

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

VILLAMOS ENERGETIKAI
KUTATÓ INTÉZET

AZ ENERGETIKAI OPTIMALIZÁLÁS NÉHÁNY FŐ KÉRDÉSÉRŐL

Irta:

Vámos Tibor

Budapest, 1963.

Müset im Naturbeachten
Immer Eins wie Alles achten
Nichts ist drinnen, Nichts ist draussen:
Denn was innen, das ist aussen
So ergreift ohne Säumniss
Heilig öffentlich Geheimniss

Freuet euch des wahren Scheins
Euch des ernstesten Spieles
Kein Lebendiges ist ein Eins,
Immer ist ein Vieles.

Goethe - Epirrhema

B e v e z e t ő

Az optimalizálás feladata a korszerű irányítástechnika egyik legérdekesebb és legösszetettebb kérdése. Az optimalizálás valamilyen folyamat, berendezés, műszaki-gazdasági organizáció olyan módon történő irányítása, hogy az a feladatát a legjobban oldja meg. Ez a "legjobb" fogalom minden esetben külön definiálandó, rakéták követése esetén jelentheti a legkisebb hibalehetőséget, leggyorsabb működést, egy biológiai folyamatnál a szervezet számára legkedvezőbb életfeltételek biztosítását, a műszaki-gazdasági organizációknál pedig rendszerint az adott szükségleteknek a leggazdaságosabb kielégítését. Az utóbbi, általában pénzben kifejezhető optimum meghatározása is igen bonyolult, figyelembe kell venni az organizáció valamennyi kölcsönhatását, amelyek nélkül a szűkebben értelmezett gazdasági optimumok torz képet mutathatnak. Az energetikai optimumok keresésénél például figyelembe kell venni a kapcsolódó beruházásokat /pl. bányászat/, hosszulejáratu ár- és külkereskedelmi trendeket és az olyan körülményeket is, hogy ez a nemzeti jövedelemnek csak kb. 3-4 %-át kitevő szektora a teljes nemzeti jövedelem termelésének és mai életformánk fenntartásának létfontosságú, folyamatosan jelentkező, megszakíthatatlan és gyakorlatilag tárolhatatlan feltétele. Külön megfontolandó körülmény, hogy míg az energetika a nemzeti jövedelem termelésében ilyen viszonylag alacsony indexszel szerepel, a beruházások terén /kapcsolódó beruházásokkal együtt/ 12 % körül mozog a súlya. Az optimum kialakításának műszaki, gazdasági, társadalmi-szerkezeti, politikai, kulturális, geográfiai, pszichológiai, stb. feltételei és tényezői vannak, így ez a feladat túllép a klasszikus irányítástechnika keretein, tipikus alkalmazott kibernetikai feladattá válik.

Az energetikai optimalizálás két alapfeladatra bontható. Az egyik az optimális tervezés, a másik az optimális üzemirányítás. Az első feladat főleg az operáció-kutatás tárgykörébe tartozik, itt

ezzel a kérdéssel nem foglalkozunk. Megjegyezzük, hogy a témának igen bő külföldi irodalma van és hazai feldolgozása rendkívül sürgős és indokolt, ebben az irányban is történtek kezdő lépések. Az optimális irányítás és optimális tervezés szintén csak olyan mértékben választható szét, amennyire a munkák felosztása miatt azt gyakorlati okokból meg kell tenni. Nyilvánvaló, hogy az optimális irányítást legcélszerűbb egy optimálisan tervezett rendszerben megvalósítani, az optimális tervezésnek pedig alapadata az optimális irányításra vonatkozó feltételsorozat. Ezért optimális tervezés csak az optimális irányításra vonatkozó fő feltételek ismeretében lehetséges és fordítva. Egyszerű és sokat idézett példa a szűkebb szabályozástechnika területéről a kazánok és gőzturbinák szabályozása, ahol a technológiai és üzemi - tehát tervezési és irányítási feltételek elválaszthatatlanok.

Ennek a tanulmánynak a tárgyául az optimális üzemirányítást választottuk, és annak a problémáit is igyekszünk a gyakorlati kezelhetőség érdekében felosztani, nem elhanyagolva a természetes kölcsönhatásokat. Felosztásunk az üzemen /erőművön/ belüli optimalizálás és a már optimális körülmények között dolgozó üzemekre támaszkodó rendszeroptimalizálás - illetve fordítva - egy rendszeroptimum vizsgálata és a kapott rendszeroptimum által megszabott körülmények között egy-egy üzem optimális irányítása.

Mindkét problémakörben az első feladat a hatásosságra vonatkozó /tehát optimalizálandó/ jellemző meghatározása. Mint látni fogjuk, ez egyáltalán nem kézenfekvő. A második feladat a jellemző mérésének a módszertana, a jelenlegi mérési módszerek kritikája, a méréshez javasolt műszaki eszközök, módszerek. A harmadik lépés az így meghatározott optimum keresésének módszere, az optimalizálás folyamatának irányítása.

Az irodalomjegyzék külön felsorolja azokat a közleményeket, amelyek az energetikai - főleg erőművön belüli - optimalizálás kérdésével foglalkoznak. Ezeknek a cikkeknek a többsége az erőművi számológépes irányítást tárgyalja, elsősorban a gyártó, vagy az üzemeltető cégek információit tartalmazza. Mint ilyenek, általában igen kevés konkrét, részleteiben is felhasználható, átvehető

anyagot adnak, inkább csak áttekintéseket és utalásokat. Egyelőre nincsenek közlemények a folyamatok dinamikájának az optimalizálás szempontjából való elemzéséről, az optimalizálás részletes algoritmusairól, sőt az elérhető gazdasági haszonról és üzemi tapasztalatokról is igen szűkszavúak a közlések. Ez utóbbira vonatkozólag Dr. Grabbe [1] szóbelileg azt jegyezte meg, hogy adózási okokból nem közlik, azonban a megrendelés-listájuk /a TRW cég szállította eddig a legtöbb folyamatirányító számológépet a világon/ bizonyítja, hogy a megrendelők igen rövid idő alatt amortizálódó beruházásnak tartják az erőműveket komplexen irányító és optimalizáló számológépeket.

Ennek a tanulmánynak nem irodalmi összefoglalás, hanem néhány új gondolattal való kiegészítés a célja, ezért szigorúan csak a hazai új eredményekre és gondolatokra korlátozódik. Ahol a szükség megkívánta más szerzők eredményeinek felhasználását, azt minden esetben az irodalomjegyzék második részére való hivatkozással, vagy más feltűnő módon jelezzük.

A tanulmány két különálló tudományág, az energetika és az automatika határterületén mozog. Mivel egyik tudományág szakembereitől sem követelhető meg, hogy a másik, tőle éppen a tárgyalt és új vonatkozások kivételével távoleső területet jól ismerje, a függelékben röviden összefoglaljuk a tárgyunkat érintő és a maguk területén egyébként közismert alapokat. A számológépes hőerőmű-irányítás nemzetközi helyzetét külön, a KGST keretében készülő összefoglaló tanulmány fogja ismertetni és értékelni.

A következőkben az energetikai optimalizálás kérdésének néhány szemelvényét tárgyaljuk, az utolsó két-három évben végzett hazai munkák alapján. A tárgykörben már több - munkaközinek tekinthető - publikáció jelent meg / [2], [3], [4], [5], [6], [7] /, ezek néhány részletét általában bizonyos módosításokkal itt újra közöljük, részben azért, mert megjelenésük óta a további vizsgálatok során bizonyos módosításokra, kiegészítésekre és szintézisre szorulnak. Ahol /főleg a [4] esetében/ ezekre a tanulmányokra hivatkozunk ujraközlés nélkül, ott a korábbi publikáció ezen tanulmány

kiegészítő részeként kezelendő.

