

1975 JUN 03

tanulmányok

32/1975

MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet Budapest



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADEMLIA
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

GÁZHÁLÓZATOK OPTIMÁLIS IRÁNYÍTÁSA KÜLÖNÖS
TEKINTETTEL A FŐVÁROSI GÁZMŰVEK HÁLÓZATAIRA

AZ OPTPRESS1 PROGRAMRENDSZER LEIRÁSA

IRTÁK:

Singer Dénes

Borossay Gyöngyi

Koltai Tamás

A kiadásért. felelős:

Dr. Vámos Tibor

az

MTA Számítástechnikai és Automatizálási

Kutató Intézet

igazgatója

Jelen tanulmány a
Sz-243 számú szerző-
dés keretében készült.

Beérkezett: 1974.XI.19.

ÖSSZEFOGLALÁS

A jelentés tartalmát a következőkben foglalhatjuk össze:

- 1./ Általános képet nyújt a nem-lineáris hálózatok optimalizálásának problematikájáról és megoldási módszereiről. Ismerteti a gázhálózatok veszteségeinek minimalizálására általunk kidolgozott algoritmust.
- 2./ Részletes ismertetést ad a hálózati veszteségek minimalizálására szolgáló OPTPRESS1 programcsomagról. Ismerteti a programrendszer strukturáját és pontos leírást ad az egyes programokról. Kezelési utasítást ad a programrendszer alkalmazásához.
- 3./ Beszámol az 1973 évben átalakításra került Budapest XII. kerületi szabadsághegyi kisnyomású földgázhálózatra vonatkozó veszteségminimalizálási számítások eredményeiről. A számítások a hálózat több terhelési állapotára vonatkoznak és összehasonlítást nyújtanak a veszteségekről optimális, illetve nem optimális üzemmód mellett.
- 4./ A számítási eredmények elemzésével a szerzők a hálózat optimalizálási üzemére vonatkozólag több értékes következtetésre jutottak, melyek más hálózatokra is általánosíthatók.
- 5./ A szabadsághegyi hálózatra vonatkozó számítások alapján a jelentés előzetes gazdaságossági számításokat végez az egész budapesti hálózat optimális nyomásszabályozására vonatkozólag. Eszerint 1980, illetve 1985 évre előrevetítve optimális nyomásszabályozással 7.1, illetve $11.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ földgáz volna évente megtakarítható. Ezen értékek minimális becsléseknek tekintendők.
- 6./ A jelentés felhívja a figyelmet az OPTPRESS1 programrendszer alkalmazásával adódó lehetőségekre.

SUMMARY

The contents of the report on be summarized as follows.

- 1./ It gives a general survey on the topics of optimization of non-linear networks and on the solution methods. It describes an algorithm, worked out by the authors, for minimizing the losses in gas networks.
- 2./ A general description is given of the OPTPRESS1 programme package for minimizing the losses in gas networks. There is explained the structure of the programme-system and a detailed description of the individual programmes is given. Instructions are given for applying the programme system.
- 3./ There are reported the results of the calculations concerning a subsystem of the Budapest gas network. The calculations have been carried out for several loading states and the losses have been compared for optimal and non-optimal functioning.
- 4./ By analyzing the results valuable conclusions have been drawn up on the optimal functioning of the network already generalized for other networks too.
- 5./ On the basis of the investigated network preliminary economical calculations have been performed concerning the optimal pressure control of the whole gas network of Budapest. According to these in the years 1980, and 1985 resp. yearly 7.1, and $11.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ natural gas can be economized by using optimal pressure control.
- 6./ There is drawn the readers' attention to the possibilities of applying the programme system OPTPRESS1.

Р е з ю м е

Основные положения настоящего отчёта можно суммировать в следующем:

1. Дается общая характеристика проблемы оптимизации нелинейных сетей и методов решения указанной задачи. Описывается алгоритм минимизации потерь в газовой сети, разработанной авторами.
2. Дается детальное описание системы программ OPTPRESS1, предназначенной для минимизации потерь в газовой сети. Описывается структура системы программ, детально описываются программы этой системы. Отчёт содержит инструкцию по обращению системы программ.
3. Отчёт содержит результаты расчётов по минимизации потерь для сети природного газа малого давления 12-ого района г. Будапешт /Сабадшагхедь/, которая была реконструирована в 1973 г. Расчёты проводились при разных ситуациях по нагрузке сети и дают сопоставимые результаты о потерях в оптимальном и в не оптимальном режимах сети.
4. На основе анализа результатов авторы сделали ряд важных выводов относительно оптимального режима газовой сети, которые могут быть обобщены и для других сетей.
5. На основе расчётов газовой сети района Сабадшагхедь проводились предварительные экономические расчёты в связи с оптимальным регулированием давления городской газовой сети Будапешта. Согласно полученным результатам при оптимальном регулировании давления в 1980 г. можно экономить $7,1 \cdot 10^6$ м³, в 1985 г. - $11,4 \cdot 10^6$ м³ природного газа. Указанные цифры являются минимальной оценкой.
6. Отчёт обращает внимание на возможности применения системы программ OPTPRESS1.

TARTALOMJEGYZÉK

	Oldal
ÖSSZEFOGLALOK	3
TARTALOMJEGYZÉK	7
1. Bevezetés	9
2. Matematikai modell	15
2.1. A hálózat optimalizálás feladatának általános megfogalmazása	15
2.2. A hálózati veszteségek minimalizálása	15
2.3. Alapösszefüggések	19
2.4. A veszteséges gázhálózat egyenleteinek csomóponti alakja	24
2.5. A veszteséges gázhálózat egyenleteinek hurokalakja	33
2.6. Az optimalizálás algoritmusáról	41
2.7. A programrendszer általános jellemzése	49
3. Az OPTPRESS1 programrendszer szerkezete	53
3.1. A rendszert alkotó programok rövid jellemzése	53
3.2. A file-ok ismertetése	56
3.3. Az OPTPRESS1 programrendszer működése	66
3.4. Alkalmazási példa	67
4. Az OPTPRESS1 rendszer programjainak részletes leírásai	71
4.1. Bevezetés	71
4.2. GS01: az OPTPRESS1 programrendszer adatelőkészítő programja	71
4.3. GS02 program leírása	82
4.4. GS03 program leírása	90
4.5. GS04 hálózatszámító program leírása	93
4.6. GS05 program leírása	100
4.7. GS06 program nem-lineáris optimalizálási feladat megoldására	100

	Oldal
4.8. GASCNT program	106
4.9. GSO7 Output program	108
5. Alkalmazási példa: Budapest XII. ker. szabadsághegyi földgázhálózat optimális üzemi viszonyainak meghatározása különböző terhelési állapotokban ...	111
5.1. A feladat specifikációja és eredményei	111
5.2. A feladat eredményeiből levonható következtetések	120
6. A munka eredményeinek hasznosításáról	123

1. Bevezetés

Az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet és a Fővárosi Gázművek 1968 óta fennálló együttműködése keretében több kutatási eredmény született, melyek felhasználást nyertek a budapesti gázhálózati tervezési és irányítási problémáinak megoldásánál. Az eredmények közül elsősorban a speciálisan nagy gázhálózatok számítására szolgáló különböző programokat említjük meg, melyek segítségével a hálózat üzemi viszonyára vonatkozólag sok értékes információ volt nyerhető. A munka keretén belül került kidolgozásra a GOS rendszer is, mely lehetőséget nyújt tetszőleges felhasználó számára a hálózatoknak telex útján való elemzésére, illetve a hálózatirányítással kapcsolatos feladatok megoldására.

A MTA SzTAKI és a Fővárosi Gázművek további együttműködése keretében - mint egyik fontos téma - a hálózatoptimalizálás kérdésének tanulmányozása és a megfelelő számítási algoritmusok kidolgozása szerepelt. A hálózatoptimalizálással kapcsolatos kutatási-fejlesztési célkitűzések részét képezik az MTA SzTAKI által kidolgozott: "Integrált számítógépes rendszer kialakítása a Fővárosi Gázművek számítástechnikai feladatai ellátásához" című javaslatoknak [1]. A célkitűzések, melyek három lépcsőben lennének megvalósíthatók, a következő feladatok megoldásából állnak:

- 1./ az elméleti alapok tisztázása és a lehetséges megoldási módszerek tanulmányozása. Egy hálózati veszteségek minimalizálására szolgáló-műszaki számításokra alkalmas-programcsomag szerkesztése és ennek kipróbálása a főváros egyik részhálózatán. Az eredmények kritikai értékelése.
- 2./ az előbbi programcsomag egy javított, nagyobb kapacitású változatának kidolgozása és ennek implementálása a Fővárosi Gázműveknél felszerelt CDC-3300 terminálhoz. A budapesti kisnyomású elosztóhálózat optimális nyomásszabályozásának vizsgálata különös tekintettel a hálózat különböző terhelési állapotaira, és a földgázra való átállítás

15 éves programjára.

3./ Vizsgálatok a veszteség-minimalizálás hardware feltételeinek megteremtéséhez.

Ehhez a ponthoz a következő magyarázatot szeretnénk fűzni. A veszteségminimalizálásához szükséges programok kialakításával csak részben érhetőek el az elméletileg lehetséges gazdasági megtakarítások, mivel jelen körülmények között, a csomóponti nyomások folyamatos beállítására nincs lehetőség. Másrészt a gázfogyasztás az egyes napszakokban 1:5 arányban változhat, úgyhogy bizonyos időpontra számított optimális nyomáskép, illetve az ennek alapján mereven beállított csomóponti nyomásszabályozók nem biztosíthatják a hálózat optimális üzemét. Az optimalizálásra vonatkozó számítások eredményeinek a gyakorlatban való felhasználása így a hálózatirányítás hardware eszközeinek tökéletesítését is igényli. Mivel az összes csomóponti nyomásszabályozók alapjeleinek távirányítással történő beállítása a beruházási költségek magassága miatt nem tekinthető megvalósíthatónak, csupán a következő két alternatíva jöhet számításba:

- a/ a távirányítással ellátott nyomáscsökkentő szelepek számának lényeges növelése, úgyhogy a jelenlegi kb. 5% helyett a nyomáscsökkentők 20-30%-a volna távirányítással ellátva.
- b/ az a/ alatti beruházások mellett a többi csomópontban olyan nyomásszabályozók kerülnének felszerelésre, amelyek alapjelei folyamatosan időprogramos szabályozással lennének beállítva. A szabályozók programtárcai az előre számított optimális /illetve közel optimális/ nyomáslefutásoknak felelnének meg.

A 3. lépcsőben végrehajtandó számítógépes vizsgálatok első sorban a két tervezet gazdasági hatékonyságairól, illetve beruházásigényességéről volnának hivatva információt

nyújtani. Az a/ alternatívára vonatkozó számításoknak elsősorban arra a kérdésre kell feleletet adniok, hogyan nő a tényleges veszteségcsökkenés az optimális üzemvitellel elérhető elméleti veszteségcsökkenéshez viszonyítva a távirányított nyomáscsökkentő szelepek számával. Valószínűnek látszik, hogy létezik egy közel-optimális megoldás, amely maximális gázmegtakarítást eredményez minimális beruházási költségek mellett. Ezt az optimális szelepszámot alapulvéve, a napi és éves fogyasztásra vonatkozó adatok alapján a hálózati diszpécser számára a nyomáscsökkentő szelepek alapjelének beállításához időprogramok volnának előre számíthatók. Az időprogramok számítására szolgáló gépi programnál nemcsak a veszteségek minimalizálása és minimális hálózati nyomások betartása volna előírható, hanem egyéb feltételek is.

A b/ alternatívánál a napi és évi terhelések alakulásának időbeli középértékei alapján elsősorban a nyomáscsökkentők programtárcsáinak profiljait kellene a rendelkezésre álló optimalizáló programmal meghatározni.

Az időprogramos szabályozás "merevsége" a b/ alternatívánál nagyban csökkent azáltal, hogy bizonyos számú szelep alapjelét a diszpécser közvetlenül állíthatja be. Az optimalizáló program egyébként a diszpécser számára is szolgálthat közelítőleges időprogramokat, amely nagyban megkönnyítheti az irányító ténykedését.

- . -

Jelentésünk a kutatási fejlesztési munkák első lépcsőjében végzett munkákról számol be, és a hálózatoptimalizálás általános módszertani kérdései mellett a hálózati veszteségek minimalizálásának problematikájával foglalkozik. A feladat kitűzésével, illetve a választott módszertani megoldásokkal kapcsolatban a következőket bocsájtjuk előre:

A hálózati veszteségek minimalizálása tetemes gazdasági előnyökkel járhat. Az angliai gázműveknél mérések és számítások szerint az 1962-67 időszakban számlázásra nem került gázmennyiség az előállított gáz 8.3%-a. Ennek 50%-a tényleges hálózati veszteség, melyből 35% esik az alacsonynyomású, 15% a középnyomású hálózatra [2]. Lényeges körülmény, hogy ezen veszteségek növekvő tendenciát mutatnak, mivel a földgázra való áttéréssel fokozatosan romlanak a csőtömitések, tekintve, hogy a földgáz nem tartalmazza a tömitő anyag védelmét szolgáló aromatikus szénhidrogéneket.

A Fővárosi Gázműveknél különösen indokoltá válhat a veszteségminimalizálás bevezetése, amikor megtörténik a kisnyomású hálózatnál az áttérés a jelenlegi 330-ról 500 v.o.mm nyomásra. Egy ilyen nyomásnöveléssel lényegesen megnő a hálózat szállítókapacitása, de megnőnek a hálózati veszteségek is. A veszteségminimalizálás eredményeképpen számítani lehetne arra, hogy a megnövekedett szállítókapacitás ellenére a veszteségek csak kisebb mértékben emelkednének.

A cél tehát a hálózaton olyan nyomáskép kialakítása, melynél a gázveszteségek minimálissá válnak. Amellett biztosítani kell azt is, hogy a hálózati nyomások sehol se essenek bizonyos megengedett értékek alá. A feladat tisztán matematikai szemszögből a korlátozó feltételekkel egybekötött nem-lineáris optimalizálási feladatok kategóriájába tartozik. Bár megoldására több módszer ismeretes, egy műszaki célra alkalmas számítási algoritmus kidolgozása már eleve igényes feladatnak látszott. Ennek oka a változók nagy száma és az ebből adódó nagy gépidő és memóriaszükséglet. Több lehetőséget mérlegelve úgy döntöttünk, hogy a feladatot a lineáris programozás módszerével oldjuk meg, ami lehetővé tette különleges kereső algoritmusok használata helyett a már ismert lineáris programozási technikák alkalmazását.

Az adott nem-lineáris optimalizálási feladatnál a lineáris programozás módszereinek alkalmazása természetesen csak

közvetve történhet. Ehhez a hálózati veszteség -"felület" legmélyebb pontja felé történő előrehaladás irányának meghatározását - mivel az előrehaladás kis lépésekben történik - lineáris programozási feladatnak fogjuk fel. Egy lineáris optimalizálás ciklikus hívásával így a keresett minimum elérhető.

A nagy gépidő és memóriaszükséglet csökkentésére az ún. ritka mátrixok technikája kínálkozott alkalmasnak. A hálózatszámításhoz szükséges gépidő csökkentésének kérdése egyébként azáltal vált alapvető fontosságuvá, hogy az optimalizálásnak a lineáris programozás módszereivel történő megoldása minden iterációs ciklusban nagyméretű hálózati egyenletek megoldását igényli. A ritka mátrixok technikája azt a körülményt használja ki, hogy a gázhálózat egyes csomópontjaiban összefutó ágak száma csupán tört része a csomópontok között elvben lehetséges összeköttetések számának.

A jelentés az MTA SzTAKI és a Fővárosi Gázművek között 1973 május 17-én létrejött MFA 3415 számú kutatási-fejlesztési szerződés keretében végzett munkákról ad számot.

A rendkívül munkaigényes és sok buktatót tartalmazó feladat teljesítésénél a szerzők többek segítségére támaszkodhattak.

Bognár Gabriella végezte a PRIMAL SzTAKI CDC programkönyvtári szubutin illesztését, valamint a jelentés kéziratának nagy gondosságot igénylő korrekcióját.

Czoch Árpád állította össze a szabadsághegyi hálózatra vonatkozó input adatrendszerét. A fővárosi gázhálózat alapos ismeretén nyugvó tanácsai és kritikai észrevételei lényegesen járultak hozzá a konkrét eredmények kimunkálásához.

Straziczky Beáta, a PRIMAL könyvtári szubrutin szerkesztője, értékes tanácsokkal szolgált ennek alkalmazásánál.

A nagymennyiségű számítógépes kísérletet igénylő feladat teljesítésében lényeges szerep jutott az MTA SzTAKI számítóközpontjának. Segítőkézségükért és pontos munkájukért a szerzők ezuttal mondanak köszönetet Fekete Mária csoportvezetőnek és munkatársaiknak.

2. Matematikai modell

2.1. A hálózatoptimalizálás feladatának általános megfogalmazása

A hálózatoptimalizálás feladata teljes általánosságban a következőképpen fogalmazható meg. Keresendő a célfüggvény maximuma, illetve minimuma

$$\phi(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max \quad /2.1/$$

$$\phi(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min$$

ahol az x_1, \dots, x_n hálózati változók kielégítik a

$$\underline{G}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \underline{0} \quad /2.2/$$

hálózati egyenleteket, valamint más, a változók között fennálló

$$\underline{F}(x_1, x_2, \dots, x_m) \leq \underline{0} \quad /2.3/$$

egyenlőség-, illetve egyenlőtlenségrendszereket. A legegyszerűbb esetben a /2.3/

$$x_1 \leq x_1^{(\max)}; \quad x_2 \leq x_2^{(\max)} \quad \dots \quad x_m \leq x_m^{(\max)} \quad /2.4/$$

$$x_1^{(\min)} \leq x_1; \quad x_2^{(\min)} \leq x_2; \quad \dots \quad x_m^{(\min)} \leq x_m$$

egyenlőtlenségek alakját veszi fel, ahol $x_i^{(\max)}$ és

$x_i^{(\min)}$; $i = 1, 2, \dots, m$ a hálózati változók adott maximális, illetve minimális értékeit jelenti.

A mondottak alapján a hálózatoptimalizáló feladat két részfeladatra bontható: a hálózati egyenletek megfogalmazására, illetve megoldására, és az optimalizáló algoritmus megtervezésére. Foglalkozzunk a két kérdéssel külön-külön, annál is inkább, mivel a gázhálózat esetében általában a ϕ , \underline{G} és \underline{F} függvények nem-lineárisak.

2.2. A hálózati veszteségek minimalizálása

A hálózati veszteségek minimalizálása esetében a /2.1/,

/2.2/, /2.3/ relációk a következő alakot öltik:

$$\phi(p_1', p_2', \dots, p_n') \rightarrow \min \quad /2.5/$$

$$\underline{G}(p_1', p_2', \dots, p_n') = \underline{0} \quad /2.6/$$

$$p_i^{(\min)} \leq p_i' \leq p_i^{(\max)} ; i = 1, 2, \dots, n \quad /2.7/$$

ahol p_i' a hálózat csomóponti nyomásait jelenti, $p_i^{(\max)}$, illetve $p_i^{(\min)}$ a csomóponti nyomások adott minimális, illetve maximális értékei.

Szükséges megjegyezni, hogy a p_i' csomóponti nyomásoknak csupán egy része független /forrás/ változó, míg a többiek éppen a /2.6/ hálózati egyenlet által meghatározott függő változók. A továbbiakban a forrásváltozókat α -, a függő változókat β -tipusúaknak nevezzük. A valóságban a forrásnyomások - a kisnyomású hálózatot a középnyomású hálózatról tápláló - nyomáscsökkentő szelepeken beállított nyomásokat jelentik.

A ϕ veszteségfüggvény explicit alakjának levezetésénél a következő megfontolásokból indulhatunk ki. A veszteségek lényegében a csőkötéseknél előálló szivárgásokból származnak. Egyenlő átmérőjű csöveket feltételezve, a veszteség a csővezeték teljes hosszával arányos. Másrészt a veszteség függvénye a csőkötéseknél uralkodó p^{*l} abszolút nyomásoknak, illetve ezeknek és a p_B barometrikus nyomások különbségének. Ha a gázszivárgást lamináris áramlásnak tekintjük, az egyes csőkötéseknél elszivárgott q gázmenyiség a kérdéses nyomáskülönbség négyzetgyökével arányos

$$q = C \sqrt{p^{*l} - p_B} \quad /2.8/$$

C konstans.

Alacsony nyomásokról lévén szó, a számítások egyszerűsítése céljából a /2.8/ helyett első közelítésként alkalmazzuk a

$$q = C'(p^* - p_B) \quad /2.9/$$

kifejezést. Ugyancsak a számítások egyszerűsítése céljából redukáljuk a hálózat egy ágán keletkező veszteségeket az ág két végpontjára. A hálózat i -edik csomópontján keletkező q_i veszteség ekkor a következő összefüggésből számítható:

$$q_i = 0.5 \alpha \sum_{j=1}^{b_i} l_{ij} (p_i^* - p_B) = M_i (p_i^* - p_B) \quad /2.10/$$

ahol α a gázszivárgás állandója egységnyi csőhosszra és nyomáskülönbségre $[m^3 h^{-1} / m(v.o.mm)]$, l_{ij} az i és j csomópontok közötti ág hossza, b_i az i -edik csomópont-hoz csatlakozó ágak száma, M_i az i -edik csomópont-ra vonatkoztatott veszteség egységnyi

$(p_i^* - p_B)$ nyomáskülönbsége $[m^3 h^{-1} / (mm.v.o.)]$.

A hálózat Q_v összvesztesége, vagyis az optimalizálási feladat célfüggvénye

$$\phi = Q_v = 0.5 \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{b_i} l_{ij} (p_i^* - p_B) = \sum_{i=1}^n M_i (p_i^* - p_B) \quad /2.11/$$

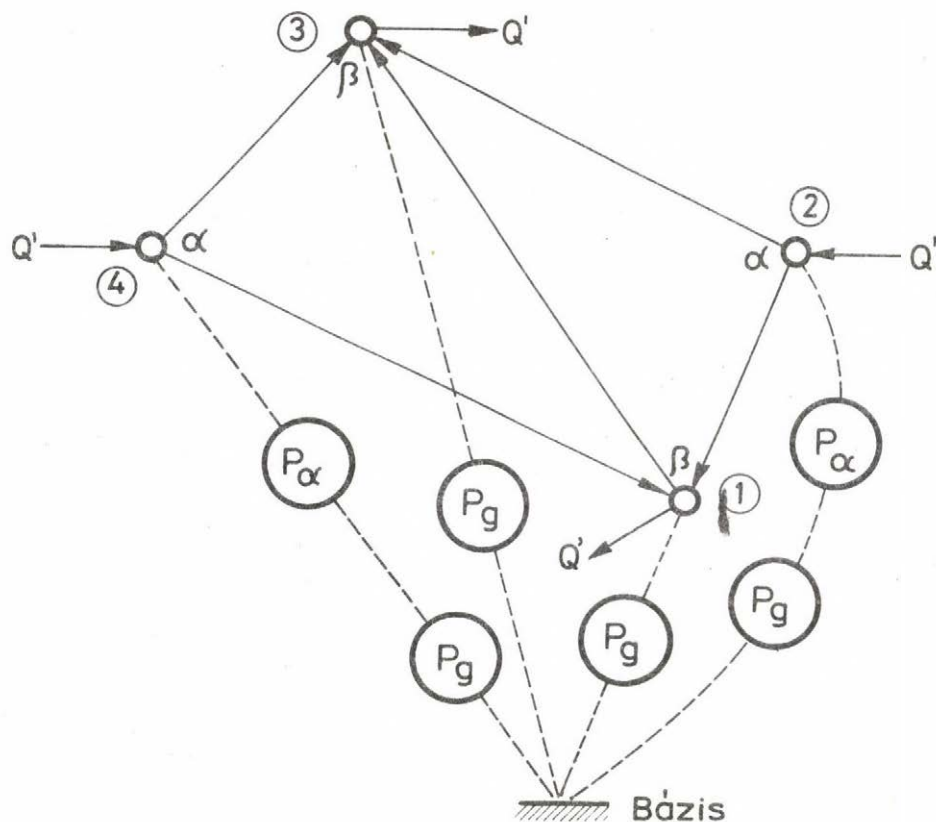
A /2.11/-t vektorális alakba írva

$$\phi = \underline{M}^t (\underline{p}^* - p_B) \quad /2.12/$$

A mondottak alapján a gázhálózatoknál a veszteségek úgy jelentkeznek, mint a csomópontokhoz csatolt új ágakban folyó áramok. Így beszélhetünk a hálózat csőágai

mellett ennek "veszteségágairól" is. A "veszteségágak" figyelembevételével az n számú csomóponttal, b számú ággal és $l = b - n + 1$ számú hurokkal bíró hálózatból egy n számú csomóponttal, $(b+n)$ számú ággal és $l = b + 1$ számú hurokkal rendelkező hálózatot nyerünk.

Egy négy csomóponttal rendelkező veszteséges hálózat sémája a 2.1. ábrán látható. A "veszteségágak" szaggatott vonallal vannak jelölve; α és β -val a táppontok, illetve elvételi pontokat jelöltük. A "veszteségágakba" kapcsolt P_α és P_q nyomásforrások a tápnyomásokat, illetve a geodetikus magasságok nyomásegyenértékeit jelentik: ld. a továbbiakat.



2.1. ábra.
Veszteséges gázhálózat sémája.

2.3. Alapösszefüggések

A gázhálózat egyenleteinek lehetséges felírási módja közül itt kettővel foglalkozunk: a csomóponti- és a hurok alakkal. A legfontosabb jelöléseket a 2.1. táblázat tartalmazza.

2.1. Táblázat

Jelölés	Megnevezés, dimenzió	Megjegyzés
p	ágnyomáskülönbség [mm v.o.]	
p'	bázispontra vonatkoztatott csomóponti nyomás [mm v.o.]	
p^{**}	vákuumra vonatkoztatott csomóponti nyomás [mm v.o.]	un. abszolút nyomás
p'_0	a bázispont vákuumra vonatkoztatott nyomása [mm v.o.]	
p_B	külső atmoszféra vákuumra vonatkoztatott nyomása [mm v.o.]	barometrikus nyomás
P	ágnyomásforrás [mm v.o.]	
P'	huroknyomásforrás [mm v.o.]	
V	$p+P$ /teljes ágnyomáskülönbség/	
q	ágáram [$m^3 h^{-1}$]	
q'	hurokáram [$m^3 h^{-1}$]	
Q	ágforrásáram [$m^3 h^{-1}$]	
Q'	csomóponti forrásáram [$m^3 h^{-1}$]	
\underline{Z}	a hálózat primitív impedanciamátrixa [$b \times b$]	
\underline{Y}	a hálózat primitív admittanciamátrixa [$b \times b$]	
\underline{A}	ág-csomópont incidencia mátrix [$b \times n$]	
\underline{C}	ág-hurokmátrix [$b \times l$]	
\underline{U}	egységmátrix	

Jelölés	Megnevezés, dimenzió	Megjegyzés
b	ágak száma	
n	csomópontok száma	
l	hurkok száma	
index α	optimalizáló program által befolyásolt változók	
index β	optimalizáló program által <u>közvetlenül nem</u> befolyásolt változók	amennyiben félreértés nem forog fenn, elhagyható
index T	faág-változó	
index L	hidág-változó	

A hálózati egyenletek felírásához szükséges topológiai, kontinuitási, és konstitutív relációk a következők:

a/ Topológiai relációk

$$\underline{\underline{A}}^t \underline{\underline{C}} = \underline{\underline{0}} \quad /2.13/, \quad \text{illetve} \quad \underline{\underline{C}}^t \underline{\underline{A}} = \underline{\underline{0}} \quad /2.14/$$

Az $\underline{\underline{A}}$ ágcsomópont és $\underline{\underline{C}}$ ághurok mátrixok a következőképpen vannak definiálva:

$$A_{ij} = \begin{cases} +1 & \text{ha az ágirány az } i\text{-csomóponttól kifelé mutat} \\ -1 & \text{ha az ágirány az } i\text{-csomópont felé mutat} \\ 0 & \text{ha az ág a csomópontot nem tartalmazza} \end{cases}$$

$$C_{ij} = \begin{cases} +1 & \text{ha az ágirány a hurokiránnyal megegyezik} \\ -1 & \text{ha az ágirány a hurokiránnyal nem egyezik} \\ 0 & \text{ha a hurok az ágat nem tartalmazza} \end{cases}$$

Az $\underline{\underline{A}}$ és $\underline{\underline{C}}$ mátrixoknak fa-, illetve hidág-komponensekre való bontásával a /2.13/ a következőképpen írható:

$$\begin{bmatrix} \underline{A}_T^t \\ \underline{A}_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{C}_T \\ \underline{C}_L \end{bmatrix} = \underline{A}_T^t \underline{C}_T + \underline{A}_L = \underline{0} \quad /2.15/$$

Ebből

$$\underline{C}_T = - \left[\underline{A}_T^t \right]^{-1} \underline{A}_L \quad /2.16/$$

b/ Kontitnuitási relációk

$$\underline{A}_T^t \underline{q} = \underline{0} \quad /1. \text{ Kirchhoff-féle tétel} / \quad /2.17/$$

$$\underline{C}_T^t \underline{p} = \underline{0} \quad /2. \text{ Kirchhoff-féle tétel} / \quad /2.18/$$

A /2.17/, illetve /2.18/-al egyenértékű a következő két reláció

$$\underline{p} = \underline{A} \underline{p}' \quad /2.19/$$

illetve

$$\underline{q} = \underline{C} \underline{q}' \quad /2.20/$$

c/ Konstitutív relációk

A konstitutív relációk az ágak nyomásesései és áramai között létesítenek kapcsolatot. Mivel csak a hálózat stacionárius üzemét vizsgáljuk, elégséges, ha azt ellenálláshálózatnak tekintjük. Az ellenálláshálózat a nyomás- és áramforrásokon kívül csupán kétfajta elemet tartalmaz: csővezetékeket és veszteségágakat.

Csővezeték

Kis nyomáskülönbségek esetére a csővezetékeknek megfelelő konstitutív reláció

$$p = Kq^2$$

$$K = c \lambda \gamma \frac{1}{d^5}$$

/2.21/

$$p = \frac{1.24 \cdot 10^{-7}}{2g} \lambda \gamma \frac{l}{d^5} q^2 = Kq^2$$

l és d a csőhossz és csőátmérő [m], γ a gázfaj-
súly [kpm⁻³], c konstans; λ a csősurlódási tényező,
amely a Reynolds-szám függvénye. Lamináris áramlás-
nál:

$$2300 > Re$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad /2.21'/$$

Magasabb Reynolds-tartományban $/2.1 \times 10^3 < Re < 3.10^5/$
a λ tényező

$$\lambda = 0.0061 + \frac{0.55}{\sqrt[3]{Re}} \quad /2.21''/$$

képlet alapján számítható.

