő OTR fejlesztési folyamatában újabb mérföldkő volt 2001 novembere, amikor átadták az OTR-IIM szoftver és hardver eszközeit. A jelenlegi OTR kiépítettséget mutatja be a 12. sz. melléklet. Az OTR-IIM folyamatirányító rendszer piramisszerűen épül fel. A piramis „alapját” a terepi, primer műszerezés alkotja a „csúcsát” pedig a Földgázszállítás-Rendszerirányítás Diszpécser Központja. Az informatikai piramis két szintre tagozódik. Az alsó szintet a 6 db Területi Diszpécser Központ alkotja, ahol a feladat a folyamatos, zavartalan üzemmenetek biztosítása a központi irányelvek szerint, valamint a széleskörű információgyűjtés és feldolgozás. A felső informatikai szint a Rendszerirányítás Diszpécser Központja, ahol az irányelvek meghatározása és az információk összefogása történik. Az OTR-IIM rendszer több mint 500 db telemechanikai állomást (RTU) kezel, melyek értékeit jelenleg 644 db számítóműbe táplálják. A terepi műszerek működését az Állomási Felügyelő Számítóművek koordinálják. A SCADA szoftverbe bekerülő valamennyi jel önálló azonosítóval rendelkezik. Ennek a szegmentált kódnak a segítségével rögzítik az ún. input listában az elsődleges és a másodlagos feldolgozások eredményeként előálló adatok kezelési leírását. A rendszer méreteit jól jellemzi a kezelt jelfelület nagysága, amely a következő:

- primer analóg jel 5900 db
- primer jelzés 11200 db

- számított analóg jel 15900 db
- számított digitális jel 110 db
- vezérlőjel 2500 db

Az új telemechanikai szoftverrel szemben már elvárás volt, hogy feleljen meg a gázpiaci liberalizáció során jelentkező követelményeknek. Ezek közül a legfontosabbak: a hiteles elszámolás, a nagy sebességű adatszolgáltatási képesség és a fokozott adatbiztonság.

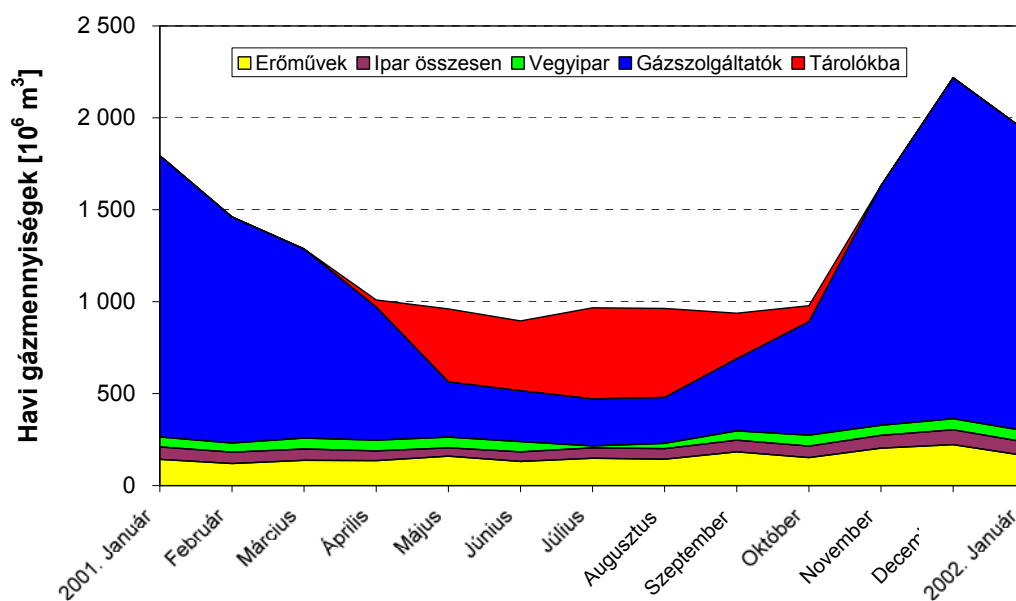
4. Sajátos követelmények a földgázellátásban

4.1. Szezonális terhelésingadozás

A magyar földgázrendszer kialakulásának kezdeti időszakában az erőművek, és egyes ipari nagyfogyasztók gyorsabban készültek fel a gázfogyasztásra, mint a lakossági és kommunális szektor, emiatt a földgázfogyasztásban a nagyfogyasztói jellegzetességek domináltak. Azonban az 1980-as éveket követően, amikor a „gázgazdálkodás” korszakában egyértelműen a területi gázszolgáltatók váltak a gázértékesítő legfontosabb vásárlóivá a földgázfelhasználás szerkezete alapvetően megváltozott. A nagy ipari fogyasztók részesedése az országos földgázfelhasználásban folyamatosan csökkent, ugyanakkor nagymértékben megnövekedett a kommunális felhasználás. A gázszolgáltatók nagyszámú háztartási fogyasztó földgázellátását biztosították, amelyek elsősorban fűtési célra használták a földgázt. Az arányok eltolódása nagymértékű fogyasztásingadozást eredményezett. Ez a körülmény szükségessé tette a teljesítménygazdálkodást és a föld alatti gáztárolást.

A forrásoldalon a hazai termelés és az import a szezonális ingadozások kielégítésében nagyon korlátozott lehetőséget ad, mivel a hazai termelés ütemét szigorú rezervoárméchanikai tényezők határozzák meg, az import források egyenletes ütemét pedig az exportőrök „kötik” meg gazdaságossági szempontok alapján. A szezonális csúcsigények kielégítésére föld alatti tárolókat kellett létesíteni, és az elmúlt évtizedekben kapacitásukat folyamatosan bővíteni. A lakossági fogyasztás folyamatos növekedésével a földgázellátó rendszeren folyamatosan növekedett a szezonális ingadozás mértéke. Ez a mérték 2001. évre az alábbi számokkal jellemezhető:

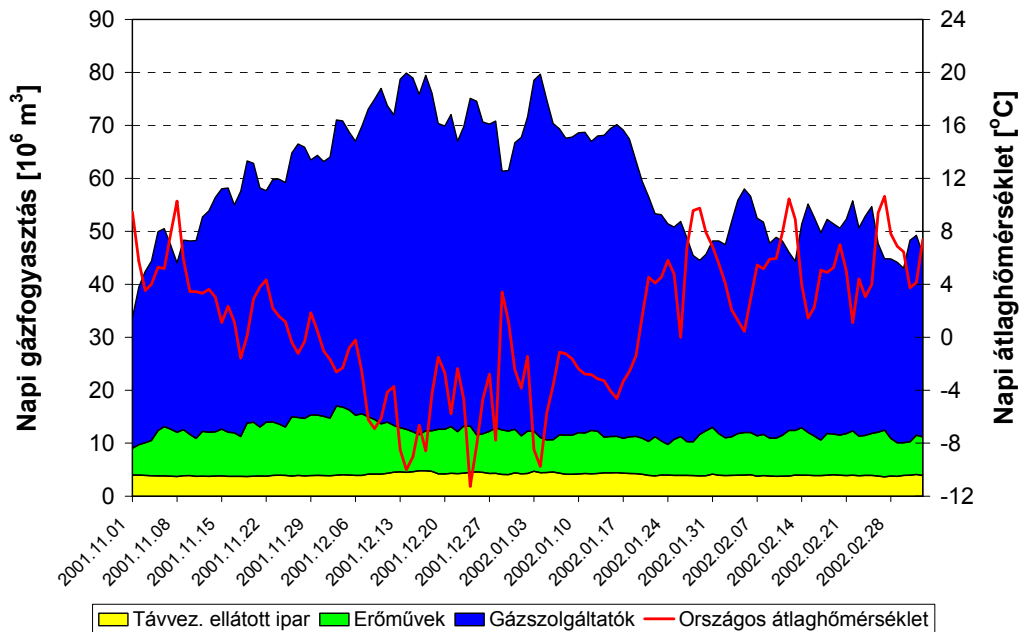
- az ország összes földgázfelhasználásának kb. 70%-a a téli félévre (októbertől-márciusig tartó időszak), a 30%-a pedig a nyári időszakra jut.
- a téli csúcsnapi igény 2001-ben $79,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ volt, szemben a nyári ún. völgynapok $12-14 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -es fogyasztásával.



4.1-1 ábra A havi földgázfelhasználás nagysága és megoszlása

A 4.1-1 ábrán látható a 2001-es év hónapjainak és a 2002-es év januárjának a fogyasztási szerkezete. Elemezve az ábrát jól látható, hogy a téli és a nyári hónapok fogyasztási aránya 2:1-hez abban az esetben, ha a nyári hónapokban fogyasztásnak tekintjük a

föld alatti gáztárolók töltésére szolgáló gázmennyiséget is. Ezen gázmennyiség nélkül a téli és a nyári hónapok fogyasztási aránya elérné a 3,5:1 ... 4:1 arányt.



4.1-2 ábra 2001/2002-es téli időszak jellemző adatainak időbeni változása

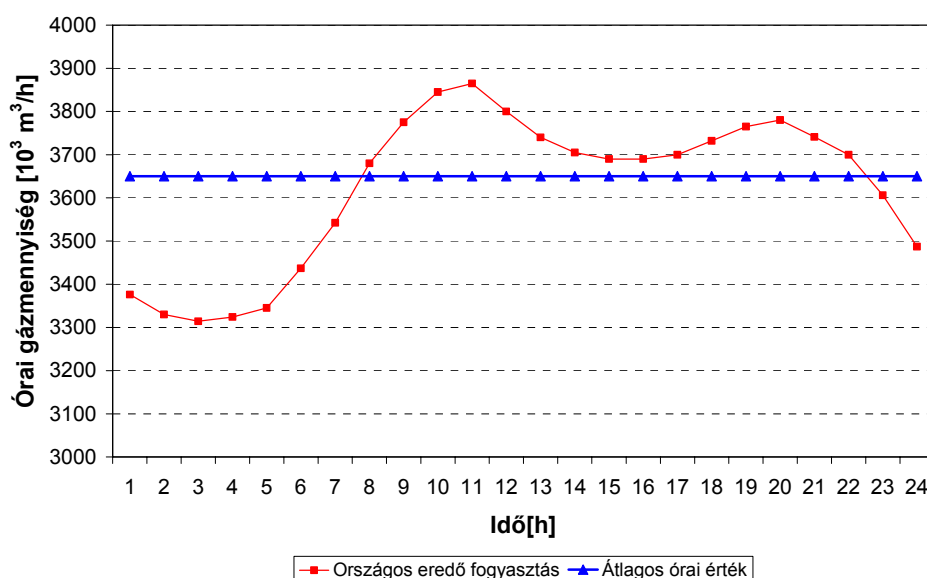
A havi szintű szezonális ingadozás mellett jellemző, és a földgázellátó rendszer egyensúlyozása szempontjából döntő jelentőségű a napi és a napon belüli fogyasztás-ingadozás. A mai jogszabályi környezetben az ellátási kötelezettség napi szintű fogyasztás-forrás lekötésre épül, és -8°C -os napi középhőmérsékletig van előírva a gázértékesítő részére. A 2001/2002-es télen minden eddiginél nagyobb napi fogyasztásokat kellett kielégítenie a földgázellátó rendszernek. A 4.1-2 ábrán látható, hogy a fűtési szezonban a maximális és minimális napi gázigény különbsége elérte a $35 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -t. Ekkora mértékű fogyasztásingadozás nagyfokú rugalmasságot követelt meg az együttműködő földgázrendszerrel.

A napon belüli fogyasztásingadozást elsősorban a fogyasztói szokások, a munkaidő és a pihenőidő változása határozza meg. A napon belüli gázfogyasztásnak a jelenlegi fogyasztói szerkezet mellett két fő jellemzője van: a reggeli és az esti csúcs. A téli időszakban a napi gázigények szoros összefüggésben vannak a napi középhőmérséklettel. A kiegyensúlyozott földgázellátás érdekében minden nap az időjárási előrejelzésből kiindulva prognosztizálni kell a következő napra vonatkozó gázigényt. Az időjárási és a gázigény prognózisok bizonytalansága jelenti az alapvető nehézséget a rendszeregyensúlyozás és irányítás szempontjából.

Megvizsgáltam az elmúlt fűtési szezonban a napon belüli fogyasztásingadozás jellegét. Az elemzéshez 52 jellemző napon az országos eredő gázigény órási adatait választottam ki (2496 adat). A 2001. december 10. és 2002. február 1. közötti időszak órai fogyasztási adatait elemezve azt találtam, hogy az éjszakai alacsonyabb mértékű fogyasztás után minden nap következik egy reggeli csúcs, majd egy kora délutáni fogyasztáscsökkenés. Ezt követi az esti csúcs, és a fogyasztás ismételt visszaállása. A vizsgált időszak adatait elemezve összefoglalóan megállapítható, hogy a reggeli és az esti csúcspontok között az éjszakai fogyasztási minimumok között kb. 20 %-os eltérés van. A reggeli és az esti csúcsok közötti fogyasztáscsökkenés mértéke jellemzően 3-5%-os. A mai fogyasztói szerkezet mellett a reggeli csúcs 7 órától kezdődik, a maximális értékét délelőtt 9-órakor éri el. Ezt követően folyamatosan csökken a fogyasztás, majd 14 óra körül éri el a minimumot. Az esti csúcs 18

órákor kezdődik és jellemzően 22 óráig tart. Ekkor nagymértékben csökken a lakossági fogyasztás. Ebben a napszakban az országos villamos energia igény is csökken, emiatt az erőművek fogyasztása is jelentősen visszaesik.

Megállapítható, hogy a téli fűtési időszakban a napon belüli fogyasztásingadozást egy „kétpupú” görbével lehet jellemezni, amely a 4.1-3 ábrán látható. A görbe maximális pontjai délelőtt 10 és 11 óra, illetve este 19 és 20 óra között találhatók.



4.1-3 ábra Tipikus napi terhelési görbe

4.2. Forrásoldali határfeltételek

A teljes földgázellátó rendszer vizsgálata esetén számításba kell venni a betáplálási pontok (hazai termelés, import, föld alatti gáztárolók) jellemző üzemi paramétereit is, mivel ezek technikai adottságai – együttműködő képességei- alapvető hatást gyakorolnak a rendszeregyensúlyozás folyamatára, lehetőségeire, valamint a szezonális hatások kiegyenlítésére. A kapcsolódó rendszereknek a fő jellemzői a fogyasztás-forrás egyensúlyozása szempontjából a következők:

- mobil tárolói készlet ($10^6 \text{ m}^3/\text{a}$)
- napi termelés (minimum, maximum, $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$)
- órai kapacitás (minimum, maximum, $10^3 \text{ m}^3/\text{h}$)
- rugalmasság (fel- és leterhelhetőség, $10^3 \text{ m}^3/\text{h}$)
- gázminőség
- kitárolási/betárolási nyomások (bar)

A fogyasztás ingadozása és a termelés, valamint az import szerződések által megkövetelt források egyenletessége zavarokat idézne elő a gázszolgáltatásban, ezért 4.1. fejezetben leírt szezonális ingadozások „kiegyenlítésére” döntően a föld alatti gáztárolókat használják fel a rendszeregyensúlyozásnál. A rendszerirányítást végző szervezetnek folyamatosan ismernie kell a kapcsolódó rendszerek technikai-műszaki lehetőségeit, és ezen ismeretek birtokában kell meghoznia a fogyasztás-forrás egyensúlyát helyreállító döntéseit. A 2001/2002-es télre vonatkozóan a föld alatti gáztárolók napi szintű technikai lehetőségei láthatók a 4.2-1 táblázatban.

	Hajdúszoboszlói FGT	Pusztadericsi FGT	Maros-1 FGT	Zsanai FGT
Max. mobil készlet	1400	330	150	1300
Feltöltöttség [%]	Maximális napi kitárolás ($10^6 \text{ m}^3/\text{d}$)			
100	19.2	2.6	2.2	18.0
90	19.2	2.6	2.2	18.0
80	19.2	2.6	2.2	18.0
70	19.2	2.6	2.2	18.0
60	19.2	2.6	2.2	18.0
50	19.2	2.6	2.2	18.0
40	19.2	2.3	2.2	18.0
30	19.2	2.0	2.0	18.0
20	17.0	1.7	1.7	18.0
10	15.5	1.5	1.6	16.0
0	14.5	1.2	1.6	12.0
A csúskapacitáshoz tartozó nyomástartomány (bar)	40-57	30-45	41-51	38-57

4.2-1 táblázat A föld alatti tárolók kiadási kapacitásának változása a mobil készlet függvényében

A hazai gázellátó rendszeren a föld alatti gáztárolók csúskapacitása 100%-os feltöltöttség esetén $42 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$, ami a kitárolás időszakában a feltöltöttség mértékében folyamatosan csökken. A táblázatban nem szerepel a kardoskúti tároló, amely a 2000-ben bekövetkezett kútkitörés miatt jelenleg csak korlátozottan alkalmas fogyasztásingadozások kiegyenlítésére.

További meghatározó paramétere a tárolóknak a napi és órai szintű terhelésváltási lehetősége, az ún. rugalmassági mérték. Ez a paraméter kihatással van a teljes földgázellátó rendszer egyensúlyozási módszerére, mivel a terhelésváltoztatás sebessége alapján határozza meg a rendszerirányító egyensúlymegbomlás esetén a szükséges intézkedéseket. A hazai rendszer egyensúlyozása szempontjából kiemelt fontossága van a zsanai és a hajdúszoboszlói föld alatti gáztárolóknak. Ennek oka a földrajzi elhelyezkedésük és jelentős kapacitásuk. A két tároló rugalmassági mértékét mutatja be a 4.2-2 táblázat.

Mobil készlet (%)	Hajdúszoboszlói FGT	Zsanai FGT	Hajdúszoboszlói FGT	Zsanai FGT
	Max. terhelésváltozás napi szinten ($10^6 \text{ m}^3/\text{d}$)		Max. terhelésváltozás órai szinten ($10^3 \text{ m}^3/\text{h}$)	
100	6	8	24	110
30	3,5	6,5	20	80
10	2	4	15	60
Nyomástartomány (bar)	40-57	38-57	40-57	38-57

4.2-2 táblázat Maximális terhelésváltozás a föld alatti tárolóknál

A források másik csoportját a hazai termelőmezők, illetve azok távvezetési indítópontjai alkotják. A korábbi évtizedekben a hazai gázmezők termelési ütemét a termelő-, gyűjtő- és előkészítő kapacitások, és nem a készletek korlátozták. Napjainkban a technikai paraméterek mellett az értékesítési ár és a termelési költségek együttesen határozzák meg az adott mezőn elérhető gazdaságos termelési ütemet, és a rugalmasság mértékét. Jelenleg a

gazdaságosan kitermelhető készlet kb. $35 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Sajnálatos tény, hogy a hazai mezők termelése folyamatosan csökken, és ezt a kutatás fokozása, továbbá a termelés intenzifikálása sem képes ellensúlyozni. A fogyasztás-forrás egyensúlyozás szempontjából a hazai termelés esetében a következő alapvető szempontokat kell figyelembe venni:

- a mezők termelési szintje csak korlátozottan változtatható;
- a mezők hozamának csökkenése következtében egyre érzékenyebbek a terhelésváltásokra, ezért lehetőség szerint minél ritkábban kell változtatni azokat;
- a földgáz a szállítórendszerbe csak megfelelő előkészítés után, az MSZ1648-as szabványnak megfelelő minőségben adható be. Ez egyre komolyabb problémát jelent a földgázellátás szempontjából, mivel a hazai termelt gázok egy része nem megfelelő minőségű, és a szállítóvezeték rendszer nincs felkészülve, hogy a különböző minőségű gázokból szabványnak megfelelőt keverjen. Ennek megfelelően kiemelt figyelmet kell fordítani a rendszeregyensúlyozónak, hogy csak szabványnak megfelelő minőségű gázt vegyen át szállításra. Erre a hazai szállítórendszer még nincs teljes körűen felkészülve.

4.3. Ellátásbiztonság

A jelenleg érvényes Gáztörvény alapján az ellátásbiztonság a gázértékesítési engedélyes (jelenleg a MOL Rt.) felelőssége. Ennek megfelelően előre kell megbecsülni a várható gázigényeket (havi, napi szintű) és gondoskodnia kell az igényeknek megfelelő mértékű forrásról. Az igények előrebecsléséhez a tényfogyasztásokon alapuló matematikai modellt használnak, amellyel meghatározásra kerül a hőmérsékletfüggő fogyasztás és a hőmérséklet összefüggése. A modell alapján a 2001/2002-es télre a 4.3-1 táblázatban látható napi csúcsigényekre készült fel a gázértékesítő a hőmérséklet függvényében:

Megnevezés	Me.	Alapadatok és igények							
Napi átlaghőmérséklet	°C	+2	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12
Napfokszorzat gázegyenértéke	$10^6 \text{ m}^3/\text{d}^\circ\text{C}$	2.1	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
Fűtési küszöbhőmérséklet	°C	16.0							
Hőmérséklettől független fogyasztás	$10^6 \text{ m}^3/\text{d}$	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7
Hőmérsékletfüggő fogyasztás	$10^6 \text{ m}^3/\text{d}$	35.4	39.4	43.1	46.5	49.5	52.2	54.6	56.7
Összes csúcsigény	$10^6 \text{ m}^3/\text{d}$	59.2	63.2	66.9	70.2	73.3	75.9	78.4	80.5

4.3-1 táblázat A hazai gázszállító rendszeren várható csúcsigények

A várható napi csúcsigényeknek megfelelően kell a hazai termelés és az import források átvételi ütemét, és a föld alatti gáztárolók kisütési programját, valamint kapacitását meghatározni. A várható csúcsfogyasztások becslését követően meghatározásra kerülnek a havi szintű gázigények egy ún. átlagos téli időjárási viszonyoknak megfelelően. Az ellátásbiztonság fokozásának érdekében a gázigény előrejelzés még két lehetséges scenárióra ellenőrzésre kerül. Ez azt jelenti, hogy az elmúlt 20 év adott hónapjaira jellemző – leghidegebb, átlagos és legmelegebb hőmérsékleti adatainak alapján meghatározzák az egyes hónapok várható fogyasztásait. A hideg modell rendkívül szigorú követelményrendszert jelent, mivel annak valószínűsége, hogy a vizsgált periódusban a minden egyes napon az elmúlt 20 évben mért leghidegebb hőmérséklet következzen be igen kicsi. A 2001/2002-es télre a különböző scenáriókra becsült fogyasztások eredményei a 4.3-2 táblázatban láthatók.

2001/2002 ŐSZ-TÉL	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Márc.
FOGYASZTÁS-FORRÁS IGÉNY	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³
Enyhe tél	954	1401	1666	1749	1438	1233
Átlagos tél	1014	1454	1786	1854	1564	1417
Hideg tél	1135	1585	1832	1989	1730	1483

4.3-2 táblázat Havi gázigények különböző szigorúságú időjárás esetén

A havi becsült fogyasztás-forrás szerkezetet ezután napi szintűre kell bontani, amely a 4.3-3 táblázatban látható. A táblázatot vizsgálva megállapítható, hogy a téli hónapokban hazai ellátásra rendelkezésre álló, 80 10⁶ m³/nap-os forrás a –12°C-os hidegre becsült fogyasztási igényeket is kielégíti, így az felkészülés ellátás biztonsági szempontokból megfelelő, a csúcsigények kielégítése garantálható.

Me.: 10⁶ m³/d; 15°C-on

Megnevezés	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Márc.
Hazai termelés	12.0	12.0	12.0	11.5	11.5
Föld alatti gáztárolás	41.8	42.5	42.5	39.75	33.2
Behozatal összesen	26.2	26.2	27.7	27.7	27.7
-Beregszász irányából	18.2	18.2	19.7	19.7	19.7
-HAG vezetéken	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Összes forrás:	80.0	80.7	82.2	78.95	72.4

4.3-3 táblázat Napi forrás szerkezete a vizsgált téli hónapokban

Az ellátásbiztonság másik nagyon fontos kérdése a közép- és hosszú távú felkészülés a várható fogyasztásra mind a források, mind pedig a szállító és tárolókapacitások tekintetében.