Minden munka, amely nem igényli a befejezettséget és a tökéletességet, bizonyos apológiára szorul. Esetünkben ez különösen szükséges. Igen korszerű, még a legfejlettebb országokban is csak forrongó, kísérleti állapotban lévő tendenciákkal foglalkozunk, bár ezek az államok a megvalósításhoz szükséges eszközök, lehetőségek területén 5-10 évvel előttünk állnak. Még a mérési módszerek, apparátus, feldolgozó lehetőség tekintetében is összehasonlíthatatlanul rosszabb a helyzetünk. Ez a tanulmány lényegében csak egy hosszabb, kb. egyhónapos, csak egy erőmiben végzett kísérletsorozatra, és a hazai erőművek általános, a célnak távolról sem megfelelő más adataira támaszkodik. Megfelelő eszközök /digitális adatfeldolgozó/ hiánya miatt egy éven belül új eredményeket hozó méréseket nem kezdhetünk. A hazai energiarendszer technológiai színvonala 15-30 éves elavultságot mutat, a berendezések megbízhatósági mutatói szintén messze elmaradnak a világ-színvonalától, az energetikai személyzet képzettségi színvonala, beállítottsága az új, a konzervatív irányokkal gyökeresen szakítani akaró szemlélettel szemben szintén elmaradott. Természetesen adódik a kérdés, érdemes-e hazánkban ilyen körülmények között, ennyire gyakorlati feltételekhez is kötött, távlati problémával foglalkozni? Az apologeta szerző válasza természetesen az igen, mint azt ezzel a tanulmánnyal igyekszünk bizonyítani. A kérdés megoldásához szükséges irányítástechnikai eszközeink /digitális adatfeldolgozók, logikai gépek/ gyors fejlesztés alatt állnak, energiarendszerünk pedig nem kívánja a technológiai elmaradást távlatilag betervezni, hiszen még a kapitalista országok gyakorlata is azt bizonyítja, hogy éppen az elmaradott technológiájú országok szoktak termelőapparátusuk felújítása során bizonyos előnyre is szert tenni egy technológiai ugrással. Ez a gyakorlati feladat a következő 5-10 évben széles körben aktuális lesz, amit előkészíteni nem korai, sőt talán nemsokára már késő is lesz, hiszen az energetikai beruházásokat üzembehelyezésük előtt legalább 6-8 évvel kezdik tervezni, a szükséges új műszaki-tudományos alapokat pedig még korábban kell lefektetni. Már itt hangsúlyozni kell azonban, hogy az automatizálásban való ugrásszerű előrehaladáshoz a hazai szerkezeti anyagok és gyártástechnológia, va-

lamint a tervezés területén is ugrásszerű fejlődés szükséges. Mint említettük, külföldi eredményekre még alig támaszkodhatunk, de ha igyekszünk, bekapcsolódhatunk egy - az egész témát feldolgozó - nemzetközi együttműködésbe és így sok segítséget kaphatunk. Ehhez azonban a magunk obulusát is le kell tennünk. Az a tény, hogy a szerény körülmények ellenére is megpróbáltunk néhány új gondolatot felvetni és részben kidolgozni, ezt a lehetőséget igyekszik bizonyítani.

A most publikált dolgozat lényeges és aktuális gyakorlati célt szolgál, elsősorban az erőművi adatfeldolgozó és irányító berendezésekre vonatkozó hazai fejlesztés elvi megalapozását. Az első kísérletek gyakorlati, készülékes előkészítése már folyamatban van. Eppen ezért is tartottuk szükségesnek a munkának jelen fázisában történő összefoglalását és ezzel első szakaszának lezárását, továbbá koncentrációját az egyik legproblematisabb területre, a kazánok optimális irányítására.

Az egyes kiemelt részkérdések vizsgálata, az általános /a szabályozások statisztikus elméletében általában kidolgozott/ módszerek alkalmazásának konkrét problémái - éppen a legbonyolultabb csomópont elemzésénél, kulcsot adnak a korszerű statisztikus elméleti eszközök alkalmazásának általános módszertanához folytonos ipari folyamatokra.

A munka új eredményeként megvilágítottuk a sokparaméteres, statisztikusan változó folyamatok optimumára jellemző paraméter meghatározásának ellentmondásos voltát. Ez az optimum-jellemző ugyanis elvileg csak a folyamat teljes időtartamára /esetleg a berendezés vagy technológia teljes élettartamára/ határozható meg, a szabályozás, az optimális üzemvitel felé történő irányítás szempontjából azonban pillanatnyi, vagy legalábbis rövid időre meghatározott értékét kellene ismernünk. Módszert dolgoztunk ki az optimum-jellemző legcélszerűbb, időbeli meghatározására, adott jellemzőjű folyamatok esetén. Foglalkoztunk a statisztikusan változó sokparaméteres folyamatok optimumának érzékenységevel az egyes befolyásoló paraméterek statisztikus jellemzőinek függvényében.

Az általános vizsgálatok eredményeinek alkalmazását bemutattuk egy konkrét folyamat, a hőerőművi energiatermelés esetére, nagyszámu mérés és adatfeldolgozás alapján. Ilyen jellegű vizsgálatok elemzését és eredményeit az irodalomban még nem publikálták. Végül az elvi megfontolások és gyakorlati mérések alapján javaslatot teszünk a szűkebb feladatul választott hőerőmű automatizálásához szükséges adatfeldolgozó gép mintavételezési és értékelési időtartamaira, a továbbiakban célszerűnek ítélt mérés technikai és technológiai intézkedésekre, becslést adunk ezek várható gazdasági eredményére.

Az erőművek közötti irányítás optimalizálása terén a várható állapotokra vonatkozó becslések új, matematikailag definiált módszerével lehetőséget nyitottunk a diszpécserirányítás logikai feladatainak gépi megoldására. Mivel ez a kérdés komplexum még teljesen járatlan területeket érint, a munka itt számos fontos elvi kérdés tisztázásán és egy gyakorlati algoritmus példaként való bemutatásán túl csak a további kutatási feladatokat jelölheti ki.

A konkrét vizsgálatok néha önkényesen kiragadottnak tűnhetnek, de általában azokat a célszerűség és a körülmények határozták meg. Alkalmazhatóságukat a teljesebb cél, az optimális rendszer felismerése és az optimum felé való irányítás általános gondolata szempontjából talán a választott mottó is igazolja.

A szerző ezúton mond köszönetet mindazoknak, akiknek segítségével ez a munka nem jöhetett volna létre. A Pécsi Hőerőműben végzett méréseket dr. Zettner Tamás főmérnök, Lengyel Gyula osztályvezető és Tóth Gyula, a hőtechnikai laboratórium vezetőhelyettese tette lehetővé, és segítette elő aktív közreműködésével; Hegedűs Ferenc technikus és Nagy Zsuzsa laboráns végezte, egyhónapos kemény, sokszor 24 órás, megszakítatlan munkával. A szénvizsgálatokat a Bányászati Kutató Intézetben Száva István osztályvezető irányította, a szénmintavételezést Nagy Mihály, a csepeli Központi Anyagvizsgáló Izotóp Laboratórium fizikusa vezette. A számológépes adatfeldolgozást Braun Péter és Ferenczy Eörs, a VILLENKI tudományos munkatársai végezték. Sok értékes, gondosan mért és összeállított adattal és hasznos gyakorlati tanáccsal se-

gitett Cserfalvi György, az Erőmi Tröszt Központi Hőtechnikai Szolgálatának vezetője, Tiray Richárd, az ERBE átvevő mérnöke. Rajos Béla, az Erőmi Tröszt Központi Karbantartási Szolgálatának és Cibulya János, az Erőmi Tröszt Terv- és Műszaki Osztályának vezetője, Potecz Béla, az Országos Villamos Teherelosztó mérnöke, Dénes Sándor, a Tiszapalkonyai Erőmi h.főmérnöke, Zólyomi Lajos, az Erőmi Karbantartó Vállalat főmérnöke, Pálházi Sebestyén, az Erőmi Tröszt Központi Üzemzavar Felügyelet vezetője.

A munkaközi megbeszélések és az anyag kritikai összeállítása során számos értékes megjegyzéssel, utmutatással járultak hozzá a munkához: Szalay József, a Műszeripari Kutató Intézet főmunkatársa, Dr.Tarján Rezső, az OMFb főosztályvezetője, Dr.Gesztli P. Ottó egyetemi tanár, dr.Bassa Gábor, a Hőtechnikai Kutató Intézet osztályvezetője, dr.Ronkay Ferenc és Csiki Jenő, az Országos Teherelosztó főmérnökei, Uzsóky Miklós, a VILLENKI osztályvezetője, továbbá Borovszky László, Füst László, Gertler János, Kaiser Mihály és Petz Ernő, a szerző közvetlen munkatársai. A könyv gondos gépelését, a műszaki szerkesztés felelősségteljes munkáját Hován Ágnes végezte.

TARTALOMJEGYZEK

OPTIMALIZÁLÁS AZ ERŐMŰBEN

1. ÁLTALÁNOS SZEMPONTOK AZ ERŐMŰVÖN BELÜLI OPTIMALIZÁLÁSRA	1.
1.1. A vizsgálatok célja, néhány korlátozó megfontolás	1.
1.2. A hatásossági jellemző meghatározása	6.
1.3. Néhány általános megjegyzés a célszerű mintavételezési és átlagolási idők meghatározásáról	14.
1.4. A befolyásoló jellemzők statisztikus viselkedésének hatása az optimalizálandó jellemzőkre	22.
2. KAZÁNÜZEMI OPTIMALIZÁLÁS	25.
2.1. A kazán gazdaságosságát befolyásoló jellemzők elemzése	25.
2.2. A kazánüzem gazdaságossági méréseinél szereplő jellemzők mérés-technikai értékelése	26.
2.3. A kazánüzemet befolyásoló jellemzők és a hatások összefüggései	26.
2.4. Mérések, becslések és adatok a kvázistacionárius üzem statisztikus változásainak hatására	36.
2.4.1. A terhelésváltozások és a fűtőanyag változásainak hatásai	36.
2.4.2. Korrelációs vizsgálatok	57.
2.4.3. Egyéb következtetések a mérések alapján	103.
2.5. Javaslatok a kazánok mérésadatfeldolgozásával kapcsolatban	107.
3. NÉHÁNY MEGJEGYZÉS A TURBINÁK OPTIMÁLIS ÜZEMVITELÉVEL ÉS MÉRÉSADATFELDOLGOZÁSÁVAL KAPCSOLATBAN	114.
3.1. A turbinaüzem és a kazánüzem sajátos különbségei	114.
3.2. A turbina mérésének kérdései	115.
3.3. A zavarások hatásai	117.
3.3.1. Terhelésingadozások	117.
3.3.2. Hűtővízhőfok	119.
3.3.3. Elszóródás, kondenzátorok, előmelegítők elpiszkolódása	120.
3.4. Adatfeldolgozással kapcsolatos előzetes mérések	120.
3.5. Következtetések	124.