A /2.21/ alapján a csővezeték impedanciája Z, illet-
ve admittanciája Y

$$Z(q) = \left| \frac{p}{q} \right| = K |q| \quad /2.22/$$

$$Y(q) = \left| \frac{q}{p} \right| = \left| \frac{K^{-1} \frac{1}{2} p \frac{1}{2}}{p} \right| = K^{-1} \frac{1}{2} |p|^{-\frac{1}{2}} \quad /2.23/$$

Veszteség

A /2.11/ alapján a veszteségágakra vonatkozó kon-
stitutív reláció

$$q_i = 0.5 \alpha \sum_{j=1}^{b_i} l_{ij} p_i = M_i p_i \quad /2.24/$$

ahol

$$p_i^* - p_B = p_i$$

jelölést vezettünk be. Az ágadmittancia, illetve
ágimpedancia

$$Y = \frac{q_i}{p_i} = 0.5 \alpha \sum_{j=1}^{b_i} l_{ij} = M_i \quad /2.25/$$

$$Z = \frac{p_i}{q_i} = \frac{1}{M_i} \quad /2.26/$$

Ellentétben a csővezetékkel, a veszteségágak admittanciája és impedanciája állandó.

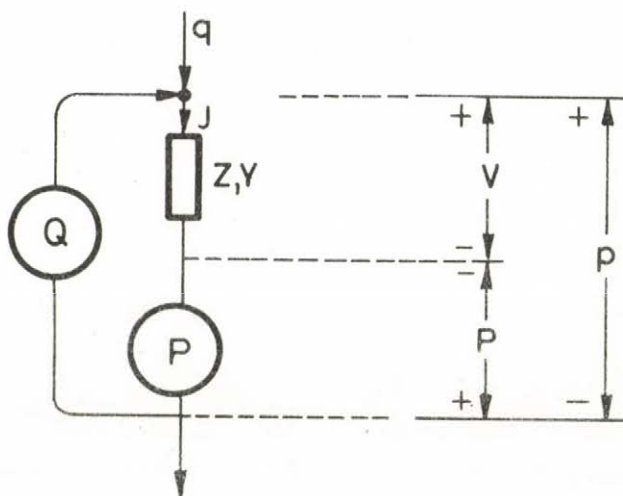
Az impedancia, illetve admittanciafüggvények birtokában az ágegyenleteket a

$$p = Z(q) \cdot q \quad /2.27/$$

illetve

$$q = Y(p) \cdot p \quad /2.28/$$

alakban írhatjuk. Az általánosság kedvéért célszerű feltételezni, hogy a hálózat ágai Q áramforrásokat és P nyomásforrásokat is tartalmaznak. /2.2. ábra/.



2.2. ábra.

A hálózat egyetlen ágának sémája.

Az ábrán jelzett áramirányok és előjelek figyelembevételével így az ágegyenlet általános alakja a /2.27/, illetve /2.28/ helyett

$$V = Z(J) \cdot J \quad /2.29/, \text{ ill. } J = Y(V) \cdot V \quad /2.30/$$

lesz, ahol $V = p+P$, $J = q+Q$. A hálózat egészére vonatkozólag így a

$$\underline{V} = \underline{Z}(\underline{J}) \cdot \underline{J} \quad /2.31/, \text{ ill. } \underline{J} = \underline{Y}(\underline{V}) \cdot \underline{V} \quad /2.32/$$

vektoregyenlet írható fel. A $\underline{Z}(\underline{J})$, illetve $\underline{Y}(\underline{V})$ diagonális mátrixokat particionálhatjuk a cső, illetve a veszteségágak szerint

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_1 & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{Z}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{J}_1 \\ \underline{J}_2 \end{bmatrix} \quad /2.33/$$

$$\begin{bmatrix} \underline{J}_1 \\ \underline{J}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_1 & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{Y}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \end{bmatrix} \quad /2.34/$$

2.4. A veszteséges gázhálózat egyenleteinek csomóponti alakja

A /2.32/-ből a $\underline{V} = \underline{p} + \underline{P}$, illetve $\underline{J} = \underline{q} + \underline{Q}$ behelyettesítésével és átrendezésével a következő kifejezés nyerhető [5]:

$$\underline{Q} - \underline{Y}\underline{P} + \underline{q} = \underline{Y}\underline{p} \quad /2.35/$$

Mindkét oldalt \underline{A}^t - vel szorozva

$$\underline{A}^t[\underline{Q} - \underline{Y}\underline{P}] + \underline{A}^t\underline{q} = \underline{A}^t\underline{Y}\underline{p} \quad /2.36/$$

Mivel a baloldali második tag az 1. Kirchhoff-féle tétel alapján zéró, a /2.19/ alapján a /2.36/ a következőképpen írható:

$$\underline{A}^t[\underline{Q} - \underline{Y}\underline{P}] = \underline{A}^t\underline{Y}\underline{A}\underline{p}' \quad /2.37/$$

Mivel definíciószerűleg

$$\underline{A}^t\underline{Q} = \underline{Q}'$$

ahol \underline{Q}' az ág \underline{Q} ' a csomóponti forrásáram, a nem-lineáris hálózat csomóponti egyenletének általános alakja

$$\underline{G}(\underline{p}') = \left[\underline{A}^t \underline{Y}(\underline{V}) \underline{A} \right] \underline{p}' - \underline{Q}' + \underline{A}^t \underline{Y}(\underline{V}) \underline{P} = \underline{0} \quad /2.38/$$

Az $\underline{Y}(\underline{V}) = \underline{Y}(\underline{p} + \underline{P})$ hálózat \underline{V} -től függő primitív admittan-

cia mátrixa.

Vezessük be a /2.38/-ba a következő jelöléseket

$$\underline{\underline{A}}^t \underline{\underline{Y}}(\underline{\underline{V}}) \underline{\underline{A}} = \underline{\underline{Y}}_N \quad /2.39/;$$

$$\underline{\underline{A}}^t \underline{\underline{Y}}(\underline{\underline{V}}) \underline{\underline{P}} = \underline{\underline{Q}}''(\underline{\underline{p}}') \quad /2.40/$$

Ezzel

$$\underline{\underline{G}}(\underline{\underline{p}}') = \underline{\underline{Y}}_N \underline{\underline{p}}' + \underline{\underline{Q}}'' - \underline{\underline{Q}}' = \underline{\underline{Q}}' \quad /2.41/$$

adódik.

Ha a $\underline{\underline{p}}'$ vektort a $\underline{\underline{p}}'_\alpha$ független, $\underline{\underline{p}}'_\beta$ függő változók vektorára bontjuk, a /2.38/ a következőképpen írható:

$$\underline{\underline{G}}(\underline{\underline{p}}'_\alpha, \underline{\underline{p}}'_\beta) = \begin{bmatrix} \underline{\underline{Y}}_{11} & \underline{\underline{Y}}_{12} \\ \underline{\underline{Y}}_{21} & \underline{\underline{Y}}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\underline{p}}'_\alpha \\ \underline{\underline{p}}'_\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{\underline{Q}}''_\alpha \\ \underline{\underline{Q}}''_\beta \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underline{\underline{Q}}'_\alpha \\ \underline{\underline{Q}}'_\beta \end{bmatrix} = \underline{\underline{0}} \quad /2.42/$$

A mátrixműveleteket elvégezve a /2.42/-ből a következő két egyenlet adódik

$$\underline{\underline{G}}_1 = \left[\underline{\underline{Y}}_{11} \underline{\underline{p}}'_\alpha + \underline{\underline{Y}}_{12} \underline{\underline{p}}'_\beta \right] + \underline{\underline{Q}}''_\alpha - \underline{\underline{Q}}'_\alpha = \underline{\underline{0}} \quad /2.43/$$

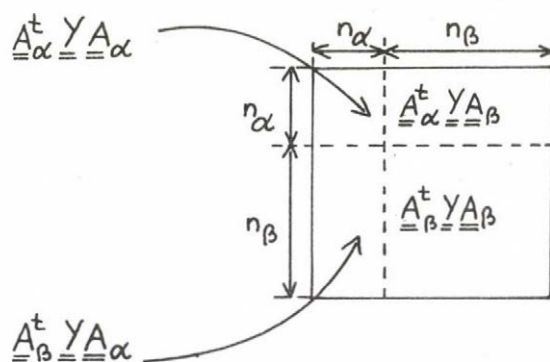
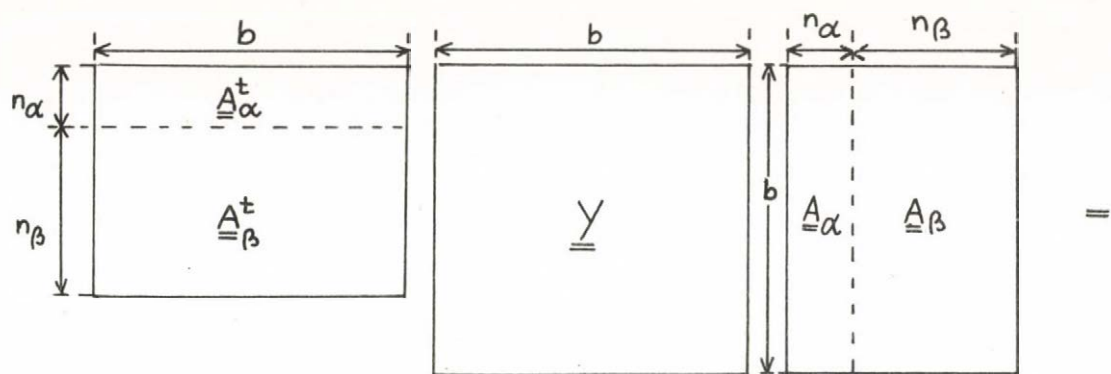
$$\underline{\underline{G}}_2 = \left[\underline{\underline{Y}}_{21} \underline{\underline{p}}'_\alpha + \underline{\underline{Y}}_{22} \underline{\underline{p}}'_\beta \right] + \underline{\underline{Q}}''_\beta - \underline{\underline{Q}}'_\beta = \underline{\underline{0}} \quad /2.44/$$

Az utóbbi egyenlet a hálózati egyenlet keresett alakja, amely lehetővé teszi adott $\underline{\underline{Q}}'_\beta$ csomóponti terheléseknél, $\underline{\underline{P}}$ ágforrásnyomásnál és $\underline{\underline{p}}'_\alpha$ függetlenül beállítható tápponti nyomásoknál a $\underline{\underline{p}}'_\beta$ elvételi nyomások kiszámítását.

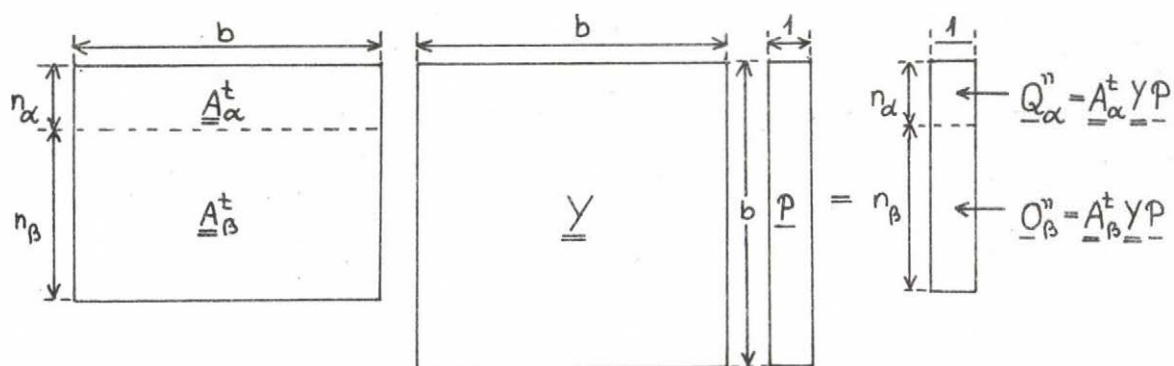
Az $\underline{\underline{Y}}_{21}$, $\underline{\underline{Y}}_{22}$ mátrixok

$$\left[\underline{\underline{A}}^t \underline{\underline{Y}} \underline{\underline{A}} \right] \quad \text{illetve} \quad \left[\underline{\underline{A}}^t \underline{\underline{Y}} \underline{\underline{P}} \right]$$

blokkmátrixok kifejtésével adódnak

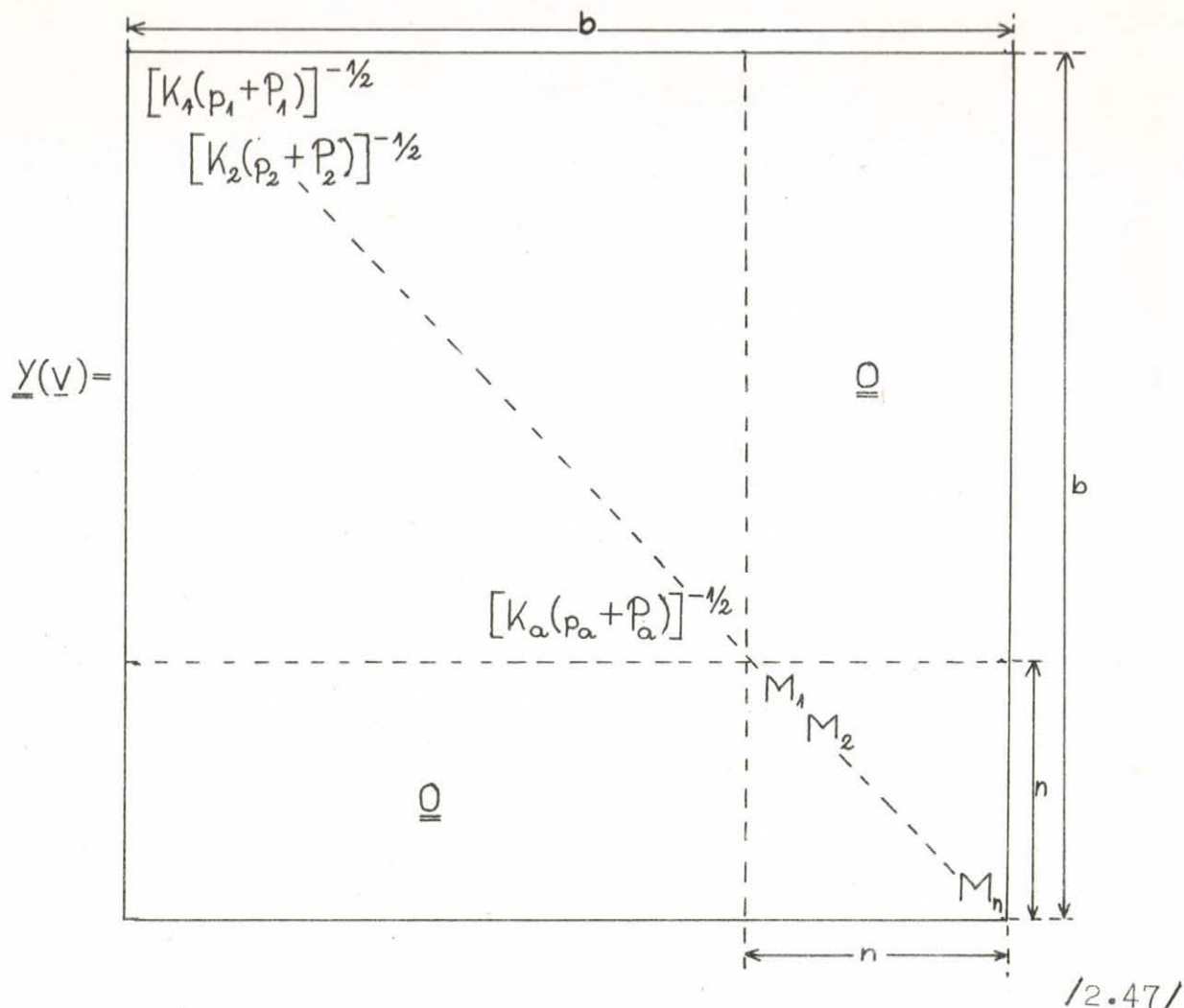


/2.45/



/2.46/

A /2.23/, /2.25/ és /2.32/ alapján a veszteséges gázhá-
lózat esetében



A felső bal sarokban lévő diagonális mátrix a csőágaknak, az alsó jobb sarokban lévő pedig a veszteségágaknak felel meg.

A /2.45/ és /2.46/ figyelembevételével a /2.44/ a következő alakot nyeri:

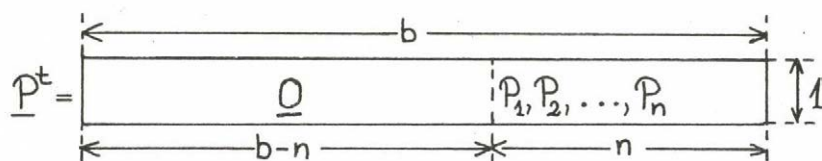
$$\underline{G}(\underline{p}'_{\alpha}, \underline{p}'_{\beta}) = \underline{A}_{\beta}^t \{ \underline{Y}(\underline{V}) [\underline{A}_{\beta} \underline{p}'_{\beta} + \underline{A}_{\alpha} \underline{p}'_{\alpha} + \underline{P}] \} - \underline{Q}'_{\beta} = \underline{0} \quad /2.48/$$

Szükséges megjegyezni, hogy \underline{A} ág-csomópont mátrix és így az \underline{A}_{α} és \underline{A}_{β} részmatricák is a légköri nyomásra, mint bázispontra vonatkoznak a hálózat legalacsonyabban fekvő pontján. Ennek kihangsúlyozása azért is szükséges, mert az alacsonynyomású veszteséges gázhálózatnál előforduló \underline{P} ágforrásnyomások csak veszteségágakban for-

dulnak elő, és ezek a csomópontok és a legalacsonyabban fekvő pont között fennálló geodetikus Δh_i magasságkülönbségekből származnak. A \underline{P} i -edik ágra vonatkozó komponense P_i

$$P_i = (\gamma_g - \gamma_l) \Delta h_i \quad /2.49/$$

γ_g, γ_l a gáz, illetve levegő fajsúlya. Mivel a nyomásforrások csak a veszteségágakban fordulnak elő, a \underline{P} a következő alakkal bír



ahol b az ágak, n a csomópontok száma.

A csomóponti egyenlet megoldása

A /2.48/ csomóponti egyenlet megoldása legcélszerűbben a Newton-Raphson módszerrel történik. A megoldást itt a

$$\underline{p}'_{-\beta}^{(r+1)} - \underline{p}'_{-\beta}^{(r)} = \underline{\Delta p}'_{-\beta}^{(r+1)} - \left[\frac{\partial \underline{G}^{(r)}}{\partial \underline{p}'_{-\beta}} \right]^{-1} \underline{G}^{(r)} \quad /2.50/$$

iterációs algoritmus szolgáltatja, ahol (r) az iteráció sorszáma. A /2.50/ az ismeretlen $\underline{\Delta p}'_{-\beta}$ -re nézve lineáris. Az egyenletrendszer megoldásával és a felvett

(0)
 $\underline{p}'_{-\beta}^{(0)}$ induló értékekből egy

$$\underline{p}'_{-\beta}^{(1)} = \underline{p}'_{-\beta}^{(0)} + \underline{\Delta p}'_{-\beta}^{(0)} \quad /2.51/$$

javitott megoldásvektort nyerünk, melyet a /2.50/ ismételt megoldásával tovább javíthatunk. A Newton-Raphson módszer az un. négyzetesen konvergáló iterációs módszerek csoportjába tartozik és ezért jól konvergál. Bizonyítható, hogy a módszer mindig konvergál,

amennyiben az induló értékek a megoldáshoz elég közel fekszenek.

A /2.50/ jobb oldalán álló Jacobi mátrix előállítására deriváljuk a /2.48/-at

$$\frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p}'_{-\beta}} = \underline{A}_{\beta}^t \left\{ \frac{\partial \underline{Y}(\underline{V})}{\partial \underline{p}'_{-\beta}} \left[\underline{A}_{\beta} \underline{p}'_{-\beta} + \underline{A}_{\alpha} \underline{p}'_{-\alpha} + \underline{P} \right] + \right. \\ \left. + \underline{Y}(\underline{V}) \frac{\partial \left[\underline{A}_{\beta} \underline{p}'_{-\beta} + \underline{A}_{\alpha} \underline{p}'_{-\alpha} + \underline{P} \right]}{\partial \underline{p}'_{-\beta}} \right\} \quad /2.52 /$$

Definíciószerűleg

$$\underline{A}_{\beta} \underline{p}'_{-\beta} + \underline{A}_{\alpha} \underline{p}'_{-\alpha} + \underline{P} = \underline{A}_{\underline{p}'} + \underline{P} = \underline{p} + \underline{P} = \underline{V} \quad /2.53/$$

A kapcsos zárójelben lévő első tag így a következőképpen írható [5]

$$\frac{\partial \underline{Y}(\underline{V})}{\partial \underline{p}'_{-\beta}} \underline{V} = \frac{\partial \underline{Y}(\underline{V})}{\partial \underline{V}} \frac{\partial \underline{V}}{\partial \underline{p}'_{-\beta}} \underline{V} = \frac{\partial \underline{Y}(\underline{V})}{\partial \underline{V}} \underline{A}_{\beta} \underline{V} \quad /2.54/$$

A /2.32/ alapján az $\underline{Y}(\underline{V})$ primitív admittanciamátrixot szimbolikusan a következőképpen írhatjuk:

$$\underline{Y}(\underline{V}) = \frac{\underline{J}}{\underline{V}} \quad /2.55/$$

A tört-függvények differenciálására vonatkozó szabály alkalmazásával így a következőket nyerjük

$$\frac{\partial \underline{Y}(\underline{V})}{\partial \underline{V}} = \frac{\partial (\underline{J}/\underline{V})}{\partial \underline{V}} = \left(\frac{\partial \underline{J}}{\partial \underline{V}} - \frac{\underline{J}}{\underline{V}} \right) // \underline{V} \quad /2.56/$$

A $\frac{\partial \underline{J}}{\partial \underline{V}}$ felfogható mint a hálózat differenciális admittanciamátrixa, melyet $\underline{\tilde{Y}}(\underline{V})$ -vel jelölünk. Vagyis

$$\frac{\partial \underline{Y}(\underline{V})}{\partial \underline{V}} = \frac{\underline{\tilde{Y}}(\underline{V}) - \underline{Y}(\underline{V})}{\underline{V}} \quad /2.57/$$

A /2.52/-ben a kapcsos zárójel alatti második kifejezés, mivel $\underline{A}_{\alpha} \underline{p}'_{\alpha}$ és \underline{P} a \underline{p}'_{β} -től függetlenek

$$\underline{Y}(\underline{V}) \frac{\partial [\underline{A}_{\beta} \underline{p}'_{\beta} + \underline{A}_{\alpha} \underline{p}'_{\alpha} + \underline{P}]}{\partial \underline{p}'_{\beta}} = \underline{Y}(\underline{V}) \underline{A}_{\beta} \quad /2.58/$$

A /2.53/, /2.55/ és /2.56/ alapján a /2.52/ vagyis \underline{H}_{β} Jacobi-mátrix a következőképpen írható

$$\begin{aligned} \underline{H}_{\beta}(\underline{V}) &= \frac{\partial \underline{G}_{\beta}}{\partial \underline{p}'_{\beta}} = \underline{A}_{\beta}^t \left\{ \left[\frac{\underline{\tilde{Y}}(\underline{V}) - \underline{Y}(\underline{V})}{\underline{V}} \right] \underline{A}_{\beta} \underline{V} + \underline{Y}(\underline{V}) \underline{A}_{\beta} \right\} = \\ &= \underline{A}_{\beta}^t \underline{\tilde{Y}}(\underline{V}) \underline{A}_{\beta} \quad /2.59/ \end{aligned}$$

Ezen kifejezésből látható

- a/ hogy a Jacobi mátrix formálisan azonos a csupán β -tipusu csomópontokat tartalmazó hálózat csomóponti admittanciamátrixával, amennyiben ebben az $\underline{Y}(\underline{V})$ primitív admittanciamátrixot az $\underline{\tilde{Y}}(\underline{V})$ differenciális admittanciamátrixszal helyettesítjük,
- b/ az α -tipusu csomópontok nyomásai csak annyiban befolyásolják a $\underline{H}_{\beta}(\underline{V})$ értékét, amennyiben az $\underline{\tilde{Y}}(\underline{V})$ a \underline{V} -n keresztül függ a \underline{p}'_{α} -től. A $\underline{H}_{\beta}(\underline{V})$ Jakobi mátrix szerkezete tehát azonos a csupán a β -tipusu csomópontokat tartalmazó hálózat csomóponti admittanciamátrixának szerkezetével. A /2.48/ egyenletek megoldása szempontjából lényeges, hogy a

$\underline{Y}_N(\underline{V})$ mátrix ugyanigy erősen ritka /sparse/, mint az utóbbi. Alakalmazhatók tehát a ritka egyenletrendszerek megoldására szolgáló nagy gép-idő és memóriakapacitás megtakarítást lehetővé tevő technikák [7].

A kidolgozott programrendszer, mint a továbbiakban látni fogjuk, erre a célra a Zollenkopf által kidolgozott algoritmust alkalmazza [6].

A \underline{p}'_{β} csomóponti nyomások számítása az előzőek figyelembevételével tehát a következő lineáris egyenletek megoldásával történik; lásd a /2.50/, /2.51/, /2.48/, /2.52/ kifejezéseket.

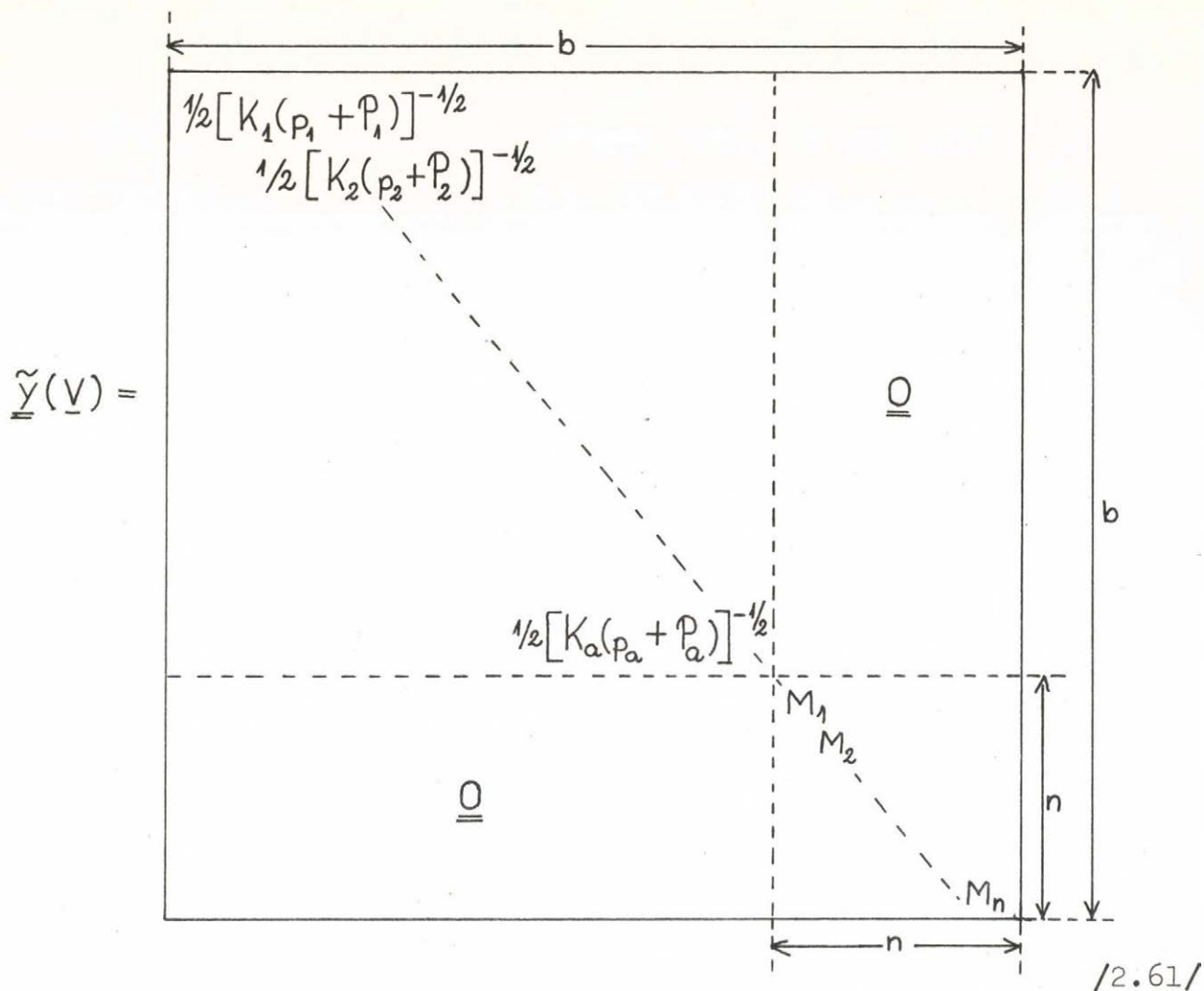
$$\left[\begin{array}{c} \underline{A}_{\beta}^t \quad \underline{\tilde{Y}}(\underline{V})^{(r)} \quad \underline{A}_{\beta} \\ \underline{A}_{\alpha} \quad \underline{p}'_{\alpha} \quad + \quad \underline{P} \end{array} \right] \underline{\Delta p}_{\beta}^{(r+1)} = -\underline{A}_{\beta}^t \left\{ \underline{Y}(\underline{V})^{(r)} \left[\underline{A}_{\beta} \quad \underline{p}'_{\beta} \right]^{(r)} + \right. \\ \left. - \underline{Q}' \right\}$$

$$\underline{p}'_{\beta}^{(r+1)} = \underline{p}'_{\beta}^{(r)} + \underline{\Delta p}_{\beta}^{(r+1)}$$

$$r = 1, 2, \dots, \mathcal{S}$$

/2.60/

ahol $\underline{\Delta p}_{\beta}^{(r+1)}$ illetve $\underline{p}'_{\beta}^{(r+1)}$ az ismeretlenek. Az egyes iterációs ciklusokban csak a $\underline{p}^{(r)} = \underline{A}_{\beta} \underline{p}'_{\beta}^{(r)}$ vektort, valamint az $\underline{Y}(\underline{V})$ és $\underline{\tilde{Y}}(\underline{V})$ mátrixokat kell újra kiértékelni. A két mátrix közül tulajdonképpen csak az elsőt kell számítani. A veszteséges gázhálózat esetében az $\underline{\tilde{Y}}(\underline{V})$ mátrix az $\underline{Y}(\underline{V})$ primitív admittanciamátrixokhoz nagyon hasonló.



Az $\underline{\underline{\tilde{Y}}}(V)$ -nek a csőágakra vonatkozó elemei az $\underline{\underline{Y}}(V)$ megfelelő elemeiből 0.5-tel való szorzással adódnak. A veszteségágaknak megfelelő elemek azonosak; lásd a /2.47/ és /2.61/-et.