A földgázértékesítői engedélyes felelőssége, hogy a földgázszolgáltatók és a közvetlen ellátású fogyasztók által előrejelzett fogyasztásoknak megfelelő források éves, napi és órai szinten, továbbá az ehhez szükséges szállítói-tárolói kapacitás rendelkezésre álljon.

Meg kell jegyezni, hogy az elmúlt évek tapasztalatai alapján a gázszolgáltató társaságok a csúcsidei napi gázigényeket jelentősen alábecsülték. Ennek oka valószínűleg az volt, hogy a tarifarendeletnek megfelelően teljesítménylekötési díjat kell fizetniük a gázértékesítő részére. Az egyes gázátadó állomásokon nem a maximális gázigényeknek megfelelő teljesítményt kötik le, hanem annál kisebbet, és túllépés esetén kifizetik a rendeletben szereplő pótdíjat. Ez a stratégia a társasági profitérdeket tartja szem előtt, és figyelmen kívül hagyja a földgázellátó rendszer egyensúlyának a szempontját. Különösen csúcsidőszakban eredményez kritikus helyzetet az előzőek szerinti stratégia.

A fentiek alapján megállapítható, hogy az ellátásbiztonságot csak rugalmas, speciális követelményeket kielégítő csúcsidei tárolókkal, vagy csúcsfedező eljárásokkal lehet biztosítani.

5. A rendszerirányítás módszertana

5.1. A rendszerirányítás feladata és eszközei

A gázpiaci liberalizáció szakmai előkészítési folyamatában már 2000-ben valamennyi piaci szereplő által megfogalmazódott az igény arra, hogy létre kell hozni egy országos hatáskörrel felruházott, a nagynyomású hálózat fogyasztás-forrás egyensúlyáért felelős szervezetet. A szervezet feladatköréről, jogállásáról és szervezeti működéséről eltérőek voltak a vélemények, de végül 2001 őszére konszenzus alakult ki. Megállapodás született arról, hogy a földgázrendszer elemeinek üzemeltetői a saját rendszerük fogyasztás-forrás egyensúlyáért felelősek, azonban a nagynyomású szállítórendszer üzemeltetőjének olyan felhatalmazást – engedélyt- kell adni, amely feljogosítja a teljes földgázellátó rendszer egyensúlyának operatív ellenőrzésére, és az egyensúly megbomlás esetén a szükséges intézkedések meghozatalára. Ennek megfelelően – hasonlóan több Európai Unió ország gyakorlatához- a magyar gázpiacon is célszerűnek látszik, hogy a gázszállító rendszer üzemeltetője kapjon központi, országos ún. rendszerirányítási feladatot és felhatalmazást.

A nagynyomású szállítóvezeték rendszer üzemeltetője jelenleg a MOL Rt., amely 2001. júniusában átalakította a Földgáz Divízióját az új piaci modell által megkívánt szerkezetűre. Önálló üzleti egységbe szervezte a nagynyomású rendszer üzemeltetőjét a siófoki székhelyű Földgázszállítást, és létrehozott ezen belül egy új szervezetet. A szervezet neve Rendszerirányítás-Gázforgalmazás, amely külön engedélyesként, de nem önálló jogi személyiségként végzi majd a tevékenységét.

A rendszerirányítói engedélyes főbb operatív felelősségei és feladatai a következők:

- felelős a törvény által meghatározott engedélyesek részére a szállítóvezetékhez való átlátható és diszkriminációmentes hozzáférés biztosításáért;
- felelős a szállítatói igénybejelentések (nominálások) fogadásáért, visszaigazolásáért;
- felelős a nagynyomású szállítórendszer fogyasztás-forrás egyensúlyáért;
- felelős az együttműködő rendszer biztonságos és hatékony működése érdekében a szükséges intézkedések megtervezéséért és jogosult azok elrendelésére, beleértve a fogyasztói korlátozást is;
- felelős a piaci szereplők felé történő adatszolgáltatás biztosításáért.

A Rendszerirányítói engedélyes felett a hatósági jogkört – hasonlóan a többi engedélyeshez- a Magyar Energia Hivatal gyakorolja majd.

A rendszerirányítás tulajdonképpen egy olyan folyamatosan „gördülő tevékenység, amely három egymást követő nap tevékenységeit foglalja össze. Ezek a következők:

Gázszállítást megelőző nap

- a szállítási szerződéssel rendelkező gázkereskedők nominálásainak fogadása;
- a nominálások összesítése, majd a teljesíthetőségük vizsgálata érdekében hidraulikai vizsgálatok végzése;
- a fenti nominálások visszaigazolása.

Gázszállítás napja

- a szállítási szerződésekben foglalt kötelezettségek teljesítése;
- fogyasztás-forrás egyensúlyozás;
- egyensúly megbomlás esetén a szükséges intézkedések elrendelése, szükség esetén tüzelőanyag cserék és korlátozások elrendelése.

Gázszállítást követő nap

- a szállítatói megrendelések mennyiségi és minőségi elszámolása, fogyasztónként allokálva;
- adatszolgáltatás

Az előző tevékenységeket egészítik ki a következő feladatok:

- kapacitásbiztosítási nyilatkozatok kiadása;
- közép- és hosszútávú kapacitásvizsgálatok;
- marketing tevékenység;
- telemechanikai hardver és szoftver üzemeltetés.

5.2. Fogyasztáselőrejelzés

A rendszeregyensúlyozás sikerességének egyik alapvető feltétele a megfelelő döntés-előkészítési mechanizmus. Ebben a mechanizmusban két döntő elem nélkülözhetetlen: a meteorológiai előrejelzés és a szállítatói nominálás (Zsuga *et al.* 2002.). A fogyasztás-forrás egyensúly biztosításához folyamatosan fel kell készülni a várható fogyasztásra.

Az egyensúlyozásra való felkészülés legfontosabb eleme a szállítatói nominálás (szállítatói megrendelés). A nominálás nem más mint a szállítatók által előre prognosztizált fogyasztás, és az ahhoz rendelt források nagyságának, továbbá egyéb információk megadása. A hazai gázpiacon a gázszolgáltatók részéről nem alakult ki a napi nominálás gyakorlata a gázértékesítő felé, azonban ez a piacnyitásnak nélkülözhetetlen eleme lesz. Szabályozni kell a nominálás folyamatát, és annak tartalmi elemeit. Annak érdekében, hogy a rendszerirányító a feladatát a jogszabályokban előírt módon el tudja végezni, a szállítatói nominálásnak minimálisan tartalmaznia kell a következőket:

- a prognosztizált kommunális fogyasztást ($10^6 \text{ m}^3/\text{d}$);
- a prognosztizált ipari fogyasztás fogyasztói helyenként ($10^6 \text{ m}^3/\text{d}$);
- a prognosztizált erőműi fogyasztást fogyasztói helyenként ($10^6 \text{ m}^3/\text{d}$);
- az ipari és erőműi fogyasztás órai maximuma és minimuma ($10^3 \text{ m}^3/\text{h}$);
- a fogyasztáshoz rendelt források megbontva importra, tárolóra, és termelésre távvezetési „0”-pontként ($10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ és $10^3 \text{ m}^3/\text{h}$);
- megszakítható fogyasztások mértéke fogyasztási helyenként ($10^3 \text{ m}^3/\text{h}$);
- opcionális fogyasztás és forrás lehetőségek a hőmérséklet előrejelzés bizonytalanságából adódó kockázatok kezelésére.

Ma a szakmában komoly vita folyik arról, hogy a szállítatók milyen időtávra nomináljanak előre a szállító részére. Felmerült a havi, a napi és az órai szintű nominálás lehetősége, mivel az európai gyakorlatban mindegyikre van példa. Nem szabad elfelejteni azonban azt, hogy a nominálás egyben megrendelés is, amelynek jogi következményei vannak, mind a megrendelőre, mind pedig a szállítóra nézve, és kizárólag olyan nominálás adható a szállító részére, amely a prognosztizált fogyasztásnak megfelelő mértékű forrást tartalmaz.

Ennek előnyei a következők:

- a jelenlegi jogi szabályozás napi szintű lekötést ír elő a szállítatók és a fogyasztók részére, órai csúcstúllépés figyeléssel;
- a hazai források rendkívül rugalmatlanok, nem teszik lehetővé az órai szintű napi több alkalommal végrehajtott terhelésváltoztatásokat;
- Az import források szerződése nap szinten egyenletes átvételt írnak elő;

- A gázturbinás erőműi fogyasztás a Magyar Villamos Teherelosztó Rt.(MAVIR Rt.) által adott termelési engedélytől függ, amely nehezen prognosztizálható havi szinten, mivel a villamos energia területén megkezdődött a piacnyitás.

A napi nominálás hátrányai a következők:

- a viszonteladók (gázszolgáltatók) számára komoly nehézségekbe fog ütközni még a napi szintű kommunális fogyasztás előrejelzése is fogyasztási pontonként, mivel erre jelenleg nincsenek rákényszerülve, és ennek megfelelően felkészülve;
- napon belül következmények nélkül lehet túl- és alulfogyasztani és ennek kockázatát a szállító viseli, mivel a vezetékkészlet változásával kell az ingadozásokat lekezelni.

Kizárólag csak olyan „mélységű” nominálást szabad alkalmazni a hazai gázellátó rendszeren, amelyre a műszaki és jogi keretek lehetőséget adnak, ezért megállapítható, hogy Magyarországon a napi szintű nominálást indokolt alkalmazni.

A fogyasztás előrejelzés másik kiemelt eleme a meteorológiai adatszolgáltatás. A fogyasztás-forrás egyensúlyának biztosíthatósága érdekében a következő minimális meteorológiai információkkal kell rendelkezni a rendszerirányítói engedélyesnek és megrendelnie az Országos Meteorológiai Szolgálattól (OMSZ):

- 10 napos előrejelzés a várható országos középhőmérsékletre. Az előrejelzésnek tartalmaznia kell, a várható átlagszelet és széllökéseket;
- 48 órás várható középhőmérsékleti előrejelzés 6 regionális körzetre (Budapest, Észak-Dunántúl. Dél-Dunántúl, Duna-Tisza köze, Tiszántúl, Északi-középhegység) Az előrejelzésnek tartalmaznia kell, a várható átlagszelet és széllökéseket;
- 24 órás várható középhőmérsékleti előrejelzés 6 regionális körzetre (Budapest, Észak-Dunántúl. Dél-Dunántúl, Duna-Tisza köze, Tiszántúl, Északi-középhegység) Az előrejelzésnek tartalmaznia kell, a várható átlagszelet és széllökéseket.

Mint azt a 4.1. fejezetben bemutattam, az időjárásváltozás döntő mértékben befolyásolja a fűtési célú fogyasztást. Sajnos, a meteorológiai előrejelzések pontatlansága rendkívül komoly kockázatot jelent a fogyasztás-forrás egyensúlyozása szempontjából. Az OMSZ nem vállal felelősséget az általa elkészített prognózisokért, és ráadásul a gáziparon kívüli „szolgáltató”. Ugyanakkor a gázpiaci szereplők részére az OMSZ által adott hőmérséklet előrejelzés tekinthető szakmailag leginkább megalapozottnak.

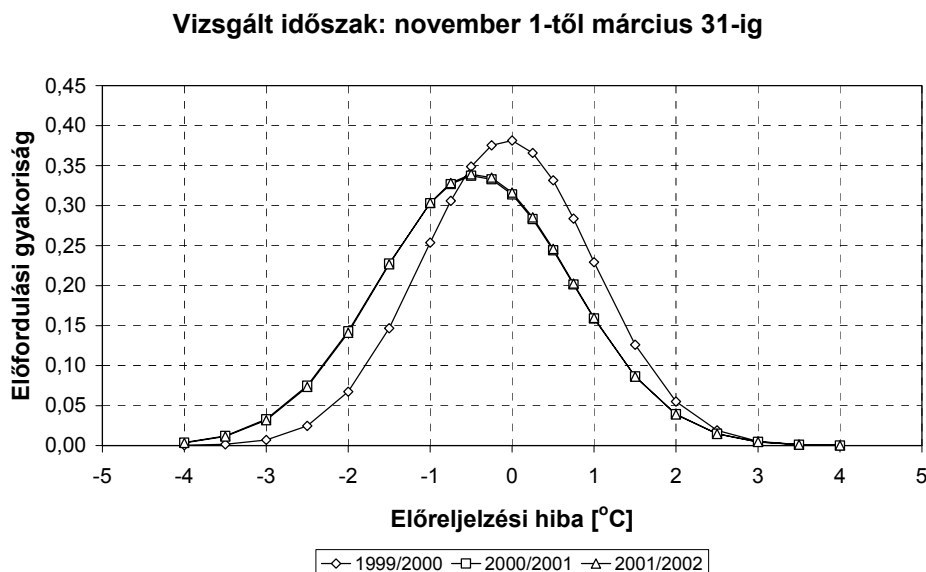
Megvizsgáltam az 1998-2002 fűtési szezonokra vonatkozó meteorológiai adatokat, összehasonlítva az OMSZ által adott napi középhőmérséklet előrejelzést a tényleges napi értékkel. Évenkénti bontásban meghatároztam, hogy milyen gyakran fordult elő különböző nagyságú eltérés a prognosztizált és a tényleges napi középhőmérséklet között. A feldolgozás eredménye látható az 5.2-1 táblázatban.

Fűtési szezon	Eltérés mértéke ≥ 1 °C	Eltérés mértéke ≥ 2 °C	Eltérés mértéke ≥ 3 °C	Eltérés mértéke ≥ 4 °C	Megjegyzés
1998/1999	35 esetben	7 esetben	0 esetben	1 esetben	max. 4,14 °C
1999/2000	70 esetben	11 esetben	2 esetben	0 esetben	max. 3,14 °C
2000/2001	78 esetben	13 esetben	1 esetben	2 esetben	max. 4,32 °C
2001/2002	71 esetben	13 esetben	3 esetben	1 esetben	max. 4,32 °C

5.2-1 táblázat Különböző mértékű előrejelzési különbségek előfordulási gyakorisága

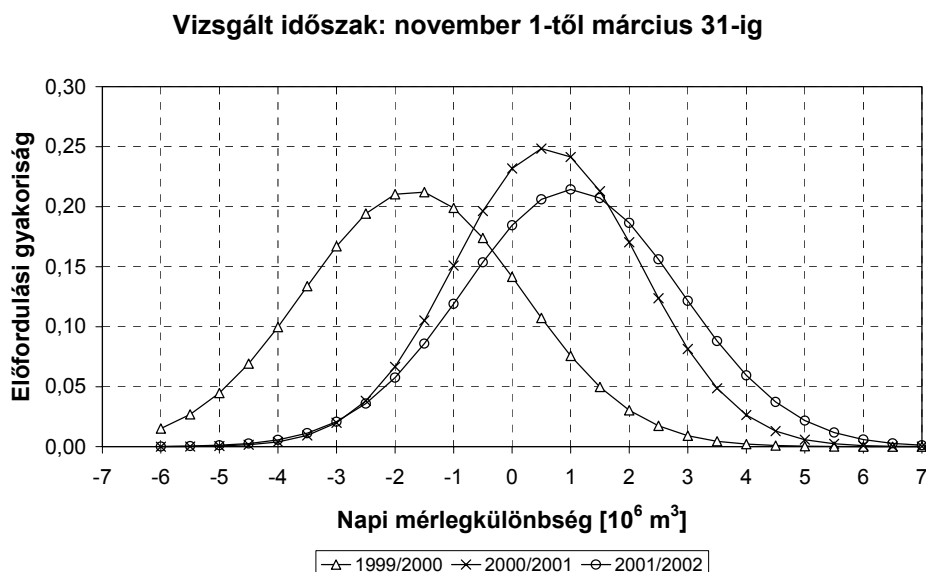
A táblázatban szereplő adatokat elemezve látható, hogy a rendszeregyensúlyozást végző szervezetnek jelentős kockázatot kell vállalnia, hogy a fogyasztásnak megfelelő nagyságú forrás a bizonytalanságok ellenére az ellátó rendszerbe betáplálásra kerüljön. A rendszerirányítónak minden nap reggel az időjárás előrejelzésre alapozva kell meghoznia a döntést, hogy milyen nagyságú forráskapacitások igénybevételét rendeli el. A 4.2.-ban leírtak alapján azonban a források csak meghatározott módon, időben és mértékben mozgathatók, így napközben korrekcióra csak korlátozottan van lehetőség.

A továbbiakban azt vizsgáltam, hogy milyen az eloszlása a prognosztizált és a tényleges napi középhőmérsékletek különbségének.



5.2-1 ábra A napi középhőmérséklet-prognózisok hibájának előfordulási gyakorisága

Három téli időszak november 1. és március 31. közötti előrejelzési eltéréseinek az előfordulási gyakorisága látható az 5.2-1 ábrán. Az ábrán szembejövő, hogy az 1999/2000-es téli időszak görbéje eltér a másik két téli időszak görbéjétől. Mivel az utolsó két téli időszak görbéje igen jó egyezést mutat, valószínűsíthető, hogy az 1999/2000-es és a 2000/2001-es időszak között megváltozott az előrejelzés módszere. Az ábráról megállapítható, hogy az előrejelzés pozitív és negatív irányba egyaránt eltér a tényleges értéktől. A várható érték zérustól különböző nagysága véleményünk szerint azzal magyarázható, hogy a vizsgált adatpontok nem képeznek statisztikailag megfelelő nagyságú halmazt. Az ábrából látható, hogy szélső esetben ± 4 °C-os eltérés is lehetséges a prognosztizált és a tényleges napi középhőmérséklet között. Leolvasható továbbá tetszőleges előrejelzési bizonytalansághoz tartozó előfordulási gyakoriság is. Példaként említhető, hogy $\pm 1,5$ °C-os előrejelzési bizonytalansághoz 15 %-os, $\pm 2,5$ °C-os előrejelzési bizonytalansághoz 5 %-os, és $\pm 3,5$ °C-os előrejelzési bizonytalansághoz 1 %-os gyakoriság tartozik. A vizsgált 151 napra vetítve az előző gyakoriságok azt jelentik, hogy két napon várható $\pm 3,5$ °C nagyságú eltérés a napi középhőmérséklet előrejelzésben. A napi középhőmérséklet előrejelzési bizonytalansága közvetlen hatással van a napi felkészülésre, mivel a napi gázfogyasztás hőmérsékletfüggési együtthatójának figyelembe vételével maximálisan $\pm 6 \dots 8 \cdot 10^6$ m³/d bizonytalanságot eredményez a tárgynapi felkészülésben. Ez a bizonytalanság már olyan mértékű, amelynek kezeléséhez a rendszerirányítónak megfelelő eszközökkel kell rendelkeznie.



5.2-2 ábra A napi forrás-fogyasztás mérleg különbségének előfordulási gyakorisága

A gázszállító rendszer napi forrás-fogyasztás mérlegének napi különbségét a napi középhőmérséklet előrejelzés bizonytalansága mellett más tényezők is befolyásolják. Az 5.2-2 ábrán a napi forrás-fogyasztás mérleg különbségének előfordulási gyakorisága látható a legutóbbi három téli időszakban. Az ábrából szembetűnő, hogy a görbék maximumpontja, azaz a mérlegkülönbség legvalószínűbb értéke pozitív, illetve negatív irányba eltér a zérus értéktől. A jelenség oka a rendelkezésre álló adatok statisztikai feldolgozásából nem állapítható meg. Az ábrából azonban látható, hogy az egy napon belüli beavatkozások (forrásértékek változtatása, tüzelőanyag csere, megszakítható fogyasztás, korlátozás) hatását is tükröző napi mérlegkülönbségek minden téli időszakban $\pm 6 \dots 7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ maximális értéket mutatnak. Az ábráról leolvasható bármely, tetszőleges nagyságú mérlegkülönbség előfordulási gyakorisága is. Ezek az értékek a rendszeregyensúly biztosításához szükséges eszközök és módszerek meghatározását alapozzák meg.

Az előzőek alapján az alábbi megállapítások tehetők:

- az OMSZ napi középhőmérsékleti előrejelzésének a bizonytalansága nem hanyagolható el, de statisztikus feldolgozással a bizonytalanság mértéke meghatározható;
- az OMSZ napi középhőmérsékleti előrejelzésének a bizonytalansága közvetlen hatással van a napi nominálás alapjául szolgáló napi gázigény előrejelzésre;
- az előző évek adatainak elemzése alapján a napi forrás-fogyasztás mérleg maximális ingadozása elérte a napi gázigény $\pm 8 \dots 10 \%$ -át, ami a rendszeregyensúly szempontjából már kritikus nagyságú.

5.3. Off-line és on-line szimuláció szerepe

A gázpiaci liberalizáció egyik legfontosabb eleme a szabad hozzáférés (Third Party Access) a tárolói, szállítói és elosztói rendszerekhez. A szállítatók a szállítóvezeték rendszer kapacitásaihoz hozzáférhetnek előzetes igénybejelentést (nominálást) követően. Szükség van egy olyan valamennyi piaci szereplő által elfogadott vizsgálati módszere, amellyel eldönthető, hogy a megrendelt szállítási feladat teljesíthető-e. Ez pedig nem lehet más, mint egy hidraulikai vizsgálat. A hidraulikai vizsgálatokat javasolt olyan szimulációs szoftverrel

végezni, amelynek a számítási metodikáját egységesen elfogadják a szereplők. Ma Magyarországon a nagynyomású rendszer hidraulikai vizsgálatára két szoftvert alkalmaznak a hazai fejlesztésű TGAS, illetve a cseh/német SIMONE programokat. A szállító rendszer számítógépes szimulációjával lehetővé vált a következő feladatok elvégzése:

- a gázszállító rendszer üzemmenetének optimalizálása;
- a gázszállító rendszer szűk kapacitás keresztmetszeteinek meghatározása;
- a gázszállító rendszer fejlesztési igényeinek meghatározása a prognosztizált fogyasztás és forrás profilok alapján;
- a gázszállító rendszer kapacitásainak meghatározása, a szállítatói igénybejelentések teljesíthetőségének vizsgálata.

Az igénybejelentés lehet rövid, közép, valamint hosszú távú. Az időtávtól függően két hidraulikai módszert alkalmaznak a vizsgálatokra:

on-line szimuláció, amelyet a rövidtávú igénybejelentések (kapacitás lekötések) esetén alkalmaznak. A módszer az aktuális üzemállapotokhoz határozza meg a vezetékrendszeren a szállítási feladat teljesíthetőségét. Az on-line szimuláció a rendszer aktuális üzemállapotához (csomóponti beállítások, kompresszor állomás üzemmenetek stb.) rendeli hozzá a telemechanikai rendszerről kapott aktuális fogyasztás és nyomás értékeket, valamint egy várható fogyasztás-forrás trendet. Ez a szimulációs modell lehetővé teszi a különböző időbeli változású fogyasztás- és forrás szerkezet vizsgálatát. Az on-line szimulációs modell csak korszerű telemechanikai rendszerrel összekapcsolva alkalmazható eredményesen.

off-line szimuláció, amelyet a közép és hosszú távú igénybejelentés esetén alkalmaznak. Ez a módszer egy fiktív üzemállapotra és feltételezett fogyasztás-forrás szerkezetre határozza meg a vezetékrendszeren a szállítórendszer kapacitását. Az off-line szimuláció a közép- és hosszú távú adatszolgáltatáson alapul, amelynek a tapasztalatok alapján nagyfokú a pontatlansága és nem ad iránymutatást a fogyasztás és forrás szerkezetének időbeni változásaira.

Mindkét szimulációs módszer alkalmazható állandósult és tranziens vizsgálatra. A műszaki probléma jellegétől függ, hogy melyik áramlási forma választása célravezetőbb. Általános rendező elv az, hogy a rendelkezésre álló adatok mennyisége és pontossága (vagy bizonytalansága) alapján célszerű a módszerek között választani. Minél hosszabb távú hidraulikai vizsgálat szükséges annál valószínűbb ugyanis, hogy a rendszer aktuális üzemállapotáról (csomóponti kapcsolások, terhelések, kompresszor rendelkezésre állások és üzemállapotok) nem állnak rendelkezésre biztos információk, mivel ezek a jövőbeni döntésektől függenek. Ezek alapján kijelenthető, hogy a távlati tervezéskor az állandósult áramlási modellt kell alkalmazni, mivel a tranziens szimulációval nyerhető többletinformációk a bemenő adatok bizonytalansága miatt kétes értékű és félrevezető lehet. A szállítóhálózat aktuális üzemirányításához és a pillanatnyi kapacitásának meghatározásához azonban nagymennyiségű adat áll rendelkezésre a telemechanikai rendszeren, ezért ilyen esetekben előnyösebb és pontosabb eredményű a nagy adatigényű tranziens szimuláció alkalmazása. A szállító rendszer aktuális és napon belüli üzemviszonyainak tervezéséhez a várható változások (fogyasztás-forrás) valósághű modellezése, a rendszer aktuális kapcsolásainak pontos ismerete szükséges. Egy ilyen vizsgálat nem végezhető el állandósult áramláson alapuló modellel, kizárólag tranziens szimulációval.