OPTIMALIZÁLÁS AZ ENERGIARENDSZERBEN

4. AZ OPTIMÁLIS GÉPI RENDSZERIRÁNYÍTÁS KÉRDÉSEI	127.
4.1. A rendszerirányítás optimalizálásának célja és irányai	127.
4.2. Karbantartási költségek befolyása a rendszerirányításra	130.
4.3. A várható üzemállapotok értékelése	133.
4.3.1. Az üzemkészség meghatározása	134.
4.3.2. Az üzemállapotok osztályozása az üzemkészség szempontjából	136.
4.4. A szükséges információk mennyisége és az optimalizálás menete	145.
4.5. Vázlat egy optimális megoldást kereső algoritmus készítéséhez	147.
4.5.1. Számítási elv teljesítményváltozási esetekre /terhelés, termelői teljesítmény/	147.
4.5.2. Számítási elv a költséggörbék változásának esetére	150.
4.5.3. A tranziensek kiválasztása	150.
4.6. A diszpécserirányítási algoritmus adatszolgáltatási problémái	155.
4.6.1. Tranziensek és költségeik	155.
4.6.2. Az engedélyezett üzemórán felüli üzembentartás költségei	159.
4.6.3. Adatszolgáltatás a hibajelzésekre	161.
4.7. Következtetések és javaslatok	163.
5. ÖSSZEFOGLALÓ ÉS KÖVETKEZTETÉSEK	166.
FÜGGELEK	171.
IRODALOM	184.
HIVATKOZÁSOK	201.

OPTIMALIZÁLÁS AZ ERŐMŰBEN

1. ÁLTALÁNOS SZEMPONTOK AZ ERŐMŰVÖN BELÜLI OPTIMALIZÁLÁSRA

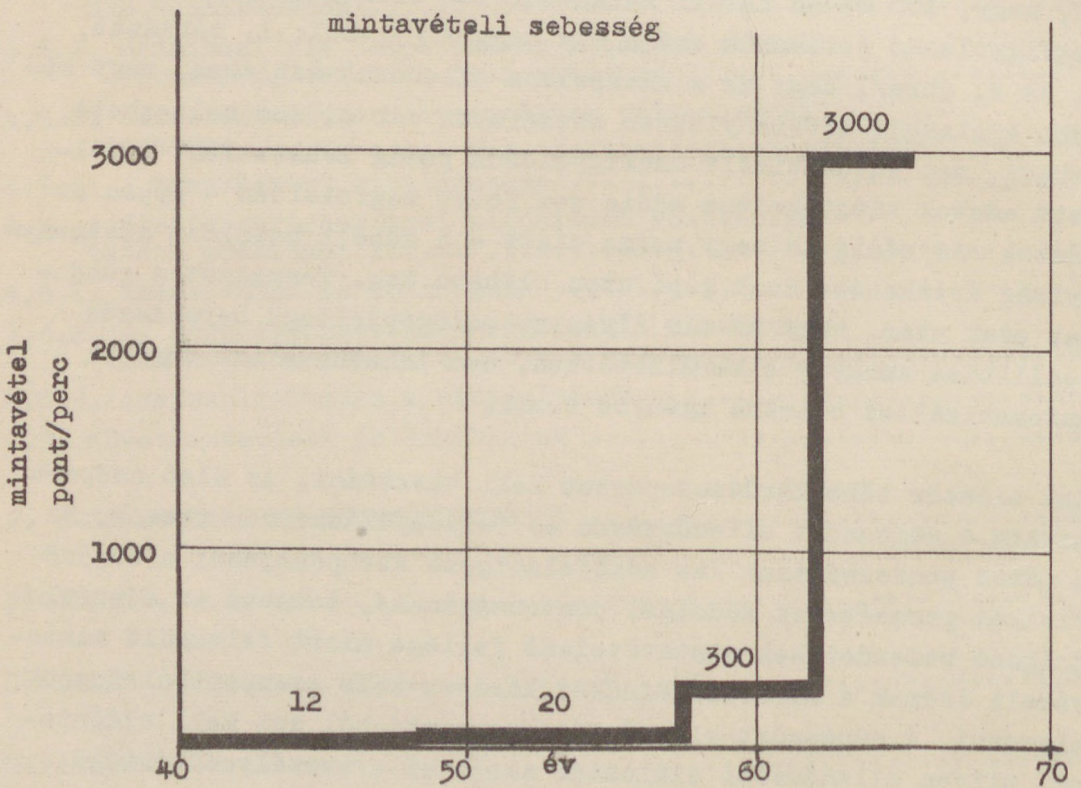
1.1. A vizsgálatok célja, néhány korlátozó megfontolás

A vizsgálatok célja egy adatfeldolgozó gépes, esetleg később irányító-számológépes optimalizáló rendszer lehetőségeinek, feltételeinek, szükségleteinek felmérése. A megfontolások kiindulópontja, hogy egy ilyen jellegű komplex, automatikus ellenőrző-adatfeldolgozó rendszer létrehozása technológiai szükségszerűség. A korszerű, nagy, 100 MW-on felüli kazán-turbina blokkokon állandóan megfigyelendő jellemzők száma oly nagy / [9]-ből: 1. táblázat, 1. és 2. ábra/, hogy az a klasszikus ellenőrző táblákon, vagy később kialakult hővezénylőkben műszereken már el sem helyezhető, emberi, nem automatizált megfigyelésük pedig lehetetlen. A felvett adatok kiértékelése eddig sem folyt megfelelően - éppen az adatok már eddig is nagy száma miatt - a közölt hatalmas adatmennyiség értékelése csak gépi úton oldható meg. Természetes gondolat ezek után, hogy ha már ilyen számológépjellegű berendezés beállítása amúgyis elkerülhetetlen, nem lehetne-e azt további automatizálási célokra igénybe venni.

Itt először több kérdéscsoportot kell tisztázni. Az első csoport magára a mérésadat ellenőrzésre és feldolgozásra vonatkozik. Ez a mérés pontosságának /az adatfeldolgozó szempontjából a bejövő fizikai paraméterek kódolási pontosságának/, továbbá az adatfeldolgozó berendezések mintavételező jellege miatt felmerülő mintavételi időnek a kérdése. Mindkét kérdést több szempontból fogjuk elemezni. A mérésadat-ellenőrzés szempontjából azt kell eldönteni, milyen ellenőrzési ciklusidő zárja ki a veszélyes mértékű változások lehetőségeit két ellenőrző mintavétel között. /Erre nyilván a jelenség időbeli viselkedése, dinamikai elemzése ad választ./ Az üzemellenőrzés pontossági követelményeit a mérés technológiai és mérés technikai lehetőségei korlátozzák és üzem-

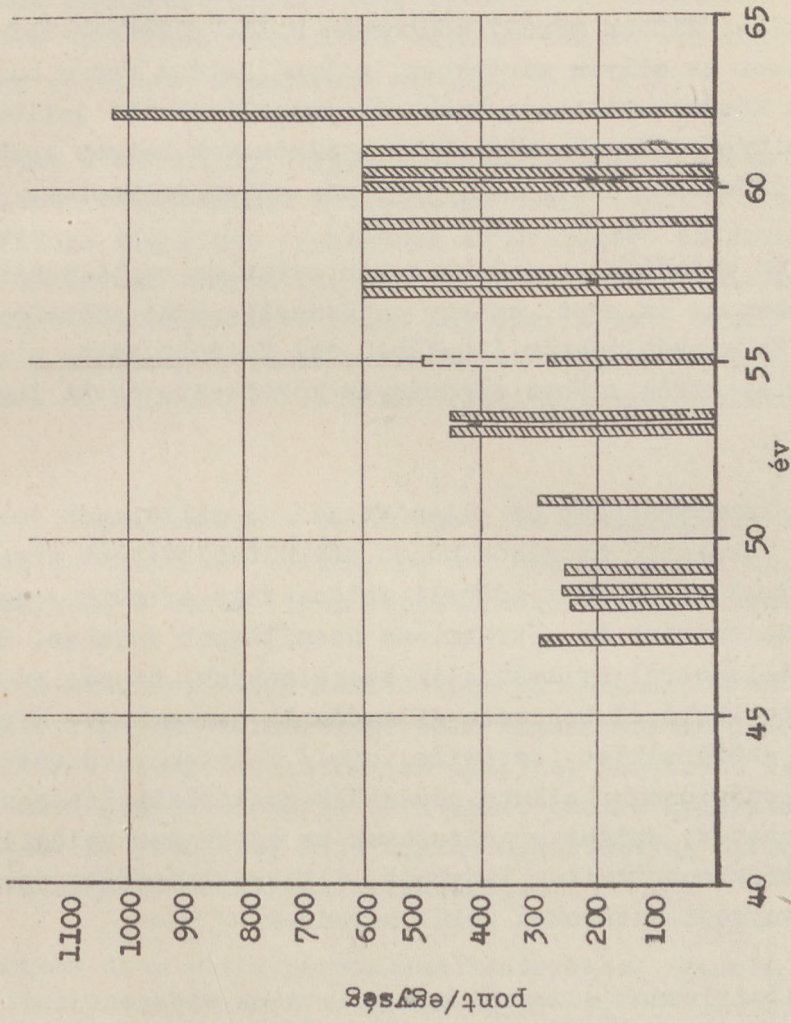
1. TÁBLÁZAT [9]