A /2.60/ bal oldalán lévő hármas mátrix-szorzat egyszerű fizikai megfontolások alapján adódik, anélkül, hogy a mátrixszorzásokat - ami nagy mátrixok esetében időigényes feladat - ténylegesen el kellene végezni. A $\underline{\underline{H}}$ Jacobi-mátrix és a csomóponti admittanciamátrix analógiája miatt az előbbi elemei közvetlenül megadhatók. A $\underline{\underline{H}}$ diagonális elemei a megfelelő csomópontban összefutó ágak $\underline{\underline{\tilde{Y}}}(V)$ differenciális admittanciáinak összegeként adódnak.

$$H_{ii}(V) = \sum_{j=1}^{b_i} \tilde{Y}_{ij}(V) \quad i=1,2,\dots,n_\beta \quad /2.62/$$

A nemdiagonális elemek az i -, illetve j β -tipusu csomópontokat összekötő ágak $\tilde{Y}_{ij}(V)$ differenciális admitanciájának negatív értékeiként adódnak.

$$H_{ij}(V) = -\tilde{Y}_{ij}(V) \quad j,i=1,2,\dots,n_\beta \quad /2.63/$$

2.5. A veszteséges gázhálózat egyenleteinek hurokalakja

A /2.31/-ből átrendezéssel a

$$[\underline{P} - \underline{ZQ}] + \underline{p} = \underline{Zq} \quad /2.64/$$

kifejezés adódik. Mindkét oldalt \underline{C}^t -vel szorozva a /2.18/ és /2.20/ figyelembevételével ebből a

$$[\underline{C}^t \underline{ZC}] \underline{q}' - \underline{C}^t \underline{P} + \underline{C}^t \underline{ZQ} = \underline{0} \quad /2.65/$$

egyenlet adódik, amely a hálózati egyenlet hurokegyenletének általános alakja. Az egyenlet ilyen formában további céljainkra nem alkalmas, mivel nem a \underline{Q}' csomóponti, hanem a \underline{Q} ágforrásáramokat tartalmazza független változóként.

További nehézség, hogy függő változóként a /2.65/ a \underline{q}' hurokáramokat tartalmazza. Ezen nehézség viszonylag könnyen áthidalható; a /2.64/-ből a /2.20/ figyelembevételével a /2.66/ adódik

$$\underline{p} = \underline{Z}(\underline{Cq}' + \underline{Q}) - \underline{P} \quad /2.66/$$

s ez a \underline{q}' hurokáramok ismeretében a \underline{p} ágnyomáseséseket szolgáltatja. A \underline{p}' csomóponti nyomások a $(\underline{p}_i + \underline{P}_i)$ ágnyomásoknak a bázispont nyomásához való következetes hozzáadásával adódnak.

Vezessük be a /2.65/ egyenletben független változókként a \underline{Q}' csomóponti forrásáramokat.

A /2.20/ alapján

$$\underline{\underline{C}}^t \underline{\underline{Z}}(\underline{\underline{J}}) \underline{\underline{q}} - \underline{\underline{C}}^t \underline{\underline{P}} + \underline{\underline{C}}^t \underline{\underline{Z}}(\underline{\underline{J}}) \underline{\underline{Q}} = \underline{\underline{0}} \quad /2.67/$$

ahol kiirtuk a $\underline{\underline{Z}}$ mátrix-vektor függvény $\underline{\underline{J}}$ argumentumát és a gázhálózatban nincsenek ágforrásáramok, így $\underline{\underline{Q}} = \underline{\underline{0}}$ és $\underline{\underline{Z}}(\underline{\underline{J}}) = \underline{\underline{Z}}(\underline{\underline{q}})$.

Ha a

$$\underline{\underline{Z}}(\underline{\underline{q}}) \cdot \underline{\underline{q}} = \underline{\underline{Z}}^{\times}(\underline{\underline{q}}) \quad /2.68/$$

definíciós képlet alapján egy $\underline{\underline{Z}}^{\times}(\underline{\underline{q}})$ vektorfüggvényt vezetünk be, a /2.67/ a következőképpen írható:

$$\underline{\underline{C}}^t \underline{\underline{Z}}^{\times}(\underline{\underline{q}}) - \underline{\underline{C}}^t \underline{\underline{P}} = \underline{\underline{0}} \quad /2.69/$$

Csomóponti források esetében az 1. Kirchhoff-féle tétel alapján

$$\underline{\underline{A}}^t \underline{\underline{q}} = \underline{\underline{Q}}' \quad /2.70/$$

A $\underline{\underline{q}}$ ágáramvektort $\underline{\underline{q}}_T$ fa-, illetve $\underline{\underline{q}}_L$ hidágkomponensekre bontva,

$$\underline{\underline{q}} = \begin{bmatrix} \underline{\underline{q}}_T \\ \underline{\underline{q}}_L \end{bmatrix}, \text{ és így a /2.70/ a következőképpen írható}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{A}}_T^t & ; & \underline{\underline{A}}_L^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\underline{q}}_T \\ \underline{\underline{q}}_L \end{bmatrix} = \underline{\underline{Q}}' \quad /2.71/$$

ahol $\underline{\underline{A}}_T$ és $\underline{\underline{A}}_L$ az $\underline{\underline{A}}$ mátrix megfelelő részmátrixai.

Igy

$$\underline{\underline{Q}}' = \underline{\underline{A}}_T^t \underline{\underline{q}}_T + \underline{\underline{A}}_L^t \underline{\underline{q}}_L \quad /2.72/$$

Mivel $\underline{\underline{A}}_T^t$ általában nonszinguláris

$$\underline{\underline{q}}_T = \left[\underline{\underline{A}}_T^t \right]^{-1} \underline{\underline{Q}}' - \left[\underline{\underline{A}}_T^t \right]^{-1} \underline{\underline{A}}_L^t \underline{\underline{q}}_L \quad /2.73/$$

A /2.16/ topológiai összefüggés figyelembevételével

$$\underline{q}_T = \left[\underline{A}_T^t \right]^{-1} \underline{Q}' + \underline{C}_T \underline{q}_L \quad /2.74/$$

A teljes \underline{q} áramvektor így a következőképpen írható

$$\underline{q} = \begin{bmatrix} \underline{q}_T \\ \underline{q}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\underline{A}_T^t \right)^{-1} \underline{Q}' \\ \underline{0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{C}_T \\ \underline{U} \end{bmatrix} \underline{q}_L \quad /2.75/$$

Ezzel a \underline{q} vektort két komponensre bontottuk: egy csupán a csomóponti forrásoktól és egy hidáráramoktól függő komponensre. Az előbbi számára

$$\begin{bmatrix} \left(\underline{A}_T^t \right)^{-1} \underline{Q}' \\ \underline{0} \end{bmatrix} = \underline{Q}^{(0)} \quad /2.76/$$

jelölést vezetve be, a /2.69/ hurokegyenlet a következő alakot nyeri

$$\underline{C}^t \left[\underline{Z}^*(\underline{Q}^{(0)} + \underline{C} \underline{q}_L) - \underline{P} \right] = \underline{0} \quad /2.77/$$

ahol a gömbölyű zárójelben lévő kifejezés a \underline{Z}^* függvény argumentumát jelenti.

A csomóponti egyenlettel ellentétben a hurokegyenlet nem szolgáltat közvetlen összefüggést az α -tipusu és β -tipusu csomópontok között. Az α -tipusu csomópontokra kapcsolt csomóponti források hatását azonban itt is figyelembe vehetjük, ha ezen a csomóponti források helyett az α -csomópontok és a bázispont közé kapcsolt veszteségágakban - az előbbiekkal azonos nagyságu - ág forrásnyomásokat tételezünk fel.

A geodetikus magasságkülönbségekből származó /2.49/ hajtóerőket szintén mint a veszteségágakban működő ágyomásforrásokat foghatjuk fel, azzal a különbséggel, hogy ezek minden veszteségágban jelen vannak /tehát

nemcsak azon ágakban, amelyeknek egyik végpontja α -tipusu csomópont/. Célszerű így a /2.77/ kifejezésben a \underline{P} ágforrás vektort a \underline{P}_α és \underline{P}_g komponensekre bontani, melyekből az első a csomóponti forrásnyomásoknak, a második a magasságkülönbségből eredő felhajtó erőnek felel meg.

$$\underline{P} = \underline{P}_\alpha + \underline{P}_g \quad /2.78/$$

A hurokegyenletünk végleges alakja tehát vektoriális alakban

$$\underline{G}(\underline{q}_L) = \underline{C}^t \left[\underline{Z}^*(\underline{Q}^{(0)} + \underline{C}\underline{q}_L) - \underline{P}_\alpha - \underline{P}_g \right] = \underline{0} \quad /2.79/$$

A hurokegyenlet megoldása

A /2.79/ egyenlet megoldása legcélszerűbben ismét a Newton-Raphson módszerrel történhet.

$$\underline{q}_L^{(r+1)} - \underline{q}_L^{(r)} = \Delta \underline{q}_L^{(r+1)} = - \left[\frac{\partial \underline{G}^{(r)}}{\partial \underline{q}_L} \right]^{-1} \underline{G}^{(r)} \quad /2.80/$$

A /2.79/ alapján, a /2.74/, illetve /2.76/ figyelembevételével

$$\frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{q}_L} = \frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{q}} \frac{\partial \underline{q}}{\partial \underline{q}_L} = \underline{C}^t \frac{\partial \underline{Z}^*}{\partial \underline{q}} \frac{\partial \underline{q}}{\partial \underline{q}_L} \quad /2.81/$$

Mivel a definíciószerűleg \underline{q}_L a \underline{q} ' hurokáramvektorral egyenlő, a /2.20/ alapján

$$\frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{q}_L} = \underline{C}^t \frac{\partial \underline{Z}^*}{\partial \underline{q}} \frac{\partial \underline{q}}{\partial \underline{q}_L} = \underline{C}^t \frac{\partial \underline{Z}^*}{\partial \underline{q}} \underline{C} \quad /2.82/$$

A /2.22/ alapján a gázhálózat csőágainál

$$\underline{Z}^*(\underline{q}) = \underline{Z}(\underline{q}) \underline{q} = K |\underline{q}| \underline{q} = K \underline{q}^2 \quad /2.83/$$

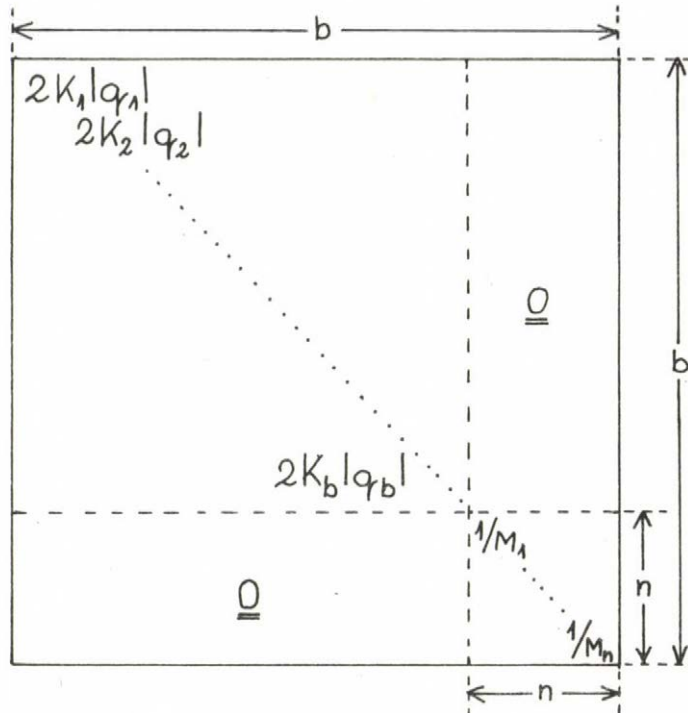
A veszteségágaknál

$$Z^*(q) = Z(q)q = \frac{1}{M_i} q$$

/2.84/

Igy

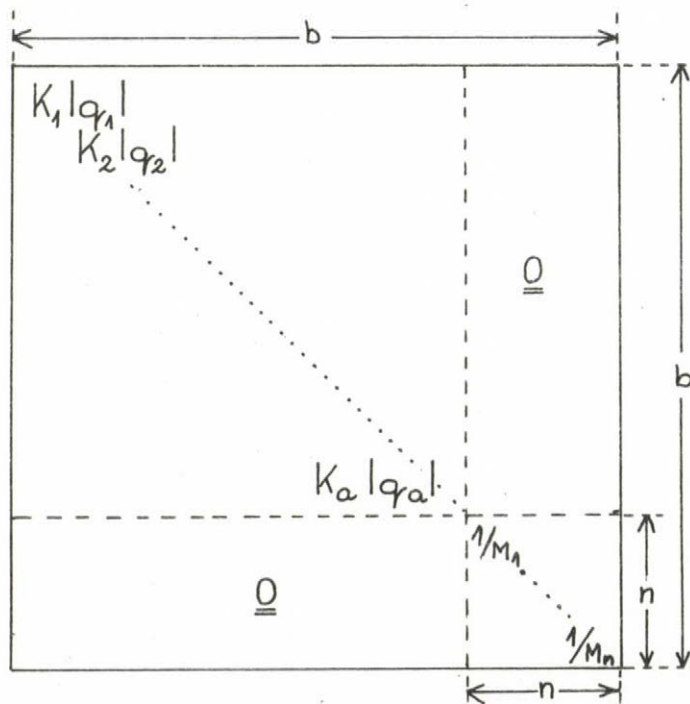
$$\frac{\partial Z^*(q)}{\partial q} =$$



/2.85/

Összevetve a hálózat \underline{Z} primitív impedanciamátrixával

$$\underline{Z}(q) =$$



/2.86/

látható a $\frac{\partial \underline{Z}^{\times}}{\partial \underline{q}}$ és \underline{Z} mátrixok erős hasonlatossága.

Az előbbi így a hálózat differenciális impedanciamátrixának tekinthetjük. Ezt $\underline{\tilde{Z}}(\underline{q})$ -val jelölve a hurokegyenlet Jacobi-mátrixa

$$\underline{H}(\underline{J}) = \underline{C}^t \underline{\tilde{Z}}(\underline{q}) \underline{C} \quad /2.87/$$

A hurokegyenlet megoldása így a következő lineáris egyenletrendszer ciklikus megoldásával adódik

$$\left[\underline{C}^t \underline{\tilde{Z}}(\underline{q})^{(r)} \underline{C} \right] \underline{\Delta q}^{(r+1)} = - \underline{C}^t \left[\underline{Z}^{\times}(\underline{q}) - \underline{P}_{\alpha} - \underline{P}_g \right]$$

$$\underline{q}^{(r+1)} = \underline{q}^{(r)} + \underline{\Delta q}^{(r+1)} \quad r=0,1,\dots,\varrho$$

/2.88/

ahol a \underline{q} ágáram, a $\underline{q}' = \underline{q}_L$ hurokáramokból és a \underline{Q}' csomóponti áramokból a /2.75/ alapján számíthatódnak.

Mivel a /2.88/ első egyenletének bal oldalán szereplő mátrixszorzat szerkezetét és ürességét illetőleg is hasonló a

$$\underline{Z}_N = \underline{C}^t \underline{Z} \underline{C} \quad /2.89/$$

hurokimpedancia mátrixhoz, célszerű az egyenletrendszer megoldásához itt is - mint a csomóponti egyenletek megoldásánál - az egyenletmátrix ürességét hasznosító technikát alkalmazni.

A csomóponti és a hurokegyenletek összevetése

Elosztóhálózatok számításánál a hurokalak általában előnyösebb, mivel a független hurkok száma a csomópontok számánál lényegesen kisebb, $l = b - n + 1 < n$. Azonos arányban kisebbek a hurokegyenlet mátrixának méretei a csomóponti egyenletéhez képest. Mivel a gép-
időigény a mátrix méreteivel kb. köbösen emelkedik, a

memóriaigény pedig négyzetesen nő, a hurokalak használata a csomópontival szemben kb.

$$\left(\frac{n}{b-n}\right)^3 \text{ arányu gépidő, illetve } \left(\frac{n}{b-n}\right)^2$$

arányu memóriaigény csökkenést eredményez. Az üres mátrix technikák alkalmazásával a hurokmódszer előnye a csomópontival szemben lényegesen csökken. A gépidő, illetve memóriamegtakarítás itt csak

$1 - 1.5 \left(\frac{n}{b-n}\right)$ arányu, az alkalmazott ritka mátrix technika és a feladat természetétől függően.

A veszteséges gázhálózatnál a hurokmódszer előnyei a csomóponti módszerrel szemben illuzorikusak. Tekintve, hogy itt minden csomóponthoz egy veszteségág csatlakozik, a hurkok száma a veszteség nélküli hálózathoz képest n -el növekedik, vagyis a hurokegyenlet méretei $b-n$ helyett $b-n+n=b$. Ezzel szemben a csomóponti egyenlet méretei nem változnak, és mivel $b > n$, itt a hurokmódszer alkalmazása gépidő, illetve memóriaigény növekedést eredményezhet. A hurokmódszer szempontjából továbbá hátrányos az a körülmény, hogy nem szolgáltat explicit összefüggést az α -típusu csomópontok, azaz a függetlenül beállítható csomóponti nyomások és a többi nyomás között.

A hurokalak alkalmazását csupán két másodlagos körülmény indokolhatja. Az egyik a következő:

Megfelelő fakiválasztással elérhető, hogy a hálózat fáját a kisebb ellenállású ágak alkossák, míg a nagyobb ellenállásúak a pótfába kerülnek. Ide sorolhatjuk természetesen a veszteségágakat is, melyek ellenállása a csőágakénál lényegesen nagyobb. Ilyen fakiválasztás lehetővé teszi a hurokmódszer alkalmazásánál, illet-

ve a /2.88/ egyenletek megoldásánál a \underline{q} induló értékeinek, $\underline{q}^{(0)}$ -nak, viszonylag jó becslését. Mint már említettük, a \bar{N} Newton-Raphson módszer konvergenciája, illetve ennek sebessége erősen függ az induló értékek jóságától. Megfelelő fakiválasztás eredményeképpen az indulásnál első közelítésképpen a hurokágak \underline{q}_L áramait nullának vehetjük fel. Mint a /2.75/-ből látható, ekkor a $\underline{q}^{(0)}$ a

$$\underline{q}^{(0)} = \begin{bmatrix} \underline{A}^t \\ \underline{A}_T \end{bmatrix}^{-1} \underline{Q}' \quad /2.90/$$

összefüggés alapján számítható.

A hurokmódszer másik előnye, hogy egy közelítő megoldást tesz lehetővé, mely lényegesen csökkenti az egyébként szükséges gépidőt. Mivel a veszteségágakban folyó áramok a csőágak áramainál kb. két nagyságrenddel kisebbek, ezeket elhagyhatjuk, illetve a veszteségeket úgy tekinthetjük, mint járulékos csomóponti áramokat. A /2.24/ alapján a \underline{Q}' csomóponti áramokat így a

$$\underline{\bar{Q}}' = \underline{Q}' + \underline{M}p' \quad /2.91/$$

alakba írhatjuk, ahol \underline{Q}' a csomóponti áramvektor állandó része, a jobboldali második tag a csomóponti veszteségáram.

A veszteségágak elhagyásával egy új, lényegesen kisebb $\underline{\bar{C}}$ hurokmátrix adódik és így az egyenlet mérete is lényegesen kisebb lesz. /A veszteségek elhagyásával a csomóponti egyenletek méretei nem csökkennek, mint ez könnyen belátható. / A /2.79/ helyett a megoldandó egyenlet így

$$\underline{\bar{C}}^t \left[\underline{\bar{Z}}^* (\underline{\bar{Q}}^{(0)} + \underline{\bar{C}}\underline{q}_L) - \underline{\bar{P}}_\alpha - \underline{\bar{P}}_g \right] = \underline{0} \quad /2.92/$$

ahol a "felülvonások" a veszteségágakat nem tartalmazó hálózatra utalnak. Mivel a feltételezett fakiválasztásnál az \underline{A}_T^t mátrix nem változott

$$\underline{Q}' = \underline{Q} + \underline{M}^t [\underline{p}'(r) + \underline{p}'_0]$$

$$\underline{Q}'(0) = \begin{bmatrix} (\underline{A}_T^t)^{-1} \underline{Q} \\ \underline{0} \end{bmatrix}$$

/2.93/

A \underline{P}_α , \underline{P}_g , \underline{p}' nyomások itt az atmoszféra helyett a választott bázispontra vonatkoznak, \underline{p}'_0 a bázispont atmoszférára vonatkoztatott nyomása.

A /2.92/ megoldása lényegében a /2.88/ alapján történik, amelyhez egy a \underline{p}' számítására szolgáló algoritmus kapcsolódik; lásd a /2.66/-ot és az ezt követő magyarázatot.

Mivel a gázhálózatok viszonylag kevésbé hurkoltak, $/l < 0.2 n/$, ezen közelítő eljárással elérhető gépidő-csökkenés rendkívül tekintélyes. Egy 500 csomópontot és 50 hurkot tartalmazó hálózatnál a gépidőszükséglet az egzakt megoldáshoz képest 10-20%. A mondottak figyelembevételével az általunk kidolgozott programoknak a vázolt rövidített hurokmódszer szolgál alapul.

2.6. Az optimalizálás algoritmusáról

A 2.2. fejezetben definiált veszteségminimalizálási feladat, mint tipikus nem-lineáris optimalizálási feladat megoldására szolgáló módszerek közül lényegében három képezheti megfontolás tárgyát.

- a/ a Lagrange multiplikátorok módszere, illetve ennek Kuhn-Tucker-féle általánosított változata,
- b/ a gradiensek módszere, illetve ennek valamelyik válfaja,
- c/ a lineáris programozás módszere, nevezetesen a

szimplex-módszer alkalmazása.

Brameller [2] és Davenport [3] vizsgálatai megmutatták, hogy a nagyméretű feladatoknál elsősorban a lineáris programozás módszerének alkalmazása jön számításba. A Lagrange-féle módszernél a kisebb hatékonyság mellett még az a nehézség is fennáll, hogy ezzel a módszerrel nehezen kezelhetők az olyan feladatok, amelyeknél nemcsak a független, hanem a függő változókra vonatkozólag is adottak határfeltételek. A nehézségek megkerülése a büntető függvények módszerének alkalmazásával nem vezet kielégítő eredményre; lásd [3].

A hálózati veszteségek minimalizálására a továbbiakban a lineáris programozás módszerét alkalmazzuk. A feladatot definiáló /2.5/ - /2.7/ relációkban különböztessük meg a független és a függő változókat, majd írjuk ezeket vektoriális alakba.*

$$\phi(\underline{p}'_{\alpha}, \underline{p}'_{\beta}) \rightarrow \min$$

$$\underline{G}(\underline{p}'_{\alpha}, \underline{p}'_{\beta}) = \underline{0} \quad /2.94/$$

$$\underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \leq \underline{p}' \leq \underline{p}'^{(\max)}$$

$$\underline{p}'_{\beta}^{(\min)} \leq \underline{p}'_{\beta}$$

A /2.94/ utolsó sorában a $\underline{p}'_{\beta}^{(\max)}$ határfeltételt elhagytuk, mivel fizikai megfontolások alapján a \underline{p}'_{β} feltétlenül kisebb, mint $\underline{p}'_{\beta}^{(\max)}$.

* Mivel vektorok vonatkozásában a <és> relációk nincsenek értelmezve, a /2.94/ harmadik és negyedik sora csupán a megfelelő skaláris összefüggések szimbolikus jelalakban való felírásának tekintendő.

Amennyiben a \underline{p}'_{α} , \underline{p}'_{β} nyomások a külső atmoszférára vannak vonatkoztatva, a /2.11/ alapján a veszteségfüggvény

$$\phi = \underline{M}_{\alpha}^t \underline{p}'_{\alpha} + \underline{M}_{\beta}^t \underline{p}'_{\beta} \longrightarrow \min \quad /2.95/$$

A

$$\underline{G}(\underline{p}'_{\alpha}, \underline{p}'_{\beta}) = \underline{0}$$

egyenlet a veszteséges gázhálózat /2.48/ csomóponti, vagy /2.79/ illetve /2.92/ hurokegyenletét jelenti. Mint látni fogjuk, célszerű a numerikus számítások hatékonyságának fokozására a hálózati egyenlet ezen két alakját együttesen alkalmazni.

A lineáris programozás módszereinek alkalmazása azáltal válik lehetővé, hogy a ϕ célfüggvény helyett ennek $\Delta\phi$ kicsiny növekményével operálunk. Ugyanezt tesszük a feladat feltételrendszerével. A lineáris optimalizálási feladatot így a következőképpen írhatjuk fel:

$$\Delta\phi(\underline{p}'_{\alpha}, \underline{p}'_{\beta}) \longrightarrow \min$$

$$\Delta\underline{G}(\underline{p}'_{\alpha}, \underline{p}'_{\beta}) = \underline{0}$$

$$\underline{\Delta p}'_{\alpha}^{(\min)} \leq \underline{\Delta p}'_{\alpha} \leq \underline{\Delta p}'_{\alpha}^{(\max)} \quad /2.96/$$

$$\underline{\Delta p}'_{\beta}^{(\min)} \leq \underline{\Delta p}'_{\beta}$$

Mivel ϕ a változóknak lineáris függvénye, $\Delta\phi$ számára a következő kifejezés adódik:

$$\phi(\underline{p}'_{\alpha} + \underline{\Delta p}'_{\alpha}, \underline{p}'_{\beta} + \underline{\Delta p}'_{\beta}) = \quad /2.97/$$

$$= \underline{M}_{\alpha}^t \underline{p}'_{\alpha} + \underline{M}_{\beta}^t \underline{p}'_{\beta} + \underline{M}_{\alpha}^t \underline{\Delta p}'_{\alpha} + \underline{M}_{\beta}^t \underline{\Delta p}'_{\beta}$$

azaz

$$\Delta \Phi = \underline{M}_{\alpha}^t \underline{\Delta p'_{\alpha}} + \underline{M}_{\beta}^t \underline{\Delta p'_{\beta}} \quad /2.98/$$

A /2.94/ hálózati egyenlet sorbafejtésével

$$\begin{aligned} \underline{G}(\underline{p'_{\alpha}} + \underline{\Delta p'_{\alpha}}, \underline{p'_{\beta}} + \underline{\Delta p'_{\beta}}) &= \\ &= \underline{G}(\underline{p'_{\alpha}}, \underline{p'_{\beta}}) + \frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p'_{\alpha}}} \underline{\Delta p'_{\alpha}} + \frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p'_{\beta}}} \underline{\Delta p'_{\beta}} + \dots = \underline{0} \end{aligned} \quad /2.99/$$

adódik.

Mivel a bal oldal első tagja zéro

$$\underline{\Delta G} = \frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p'_{\alpha}}} \underline{\Delta p'_{\alpha}} + \frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p'_{\beta}}} \underline{\Delta p'_{\beta}} = \underline{0} \quad /2.100/$$

ahol a magasabbrendű tagokat szintén elhagytuk. A /2.100/ linearizált hálózat egyenlete segítségével a $\underline{\Delta p'_{\beta}}$ függő változók a $\underline{\Delta p'_{\alpha}}$ független változók függvényeként állíthatók elő.

$$\underline{\Delta p'_{\beta}} = - \left[\frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p'_{\beta}}} \right]^{-1} \left[\frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p'_{\alpha}}} \right] \underline{\Delta p'_{\alpha}} \quad /2.101/$$

A /2.101/ érvényességéhez természetesen fel kell tételeznünk, hogy a $\partial \underline{G} / \partial \underline{p'_{\beta}}$ mátrix nem-szinguláris.

A /2.101/ explicit felírásához célszerű a /2.48/ csomóponti alakból kiindulni, mivel ez a $\underline{p'}$ csomóponti nyomásokat közvetlenül szolgáltatja. Ebben az esetben a $\partial \underline{G} / \partial \underline{p'_{\beta}}$ a $\underline{H}(\underline{V})$ Jacobi-mátrixszal azonos; vesd össze a /2.59/-el, vagyis

$$\frac{\partial G}{\partial \underline{p}'_{\beta}} = \underline{H}(\underline{V}) = \underline{A}_{\beta}^t \tilde{\underline{Y}}(\underline{V})_{\underline{A}_{\beta}} \quad /2.102/$$

A /2.48/ \underline{p}'_{α} szerinti deriválásával a

$$\frac{\partial G}{\partial \underline{p}'_{\alpha}} = \underline{A}_{\beta}^t \underline{Y}(\underline{V})_{\underline{A}_{\alpha}} \quad /2.103/$$

kifejezését nyerjük. A /2.102/ és /2.103/-nak a /2.101/ kifejezésbe való helyettesítésével a

$$\begin{aligned} \underline{\Delta p}'_{\beta} &= - \left[\underline{A}_{\beta}^t \tilde{\underline{Y}}(\underline{V})_{\underline{A}_{\beta}} \right]^{-1} \left[\underline{A}_{\beta}^t \underline{Y}(\underline{V})_{\underline{A}_{\alpha}} \right] \underline{\Delta p}'_{\alpha} = \\ &= - \underline{W} \underline{\Delta p}'_{\alpha} \end{aligned} \quad /2.104/$$

összefüggés adódik, ahol

$$\left[\underline{A}_{\beta}^t \tilde{\underline{Y}}(\underline{V})_{\underline{A}_{\beta}} \right]^{-1} \left[\underline{A}_{\beta}^t \underline{Y}(\underline{V})_{\underline{A}_{\alpha}} \right] = \underline{W} \quad /2.104' /$$

jelölést alkalmaztunk.

A /2.96/ feltételrendszer 3., illetve 4. sorához a következő megjegyzéseket fűzhetjük. A $\underline{\Delta p}'_{\alpha}^{(\min)}$ és $\underline{\Delta p}'_{\alpha}^{(\max)}$

nyilvánvalóan a $\underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} - \underline{p}'_{\alpha}^{(S)}$, illetve $\underline{p}'_{\alpha}^{(\max)} - \underline{p}'_{\alpha}^{(S)}$

különbszetekkel egyenlőek, ahol az (S) optimalizációs lépés sorszáma. Vagyis

$$\left[\underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} - \underline{p}'_{\alpha}^{(S)} \right] \leq \underline{\Delta p}'_{\alpha}^{(S)} \leq \left[\underline{p}'_{\alpha}^{(\max)} - \underline{p}'_{\alpha}^{(S)} \right] \quad /2.105/$$

Ugyanúgy a β -tipusu csomópontokra vonatkozó feltétel

$$\left[\underline{p}'_{\beta}^{(\min)} - \underline{p}'_{\beta}^{(S)} \right] \leq \underline{\Delta p}'_{\beta}^{(S)} \quad /2.106/$$

A /2.104/ alapján a $\Delta \phi$ /2.98/ alatti kifejezésében a \underline{p}'_{β} függő változók kiküszöbölhetők

$$\Delta\phi = \left[\underline{M}_\alpha^t \quad - \underline{M}_\beta^t \quad \underline{W} \right] \underline{\Delta p}_\alpha' \longrightarrow \min \quad /2.107/$$

Ugyanezt tehetjük a /2.106/ feltételnél is

$$\left(\underline{p}_\alpha',^{(\min)} - \underline{p}_\beta' \right) \leq - \underline{W} \underline{\Delta p}_\alpha' \quad /2.108/$$

A linearizált optimalizálási feladatait így a következőképpen lehet definiálni; lásd a /2.107/, /2.104/, /2.105/ és /2.106/ összefüggéseket

$$\begin{aligned} \left[-\underline{M}_\alpha^t \quad + \underline{M}_\beta^t \quad \underline{W}^{(s)} \right] \underline{\Delta p}_\alpha',^{(s)} &\longrightarrow \max & a/ \\ \underline{\Delta p}_\alpha',^{(s)} &\leq \left[\underline{p}_\alpha',^{(\max)} - \underline{p}_\alpha',^{(s)} \right] & b/ \\ -\underline{\Delta p}_\alpha',^{(s)} &\leq \left[-\underline{p}_\alpha',^{(\min)} + \underline{p}_\alpha',^{(s)} \right] & c/ \\ \underline{W}^{(s)} \underline{\Delta p}_\alpha',^{(s)} &\leq \left[-\underline{p}_\beta',^{(\min)} + \underline{p}_\beta',^{(s)} \right] & d/ \end{aligned} \quad /2.109/$$

A /2.109/ felirási módja az eredetitől kissé különbözik. Az új felírás viszont megfelel a lineáris programozási feladatok standard felirási módjának

$$\begin{aligned} \underline{c}^t \underline{x} &\longrightarrow \max \\ \underline{L} \underline{x} &\leq \underline{b} \end{aligned} \quad /2.109'/$$

Az optimalizálás célja olyan maximális $\underline{\Delta p}_\alpha',^{(s)}$ vektor megadása, amely kielégíti a b/-d/ feltételeket. A megadáshoz legcélszerűbb a szimplex-módszernek, illetve ennek valamilyen változatának alkalmazása. A kérdésnek bőséges irodalma van, így megelégszünk az erre való hivatkozással [8-10].