5.4. Kihívások a rendszerirányítás területén (Esettanulmány)

A következőkben ismertetem, hogy miként reagált a rendszerirányító az elmúlt fűtési idény egyik legnagyobb fogyasztású napján a fellépő fogyasztói igényekre.

A 2001/2002-es fűtési szezon két leghidegebb középhőmérsékletű napja 2001.december 14-e és 2002. január 04-e volt. A december 14-i fogyasztási csúcsot egy viszonylag hirtelen és gyors lehűlés előzte meg. A kritikus napot magába foglaló 5 napos időszak jellemző adatait az 5.4-1 táblázat tartalmazza.

Dátum	Előre jelzett napi középhőmérséklet (°C)	Tényleges napi középhőmérséklet (°C)	Fogyasztás (10 ⁶ m ³ /nap)
2001.12.12.	-4,6	-3,7	71,937
2001.12.13.	-7,0	-8,5	78,694
2002.12.14.	-9,0	-10,0	79,881
2002.12.15.	-10,6	-9,0	79,281
2002.12.16.	-7,7	-6,6	75,845

5.4-1 táblázat Prognosztizált és tényleges bázisadatok összehasonlítása

A táblázatból látható, hogy a napi középhőmérséklet két nap alatt több mint 6 °C-ot csökkent. Az OMSZ által adott meteorológiai előrejelzés mind az öt vizsgált napon eltért a tényleges napi középhőmérséklettől. Ebből a hőmérsékleti prognózisból kiindulva készítették el a napi gázigény előrejelzéseket. A gázértékesítő (MOL Rt-Földgázkereskedelem) által prognosztizált fogyasztás, és a rendszerirányító rendelkezésére bocsátott források az 5.4-2 táblázat szerint alakultak:

Dátum	A gázértékesítő által prognosztizált fogyasztás (10 ⁶ m ³ /d)	Tényleges fogyasztás (10 ⁶ m ³ /d)	A gázértékesítő által rendelkezésre bocsátott forrás (10 ⁶ m ³ /d)
2001.12.12.	72,198	71,937	73,009
2001.12.13.	73,778	78,694	73,009
2002.12.14.	74,673	79,881	75,649
2002.12.15.	79,123	79,281	79,500
2002.12.16.	77,698	75,845	77,820

5.4-2 táblázat Prognosztizált és tényleges bázisadatok összehasonlítása

Látható, hogy a gázértékesítő a meteorológiai előrejelzés alapján tévesen becsülte meg a várható fogyasztást ezért 2001.12.13-án és 12.14-én kevesebb forrás rendelkezésre állását biztosította. A fogyasztás-forrás egyensúlyozásra rendelkezésre bocsátott források nagysága a 5.4-3 táblázatban látható:

	2001.12.13. 10 ⁶ m ³ /d	2001.12.13. 10 ³ m ³ /h	2001.12.14. 10 ⁶ m ³ /d	2001.12.14. 10 ³ m ³ /h
Import Beregszász	24,236	1010	24,236	1010
Import HAG	4,578	190	4,578	190
Hazai termelés	10,35	431	10,35	431
Zsana FGT	13,2	550	14,88	620
Hajdúszoboszló FGT	14,4	600	15,36	640
Maros-I FGT	2,16	90	2,16	90
Pusztaderics FGT	2,52	105	2,52	105
Kardoskút FGT	0,696	29	0,696	29

5.4-3 táblázat A csúcsnapi forráskapacitások

A rendszerirányító december 13-án a reggeli órák fogyasztásait követően azonnal jelezte a gázértékesítőnek, hogy elemzése alapján a várható fogyasztás magasabb lesz, mint a gázértékesítő által prognosztizált érték. Kérte, hogy a különbség kiegyenlítésére pótlólagos forrást biztosítson a rendszeregyensúly fenntartása érdekében. A gázértékesítő a felszólításra a 5.4-4 táblázatban látható pótlólagos forrásokat biztosította:

Pótlólagos források	$10^3 \text{ m}^3/\text{h}$	Többletforrás az eredeti nomináláshoz képest $10^3 \text{ m}^3/\text{h}$
Import Beregszász	1050	40
Zsana FGT	680	130
Hajdúszoboszló FGT	700	100
Összesen:		270

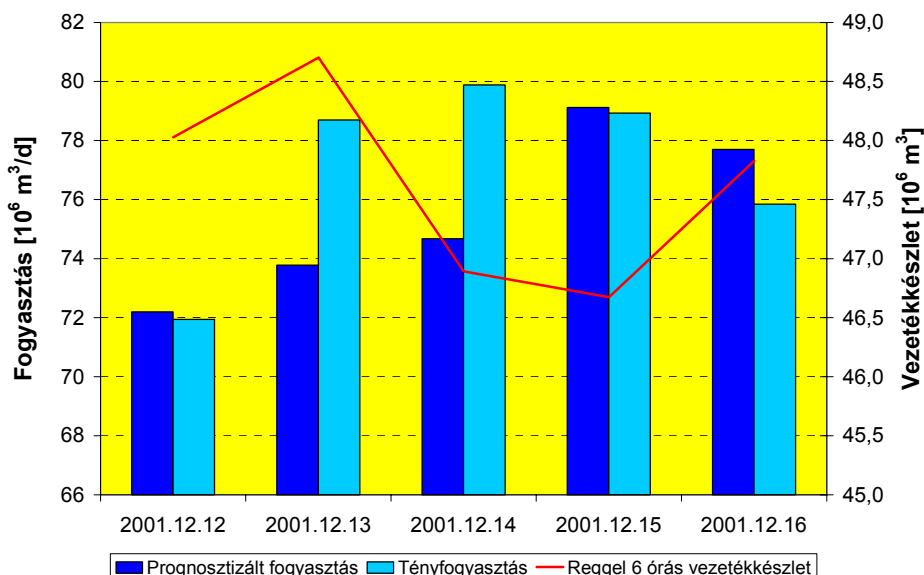
5.4-4 táblázat Pótlólagos források

A táblázatból látható, hogy miként változott órai szinten a fogyasztás és forrás szerkezete a tárgyi napokon. A rendszerirányító 2001.12.13-án 11 órakor már kénytelen volt megtenni az első lépéseket a rendszeregyensúly fenntartása érdekében, ezért a zsanai FGT kitárolási szintjét megemelte $550 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $620 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra (ez napi szinten $1,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -es teljesítménynövelés) és a beregszászi import átvételt $1010 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $1050 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -re (ez napi szinten $1,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -es teljesítménynövelés). A rendkívüli hideg a villamos hálózat terhelését is megnövelte, ezért a Magyar Villamos Teherelosztó Rt. (továbbiakban MAVIR Rt.) 11.30-kor kérte, hogy a MOL Rt. többlet gázmennyiséget biztosítson a Dunamenti Hőerőmű Rt. (továbbiakban DE Rt.) részére. Ezt a rendszerirányító nem látta biztosíthatónak, csak oly módon, ha egyidejűleg valamely gázturbinás villamos erőmű fogyasztását csökkenti. Az egyeztetést követően a Tiszai Erőmű Rt.-től 12.00-kor elvételre került $50 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ megszakítható fogyasztás és ennek mértékével növekedhetett a DE Rt fogyasztása.

Mivel a fogyasztás mértéke nem csökkent és elmaradt a déli órákra jellemző fogyasztás visszaállás, további intézkedések meghozatala mellett döntött a rendszerirányító. Felkészülve az esti „csúcsfogyasztásra” 15.30-kor elrendelte a hajdúszoboszlói FGT kitárolási szintjének növelését $600 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $640 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra, a zsanai FGT-ét megemelte $620 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $680 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra, valamint a pusztadericsi FGT-ét megemelte $106 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $120 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra. A nagyon magas esti fogyasztás miatt 20.30-kor tovább emelte a hajdúszoboszlói FGT kitárolási szintjét $640 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $700 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra és 22.15-kor a zsanai FGT kitárolási szintjét $680 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $720 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra. Sajnálatos módon a zsanai többlet teljesítmény igénybevitelére nem volt engedélye a rendszerirányítónak, azonban úgy ítélte meg, hogy a rendszeregyensúly fenntartásához nélkülözhetetlen a többletforrás, ezért saját hatáskörében intézkedett. A 2001.12.13-i tényfogyasztás közel $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -el haladta meg a gázértékesítő által prognosztizált fogyasztást. Ekkora mértékű hiány pótlására nem volt elegendő a pótlólagos források bevonása, mivel azoknak a gázellátó rendszerbe juttatásához idő kellett, így a rendszeregyensúly megőrzéséhez szükséges volt a távvezetéki vezetékkészlet felhasználása. A 13.sz. mellékletben látható, hogy a vezetékkészlet 2001.12.13-án közel $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -el csökkent.

A következő napon 2001.12.14-én a gázértékesítő ismét alábecsülte a fogyasztást. Ez a nap volt a hazai gázipar történelmének az addigi legnagyobb fogyasztású nap. A rendszerirányító 7.00-kor jelezte a gázértékesítő felé, hogy a várható fogyasztás véleménye szerint jelentősen magasabb lesz, mint a nominált forrás és kérte pótlólagos források rendelkezésre bocsátását. Ezt követően a gázértékesítő engedélye alapján 7.15-kor megnövelte a zsanai tároló kitárolási mennyiségét $720 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $750 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra, valamint a hajdúszoboszlói tárolóét $700 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ról $720 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ -ra. Ezek a megfelelően korán végrehajtott forrásnövelések biztosították azt, hogy a megnövekedett fogyasztást ne csak a

vezetékkészlet terhére kelljen kiegyensúlyozni. A következő napokon (2001.12.15-16) a gázértékesítő már nagyobb forrást biztosított a rendszerirányító számára, mint a tény fogyasztás, így lehetővé vált az elhasznált vezetékkészlet pótlása. Az 5.4-1 ábrán ábrázoltam a prognosztizált és a tényfogyasztást, valamint a vezetékkészlet változását.



5.4-1 ábra A vezetékkészlet szerepe a csúcsidei napokban

Az esettanulmányból az alábbi következtetések állapíthatók meg:

- a jelenlegi szállítási szerződések mindenkor biztonságos teljesítéséhez a hálózati szabályzatban havi bontásban kell meghatározni a vezetékkészlet biztonságos szintjét, aminek a rendelkezésre állása szükséges feltétele a napi fogyasztásingadozások kiegyenlítésének;
- csúcsidőszakban azzal lehet számolni, hogy rendszeregyensúlyozási célra a vezetékkészlet maximálisan 7-10 %-kal csökkenthető, de gondoskodni kell az így felhasznált vezetékkészlet haladéktalan visszapótlásáról. Ellenkező esetben rendszerirányítási vészhelyzet kialakulásával kell számolni;
- a vezetékkészlet biztonságos szintjének a fenntartásához célszerű a leggyorsabb reagálású hazai föld alatti gáztárolót (zsanai FGT) kijelölni, amelynél biztosítani kell megfelelő nagyságú mobil készletet és kitérítési kapacitást. Ezt a piaci szereplőknek kell a rendszerirányító rendelkezésére bocsátani az ellátásbiztonság megfelelő szintjének garantálása érdekében.

6. A rendszeregyensúlyozás hidraulikai alapjai

6.1. Szakmai-tudományos háttér

Az egységes európai földgázpiac kialakításával kapcsolatos szakmai ismeretek legmagasabb szintű összefoglalása az un. Madridi Fórum előadásaiban és kiadványaiban található. A Fórum (European Gas Regulatory Forum of Madrid) felállítását az Európai Bizottság (European Commission) 1999-ben kezdeményezte azzal a céllal, hogy a leendő gázpiaci résztvevők évente találkozzanak Madridban, és vitassák meg az egységes földgázpiac létrehozásához szükséges műszaki, kereskedelmi és szabályozási kérdéseket. A Fórum üléseinek napirendjén összefoglaló tanulmányok és átfogó előadások megvitatása szerepel. Az ülések anyagait röviddel a rendezvény után felrakják az Európai Bizottság honlapjára, így külső érdeklődők számára is hozzáférhetők.

Értekezésem elkészítésénél nagymértékben támaszkodtam a Madridi Fórum összefoglaló tanulmányaira, amelyek tudományos alapossággal tárgyalják a legfontosabb kérdéseket, de a Fórum célkitűzésének megfelelően nem maradnak meg elméleti síkon, hanem eljutnak a gyakorlati alkalmazás feltételeinek a megfogalmazásáig.

A rendszeregyensúlyozás a gázszállító rendszer műszaki-technológiai-fizikai lehetőségének kihasználását jelenti a biztonságos földgázellátás érdekében. A gyakorlatban jellemzően az alábbi két kérdés merül fel a rendszerirányítással kapcsolatban:

- egy adott szállítási feladat végrehajtásához megteremthetők-e a hidraulikai feltételek?
- mennyi, és mekkora szállítási feladat végrehajtására lehet kötelezettséget vállalni, azaz mekkora a szállítórendszer kapacitása?

Ezekre a kérdésekre a választ a szállítórendszer szimulációs modellezésével lehet megadni. A következőkben a szimuláció matematikai alapjait ismertetem, majd a szállítókapacitás problémájával foglalkozom.

6.2. Matematikai modellek

A rendszeregyensúlyozás során, különösen a legnagyobb terhelésű csúcsidei napokon, alapvető fontosságú, hogy a rendszerirányító szimulációs futtatások segítségével előre lássa a fogyasztásváltozások és a beavatkozások hidraulikai hatását. A szimulációhoz a gázszállító rendszert könnyen modellezhető elemekre kell felbontani, amelyekből a teljes rendszer megfelelő algoritmusok segítségével a vizsgálatokhoz ismét felépíthető. A gázszállító rendszer rendkívül nagy kiterjedésű, és alkotóelemei között található olyanok, amelyeknek hidraulikai hatása jelentős (távvezetési szakasz, kompresszorállomás, nyomásszáályozó, stb.), de vannak olyanok is (nyitott szakaszoló, folyadékleválasztó, stb.), amelyeknek a hidraulikai hatása elhanyagolható. A szimulációs modell kialakítása során olyan egyszerűsítésekre kell törekedni, amelyek biztosítják a modell és a tényleges rendszer közötti hasonlóságot. A modell elemekhez olyan hidraulikai egyenleteket kell rendelni, amelyek minél pontosabban írják le a bemeneti és a kimeneti pontok között végbemenő változásokat. Az általános nemzetközi szimulációs gyakorlatnak megfelelően a modell elemek alapszoportját, a következő típuselemek alkotják: csővezeték elem, nyomásszabályzó, hozamszabályzó, kompresszor és elzáró elem.

A hálózati elemek kapcsolódását matematikai formában gráfokkal lehet leírni. A gráfok élei az előzőekben felsorolt típuselemek lehetnek, amelyek általánosan az összekötő elemek. A gráf éleinek kapcsolódási pontjai a csomópontok, amelyek egyben a gázszállító rendszer bemeneti és kimeneti pontjai is. A földgáz a bemeneti csomópontokon lép be a

gázszállító rendszerbe és a fogyasztók részére a kimeneti csomópontokon keresztül távozik. Emiatt a csomópontok nemcsak az összekötő elemek összekapcsolására valók, hanem ezekre lehet értelmezni a gázszállító rendszer hidraulikai határfeltételeit is. A vizsgált rendszer hidraulikai viszonyai a csomópontokhoz rendelt nyomással és terheléssel (betáplálás vagy fogyasztás), és az összekötő elemekhez rendelt gázárammal írható le. A szimulációs számítások kiindulási feltételét az jelenti, hogy az egyik csomóponti paramétert megadják. Ezt követően a másik csomóponti paraméter számítható.

A valóság-hű szimulációhoz a csomóponti terheléseket és nyomásokat – mint határfeltételeket – olyan matematikai formában kell megadni, amely egyszerűen kezelhető, ugyanakkor jól igazodik a változások eltérő jellegéhez. Ezeknek a követelményeknek a kielégítése érdekében, feladatuknak megfelelően csomópont típusokat célszerű meghatározni. A továbbiakban tekintsük alaptípusnak az olyan csomópontokat, amelyben a nyomás, vagy a terhelés állandó értékkel és/vagy idősorral van megadva. A további csomópont típusokban ezek kiegészíthetők nyomás- vagy terheléskorláttal, hogy az egyes csomópontokra érvényes korlátozó feltételeket a szimulációban is figyelembe lehessen venni. A gázszállító rendszer modellje tehát különböző összekötő elemekből és definiált csomóponttípusokból épül fel. Ezt modellhálózatként is nevezzük. A megfelelően felépített modellhálózatként a jelentős egyszerűsítések ellenére is a tényleges hálózattal megegyező hidraulikai karakterisztikával kell rendelkeznie, mivel a szimulációs eredmények csak alkalmazhatók a tényleges rendszerre. A gázszállító rendszer szimulációjára, amint az 5.3. pontban leírásra került két metodikát alkalmaznak. Ez igaz a matematikai modellre is, amelyben az alaptípusok a következők:

- Állandósult áramlás szimulálása
- Tranziens áramlás szimulálása

A 6.2 és 6.3 fejezetekben a gázszállító rendszer számítópes szimulációjának matematika alapjait Tihanyi nyomán foglaltam össze (*Tihanyi, 2002.*).

6.3. Állandósult áramlás szimulációja

Nyomákszámítás

Állandósult áramlás esetén a szűkebb értelemben vett hidraulikai számításokhoz a kontinuitást kifejező csomóponti, és a nyomásváltozást leíró karakterisztikus egyenletet kell használni.

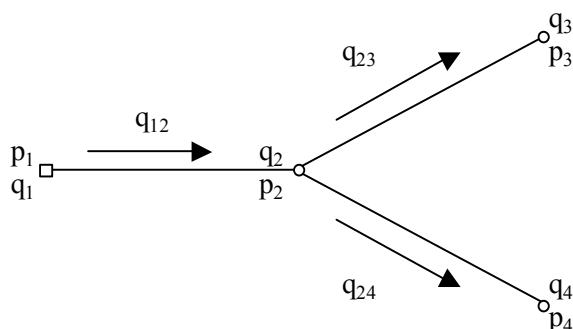
$$\sum_j q_{ij} + q_i = 0 \quad /6.3-1/$$

$$p_i^2 - p_j^2 = K_{ij} q_{ij}^2 \quad /6.3-2/$$

A /6.3-1/ csomóponti egyenlet első tagja az i csomópontban kapcsolódó vezetékek gázáramának eredőjét adja meg, amelynek egyenlőnek kell lenni a csomópont terhelésével. Az egyenlethez valamilyen előjelszabályt is hozzá kell rendelni, és azt következetesen be kell tartani. A /6.3-2/ karakterisztikus egyenlet az i és j csomópontokat összekötő vezetékszakasznak a nyomásvesztését adja meg, ahol az ellenállási tényező az alábbi módon számítható:

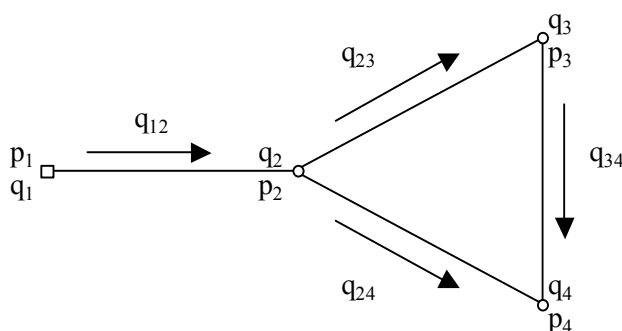
$$K_{ij} = \left(\frac{4p_n}{\pi T_n} \right)^2 \frac{f_D \bar{z} TML}{Rd^5}$$

A 6.3-1 ábrán látható mintahálózaton a csomópontokhoz tartozó két hidraulikai paraméter (a nyomás és a terhelés) közül felül látható az adott értékű, alul pedig az, amelyiket számítani kell.



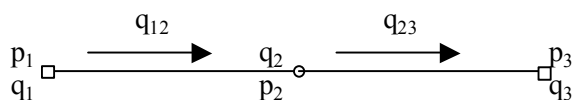
6.3-1 ábra Sugaras gázszállító rendszer elemi része

A mintapélda alapján megállapítható, hogy a /6.3-1/ és /6.3-2/ egyenletek megoldási sorrendje nem tetszőleges. Első lépésként a vezetékszszakaszok gázáramát kell meghatározni, amelyhez a /6.3-1/ csomóponti egyenleteket kell felírni és megoldani. Kis hálózaton, és kézi számolásnál a csomóponti egyenletek meghatározott sorrendben egymástól függetlenül megoldhatók. Ha egy hálózatban n csomópont, és $n-1$ vezetékszszakasz van, azaz a hálózat sugaras, akkor a csomóponti egyenletrendszer határozott, ugyanis annyi ismeretlen gázáram szerepel benne, ahány független egyenlet írható fel. Az n csomópontra ugyanis $n-1$ független csomóponti egyenlet írható fel. A vezetékszszakaszok gázáramának ismeretében a nyomászámítás a /6.3-2/ karakterisztikus egyenlet alkalmazásával elvégezhető.



6.3-2 ábra Hurkolt gázszállító rendszer elemi része

A 6.3-2 ábrán látható hurkolt hálózat esetén az ismeretlen szakaszáramok száma több, mint a független csomóponti egyenletek száma. A nyomászámításhoz szükséges szakaszáramok tehát nem határozhatók meg a sugaras hálózatonál leírt módon.



6.3-3 ábra Sugaras hálózat több adott nyomású ponttal

A 6.3-3 ábrán látható elemi hálózat esetén sem lehet alkalmazni azt a számítási eljárást, amely a sugaras hálózatonál megoldáshoz vezetett. Csomóponti egyenletet ugyanis csak a 2-es csomópontra lehet felírni, de egyetlen egyenletből nem lehet két vezetékszszakasz ismeretlen gázáramát meghatározni. A csomóponti egyenletrendszer tehát ebben az esetben is határozatlanná válik. A megoldásra két lehetőség kínálkozik: a lineáris csomóponti

egyenletrendszer kiegészíteni a nemlineáris hurokegyenletekkel, vagy a karakterisztikus egyenlet segítségével kiküszöbölni a csomóponti egyenlethől a vezetékszakaszok gázáramát. Ha az első megoldást választjuk, akkor a hurokkorrekciós hálózatszámítási módszerek csoportjához jutunk. A második megoldás a csomóponti korrekciós számítási módszereket eredményezi. A továbbiakban csak ez utóbbi eljárást ismertetem.

A csomóponti korrekciós módszernél a gázáramokat a karakterisztikus egyenletek segítségével küszöbölik ki. Ha a csomóponti és a karakterisztikus egyenleteket közvetlenül kombinálják, az eredmény egy nehezen kezelhető nemlineáris egyenletrendszer lesz (Stoner,1970.). Az ilyen típusú nemlineáris egyenletrendszer megoldására is ismeretesek számítási eljárások, de ezek stabilitása gyenge. Megbízhatóan stabil lesz viszont a megoldás, a karakterisztikus egyenlet linearizálásával. Így módon a csomóponti egyenletet fel lehet írni a csomóponti nyomások lineáris függvényeként. A kvázi-lineáris karakterisztikus egyenlet a következő alakú:

$$q_{ij} = C_{ij}(p_i - p_j) \quad /6.3-3/$$

ahol

$$C_{ij} = \frac{p_i + p_j}{K_{ij}|q_{ij}|}$$

Behelyettesítve a csomóponti egyenletbe

$$\sum_j C_{ij}(p_i - p_j) + q_i = 0 \quad /6.3-4/$$

Az ismeretlen nyomások szerint a következő alakra lehet rendezni az egyenletet:

$$p_i \sum_j C_{ij} - \sum_j C_{ij} p_j + q_i = 0 \quad /6.3-5/$$

A gázszállító rendszer csomópontjaira felírva /6.3-5/ egyenletet olyan lineáris egyenletrendszer kapunk, amelyben a csomóponti nyomások az ismeretlenek. Abban az esetben, ha valamely csomópont p_i nyomása adott, akkor a q_i terhelés lesz az ismeretlen. Azokban a csomópontokban, amelyekben a távvezetékeken kívül kompresszor-, vagy szabályozóelem is kapcsolódik, ezek gázáramával, mint ismeretlennel ki kell egészíteni a /6.3-5/ egyenletet.