MW	mérőhely	megjegyzés
10	38	1924.
66	kb. 300	1945. körül
	875	u.a. átépítés után
2x200	1180	1958.
2x200	1595	számológépes irányítással



1. ábra

Az erőművekben vett mérési minták számának növekedése [8]



2. ábra
Ellenőrzési pontok száma
az új turbogenerátor egységeken [8]

biztonsági, vagy esetleg egyéb okokból meghatározott, még észszerű igények indokolják. /Pl. gőzhőmérséklet ellenőrzése a tulheví-tő cső anyagának védelme szempontjából./

Más szempontok merülnek fel az optimalizálásnál. Itt azt fogjuk megvizsgálni, milyen mérési pontosság /ill. eltérés/ befolyásolja az optimumot és milyen mértékben, milyen hatása van a mintavételi időpontok közötti változásoknak az optimalizálandó jellemzőre, továbbá milyen időszakonként kell a méréseket helyes konklúziók levonása érdekében átlagolni, vagy más módon értékelni.

Végül külön vizsgálatot jelent a mintavételes szabályozás követelménye, tehát az az eset, amikor az üzemellenőrző számológép szabályoz is. Ez a problémakör általában jól feldolgozott, mi a konkrét kísérlet során kapott eredmények következtetéseit fogjuk ismertetni.

A második kérdéscsoport az ellenőrzendő üzemállapotok jellegét érinti. A fizikában szokásos módon megkülönböztetett viszonyok közül - amelyek az állapot időbeli változásait érintik - számunkra a kvázistacionárius és a tranziens üzemállapot érdekes. Stacionárius üzemállapotról nyilván alig beszélhetünk, hiszen az üzem soha sem képzelhető el teljesen állandósult jellegűnek, a külső körülmények /hőmérséklet, terhelés, stb./ folytonos változást okoznak. Stacionáriusnak kellene neveznünk gyakorlati szempontból az olyan állapotot, amikor a változások az adott technológiához szabott és méréstechnikailag indokolt, illetve lehetséges pontossági, érzékenységi határokon belül maradnak.

Kvázistacionáriusnak nevezzük vizsgálataink szempontjából azt a zavaró jellemzők által mozgásban tartott üzemállapotot, amikor ezek a változások a normális, kauzális körülmények által nem befolyásolt üzemmenet határain belül maradnak. Ez annyit jelent, hogy az erőmű, illetve a berendezés névleges terhelési szintje állandó, azt csak a hálózat természetes lengése, a tüzelőanyag minőségének, elsősorban fűtőértékének állandó változása, az együttműködő berendezések terhelésének ingadozásai változtatják, de sem lényeges beavatkozás, sem üzemzavar, vagy hasonló kauzális jellegű esemény

nem befolyásolja az üzemállapotot. Az ilyen kvázistacionárius üzemet általában a teljesítmény $\pm 5-10$ %-os korláton belüli állandósága szokta jellemezni.

Tranziens az üzem a berendezés leállítása, indítása, a menetrendi változásoknak megfelelő előírt le-, illetve felterhelése, a berendezés, vagy a vele együttműködő és üzemére kiható más berendezés teljes, vagy részleges üzemzavara esetén.

A megvalósítás alatt álló, illetve tervezett számológépes irányítások általában felkészülnek a tranziens üzemállapotok irányítására is, különös figyelmet szentelnek az üzemszerű és üzemzavari indítás és leállítás automatizálásának, mivel ez megfelelően szervezve lényeges üzemváltoztatási-idő megtakarítását, ezzel többirányú gazdasági hasznot, továbbá az erőművek számára különösen veszélyes átmeneti állapot fokozottan üzembiztos irányítását teszi lehetővé.

A mi vizsgálataink azonban a tranziens üzem számológépes irányításának szép és bonyolult feladatára még nem terjednek ki, bár azt előkészítjük. A munka ilyen lépcsőzésének okai a következők:

- a./ Először mindenképpen egy normál üzemben dolgozó, kisebb igényű adatfeldolgozó berendezést kell üzembehelyezni, ennek hosszantartó üzemi tapasztalatai alapján, továbbá a feldolgozott adatok gondos elemzése után lehet csak a kvázistacionárius üzem irányítására, majd újabb tapasztalatok birtokában a tranziens üzem irányítására rátérni.
- b./ A tranziens üzem már a mérésadatellenőrzéssel szemben is fokozott igényeket támaszt, /többszörösen nagyobb mérési tartomány, ezzel együttjáró pontossági, esetleg átkapcsolási problémák, stb./.
- c./ A tranziens üzem irányítása - mint azt a legutóbbi amerikai közlemények is mutatják - csak igen komoly számológép-kapacitással, nagy és gyors memóriákkal, aritmetikai egységekkel oldható meg. A nehézségek kezdeti lebecsüléséről és az ebből

adódó még meg nem oldott problémákról számol be valamennyi újabb közlemény.

- d./ A tranziens üzem irányítása a segédberendezések szempontjából is a legigényesebb. A felszerelendő rengeteg armatura-, csappantyú-, távhajtás, állásjelző, stb. költségei nagyságrendileg azonosak a számológép költségeivel, míg a kvázistacionárius üzemirányítás alig kíván több segédberendezést, mint a ma már megszokott szabályozási körök. A nem automatizált indítással, leállítással dolgozó üzemben a folytonosan használt néhány elzáró- és szabályozó szerv sokszorosát jelentő, ritkán használt armaturákat általában még igen kultúrált viszonyok között sem gazdaságos távhajtással ellátni.
- e./ Az optimalizálás szempontjából a kvázistacionárius üzem az elsőrendű. Hazai viszonylatban ez teszi ki a teljes üzemidő 90-95 %-át.

A fenti megfontolások miatt végeztük kísérleteinket a kvázistacionárius üzem feltételei között.

1.2. A hatásossági jellemző meghatározása

Az erőművek hatásosságának jellemzésére több, de lényegében nem különböző értéket használnak. Ezek: a hatásfok, a fajlagos hőfogyasztás, a fajlagos tüzelőanyagfogyasztás, a növekményhőfogyasztás, a fajlagos költség, növekményköltség.^x Mindezen meghatározások közül számunkra az optimalizálás szempontjából a fajlagos költség a legfontosabb - valamennyi, a költségekre kiható állandó és változó, a terheléstől független és függő tényező figyelembevételével /beruházás, leírások, értékcsökkenések, szociális, kommunális terhek, stb./. Ezek közül azonban számos, az üzem közben néhány napos, vagy sokszor hónapos időszakban változatlan, elkészült és változtatásra nem kerülő technológia mellett - a napi

^xEz a felsorolás természetesen sem nem teljes, sem nem elemző. A fajlagos tüzelőanyagfogyasztás pl. csak állandó fűtőérték esetén használható. A derivált jellegű növekményértékek az állandósult állapottól való eltérések jellemzésére használhatóak.

üzemvitel szempontjából állandónak tekinthető. Így a folytonos üzemvitel szempontjából elsősorban a fajlagos költségek üzemi műszaki tényezőire, a hatásfokértékekre kell a figyelmet összpontosítani, ezt használjuk fel az állandóbb gazdasági tényezők feldolgozásával az egész berendezés népgazdasági szempontból való értékelésére.

Más hatásossági jellemzők /mint pl. a növekményköltségek/ a fentiekből szükség szerint már könnyen levezethetők.