A $\underline{\Delta p}_\alpha',^{(s)}$ megoldás birtokában a /2.94/ által definiált nem-lineáris optimalizálási feladatnak egy jobb megoldása adható meg, mégpedig

$$\underline{p}_\alpha',^{(s+1)} = \underline{p}_\alpha',^{(s)} + \underline{\Delta p}_\alpha',^{(s)} \quad /2.110/$$

Megjegyzés: A /2.109/ lineáris optimalizálási feladat megoldásához olyan könyvtári program került alkalmazásra, melynél az optimalizálandó változóknak szükségszerűen pozitívaknak kell lenniük:

$$\underline{\Delta p}'_{\alpha} \geq \underline{0}$$

Ezt a feltételt kielégítendő a /2.109/-en transzformációt szükséges végrehajtani.

Vezessük be a

$$\hat{p}_{\alpha} = \underline{p}'_{\alpha} + \underline{\Delta p}'_{\alpha} - \underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \quad /2.111/$$

új változót. Fizikai jelentését illetően \hat{p}_{α} az (s+1)-edik ciklusban érvényes α -nyomásvektor.

A /2.111/-et $\underline{\Delta p}'_{\alpha}$ -ra rendezve

$$\underline{\Delta p}'_{\alpha} = \hat{p}_{\alpha} - \underline{p}'_{\alpha} + \underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \quad /2.112/$$

adódik. Ezt a /2.109a/-ba helyettesítve

$$\left[\begin{array}{c} -\underline{M}^t_{\alpha} + \underline{M}^t_{\beta} \\ \underline{W} \end{array} \right] \left(\hat{p}_{\alpha} - \underline{p}'_{\alpha} + \underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \right) \rightarrow \max \quad /2.113/$$

adódik. Mivel a \underline{p}'_{α} az optimalizálás szemszögéből konstansnak tekinthető, a /2.113/ helyett a célfüggvény

$$\left[\begin{array}{c} -\underline{M}^t_{\alpha} + \underline{M}^t_{\beta} \\ \underline{W} \end{array} \right] \hat{p}_{\alpha} \rightarrow \max \quad /2.114/$$

alakba írható.

A /2.112/-öt a /2.109d/-be behelyettesítve

$$\underline{W} \left[\hat{p}_{\alpha} - \underline{p}'_{\alpha} + \underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \right] \leq \left(\underline{p}'_{\beta} - \underline{p}'_{\beta}^{(\min)} \right) \quad /2.115/$$

Kifejtve és elrendezve, ebből a következő egyenlőtlenség adódik

$$\underline{W} \hat{p}_{\alpha} \leq \underline{p}'_{\beta} - \underline{p}'_{\beta}^{(\min)} + \underline{W} \left[\underline{p}'_{\alpha} - \underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \right] \quad /2.116/$$

Ha a /2.112/-öt a /2.109b/-be helyettesítjük

$$\hat{p}_{\alpha} - \underline{p}'_{\alpha} + \underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \leq \underline{p}'_{\alpha}^{(\max)} - \underline{p}'_{\alpha} \quad /2.117/$$

adódik, vagyis

$$\hat{p}_{\alpha} + \underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \leq \underline{p}'_{\alpha}^{(\max)} \quad /2.118/$$

Mivel \underline{p}'_{α} feltétlenül pozitív és nagyobb, mint $\underline{p}'_{\alpha}^{(\min)}$

a /2.111/ alapján \hat{p}_{α} pozitív, $\hat{p}_{\alpha} \geq 0$ és így

$$0 \leq \hat{p}_{\alpha} \leq \underline{p}'_{\alpha}^{(\max)} \quad /2.119/$$

Összefoglalva a /2.109/ helyett a transzformáció eredményeképpen a következő feltételrendszer írható /lásd a /2.114/, /2.118/ és /2.116/-ot/.

$$\left[\begin{array}{c} -\underline{M}_{\alpha}^t + \underline{M}_{\beta}^t \underline{W} \hat{p}_{\alpha} \end{array} \right] \rightarrow \max$$

$$\hat{p}_{\alpha} \leq \underline{p}'_{\alpha}^{(\max)}$$

$$\underline{W} \hat{p}_{\alpha} \leq \underline{p}'_{\beta} - \underline{p}'_{\beta}^{(\min)} + \underline{W} \left[\underline{p}'_{\alpha} - \underline{p}'_{\alpha}^{(\min)} \right] \quad /2.220/$$

$$\hat{p}_{\alpha} \geq 0$$

Az optimalizáció elvégzése után a \hat{p}_{α} -ből a keresett

$\underline{\Delta p}'_{\alpha}$ változó a /2.112/ alapján nyerhető.

2.7. A programrendszer általános jellemzése

A /2.109/ jobb oldala tartalmazza a $p_{-\alpha}^{(s)}$ és $p_{-\beta}^{(s)}$ vektorokat, amelyek a lineáris optimalizálási feladat szempontjából adott konstansok. Ezek meghatározása a nem-lineáris hálózat egyenleteinek megoldásával történik.

Ehhez célszerű, mint az előzőekben láttuk, a hálózati egyenlet hurokalakját - különösen ennek /2.92/ rövidített változatát - használni. Mivel a megoldás a Newton-Raphson módszerrel történik, ez azt jelenti, hogy minden egyes $s = 1, 2, \dots, 6$ optimalizáló ciklusba $r = 1, 2, \dots, 9$ számú, Newton-Raphson iteráció van beleágyazva; /r-ciklus/. Minden egyes s-ciklusban ugyancsak újból számítódik a $\underline{W}^{(s)}$ mátrix, a $\Phi^{(s)}$ összveszteség és a lineáris optimalizálás feltételrendszerét megadó $\underline{L}^{(s)}$ mátrix; lásd a /2.104'/, /2.97/ és /2.109'/-et.

A számítások globális folyamatábrája a 2.3. ábrán látható. A számítási algoritmus részletekbe menő leírása a következő 3. fejezet tárgyát képezi. A részletekbe menő tárgyalás már csak azért sem volna itt célszerű, mivel a leírt számítási menet az elvi megfontolásokon túlmenő különböző okok miatt kiegészítésre szorul. Ezek a következők:

- a/ az eljárásban szereplő mátrixműveleteket sokszor célszerű heurisztikus megfontolások hatékonyabb alapján algoritmusokkal helyettesíteni, ebbe a kategóriába tartoznak a mátrixok ürességét kihasználó eljárások, melyek lényegesen megnövelik a programrendszer teljesítőképességét.
- b/ a programrendszer több általunk szerkesztett, illetve módosított programot használ, melyek alkalmazhatósági területe szélesebb, mint az adott feladat /fakiváltás, Zollenkopf algoritmus, optimalizáló algoritmus/. Ezen standard programok alkalmazását lehetővé teendő különböző átalakításokat kell végrehajtani. Példa-

képpen az előzőekben leirt transzformációt említjük, mellyel a lineáris optimalizáció előtt az eredeti független változók helyett olyan változókat vezetünk be, melyek minden körülmények között kielégítik az $\underline{x} \geq \underline{0}$ feltételt.

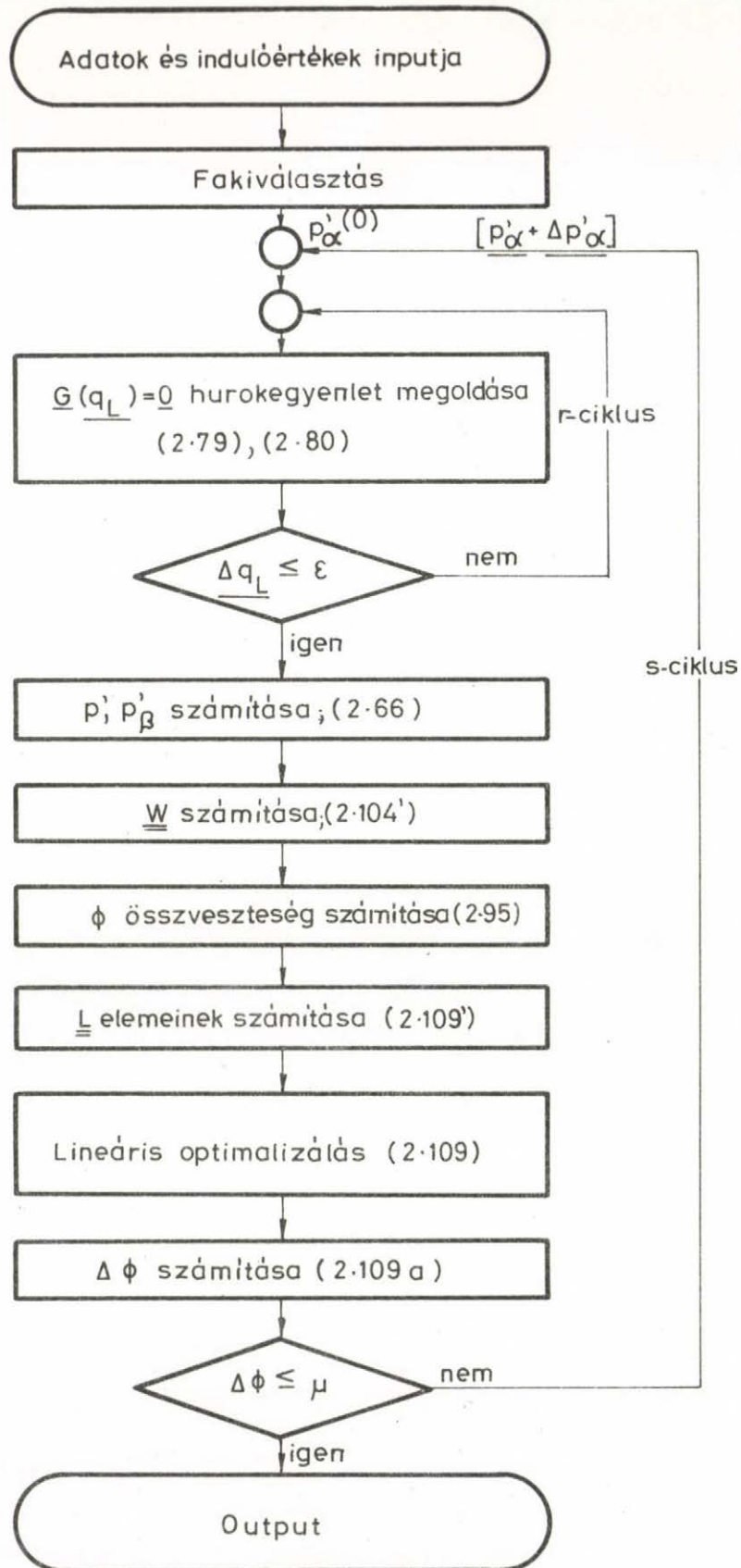
/lásd az előző Megjegyzést!/

- c/ a programrendszer integráns részét képezik az adatok és közbeeső eredmények tárolására szolgáló eljárások. A memóriával való jó gazdálkodás előfeltétele a programrendszer hatékonyságának. Külön követelményeket állít a memóriával való gazdálkodással szemben a megoldandó feladatok mérete, illetve a rendelkezésre álló memóriakapacitás korlátozottsága;
- d/ végül a kidolgozott programrendszer fontos részét képezik a beépített ellenőrző módszerek, melyek elengedhetetlenek ennek biztonságos működtetéséhez.

A következő 3. fejezet anélkül, hogy programozástechnikai részletkérdésekbe belemerne, a számítási módszert ezekből az aspektusokból világítja meg.

Végül szeretnénk a következő körülményre felhívni a figyelmet. Az itt használt egységes jelölésrendszer következetes alkalmazása a további fejezetben nem mindig vihető keresztül. Egyrészt, mivel az egyes programok az itt leirt általános elmélet megfogalmazása alatt már készen álltak, másrészt az egyes jelölések a már kész programokban más célokra voltak lefoglalva. A 2. fejezet globális jelölésrendszere mellett, így a további fejezetekben megengedtünk másfajta, lokális jelöléseket. Ez összhangban áll egyébként a FORTRAN-nyelv szellemével.

A félreértések elkerülése végett mindenütt ahol erre szükség volt, megadtuk a lokális jelölések globális megfelelőit.



2.3. ábra. Az optimalizálás folyamatábrája.

Irodalom 1-2. fejezethez

- [1] Integrált számítógépes irányítási rendszer
MTA SzTAKI Jelentés 1974 március
- [2] A. Brameller, V.E. Chancellor, Y. Hamam, C. Yaleindag;
Recent Advances in Mathematical Analysis for Gas Industry
Application.
I.G.E. Journal 1971 March, pp. 188-215
- [3] Davenport, R.: Minimum of Leakage from Gas Networks.
Ph.D.Thesis, University of Manchester, 1972.
- [4] D.V. Kniebes, G.G. Wilson: Digital Computer Solution of
Gas Distribution Systems Networks Flow Problems.
Chem.Eng.Progr.Symp.Ser. 31, 56 /1960/ pp. 49-58.
- [5] Singer, D., Koltai, T.: Új algoritmus gázhálózatok számi
tására
Műszaki Tudomány 47 /1973/, 139-149.
- [6] K, Zollenkopf: Bifactorisation - Basic Computational
Algorithm and Programming Techniques.
Conference on Large Sparse Sets of Linear Equations,
Oxford, 1970.
- [7] D.Singer: Nagy hálózatok megoldási módszereiről.
Műszaki Tudomány / sajtó alatt/
- [8] G.B. Danzig, A. Orden, P. Wolf: The Generalized Simplex
Method etc.
Pac. J. Math., 5 /1955/ pp. 183-195.
- [9] G.B. Danzig: Linear Programming and Extensions.
Princeton Univ. Press, 1963.
- [10] B. Krekó: Optimumszámítás
Közg.Jogi Kiadó, 1972.

3. Az OPTPRESS1 programrendszer szerkezete

3.1. A rendszert alkotó programok rövid jellemzése

A 2. fejezetben adott elméleti megfontolások alapján került kidolgozásra a gázhálózatok veszteségeinek minimalizálására szolgáló OPTPRESS1 programrendszer. A programrendszer felépítését nagy mértékben meghatározta a CDC-3300 MASTER operációs rendszerének szerkezete [1]. A programokat FORTRAN nyelven készítettük el. A következőkben rövid áttekintést adunk a logikusan illeszkedő programok fő funkcióiról.

A rendszer a következő programokból áll:

1/ GS01

A program az elsődleges kártyainput fogadására, ellenőrzésére és a háttér-tárolóra való írásra szolgál.

2/ GS02

A hálózatszámításnak, illetve a GS03 program által igényelt strukturának megfelelő csomópont és ág sorszámozásra szolgál, azonkívül az eredeti azonosítási rendszer és az új sorszámok megfeleltetéseit végzi.

3/ GS03

A hálózati topológia alapján azoknak a strukturális információknak az előállítására szolgál, amelyek alapján a hálózatszámításban résztvevő mátrixok a ritka mátrixok technikájával kezelhetőkké válnak.

4/ GS04

Ez végzi tulajdonképpeni hálózatszámítást, és az optimalizáció mátrixának előállítását.

5/ GS05

A nem-lineáris optimalizáció végrehajtásához szükséges hálózatszámítási és lineáris optimalizációs fázisok ismételt végrehajtásának vezérlését végzi.

6/ GS06

A program a ciklikusan ismétlődő lineáris optimalizálási feladatok megoldására szolgál.

7/ GASCNT

Ez a GS04, GS05, GS06 programok egymásutáni dinamikus végrehajtását szervezi, összhangban a számítógép operációs rendszerének kivánalmaival.

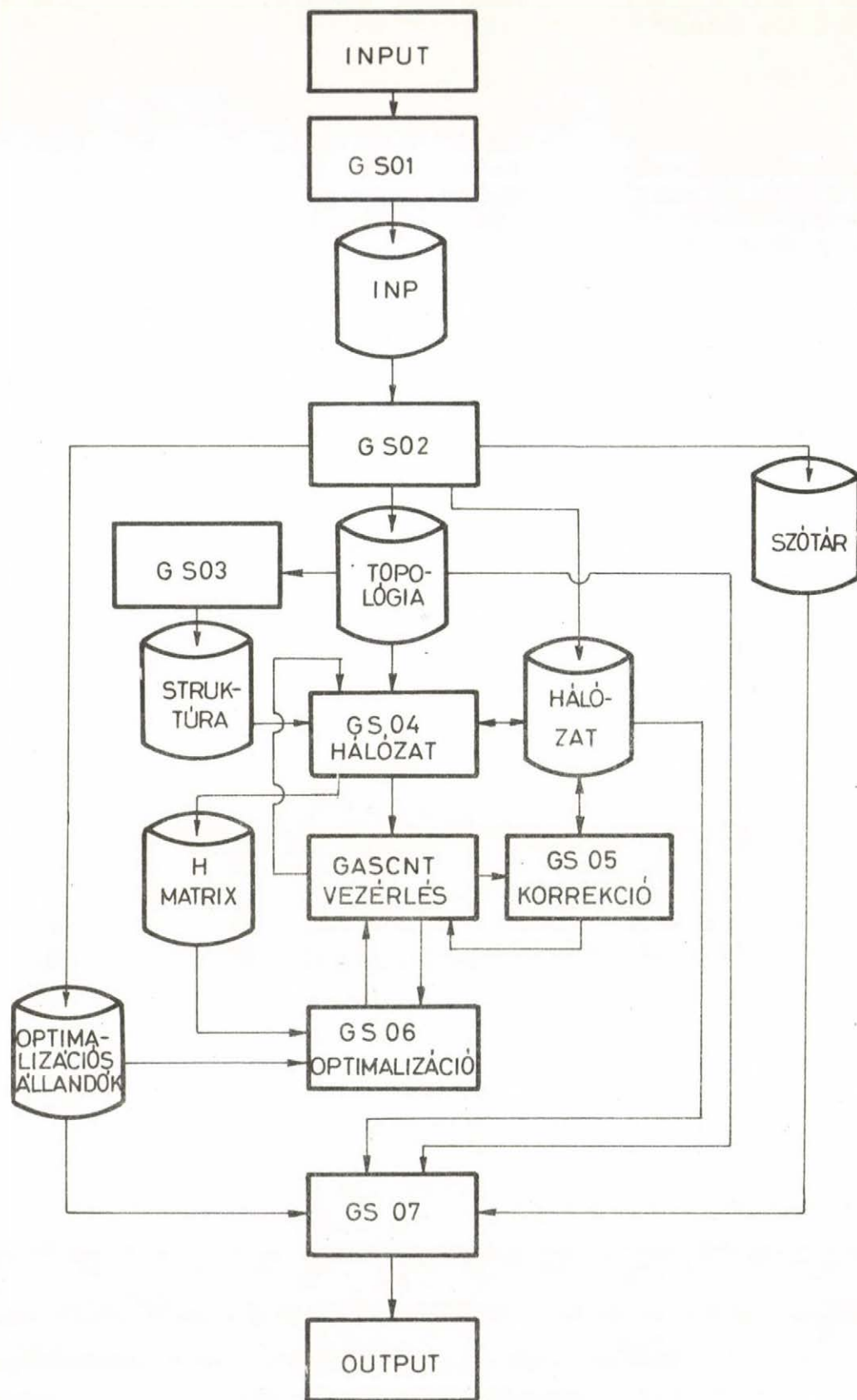
8/ GS07

Kiíró program, mely a bejövő adatokat és a számítás eredményeit megfelelő formába szerkeszti.

9/ GASTST

Ez a rendszer teszteléséhez és hibafelderítéséhez szolgáló kiíró program, melynek segítségével a rendszer bármely adatfile-ét értelmezhető formában ki lehet írni.

Az OPTPRESS1 programrendszer folyamatábráját illetően lásd a 3.1. ábrát.



3.1. ábra.

OPTPRESS 1. programrendszer folyamatábrája.

3.2. A file-ok ismertetése

Az OPTPRESS1 rendszer a következő file-okat tartalmazza:

- 1/ "TOPOLÓGIA"-file
- 2/ "HÁLÓZATI"-file és "H-MÁTRIX"-file
- 3/ "SZÁRMAZTATOTT STRUKTURA"-file
- 4/ "OPTIMALIZÁCIÓS ÁLLANDÓK"-file-ja
- 5/ "SZÓTÁR"-file

A file-ek a következő tulajdonságokkal rendelkeznek:

- a/ diszken helyezkednek el
- b/ kihasználják a CDCM FORTRAN azon tulajdonságát, hogy tetszőleges részük átírható
- c/ egységesen felépített rekordokból állnak.

A rekordszerkezet a következő:

n	Adat1, Adat2,.....,Adatn
---	--------------------------

A rekordok olvasása:

READ/FILE/ N, /ADAT /i/, i = 1,N/

"UNFORMATED READ"

utasítással történhet.

A file-ok vagy csak "integer", illetve csak "real" típusu adatmezőket tartalmaznak. Kivétel egyetlen file, a topológia-file első rekordja, melynek adatrésze első felében egész, második részében real adatokat tartalmaz.

A file-ok végét a standard EOF blokk jelzi. Bizonyos file-ok utolsó rekordja az egyetlen /egész/ 0-ból álló

1	0
---	---

 rekord. Ezeket a tesztelés lebonyolításának meg-

könnyítésére használjuk. Jelentésük:

"nincs többé valódi rekord a file-on".

3.2.2. "TOPOLOGIA" -file

A file 3 rekordból áll:

- 1/ a feladatot definiáló rekordból
- 2/ az ág-csomópont táblázatból
- 3/ a hurok-ág listából

3.2.2.1. A feladatot definiáló rekord a következő alakkal bír:

NCONST = 13 a rekord elem-darabszáma

N

.
.

.

.

.

/a konstansok részletezése a GS02 program leírásánál található/

3.2.2.2. Ág-csomópont táblázat

Ez egy két-dimenziós táblázat, ahol a sorindex az ág-sorszámával azonos, az 1. oszlop az illető irányított ág kezdő csomópontszámát, a 2. oszlop a végcsomópont számát tartalmazza. Az ág-csomópont táblázat a file-on sorfolytonosan kiterítve kerül tárolásra.

1. ág	ból	ba
2. ág	ból	ba
	⋮	
	⋮	
	⋮	
NB. ág	ból	ba

2 * NB	ból ₁	ba ₁	ból ₂	ba ₂	...	ból _{NB}	ba _{NB}
--------	------------------	-----------------	------------------	-----------------	-----	-------------------	------------------

3.2.2.3. Hurok-ág lista

lista hossz	Db ₁	ág ₁₁	...	ág _{1Db₁}	Db ₂	...	Db _{NL}	ág _{NL1}	...	ág _{NLDb_{NL}}
	1. hurok				2. hurok		NL. hurok			

A lista huroksorrendben tartalmazza a hurokhoz tartozó ágakat. Az ágsorszámok abszolút értékben növekvő sorrendben vannak tárolva.

Előjelük pozitív, amennyiben irányuk a hurok körüljárási irányával megegyezik, negatív, amennyiben ellenkező. A hidág az utolsó ág a hurokban és előjele per definitionem pozitív.

3.2.3. "HÁLÓZATI"-file és "H-MÁTRIX"-file

A két file-t két fizikai file-ban valósítottuk meg. Az első három rekordból áll, mégpedig:

- 1/ az ágáramok vektorából
- 2/ az ágellenállások vektorából
- 3/ a hurok-feszültségesések vektorából.

A második file $(2+N_{\beta})$ számú rekordból áll:

- 1/ a közelítő csomóponti nyomások vektorából
- 2/ az ág-forrás nyomások vektorából
- 3/ a csomóponti nyomások vektorából
- 4/ az optimalizációs mátrixból soronként tárolva összesen N_{β} számú rekord.

Az utóbbi file 2-rekordja logikailag a hálózati file-hoz tartozik, de technikai okokból ebben a felépítésben valósítottuk meg.

3.2.3.1. Ágáram vektor

NB	Q_1	Q_2	Q_{NB}
----	-------	-------	-------	----------

3.2.3.2. Ág-ellenállás vektor

NB	R_1	R_2	R_{NB}
----	-------	-------	-------	----------

3.2.3.3. Hurok-feszültségesek vektora

NL	PL ₁	PL ₂	PL _{NL}
----	-----------------	-----------------	-------	------------------

ahol $PL_k = \sum_i P_i$ $i =$ a k -adik hurok ágai
 $P_i =$ az ágak előjeles nyomás-
 esései,

és $P_i = R_i Q_i^2$

3.2.3.4. Közelítő csomóponti nyomások vektora

NN	P _{α1}	P _{α2}	...	P _{αN}	P _{β1}	P _{β2}	...	P _{βNB}	-
----	-----------------	-----------------	-----	-----------------	-----------------	-----------------	-----	------------------	---

nak elemei- attól függően, hogy a számítások melyik fázisáról van szó, a következők:

a/ a GS04 első futása előtt

$P_{\alpha i}$ $i = 1, 2, \dots, N_{\alpha}$

$P_{\beta j}$ $j = 1, 2, \dots, N_{\beta}$

ahol a P_{α} -k elsődleges induló /közelítő/ értékek, a P_{β} -k nullák.

b/ A GS04 k -adik futása után, de a GS05 k -adik futása előtt a közelítő csomóponti nyomások vektora a hálózati egyenleteket kielégítő

$P_{\alpha i}$ $i = 1, 2, \dots, N_{\alpha}$

$P_{\beta j}$ $j = 1, 2, \dots, N_{\beta}$

elemekből áll. A hálózatszámítás szempontjából a P_{α} -k a rögzített független változók, P_{β} -k a számítandó függő változók.

c/ a GS05 k -adik futása után, de a GS04 $(k+1)$ -edik futása előtt a közelítő csomóponti nyomások vektora a lineáris optimalizáció célfüggvényének és korlátozó feltételeinek engedtevé

$$P_{\alpha i} \quad i = 1, 2, \dots, N_{\alpha}$$

$$P_{\beta j} \quad j = 1, 2, \dots, N_{\beta}$$

elemekből áll. P_{α} -k az optimalizáció független változói. /A P_{β} -kat P_{α} -kból számítottuk ki./

3.2.3.5. Ág-forrásnyomás-vektor

NB	PBR ₁	PBR ₂	PBR _{NB}
----	------------------	------------------	-------	-------------------

ahol $PBR_i = (H_l - H_k)C$

ahol k az ág kezdő csomópontjainak sorszáma,
l a végcsomópontjának sorszáma,

H_i az i-edik csomópont tengerszint feletti-
magassága,

C fizikai állandó.

3.2.3.6. Csomóponti nyomások vektora

NN	$P_{\alpha 1}$	$P_{\alpha 2}$	$P_{\beta NB}$	-nek
----	----------------	----------------	-------	----------------	------

elemei -attól függően, hogy a számítási menet melyik fázisáról van szó, - a következők:

- a/ GSO4 első futása előtt a vektor elemei megegyeznek a 3.2.3.4. a esettel,
- b/ amennyiben a max. korrekció $\geq \text{eps2}$, a vektor elemei megegyeznek a 3.2.3.4.b esettel,
- c/ az utolsó korrekciónál /max. korrekció $\leq \text{eps2}$ / az elemek megegyeznek a 3.2.3.6.b esettel.

3.2.3.7. Optimalizációs mátrix /sorvektorokként/

N_{α}	H_{i1}	H_{i2}	$H_{iN_{\beta}}$
--------------	----------	----------	-------	------------------

$i = 1, 2, \dots, N_{\beta}$

ahol

$$\underline{\underline{H}} = \underline{\underline{W}} = \left[\frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p}'_{\beta}} \right]^{-1} \left[\frac{\partial \underline{G}}{\partial \underline{p}'_{\alpha}} \right]$$

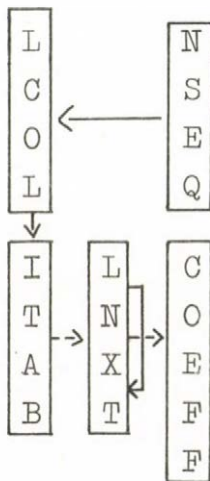
lásd a 2. fejezet /2.101/ kifejezését.

3.2.4. "SZÁRMAZTATOTT STRUKTURA"-file

3.2.4.1. Ritka mátrixok ábrázolása

A "SZÁRMAZTATOTT STUKTURA"-file létrehozását a mátrix-operációkhoz használt "sparse-technika" indokolja. Az általunk választott algoritmus az invertálandó mátrix ábrázolását az alábbi módon végzi [2].

A mátrix nem 0 elemeit egy COEFF vektorban tároljuk.



Egy mátrix-elem (COEFF(i)) sorindexét az ITAB(i) tartalmazza. LNXT(i) egy olyan LNXT-re /és ezzel együtt ITAB-ra és COEFF-re/ vonatkozó indexet tartalmaz, mely ugyanannak az oszlopnak a következő nem-nulla elemét mutatja COEFF-ban. Az LNXT(i) nulla értéke azt jelenti, hogy az oszlopban további nem-nulla elem nincs.

Hogy egy-egy oszlop melyik ITAB /LNXT, COEFF/-beli indexnél kezdődik, azt az ICOL elemei, mint ITAB-ra /LNXT-re, COEFF-re/ vonatkozó indexek mutatják. Az LCOL/i/-szerint található oszlop sorszámát NSEQ/i/ tartalmazza. Pl.:

A	10	0	0
	20	30	0
	50	0	40

mátrix egy lehetséges ábrázolása a fenti módszerrel a következő:

LCOL		NSEQ	
5		2	
3		3	
6		1	FF = 4
4	FF	0	

ITAB	LNXT	COEFF
X	8	X
2	7	20
3	0	40
X	1	X
2	0	30
1	2	10
3	0	50
X	9	X
X	0	X

A mátrix-szal végzett műveletek során változhat a nem-nulla elemek száma, ezért az LNXT-vektor egy listája, melynek kezdőpontját FF tartalmazza, a fel nem használt /üres/ helyeket jelöli. Ezeket ábrázolás-technikai okokból a mátrix egy pszeudo /nulladik/ oszlopának tekintjük. X-el a definiálatlan elemeket jelöltük.