A számítás során fel kell tételezni nyomás kezdőértékeket, és azokkal ki kell számítani a C_{ij} látszólagos állandókat. Ha ezek ismertek, akkor felírható a /6.3-5/ egyenletrendszer együtthatómátrixa, és számíthatók az ismeretlenek. A kapott új nyomásokkal a C_{ij} látszólagos állandók pontosíthatók, és az egyenletrendszer ismét felírható. Az eljárást addig kell ismételni, amíg két egymást követő számítási lépésben a csomóponti nyomásváltozások maximális értéke kisebb lesz egy előre megadott hibahatárnál. Az egyenletrendszer ismételt felírása és megoldása során pontosítani kell a csőszakaszok K_{ij} ellenállási tényezőjét is.

Bármely csomópontra felírva a /6.3-5/ egyenletet, abban általában 3...5 ismeretlen szerepel. Ezek: a vizsgált i és az azzal szomszédos j csomópontok nyomása, esetenként pedig terhelése. Az előzőek azt jelentik, hogy nagyméretű - vagyis 80...100 csomópontnál nagyobb - hálózat esetén az egyenletrendszer együtthatóinak 95...98 %-a zérus, ami speciális egyenletrendszer megoldási eljárás alkalmazását indokolja. Csak csővezetékszakaszokból álló hálózat esetén az egyenletrendszer szimmetrikus, a kompresszor, a nyomás- és a gázáram

szabályozó azonban aszimmetrikussá teszi. A csomóponti korrekciós eljárások elterjedése elsősorban a személyi számítógépeknek köszönhető, amelyeknél a műveleti sebesség és a memóriakapacitás gyors növekedése egyre nagyobb méretű csomóponti egyenletrendszer megoldását tette lehetővé.

Az előzőek szerinti számítási algoritmus képezi az alapját az értekezésben bemutatott hidraulikai számításokhoz használt, és a Miskolci Egyetem Kőolaj és Földgáz Intézetében kifejlesztett TGAS hálózatszámítási programnak (*ME Kutatási jelentés, 2001.*).

Kompresszor, nyomás- és gázáram szabályozó modellezése

A kompresszornak és a szabályozó elemeknek - amelyeket közös jellegzetességük alapján aktív elemeknek is neveznek - a gázszállító rendszerben az a feladata, hogy adott üzemeltetési cél érdekében a gázszállítás folyamatába beavatkozzanak, és a célnak megfelelően módosítsák az áramlási- és nyomásviszonyokat. A modellhálózatnál ugyanilyen célból szükségesek a kompresszor és szabályozó elemek. A számítás során az elemek működését leíró algoritmusoknak adott hidraulikai feltételek érvényesülését kell biztosítani.

Egyszerűsíti a szimulációs feladatot, hogy nem szükséges teljes részletességgel leképezni azt az állapotváltozást, amelynek során az aktív elemen áramló gáz a bemeneti állapotból a kimeneti állapotba jut. Legtöbb esetben elegendő az aktív elem valamelyik jellemző paraméterére (például a kimeneti nyomásra, vagy a szállított gázmennyiségre) bizonyos feltételeket megfogalmazni, és ezeket hozzákapcsolni a /6.3-5/ egyenletrendszerhez. Alapvető követelmény azonban, hogy bármilyen feltétel esetén a kompresszor és szabályozó elemek be- és kimeneti pontjai között a kontinuitási egyenlet érvényes legyen.

A kompresszorok működésére az alábbi üzemeltetési feltételek a jellemzők:

- a kimenő nyomás állandó;
- a szállított gázmennyiség állandó;
- a kimeneti és a bemeneti nyomások aránya állandó.

A kompresszor alapüzemmódja az állandó kimeneti nyomásra történő szabályozás. Mindaddig ez a feltétel érvényesül, ameddig a kompresszor gázárama kisebb az alapadatként megadott maximális gázáramnál. Ha azonban az adott kimeneti nyomás fenntartásához a maximális értéknél nagyobb gázáramra lenne szükség, a kompresszor modell szabályozási módot változtat, és a maximális gázáramot szállítja tovább. Mivel ez nem elegendő az adott kimeneti nyomás fenntartásához, a kimeneti nyomás csökkenni fog. Ilyen esetek állandósult áramlásnál akkor fordulhatnak elő, ha két kompresszor "szembe dolgozik" egymással. Hasonló eset játszódik le, ha a kompresszor bemeneti oldalán a nagy szállítási igény miatt alacsony nyomás alakul ki, és érvényesül a maximális nyomásarány feltétele. Ebben az esetben a kimeneti nyomás a bemeneti nyomással arányosan fog változni. Az alapüzemmódra megadottnál kisebb kimeneti nyomás viszont korlátozni fogja a kapcsolódó távvezetékbe/hálózatba szállítható gázmennyiséget.

Az előző feltételek matematikailag a következő formában írhatók le:

$$p_{ki} \leq p_{névl.}$$

$$q_{komp} \leq q_{max}$$

$$p_{ki} \leq r_{max} p_{be}$$

A feltételrendszerhez a szimuláció során egy prioritási sorrendet lehet hozzárendelni.

Kompresszor teljesítményét minden számítási lépésben a hálózati áramlási feltételekből adódó hidraulikai paraméterekből kell számítani. Ez azt jelenti, hogy a csőtávvezetékek ellenállási viszonyai határozzák meg a kompresszorállomás érkező és szükséges indító nyomását, továbbá a gázáramát. Ezekből az értékekből a szükséges

teljesítmény ismert összefüggéssel számítható.

$$N = \frac{p_n}{T_n} \frac{n}{n-1} T_1 z_1 q_n \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad /6.3-10/$$

Az n politrópikus kitevő a gázösszetételre jellemző κ izentrópikus kitevőből és a politrópikus hatásfokból számítható

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\kappa}{\kappa-1} \eta_p$$

A kompresszor tengelyteljesítménye a mechanikai hatásfok figyelembe vételével határozható meg:

$$N_t = \frac{N}{\eta_m} \quad /6.3-11/$$

A kompresszor fűtőgázfogyasztását a következő összefüggéssel lehet számítani:

$$q_f = \frac{N_t}{\eta_t H_n} \quad /6.3-12/$$

Nyomásszabályozónál a modellezés a kompresszorhoz hasonló elvekre épül. Alapüzem módja a kimeneti nyomás szabályozása, ezt egészíti ki a maximális gázáram figyelembe vétele, ugyanúgy, mint a kompresszornál. Speciálisan csak a nyomásszabályozóra érvényes működési szabály viszont, hogy túlterhelés esetén a nyomásszabályozó teljesen kinyit, ilyen esetben a be- és kimeneti nyomások azonos mértékben változnak. Alapadatként megadható az a minimális nyomáskülönbség, amely teljesen nyitott állapotban a nyomásszabályozó berendezés saját ellenállása. Teljesen nyitott állapotban tehát a kimeneti nyomás az adott minimális nyomáskülönbséggel lesz kisebb a bemeneti nyomásnál. A nyomásszabályozó üzemmódjai a következő összefüggésekkel adhatók meg matematikai formában:

$$\begin{aligned} p_{ki} &\leq p_{névl.} \\ q_{szab.} &\leq q_{max} \\ p_{ki} &\leq p_{be} - \Delta p_{min} \end{aligned}$$

Gázáram szabályozó modellezésére elsősorban szimulációs okok miatt van szükség. Előfordul, hogy valamely távvezetéki csomóponton különböző minőségű és eltérő nyomású földgázok áramolnak át. Ezeket a földgázokat el kell különíteni egymástól, ugyanakkor szükség lehet meghatározott mennyiség átadására az egyik oldalról a másikra. Mivel ilyen esetben a nyomásszabályozó névleges kimeneti nyomása csak zavaró feltételt jelentene, és hatása nehezen becsülhető előre, ezért a szimulációs technika hatékonyságát nagymértékben növeli egy nyomásfeltétel nélküli gázáram szabályozó elem használata.

A gázáram szabályozó alapparamétere a szabályozandó gázáram nagysága. Ha ez az érték túl nagy, és ennek hatására a kimeneti csomóponton nagyobb nyomás alakulna ki, mint

a bemeneti oldalon, akkor a szabályozó automatikusan üzemmódot változtat, és teljesen kinyit. Ilyen esetben bármelyik irányba áramolhat gáz. A gázáram szabályozó állapotegyenletei a következők:

$$q_{\text{szab}} \leq q_{\text{max}}$$

$$p_{\text{ki}} \leq p_{\text{be}}$$

Ha az i csomópontban aktív elem is kapcsolódnak a /6.3-5/ alakú csomóponti egyenletet ki kell egészíteni az aktív elem (kompresszor, szabályozók) gázáramával.

$$p_i \sum_j C_{ij} - \sum_j C_{ij} p_j + q_a + q_i = 0 \quad /6.3-13/$$

Az egyenletrendszer a /6.3-13/ egyenleteket követően ki kell egészíteni még az aktív elemek aktuális üzemmódját leíró - és az előzőekben felsorolt - feltételi egyenletekkel. A megoldás során ebből a bővített egyenletrendszerből kell az ismeretlen csomóponti paramétereket és az aktív elemek gázáramát számítani.

A magasságkülönbség hatása

Hazai földrajzi adottságaink mellett a gázszállító rendszerénél a legnagyobb magasságkülönbségből adódó nyomáskorrekció is kisebb 1 bar-nál, ami nagyságrendileg azonos az alapadatok bizonytalanságából, illetve az egyéb elhanyagolásokból adódó hibákkal. Tapasztalataink szerint a hazai gázszállító rendszer esetében a magasságkülönbség figyelembe vételéhez szükséges többlet adatigény és számítási munka nem áll arányban a pontosabb számítási eredmények elvi jelentőségével. Hazai körülmények között, közszolgáltatású földgáz szállítása esetén, csak kivételes esetben szükséges a magasságkülönbség figyelembe vétele.

Jelentős lehet a magasságkülönbség hatása azokban az esetekben, amelyeknél nagy inert tartalmú földgázt kell szállítani csótávvezetéken. A nagy inert tartalom miatt a gáz sűrűsége nagyobb a közszolgáltatású földgázénál, emiatt a gázosztatikus nyomástöbblet hidraulikai hatása nem hanyagolható el. Különösen abban az esetben lényeges ez a hatás, ha a távvezeték a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően szuperkritikus tartományban üzemel.

Ha egy gázvezeték hálózatban valamely vezetékszakasz végpontjainak magassági koordinátái nem azonosak, akkor a mérhető végponti /abszolút/ nyomások különbsége a sűrűlódási és a gázosztatikus nyomáskülönbségek eredője lesz:

$$p_i - p_j = \Delta p_s + \Delta p_h \quad /6.3-14/$$

ahol

$$\Delta p_h = \rho_g g (h_i - h_j) \quad /6.3-15/$$

Ha $h_j > h_i$, akkor a /6.3-15/ összefüggés negatív nyomáskorrekciót ad. Magasságkülönbség esetén a /6.3-3/ lineáris karakterisztikus egyenlet a következő alakú lesz:

$$q_{ij} = C_{ij} (p_i - p_j - \Delta p_{ijh}) \quad /6.3-16/$$

A /6.3-16/ egyenletből következik, hogy ha valamely vezetékszakasz két végpontja között magasságkülönbség van, az áramlásra nem a triviális szabályok érvényesek. Zérus gázáram esetén is különbözni fognak a végpontokon mérhető (abszolút) nyomások,

ugyanakkor azonos végponti nyomások esetén is lesz gázáramlás.

A /6.3-15/ egyenletet nem célszerű a /6.3-16/ egyenletbe behelyettesíteni, mivel abban a sűrűség és nem a nyomás szerepel változóként. Az átszámításhoz az általános gáztörvény használható.

$$q_{ij} = C_{ij} \left(p_i - p_j - \frac{p_i + p_j}{2} \frac{M}{zTR} g(h_i - h_j) \right) \quad /6.3-17/$$

A /6.3-17/ egyenletet behelyettesítve a /6.3-1/ egyenletbe és a /6.3-5/ egyenlethez hasonló struktúrára rendezve kapjuk:

$$p_i \sum_j C_{ij} (1 - E_{ij}) - \sum_j C_{ij} p_j (1 - E_{ij}) + q_a + q_i = 0 \quad /6.3-18/$$

ahol

$$E_{ij} = \frac{Mg}{2zTR} (h_i - h_j)$$

Ha az i csomópontban aktív elem nem kapcsolódik, értelemszerűen $q_a=0$. Az E_{ij} együtttható értéke a számítás során csak kismértékben változik, ezért C_{ij} -vel együtt célszerű értékét újraszámolni. Ennek az eljárásnak az az előnye, hogy a /6.3-5/-el azonos struktúrájú egyenletrendszer eredményez, csupán a konstansvektornak és a C_{ij} látszólagos vezetékkonstansnak a számítási módjában tér el.

6.4. Tranziens áramlás csak csőtávvezetésekből álló rendszerben

A matematikai összefüggések felírása előtt hangsúlyozni kell, hogy azok a valóságtól kismértékben eltérő, egyszerűsítő feltételek mellett igazak. Ilyen egyszerűsítő feltétel, hogy a csővezeték, illetve annak szakaszai egyenesek, a csőkeresztmetszet a teljes vezeték hossz mentén változatlan méretű, és a vezeték vízszintessel bezárt szöge állandó. További egyszerűsítés, hogy a csővezeték nagy hossz/átmérő viszonya miatt a matematikai összefüggéseket egydimenziós alakban vannak felírva. Alapösszefüggések a kontinuitási és a mozgásegyenlet:

$$\frac{\partial(\rho A)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v A)}{\partial x} = 0 \quad /6.4-1/$$

$$\frac{\partial(\rho v A)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho A + \rho v^2 A) + \rho A g \sin \alpha + \frac{f v^2 \rho A}{2d} = 0 \quad /6.4-2/$$

A szimulációs feladatoknál általában a nyomásra és a gázáramra vonatkozó kérdések merülnek fel, ezért célszerű a differenciálegyenleteket ezeknek a változóknak a segítségével felírni. A sűrűség és a nyomás közötti függvénykapcsolatot az általános gáztörvény adja meg:

$$\frac{p}{\rho} = \frac{zRT}{M} = c^2 \quad /6.4-3/$$

ahol c az izotermikus hangsebesség a gázban p nyomáson és T hőmérsékleten.

Az áramlási sebesség és a tömegáram közötti kapcsolat a következő:

$$q_m = A v \rho \quad /6.4-4/$$

További megjegyzés az indexelési nehézségek elkerülése végett a tömegáramot csak q -val fogjuk jelölni.

A /6.4-3/ és /6.4-4/ összefüggések felhasználásával a differenciál-egyenletek a következő alakúak lesznek:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{c^2}{A} \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad /6.4-5/$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{1}{A^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{\rho} \right) + \frac{f|q|}{2A^2 \rho d} + g \sin \alpha = 0 \quad /6.4-6/$$

Felírható továbbá az energiamegmaradás egyenlete, amellyel az áramló gáz hőmérsékletét befolyásoló tényezők vehetők figyelembe. Lassú tranzienseknél két tényezőnek van meghatározó szerepe: egyrészt a sűrűlási, másrészt a vezetékszszakaszok tárolóképességéből származó hatásoknak. A /6.4-6/ egyenletben a kinetikus energiaváltozás, továbbá a magasságkülönbség az egyes vezetékszszakaszok nyomásvesztését elhanyagolható mértékben befolyásolja, ezért ezek a tagok elhagyhatók. A gyakorlati feladatok nagy részénél el lehet tekinteni a gáz hőmérsékletváltozásától is, és az áramlást izotermikusnak lehet tekinteni.

A differenciálegyenletek megoldására alkalmazott numerikus módszereket a következő csoportokba lehet besorolni:

- karakterisztikák módszere,
- véges differencia módszer, amelynél a hely- és idő szerinti deriváltakat explicit vagy implicit differencia sémákkal közelítik,
- végeelem módszer.

A továbbiakban az implicit módszert Fincham és Goldwater nyomán mutatjuk be (*Fincham et al., 1979., Goldwater et al. 1976.*). Korábbi megfontolások alapján a (6.4-6) differenciálegyenlet 2., 3. és 5. tagja elhanyagolható, és a következő formában írható fel:

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{f|q|}{2A^2 \rho d} = 0 \quad /6.4-7/$$

A változók számának a csökkentése érdekében linearizálhatjuk az egyenletet:

$$q(x, t) = -\frac{1}{K} \frac{\partial p}{\partial x} \quad /6.4-8/$$

ahol

$$K(p, q) = \frac{c^2}{A^2} \frac{f|q|}{2\rho d} \quad /6.4-9/$$

Az egyenletet a Crank-Nicholson módszerrel alakították át véges differencia egyenletté:

$$\frac{c^2}{V_i} \left\{ \frac{1}{2} \sum_k \left[\frac{p_k(t + \Delta t) - p_i(t + \Delta t)}{l_{ik} K_{ik}} + \frac{p_k(t) - p_i(t)}{l_{ik} K_{ik}} \right] - q_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\} =$$

$$= \frac{1}{\Delta t} \sum_k \left\{ \frac{2}{3} [p_i(t + \Delta t) - p_i(t)] + \frac{1}{3} [p_k(t + \Delta t) - p_k(t)] \right\} \quad /6.4-10/$$

A /6.4-10/ egyenlet már nem egy távvezeték valamely pontjára, hanem egy gázhálózat csomópontjára van felírva. Az egyenlet bal oldalán a V_i csomóponti térfogatban Δt idő alatt megváltozott gázmennyiség szerepel. A V_i csomóponti térfogat az i csomópontban kapcsolódó vezetékszakaszok összegzett térfogatainak a fele. Ebben, illetőleg ebből szállítanak gázt az l_{ik} hosszúságú vezetékszakaszok, amelyeknek a Δt időre vonatkozó átlagos gázáramát adja meg a szögletes zárójelben szereplő kifejezés. A $q_i(t + \Delta t/2)$ tag az i csomóponti fogyasztást vagy betáplálást veszi figyelembe. Az egyenlet jobb oldala a Δt idő alatti nyomásváltozást adja meg. Az i index a vizsgált, a k index pedig az azzal közvetlen szomszédos csomópontokra utal.

A /6.4-10/ egyenletből a $t + \Delta t$ időmetszetre vonatkozó ismeretlen nyomások explicit formában nem fejezhetők ki. A hálózat minden csomópontjára felírva az egyenletet egy lineáris egyenletrendszer kapunk, amelyet minden időlépésben szimultán módon meg kell oldani. A megoldás során a K_{ik} látszólagos konstansokat ismételtelen újra kell számolni.

A TGASWIN szimulációs szoftver matematikai modellje

A 70-es években a Miskolci Egyetem Olajtermelési Tanszékén kifejlesztett TGFS tranziens szimulációs program a /6.4-10/ egyenlethez hasonló alapegyenletre épült azzal az eltéréssel, hogy a $\partial p / \partial t$ differenciálhányadost másfajta differencia-sémával közelítette. Az alapegyenlet a következő volt (Tihanyi, 1980.) :

$$\frac{c^2}{V_i} \left\{ \frac{1}{2} \sum_k \left[\frac{p_k(t + \Delta t) - p_i(t + \Delta t)}{l_{ik} K_{ik}} + \frac{p_k(t) - p_i(t)}{l_{ik} K_{ik}} \right] - q_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\} =$$

$$= \frac{p_i(t + \Delta t) - p_i(t)}{\Delta t} \quad /6.4-11/$$

Az egyenletrendszer megoldására a Gordon által javasolt Hopscotch-módszert szolgált, amelynek az a lényege, hogy a nyomásokat - térben és időben egyaránt - váltakozva explicit és implicit módon számolta. Minden időlépésben, minden csomópontra egy explicit és egy implicit számolási lépést kellett végrehajtani. Az eljárás ezáltal látszólag implicit, ugyanakkor nem volt szükség az egyenletrendszer szimultán megoldására.

A 80-as években a szoftver szerzői két területen végeztek fejlesztést. A számítógépek fejlődése egyrészt lehetővé tette a tényleges implicit megoldási eljárás alkalmazását, másrészt egy sajátos „gázos problémát” kellett rendezni a differenciálegyenlet megoldási módszerén belül (Tihanyi, 2002.). Ez utóbbi kérdés a földgáz reális tulajdonságának a figyelembe vétele a differenciálegyenlet megoldása során. A továbbiakban röviden kitérünk erre a kérdésre.

Az általános gáztörvény segítségével felírható a nyomásváltozás a vezetékészlet változásának a függvényében az alábbi módon:

$$\frac{p_1}{z_1} - \frac{p_2}{z_2} = \frac{T}{V} \frac{p_n}{T_n} (V_{n1} - V_{n2}) = \frac{T}{V} \frac{p_n}{T_n} \Delta V_n \quad /6.4-12/$$

A /6.4-12/ egyenletből látható, hogy reális gázoknál a V térfogatban megváltozó

gázmennyiség nem a nyomásváltozással, hanem a p/z hányados változásával arányos. Az egyenlet nem rendezhető át olyan formába, amelynél a bal oldalon csak a nyomáskülönbség, jobb oldalon pedig a gázmennyiség megváltozását jelentő ΔV_n és egy szorzótényező van.

A /6.4-10/ és /6.4-11/ szimulációs modelleknél az alábbi egyszerűsítő feltételezést alkalmazták:

$$\frac{p_1}{z_1} - \frac{p_2}{z_2} \approx \frac{p_1 - p_2}{z_{\text{atl}}}$$

A fenti egyszerűsítéssel kapcsolatos vizsgálatok azt mutatták, hogy a földgáz reális jellegének hallgatólagos elhanyagolása 10 %-nál nagyobb bázishibát is eredményezhet. A korábban már hivatkozott, és más szerzőknél sincs utalás arra, hogy az eltérési tényezőnek az előzőekben tárgyalt hatásával foglalkoztak volna, így nem dönthető el, megoldották-e vagy elhanyagolták ezt kérdést.

A 80-as évek második felében a TGFS szimulációs program továbbfejlesztett változataként kidolgozott TGAS, majd egy évtizeddel később a TGASWIN program matematikai modelljében az előző tapasztalatok már figyelembe lettek véve:

$$\begin{aligned} W_i \left\{ \frac{1}{2} \sum_k \left[\frac{p_k(t + \Delta t) - p_i(t + \Delta t)}{l_{ik} K_{ik}} + \frac{p_k(t) - p_i(t)}{l_{ik} K_{ik}} \right] - q_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\} = \\ = \frac{p_i(t + \Delta t)}{z_i(t + \Delta t)} - \frac{p_i(t)}{z_i(t)} \end{aligned} \quad /6.4-13/$$

$$\text{ahol } W_i = \frac{RT\Delta t}{MV_i}$$

Ha a vezetékszakaszok gázáramának számítására az állandósult modellnél levezetett

$$q_{ij} = C_{ij}(p_i - p_j) \cdot$$

linearizált egyenletet használjuk, akkor a tranziens modell alapegyenlete a következő alakú lesz:

$$\begin{aligned} \frac{p_i(t + \Delta t)}{z_i(t + \Delta t)} + W_i \sum_j C_{ij} [p_i(t + \Delta t) - p_j(t + \Delta t)] = \\ = \frac{p_i(t)}{z_i(t)} - W_i \sum_j C_{ij} [p_i(t) - p_j(t)] - 2W_i q_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \end{aligned} \quad /6.4-14/$$

Tovább rendezve az egyenletet:

$$\begin{aligned} p_i(t + \Delta t) \left[\frac{1}{z_i(t + \Delta t)} + W_i \sum_j C_{ij} \right] - W_i \sum_j C_{ij} p_j(t + \Delta t) = \\ = \frac{p_i(t)}{z_i(t)} - W_i \sum_j C_{ij} [p_i(t) - p_j(t)] - 2W_i q_i \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \end{aligned} \quad /6.4-15/$$

Látható, hogy a /6.4-15/ egyenlet bal oldalán a $t + \Delta t$ időszintre vonatkozó ismeretlen p_i és a vele szomszédos csomópontok ugyancsak ismeretlen p_j nyomások, a jobb oldalon pedig a

t időszintre vonatkozó, már ismert értékek szerepelnek. A $z_i(t+\Delta t)$ értékének meghatározása vagy a /6.4-15/ egyenletrendszer ismételt megoldását teszi szükségessé minden időlépésben, vagy az előző időlépésre kapott Δp_i változás segítségével lehet becsülni egy $p_j(t+\Delta t)$ értéket, és ennek segítségével lehet számítani az eltérési tényezőt. Lassú tranziensek esetén ez utóbbi megoldás is elegendően pontos.