A hatásfokot általában úgy határozzuk meg, mint a kimenő és a bemenő energiamennyiség hányadosát (villamosenergia az erőmű gyűjtősinein/fűtőanyaggal bevitt energia). Ez a meghatározás azonban nem kielégítő, mivel a jelenségek időbeli viszonyait is figyelembe kell venni. A bemeneten történő változások hatása a kimeneten általában csak bizonyos időközesséssel jelentkezik. Ez az időközesség általános esetben nem állandó, hanem a bemenő jellemzőktől, továbbá a folyamat változásaitól /pl. zavarások, stb./ is függhet, esetleg nem is diszkrét, hanem legalábbis bizonyos tartományban folytonos idő-, ill. frekvenciaspektrumot ad. Nyilvánvaló, hogy ezeknek az időbeli összefüggéseknek az elhanyagolása helytelen, esetleg abszurd értéket is adhat, pl. egy korábbi tárolási időszak terhére történő kisülési folyamatban egységénél nagyobb hatásfokot. A valamennyi jellemzőre kiterjedő, pontos pillanatnyi energetikai mérlegek megállapítása a folyamat bonyolultsága miatt általában nem lehetséges, csak a kimenő és bemenő jellemzők és legfeljebb néhány segédjellemző adataira támaszkodhatunk.

Már a fentiek alapján is szükségesnek látszik egy pontosabb, az időbeli változásokat is figyelembevevő hatásfok-definíció.

Elvileg egy folyamat hatásfoka csak a folyamat teljes tartamára határozható meg, kivéve, ha a folyamat tartama alatt a kimenő és bemenő energiamennyiség pillanatnyi, egyidejűleg mért értékeinek hányadosa állandó. A teljes tartam alatt egy energetikailag független intervallumot értünk, tehát pl. hőerőmű esetén hideg állapotból való indulástól hideg állapotba való leállásig. Nyilvánvaló, hogy egy meleg állapotban való indulással kezdődő folya-

mat már nem független energetikailag az előző intervallumtól. Ezek alapján a folyamat-hatásfokra adott pontos definíció:

$$\eta = \frac{\int_{t_k}^{t_v} x dt}{\int_{t_k}^{t_v} y dt} = f(t_k, t_v, x, y) \quad 1.)$$

ahol x a bemenő és y a kimenő teljesítményeket, illetve általános esetben a bemenő és kimenő gazdasági jellemzőket /pl. érték-mennyiség/ jelenti, t_k a folyamat kezdő, t_v a folyamat végső időpontját; a teljes gazdaságosságot csak a teljes folyamat összesített eredményeinek figyelembevételével /pl. leállítás, indítás, sőt esetleg ciklusos karbantartás/ lehet csak megállapítani.

A probléma jól felismerhető abból az összefüggésből, hogy

$$\frac{\int_{t_k}^{t_v} x dt}{\int_{t_k}^{t_v} y dt} \neq \frac{1}{t_v - t_k} \int \frac{x}{y} dt, \quad \text{ha} \quad \frac{x}{y} = \text{áll.}, \quad 2.)$$

továbbá abból, hogy ha a bemenő teljesítmény /vagy gazdasági jellemző/ egy $\varphi/t/$ impulzus-átviteli függvény szerint alakul át kimenő teljesítménnyé, amely $\varphi/t/$ a pillanatnyi x -re vonatkozó pillanatnyi hatásfokot jellemzi, akkor

$$y = \int_0^t x(\tau) \varphi(t - \tau) d\tau, \quad 3.) \quad \text{azaz}$$

$$= \frac{\int_{t_k}^{t_v} \int_0^t x(\tau) \varphi(t - \tau) d\tau \cdot dt}{\int_{t_k}^{t_v} x(t) \cdot dt}, \quad 4.)$$

ami azt mutatja, hogy a hatásfok a bemenő jellemző és a folyamat lefolyásának bonyolult kapcsolódásából adódik. A bemenő jellemző általános esetben egy kauzális időfüggvény /pl. egy exponenciális görbe mentén történő leterhelés/ és egy, vagy több statisztikus jelenség együttes hatása /pl. a leterhelés során a tüzelőanyagminőség statisztikus változása is befolyásolja a folyamatot/. A folyamat átviteli viszonyait jellemző $\varphi(t)$ függvény hasonlóan bonyolult. A $\varphi(t)$ -t meghatározza a folyamat /szabályozott szakasz/ konstrukciója /pl. kazán, turbina tervezési műszaki jellemzők, építési méretek/, tehát az x -től független kauzális tényező. Ezt befolyásolhatja az x /például a kazán, vagy turbina adott terhelési szintje/, tehát az előbbiek szerint egy kauzális és statisztikus jelenség együttes hatása. Ezen kívül befolyásolhatják a $\varphi(t)$ -t a folyamaton /szabályozott szakaszon/ belül jelentkező statisztikus zavarások is, /pl. a kazán sugárzó lángfelületének ingadozása, cirkulációs változások, stb./. Végül mindezen a $\varphi(t)$ -t kialakító tényezők kölcsönhatásai is szerepet játszhatnak.

Az optimalizáláshoz azonban szükséges, hogy a gazdaságossági jellemzőket viszonylag rövid időszakra is meg lehessen állapítani, hiszen az előbbiekben említett teljes értékelési időszak esetleg több hónapot, vagy néhány évet is jelenthet. Ehhez hozzájárul az a szükséglet, hogy időben gyorsabban változó hatások eredményét is értékelni lehessen. Ezért a korábban előírt t_k és t_v integrálási időhatárok helyett meg kell állapítani olyan rövidebb t_1 és t_2 közé eső időtartamot, amelyből egy kiválasztott részidőszakról megbízható képet kaphatunk, és amelyből a teljes időtartamra vett hatásfok meghatározott ε , /később részletezendő/ pontossággal előállítható.

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_1^n \eta_i \pm \varepsilon \quad 5.)$$

ahol η a teljes folyamat hatásfoka az indítástól a leállításig, η_i pedig a rövidebb időtartamokra megállapított időszaki, tempo-rális hatásfokértékek, azaz:

$$\eta_i = \frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} x \, dt}{\int_{t_i}^{t_{i+1}} y \, dt}, \quad 6.)$$

ahol:

$$t_v - t_k = (t_n - t_{n-1}) + (t_{n-1} - t_{n-2}) + \dots + (t_{i+1} - t_i) + \dots + (t_2 - t_1) = \sum \Delta t_i \quad 7.)$$

és $t_1 = t_k,$
 $t_n = t_v$

A $t_{i+1} - t_i$ időtartamok lehetnek esetleg egyenlőek, de ha nem egyenlőek, az η_i értékeket az összegezés előtt még az időtartamarányok szerint súlyozni is kell. Hasonló súlyozás szükséges nem egyenletes energiaviszonyok ($\int x \, dt$) esetén is.

Az időbeli viszonyok tisztázásához természetesen nemcsak a folyamatok, hanem a mért adatok megfelelő egymáshozrendelése is tartozik, hiszen a műszer és a mérési módszer az optimalizálás zárt hatásláncában szerepel.

Példaként mutathatjuk be az optimalizálás jellemzője mérésének a problémájára a kazán működésének azt az időszakát, amikor a turbina terhelésének növekedésekor gőz fejlesztésére a dobban lévő forró vízben tárolt hőt veszi segítségül, így a külső, az időtényezőt figyelembe nem vevő megfigyelő számára esetleg percekig 1-nél jobb hatásfokkal jár. A mérési adatok koordinációjának szükségességére utal az a körülmény, hogy a kazánüzem irányítása általában egynapos késéssel értesül a szénminőség, a salak- és pernyeéghető változásairól, holott azt a kazán azonnal megérzi. A minták átlagolásának és az optimalizálandó hatásossági jellemzőnek kézenfekvő helyes összevetését érdemes hangsúlyozni, hibás következtetéseket adó, helytelen logikájú számítások példái után. Így egy erőműünkben rendkívül fáradságos korrelációs számítás után kimutatták, hogy a tüzelőanyag minőségének és a pernyeéghető-

nek gyakorlatilag nincs befolyása az erőmi-hatásfokra, a lényeges befolyásoló jellemző a külső hőmérséklet. A jellemzők hatását havi átlagok alapján számították. A pernyeéghető és a tüzelőanyag-minőség változásai és hatásai rövid átmeneti idejűek, havi átlagban kiegyenlítődnek, a külső levegőhőmérséklet viszont természetesen hónapról-hónapra különböző átlagot ad, így a havi átlagra számított hatása kiemelkedik. Másik példa a helytelen következtetés levonására a műszakonként mért salak és pernyeéghető és a műszak átlagteljesítményének korrelációja, ahol sem a statisztikus konfidencia, sem a mérési adatok időbeli koordinálása nem megfelelő.

Uzsoky Miklós egy a témával kapcsolatos megbeszélésen felhívta a figyelmet arra, hogy feltehető az a kérdés, vajon szükséges-e az optimalizáláshoz a klasszikus hatásfokszámítás hányados-képletéből kiindulni. Lehetséges-e egy olyan általános megfogalmazás, amely a rendszeroptimum /minimális költség, tüzelőanyagfelhasználás, stb./ keresését tüzi ki célul adott feltételek /összes, vagy részleges rendszerteljesítmény, egységteljesítmény-korlátok, stb./ mellett, bizonyos szabályozandó jellemzők /paraméterek/ variálásával.