Valós mátrixok esetén a tároló helyigénye $2N^2$ helyett $4N_v + 2N$, ahol N a négyzetes mátrix dimenziója, N_v a nem-nulla elemek száma. Ha $4N_v + 2N < 2N^2$, a tárolási technika tárolóigény szempontjából célszerű. Ha N elég nagy

$$\text{ez az } \frac{N_v}{N^2} < \frac{1}{2} \text{ egyenlőtlenséghez vezet, azaz a}$$

sparsitás felső határa 0.5. Egész típusu mátrixoknál hasonló gondolatmenettel

$$\frac{N_v}{N^2} > \frac{1}{3} \text{ adódik.}$$

3.2.4.2. A nem-linearitások figyelembevétele

A OPTPRESS1 rendszer leglényegesebb feladata a nem-linearitások kezelése. A nem-lineáris probléma line-

áris feladatok sorozatára lesz visszavezetve. Az alkalmazott mátrixok szempontjából ez azt jelenti, hogy változatlan struktúra mellett /nem-nulla elemek helye/, a mátrixelemek értéke iterációként változik. A számítás meggyorsítása érdekében ezért célszerű a mátrixok strukturáját csak egyszer meghatározni és csak a nem-nulla mátrixelemeket újraszámítani iterációként. Ezt technikailag úgy oldottuk meg, hogy a 3.2.4.1. pont COEFF vektorjában nem az elemeket, hanem az előállításukhoz szükséges információkat tároljuk.

A jelen problémakörben elegendőnek mutatkozott a COEFF helyett egy integer típusu POINTER vektort alkalmazni, melynek elemei az alábbi jelentéssel bírnak:

- a/ $POINTER/i/ > 0$, jelentése: $POINTER/i/$ egy az eredeti mátrix /neve/ által meghatározott vektor indexe.
- b/ $POINTER/i/ = 0$, jelentése: az elem értéke nulla. Megjegyezzük, hogy a mátrixszal folytatott művelet-sorozat eredményezheti, hogy a tárolt elem értéke is nulla lesz. Hatékonyabb ezt a mátrixban benne hagyni, mint egy viszonylag időigényes algoritmussal /esetleg feleslegesen/ végigvizsgálni a mátrixot és a nullának adódó értéket az ábrázolásból kihagyni.
- c/ $POINTER/i/ < 0$, jelentése: a számításhoz több információra van szükség, és ezek egy az eredeti mátrix /neve/ által meghatározott lista $POINTER/i/$ indexü elemétől kezdődően helyezkednek el.

Az ilyen listák szerkezete a következő:

LISTA hossz	N_{e_1}	e_{e_1}	e_{e_2}	...	$e_{e_{N_{e_1}}}$...
----------------	-----------	-----------	-----------	-----	-------------------	-----

$$e = 1, 2, \dots, N_V$$

ahol N_{ℓ_i} jelenti az i -edik COEFF elemhez tartozó részlista elemeinek darabszámát, e_{ℓ_i} pedig a részlista elemeit.

3.2.4.3. A "SZÁRMAZTATOTT STRUKTURA"-file felépítése

Technikai okokból a logikai "SZÁRMAZTATOTT STRUKTURA"-file-t fizikailag két file-ban valósítottuk meg.

Az egyik file tartalmazza a hálózati egyenletrendszer mátrixát leíró rekordokat.

A másik file-ban foglal helyet

- 1/ a JG_{β} mátrixot leíró rekordsorozat, és
- 2/ a JG_{α} mátrixot leíró rekordsorozat /ebben a sorrendben/.

3.2.4.3.1. A hálózati egyenletrendszer mátrixát leíró rekordsorozat a következő rekordokból áll /sorrendben/:

- a/ Lista rekord 3.2.4.2/c-nek megfelelően
- b/ POINTER rekord.

Megjegyezzük, hogy mivel itt minden mátrixelemhez lista tartozik, a kiértékelés gyorsítása miatt a pointer rekord elemei pozitívak - ellentétben a 3.2.4.2/c-vel.

- c/ LCOL rekord
- d/ NSEQ rekord
- e/ ITAB rekord
- f/ LNXT rekord.

3.2.4.3.2. A JG_{β} mátrixot leíró rekordsorozat a következő rekordokból áll /sorrendben/:

- a/ Lista rekord 3.2.4.2./c-nek megfelelően
- b/ POINTER rekord 3.2.4.2.-nek megfelelően
- c/ LCOL rekord
- d/ NSEQ rekord
- e/ ITAB rekord
- f/ LNXT rekord.

3.2.4.3.3. A JG_α mátrixot leíró rekord, mivel csak egyetlen mátrix-mátrix szorzásban vesz részt, ezen szorzásnak legmegfelelőbb formában tárolódik

Lista hossz	Db_i	SORIND il	POINTER il
----------------	--------	--------------	---------------	-------

$$i = 1, 2, \dots, N_\alpha$$

ahol a listahossz a teljes rekordhossz

D_{bj} a j-edik oszlopban a nem-nulla elemek száma

$SORIND_{ji}$ a j-edik oszlopban az i-edik nem-nulla elem sorindexe

$POINTER_{ji}$ a mátrix eleméhez tartozó pointer 3.2.4.2/a-nak megfelelően.

3.2.5. "OPTIMALIZÁLÁSI ÁLLANDÓK"-file

Ez a file az optimalizálási feladat definiálásához szükséges állandó mennyiségeket tartalmazza.

Ezek:

3.2.5.1. Célfüggvény-együttható M vektor

NN	$M_1,$	$M_2,$,	M_{NN}
----	--------	--------	--------	----------

3.2.5.2. Csomóponti változók alsó korlátjainak vektora

NN	$PMIN_1,$	$PMIN_2,$,	$PMIN_{NN}$
----	-----------	------------------	-------------

3.2.5.3. Csomóponti változók felső korlátjainak vektora

NN	$PMAX_1,$	$PMAX_2,$,	$PMAX_{NN}$
----	-----------	------------------	-------------

Ezt a vektort jelenlegi feladatainknál még nem használjuk.

3.2.6. "SZÓTÁR"-file

A file a végső eredmények kiiratásához szükséges transzformációs tömböket /pointereket/ és az informatív adatokat tartalmazza. Mivel ezeknek csak programozástechnikai jelentősége van, részletezésük a file előállítását végző GS02 program leírásánál történik.

3.3. Az OPTPRESS1 programrendszer működése

A folyamatábra értelmezése

Az OPOPRESS1 programrendszer működését a 3.1. folyamatábra szemlélteti. Az egyes programok részletes leírását illetően lásd a 4. fejezetet.

A GS01 program indításával megtörténik az adatok beolvasása, rendezése és a fakiválasztás. Továbbá megtörténik a GS02 számára a szükséges eredményekmunka-file-on való tárolása; ez képezi a GS02 inputját.

A GS02 program készíti el az állandó file-ok rekordjainak tulnyomó részét /topológiai-file, optimalizációs állandók file, szótár-file, hálózati-file/.

A GS03 program inputként a topológia-file adatait használja. Ezek birtokában elkészíti a hálózati egyenletrendszer megoldásához szükséges struktura-file-t. A GS03 futása után az összes definiált file előáll. Mivel az első három program egy futtatáson belül csak egyszer /ebben a sorrendben/ szerepel, ezért úgy tekintjük, hogy a feladat első része ezzel befejeződik.

Ezután a GASCNT vezérlő program kezdi meg működését. Ez felváltva hívja:

- a/ A GS04 hálózatszámító programot, amely minden futásnál újra értékeli és file-ra írja a H mátrixot, valamint kiszámítja a P csomóponti nyomásvektort,

- b/ a GS06 programot, amely az új H mátrix felhasználásával elvégzi az optimalizációt,
- c/ a GS05 programot, mely az egyes menetekben nyert P vektorok összehasonlítását végzi és a STATUS korrekcióit módosítja.

A GASCNT program futása befejeződik, ha a kapott megoldások a feltételeket kielégítik, vagy ha a megengedett maximális számú iteráció számot eléri. Ekkor a végeredmények a file-okon tárolódnak, és a GS07 kiíró program azokat megfelelő formában listán közli.

3.4. Alkalmazási példa

A 3.2. ábrán egy 12 ágból és 10 csomópontból álló kis hálózat látható. A hálózat valódi ágainak száma 9. A nyomásforrást tartalmazó α -pontokat ún. pseudo-ágak kötik össze a bázisponttal /11 és 12-es ág/. A bázispont / ① / elé rajzolt fiktív ágnak csak programozástechnikai jelentősége van, minden adatmagadásnál ez kell, hogy legyen az első ág.

Adatmegadás

A program futtatásához szükséges input adatok megadása kártyán történik. Az adatok 6 különböző formátum szerint vannak csoportosítva, ezek részletes leírását illetően a GS01 adatbeolvasó program részletes adatmegadási leírására utalunk /4.2. fejezet/. A sorrend megfelel az ottaninak.

Az adatkártyák tartalma:

1/	TEST1 = 1	
	TEST2 = 1	kiírásokat vezérelnek
	TEST3 = 1	
2/	MSZ = 341	munkaszám
	N5 = 0	/nincs adatmódosítás/

ITMAX = 3 max. iterációszám
FS = 0.78 gázfajsúly
PB = 10000.0 bázisnyomás
EPS1 = 3.5 N.-R. eljárás hibahatára
EPS2 = 20.0 optimalizálási paraméter
PBAL = 10500.0 a csomóponti nyomások alsó korlátja
STATUS= 30. optimalizálási változó kezdeti értéke

3/ A csőadatok:

ágszám	hossz/m	átmérő/dm	CS1	CS2	terhelés nm ³ /h
* 1	0	10.	1	1	0.
2	500.	4.0	2	10	300.
3	500.	3.0	2	3	100.
4	500.	2.0	10	4	50.
5	500.	2.5	2	5	200.
6	500.	2.0	3	6	500.
7	500.	2.0	10	7	200.
8	500.	1.0	2	8	0.
9	500.	1.5	3	9	100.
10	500.	1.0	5	6	150
9999	adatszoport lezáró kártya				

4/ pont jelen esetben kimarad

5/ P2 = 9 } α -tipusu csomópontok
P2 = 5 } megadása

P2 = 7777 adatszoport lezáró kártya

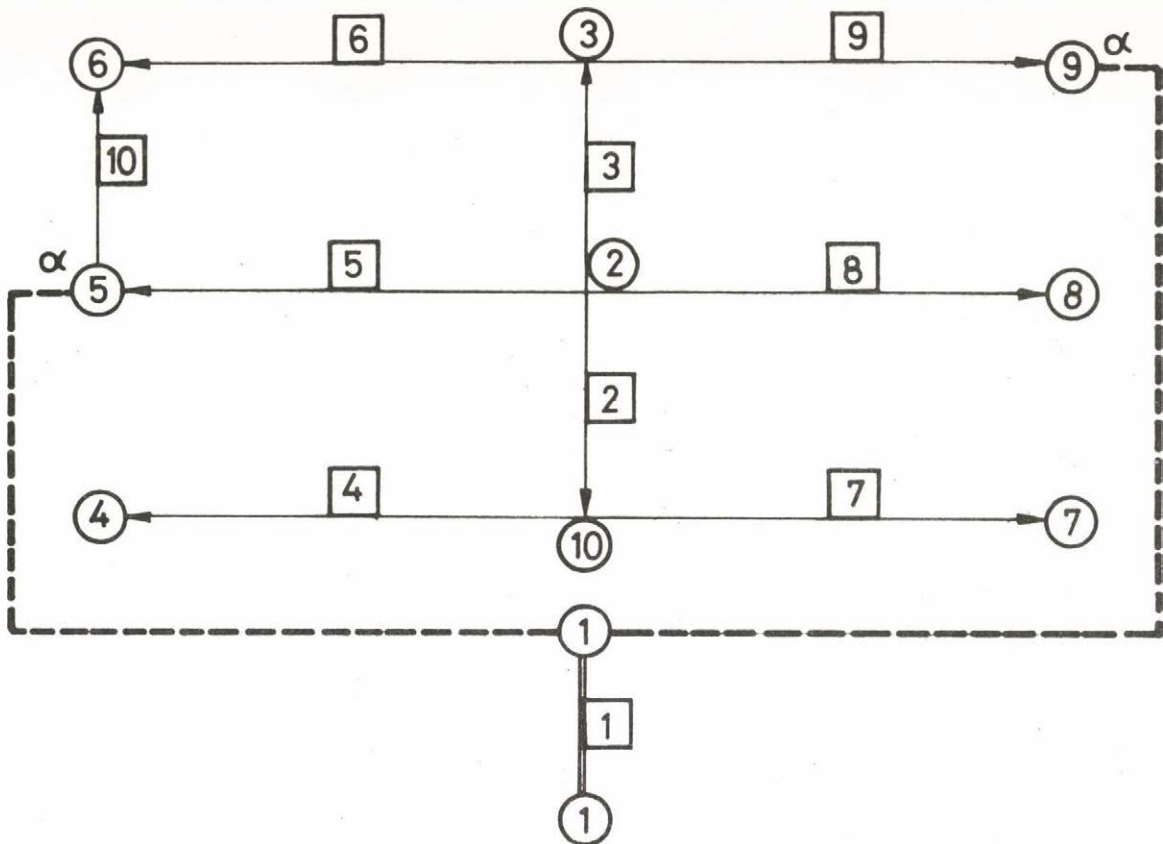
6/ Csomóponti adatok:

* Minden adatmegadásnál így definiálhatjuk az 1-es csövet.

Csomópontszám	csomóponti nyomás	geod.mag. m	nyomás felső korlát
1	-	100.	-
2	-	150.	-
3	-	160.	-
4	-	150.	-
5	11300.	140.	-
6	-	200.	-
7	-	170.	-
8	-	160.	-
9	12080.	180.	-
10	-	150.	-
22222	adatsoport lezáró kártya		

Irodalom a 3. fejezethez

- [1] CONTROL-DATA 3170/3300/3500
COMPUTER SYSTEMS. MASTER VERSION 3. Reference Manual.
- [2] Zollenkopf, K.: Bifactorization - Basic Computational
Algorithm and Programming Techniques. Conf. of Large
Sparse Sets of Linear Equations, Oxford, 1970.



○ -ben a csomópontok sorszáma

□ -ban az ágak bemenő sorszámai

--- pszeudo-ág.

— a bázispontot megelőző fiktív ág

3.2. ábra.
Alkalmazási példa.

4. A OPTPRESS1 rendszer programjainak részletes leírásai

4.1. Bevezetés

Az alábbiakban a OPTPRESS1 rendszer programjai részletes leírását és a programdokumentációkat adjuk.

4.2. GS01: az OPTPRESS1 programrendszer adatelőkészítő programja /FORTRAN/

4.2.1. Rövid ismertetés

A GS01 program a hálózat fizikai elemeinek /csöveinek/ jellemző adatait mint input adatokat kapja, ezeket részben feldolgozza, részben a további programok céljainak megfelelő módon tárolja. Az adatok feldolgozása során először a csövek ellenállását számítja ki, majd a csöveket ellenállásuk nagyságának növekvő sorrendjében rendezi el, és az így kialakult hely/ezés/ szerepel a továbbiakban belső hivatkozási számként.

A hálózatot reprezentáló gráfot az egyes csövek csatlakozási pontjainak /csomópontok/ megadásával jellemezzük. /lásd Adatmegadás/. Ebből a gráfból a program optimális fát választ ki, azaz a csöveket faágakra és hidágakra osztja oly módon, hogy a hidágak ellenállása a lehető legnagyobb legyen. Ez azért lényeges, mert lehetővé teszi, hogy a kezdeti értékekre a konvergenciát gyorsító, jó közelítést adjunk meg. Az így kiválasztott fában ugyanis az ágáramok szükséges kezdeti értékeit igen jól tudjuk közelíteni a bemenő adatként megadott ágterhelésekkel, illetve az azokból számított ágáramokkal, mivel azokat a hidágakban folyó kis áramértékek nem nagyon befolyásolják.

A program ideiglenes munka-file-okat és állandó disk-file-okat egyaránt használt az adatfeldolgozáshoz, illetve tároláshoz.

4.2.2. Adatrendszer és adatmegadás

Az adatokat a kártyán, a jelölt formátum szerint, az adott sorrendben adjuk meg.

1/ TEST1, TEST2, TEST3 /3I5/

Ezek a változók a felhasználók számára érdektelen, csak a programozó számára érdekes részeredmények kiiratására szolgálnak, a következő értékadás szerint:

$$\text{TEST1} = \begin{cases} 1 & \text{INDUL rutin után kiir} \\ 0 & \text{INDUL rutin után nem ir ki} \end{cases}$$
$$\text{TEST2} = \begin{cases} 1 & \text{GRAAF rutin után kiir} \\ 0 & \text{GRAAF rutin után nem ir ki} \end{cases}$$
$$\text{TEST3} = \begin{cases} 1 & \text{HURKOK rutin után kiir} \\ 0 & \text{HURKOK rutin után nem ir ki} \end{cases}$$

Normál esetben tehát egy üres kártya betevése szükséges csak.

2/ MSZ, N5, ITMAX, FS, PB, EPS1, EPS2, PBAL, STATUS /3I5, 6F10.5/

MSZ legfeljebb 5 számjegyből álló munkaszám

$$\text{N5} \begin{cases} 0, & \text{ha új adatrendszert dolgoz fel} \\ 1, & \text{ha valamely meglévő adatrendszer adatain} \\ & \text{módosítani akarunk.} \end{cases}$$

ITMAX az optimalizáló GSO6 program hívásának megengedett max.száma

FS fajsúly

pB bázisnyomás

EPS1 a nem-lineáris hálózatszámító Newton-Raphson eljárással nyert eredmény pontossága

EPS2 optimalizálás pontossága

PBAL a β -tipusu csomópontok nyomására megadott alsó korlát /amelyet csomópontonként a tengersizint feletti magasság módosít/.

STATUS

Csőenként a következő adatok:

3/ I, X, D, P1, P2, T /I5, 2F10.5, 2I5, 2F10.5/

ahol

I csősorszám, tetszőleges, max. 5 számjegy

X csőhossz/m

D csőátmérő/dm

P1 cső egyik végpont

P2 cső másik végpont

T ágterhelés $\text{nm}^3/\text{óra}$

Az első cső-kártya programozástechnikai okokból mindig egyforma, fix adatokkal, ezek:

I = 1

X = 0.

D = 10

P1 = 1

P2 = 1

T = 0.

és az 1-es pont mindig a bázispont. Ez után következnek a többiek, ahogy előírtuk, majd az utolsó cső adatai, illetve kártyája után egy olyan kártya jön, ahol csak I-t adjuk meg, 9999 értékkel. Ez jelzi a programnak, hogy a csőadatok elfogytak. A csöveket automatikusan megszámlálja, és ezt a számot /N/ a számolás során felhasználja.

A 2/ pontban beolvasott N5 változó értékének megfelelően, N5 = 0 esetén az adatmegadást az 5./ ponttal kell folytatni. N5 = 1 esetén, egy már meglévő adatrendszer csöveinek tetszés szerinti adatát módosíthatjuk, ha minden módosítandó csőhöz megadunk egy kártyát, ugyanugy, mint a 3/ pontnál:

4/ I, X, D, P1, P2, T /I5, 2F10.5, 2I5, 2F10.5/

ahol a változók jelentése is természetesen ugyanaz. Ennél a pontnál az alapadatokhoz képest teljesen új csöveket is definiálhatunk; ebben az esetben a program a cső darabszámot tartalmazó változó értékét, N-et is növeli.

Ezt a pontot az I = 8888 számot tartalmazó kártya zárja le. Az eddig a pontig bevitt csövek darabszámát egy NIG nevű változóban tároljuk.

Abban az esetben, ha a hálózat bizonyos kitüntetett /a továbbiakban alfának nevezett/ csomópontjaiban nyomásforrások vannak elhelyezve, ezeknek a csomópontoknak a sorszámát /mindegyiket külön kártyán/ meg kell adni /ez 4-5 kártya csupán/:

5/ P2 /I5/

A P2 pontokat, mint csővégpontokat tekintve, a program a bázisponttól azokba irányuló ún. pszeudo-ágakat képez, amelyekhez a további adatokat /hossz, átmérő, terhelés/ hozzárendeli. Ennek csupán számítástechnikai jelentősége van.

Az utolsó alfa-pont után /P2 =/7777 számot tartalmazó kártya következik.

A pszeudo-csövek darabszáma az N változó értékét megnöveli.

Mint ismeretes, a csomópontokat három típusba soroljuk: Az előbbi alfa-pontokon kívül beszélünk még béta-pontokról /amelyekben nincs nyomásforrás/ és bázispontokról, amely sem alfa, sem béta típusú. Típusonként a következő adatokat adhatjuk meg:

- a/ bázispontban /mindig az l-es/ tengerszint feletti magasság
- b/ alfa-pontban nyomást és tengerszint feletti magasság
- c/ béta-pontban tengerszint feletti magasság.

Lehetőség van nyomáskorlátok megadására pontonként is, de ez jelenleg még nem szükséges.

A megadás módja:

6/ J1, PN, PA, PF /I5, 3F10.5/

ahol

J1 a csomópont száma

PN a csomóponti nyomás

PA a csomópont tengerszint feletti magassága

PF a csomópontban elérhető nyomás felső korlátja
/még nem használjuk/.

A nem kívánt adat helyét üresen hagyjuk.

A csomópont sorszáma 1 és 2000 közé eső tetszőleges szám lehet, egy adatrendszeren belül sem kell a sorszámoknak egymást szukcessziven követniük. Ez azért előnyös, mert lehetővé teszi, hogy a csomópontok az egyszer kapott sorszámot mindig megőrizték. Lehetőség van arra is, hogy a sorszámot egy betűkarakter előzze meg, amit majd a számolások során ignorál.

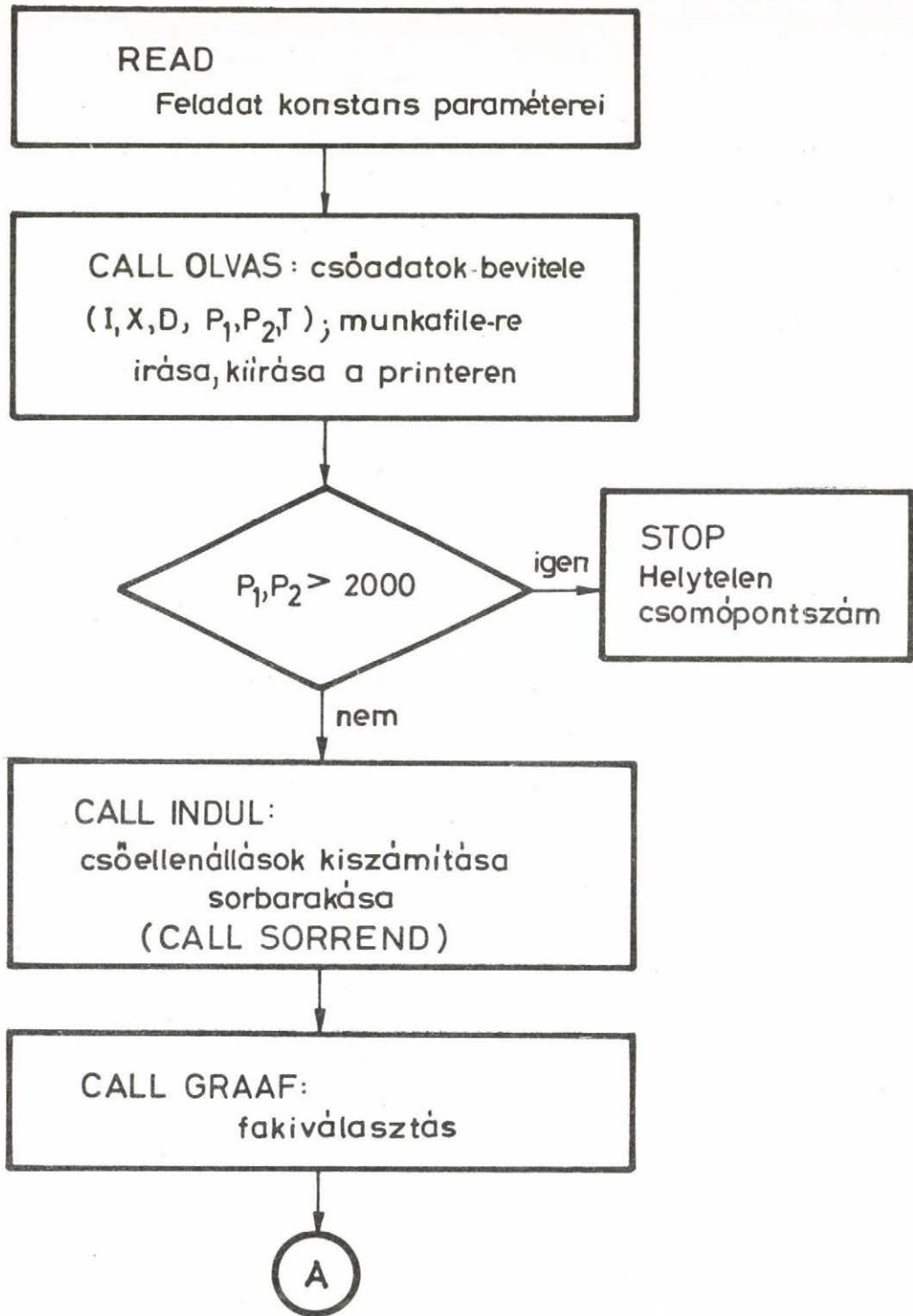
A 6/ pont adatai csak a GSO2 programban lesznek feldolgozva.

Fontos: minden csomóponthoz kell adnunk kártyát, ha más nem, de a csomópont száma legyen rajta!

/J1 =/ 22222 kártya zárja le a sort. Hibajelzést ad, ha valamelyik csomópont kimarad.

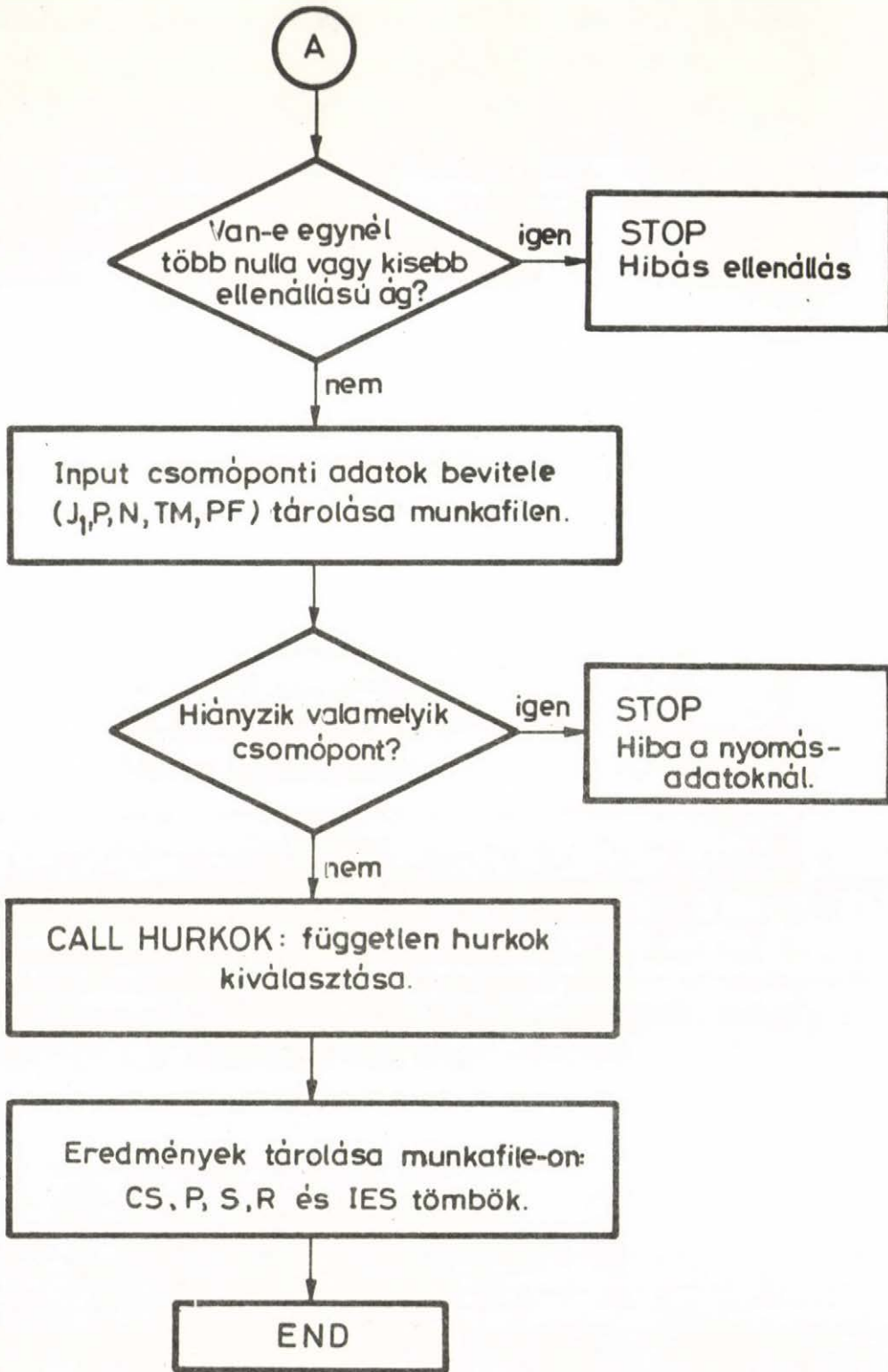
4.2.3. Programszerkezet. Működés. Blokkdiagram

A GS01 szerkezetét illetően lásd a 4.1. ábrát.



4.1. ábra.

GS01 program folyamatábrája.



4.1. ábra. (folytatás)

A program szegmentált felépítésű, a főprogram eléggé egyszerű szerkezetű, lényegében szegmensek egymás utáni hívását tartalmazza. A szubrutinok sorban elvégzik a nevükben is tükröződő részfeladatokat. A program méretei és az egyes feladatok bonyolultsága miatt optimális memóriagazdálkodásra volt szükség, amit háttérmemória felhasználásával, ekvivalenciák alkalmazásával segítettünk elő.

A program működése

A főprogram, indítása és a fejléc kiírása után /lásd Programbizonylatok/, a szubrutinokat a következő sorrendben hívja:

a/ CALL OLVAS

Bemenő paraméterek: N5, N, NIG

N5 jelzi, hogy az inputnál lesznek-e módosított csődarabok, illetve új csövek.

N a csövek száma + pszeudo-ágak száma

NIG valódi csövek száma.

Az adatrendszerrel ismertettek szerint, a 3/ - 5/ pontok adatait beolvassa, esetleg módosítja, és/vagy pszeudo ágakat képez.

Az összes ág adatát diszk-en tárolja, egyelőre még ideiglenesen munkafájl-on, csak a működési idő alatt. /dsi = 6,7, N rekord/.

b/ CALL INDUL

A fájl-ról visszaolvassa a csövek adatait rekordonként, és kiszámítja az ellenállást a következő képlet szerint:

$$i\text{-edik ág ellenállása} = \frac{H.X_i - FS.D^{-5}}{1567}$$

ahol

H a csőátmérőtől függően 0.015-0.03 közé esik,

X_i a csőhossz

FS a gázsűrűség

D a csőátmérő dm-ben

Itt történik a pszeudo-ágak ellenállásának a megadás-
sa is, amely igen kicsi, 10^{-12} - 10^{-15} nagyságrendü
lesz.