Ha valamely csomópontban nem a nyomást, hanem a terhelést (fogyasztást vagy betáplálást) kell számolni, akkor a /6.4-15/ egyenlet jobb és bal oldalán szereplő tagok egy része felcserélődik.

A /6.4-15/ egyenlet felírásakor a vizsgált p_i csomópont nyomása ismert, azt a csomóponti határfeltételi egyenletből lehet mind a t , mind pedig a $t+\Delta t$ időpontra meghatározni. Az egyenlet jobb oldalának többi tagja ugyancsak ismert értékeket tartalmaz.

A /6.4-15/ egyenletek alkotják azt a lineáris algebrai egyenletrendszert, amelyből az ismeretlen csomóponti nyomások és terhelések az egyenletrendszer szimultán megoldásával közvetlenül számíthatók. Összehasonlítva az állandósult áramlásra felírt egyenletrendszerrel (lásd 6.3 fejezet) látható, hogy az egyenletrendszer struktúrája azonos, legtöbb esetben az együtthatók csak a W szorzótényezővel különböznek. Jelentősebb eltérés csak az egyenletek jobb oldalának, a konstans értékek számítási módjában van. Az egyenletrendszer együtthatómátrixa a főátlóban tartalmazza a vizsgált csomópontot, a megfelelő oszlopokban pedig a szomszédos csomópontokra vonatkozó együtthatókat. Az egyenletrendszer minden sorában csak annyi együttható van, amennyi a vizsgált és a szomszédos csomópontok számának az összege. Ez azt jelenti, hogy az együtthatómátrix nagyon szórt, 80...100 csomópontnál nagyobb méretű hálózat esetén az együtthatók 95...98 %-a zérus.

Az implicit modellek stabilitása lényegesen nagyobb az explicit modellekénél, így lényegesen nagyobb hossz- és időnövekmények használhatók. Az időnövekmény 10...30 perces, a hossznövekmény pedig 10...15 km is lehet. Az implicit modellek lehetővé tették, hogy számítógépi programokat készítsenek bonyolult gázhálózatokban lejátszódó lassú tranziensek vizsgálatára is. Ezeknél a modelleknél a távvezetékek felosztása véges szakaszokra úgy történik, hogy 10...15 km-ként, tényleges leágazásnak, szerelvénynek stb. megfelelően csomópontot jelölnek ki. A térbeli rácsháló ezáltal szabálytalan lesz, de megkönnyíti a modell készítését és használatát.

A gyakorlati célokra készített szimulációs modellekbe a gázáramlás egyenlete mellett a kompresszorok, nyomásszabályozók és elzáró elemek működését leíró összefüggéseket is be kell építeni. Ezek az üzemmód egyenletek azonosak a 6.3 fejezetben leírtakkal, de a terhelés függvényében az üzemmód változik.

Tágabb értelemben a matematikai modellhez tartozik, hogy a csomóponti gázfogyasztások időbeni változását, mint határfeltételt milyen formában adják meg. Általános gyakorlat, hogy erre a célra diszkrét idősorokat használnak. Az idősorok lépésköze azonos, de nagysága input adatként megadható. Az idősorok diszkrét értékei között lineáris interpolációt alkalmaznak.

A szimulációs "know-how"-hoz tartozó kérdés, hogy a csomóponti hidraulikai határfeltételek megadásához milyen csomópont-típusokat definiálnak. A TGASWIN programnál a csomópontokat a következő 6 típus valamelyikébe lehet besorolni:

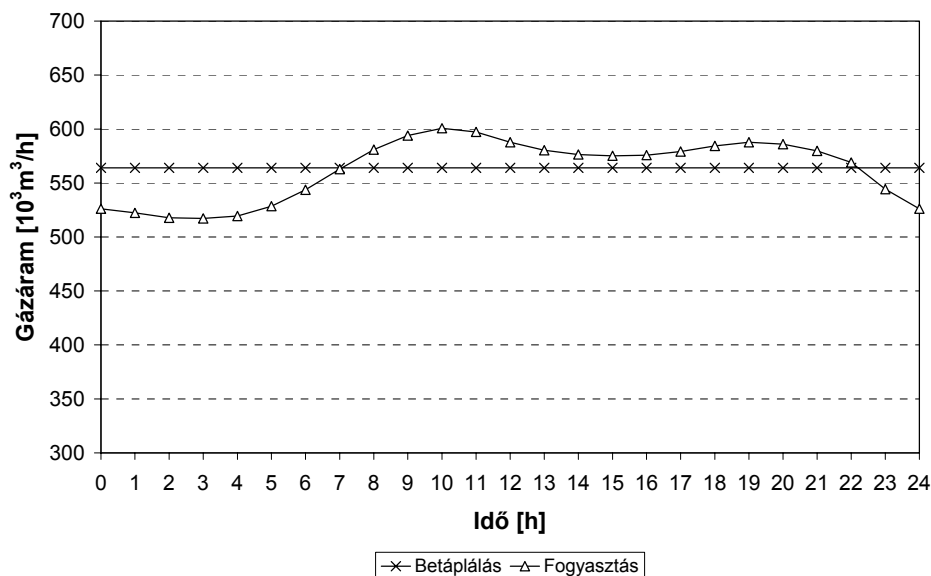
- adott terhelésű csomópont,
- adott nyomású csomópont,
- adott terhelésű csomópont alsó nyomáskorláttal,
- adott terhelésű csomópont felső nyomáskorláttal,
- adott nyomású csomópont felső hozamkorláttal,
- állandósult áramlás szimulálása esetén adott nyomású, tranziens áramlás szimulálásánál adott terhelésű csomópont.

Ugyancsak a szimulációs technikához tartozó kérdés, hogy a kezdeti feltételt jelentő

nyomás- és gázáram értékek hogyan állíthatók elő. Ha a szimulációs modellt korszerű telemechanikai rendszerrel kapcsolják össze, akkor lehetővé kell tenni, hogy egyidejűleg mért csomóponti nyomás- és terhelésadatok képezzék a kezdeti feltételt. Ha tényleges mérési adatok nem állnak rendelkezésre, akkor egyik lehetőség, hogy a vizsgálat kezdeti időpontjára vonatkozó állandósult állapot nyomásait és terheléseit tekintik kezdeti feltételnek. További lehetőség, hogy a vizsgálat kezdeti időpontját megelőző időre feltételezzenek valamilyen változást. Kézenfekvő feltételezés például, hogy a kezdeti időpontot megelőző 24 órában is ugyanolyan volt a gázigények időbeni alakulása, mint a kezdeti időpontot követő 24 órában. Egy ilyen előzetes szimuláció esetén a vizsgálat kezdeti időpontjában a hálózatra már egy dinamikus egyensúly jellemző.

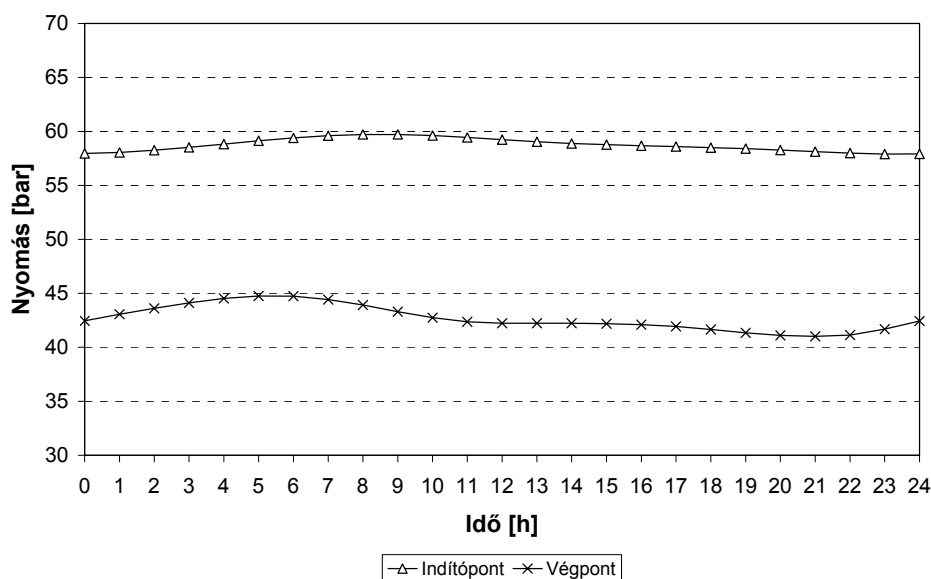
6.5. Rendszeregyensúlyozás egy napon belül

Ebben a fejezetben egy hidraulikai mintapélda segítségével mutatom be azokat a hatásokat, amelyek egy napon belül alapvetően befolyásolják a rendszeregyensúlyozást. A vizsgált gáztávvezeték DN 800 névleges átmérőjű, és 200 km hosszúságú. Az indítóponton 57 bar nyomás van adva, az elvételi végponton a 4.1 fejezetben bemutatott típusprofil szerinti fogyasztást tételeztem fel. Az indítóponti nyomásfeltételből, és a feltételezett fogyasztási profilból a szimulációs módszernek megfelelően először meghatároztam az állandósult áramlási viszonyokat, ami a további tranziens szimuláció kezdeti feltételét jelentette. Ezt követően 2x24 órás tranziens szimulációt végeztem, és minden esetben a második 24 órás időszak eredményeit dolgoztam fel az alábbi ábrákon. A közérthetőség miatt 0-tól 24 óráig terjedő időskálát használtam az időbeni változások szemléltetésénél.



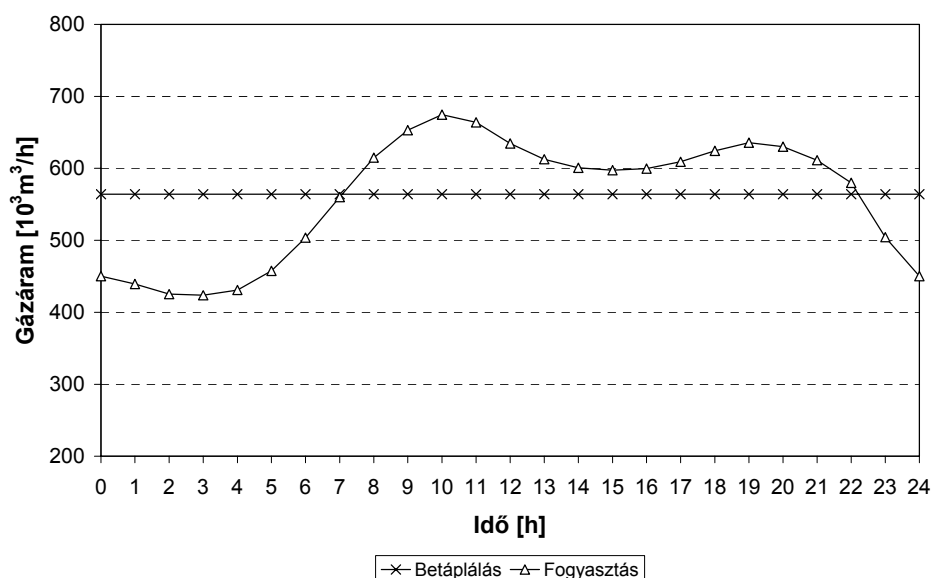
6.5-1 ábra A betáplálási és elvételi pontok terhelésének időbeni változása

A 6.5-1 ábrán a betáplálási és elvételi pont terhelésének az időbeni változása látható. Az éjszakai/hajnali órákban a gázigény kisebb a napi nominálásból adódó átlagos órai betáplálásnál. A nappali időszakban a fogyasztás több órán keresztül nagyobb a betáplálásnál. Végül 22 óra után, az éjszakai völgyidőszak idején, ismét forrástöbblet jelentkezik a rendszeren. A napi fogyasztási görbe maximális értéke 6,8 %-kal nagyobb, minimális értéke pedig 8,1 %-kal kisebb a konstans értékű betáplálásnál. A változások ellenére a vezetékvezeték nyitó- és záróértéke azonos volt.



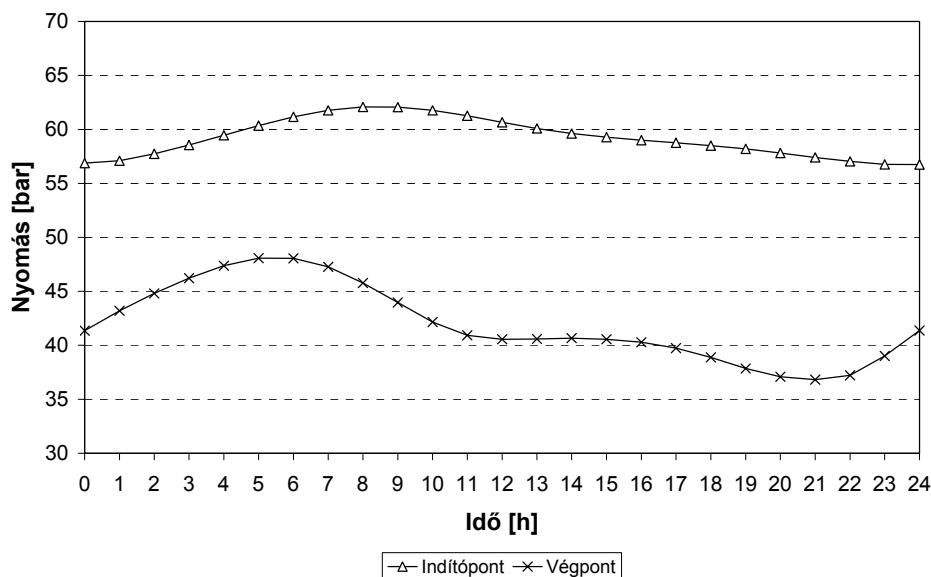
6.5-2 ábra A betáplálási és elvételi pontok nyomásának időbeni változása

A 6.5-2 ábrán látható, hogy az elvételi végpont nyomása a forrástöbblet időszakában növekszik, a forráshiány időszakában pedig csökken. A végponti nyomás hajnali 5 órakor érte el 44,7 bar-os maximumát, majd este 21 órakor 41,0 bar-os minimális értékét. Ez azt jelenti, hogy a végponti nyomás maximális értéke 4,8 %-kal volt nagyobb, minimális értéke pedig 3,9 %-kal volt kisebb a napi átlagos értéktől. Hasonló jellegű változások figyelhetők meg a betáplálási pont nyomásánál is, de az amplitúdó lényegesen kisebb, és a vezetékkészlet kiegyenlítő hatása miatt a lokális maximum és minimum pontok eltolódtak. A vezetékkészlet maximális értéke 2,6 %-kal volt nagyobb, minimális értéke pedig 2,2 %-kal volt kisebb a napi átlagos értéktől. A változások ellenére a vezetékkészlet nyitó- és záróértéke azonos volt.



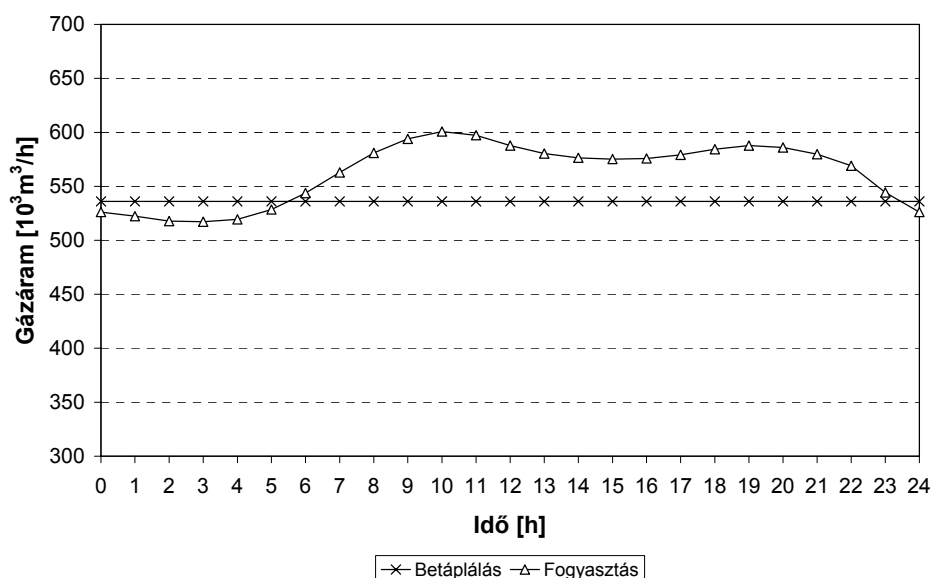
6.5-3 ábra A végponti terhelések időbeni változása növelt amplitúdó esetén

A második változatban a fogyasztási profil időbeni jellege változatlan maradt, de megnöveltem a változások amplitúdóját. A 6.5-3 ábrán látható, hogy a napi nominálás úgy van megválasztva, hogy a vizsgált 24 órában a napi elvétel és a napi betáplálás azonos nagyságú. A napi fogyasztási görbe maximális értéke 20,6 %-kal nagyobb, minimális értéke pedig 24,3 %-kal kisebb a konstans értékű betáplálásnál.



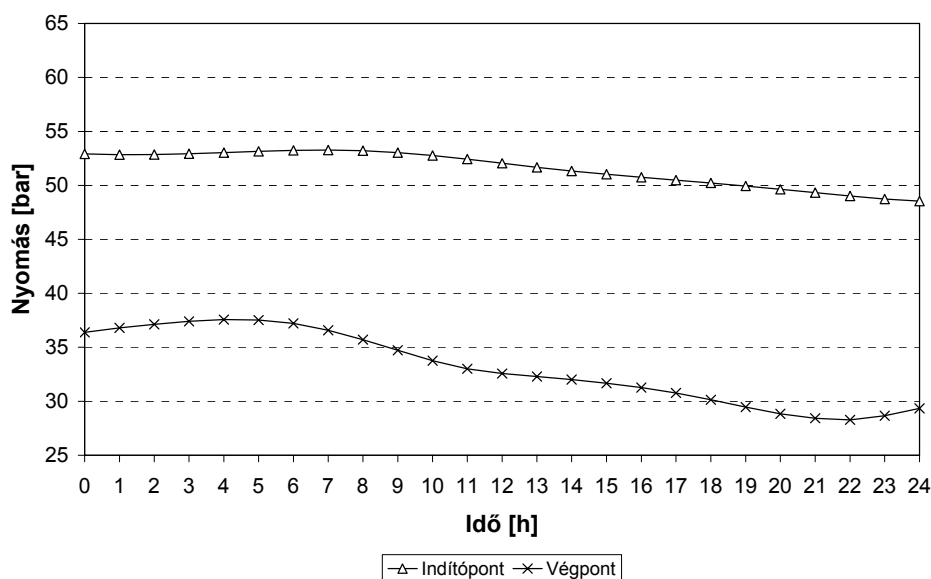
6.5-4 ábra A végponti nyomások időbeni változása növelt amplitúdó esetén

A 6.5-4 ábrán egyértelműen látható, hogy a gázigény nagyobb amplitúdójú változása nagyobb mértékű nyomásváltozást eredményezett. Az éjszakai völgyidőszak végére, 5 és 6 óra között, a végponti nyomás 48,1 bar-ra nőtt, 21 órakor pedig 36,8 bar-ra csökkent. Jelentős nagyságú volt a végponti nyomásváltozás, maximális értéke 14,5 %-kal volt nagyobb, minimális értéke pedig 12,3 %-kal volt kisebb a napi átlagos értéktől. Hasonló jelleggel, de lényegesen kisebb amplitúdóval változott a betáplálási pont nyomása is. A vezetékkészlet maximális értéke 7,8 %-kal volt nagyobb, minimális értéke pedig 6,7 %-kal volt kisebb a napi átlagos értéktől. A változások ellenére a vezetékkészlet nyitó- és záróértéke azonos volt.



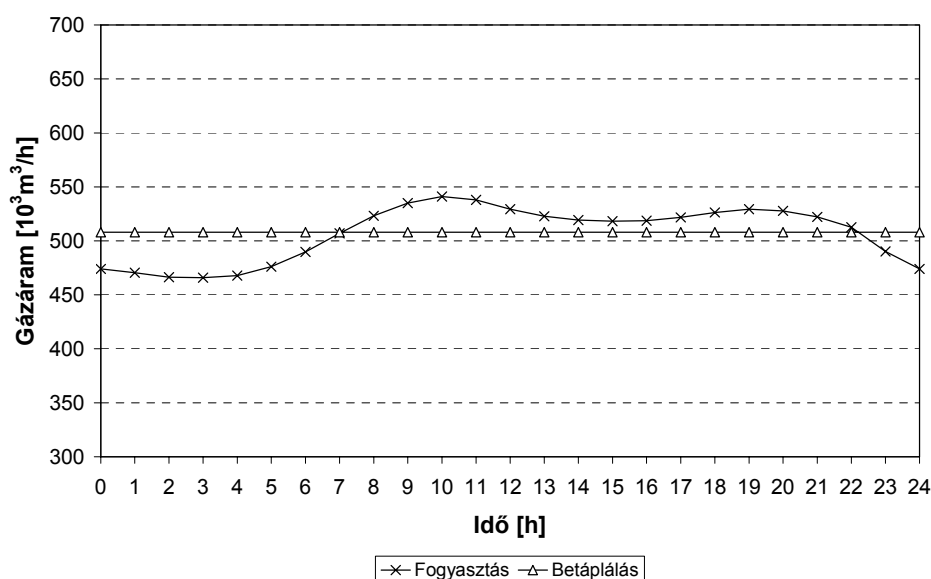
6.5-5 ábra A végponti terhelések időbeni változása 5 %-os nominálási hiány esetén

A 6.5-5 ábrán látható esetben a fogyasztási görbe megegyezik a 6.5-1 ábra szerinti görbével, de a forrásgörbe alatti terület, azaz a napi betáplálás 5 %-kal kisebb, mint a fogyasztási görbe alatti terület, azaz a napi elvétel. Ez olyan esetet jelent, amelynél a gázkereskedő nem elég körültekintően készült fel a következő tárgynapra.