Igy tehát az optimalizálás kritériuma nem az

$$\eta \rightarrow \max \quad 8.)$$

összefüggés, hanem

$$\left. \begin{array}{l} \int_{t_k}^t x dt \rightarrow \min \\ y = y(t) \end{array} \right\} 9.)$$

lesz,

-vel adott menetrendi feltételek mellett.

Ez a megfogalmazás valóban általánosabb, és alkalmasabb bizonyos ködösebb nézetek eloszlatására. A probléma lényegén azonban nem változtat, mivel ebben az esetben figyelembe kell venni a befolyásoló jellemzők és az optimalizálandó jellemző sokszor nem ismert,

esetleg statisztikusan alakuló, számos esetben közvetlenül nem mérhető időbeli összefüggéseit. Ennél a megfogalmazásnál is /amelyhez a gyakorlatban a hányadosviszonyokat nem feltétlenül tartalmazó, inverz-jellegű indirekt, veszteségeket számító mérési módszer áll közel/ tisztázni kell azokat a mintavételi és átlagolási időket és módszereket, amelyek révén a befolyásoló jellemzők és az optimum összefüggései a leghatásosabban, az összefüggéseket a legkevésbé torzítva tükrözhetők, és amelyekkel a mért és számított jellemzők helyes időbeli egymáshozrendelése megoldható.

A folyamat-hatásfokra definiált η és a temporális hatásfokra adott η_i közötti összefüggés és ellentmondás lényege tehát a következő: A folyamat gazdaságosságát teljes pontossággal csak az η -val, a teljes folyamatra számított hatásfokkal mérhetjük. Minél rövidebb időszakra határozzuk meg az η_i -értékeket, azaz temporális hatásfokokat, annál valószínűbb az eltérés a pontos η -tól. Ezzel szemben a folyamat optimális irányítása egy minél gyorsabb értékelést adó, minél kisebb időtartamra megadható temporális hatásfokot igényel, hiszen csak ennek alapján lehet a folyamatot állandóan a leggazdaságosabb üzemvitel felé irányítani. Az optimális irányítás érdekében optimális hatásfokértékelési intervallumot kell tehát meghatározni, ellentmondó feltételek legjobb kompromisszumának keresésével. A gyakorlati esetek többségében a mérési hiba /képleteinkben az ϵ / az optimumra vonatkozó kritériumunk alapadata, a meghatározás korlátja. Elképzelhető, hogy a mérési pontosság lényegesen növelhető és így újabb kritériumot kell adni. Ebben az esetben valamennyi megállapításunkat érvényben hagyva az ϵ helyébe a gazdaságilag még értékelhető /vagy érdemesnek tartott/ eltérés lép. Az optimumtól való még érdemesnek tartott eltérés általában a fokozott pontosságú mérésre és irányításra fordított többletköltséggel határozható meg; ha a kettő egymással nagyságrendileg azonossá válik, megkaptuk az értékelési hiba ésszerű határát.

Általában le kell szögeznünk, hogy jelenleg egyetlen erőműünkben sincs rendszeres, üzemszerű hatásfokmérés, így az erőmű vezetősége nem tudhatja, hogy az adott üzemállapotban pontosan milyen gaz-

dasági jellemzőkkel dolgozik. Ennek az az oka, hogy a jelenlegi műszerek, mérési módszerek a folyamatos, összefüggő mérésre és az eredmények folyamatos feldolgozására alkalmatlanok. A műszaki körülmények sem teljesen ismertek. Az erőművekben lefolytatott hatásfok-mérések igen ritkák, mivel nagy erőfeszítést, különleges felkészülést és körülményeket igényelnek. Ezen kívül ezek a mérések is igen megbízhatatlanok. Még a különleges gondossággal lefolytatott, és az üzemi feltételektől eltérően, a lehetőséghez képest maximálisan kedvező és stabilizált viszonyok között végzett garanciális mérések is komoly eltéréseket mutatnak, mint az a 2. táblázaton látható.

2. TÁBLÁZAT

Garanciális kazán-hatásfok mérések eredményei:

Mátravidéki Hőerőmű	71,6 - 82,2 %
November 7. Erőmű	83,5 - 86,5 %
Borsodi Hőerőmű	85,66 - 87,92%
Pécsi Hőerőmű	72,56 - 80,8 %
Ajkai Hőerőmű bőv.	83,51 - 84,93%
Tiszapalkonyai Hőerőmű	86,5 - 88,6 %

/ERBE mérések, Tiray Richárd
szívességéből/

Hangsúlyoznunk kell; hogy ez a megállapítás nem az erőművi, vagy más felsőbb irányító személyzetnek, hanem a műszaki fejlődés jelenlegi fokának a kritikája, viszont feltétlenül szükséges, hogy a ma rendelkezésre álló adatokkal kapcsolatos mindenféle hamis illúziót elozzlassuk.

1.3. Néhány általános megjegyzés a célszerű mintavételezési és átlagolási idők meghatározásáról

A fentiekben már utaltunk arra, hogy ipari folyamatok optimális irányításánál a hatásfok megállapítását bizonyos meggondolásokhoz kell kötni, figyelembevéve a jellemzők időbeli összefüggéseit. Különösen kérdésessé válik az egyértelmű meghatározás stochasztikus folyamatok, vagy legalábbis stochasztikus folyamatok által zavart rendszerek esetén. Konkrét folyamaton /kazánon/ végzett kísérletek és számítások tapasztalatai során a kérdést az alábbi módszerrel igyekszünk megközelíteni, kiindulva a feladat ismételt, tömör megfogalmazásából:

Adva van valamely rendszer egy-egy kiválasztott és összetartozó bemenő /x/ és kimenő /y/ jellemzőjének időbeli lefolyása (x/t; y/t), továbbá a két jellemző mérési hibája / ϵ_x és ϵ_y /.

Meghatározandó az

$$\eta_{\tau} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} x(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} y(t) dt} \quad 10.)$$

optimális, $t_2 - t_1 = \tau$ mérési intervalluma, amellyel az

$$\eta = \frac{\int_0^T x_{ki}(t) dt}{\int_0^T x_{be}(t) dt} \quad 11.)$$

érték maximalizálható, ha T a folyamat teljes, energetikailag független lefolyási ideje /pl. kazán hideg indulás, üzem, leállítás hideg üzemre/ és az η befolyásolása az η_{τ} mérése alapján történik. A feladat megoldásánál figyelembe kell venni a jellemzők meghatározásának műszaki korlátait / ϵ /.

A τ értékére explicit kifejezést általános esetben nem adhatunk. Mivel statisztikus jellemzők kölcsönös időbeli összefüggéseiről

van szó, a korrelációs függvényekkel fogunk számolni, amelyek megadják, hogy egy folyamat milyen τ időintervallumon belül mutat statisztikus összefüggést önmagával, illetőleg egy másik folyamattal. A statisztikus összefüggéseknek a τ idővel történő gyengülése ad majd felvilágosítást azokról a hatások mintavételezésnél és átlagolásnál figyelembe veendő τ periódusokról, amelyek még számunkra lényeges energetikai összefüggéseket adhatnak.

A feladatot a fenti nehézségek miatt részben néhány ismert esetre vezetjük vissza.

1./ Feltételezzük, hogy az y és x összefüggés az időtől független, x változását y változása azonnal követi, valamilyen tetszőleges összefüggés szerint

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{x}{y} \right) = 0 \quad 12.)$$

η meghatározási pontossága kizárólag az ϵ -tól függ. A mérés-technikai előírások erre az esetre nem egyértelműek és részben tudományosan nem megalapozottak. A hazánkban is használt és többször idézendő DIN 1942 szabvány a kazánok hatásfokméréséről, a számlálóban és nevezőben lévő hibákra ugyanugy alkalmazza a négyzetes hibaszummázást, mint az összeadódó hibákra, ami nyilvánvalóan általában nem fogadható el. Jakovlev ^x helyesen megadja a hibahatár

$$\epsilon_{\text{határ}} = \pm \frac{|\epsilon_x|y + |\epsilon_y|x}{x^2} \quad 13.)$$

egyébként helyes, de statisztikai értékelés szempontjából nem eleget mondó képletét, de a problémát tovább nem elemzi.

Általában a viszonyok sajnos valóban bonyolultakká válnak. Két normális eloszlás hányadosa Cauchy eloszlást mutat, amelynek szórása végtelen, egyenletes eloszlást feltételezve pedig durva közelítésre jutunk.

^xOp.cit. 49.old.