Szubrutinon belül hívja a SORREND rutint, amely a
kiszámított ellenállásokat nagyság szerint sorbarak-
ja, és az A tömbben az átrendezett ellenállásokat,
az S tömbben az átrendezett csövekhez tartozó /bemenő/
csősorszámot tárolja.

c/ CALL GRAAF

A program a legkisebb ellenállású ágból elindulva,
az elrendezett csövekből optimális fát választ ki
[1]. Ezt mindig az 1-es /bázis/ pontról kezdi, és
minden elágazásnál a kisebb ellenállású ágon meg-
y tovább. A hidágak így a megmaradó legnagyobb ellen-
állású ágak lesznek.

A kiválasztott fa ág-indexeit /belső sorszámukat/
egy vektorban /S/ tárolja, a 0-ellenállású első
pszeudo-ágot a többi ágtól /-1/ indexszel különböz-
teti meg, s ha több ilyen 0-ellenállású ágot talál,
hibajelzéssel leáll. /lásd részletesen "Hibajelzé-
sek"/.

A GRAAF rutinban a program kiszámítja a hidágak
darabszámát, ennek birtokában a csomópontok száma
automatikusan adódik. Ezért ezután a fázis után
kerül sor a 6./-os pontban leírt csomóponti adatok
beolvasására, amelyek ezután a 17-es munkafájl-on,
a csomópontok számával megegyező számú rekordban

kerülnek tárolásra.

d/ CALL HURKOK

Kiválasztja a fához tartozó független hurkok rendszerét és egy vektorban /majd diszken/ tárolja a következő séma szerint:

/1. hurok ág-db-szám, hidág₁, ág₁₁, ág₁₂, ...,

ág_{1i}, .../

/2. hurok ág-db-szám, hidág₂, ág₂₁, ..., ág_{2j}/

Az utolsó hurok után következő többelem -1 értéket kap, ez jelzi a program számára, hogy a hurkok elfogytak.

Ebben a rutinban a kiválasztott faágakat tartalmazó vektort is átalakítja kissé: a legkisebb ellenállású pseudo-ágakat a tömb elején csoportosítja.

A hurkok kiválasztása után a program a rendszer többi programja számára szükséges eredményeket tárolja a következő munkafájl-okon:

2-es: R hurokvektor tömb, IHID hidág-tömb
3-as: Cs csövek kezdőpontjai
4-es: H csövek végpontjai
5-ös: S faágak tömbje
10-es: NMAX, N, N6, FTMAX, IALFA, NIG, MSZ, PB, EPS1, EPS2

ahol

NMAX az előforduló legnagyobb csomópontszám /automatikusan kiválasztva/

ITMAX megengedett iterációs szám

IALFA nyomásforrást tartalmazó /alfa-/ pontok db-száma

NIG valódi csövek db-száma

MSZ munkaszám
PB bázisnyomás
EPS1 Newton-Raphson eljárás pontossága
EPS2 optimalizálás pontossága
STATUS

A GS01 program feladata ezzel fejeződik be.

4.2.4. Eredményközlés. Hibajelzések.

Miután a GS01 program eredményei további programok input-jaiként jelentkeznek, a printeren csupán a fejléc és a bemenő adatok kártyái kerülnek feltétel nélkül kiíratásra, az ellenőrzés megkönnyítése céljából.

Ezek /mint cső-adatok/:

ágszám, kezdő- és végcsomópont
átmérő/dm

hossz/m

ágterhelés

és mint csomóponti adatok:

csomópontszám

alfa pontokban előírt nyomás

tengerszint feletti magasság

felső korlát a nyomásértékre

Az output listán megjelenik még az α -tipusu pontok sorszáma, valamint a nyomásértékre adott alsó korlát is. A már említett TEST1, TEST2, TEST3 változóktól függően jelennek meg olyan belső részeredmények a listán, amelyek az esetleges hibák analizisét teszik lehetővé. A file-okon tárolt eredmények ugyancsak kívánság szerint kiirhatók a programrendszer GATEST nevű programjának hívásával /bővebben lásd a GATEST leírásánál/.

A program hibajelzései az esetleges helytelen adatmegadást vannak hivatva kivédeni. Ezek a következők:

- a/ az OLVAS rutinban, ha valamelyik csomópont sor-száma 2000-nél nagyobb,
- b/ abban az esetben, ha valamely ág ellenállása 0 vagy negatív /pl. véletlenül negatív szám kerül a hossz vagy átmérő megadásakor a kártyára/
- c/ ha a csomóponti adatok megadásánál valamelyik csomópont nem szerepel, azaz, ha a gráf csomópontjaival nem megegyező számú csomópont szerepel. /Vigyázat, ha pl. 10 db. csomópont van a hálózatban, azok jelzőszáma 1 és 2000 között tetszőleges lehet, de 10 db adatot még kell adni mindenképpen! lásd adatrendszer-nél./ Egyéb I/O hibák jelzése a számítógép oprációs rendszerének feladata [2] .

4.2.5. Programprotokoll

Lásd a mellékleteket.

4.3. GS02 program leírása

4.3.1. Rövid ismertetés

A GS02 program az OPTPRESS1 rendszer adatainak transzformációját végzi a hatékony hálózatszámítás céljából. A GS01 program által feldolgozott adatokon elvégzi azokat a transzformációkat, amelyek következményeképpen a 3. fejezetben leírt file-ok többsége megvalósul. Ezek: a topológia-file, hálózati file, optimalizációs file, szótár-file. Ennek során feldolgozza a GS01 programban beolvasott csomóponti adatokat is, valamint a nem-lineáris hálózatszámítást végző GS04 programnak szükséges kezdeti értékek kiszámítását is elvégzi.

4.3.2. Program-szerkezet. Működés.

A program szerkezetét illetően lásd a 4.2. ábrát.

A program az adatok transzformációját a TREE és a LOOP rutinok segítségével elvégzi. A további számításokat már az új indexek figyelembevételével végzi, ezek:

- a/ csomóponti terhelések kiszámítása a beolvasott ágterhelésekből /QN/,
- b/ csomóponti terhelésekből ágramok kezdeti értékeinek kiszámítása /Q/
- c/ a csomóponti adatok /nyomás, felső korlát, tengerszint feletti magasság/ rekordonkénti beolvasása diszkról és tömbökbe rendezése a csomópontok új sorszáma szerint
/PMIN, PMAX, RP és TM tömbök/
- d/ ág-nyomásforrások kiszámítása a csomópontok geometikus magasság-különbségéből
- e/ csomópontonként a csatlakozó ágak hosszának összegezésé /optimalizációs célfüggvény-együttható, RM/
- f/ a kiszámított ág-ellenállások átrendezése és tárolása /BK/.

A program végül állandó diszk-file-on tárolja az ilyen módon elkészített adatokat /lásd 3. fejezet, file-leírások/.

A program három szubrutint használ, ezek:

1/ SUBROUTINE TREE

A GS01 program által kiválasztott fa ágainak átrendezése úgy, hogy az a következő feltételeket kielégítse:

- a/ minden ág kezdőcsomópontja elő kell forduljon, mint egy előbbi ág végcsomópontja
- b/ un. pseudo-ágak /alfa pont és bázispont között/ a fa legkisebb indexű ágai legyenek
- c/ az így elrendezett ágak új sorszáma természetes sorrendjük, a csomópontok új száma pedig a befutó ág ezen száma lesz /vagyis az ágszám

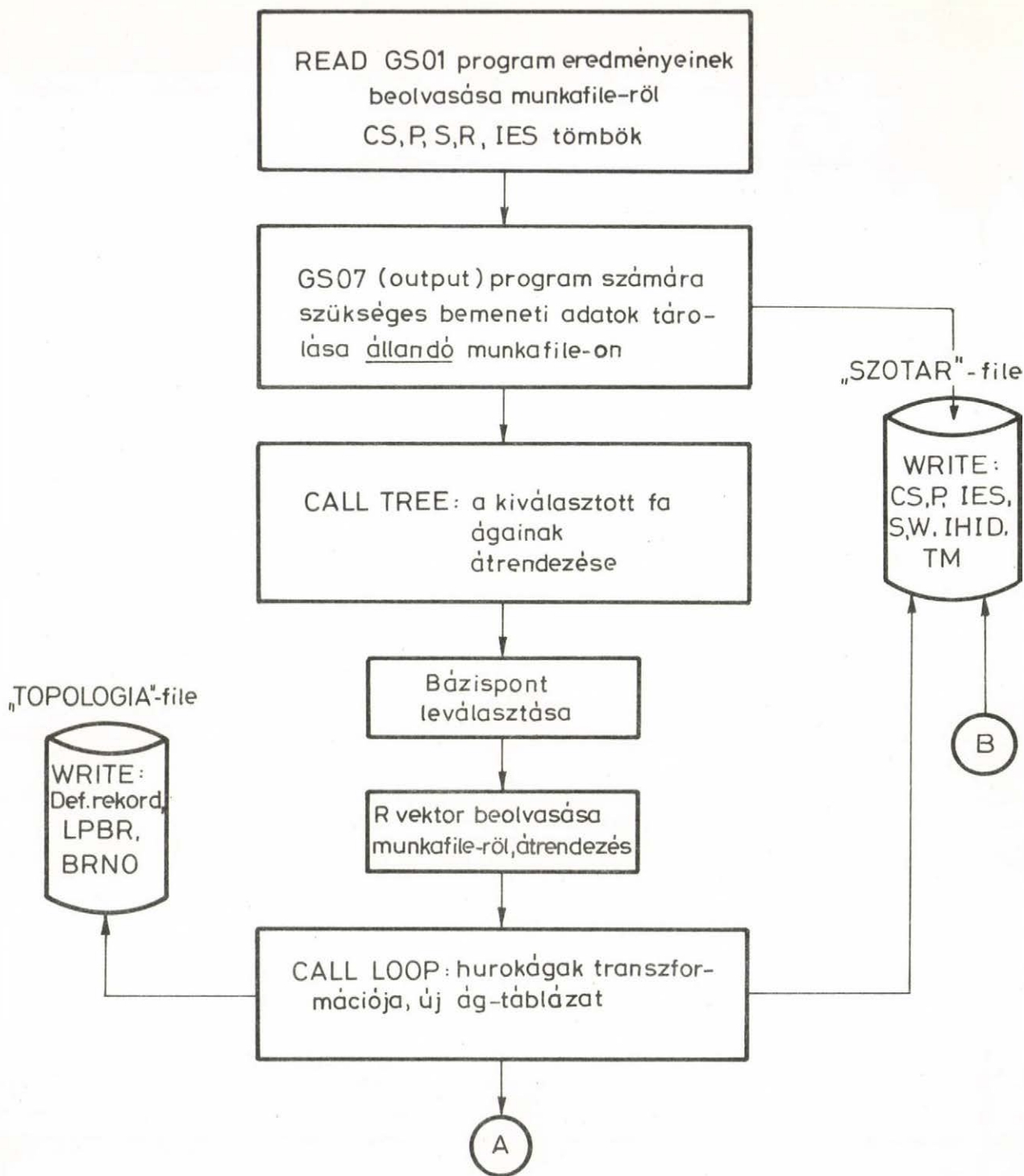
és végpontjának száma megegyezik./

2/ SUBROUTINE LOOP

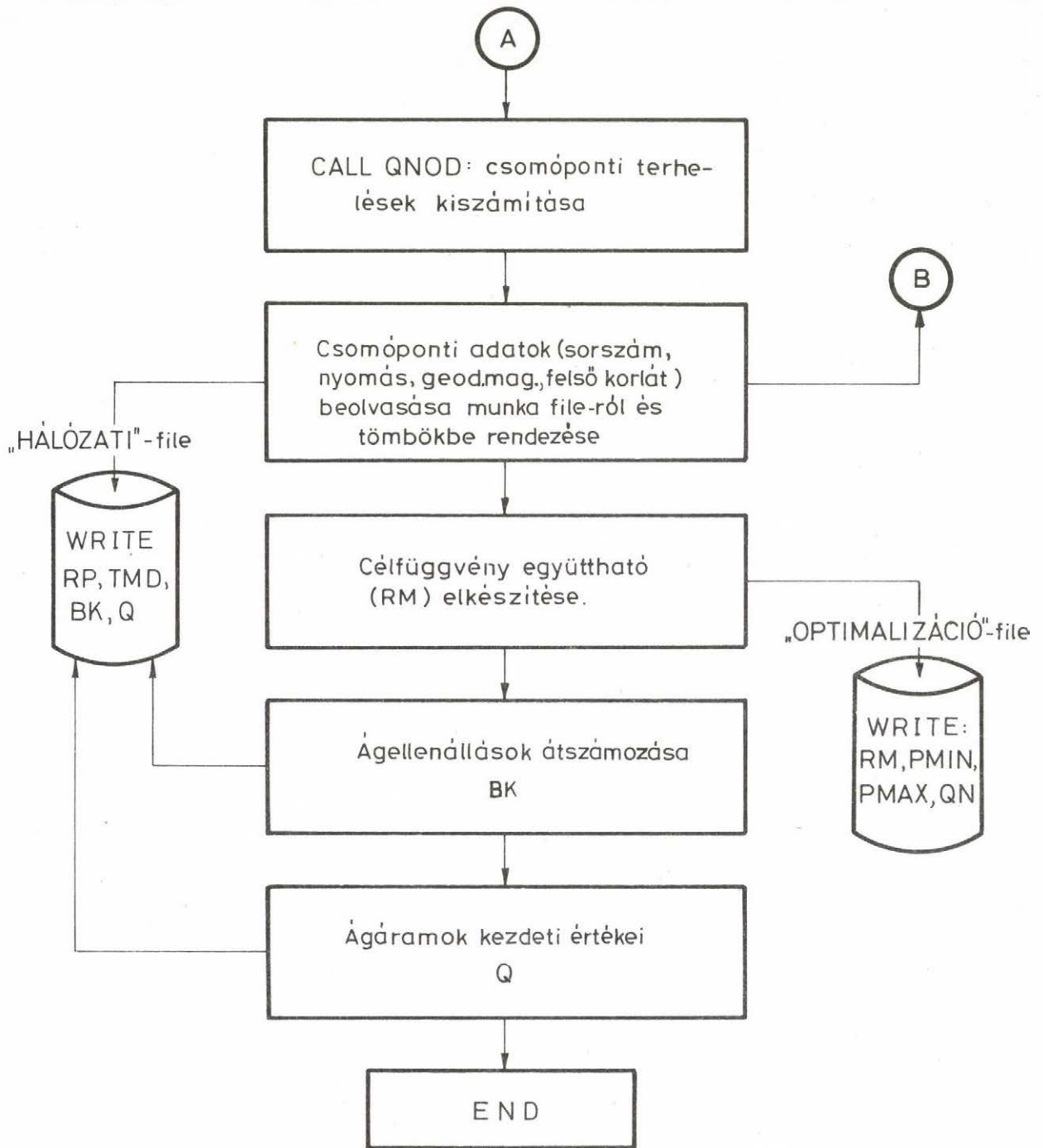
Az IBRNO ág-csomópont táblázatot /lásd 3.1.2./ és az LPBR hurok-ág listát /lásd 3.1.3./ készíti el. /lásd a blokkdiagramot a 4.2. ábrán/.

3/ SUBROUTINE QNOD

Beolvassa diszkról a GS01 program által tárolt ág-rekordokat és a megadott ágterhelésekből csomóponti terheléseket számít ki, az új csomópontszámozás szerint.



4.2. ábra.
GS02 program folyamatábrája.



4.2. ábra (folytatás)

4.3.3. A program diszk file-jei

A programban létrehozott diszk-file-ok a következők /ebben a programban még nem mindegyik tartalmazza összes rekordját/:

IFILE1: topológiai file, 3 rekord

I. feladat definiáló rekord

Elemi:

N rekordelemek száma
NN csomópontok száma
NB összes ágak száma
NL hurkok száma
NALFA alfa-pontok száma
NBETA beta-pontok száma
NBR valódi ágak száma
MSZ munkaszám
ITMAX iterációra adott korlát
STATUS konstans az optimalizáláshoz
PB bázisnyomás
EPS1 N.-R. eljárás pontossága
EPS2 optimalizációs pontossága
VESZT számított veszteség

II. ág-csomópont táblázat

/IBRNO/

III. hurok-ág lista

/LPBR/

IFILE2: hálózati file, 2 rekord

I. ágáram vektor

/Q/

II. ág-ellenállásvektor

/BK/

IFILE4: H mátrix-file, 3 rekord

I. közelítő csomóponti nyomás-vektor

/RP/

II. ág-nyomásforrás vektor

/W/

III. csomóponti nyomás-vektor

/RP/

/később lesz kitöltve/

IFILE6: Optimalizációs állandó file, 4 rekord

I.	célfüggvény együttható vektor	/RM/
II.	alsó korlát vektor	/PMIN/
III.	felső korlát vektor	/PMAX/
IV.	csomóponti terhelés vektor	/QN/

IFILE7: szótár-file, 8 rekord

I.	ágak bemeneti első csomópontja	/CS/
II.	ágak bemeneti második csomópontja	/P/
III.	kiválasztott fa ágainak sorszáma a GS01 program szerint	/IFU/
IV.	Pointer: eredeti csomópontok sorrendjében tartalmazza az új csomópontszámozást	/S/
V.	Pointer a régi és az új ágszámok között	/W/
VI.	hidágak kezdő- és végcsomópontjai	/IHID/
VII.	csomópontok tengerszint feletti magassága	/TM/
VIII.	az ágak beolvasott /input/ sorszáma	/IES/

4.3.4. Adatbevitel, eredményközlés

A program egyetlen input-kártyája az eredményközléssel kapcsolatos. Ez 7 db. változót tartalmaz, amelyek mindegyike 0 vagy 1 értéket vehet fel, és a kapott értéktől függően, átugorja vagy elvégzi bizonyos részeredmények kiírását.

Adat:

TEST0, TEST1, TEST2, TEST3, TEST4, TEST5, TEST6 /7I5/

Kiírások:

TEST.. = 0 esetén a megfelelő részt nem írja ki.

TEST ≠ 0 esetén:

CS } sorbarakott ágak eredeti csomópontjai
P }
S faágak belső sorszámai

TEST1 ≠ 0 esetén:

CS, P, S, W, IFU /index- és transzformációs tömbök/

TEST2 ≠ 0 esetén:

CS, P, S, W /módosított index- és transzformációs-tömbök/
R hurok-ág vektor átrendezett alakja

TEST3 ≠ 0 esetén:

LPBR hurok-ág lista
BRNO ág-csomópont táblázat

TEST4 ≠ 0 esetén:

Q ágáramok kezdeti értékei
QN csomóponti terhelések kezdeti értékei

TEST5 ≠ 0 esetén:

RP kezdeti nyomások
RM veszteség-fv. együtthatója

TEST6 ≠ 0 esetén:

A ellenállások sorbarakva
BK ellenállások új sorrendnek megfelelően
W pointer ágak között.

A program standard /változóktól független/ kiírásai:

Fejléc

R hurokvektor /GS01 program szerint/

Csomópontonként:

PMIN/i/ /alsó korlát/

PMAX/i/ /felső korlát/

TM/i/ /tengerszint feletti magasság/

4.3.5. Hibajelzés

"Hiba a hurokvektorban": az R vektor valamelyik eleme 0.

4.3.6. Programprotokoll

Lásd a mellékleteket.

4.4. GS03 program

4.4.1. Általános jellemzés

A program "sparse-technika" lehetőségeit kihasználva, a számításokban szereplő mátrixok strukturáját állítja elő. Ennek során létrejönnek a 3.2.4. fejezetben részletezett "SZÁRMAZTATOTT STRUKTURA"-file rekordjai, amelyeket a GS04 program a hálózatszámítás folyamán jelentkező lineáris egyenletrendszer megoldásánál használ fel [2]. Ugyancsak a Zollenkopf-módszer kívánalmi szerint képezi a JG_{β} és a JG_{α} mátrixok strukturáját leíró rekordokat, és ezeket is a "SZÁRMAZTATOTT STRUKTURA"-file-on tárolja. A Zollenkopf módszer feleslegessé teszi külön inverziós rutin alkalmazását: az ORDER algoritmust tartalmazó hasonnevi szubrutin végrehajtása után a JG_{β}^{-1} inverz mátrix az aktuális mátrixelemek behelyettesítésével egyszerűen adódik /lásd a 4.5. fejezetet/.

4.4.2. Matematikai modell

Lásd a 3.2.4. fejezetet és [2] -t.

4.4.3. Programszerkezet

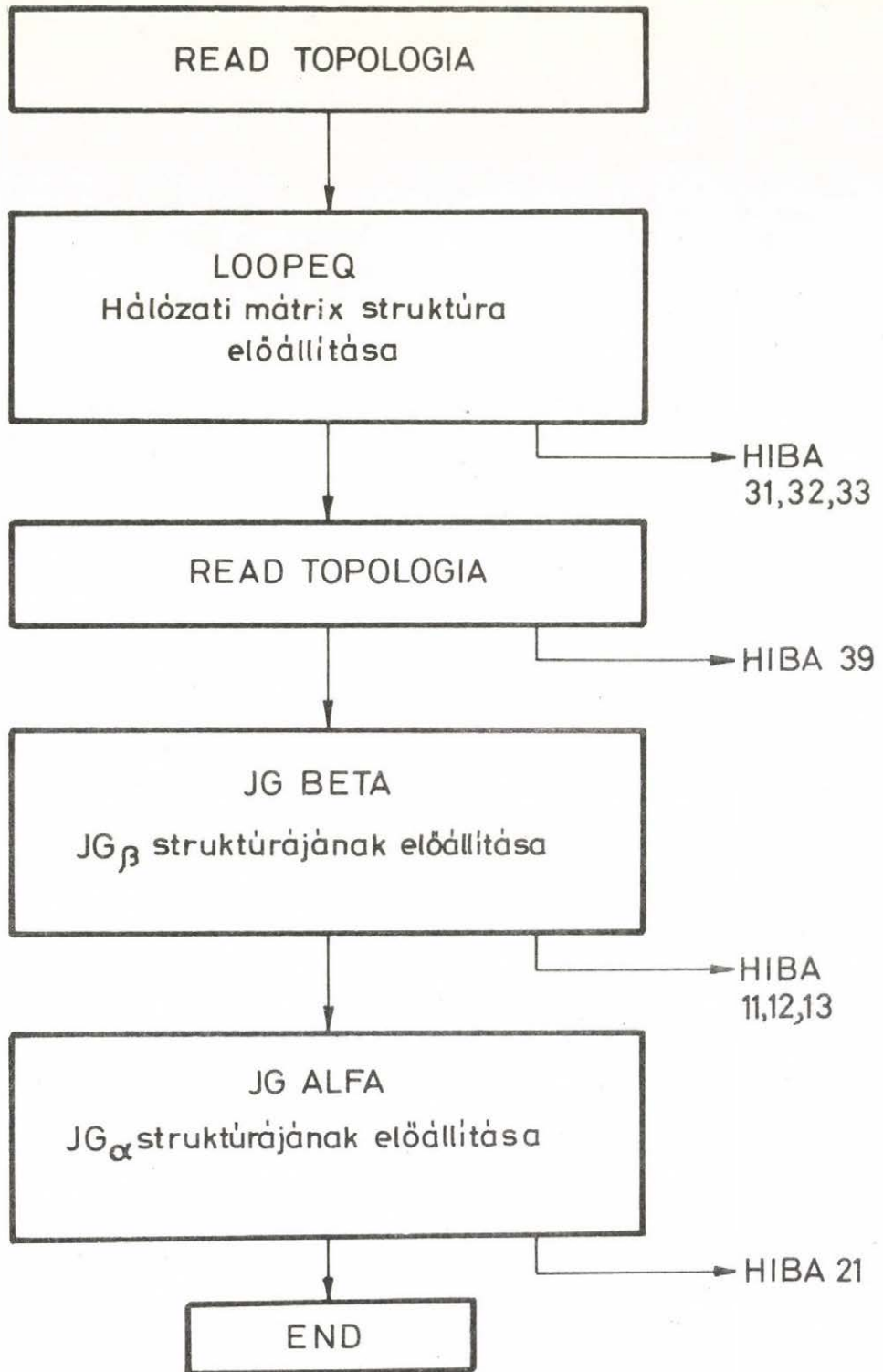
A GS03 program a megelőző számítások eredményeiből a "TOPOLÓGIA"-file adatait használja fel. A főprogram rövid három függvényeljárás hívását tartalmazza, valamint az ezekkel kapcsolatos hibajelzések kiírását.

A függvényeljárások a következők:

- a/ LOOPEQ állítja elő a hálózati együttható mátrix strukturáját, és a "SZÁRMAZTATOTT STRUKTURA" file-on tárolja.
- b/ JGBETA a JB_{β}^{-1} mátrix strukturáját leíró rekordokat állítja elő, és szintén az előbbi file-on tárolja. Felhasználja az INITZOLL vektort a tömbök kezdeti értékeinek beállítására, valamint az ORDER rutint a struktura tömbök végleges rögzítésére.
- c/ JGALFA a JG_{α} mátrix elemeinek a kiszámítását egy egyszerű algoritmus alkalmazásával végzi.

Ezek a strukturák egy feladat futtatása során nem változnak. Változnak viszont minden s-ciklusban /lásd 2.6. fejezet/ az aktuális mátrixelem értékek, melyeknek kiszámítását már nem a GS03 program végzi. Így a GS03 program futásával lezárul a feladat-megoldás első, többé nem ismétlődő része.

A GS03 szerkezetet illetően lásd a 4.3. ábrát.



4.3. ábra.
GS03 program folyamatábrája.

4.4.4. Rendszer, korlátozások

A program a standard FORTRAN IV utasításokon kívül a CDC FORTRAN PRINT utasítását használja csak.

4.4.5. Hibajelzések

11	tul sok nem-nulla elem	JG_{β}	-ban
12	JG_{β} szinguláris		
13	tul hosszú lista	}	JG_{α} -ban
21	tul sok nem-nulla elem		
31	tul sok hurok	}	hálózati mát- rixban
32	tul hosszú lista		
33	tul sok nem-nulla elem		
39	inkonzisztens topológiai file		

4.4.6. Programprotokoll

Lásd a mellékleteket.

4.5. GSO4 hálózatszámító program leírása

A program végzi a nem-lineáris hálózat numerikus megoldását és előállítja a hálózat \underline{H} mátrixát.

4.5.1. Matematikai model

A hálózatszámítás a hálózati egyenletek hurokalakját használja; lásd a 2.5. fejezetet. A /2.65/ hurokegyenlet a következőképpen írható

$$\left[\underline{C}^t \underline{Z}(q) \underline{C} \right] \underline{q}_L - \underline{P}_c = \underline{0} \quad /a/$$

ahol

$$\underline{P}_c = \underline{C}^t \underline{P} + \underline{C}^t \underline{Z}(q) \underline{Q} \quad /b/$$

A jelöléseket illetően lásd a 2.1. táblázatot. \underline{q}_L a hidágyamok, \underline{Q} az ágforrásáramok, \underline{P} az ágforrásnyomások vektora. $\underline{Z}(q)$ az ágyamoktól függő primitív impedancia-

mátrix

$$Z_{ij}(q) = \begin{cases} K_{ij} q^2 & \text{ha } i = j \\ 0 & \text{ha } i \neq j \end{cases} \quad /c/$$

A \underline{Q} esetünkben zéró. Másrészt adva van egy \underline{Q}' csomóponti forrásáramvektor. Ez a q_L hidágáramvektor értékét első közelítésben nem befolyásolja és utológason vehető figyelembe, a

$$\underline{q} = \begin{bmatrix} \underline{q}_T \\ \underline{q}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\underline{A}_T^t \right)^{-1} \underline{Q}' \\ \underline{Q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{C}_T \\ \underline{U} \end{bmatrix} \underline{q}_L \quad /d/$$

képlet szerint; /lásd a 2.75-öt/. A q_L hidágáramvektor csak annyiban függ a \underline{Q}' -től, hogy a $\underline{Z}(q)$ mátrix a \underline{Q}' -től is függ; vedd össze az /a/ és /d/ kifejezésekkel.

Mint könnyen belátható, a /d/ kifejezés jobboldali első tagja az ágakáramok közelítő értékét jelenti, amennyiben a q_L hidágáramoktól eltekinthetünk. Mint az előzőekben láttuk, megfelelő fakiválasztással biztosítottuk hogy a q_L hidágáramok a q_T faágáramokhoz viszonyítva kicsinyek legyenek. Ez lehetővé teszi a $\underline{Z}(q)$ egy viszonylag jó $\underline{Z}^{(0)}$ induló értékének számítását, mellyel az /a/ egyenlet iteratív megoldását el lehet kezdeni.

A hurokegyenlet megoldása a Newton-Raphson módszerrel történik. A $\Delta q_L^{(r+1)}$ korrekciók a

$$\Delta \underline{q}_L^{(r+1)} = - \left[\begin{array}{c|c} \underline{C}^t & \frac{\partial \underline{Z}^{(r)}}{\partial \underline{q}} \\ \hline \underline{C} & \end{array} \right]^{-1} \underline{G}_L^{(r)} \quad /e/$$

lineáris egyenletrendszerből számítódnak; $\underline{G}_L^{(r)}$ az /a/ baloldalát jelenti; lásd a /2.80/-at. Minden iterációs ciklusban újraszámítódik a

$$\underline{q}_L^{(r+1)} = \underline{q}_L^{(r)} + \underline{\Delta q}_L \quad /f/$$

hidágáramvektor, majd a /d/ és /c/ alapján \underline{q} vektor, illetve $\underline{Z}(\underline{q})$ mátrix.