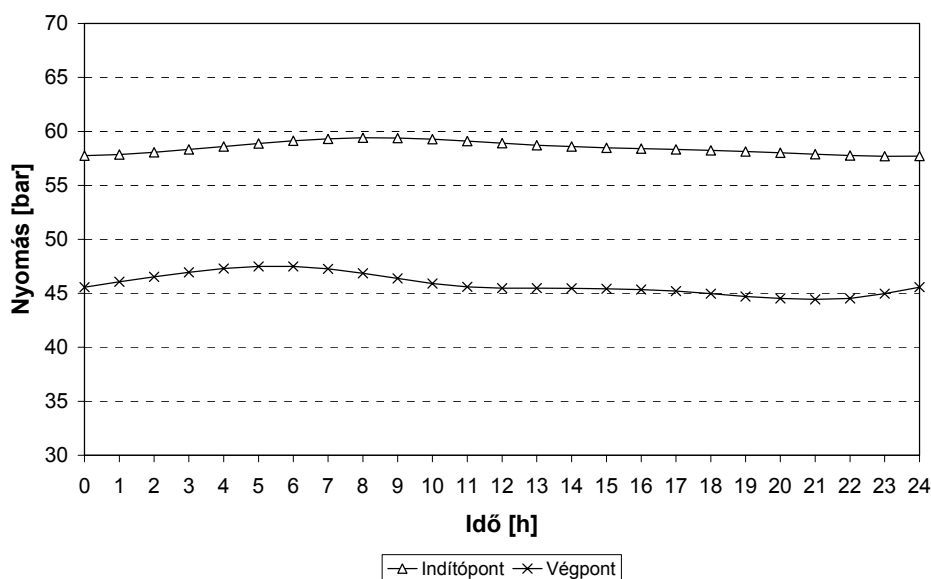
6.5-6 ábra A végponti nyomások időbeni változása 5 %-os nominálási hiány esetén

A 6.5-6 ábra szemlélteti, hogy már 5 %-os nominálási hiány esetén is a nyomások jelentős mértékben csökkennek. Az ábrán látható a nyomásváltozás csökkenő terndje. Az elvételi végpontban a nyomás maximális értéke 13,5 %-kal volt nagyobb, minimális értéke pedig 14,6 %-kal volt kisebb a napi átlagos értéktől. A vezetékkészlet nagysága a vizsgált 24 óra alatt 12,9 %-kal csökkent.



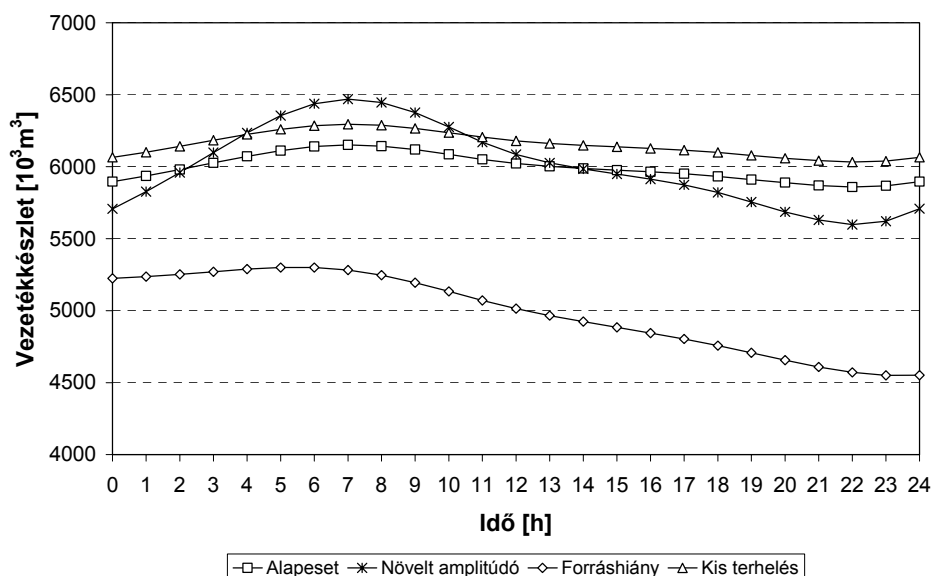
6.5-7 ábra A végponti terhelések időbeni változása 90 %-os napi terhelés mellett

Végül a 6.5-7 ábrán látható esetben a napi fogyasztás és a napi betáplálás nagysága mindössze 90 %-a a korábban vizsgált alapesetének, de nincs forráshiány. Ez a csúcnapnál enyhébb napot jelent, amelyen kisebb a gázigény.



6.5-8 ábra A végponti nyomások időbeni változása 90 %-os napi terhelés mellett

A 6.5-8 ábrán látható, hogy az indítóponthoz tartozó nyomás 57,7 és 59,4 bar között, míg a végponti nyomás 44,4 és 47,5 bar között változik. A kisebb terhelés hatására csökkent az elvételi végpont nyomásváltozása, maximális értéke 3,6 %-kal volt nagyobb, minimális értéke pedig 3,0 %-kal volt kisebb a napi átlagos értéktől. A betáplálási végpont nyomása még ennél is kisebb mértékben változott. A vezetékkészlet maximális értéke 2,3 %-kal volt nagyobb, minimális értéke pedig 2,0 %-kal volt kisebb a napi átlagos értéktől.



6.5-9 ábra A vezetékkészlet változásának összehasonlítása a vizsgált esetekben

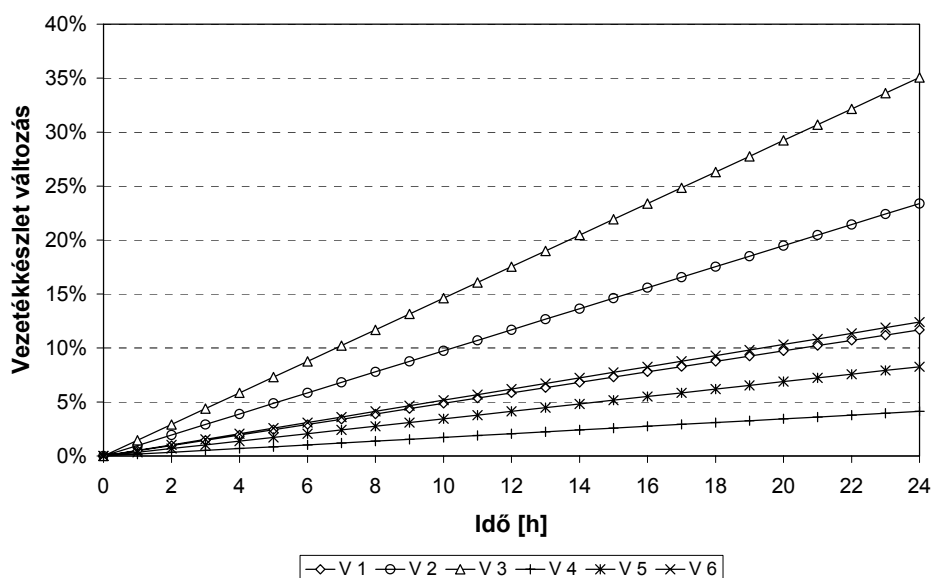
A 6.5-9 ábra segítségével összehasonlíthatók az előzőleg vizsgált esetekben a vezetékkészlet időbeni változása. Az ábra alapján egyértelműen megállapítható, hogy a nagyobb amplitúdójú fogyasztásingadozás, korrekt nominálás esetén, nem okoz olyan gondot, mint a téves nominálás miatt kialakuló forráshiányos hidraulikai helyzet. Már néhány százalékos nominálási hiány is jelentős mértékű nyomásváltozást eredményezhet. Megfigyelhető az a kedvezőtlen tendencia is, miszerint a nagyobb terhelésű alapesetben kisebb a vezetékkészlet abszolút nagysága, mint a 90 %-os terhelésű esetben.

Megnevezés	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Névleges átmérő	600	600	600	600	600	600
Vezetékhossz, km	100	100	100	200	200	200
Belső csőtér fogat, m ³	27432	27432	27432	54865	54865	54865
Végponti elvétel, 10 ³ m ³ /h	370,2	370,2	370,2	261,8	261,8	261,8
Betáplálás, 10 ³ m ³ /h	362,8	355,4	348,0	256,6	251,3	246,1
Nominálási hiány	2%	4%	6%	2%	4%	6%
Vezetékkészlet kezdőértéke, 10 ³ m ³	1520,2	1520,2	1520,2	3040,3	3040,3	3040,3
Vezetékkészlet óránkénti csökkenése, 10 ³ m ³	7,4	14,8	22,2	5,2	10,5	15,7
Vezetékkészlet napi csökkenése, 10 ³ m ³	177,7	355,4	533,1	125,7	251,3	377,0
Vezetékkészlet napi csökkenése	11,7%	23,4%	35,1%	4,1%	8,3%	12,4%

6.5-1 táblázat A nominálási hiány hatása különböző feltételek esetén

A továbbiakban a nominálási hiány hatását részletesebben is vizsgáltam egy céltávvezeték esetén. A feltételezett DN 600 névleges átmérőjű gáztávvezeték indítónyomása 55 bar, végponti nyomása pedig 40 bar. Három változatban a vezetékhossz 100 km, három változatban pedig 200 km. A 100 km-es vezetékhossz esetén a feltételezett kezdő- és végponti nyomások mellett meghatároztam a gázáramot és a vezetékkészletet. Feltételeztem, hogy a végponti elvétel az előzőek szerinti kezdő- és végponti nyomásokból meghatározott gázárammal egyenlő, és időben állandó. A nominálási hiány abból adódik, hogy a betáplálási ponton a fogyasztásnál rendre 2, 4 és 6 %-kal kisebb, állandó nagyságú betáplálást tételeztem fel. A hiányt a vezetékkészlet fedezte. A számítási eredmények a 6.5-1 táblázatban láthatók.

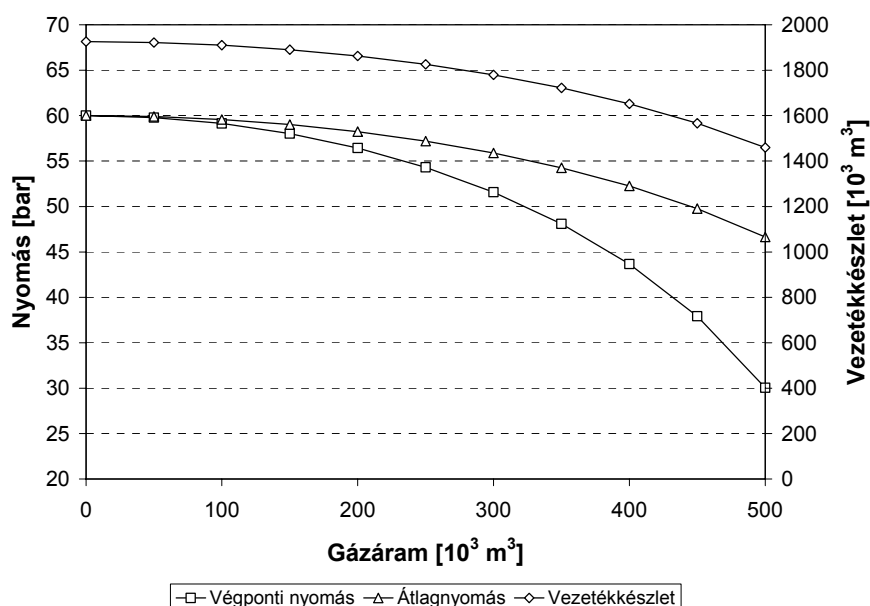
A táblázatból látható, hogy 100 km-es vezetékhossz esetén nagyobb végponti elvétel, és kisebb vezetékkészlet adódott, mint 200 km-es vezetékhossz esetén. A V1 ... V3 változatokban a nagyobb végponti elvételből nagyobb órai és napi hiány adódott, amit egy kisebb vezetékkészlet egyenlített ki. Emiatt a vezetékkészlet napi csökkenése nagyon jelentős mértékű volt. A V4 ... V6 változatoknál az előzőeknél kisebb napi hiányt egy nagyobb vezetékkészlet egyenlített ki. Az eredményekből megállapítható, hogy a nominálási hiálynak nagyon jelentős kihatása van a rendszeregyensúlyra.



6.5-10 ábra A nominálási hiány hatása különböző feltételek esetén

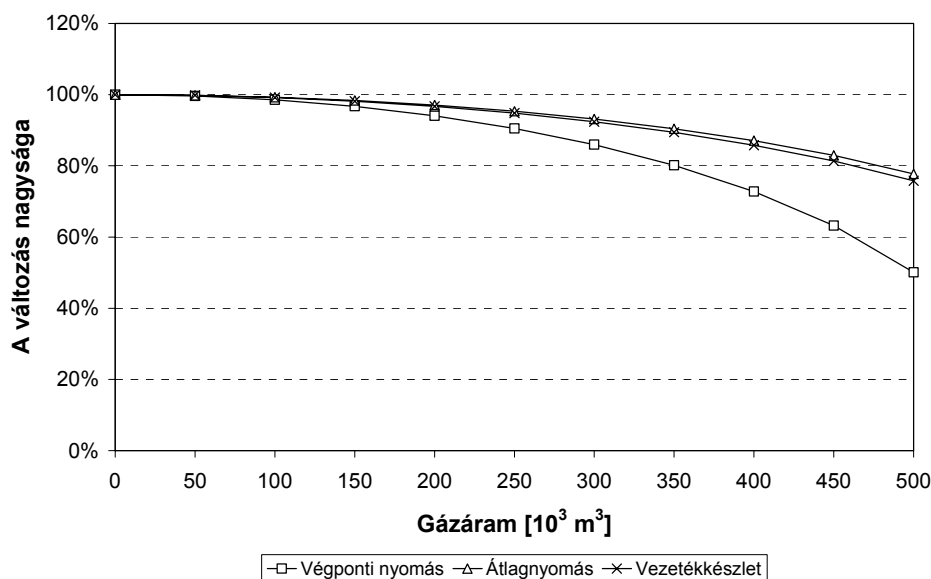
A 6.5-10 ábra a 6.5-1 táblázatban szereplő változatok esetében szemlélteti a nominálási hiány hatására bekövetkező vezetékkészlet változást az idő függvényében. Az ábrából látható, hogy napi nominálás esetén sem szabad csak a vezetékkészlet spontán kiegyenlítő hatására hagyatkozni, mert a vezetékkészlet 10 %-nál nagyobb mértékű csökkenése rendszerirányítási vészhelyzetet eredményez. A rendszerirányítónak ilyen esetben nap közben be kell avatkozni, és pótlólagos forrásokkal kell a rendszeregyensúlyt visszaállítani.

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatták, hogy a vezetékkészlet kiegyenlítő hatása rendszerszinten a legnagyobb terhelésű napokon, illetve lokálisan egy-egy szállítási útvonal erős leterheltsége esetén jelentősen csökken. A kérdés tisztázása érdekében hidraulikai mintapépda segítségével vizsgáltam a jelenség okát. Egy DN 600 névleges átmérőjű, és 100 km hosszúságú gázszállító távvezeték esetén feltételeztem, hogy az indítóponthoz tartozó nyomás állandó nagyságú, a szállított mennyiség, azaz a távvezeték terhelése viszont változik.



6.5-11 ábra A nyomás és a vezetékkészlet változása a terhelés függvényében

A 6.5-11 ábrán látható, hogy minél nagyobb a gázáram, vagyis a távvezeték terhelése, annál nagyobb nyomásvesztés alakul ki. A növekvő nyomásvesztés csökkenő végponti nyomást eredményez. Végeredményben a terhelés függvényében változik a távvezeték átlagnyomása, és ezzel összhangban a vezetékkészlet.



6.5-12 ábra A nyomás és a vezetékkészlet százalékos változása a terhelés függvényében

A 6.5-12 ábra százalékosan is szemlélteti a 6.5-11 ábrán bemutatott változásokat. Látható, hogy egy erősen terhelte távvezeték vezetékkészlete akár 20 %-kal is kisebb lehet, mint kis terhelés esetén. Ez azt jelenti, hogy éppen a legnagyobb terhelésű napokon a távvezetékben lévő vezetékkészlet abszolút nagysága, és mobilizálható része egyaránt kisebb, mint a kis terhelésű napokon. Az előzőek szerinti hidraulikai jelenség a rendszeregyensúlyozás szempontjából súlyos következménnyel jár. A leghidegebb napokon, amikor fokozott mértékben kellene igénybe venni a vezetékkészletet kiegyenlítési célra, erre hidraulikai okok miatt nincs lehetőség. Ezekben a napokon más eszközökkel és eljárásokkal kell biztosítani a gázszállító rendszer forrás-fogyasztás mérlegkülönbségének a kiegyenlítését.

A hidraulikai mintapéldák alapján a rendszeregyensúlyozással kapcsolatban az alábbi általános megállapítások tehetők:

- átlagos fogyasztású (téli) napon, nullszaldós nominálás és $\pm 8 \dots 10$ %-os fogyasztásingadozás esetén a vezetékkészlet elegendő a rendszeregyensúly fenntartásához;
- átlagos fogyasztású (téli) napon, nullszaldós nominálás és $\pm 20 \dots 25$ %-os fogyasztásingadozás esetén a vezetékkészlet elegendő a rendszeregyensúly fenntartásához, de a rendszerirányítás fokozott figyelmet igényel;
- átlagos fogyasztású (téli) napon, 5 %-os nominálási hiány és $\pm 8 \dots 10$ %-os fogyasztásingadozás a vezetékkészlet jelentős nagyságú, esetenként 10 %-ot meghaladó mértékű napi csökkenését eredményezte, ami kritikus helyzethez vezethet;
- a napi gázigény néhány százalékos nominálási hiánya jelentős nagyságú vezetékkészlet csökkenést eredményezhet, ami szükségessé teheti nap közben pótlólagos források bevonását;
- bármely távvezetékben, illetve a szállítórendszer egészében a gázáramok (terhelések) növekedésének hatására nagyobb nyomásvesztések, és csökkenő nyomások alakulnak ki. A kisebb nyomások miatt viszont kisebb lesz a vezetékkészlet abszolút nagysága, és mobilizálható része. Végeredményben a hidraulikai feltételek halmozottan kedvezőtlen irányba változnak. Ennek a hidraulikai jelenségnek az eredményeképpen a legnagyobb terhelésű napokon beszűkülnek a rendszeregyensúlyozási lehetőségek.

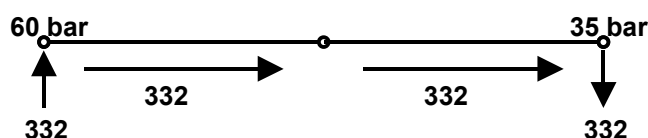
A fenti eredmények mögött álló hidraulikai törvényszerűségeket a rendszerirányító nem hagyhatja figyelmen kívül. A negatív hatások ellensúlyozására olyan kiegészítő lehetőséget kell részére biztosítani, amelyek függetlenek a vezetékkészlettől. Ilyen lehet a többletforrás, vagy a megszakítható fogyasztás.

6.6. A szállítókapacitás meghatározásának módszere

A földgázpiac liberalizációs folyamatában egyre élesebben vetődnek fel a földgázszállító rendszer tényleges, illetve szabad kapacitásával kapcsolatos kérdések. A nyitott gázpiac működését szabályozó EU Földgáz Direktíva előírja, hogy az engedéllyel rendelkező földgázkereskedők az energiahordozó szállítás céljából – megfelelő tarifa ellenében - korlátozás nélkül igénybe vehetik a csővezetékes infrastruktúrát. Az Irányelv szerint a rendszer üzemeltetőjének – megkülönböztetés nélkül - biztosítani kell a szabad hozzáférést a csővezetékes rendszer szabad kapacitásához. Az egyszerű és világos jogi feladat végrehajtása során azonban nem várt nehézségekbe ütközik az, aki megpróbál módszert kidolgozni a kapacitás abszolút nagyságának, vagy a szabad (tartalék) kapacitás mértékének a meghatározására. Az alábbiakban elemi mintapéldák szemléltetik a kapacitás értelmezésének alapvető problémáját (Tihanyi-Zsuga, 2002.).

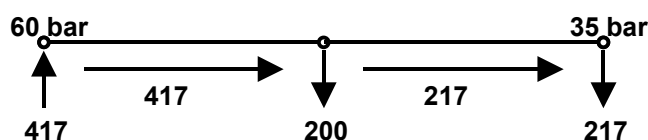
A szállítókapacitás meghatározása szempontjából a legegyszerűbb esetet a céltávvezeték jelenti. Az alábbiakban vizsgált céltávvezeték 200 km hosszúságú és DN 600 névleges átmérőjű csőtávvezeték, amelynek indítópontjában 60 bar, elvételi pontjában pedig 35 bar nyomás van adva. Az a./ esetben csak a távvezeték végpontjában van elvétel, azaz ténylegesen céltávvezetéknek tekinthető, a b./ esetben a felezőpontban is van elvétel. Végül a c./ esetben az elvételi pont a távvezeték felezőpontjában van, és mindkét végpont betáplálási pont. A számítási eredmények az alábbi hálózati vázlatokon és a 2.6-1 ábrán láthatók. Az ábrán, és a továbbiakban a gázáramok mértékegysége $10^3 \text{ m}^3/\text{h}$.

a./ eset



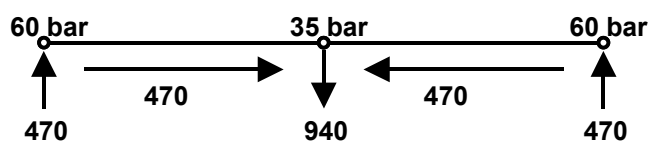
Teljes szállítókapacitás: 332 em^3/h

b./ eset



Teljes szállítókapacitás: 417 em^3/h

c./ eset

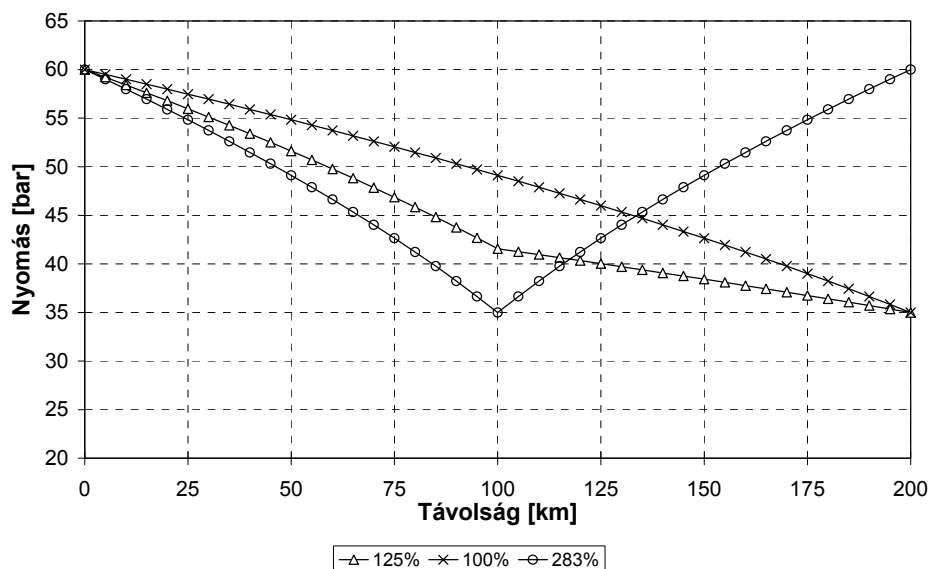


Teljes szállítókapacitás: 940 em^3/h

Az a./ esetben a szállítóképesség azt a gázáramot jelenti, amely a betáplálási pontból a fogyasztási végpontba szállítható. A b./ esetben a közbenső elvétel aszimmetrikussá tette a távvezetékrendszer terhelését. Változatlan indító- és érkezőponti nyomás mellett csökkent az elvételi végpontba szállítható gázáram, de a távvezetékrendszeren szállítható összes gázmennyiség nőtt. A c./ esetben a szállítási távolság a felére csökkent, ennek hatására a felezőpontba szállítható gázmennyiség többszörösére nőtt.

A 6.6-1 ábrán a nyomásváltozás látható a távvezeték hossza mentén a vizsgált esetekben. Az összehasonlításnál az a./ esetet tekintettük alapesetnek. Ha a b./ esetben a szállítóképességet úgy értelmezzük, mint a közbenső és a végponti elvétel összegét, akkor az alapesethez képest 25 %-os kapacitásnövekedés adódik. A közbenső elvétel azonban visszahat a végponti elvétel nagyságára, ami az alapesethez képest csökken. Ilyen esetben a távvezeték mentén a végpontig elszállított gázmennyiség hidraulikai hatása, és a közbenső pontig elszállított gázmennyiség hidraulikai hatása összeadódik. Ez okozza azt, hogy az első távvezetéki szakaszban a nagyobb gázáram hatására nagyobb, a második szakaszban a kisebb gázáram hatására kisebb nyomásgradiens alakul ki, mint az alapesetben. Az előzőekből következik, hogy minél kisebb távolságra van a közbenső elvételi pont a betáplálási ponttól, annál jobban közelít a nyomásváltozási görbe az alapesethez, továbbá annál nagyobb lesz a rendszer kapacitásnövekedése. A c./ esetben az elvételi pontba két oldalról áramlik a gáz, ennek hatására a szállítóképesség 183 %-kal nő.