Használhatóbb számunkra az a közelítés [11]^{xx}, amely feltételezi, hogy a két valószínűségi változó független, elsőrendű parciális deriváltjaik léteznek és folytonosak. Ekkor a szórások a várható értékhez képest kicsinyek, a hányados szórásnégyzetére:

$$\begin{aligned} \overline{\sigma^2\left(\frac{x}{y}\right)} &= \left(\frac{1}{x + \overline{\delta x}}\right)^2 \overline{\sigma^2(y)} + \\ &+ \left(\frac{y + \overline{\delta y}}{x + \overline{\delta y}}\right)^2 \overline{\sigma^2(x)} \quad \text{-t ad,} \end{aligned} \quad 14.)$$

ahol $\overline{\delta x}$ és $\overline{\delta y}$ az eltérés várható értéke. Ha ez utóbbi zérus, továbbá a léptéket úgy választjuk, hogy $x = 1$ legyen,

$$\overline{\sigma^2\left(\frac{x}{y}\right)} = \overline{\sigma^2(y)} + y^2 \overline{\sigma^2(x)}, \quad 15.)$$

Ez azt jelenti, hogy a ki- és bemenő jellemzők stochasztikus változása esetén /ami a mérési hibából is adódhat/ a hatásfok számításában csak akkor kell a szokásos hibanégyzet-összegezést alkalmazni, ha a hatásfok az egység körül van /pl. kazán/. A turbinák 0,3 körüli hatásfoka esetén /beleszámítva természetesen a körfolyamat hatásfokát/, azonban csak a kimenő jellemzők szórását /hibáját/ érdemes figyelembe venni, feltéve, hogy a két szórás azonos nagyságrendű, illetve a kimenő jellemző nagyobb, mint a bemenő. Általában kedvezőtlen, feltételeinket ki nem elégitő esetben a hányados statisztikus eloszlására vonatkozó ellenőrzést külön el kell végezni, mert a hányados szórásnégyzete a számláló és a nevező szórásnégyzetének összegénél lényegesen nagyobb értéket is adhat.

- 2./ Legyen az y/t ; x/t ergodikus, fehér zaj jellegű, az R_y/τ , R_x/τ és $R_{x,y}/\tau$ auto-, illetőleg keresztkorrelációs függvények $\tau = 0$ kivételével $0 < \tau < \infty$ tartományban állandóak. A két jellemző szórása σ_1 és σ_2 . Ebben az esetben a mintavétel ideje közömbös, a mintavétel számát az x/t függvények eloszlási viselkedésétől függően a megfelelő konfidenciaintervallum szerint úgy állítjuk be, hogy az az \mathcal{E} által okozott

^{xx}Op.cit. 331.oldal, 20.példa.

hibát ne befolyásolja lényegesen, a

$$P \left(\sqrt{\frac{(\sum x_i - \frac{\sum x_i}{n})^2}{n}} - \delta_i \leq \alpha \varepsilon_i \right) \leq \alpha \varepsilon_i \quad 16,$$

feltétel szerint, ahol P az eltérés valószínűsége, n a mintavételek száma, $\alpha < 1$ tényező. Azaz, szavakban kifejezve: a mérendő jellemzőből megbízható értékeléshez annyi mintát kell venni, hogy az ezekből számolt szórás érték adott hibával és adott valószínűséggel ne különbözzék a valódi /végtelen sok mérésből adódó/ szórástól. A hiba megengedett abszolút értékét és az erre a hibára előírt statisztikai megbízhatóságot a mért i -edik jellemző ε_i mérési rendszerhibája szabja meg, a mért jellemző statisztikus eloszlásának figyelembevételével. Ezt a mérési hibával azonos ε_i értéket csökkentjük az α célszerűen felvett tényezővel, annak érdekében, hogy a mintavételi hibája a mérés amugyis meglévő rendszerhibáját ne növelje lényegesen. Ha pl. a mérési hiba és a mintavételi hiba összegeződését a mérési hiba értékén akarjuk tartani $\alpha \approx 0,7$ /négyzetes hibaösszegezésnél kb. 0,5-szörös hibatöbblet/.

Felmerül a kérdés, szabad- és szükséges-e egy a mérési hibánál kisebb mintavételi hibát feltételül szabni. A szórás pontos értékének megközelítési lehetősége attól függ, mennyire stacionárius a jelenség, az ergodikus feltétellel ezt antici páltuk. Az ergodicitást általában ellenőrizni kell, illetve a vizsgálatokat csak olyan periódusokra szabad a fentiek szerint kiterjeszteni, amelyek jó közelítéssel - éppen a fenti hibahatár alapján numerikusan definiálhatóan - ergodikusak. A mérési hiba mérés technikai meghatározása extrém értéket ad, ^{ha} az előírt ε mérési hibánál nagyobb eltérést adó mérési módszereket, illetve műszereket nem alkalmazunk. Így a nagyobb számú mintavétel során kapott szórás és méginkább az átlag-eltérés, /amely a szórásnál általában kisebb/, az ε -nál kisebb lesz. Az α értékét a konkrét folyamat statisztikai elemzése után állapítjuk meg, de nyilván nem ésszerű nagyságrenddel a mérési pontosság szabta korlát alá, azaz a négyzetes hibaösszegezést figyelembe véve 0,5 - 0,7 érték alá szorítani.

3./ Legyenek az x és y egymás között korrelálatlanok, azonban az $x/t/$ és $y/t/$ $R_x/\tau/$ és $R_y/\tau/$ autokorrelációs függvényei időbeli függést mutatnak, azaz a t időpontban vett mintából következtetni lehet meghatározott megbízhatósággal a $t + \tau$ időpontban várható értékre. Az autokorrelációk értékelése két szempontból is történhet. Az egyik arra az esetre szól, ha azokat a változásokat, illetőleg azoknak a változásoknak a hatását is ki akarjuk - vagy tudjuk - szűrni, amelyeket az autokorreláció értékeinek τ -tól függő változása kifejez, esetünkben pl. a kazán állandóan jelenlevő, néhány perces időtartamu lengéseit. Ebben az esetben a stochasztikus jellemzők szabályozására kidolgozott, ma már klasszikusnak mondható módszerekkel járunk el, amit itt nyilván nem tárgyalunk.

Már most előre megjegyezzük, hogy esetünkben ez nem jön számításba. Ennek egyik oka, hogy az ilyen jellegű lengések kiküszöbölésére nincsenek megfelelő fizikai eszközeink, maguknak a lengéseknek az eredete, jellege technológiai oldalról sem teljesen tisztázott. Bár a tüzelőanyag fűtőértékének és egyéb tulajdonságainak változása, a malmok működése gerjeszthetik, a gőztermelés során figyelembe veendő legkülönbözőbb tárolóelemek /tüztér, víztér, csövek, stb./ tárolhatják a lengési energiákat, ezek együttes mechanizmusa azonban még feldolgozásra vár. A kérdés szándékos elhanyagolásának másik oka, hogy ezek a kis amplitudóju - legtöbbször $\pm 5\%$ -on belüli - lengések a hatásfokot nem befolyásolják érzékelhetően. Eddig egyetlen közlemény sem jelent meg, amely az ilyen mértékű hatásokat megbízhatóan kimutatta volna, saját méréseink sem adtak észlelhető hatásfok-változást.

Az autokorrelációs összefüggések ismeretének másik felhasználása éppen ellenkező. Képet kapunk ugyanis azoknak a stacionáriusnak mondható lengési folyamatoknak az átlagos csillapodási sebességéről, amelyeket a szabályozásból - illetőleg az optimumot befolyásoló tényezőkből ki akarunk szűrni. A feladat bizonyos mértékben hasonlít a hasznos és a zajjellegű információ szétválasztásához, de mutat néhány különös saját-

ságot. Egyik az, hogy megkíséreljük a szétválasztást - legalábbis hosszabb időtartamra - egyszerű, rögzített módszerekkel, a mintavételi gyakoriság megállapításával elvégezni. A másik jellegzetesség, hogy a hasznos információnak elsősorban integrált értékei jelentősek számunkra, bizonyos szintén célszerűen meghatározott intervallumban átlagolt jellemzők függvényében. Mindezek figyelembevételével két egymás között korrelálatlan jellemzőből képzett optimum vizsgálatánál az egy értékelési periódusra eső τ_i integrálási időt olyan hosszúra vesszük, hogy $R/\tau_i \approx \varepsilon$ legyen, ha $R/\tau \xrightarrow{\tau \rightarrow \infty} 0$.

Az átlagtól való eltérésre számított $R/\tau \xrightarrow{\tau \rightarrow \infty}$ akkor és csakis akkor nem 0, ha a jelenség tiszta periodikus. Ekkor a mintavételi periódusidő természetesen maga a jelenség periódusa lenne. Ilyen eset azonban az energetikai gyakorlatban - mint azt a 2.4.2. alatt ismerttetendő korrelációs és spektrálsűrűségi görbék is mutatják - nem fordul elő, a sokváltozós, statisztikus, általában nemlineáris összefüggések nem adhatnak tiszta periodikus lefolyásokat. Az ipari folyamatszabályozási gyakorlatban előforduló korrelációs összefüggések aperiodikus, vagy csillapodó periodikus lefolyást adnak. Egy integrálási időszakon belül annyiszor kell mintát venni, hogy a minták átlagolásával kapott eredmény a mérési hibát ne növelje egy folyamatos mérés integrálásával szemben.