A GS04 program keretében kerül kiszámításra a hálózat-optimalizáláshoz szükséges \underline{H} mátrix is. ^{*}

$$\underline{H} = \left[\frac{\partial \underline{G}_N}{\partial \underline{p}'_{\beta}} \right]^{-1} \frac{\partial \underline{G}_N}{\partial \underline{p}'_{\alpha}} = \left[\underline{J}_G \beta \right]^{-1} \underline{J}_G \alpha \quad /g/$$

lásd a /2.100/-at; a \underline{G}_N a hálózati egyenlet csomóponti alakjának

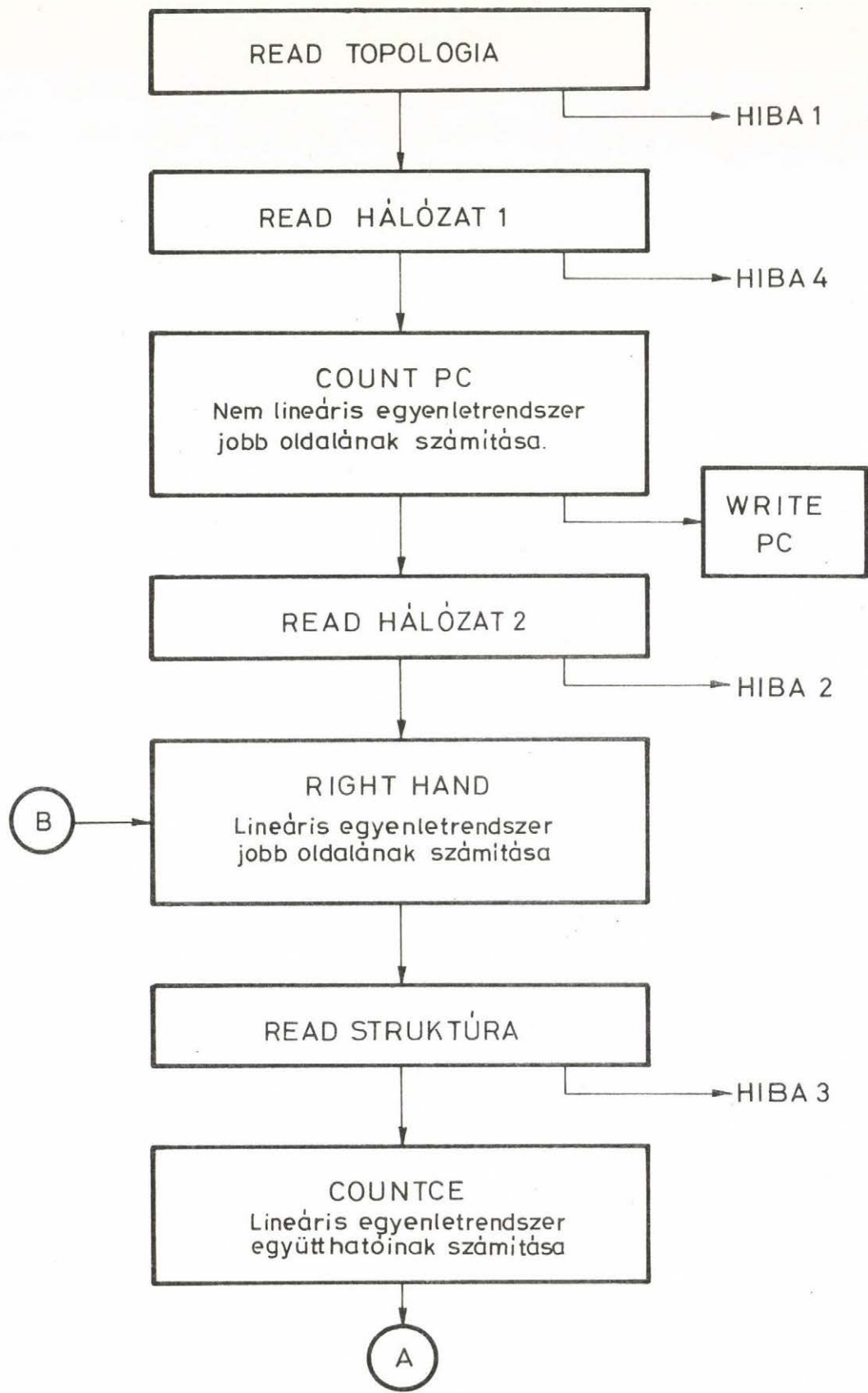
$$\left[\underline{A}^t \underline{Y}_A \right] \underline{p}' - \underline{Q}' + \underline{A} \underline{Y}_P = \underline{0} \quad /h/$$

baloldalát jelenti; lásd a /2.38/-at.

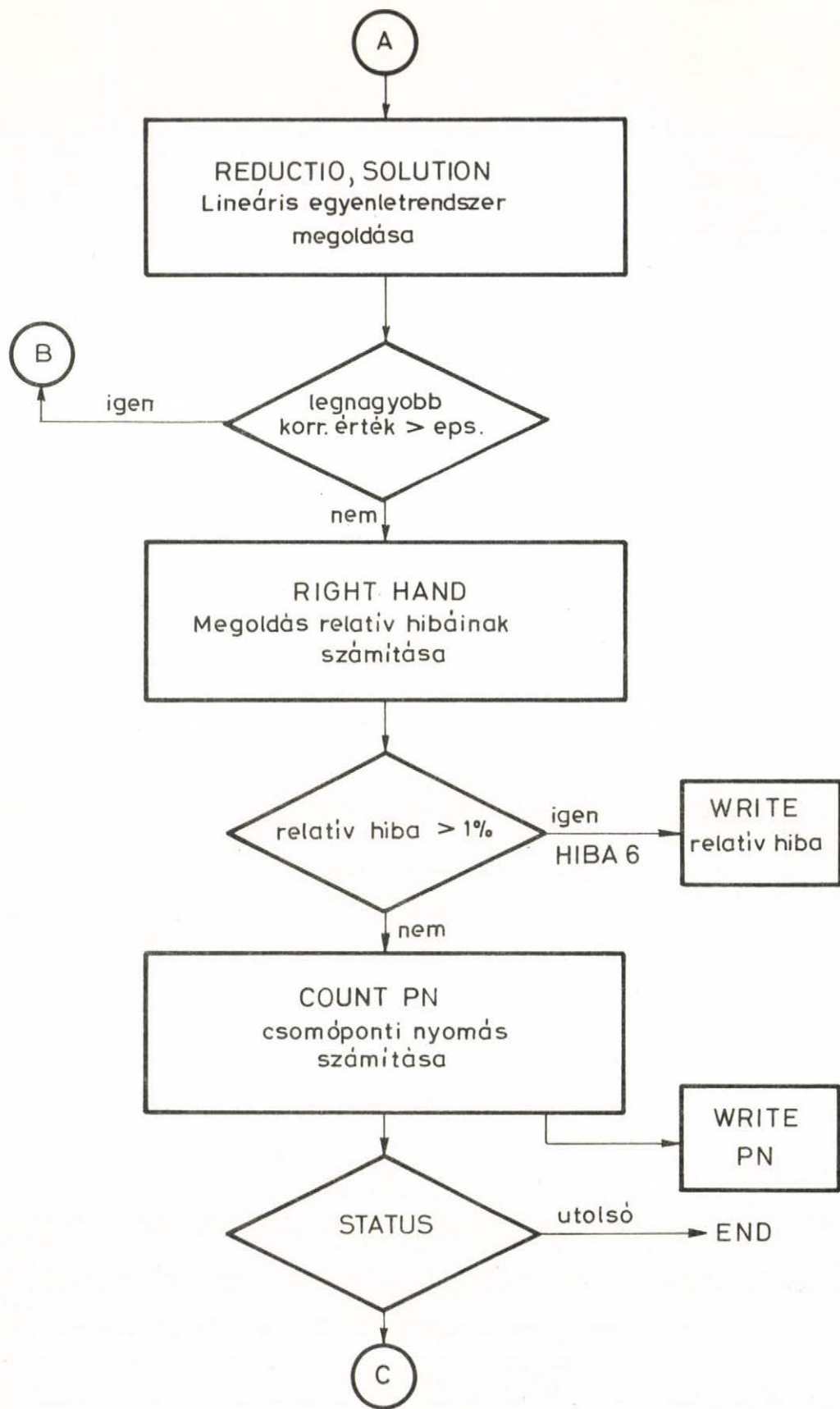
4.5.2. Programszerkezet

A program szerkezetét illetően lásd a 4.4. ábrát. Szükséges megjegyezni, hogy a GS04 program felépítése szorosan összefügg a GS03 felépítésével, mivel ez állítja elő a GS04-ben szereplő mátrixok strukturáját.

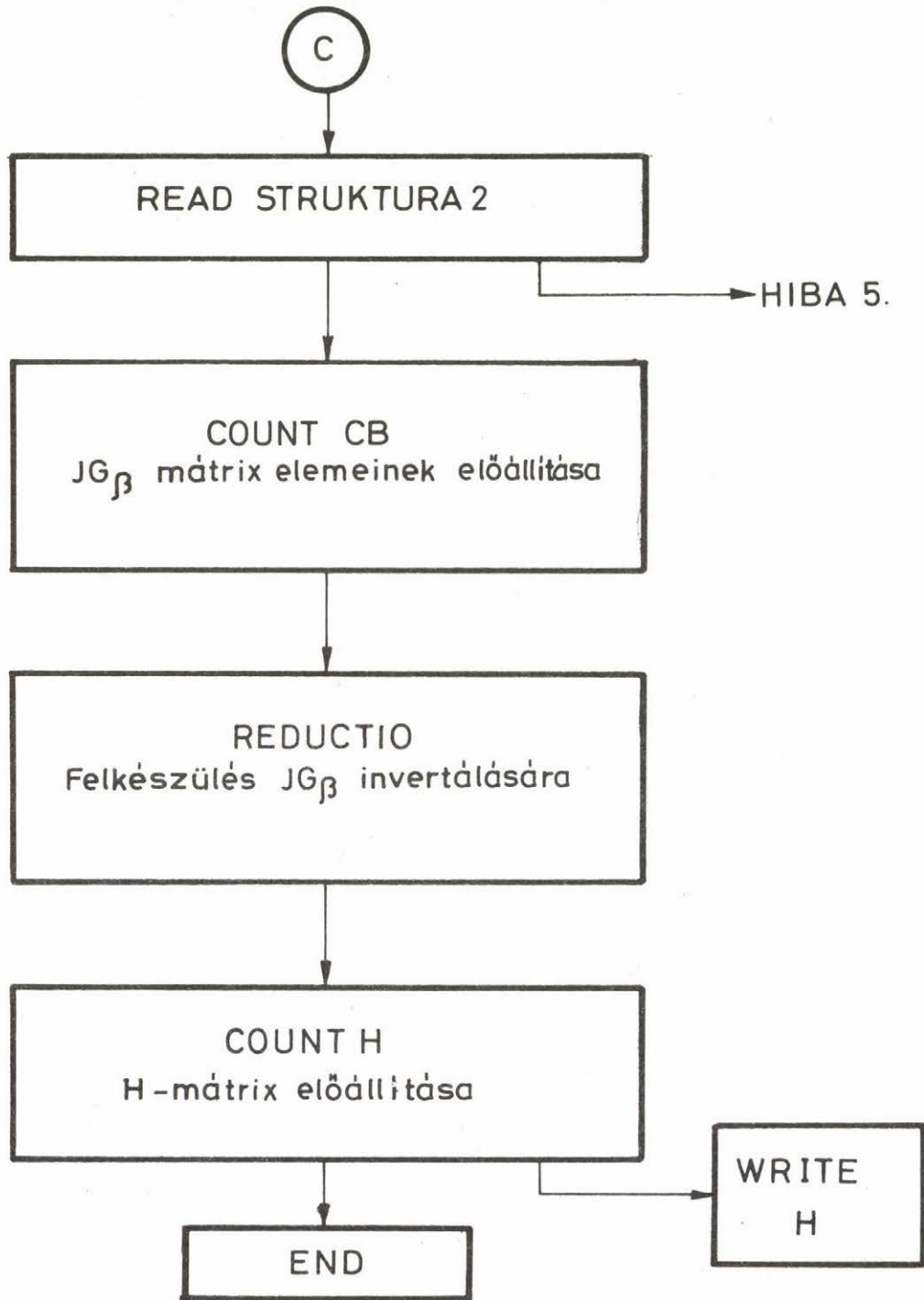
^{*}A 2. fejezetben a \underline{H} helyett \underline{W} -mátrixról beszélünk, mivel az ott használt globális jelölésnél a H betű a Jacobi mátrix jelölésére van fenntartva. A Jacobi mátrix konvencionális jelölése J viszont a $\underline{q} + \underline{Q} = \underline{J}$ jelölésére van használva.



4.4. ábra.
GS04 program folyamatábrája.



4.4. ábra (1.folytatás)



4.4. ábra. (2.folytatás)

4.5.3. Rendszerkorlátozások

A program a standard FORTRAN IV utasításokon kívül csak a CDC 3300 FORTRAN PRINT utasítást használja. Az adatok elhelyezésénél kihasználtuk azt a körülményt, hogy a REAL típusu változók és tömbök kétszer ekkora helyet foglalnak el, mint az INTEGER típusuak.

A feladatok maximális méreteire vonatkozóan a következőket közölhetjük:

a listák maximális hossza:	6000
maximális hurok darabszáma:	1000
maximális csomópontszám:	2000
maximális ágdarabszám:	3000
maximális nem-nulla elemszám	
a $\underline{\underline{C}}^t \underline{\underline{Z}} \underline{\underline{C}}$ mátrixban:	2000
nem-nulla elemek száma	
az $\underline{\underline{A}}^t \underline{\underline{Y}} \underline{\underline{A}} \underline{\underline{\beta}}$ mátrixban:	2000
az α -típusú csomópontok száma maximálisan:	100

4.5.4. Hibajelzések:

ERROR kód

- 1 mérettullépés vagy rossz topológia file /21/
- 2 incompatibilis hálózatfile-1
- 3 incompatibilis struktura-file-1
- 4 incompatibilis hálózatfile-2
- 5 incompatibilis struktura-file-2
- 6 a közelítő megoldás relatív hibája $> 1\%$ *
- 7 divergencia a Newton-Raphson módszerben

*"Relatív hiba" alatt itt a II. Kirchhoff-törvény szerinti max. hurokfeszültségesítés összeg /max. ágfeszültségesítés viszonyszámot értjük.



4.5.6. Programprotokoll

Lásd a mellékleteket.

4.6. GS05 program

A GS05 program mindössze 24 utasításból álló rövid program. Feladata csupán az, hogy az optimalizálást végző iterációs ciklusban figyelemmel kíséri a P csomóponti nyomásvektor alakulását $/P_{old} - P_{new}/$, a szabályozó STATUS paraméter értékét módosítja, majd ezt az IFILE1 file-on a többi program rendelkezésére bocsátja. STATUS értéke mindig a régi és az új P vektor komponenseinek eltérése közül a legnagyobb lesz.

A GS05 programprotokollt illetően lásd a mellékleteket.

4.7. GS06: program nem-lineáris optimálási feladat megoldására

4.7.1. Matematikai modell

A program a gázhálózat betáplálási pontjaiban lévő nyomások optimális értékeinek számítását végzi olyan feltételek mellett, hogy egy - adott üzemi állapotra - előzetesen megoldott hálózati egyenletrendszer, valamint az előre megadott minimális nyomásértékeket figyelembevéve a hálózat gázvesztesége minimális legyen.

A célfüggvény és a feltételrendszer a 2. fejezetben volt definiálva; lásd a /2.94/-et. A nem-lineáris optimalizálási feladat megoldása ennek lineáris programozási feladatra való visszavezetésével történik.

A továbbiakban használt jelöléseket illetően lásd a 2. fejezetet. Néhány esetben ezektől eltérő jelöléseket is alkalmaztunk, illetve új jelöléseket vezettünk be.

Globális	GS06	Megnevezés
ϕ	V	gázveszteség
$\Delta\phi$	ΔV	differenciális gázveszteség
$\underline{\underline{W}}$	$\underline{\underline{H}}$	/érzékenységi/ mátrix
	\underline{p}	optimalizálás előtti nyomásvektor
	$\underline{p'}$	optimalizálás utáni nyomásvektor
	$\underline{\hat{p}}$	$\underline{p'} - \underline{p}^{(min)}$

A program a PRIMAL szubrutin felhasználásával készült. A szubrutin a következő módon megfogalmazott lineáris programozási feladat megoldására szolgál. [1]

$$\underline{Ax} \leq \underline{b} \quad /a/ \quad /4.1/$$

$$x_i \geq 0 \quad /b/ \quad /4.2/$$

$$\max \underline{c}^t \underline{x} \quad /c/ \quad /4.3/$$

ahol /a/, /b/ a korlátozó feltétel-rendszer, /c/ a cél-függvény és \underline{x} az optimalizálandó változók vektora. A megoldás módja a szimplex algoritmus.

A fenti módon definiált lineáris programozási feladat formájában kell előállítani a tulajdonképpeni feladatot.

A feladat linearizálása érdekében a $V = V(\underline{p}, l)$ veszt. fv. helyett a ΔV veszteségváltozás-függvénnyel és $\underline{\Delta p}$ nyomásváltozás vektorral dolgozunk.

$$\Delta V = \underline{M}^t \underline{\Delta p} \quad /d/$$

ahol

$$M_i = \frac{\alpha}{2} \sum_{j=1}^{b_i} l_{ij} = \frac{\alpha}{2} RM_i$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

Mivel $\underline{\Delta p} = (\underline{\Delta p}_\alpha, \underline{\Delta p}_\beta)$ és

$$\underline{\Delta p}_\beta = - \underline{H} \underline{\Delta p}_\alpha \quad /e/$$

/d/ felírható a következő alakban:

$$\Delta V = \left(\underline{M}_\alpha^t - \underline{M}_\beta^t \quad \underline{H} \right) \underline{\Delta p} \quad /f/$$

A $\underline{\Delta p}$ jelölés alatt a két egymásutáni iterációban kapott nyomásértékek változásainak vektorát értjük. Az iterációs lépés sorszámát jobb fenti zárójelbe téve, tehát $\underline{\Delta p}$ elemeire fennáll:

$$\Delta p_i = p_i^{(2)} - p_i^{(1)} \quad /g/$$

Továbbá teljesülniük kell a következő kikötéseknek is

$$p_i^{(\min)} \leq p_i^{(1)} \quad /h/$$

$$p_i^{(\min)} \leq p_i^{(2)}$$

A /h/ korlátozó feltételek és /g/ miatt

$$p_{-\beta}^{(\min)} - p_{-\beta} \leq \Delta p_{-\beta} \quad /i/$$

Ezt /e/-be helyettesítve és az egyenlőtlenséget megfordítva

$$\underline{H} \underline{\Delta p}_\alpha \leq p_{-\beta} - p_{-\beta}^{(\min)} \quad /j/$$

Vezessük be a következő jelöléseket; lásd a jelölések

jegyzékét

$$\hat{p}_i = p_i' - p_i^{(\min)} \quad \text{ill.} \quad p_i' = \hat{p}_i + p_i^{(\min)} \quad /k/$$

$$\underline{\Delta p} = \underline{p}' - \underline{p} \quad /l/$$

Az /l/-t /f/-be helyettesítve

$$\Delta V = \left(\underline{M}_\alpha^t - \underline{M}_\beta^t \quad \underline{H} \right) \left(\underline{p}'_\alpha - \underline{p}_\alpha \right) \quad /m/$$

Ebből /k/ figyelembevételével az új célfüggvényt kapjuk

$$\left(\underline{M}_\alpha^t - \underline{M}_\beta^t \quad \underline{H} \right) \hat{\underline{p}}_\alpha \rightarrow \min \quad /n/$$

A /k/ és /l/ felhasználásával a /j/ feltételi egyenletrendszer a következő alakot nyeri

$$\underline{H} \hat{\underline{p}}_\alpha \leq \underline{p}_\beta - \underline{p}_\beta^{(\min)} + \underline{H} \left(\underline{p}_\alpha - \underline{p}_\alpha^{(\min)} \right) \quad /o/$$

és az optimalizálandó változó

$$\hat{\underline{p}}_\alpha \geq \underline{0} \quad /p/$$

Tehát az /o/-t és az /a/-nak /p/-t /b/-nek és a /n/ -et a /c/-nek megfelelően előállt a tulajdonképpeni feladat olyan megfogalmazása, amely már lineáris programozási feladatként kezelhető, és a PRIMAL szubrutin segítségével megoldható.

A program működése

A program elvégzi az /a/, /b/ és /c/ összefüggésben szereplő feltételi egyenletrendszer és célfüggvény együtthatóinak kiszámítását, valamint azok hozzárendelését a szubrutin által igényelt paraméterek aktuális értékeihez. Ezáltal generálja az alábbi lineáris programozási feladatot az /4.1/, /4.2/, /4.3/

alakban, ahol

$$\begin{aligned} \underline{A} &: \underline{H} \\ \underline{b} &: \underline{p} - \underline{p}_{-\beta}^{(\min)} + \underline{H}(\underline{p}_{-\alpha} - \underline{p}_{-\alpha}^{(\min)}) \\ \underline{x} &: \hat{\underline{p}}_{-\alpha} \\ \underline{c} &: \underline{M}_{-\beta}^t \underline{H} - \underline{M}_{-\alpha}^t \quad / \text{max. helyett min. feladat!} / \end{aligned}$$

Majd optimalizálást hajt végre a fentiekben definiált $\hat{\underline{p}}_{-\alpha}$ vektor elemeire.

Ezek után előállítja az új \underline{p}' vektort az alábbi transzformációk alkalmazásával

$$\begin{aligned} \underline{p}'_{-\alpha} &= \hat{\underline{p}}_{-\alpha} + \underline{p}_{-\alpha}^{(\min)} \\ \Delta \underline{p}_{-\alpha} &= \underline{p}'_{-\alpha} - \underline{p}_{-\alpha} \\ \Delta \underline{p}_{-\beta} &= -\underline{H} \Delta \underline{p}_{-\alpha} \quad /q/ \\ \underline{p}'_{-\beta} &= \underline{p}_{-\beta} + \Delta \underline{p}_{-\beta} \end{aligned}$$

Igy az új $\underline{p}' = (\underline{p}'_{-\alpha}, \underline{p}'_{-\beta})$ előállt, mint az α -típusú /betáplálási pont/ és β -típusú /fogyasztási pont/ csomóponti nyomások együttes vektora.

További kiszámításra kerül a hálózat gázvesztése az új \underline{p}' vektor esetén az /r/ alapján

$$V = \underline{M}^t \underline{p}, \quad /r/$$

4.7.2. Input

A GSO6 program működéséhez szükséges adatokat a programrendszer más programjai /GSO2 és GSO4/ szolgáltatják oly módon, hogy azokat a számítógép háttérmemóri-

áján permanens file-kra írják, ahonnan ezen program beolvassa. A szükséges adatokat a következő táblázat tartalmazza.

Táblázat

Jelölés	J e l e n t é s	dsi
NA	α -tipusu csomópontok száma	21
NB	β -tipusu csomópontok száma	21
P	hálózatszámítás által szolgáltatott p nyomás /NA+NB elemű vektor/	24
H	feltételrendszer együttható mátrixa /NBxNA/	24
RM	csomópontokba befutó ágak hosszának összege /NA+NB elemű vektor/	26
PML	csomóponti nyomások $p^{(min)}$ alsó korlátja /NA+NB elemű vektor/	26

4.7.3. Output

Eredményközlés printereken és disc-en jelenik meg. A 21-es file 14-ik elemeként a program felírja az /r/ alapján számított V gázveszteséget, a 24-es file első NA+NB elemének helyére az ujonnan számított \underline{p} vektor kerül. Ugyanis ezeket az értékeket a programrendszer használja a továbbiakban, mint adatokat.

A printerre kerülő eredmények magyarázó szövegekkel kerülnek kiíratásra iterációként. Közlésre kerülnek a megoldandó feladat jellemző adatai és a számítás eredményeként kapott optimális \hat{p}_α vektor elemei, az optimális célfüggvény értéke és a V gázveszteség, valamint a /q/ szerint számított \underline{p} és $\underline{\Delta p}$ vektor elemei.

4.7.4. Programkontroll

Lásd a mellékletet.

4.8. GASCNT program

4.8.1. Rövid ismertetés

A GASCNT program a hálózatszámítással kombinált optimalizáció vezérlésére szolgál. Ehhez kihasználja a CDC 3300 operációs rendszerének azt a tulajdonságát, amely lehetővé teszi valamely programból egy másik program hívását [2]. A GASCNT rövid program, szubrutinokat nem tartalmaz.

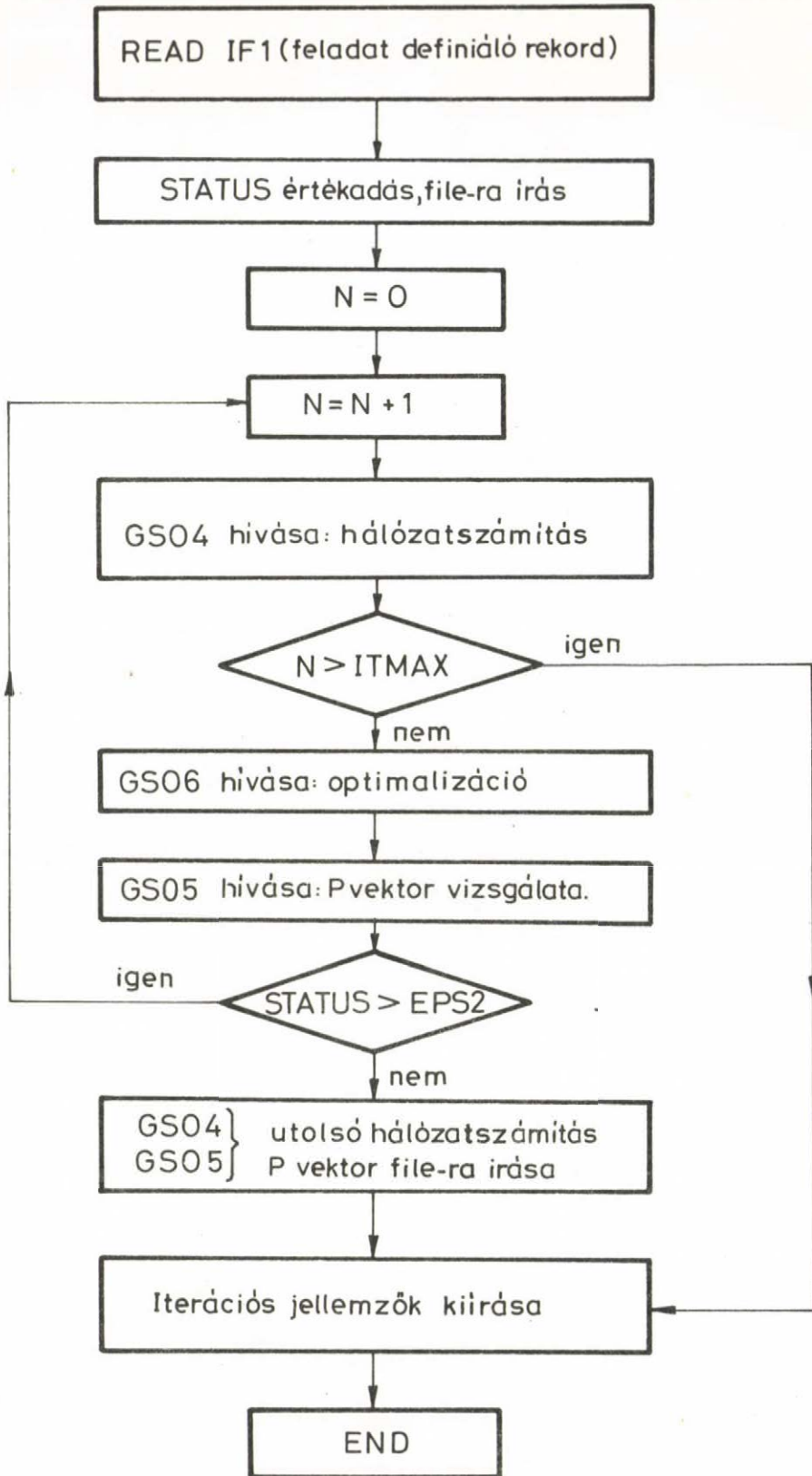
4.8.2. Programszerkezet és működés

A STATUS változó kezdeti értékének beállítása és file-ra vitele után a program behívja a GS04 programot, és elvégzi az első hálózatszámítást /lásd a 4.6. fejezetet/. Ezt követően a GS06 program a megfelelő változók átvétele után elvégez egy optimalizációt, majd a GS05 program hívódik be, amely elvégzi a P csomóponti nyomásvektor vizsgálatát /lásd a 4.7. fejezetet/; ha a megadott hibánál nagyobb eltéréseket talál, visszamegy a hálózatszámításhoz és megismétli az előzőekben leírtakat. Ha az optimalizációt jónak találja, akkor még egy hálózatszámítást végez, és az eredményül kapott P csomóponti nyomásvektort a file-ra írja.

A programok hívását a

Q9QCALL /par₁,...,par₆/

utasítás végzi, ahol par₁ a program neve, par₂ annak a file-nak a neve, ahol a program található /4 karakteres Hollerith konstans/, a többi /par₃...par₆/ standard érték.



4.5. ábra.
GASCNT program folyamatábrája.

4.8.3. Programprotokoll

Lásd a mellékleteket.

4.9. GS07: Output program

A GS07 /output/ program a számítások eredményeit az állandó adat-file-okról veszi, és jól áttekinthető formában, az eredeti ág- és csomópontsorszámokra vonatkoztatva írja ki. Egyrészt a csomóponti változókat, másrészt az ág-változókat, végül a hurok-jellemzőket csoportosítja táblázatban.

A kiírt csomóponti változók:

- a/ csomópontszám
 - b/ típus /alfa vagy beta/
 - c/ csomóponti nyomás
 - d/ csomóponti terhelés
 - e/ Kirchhoff kontroll
 - f/ helyi csomóponti nyomás
- /I=1,..NN minden csomópontra/

A kiírt ágváltozók:

- a/ ágszám
 - b/ ág /kezdő/ csomópont /1/
 - c/ ág /vég/ csomópont /2/
 - d/ ágáram
 - e/ nyomásesés
- /I=1,..NB minden ágra/

Hurok jellemzők:

- a/ hurok-nyomásforrás
 - b/ hidág-áram
 - c/ Kirchhoff kontroll
- hurkonként.

A GS07 programprotokollját illetően lásd a mellékleteket.

Irodalom a 4. fejezethez

- [1] Elek, J., Borossay, J.: Program nagyméretű alacsonynyomású gázhálózat számítására. MTA SzTAKI, Intézeti Jelentés, 1973.
- [2] CONTROL DATA 3170/3300/3500 COMPUTER SYSTEMS. MASTER VERSION 3. Reference Manual.

5. Alkalmazási példa: Budapest, XII. kerület Szabadsághegy földgázhálózat optimális üzemi viszonyainak meghatározása különböző terhelési állapotokban

5.1. A feladat specifikációja és eredményei

Az OPTPRESS1 programrendszer első kipróbálása a Budapest, XII. ker. szabadsághegyi földgázhálózat optimális üzemi viszonyainak meghatározásával történt. A szabadsághegyi hálózat választására azért került sor, mivel itt a csomópontok geodetikus magasságkülönbségei viszonylag nagyok és így lehetőség nyílt a programrendszer teljesítőképeségének demonstrálására. A feladat részletes jellemzése és az eredmények átfogó értékelése külön jelentés tárgyát képezi, úgyhogy itt csupán a leglényegesebbekre szorítkozunk [1].

A kérdéses hálózat csomópontjainak száma 79, ebből 4 betáplálásipont (α -tipusu csomópont). A hálózat optimális üzemi viszonyait azonos /illetve csekély különbséget felmutató/ topológia mellett 5 különböző terhelési állapotra vizsgáljuk. Az 5 terhelési állapotot globálisan az összsterhelésekkel jellemezhetjük, 5.1. táblázat.

5.1. táblázat

Terhelési állapot sorszáma	1	2	3	4	5
Összefogyasztás $m^3 h^{-1}$	946	1884	2823	3731	4652

Az egyes terhelési állapotoknak megfelelő összefogyasztások kb. kétszeresei a sorrendben előtte állóknak. A há-

lőzat ilyen széles határok között való vizsgálatának azért van jelentősége, mivel az órai fogyasztások a különböző napszakokban 1:5 arányban változhatnak.