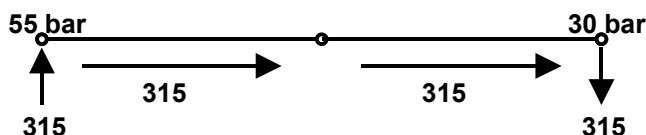
Az előző esetek arra világítottak rá, hogy egy adott rendszernél a betáplálások és az elvételek területi megoszlása jelentősen befolyásolja a szállítóképességet.



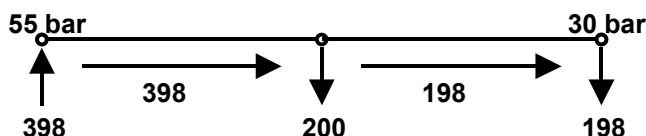
6.6-1 ábra Gáztávvezeték szállítóképességének változása
60 bar-os indítónyomás esetén

A második mintapéldában egyetlen eltérés van az elsőhöz képest, mégpedig a kezdő- és végponti nyomás 5 bar-al kisebb a korábban feltételezett 60 bar-os értéknél.

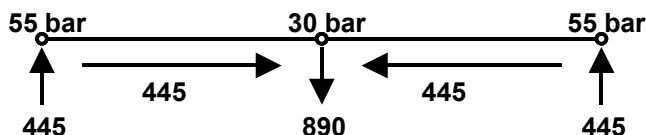
a./ eset



Teljes szállítóképesség: 315 em³/h
b./ eset

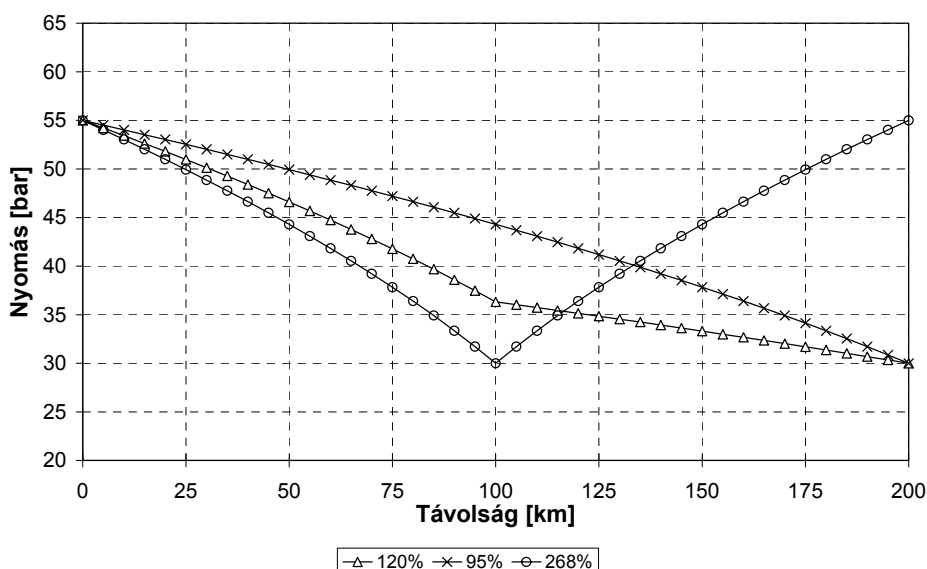


Teljes szállítóképesség: 398 em³/h
c./ eset



Teljes szállítóképesség: 890 em³/h

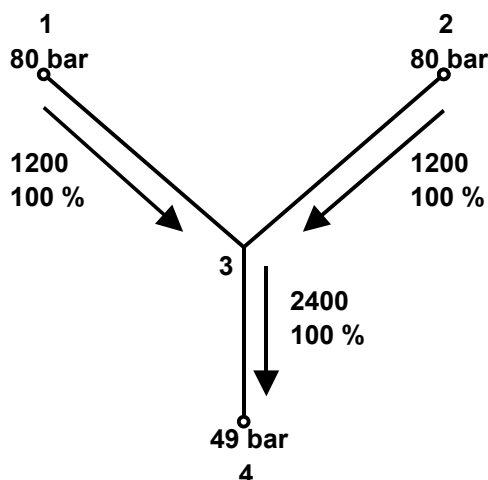
A 6.6-2 ábrán az a./ ...c./ esetekre vonatkozó nyomásváltozás látható a távvezeték hossza mentén. Az első mintapéldához hasonlóan az a./ esetben csak végponti elvétel van, a b./ esetben a végponti elvételen kívül a felezőpontban is van elvétel. A kapacitás értékelésnél az első mintapéllda a./ esete jelentette az alapesetét, a százalékos kapacitásértékek erre a bázisértékre vonatkoznak. A számítási eredményekből látható, hogy az 5 bar-os kezdő- és végponti nyomáscsökkenés minden vizsgált esetben kisebb szállítóképességet eredményezett, mint az első mintapéldában.



6.6-2 ábra Gáztávvezeték szállítóképességének változása
55 bar-os indítónyomás esetén

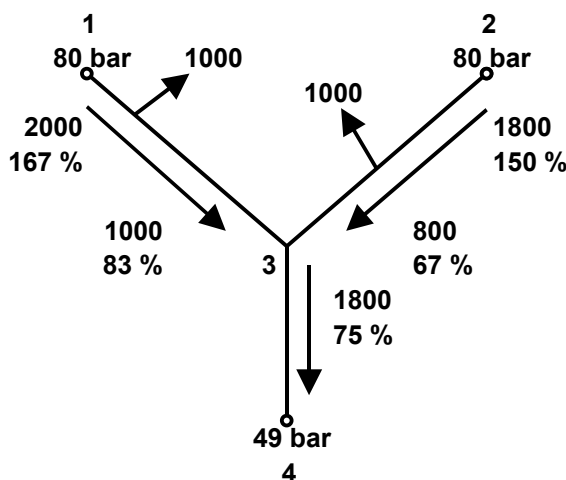
A Gas Transmission Europe (GTE) szervezet szakértői által 2001. júliusában, a 4th European Gas Regulatory Forum-on, vagy szakmai körökben használt rövid elnevezéssel a

Madrid Fórum-on munkaanyagként beterjesztett „Capacity and Congestion Report”-hoz kapcsolódó előadásban a szállítókapa­citás értelmezését egyszerű mintapél­da segítségével szemléltették (GTE-Capacity, 2001.).



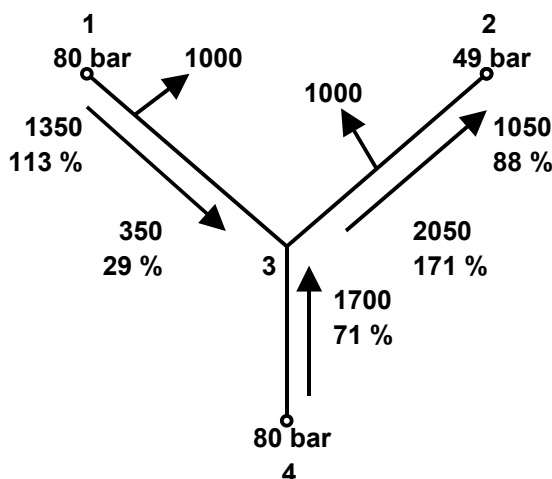
6.6-3 ábra Kapacitás mintapél­da két forrás­pont esetén

A 6.6-3 ábrán látható mintapél­da egy elemi hálózat áramlási viszonyait szemlélteti. Mindkét betáplálási pontban 80 bar az indítónyomás, az elvételi végponton 49 bar az érkezőnyomás. Az előző feltételekhez tartozó áramlási viszonyokat bázisállapotnak, az egyes vezetékszaka­szok kapacitáski­haszná­ltságát 100 %-nak tekintették.



6.6-4 ábra Szállítókapa­citás változása köz­benső elvételek esetén

A 6.6-4 ábrán változatlan létesítmény, továbbá változatlan betáplálási és elvételi nyomások esetén, de köz­benső fogyasztás feltételezésével láthatók a gázáramok, és az egyes vezetékszaka­szok kapacitáski­haszná­ltsága. A százalékos értékekből látható, hogy csupán a köz­benső elvétel számításba vétele milyen jelentős mértékben módosítja az áramlási képet.



6.6-5 ábra Kapacitás változása fordított áramlási irány esetén

A 6.6-5 ábrán a csőtávvezeték rendszer azonos a korábbiakkal, de a szállítási irány két pont között megváltozott. Az új hidraulikai határfeltételek mellett teljesen új áramlási kép alakult ki, és az egyes vezetékszakaszok kapacitáskihasználtsága a korábbiaktól merőben eltérő képet mutat.

Az előző mintapéldák szerzői a szállítókapaacitást egymástól eltérő módon értelmezték. A 6.6-1 és 6.6-2 ábrák szerinti mintapéldáknál a kapacitás adott feltételek mellett a távvezetékrendszer lehetséges maximális gázforgalmát jelenti. A 6.6-3 ... 6.6-5 ábrák szerinti mintapéldában a szállítókapaacitás vezetékszakaszokra vonatkozik, és a referencia állapotban kialakuló gázáramokat tekintették az egyes vezetékszakaszok névleges szállítókapaacitásának.

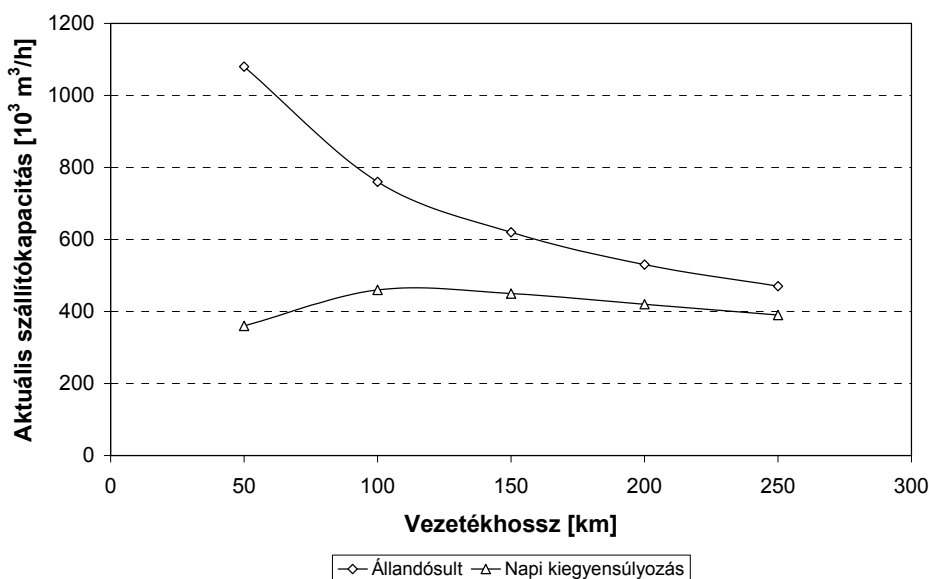
Az első, rendszerszemléletű értelmezés összhangban van azzal a tapasztalattal, hogy a szállítókapaacitás minden esetben a rendszer egészére vonatkozó feltételek halmazától függ. Ennek a megközelítésnek a gyenge pontja az, hogy a rendszer eredő kapaacitását nem lehet szállítási útvonalakra bontani. A második értelmezés a rendszernek és az egyes alkotóelemeknek a névleges szállítókapaacitását egy referencia állapothoz köti. Ennek a közelítésnek a gyenge pontja az, hogy ténylegesen nincs referencia állapot.

Általánosságban elmondható, hogy egy szállítórendszer esetén megkülönböztethető téli és nyári üzemállapot, tényleges csúcsnapi, vagy adott szigorúságú tél leghidegebb napjára vonatkozó, előrejelzett terhelési állapot. Egy új betáplálási pont vagy föld alatti tároló belépésével megváltozhatnak az áramlási útvonalak és a szállítási távolságok, ennek hatására új létesítmények nélkül is megnő a szállítókapaacitás.

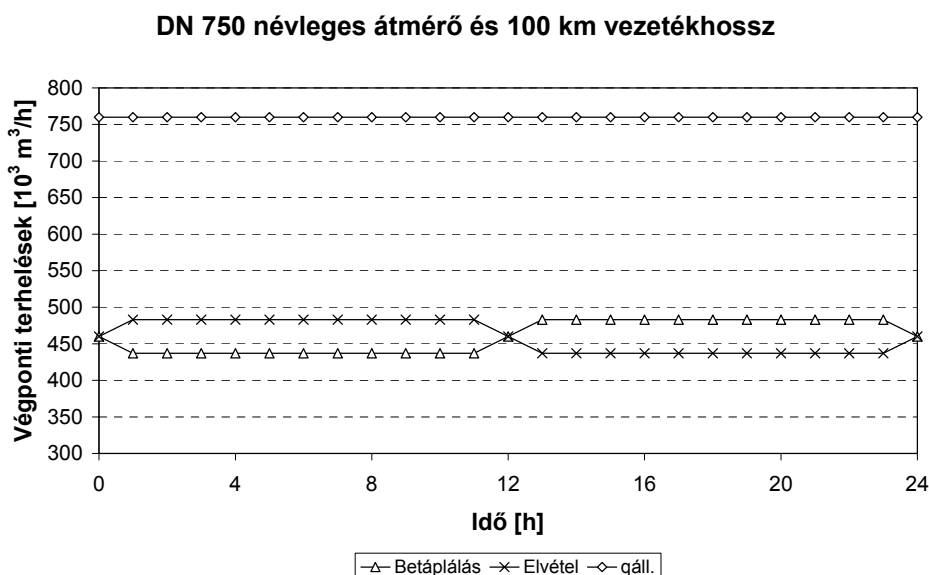
A szállítókapaacitásnak az előzőektől is eltérő értelmezését adták a „GTE Balancing and Storage Report” c. jelentés szakértői, amikor megkülönböztették az állandósult és a tranziens szállítókapaacitást (GTE-Balancing, 2001.). Azt vizsgálták, hogy DN 750 névleges átmérőjű céltávvezeték esetén 66 bar betáplálási és 49 bar elvételi nyomás mellett mekkora gázáramok alakulnak különböző hosszúságú távvezetékek esetén. Állandósult esetben a végponti gázelvételt a betáplálási és az elvételi végpontok nyomásaiból határozták meg. Ezt tekintették a távvezeték statikus szállítókapaacitásának. Időben változó szállítási rezsim esetén feltételezték, hogy a vizsgált nap első felében az elvétel 10 %-al nagyobb, második felében pedig 10 %-al kisebb, mint a betáplált órai gázmenyiség. Az indítóponi és az elvételi végpont nyomásának a változások ellenére benn kell maradni a 66 ... 49 bar-os tartományban. Az előző feltételezésekkel kapták a 6.6-1 táblázatban szereplő kapaacitás értékeket.

Vezeték hossz	Szállítóképesség (statikus)	Szállítóképesség (napi kiegyensúlyozás esetén)	Kapacitás csökkenés
[km]	[$10^3 \text{ m}^3/\text{h}$]	[$10^3 \text{ m}^3/\text{h}$]	[%]
50	1080	360	67
100	760	460	40
150	620	450	27
200	530	420	21
250	470	390	17

6.6-1 táblázat Céltávvezeték szállítóképessége különböző rezsimek esetén



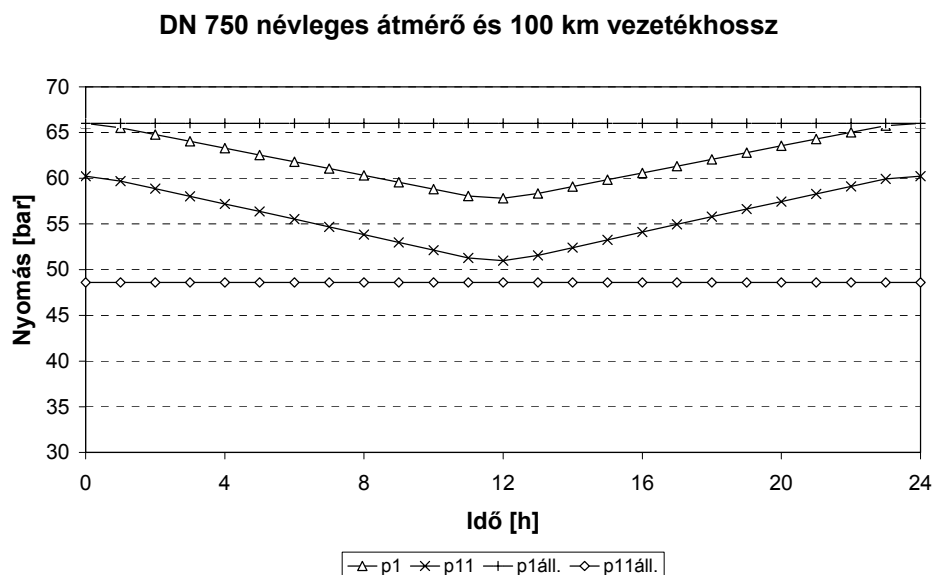
6.6-6 ábra Aktuális szállítóképesség a vezetékhossz függvényében



6.6-7 ábra Állandó és időben változó terhelés összehasonlítása

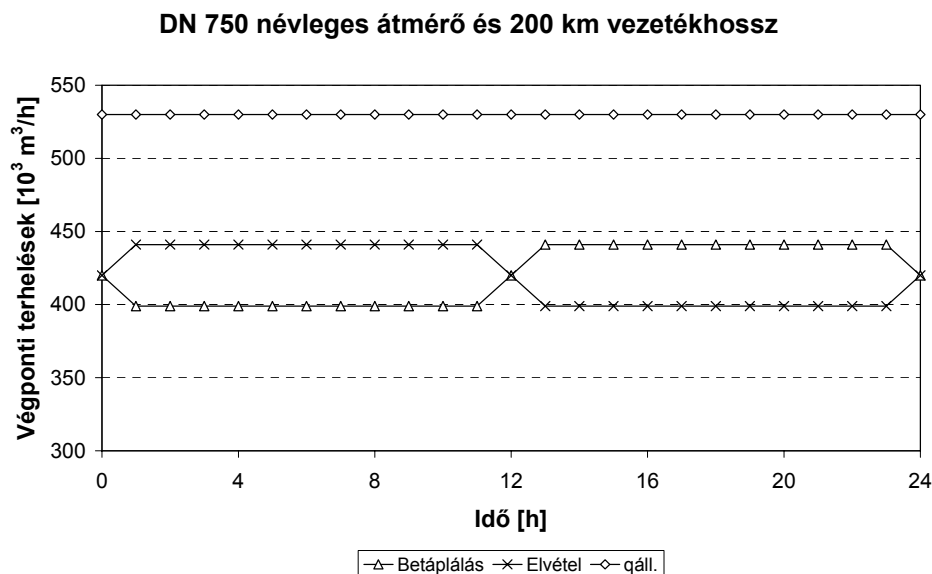
A 6.6-6 ábra tanúsága szerint már viszonylag kismértékű terhelésingadozás is jelentős kapacitáscsökkenést eredményez. Az a tény azonban, hogy a két görbe a távvezeték hosszának a növekedésével közelít egymáshoz azt mutatja, hogy nagyobb vezetékkészlet

esetén a terhelésingadozásból adódó nyomásváltozás csökkenő mértékű, egyre jobban közelít az állandósult állapotra érvényes konstans nyomásokhoz. A csőtávvezetékek szállítóképességének az előzőek szerinti értelmezése figyelemre méltó, de látni kell, hogy kiindulási feltételként egy nagyon szigorú feltételt építettek be: a betáplálási és az elvételi pont nyomása változó terhelés mellett sem léphet ki a statikus kapacitás meghatározásánál felvett nyomástartományból.

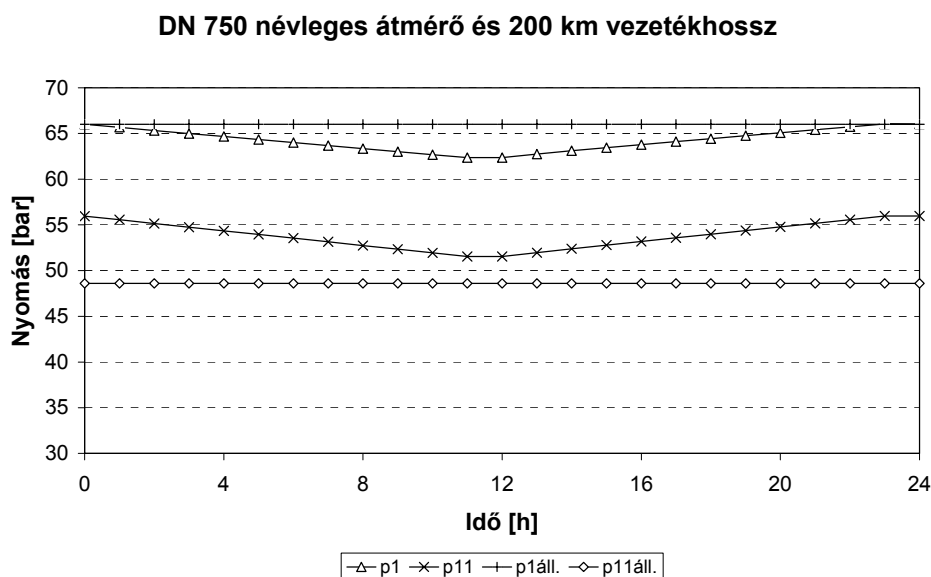


6.6-8 ábra Nyomásváltozás állandósult és tranzienst áramlási viszonyok esetén

A 6.6-7 és 6.6-8 ábrák a fentiek szerinti kapacitás értelmezést szemléltetik. Ennek megfelelően 100 km-es vezeték hossz esetén $760 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ gázmennyiség szállítható 66 bar-os betáplálási és 49 bar-os elvételi nyomás mellett. Ha ugyanezen a vezetékszakszon az előző nyomástartományt úgy használják ki, hogy a vizsgált nap első felében az elvétel 10 %-al nagyobb, a nap második felében pedig 10 %-al kisebb a betáplált órai gázmennyiségnél, akkor az előzőnél lényegesen kisebb, mindössze $460 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ gázmennyiség szállítható a vezetékszakszon. A 6.6-8 ábrán látható, hogy időben változó végponti elvétel mellett a p_1 és p_{11} nyomások különbsége kisebb, mint $p_{1áll.}$ és a $p_{1áll.}$ nyomások különbsége. Végeredményben a szállítóképesség csökkenés 40 %-os.



6.6-9 ábra Állandó és időben változó terhelés összehasonlítása



6.6-10 ábra Nyomásváltozás állandósult és tranziens áramlási viszonyok esetén

A 6.6-9 és 6.6-10 ábrákat összehasonlítva a 6.6-7 és 6.6-8 ábrákkal megállapítható, hogy hosszabb vezetékszakasznál esetén a korábbiakkal azonos hidraulikai határfeltételek mellett csökken az eltérés az állandósult és a tranziens áramlási viszonyok között kialakuló szállítóképesség között. Ennek megfelelően 200 km-es vezeték hosszánál 530 10^3 m³/h gázmennyiség szállítható állandósult, és 420 10^3 m³/h gázmennyiség szállítható tranziens áramlás esetén. A szállítóképesség csökkenés ebben az esetben csak 21 %.

Az előző mintapéldákból egyértelműen látszik, hogy nem lesz könnyű helyzetben a rendszerirányító, akinek az EU Földgáz Irányelv értelmében diszkrimináció mentesen kell biztosítani a hozzáférést a gázz szállító rendszer szabad kapacitásához.

Egy csőtávvezeték rendszer szállítóképességét az alábbi feltételek befolyásolják:

A/ Fix vagy lassan változó tényezők:

- Csőtávvezetékek hossza, átmérője,
- Kompresszorállomások beépített gépegységeinek teljesítménye,
- Betáplálások és elvételek helyének és nagyságának területi (földrajzi) megoszlása,

B/ Változó tényezők:

- A csőtávvezetékes szállítórendszer alkotóelemeinek kapcsolódása,
- A betáplálási pontoknak és a kompresszorállomások kimeneti pontjainak a nyomása,
- Az elvételi pontokban a terhelések nagysága, jellemző értéke,
- A betáplálási pontok terhelésének a nagysága.

A fejezet első részében bemutatott mintapéldákban a felsoroltak közül az elvételi pont helye, az indítónyomás, valamint a szállítási irány változott. A vizsgált egyszerű hálózaton már a felsorolt néhány tényező változása is elegendő volt ahhoz, hogy a kapacitás nagyságára vonatkozó kérdést ne tudjuk megválaszolni. A többszáz betáplálási és elvételi ponttal rendelkező országos gáztávvezeték hálózat esetén további szabadságfokok miatt a szállítóképesség nagyságára, vagy a szabad kapacitásra vonatkozó kérdés megválaszolása csak az összes létesítményre és az összes csomópontokra vonatkozó aktuális feltételek megadásával egyidejűleg lehetséges.

Az előzők alapján hangsúlyozni kell, hogy a szállítóképesség egy sokváltozós függvénnyel írható le matematikai formában. Ennek a függvénynek az értékei analitikusan

nem, csak egy szimulációs programmal határozhatók meg. A rendszer irányítása szempontjából nem a komplex kapacitásfüggvénynek van jelentősége, hanem annak a szimulációs szoftvernek, amely tetszőleges paraméterek mellett alkalmas a rendszer áramlási és nyomásviszonyainak számítására.

A fenti értelmezések közös jellemzője volt, hogy a kapacitás értelmezését a létesítmény oldaláról, azaz technikai szempontból közelítette. Ettől alapvetően eltér a kereskedelmi értelmezés, amelynél nem a technikai, hanem a kereskedelmi feltételrendszer az elsődleges. Mivel a gázszállító rendszer üzemeltetőjének a szállítási szerződésekben rögzített feladatokat kell teljesíteni, a „GTE Capacity and Congestion Report” c. jelentés szakértői a kereskedelmi értelmezés fontosságára hívták fel a figyelmet (GTE-Capacity, 2001.).

A kereskedelmi értelmezés abból indul ki, hogy a gázszállítási szerződésekben rögzített szállítási feladatok nem határozzák meg automatikusan a tényleges gázáramok nagyságát és az áramlási irányokat. Könnyen előfordulhat olyan eset, hogy X kereskedő A helyről B helyre akar szállítani meghatározott gázmennyiséget, ezzel egyidőben Y kereskedő B helyről A helyre történő szállításra szerződik. Ugyanazon a csőtávvezetéken nem lehet egyidejűleg egyik és a másik irányba is szállítani, a tényleges áramlás a két feladat eredője lesz. A gázkereskedőknek a szállítókapaacitást is csak az eredő szállítási igény nagyságának megfelelően kell lekötni. Ilyen esetben azonban X és Y kereskedőknek meg kell állapodniuk egymással a „kereskedelmi lecserélés”-ben. Ebben a megállapodásban kell szabályozni azokat az eseteket, amikor X vagy Y kereskedő nem tudja betáplálni az igényeknek megfelelő mennyiséget, és a fogyasztók gázigénye nem, vagy csak részben elégíthető ki. Rögzíteni kell azt is, ki viseli az előző esetek megoldása során fellépő többletköltségeket is. A lecserélésnél követelmény, hogy minden betáplálási ponton azonos minőségű, szabványos gázt tápláljanak be, vagy pénzügyileg kompenzálják a betáplált, és a fogyasztó által vételezett földgáz minősége közötti különbséget. Amennyiben bármely kereskedő ragaszkodik ahhoz, hogy az általa ellátott fogyasztó minden esetben megkapja a szerződésben rögzített mennyiséget, akkor azzal egyenlő nagyságú szállítókapaacitást kell lekötnie.

A kereskedelmi megközelítés azt jelenti, hogy a szállítási szerződésben foglaltakat nem formálisan, hanem lényegét tekintve teljesítik. A kapacitáslekötésre két modellt használnak: egyik ún. „fiktív út” modell (notional path model), míg a másik a „belépési/kilépési” (entry/exit model) modell.

A „fiktív út” modellnél a szállítási szerződésekben szereplő feladatokból kiindulva határozzák meg a tényleges áramlási viszonyokat, és a szükséges technikai szállítókapaacitást. A csomóponti eredő terhelések alapján szimulációs számításokat végeznek különböző időjárási és forrásoldali feltételek figyelembe vételével. A szimuláció eredményeként a szállítókapaacitás nem adott pontokra vagy vezetékszakaszokra értelmezhető, hanem a rendszer különböző pontjai között tetszőleges fiktív útvonalon. A „fiktív út” modellt elsősorban olyan gázszállító rendszereknél alkalmazzák, amelyek nemcsak a saját fogyasztók gázszállítási feladatait, hanem tranzitszállítási feladatokat is ellátnak. A „fiktív út” modellt számos európai országban alkalmazzák. Ehhez a modellhez kézenfekvő valamilyen távolságarányos szállítási tarifát kapcsolni.

A „belépési/kilépési” modellben a szállítókapaacitást nem az A és a B pontok közötti útvonalra, hanem a rendszer betáplálási és elvételi pontjaira értelmezve határozzák meg. Egy-egy betáplálási ponton általában nem egyetlen gázkereskedő táplál be gázt, ennek megfelelően a modellszámítások során az adott betáplálási pont maximális kapacitását határozzák meg. Ezt a modellt elsősorban olyan piacokon alkalmazzák, ahol minimális a tranzitszállítás. Ennél a modellnél a gázszállító rendszer a kereskedők szempontjából „fekete doboz”, amelynek különböző belépési pontjain táplálhatja be az általa szállítani kívánt gázmennyiséget, és arra kap garanciát, hogy a szállítási szerződésben rögzített elvételi pontokon a szerződött nagyságú, minőségű és időben változó gázmennyiséget átadják. Ehhez

a modellhez valamilyen átalánydíjas (postabélyeg típusú vagy zónás) szállítási tarifa tartozhat.

A vizsgálatok alapján megállapíthatók a következők:

- egy adott szállítóvezeték kapacitása az indító- és végponti nyomások nagyságának függvényében változik;
- a szállítóvezetéken a közbenső elvételi pont(ok) helye, és fogyasztása döntően megváltoztatja az adott szállítóvezeték kapacitásviszonyait. Minél közelebb van a közbenső elvételi pont a távvezeték indítópontjához, annál nagyobb mértékű a teljes rendszer kapacitásnövekedése;
- egy adott rendszer kapacitása jelentős mértékben megnövekedhet több betáplálási pont kialakítása esetén.

A bemutatott mintapéldák esetében megváltozott az elvételi pontok helye, az indítónyomás nagysága, valamint a szállítási irány. Ezeknek a paramétereknek a változása már elegendő volt ahhoz, hogy egy célvezeték esetén se lehessen egzakt választ adni a szállítókapacitás nagyságára. Ebből következően a teljes, több mint háromszáz elvételi ponttal és húsznál több betáplálási ponttal rendelkező hazai gázszállító rendszer esetében a szabadságfokok nagy száma miatt a szállítókapacitás megadása csak az összes aktív elemre és csomópontra vonatkozó aktuális feltételrendszer egyidejű megadásával lehetséges. A rendszeren egyetlen paraméter megváltozása maga után vonja a szállítókapacitás lokális vagy teljes megváltozását, tehát nem szabad statikus számokkal jellemezni a rendszer tetszőleges két pontja között az elszállítható mennyiséget.

A fentiek alapján megállapítható, hogy egy gáztávvezeték rendszer szállítókapacitása egy adott üzemeltetési feltételrendszerhez, azaz egy szállítási feladat csomaghoz tartozik, és nem általános érvényű mutatószám.

7. Új tudományos eredmények

- T/1. Elemezve a gázszállító rendszer jelenlegi irányítási rendszerét megállapítottam, hogy egy hatékonyan működő gázpiachoz jelentős mértékű technikai, módszertani és informatikai fejlesztésre lesz szükség. Rámutattam arra, hogy a piacnyitás időszakában, a ma előre látható technikai feltételek között az egy napra vonatkozó nominálást indokolt választani, mert ezzel garantálható az ellátásbiztonság;
- T/2. Az előző évek prognosztizált és tényleges napi középhőmérsékleti adatokból meghatároztam az előrejelzési bizonytalansághoz tartozó gyakorisági görbét. Ennek segítségével rámutattam, hogy $\pm 2,5$ °C-os előrejelzési bizonytalansághoz 5 %-os gyakoriság tartozik. A vizsgált 151 napos téli időszakra vetítve az előző gyakoriságot azt kaptam, hogy tíz esetben várható $\pm 3,5$ °C-os, vagy annál nagyobb mértékű eltérés a napi középhőmérséklet előrejelzésében. A rendszerirányítás szempontjából ez azt jelenti, hogy 10 olyan nappal lehet számolni, amikor a napi középhőmérséklet előrejelzésének a bizonytalansága maximálisan $\pm 6 \dots 8 \cdot 10^6$ m³/d-os, azaz a napi gázigény 8-10 %-ának megfelelő nagyságú bizonytalanságot eredményez a tárgynapi felkészülésben. Ennek a bizonytalanságnak a kezeléséhez a rendszerirányítónak megfelelő eszközökkel kell rendelkeznie;
- T/3. A jelenlegi hazai fogyasztási szerkezet mellett az országos eredő fogyasztási görbén két lokális maximum jelentkezik, és az átlagos órai értéktől való eltérés $\pm 7 \dots 10$ %-os változási sávval jellemezhető;
- T/4. Hidraulikai vizsgálatok alapján rámutattam, hogy a rendszeregyensúlyozásnál a nominálási hiány sokkal súlyosabb következményekkel jár, mint az országos eredő fogyasztási görbe ± 10 %-os amplitúdójú ingadozása;
- T/5. Rámutattam arra a hidraulikai törvényszerűségekre, miszerint a távvezetékek, illetve a gázszállító rendszer terhelésének a növekedése a vezetékkészlet abszolút nagyságának és mobilizálható részének a csökkenését eredményezi. Ez éppen a legnagyobb terhelésű napokon a rendszerirányító mozgásterének a beszűkülését eredményezi, amit az ellátásbiztonság érdekében más eszközökkel (többlet forrás, megszakítható fogyasztó, stb.) kompenzálni kell;
- T/6. Hidraulikai mintapéldák segítségével bemutattam, és összehasonlítottam a szakirodalomban fellelhető szállítókapacitás meghatározási módszereket, és ennek alapján megállapítottam, hogy a szállítókapacitást a rendszeralkotó elemek technikai paraméterei önmagukban nem határozzák meg, számos további pillanatnyi feltétel figyelembe vétele szükséges;
- T/7. A szállítókapacitás kereskedelmi értelmezése hidraulikai számításokkal nem kezelhető bizonytalanságot visz be a gázpiaci szereplők együttműködésébe.

8. Az eredmények gyakorlati hasznosítása

A több éves tudományos munka végén úgy érzem, hogy a hazai gázszállító rendszer napi irányítása során, illetve a piacnyitás előkészítésének a folyamatában felmerült kérdések egy részét sikerült szigorú tudományos módszerekkel elemezni, és a továbblépést megalapozó eredményeket elérni. Azért vállaltam a tudományos feladatokat, mert a hazai gázpiac, és ezen belül a földgázellátó rendszer irányítási módszere fordulópont előtt áll. A közeljövőben már egy új típusú, liberalizált földgázpiacon kell tevékenykedni, amelyen a korábbi irányítási tapasztalatok csak részben hasznosíthatók. Szükségképpen át kell gondolni a régi, illetve az előre látható új folyamatokat, és meg kell alapozni az új irányítási szabályokat.

Nem volt könnyű a konkrét napi feladatok sűrűjében megtalálni a rendszerirányítás szempontjából fontos és alapvető kérdéseket. Munkám során három kérdéskört emeltem ki, és megpróbáltam a tényadatokból és a múltbeli tapasztalatokból kiindulva általánosítható következtetéseket levonni. Ezek a kérdéskörök az alábbiak:

- a bizonytalanságok forrása, nagysága és hatása a rendszer működésére;
- hidraulikai törvényszerűségek a rendszeregyensúlyozás folyamatában;
- a szállítókapaacitás nagysága és meghatározási módja.

Mindenekelőtt a napi nominálással kapcsolatos bizonytalanságok jelentik a legnagyobb problémát a rendszerirányító számára. A napi gázfogyasztás előrejelzés szoros kapcsolatban van a napi időjárási, elsősorban a középhőmérséklet előrejelzéssel. Nem várható el nagyobb pontosság a gázfogyasztás előrejelzéstől, mint a kiindulási adatként szolgáló napi középhőmérséklet pontossága. Tényadatokra épülő elemzéseimben meghatároztam a napi középhőmérséklet előrejelzés hibájának az eloszlását. Ez a napi munkában közvetlenül hasznosítható.

A hidraulikai törvényszerűségek a gázszállító rendszerben végbemenő fizikai folyamatok alapját jelentik. Tényleges napi fogyasztási típusgörbe segítségével vizsgáltam a vezetékkészlet kiegyenlítő hatását különböző amplitúdójú ingadozások, illetve egyensúlyi és nem-egyensúlyi nominálás esetén. A vizsgálatok elősegítették a hidraulikai folyamatok jobb megértését, és lehetővé tették közvetlenül hasznosítható, általános következtetések levonását.

A szállítókapaacitás kérdése alapvető fontosságú mind a jelenlegi helyzetben, mind pedig a jövőbeni, liberalizált gázpiacon. A szállítórendszer üzemeltetője, és a rendszerirányító csak akkor tudja eldönteni, hogy a szállítatók által megrendelt szállítási feladatok teljesíthetők-e, ha megbízható módszer áll rendelkezésre a szállítókapaacitás meghatározására. Munkám során ebben a kérdésben egy illúzióval kellett leszámolni, mégpedig azzal, hogy egyetlen számmal lehet jellemezni a szállítókapaacitást. Úgy érzem, eredményeim fontos lépést jelentenek a cél felé, de nem biztos, hogy sikerült a végső szót kimondani.

Értekezésemben igyekeztem közérthetően fogalmazni, és egyszerű mintapéldákkal alátámasztani gondolatmenetemet. Céлом volt az is, hogy a gázpiaci résztvevők, a leendő gázkereskedők és minden érdeklődő számára összefoglaljam a témakört, és természetesen saját szemüvegemen keresztül láttassam az érdekes, és nemzetgazdasági szempontból is fontos kérdéseket. Bízok benne, hogy a közvetlen eredmények mellett sikerült az érdeklődést is felkelteni szakmám izgalmas kérdései iránt.

9. Összefoglalás

Napjainkban korszakos átalakulás előtt áll a magyar gázipar. Az EU csatlakozási folyamatban a Magyar Köztársaság Kormánya vállalta a hazai energetikai szektor EU konform átalakítását. Ez a földgázellátás területén az 1998-ban megjelent EU Földgáz Irányelv elfogadását és alkalmazását jelenti. Az Irányelv az egységes európai földgázpiac kialakításának feltételrendszerét rögzíti. Szabályozza a piacnyitás ütemét, a földgázpiaci tevékenységek szétválasztását, a gázszállító és –elosztó rendszerekhez való szabad hozzáférést, a közszolgáltatási kötelezettséget és további kérdéseket.

A piacnyitás, illetve a Földgáz Irányelv szerinti új üzleti modell kialakítása a jelenlegi törvényi keretek megváltoztatását igényli. A munka évek óta folyik, de politikai döntések hiányában figyelemre méltó eredmények nem születtek. Közben az EU tagországokban is felszínre kerültek a kezdeti nehézségek, mindenekelőtt a nemzeti szabályozások sokszínűsége. Ma úgy tűnik, hogy az egységes földgázpiac létrehozását a jelenlegi tagországok úgy képzelik el, hogy mindegyik csak minimálisan változtat jelenlegi szabályozásán, de a tagjelölt országoktól alapjaiban újszerű szabályozást vár el. A hazai helyzet sajátos jellegzetessége, hogy az 1995-ös gázipari privatizációt követően a gáztársaságok tulajdonosai több EU tagországhoz kapcsolódnak, és mindegyik a saját országának a szabályozását tekinti követendő példának. Ebben a folyamatban nehéz a helyes irányokat kitűzni, és kapaszkodókat találni. Véleményem szerint elsősorban a fenti tényezőkkel magyarázható a hazai folyamatok lassúsága és korlátozott eredményessége.

Értekezésemben a piacnyítással kapcsolatos néhány kérdés tudományos igényű vizsgálatát végeztem el az elmúlt évek tapasztalatai és tényadatai alapján. Ismertettem a földgázellátás hazai rendszerét, azon belül kiemelten a gázszállító távvezeték rendszer működési feltételeit. A nyitott kérdések közül kiemelten foglalkoztam a gázszállító kapacitás értelmezésének és meghatározásának, továbbá a rendszerirányítás és rendszerkiegyensúlyozás kérdésével.

Meggyőződésem, hogy vizsgálataim és eredményeim hozzájárulnak a nyitott kérdések lezárásához, és végeredményben egy egyszerű és átlatható, ugyanakkor a piaci szereplők részére elfogadható gázpiaci rendtartás kialakításához.

Gyakorló mérnökként fontosnak tartom az elmélet és a gyakorlat szoros kapcsolatát. Az újszerű feladatok és új kihívások esetén különösen fontos az alapos elméleti vizsgálat, amely behatárolja a lehetséges gyakorlati megoldásokat, és segítségével maghatározhatók a gyakorlati megoldások fő irányai. Visszatekintve az elmúlt évek erőfeszítéseire örömmel állapítom meg, hogy sikerült a kitűzött célokat teljesíteni.

Köszönetnyilvánítás

Végül, de nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani szüleimnek, akik segítettek tanulmányaim során, és belém oltották a szakma szeretetét. Köszönöm feleségemnek, hogy támogatott szakmai fejlődésemben, és megértéssel fogadta, hogy hobbyként is a szakmával foglalkoztam. Köszönöm munkatársaimnak, hogy a sokszor feszült napi munka mellett partnerek voltak a szakmai vitákban, segítettek egy új jövőkép kialakítását. Végezetül köszönöm dr. Tihanyi László professzor úrnak, tudományos vezetőmnek, hogy segítségemre volt szakmai tevékenységem tudományos megalapozásában.

Irodalomjegyzék

A Magyar Gázipar 1970-1998 (Felelős szerkesztő: dr. Laklia Tibor)

BP Amoco – Statistical Review of World Energy 2000

<http://www.bp.com>, 2001

1994. évi XLI. számú törvény a gázellátásról

Egységes szabályozás a belső földgázpiac számára

Az Európa Parlament és Tanács 98/30 számú irányelve, 1998. február 12.

Engieneering Data Book, Oklahoma, 1997

EUROGAS – Annual Report 2000

<http://www.eurogas.org>, 2002

Faludi Z. (2002): A szabadpiaci gázkereskedelem jogi vonatkozásai

IIR –Szakkonferencia Budapest

Fincham, A.E. - Goldwater, M.H. (1979): Simulation models for gas transmission networks

Transactions of the Institute of Measurement and Control, Vol 1., 1., 3-13

Gázszállító rendszer szimulációs modelljének korszerűsítése

Kutatási jelentés, Miskolci Egyetem, 2001.

Goldwater et al. (1976): The PAN network analysis program - its development and use
Institute of Gas Engineers Communication 1009

GTE-2000234-capacity.ppt (2000)

<http://europa.eu.int/.../madrid3.htm> (2001)

GTE-Capacity and Congestion Report.pdf (2001)

<http://europa.eu.int/.../madrid4.htm> (2001)

GTE-Capacity and Storage Report.pdf (2001)

<http://europa.eu.int/.../madrid4.htm> (2001)

Horváth J. F. (2002): A Magyar Energia Hivatal szerepe a szabadpiacon

IIR –Szakkonferencia Budapest

Streeter, V.L. - Wylie, E.B. (1970): Natural pipeline transients

Soc. Pet. Eng. J., 10., 357-364

Szilas A. P. (1985): Kőolaj és földgáz termelése és szállítása

Akadémia Kiadó, Budapest

Tihanyi L. (1980): Gázszállító rendszer áramlási viszonyainak szimulálása
Energiagazdálkodás, 4., 172-179

Tihanyi L.-Csete J. (1987): A hazai földgázszállítás fejlődésének elemzése
Kőolaj és földgáz, 7, 205-211

Tihanyi L. (2002): Gázszállítás
Egyetemi jegyzet, Miskolc

Tihanyi L.-Zsuga J. (2002): A gázszállító rendszer kapacitása a gázpiac alapkérdése
Magyar Energetika, 2, 20-24

Vida M. (főszerkesztő) (1991): Gáztechnikai kézikönyv
Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Zsuga J.-Leskó P. (2002): A rendszeregyensúlyozás módszertana jelenleg és a liberalizált piacon
XXV. Nemzetközi Olajipari Konferencia, V22, Balatonfüred, Október 10-12.

A földgázpiac előre jelezhető megnyitása az EU tagállamaiban

Tagállamok	1998 (%)	2000 (%)	2008 (%)	Később (%)
Ausztria	50,2	50,2	58,2	58,2
Belgium	39,3	47,0	47,0	100,0
Dánia	61,6	61,6	65,0	65,0
Franciaország	20,0	20,0	33,0	33,0
Finnország	0	90,0	90,0	90,0
Németország	100,0	100,0	100,0	100,0
Görögország	0	0	0	0
Írország	75,0	75,0	81,0	81,0
Olaszország	36,0	36,0	44,0	44,0
Luxemburg	43,4	43,4	80,0	80,0
Hollandia	45,0	60,0	100,0	100,0
Portugália	0	0	0	0
Spanyolország	46,0	50,0	75,0	100,0
Svédország	47,0	47,0	59,0	59,0
Egyesült Királyság	100,0	100,0	100,0	100,0
EU (15)	66,9	70,0	78,8	80,8

Hazai forráspontok napi és órai kapacitása

Éves termelés (Mm ³ /év)	2001	2002	2003	2004	2005	2010	2015
Algyő	1131,0	1207,0	1318,0	1098,0	901,0	1016,0	548,0
Endrőd	287,3	259,8	225,7	193,6	149,7	28,0	0,0
Sarkadkeresztúr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hajdúszoboszló	274,5	274,5	250,0	170,0	160,0	120,0	110,0
Karcag	44,8	44,8	39,8	34,8	29,8	0,0	0,0
Szank	381,9	335,7	293,4	264,8	219,8	120,0	25,0
Babócsa	20,8	15,7	15,7	14,3	12,6	3,3	0,0
Kardoskút	145,9	139,2	126,0	121,9	107,7	0,0	0,0
Kenderes	132,6	79,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Összesen: Kenderes inert nélkül	2286,2	2276,7	2268,6	1897,4	1580,6	1287,3	683,0
Napi termelés (em ³ /nap)	2001	2002	2003	2004	2005	2010	2015
Algyő	5904,0	5928,0	7680,0	6336,0	4872,0	2808,0	1440,0
Endrőd	1296,0	840,0	672,0	552,0	432,0	72,0	0,0
Sarkadkeresztúr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hajdúszoboszló	1512,0	1392,0	1200,0	960,0	936,0	840,0	720,0
Karcag	96,0	144,0	144,0	120,0	72,0	0,0	0,0
Szank	1200,0	1032,0	840,0	936,0	648,0	456,0	72,0
Babócsa	72,0	60,0	48,0	48,0	48,0	12,0	0,0
Kardoskút	720,0	720,0	600,0	600,0	480,0	0,0	0,0
Kenderes	840,0	600,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Összesen: Kenderes inert nélkül	10800,0	10116,0	11184,0	9552,0	7488,0	4188,0	2232,0
Órai kapacitás (em ³ /h)	2001	2002	2003	2004	2005	2010	2015
Algyő	246,0	247,0	320,0	264,0	203,0	117,0	60,0
Endrőd	54,0	35,0	28,0	23,0	18,0	3,0	0,0
Sarkadkeresztúr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hajdúszoboszló	63,0	58,0	50,0	40,0	39,0	35,0	30,0
Karcag	4,0	6,0	6,0	5,0	3,0	0,0	0,0
Szank	50,0	43,0	35,0	39,0	27,0	19,0	3,0
Babócsa	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	0,5	0,0
Kardoskút	30,0	30,0	25,0	25,0	20,0	0,0	0,0
Kenderes	35,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Összesen: Kenderes inert nélkül	450,0	421,5	466,0	398,0	312,0	174,5	93,0