A számítások leglényegesebb eredményei az 5.2 - 5.6. táblázatokban vannak összefoglalva.

Az 5.2. táblázat tartalmazza az optimalizálás előtti, hálózatszámítással nyert csomóponti nyomásértékeket. A betáplálási pontok, vagyis a hálózatot tápláló nyomás-csökkentő szelepek szekunder oldali nyomásait a táblázatban aláhúzással különböztettük meg.

Az 5.3. táblázat a számított optimális nyomásértékeket tartalmazza.

Az 5.4. és 5.5. táblázatok arról adnak számot, milyen arányban oszlanak meg a betáplálások az egyes betáplálási pontok között a hálózat konvencionális, illetve optimális üzemeltetése esetén.

5.2. táblázat

Budapest XII. ker. Szabadsághegy hálózat csomóponti nyomásainak értékei különböző terhelési állapotokban

Csomópont száma	Terhelési állapot				
	1.	2.	3.	4.	5.
2	430.787459	433.088617	427.581236	421.031274	412.628370
3	426.568872	428.696988	422.781211	415.976558	406.962388
4	414.785857	415.770367	408.289590	399.254322	386.705926
5	415.190600	417.308050	411.771992	405.095420	399.508558
6	417.799056	419.941511	414.447380	407.820889	399.408549
7	421.460066	423.584881	418.118478	411.528340	403.150958
8	424.115010	426.194759	420.792492	414.207175	406.060266
9	438.068998	446.459573	443.935092	440.830129	437.067766
10	427.324152	426.150634	420.415657	413.205261	404.183097
11	447.442660	443.532682	437.526707	429.606567	419.936718
12	448.524209	444.530570	438.528305	430.707468	420.937389
13	434.248581	429.937569	423.967949	416.185182	406.454653
14	428.347341	421.068089	413.913155	404.002736	392.030770
15	418.197536	407.665471	398.398884	385.617778	369.657833
16	420.856584	410.265199	401.002973	388.223755	372.277927
17	411.479152	400.835474	391.484092	378.504855	362.482176
18	422.943713	412.690589	404.852335	393.667929	380.180309
19	427.187749	417.329844	409.909909	399.715502	384.437119
20	444.858217	435.287266	430.042265	422.625211	413.047952
21	454.115132	444.243658	438.519565	430.388088	419.939342
22	416.185502	399.718673	386.768570	368.162287	346.100829
23	447.783146	437.266883	432.128439	424.785009	415.403819
24	424.931656	410.688803	401.296779	388.482808	373.150456
25	416.077354	391.749570	392.335243	379.642721	364.010867
26	410.233709	395.574990	395.502436	371.044308	355.109538
27	424.850467	410.381693	400.631602	397.566158	371.417228
28	417.081118	402.676533	393.072513	390.202608	364.346268
29	428.815206	413.583061	403.403272	390.033073	373.755832
30	430.750091	416.464714	407.173302	394.719252	379.302867
31	436.525042	422.255505	413.084358	400.726253	385.556091
32	440.254303	424.901076	414.861716	401.588759	385.527089
33	451.274014	437.087104	428.258998	416.443953	401.907725
34	448.619795	436.460249	430.746369	422.786283	412.808157
35	448.721643	434.624449	425.886652	414.172982	399.750667
36	462.600000	445.960000	445.960000	445.960000	445.960000
37	448.931805	437.107910	432.169246	425.016528	416.023469
38	432.802565	418.529155	409.208318	396.706188	381.717654
39	455.713287	440.287768	430.278868	417.122246	401.128309
40	469.201830	442.561783	449.822866	424.858829	418.458379
41		457.900348	444.763774	429.123865	411.859324
42	457.686218	449.481673	468.870221	448.147683	447.306854
43	473.518372	460.486828	443.980568	424.910273	404.760567
44	468.087926	454.401588	436.815681	416.178126	394.072580
45	485.202353	463.891574	444.725927	423.408168	401.932288
46	487.055703	463.504975	440.606080	414.057774	385.866046
47	497.408202	468.061122	446.949039	424.206765	402.424376
48	608.680076	464.001649	441.947492	418.883730	397.187766
49	483.020604	448.163784	425.924585	402.404171	380.461027
50	440.109321	442.466758	452.294913	442.003121	451.854821
51	486.666518	461.029831	467.794364	403.948675	380.578424
52	481.466071	440.988801	412.886341	387.634628	388.170787
53	481.865537	449.966874	411.604398	388.029406	368.405906
54		410.807361	380.023043		
55	475.925462	434.901272	408.136203	384.640216	365.532264
56	452.834479	423.252519	402.731309	383.221178	369.280655
57	444.078068	418.031381	402.065077	386.221041	367.079132
58	436.850291	411.914168	396.485277	381.219467	362.738367

Csomó- pont száma	T e r h e l é s i á l l a p o t				
	1.	2.	3.	4.	5.
60	428.800095	472.099037	411.998680	411.899804	411.760553
62	428.839413	479.533949	405.084447	400.267312	304.532499
63	441.672278	421.865410	416.580273	410.593154	403.356126
64	508.942493	472.655233	451.624630	429.062598	407.612144
65	509.194551	470.148485	445.968542	426.391343	405.670680
66	492.609170	450.847450	423.668819	400.019918	370.948588
67	494.031286	449.984657	422.959656	400.442549	371.833543
68	495.056087	449.473833	420.472215	394.476370	361.318128
69	512.231246	447.684804	437.669321	420.443789	414.324227
70	506.898273	446.484283	434.299790	413.607103	395.400080
71	516.753630	466.520893	444.755166	423.974327	415.718749
72	516.681151	448.523510	450.489900	431.338841	415.003053
73	540.818565	473.924541	475.664669	448.775588	422.511731
74	543.415703	502.513002	478.238909	441.329773	425.019477
75	528.178153	446.294710	445.676913	444.320831	440.699885
76	528.025709	445.958014	445.676709	444.746259	442.927744
77	526.981540	444.978524	444.438090	442.810541	439.972531
78	528.025708	445.960000	445.960000	445.960000	445.960000
79	519.341124	444.466093	428.813648	420.409340	407.723249
80	519.328928	434.417811	428.703800	420.213236	407.418367
81	433.389062	445.960000	445.960000	445.960000	445.960000
82	462.600000	445.960000	445.960000	445.960000	445.960000

5.3. táblázat

Budapest XII. ker. Szabadsághegy hálózat csomóponti nyomásainak optimális értékei különböző terhelési állapotokban

Csomópont száma	Terhelési állapot				
	1.	2.	3.	4.	5.
2	300,509941	296,192717	298,404486	301,154870	305,553594
3	296,291340	291,803667	293,587328	296,101691	299,871531
4	294,508645	279,014981	279,250974	279,574701	279,948742
5	294,913452	280,583885	282,773587	285,455723	289,798948
6	297,521908	283,217476	285,449115	288,101381	292,600151
7	241,183110	286,928559	289,241265	292,089879	296,615499
8	293,828545	289,714314	292,296692	295,295007	300,175264
9	307,700871	303,504630	306,276422	309,398570	314,503828
10	297,060259	294,182338	296,252174	299,480541	304,576226
11	317,208088	315,052242	316,614208	319,638622	324,707824
12	318,270030	316,150270	317,708982	320,743185	325,819134
13	303,907984	302,545171	304,244706	307,844788	313,320673
14	298,105195	297,227343	298,194342	301,620616	307,068773
15	287,965901	287,316113	286,587961	287,979969	290,675307
16	290,625942	290,087742	289,177458	290,648311	293,378198
17	281,248511	280,658017	279,668777	281,089411	283,582417
18	292,715766	293,500173	293,672449	296,852079	302,213759
19	296,879888	297,683758	297,947619	301,265141	306,759219
20	314,643568	318,312161	320,844906	327,806106	336,909262
21	323,900484	327,268558	329,316284	335,568975	343,800652
22	285,953519	286,433120	282,370114	280,404271	280,300811
23	317,579487	323,255945	326,747924	335,582588	346,869615
24	294,609673	297,413250	296,898323	301,014792	307,260438
25	285,845187	288,516716	287,942880	291,986375	298,144165
26	280,001542	282,302133	281,110074	284,288052	289,333015
27	294,618294	297,109033	296,239200	299,949197	305,568487
28	286,848221	289,414444	288,704011	292,591124	298,568619
29	298,567592	300,508871	299,448233	303,111530	309,162721
30	300,517985	303,493574	303,205561	307,719624	314,450729
31	306,293314	309,402880	309,269859	314,001607	320,989530
32	310,005874	311,947303	310,917159	314,708943	321,007939
33	321,043043	324,652210	325,073603	330,608836	338,538840
34	318,424206	326,024104	330,150912	340,594938	353,829845
35	318,492516	322,228002	322,742055	328,390345	336,427590
36	332,528452	338,272549	335,593655	416,216187	442,224026
37	318,743226	327,171211	322,088099	343,579322	357,958981
38	302,570560	305,445985	305,118882	309,515890	316,102885
39	325,450136	327,070415	326,238878	330,101634	336,608866
40	338,755606	324,024465	318,714753	313,263910	312,381420
41		319,453030	313,655663	307,528945	305,782564
42	327,401881	322,709972	325,242761	328,553044	334,054061
43	342,055671	323,481559	315,208616	306,922682	305,082851
44	337,525224	317,316272	308,043727	298,181534	294,304884
45	354,447490	329,205587	319,507989	310,472242	310,468917
46	356,300861	328,818989	315,388142	301,125848	294,402676
47	366,542278	335,890551	325,350683	316,349455	318,736531
48	367,588765	333,532765	322,742763	314,148205	318,271733
49	351,929294	317,604879	306,710855	297,748646	301,554994
50	309,829484	305,523808	308,314939	311,985895	317,810241
51	355,503494	320,565509	310,070789	299,195345	301,849450
52	349,663865	310,531018	305,141718	282,757406	280,515359
53	369,499899	349,547515	367,223387	283,092858	291,156625
54		280,408003	335,644032		
55	361,800114	304,682330	279,973144	279,575629	279,086790
56	309,115565	294,171864	286,980378	280,423753	284,566768
57	297,884006	289,657659	291,855081	284,561353	293,254026
58	289,557273	283,680362	287,601149	279,838126	289,106913

Csomópont száma	Terhelési állapot				
	1.	2.	3.	4.	5.
60	279.999963	285.625782	314.814754	313.022689	340.121182
62	280.302686	282.624872	305.112810	300.780475	322.406040
63	293.135551	294.956332	316.608907	311.188317	331.227668
64	377.863786	343.181077	332.239166	324.677410	331.066933
65	378.012606	319.751556	328.061285	321.720944	329.784258
66	358.659809	320.239474	295.642054	294.689154	294.588528
67	360.199265	318.652981	294.386693	294.644924	295.538950
68	361.224066	318.072187	291.817254	288.678698	285.023534
69	379.202175	320.025738	305.510896	313.153400	329.280900
70	374.773526	321.505800	306.217725	307.102159	320.272238
71	384.701663	331.550988	316.986880	317.626667	330.652793
72	385.359113	333.592668	324.008514	325.851956	340.400980
73	409.636621	349.477612	354.757411	344.105169	346.624609
74	412.233758	372.046144	357.331652	346.659375	349.153055
75	396.409675	291.886581	296.976280	336.336091	366.691994
76	396.280461	291.236789	296.874506	336.680329	369.565035
77	395.234103	290.196517	295.728238	334.857881	366.578841
78	396.280461	291.230514	295.728238	337.813083	372.945616
79	387.602645	280.058464	297.008400	312.424120	333.714259
80	387.590450	290.009082	280.113014	312.228996	333.411376
81	383.110909	298.933984	280.003258	305.660228	311.616832
82	313.796425	319.406110	301.916388	347.187005	374.330972
			348.834977		

5.4. táblázat

Budapest XII. ker. Szabadsághegy hálózat. Betáplálások alakulása konvencionális üzemvitel esetén

$$m^3 h^{-1}$$

Betáplálási pont sorszá- ma	T e r h e l é s i			á l l a p o t	
	1.	2.	3.	4.	5.
36	946	518	968	1372	1753
78	0	13	156	324	510
81	0	1313	1634	1952	2287
82	0	40	64	83	101

5.5. táblázat

Budapest XII. ker. Szabadsághegy hálózat. Betáplálások alakulása optimális üzemvitel esetén $m^3 h^{-1}$

Betáplálási pont sorszá- ma	T e r h e l é s i			á l l a p o t	
	1.	2.	3.	4.	5.
36	946	1779	2189	2701	3183
78	0	0 /-23/	107	311	538
81	0	85	471	632	828
82	0	42	75	86	103

5.6. táblázat

Budapest XII. ker. Szabadsághegy hálózat. A hálózatoptimalizálás gazdaságossági mutatói

	T e r h e l é s i á l l a p o t				
	1.	2.	3.	4.	5.
Relatív veszteség /optimal. előtt/ %	6.20	3.08	/2.02/	1.44	1.12
Relatív veszteség /optimal. után %	4.47	2.17	1.45	1.08	0.89
Megtakarítás %	29.01	29.51	28.20	25.54	20.79

Az 5.6. táblázat a hálózatoptimalizálás gazdaságossági mutatóit tartalmazza, mégpedig a relatív veszteséget /az optimalizálás előtt/, a relatív veszteséget az optimalizálás után, és az optimalizálással elérhető gázmegtakarítást. A táblázat első sorában szereplő optimalizálás alatti relatív veszteség a következőképpen van definiálva:

$$\text{relatív veszteség} = \frac{\text{összveszteség}}{\text{összbetáplálás}} \cdot 100\% \quad /a/$$

Az ϕ összveszteség, mint az előzőekben láttuk:

$$\phi = \alpha \sum_i \sum_j l_{ij} p_i \quad /b/$$

összefüggés alapján kerül kiszámításra, ahol l_{ij} az i -edik csomópontba összefutó ágak hossza, p_i a külső

atmoszféra vonatkoztatott csomóponti nyomás, α a gázszivárgás állandója. Mivel a β -tipusu csomópontok /elvéte- li pontok/ nyomása az α -tipusu csomópontok nyomásának függvénye, a \underline{p} nyomásvektor - és így a ϕ öszveszteség - csak akkor lesz egyértelműen meghatározva, ha a betáplálási nyomásokat, mint független változókat illetően bizonyos feltételezésekkel élünk.

Összhangban a gázhálózatok irányításának jelenlegi gyakorlatával, tételezzük fel, hogy az összes betáplálási nyomások egyenlő értékkel bírnak, mégpedig olyannal, hogy az adott terhelési állapotban legalább egy elvéte- li pont nyomása egyenlő legyen egy még megengedett $p^{(\min)}$ értékkel. Esetünkben $p^{(\min)} = 280 \text{ v.o.mm.}$ Ezen feltételek megfelelő $\underline{p}^{(\alpha)}$ betáplálási, illetve \underline{p} hálózati nyomásvektor egyértelműen meghatározza a hálózat veszteségét az optimalizálás előtt. A $\underline{p}^{(\alpha)}$ meghatározásánál úgy járunk el, hogy a $p^{(\alpha)}$ tapasztalati értékeinek felhasználásával hálózatszámítást végzünk és kikeressük a nyert \underline{p} vektor legkisebb elemét $p^{(m)}$ -et és képezzük a $\underline{p}^{(\min)} - p^{(m)} = \bar{\pi}$ különbséget. Amennyiben $\bar{\pi}$ pozitív, a \underline{p} vektor minden egyes elemét ezen értékkel megnöveljük, amennyiben negatív, csökkentjük. A ϕ öszveszteség /b/ alatti kifejezésében ezután p_i helyett $/p_i + \bar{\pi} /-t$, illetve $/p_i - \bar{\pi} /-t$ írunk.

A /b/-ben szereplő α gázszivárgási állandó értékére közvetlen kísérleti adatok híján a British Gas Industry hálózatain meghatározott értékkel dolgozunk. Eszerint:

$$\alpha = 4.2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} / \text{m} / \text{v.o.mm.}$$

Szükséges megjegyezni, hogy ez az érték városi gázra vonatkozik. Minden valószínűség szerint az α értéke esetünkben valamivel nagyobb, amit a földgáz tömítésroncsoló hatásával indokolnánk. A mondottak alapján

joggal vonható le az a következtetés, hogy az 5.5 táblázatban szereplő gazdaságossági mutatók értékei minimális értékeknek tekintendők, vagyis, hogy az optimalizálás következtében létrejövő megtakarítások a valóságban a számított értékeknél nagyobbak.

Az 5.5. táblázat második sorában szereplő optimalizálás utáni relatív veszteség következésképpen van definiálva:

$$\text{relatív veszteség optimalizálás után} = \frac{\text{összveszteség optimal.után}}{\text{összvetáplálás}} \%/c/$$

Az 5.5. táblázat harmadik sorában szereplő megtakarítás definíciója

$$\text{megtakarítás \%} = \frac{\text{/összveszteség-összveszteség opt.után/}}{\text{összveszteség}} /d$$

5.2. A feladat eredményeiből levonható következtetések

A számszerű eredmények kimerítő, a hálózat topográfiáján és a hosszutávu üzemi tapasztalatokon alapuló értékelése mint már említettük, egy külön jelentés tárgyat képezi. Itt csupán az 5.1. - 5.5. táblázatokból közvetlenül adódó konkluziókra szeretnénk rámutatni.

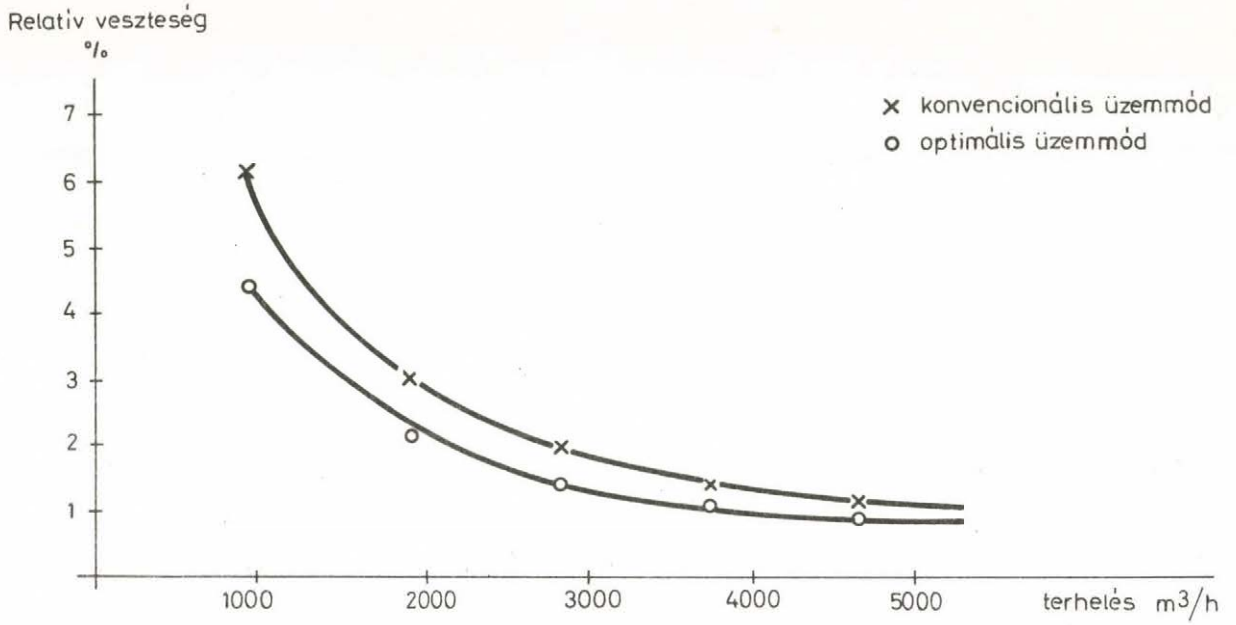
- a/ A relatív veszteségek növekvő hálózati terheléssel csökkennek. Ez vonatkozik úgy a hagyományos, mint az optimalizált üzemmódra. A jelenségnek kettős oka van, az összbetáplálás az /a/ és /c/ kifejezések nevezőjében szerepel, másrészt növekvő terheléssel csökkennek a csomóponti nyomások és így a /b/ képlet szerint az összveszteség is.
- b/ Az 5.1. ábra szerint /lásd az 1.2. függvényt/ a relatív veszteségnek optimalizálással elérhető csökke-

nése növekvő hálózati terheléssel csökken. Ez is összhangban van az elméleti megfontlásokkal: mivel az 5.6. táblázat harmadik sora alapján a megtakarítás %-os értéke változó terhelésnél csak kisebb mértékben változik, a relativ veszteségek optimalizálás által történő csökkentése az /a/ és /c/ alapján lényegében véve a hálózati terheléssel fordítva arányos.

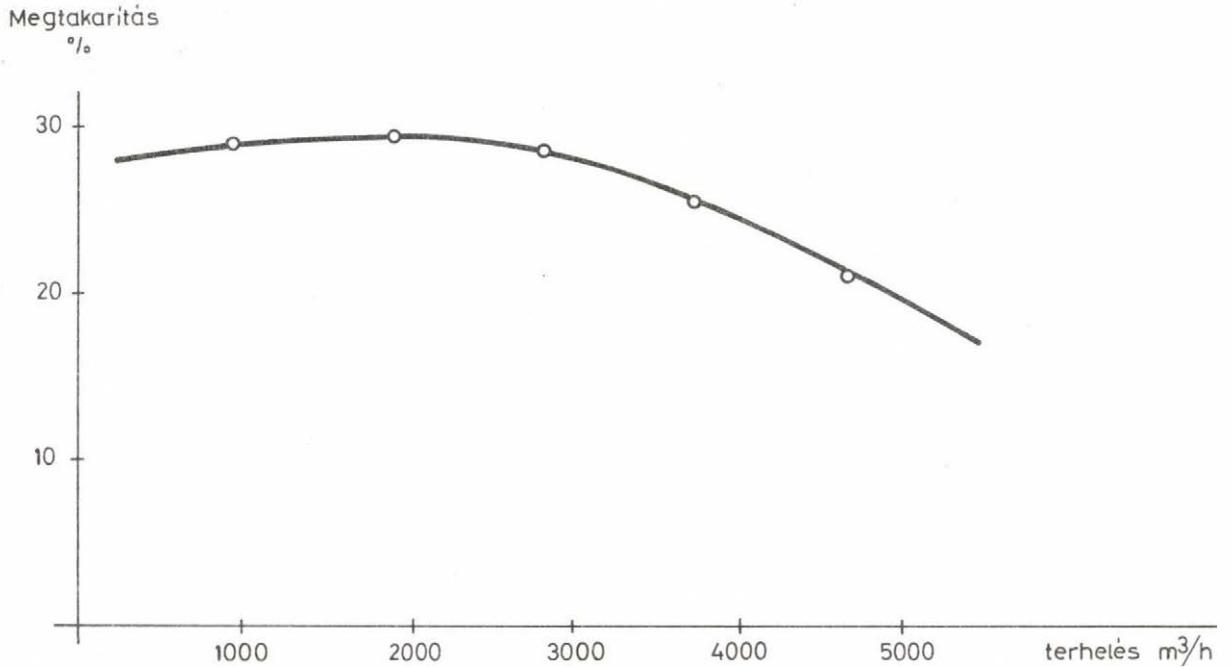
- c/ Az 5.3. táblázat szerint a hálózat optimális üzemének megfelelő betáplálási nyomások a különböző α -tipusu csomópontokban egymástól lényegesen különböznek. Ugyanez vonatkozik az egyes betáplálási pontokban bevitt gázmennyiségekre, lásd az 5.4. táblázatot. Az eddigi üzemi gyakorlat, a különböző betáplálási pontok nyomásának azonos értékre történő beállítása tehát korrekcióra szorul.
- d/ Az optimalizálás hatására létrejövő megtakarítást az 5.2. ébra szemlélteti. Mint látható, a függvény értéke először nő, majd a maximum elérése után újra csökken. Kérdéses, hogy a görbe ilyen jellege általános érvényű-e, vagy csupán a vizsgált hálózat speciális adottságainak következménye. Valószínűbb az utóbbi feltételezés. Minden esetre figyelemreméltó hogy a megtakarítás viszonylag kevésbé függ a hálózat terhelésétől és a terhelés 500%-os változásánál értéke csupán kb. 8%-kal változik.

Irodalom az 5. fejezethez

- [1] Singer D., Borossay Gy., Czoch Á.,: Budapest XII. kerület Szabadsághegy fölgázhálózat optimális üzemeltetésének vizsgálata az OPTPRESS1 programrendszer segítségével MTA SzTAKI, Intézeti jelentés, 1974 október.



5.1. Bp. XII. kerület, Szabadsághegy hálózat. Relatív gázveszteségek konvencionális ill. optimális üzemmódnál.



5.2. Bp. XII. kerület Szabadsághegy hálózat. A gázmegtakarítás optimális üzemmódnál.

6. A munka eredményeinek hasznosításáról

A munka gyakorlati eredményei, illetve hasznosítási lehetőségei a következőkben foglalhatók össze:

- a/ A Budapest XII. kerület Szabadsághegy hálózatra vonatkozó számítások kivetíthetők a fővárosi hálózat egészére. A vizsgált hálózatnál az 5.6. táblázat alapján 2.74% relatív veszteséget véve alapul, az 1975, illetve 1980 évekre 970, illetve 1570 milliós gázfogyasztással számolva, ezen időszakokban az optimális nyomásszabályozással elérhető éves gázmegetakarítás 7.1, illetve 11.4 millió m^3 -t tenne ki. Ezen értékek minimális becsléseknek tekinthetők; lásd az 5.1. fejezetet.
- b/ A szabadsághegyi hálózatra vonatkozó számításokhoz hasonlóan az OPTPRESS1 programrendszer alkalmazásával a főváros többi részeire vonatkozólag is értékes információk nyerhetők. Még abban az esetben is, ha az optimalizálás technikai feltételei nem volnának azonnal megteremtethetők, - a számítási eredmények nagyban hozzájárulhatnak a gázelosztás minőségének javításához.
- c/ Az OPTPRESS1 rendszerrel megvizsgálható, milyen előnyökkel járhat az optimális nyomásszabályozás technikai feltételeinek részleges megteremtése /pl. kiválasztott pontokban programtárcsás nyomásszabályozók felszerelésével, távvezérelt nyomásszabályozók alkalmazásával, illetve ezek számának növelésével, stb./.
- d/ A programrendszer szolgáltatja a távvezérelt nyomásszabályozók időprogramját, illetve az időprogramos szabályozók programtárcsáinak geometriai profilját.
- e/ Jó szolgáltatokat tehet a programrendszer új hálózatok tervezésénél. Feltételezett hálózati konfigurációnál lehetővé teszi az optimális hálózati nyomások meghatározását. Így a tulajdonképpeni tervező program tetszőlegesen felvett nyomásértékek helyett megfelelőbb értékekkel indulhat.
- f/ Az OPTPRESS1 rendszerbe nagyteljesítményű hálózatszámító

program van beépítve, így megfelelő eszköz nagyméretű hálózatok elemzésére is. A hálózat csomópontjainak, illetve ágak számának felső határa 2.000, illetve 3.000. A gépidőigény pusztán 5-20%-a az általunk eddig használt programokénak, ami a hurokmódszer és a ritka mátrix technika alkalmazásával vált lehetővé.

A TANULMÁNYOK sorozatban eddig megjelentek:

- 1/1973 Pásztor Katalin: Módszerek Boole-függvények minimális vagy redundáns, $\{\wedge, \vee, \neg\}$ vagy $\{\text{NOR}\}$ vagy $\{\text{NAND}\}$ bázisbeli, zárójeles vagy zárójel nélküli formuláinak előállítására
- 2/1973 **Вашкеви Иштван: Расчленение многосвязных промышленных процессов с помощью вычислительных машины**
- 3/1973 Ádám György: A számítógépipar helyzete 1972 második felében
- 4/1973 Bányász Csilla: Identification in the Presence of Drift
- 5/1973[✱] Gyürki J.-Laufer J.-Girnt M.-Somló J.: Optimalizáló adaptív szerszámgepirányítási rendszerek
- 6/1973 Szelke Erzsébet-Tóth Károly: Felhasználói Kézikönyv /USER MANUAL/ a Folytonos Rendszerek Szimulációjára készült ANDISIM programnyelvhez
- 7/1973 Legendi Tamás: A CHANGE nyelv/multiprocesszor
- 8/1973 Klafszy Emil: Geometriai programozás és néhány alkalmazása
- 9/1973 R.Narasimhan: Picture Processing Using Pax
- 10/1973 Dibuz Ágoston-Gáspár János-Várszegi Sándor: MANU-WRAP hátlaphuzalozó. MSI-TESTER integrált áramköröket mérő, TESTOMAT-C logikai hálózatokat vizsgáló berendezések ismertetése
- 11/1973 Matolcsi Tamás: Az optimum-számítás egy új módszeréről
- 12/1973 Makroprocesszorok, programozási nyelvek. Cikkgyűjtemény az NJSzT és SzTAKI közös kiadásában. Szerkesztette: Legendi Tamás

A ✱ -gal jelölt kivételével a sorozat kötetei az Intézet könyvtáránál megrendelhetők /Budapest, I. Uri u. 49./

- 13/1973 Jedlovszky Pál: Uj módszer bonyolult rektifikáló oszlopok vegyészmérnöki számítására
- 14/1973 Bakó András: MTA Kutatóintézeteinek bérszámfejtése számítógéppel
- 15/1973 Ádám György: Kelet-nyugati kapcsolatok a számítógépiparban
- 16/1973 Fidrich Ilona-Uzsoky Miklós: LIDI-72 Listakezelő rendszer a Digitális Osztályon, 1972. évi változat
- 17/1974 Gyürki József: Adaptív termelésprogramozó rendszer /APS/ termelő műhelyek irányítására
- 18/1974 Pikler Gyula: MINI-Számítógépes interaktív alkatrészprogramíró rendszer NC szerszámgépek automatikus programozásához
- 19/1974 Gertler, J.-Sedlak, J.: Software for process control
- 20/1974 Vámos, T.-Vassy, Z.: Industrial Pattern Recognition Experiment-A Syntax Aided Approach
- 21/1974 A KGST I.-15-1.: Diszkrét rendszerek automatikus tervezése c. témában 1973. februárban rendezett szeminárium előadásai
- 22/1974 Arató, M.-Benczúr, A.-Krámli, A.-Pergel, J.: Stochastic Processes, Part I.
- 23/1974 Benkó Sándor-Renner Gábor: Erősen telített mágneses körök számítógépes tervezési módszere
- 24/1974 Kovács György-Franta Lászlóné: Programcsomag elektronikus berendezések hátlaphuzalozásának tervezésére
- 25/1974 Járdán R. Kálmán: Háromfázisú tirisztoros inverterek állandosult tranziens jelenségei és belső impedanciája
- 26/1974 Gergely József: Numerikus módszerek sparse mátrixokra
- 27/1974 Somló János: Analitikus optimalizálás
- 28/1974 Vámos Tibor: Tárgyfelismerési kísérlet nyelvismódszerekkel

- 29/1974 Móritz Péter: Vegyészmérnöki számítási módszerek
fázisegyensúlyok és kémiai egyensúlyok vizsgálatára
- 30/1974 Vámos, T.-Vassy, Z.: THE BUDAPEST ROBOT -Prognatic
intelligence-