A korreláció szórásnégyzet jellegű jellemző, hiszen az $R/0$ maga a szórásnégyzet, az R/τ pedig ennek a fogalomnak az általánosítása a τ intervallumban észlelt eltérések "szórásnégyzetére", lényegében véve egy többdimenziós eloszlásra értelmezett, normált szórásnégyzet. Ezért a 2./ alatti feltételt úgy módosítjuk, hogy a szórásnégyzetet, melyet hosszú időtartamra, vagy sok mintára számítottunk, a megfelelő mintavételi időtartamra vonatkozó $1 - R/\tau$ értékkel szorozzuk. Így igen kis intervallumra vonatkozó becslésnek a valódi értéktől való szórása /eltekintve a mérési hibától/ zérus lesz, ritka mintavételeknél, ahol az R/τ a zérus felé tart, megfelelő számú minta esetén a szórás eredeti értéke. A mintavételi τ_m időtartam, figyelembevételével a stacionáriusság feltételét,

amely mint a megbízhatósági becslés, a mérési időtartam előtt és után egyforma idővel azonos:

$$\sigma^2 \int_0^{\tau/2} (1 - R(\tau)) d\tau \leq \alpha^2 \varepsilon^2 \quad (17)$$

4./ Az előbbieket után térhetünk rá a számunkra tulajdonképpen fontos esetre, amikor általában az optimálandó jellemző és a befolyásoló között, vagy különleges esetünkben az optimumot jellemző hányados számlálója és nevezője között statisztikus összefüggés van, amelyet az $R_{x,y}/\tau$ keresztkorrelációs függvény jellemez. Az egyes külön-külön elválasztva mérhető jellemzők mintavételi gyakoriságára vonatkozólag a helyzet a 3./ esettel szemben nem változik, az integrálási időt azonban az R_{x_1}/τ autokorrelációk és $R_{x_1,x_j}/\tau$ keresztkorrelációk közül az határozza meg, amelynek csillapodási ideje hosszabb. Ha az $R_{x_1,x_j}/\tau$ keresztkorreláció megközelíti az $R_{x_1,x_j}/\infty$ értéket, a két jellemző között már nincs statisztikus összefüggés, az értékelési időszak lezárható. Ez fizikailag annyit jelent, hogy a befolyásoló jellemző valamennyi lényeges hatása az optimumra ez alatt az idő alatt eltűnik. Ebben az esetben természetesen az $R_{x_1,x_j}/\tau \neq R_{x_1,x_j}/-\tau$ -al, a két jellemző korrelációjával becsült stochasztikus összefüggés egy sor műszakilag általában pontosan még nem tisztázott kauzális összefüggést takar az x_1 mint ok és az x_j mint okozat között. A hányadosokkal kapcsolatos megjegyzésektől eltekintve az általános módszer azonos mind a hányadosjellegű /pl. direkt hatásfokmérés/, mind a feltételes szélsőérték szemléletű /indirekt hatásfokmérés, adott teljesítményekre/ megfontolásokra.

Csak a teljesség kedvéért említjük meg, hogy az egyes jellemzőkre eloszlásvizsgálatot kell végezni, meg kell határozni a hipotézis-eloszlástól való eltérést, az eloszlás statisztikus jellemzőit, továbbá a konfidencia-intervallumokat. Ehhez természetesen ellenőrizni kell a folyamat stacionárius, ergo-

dikus jellegét.

Előre rögzíthetjük, hogy a folyamatok általában nem ideálisan stacionáriusak, hiszen igen különböző lefutású kauzális és stochasztikus jelenségek szuperpozíciói /pl. fűtőanyagváltás, környezeti hőmérsékletváltozás, elpiszkolódás, kopás, stb./. Nyilvánvaló az is, hogy feladatunk különlegesen bonyolult - mint látni fogjuk, gazdaságilag jelenleg nem indokolt - adaptív rendszerek alkalmazásától eltekintve, csak mint közelítőleg stacionárius - kvázistacionárius - rendszer kezelhető. Ezeknek a közelítéseknek a hatását külön és gondosan kell mérlegelni. Dolgozatunkban erre is közlünk konkrét mérési és értékelési példát.

A mérési eredmények átlagolására, hirtelen, még nem értékelhető változások kiszűrésére az egyik amerikai számológépes irányítás [12] olyan módszert alkalmaz, amely az egyes mérési adatokat időben távolodva, csökkenő súllyal számítja az átlagba

$$x = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} x_i \quad (18.)$$

számításával /i a mérés száma, a pillanatnyi x_i -től időben visszafelé haladva, x_i az i-hez tartozó mérési eredmény, x az értékelés és szabályozás számára figyelembe veendő, le-származtatott érték/. A módszer inkább gyakorlati, mint elvi jellegű, nyilván úgy keletkezett, hogy az x_i binárisan kódolt mérési eredményeket addig tolja a gép az összeadó-regiszterben kifelé /sorozatos, i-szeres 2-vel való osztás/, amíg az onnan teljesen kitolódik. Így az n értékét a regiszterhossz /ezzel az adatmegadási pontosság/ határozza meg. Ez az eljárás azonban nem tükrözi a különböző jellemzők statisztikus viselkedéséből származó és a fentiekben körvonalazott mintavételi követelményeket.

Az ebben a fejezetben összefoglalt mintavételi és átlagolási ajánlások gyakorlati alkalmazását a mérések ismertetésénél mutatjuk be.

1.4. A befolyásoló jellemzők statisztikus viselkedésének hatása az optimalizálandó jellemzőkre

Az optimalizáláshoz szükséges az optimum jellemzőjének és az azt befolyásoló tényezőknek a vizsgálata. Az optimum jellemzője /költség/időegység, hatásfok, minőségi jellemző, stb./ általában számított, mérési eredményekből leszarmaztatott eredmény, amely függ a befolyásoló jellemzőknek a mérési bizonytalanságától, külső és belső zavarásokból adódó statisztikus változásaitól. Csak ezeknek a hatásoknak az értékelése alapján tudjuk meghatározni azokat a méréstechnikai és automatizálási követelményeket, amelyeket az optimalizálás érdekében fel akarunk állítani.

Általában vizsgálva, ha egy x_i jelenség valamilyen statisztikus eloszlást mutat, és az x_{i0} optimális hatást okozó értéktől

$\delta x_i = x_i - x_{i0}$ -val tér el, az optimumra jellemző y_i is $\delta y_i = y_i - y_{i0} = f_i / \delta x_i$ eltérést fog mutatni. T idő alatt ez a hatás

$$\Delta Y_i = \int_0^T \delta y_i(t) dt = \int_0^T f_i(\delta x_i) dt \quad 19.)$$

lesz.

Ha a δx_i eltérés valószínűségi eloszlására jellemző valószínűség-sűrűség függvény w/x_i , a hatás elegendően hosszú T időtartamra

$$\Delta Y_i = \int_0^T \int_{-\infty}^{+\infty} f_i(\delta x_i) \cdot w(x_i) dx_i dt, \quad 20.)$$

azaz a $\delta y_i/t$ pillanatnyi hatás várható értékének időintegrálja.

Az $f_i / \delta x_i$ függvény pontos meghatározása általában nehéz, az összefüggések bonyolultságára már sokszor utaltunk. Nyilvánvaló, hogy ilyen körülmények között a sorbafejtés lineáris és négyzetes tagjának figyelembevétele teljesen elegendő, különlegesen indokolt, és gyakorlatunkban még elő nem fordult esetek kivételével. Külön megvizsgáljuk előbb az egyszerűbb kvadratikus, majd a lineáris közelítés hatását.

$$\delta y_i = \alpha_i (\delta x_i)^2, \quad 21.)$$

ennek alapján a statisztikus szórás értelmezése szerint

$$\Delta Y_i = \alpha_i \bar{\sigma}_i^2 T, \quad 22.)$$

ahol $\bar{\sigma}_i$ a δx_i jellemző $w/x_i/$ eloszlásának szórása.

A tiszta lineáris összefüggés helyett csak azt az esetet kell tárgyalni, amikor $\delta y_i = \beta_i |\delta x_i|$, azaz a hatás az eltérés abszolút értékétől függ lineárisan. /Ha nem az abszolút értéket nézzük, a probléma triviálissá fajul, mivel $\delta x_i = 0./$

Ekkor

$$\Delta Y_i = \beta_i \int_0^T \int_{-\infty}^{+\infty} |\delta x_i| w(x_i) dx_i \cdot dt \quad 23.)$$

vagy szimmetrikus eloszlásnál

$$\Delta Y_i = 2\beta_i \int_0^T \int_{-\infty}^{+\infty} \delta x_i w(x_i) dx_i \cdot dt. \quad 24.)$$

Ebben az esetben nem tudunk általános megoldást adni, azonban a számunkra legfontosabb normál-eloszlásra

$$w(x_i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta x_i^2}{2\sigma^2}} \quad 25.)$$

$$\begin{aligned} \Delta Y_i &= 2\beta_i \int_0^T \int_{-\infty}^{+\infty} \delta x_i \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta x_i^2}{2\sigma^2}} d \delta x_i = \\ &= \frac{2\beta_i}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^T \int_{-\infty}^{+\infty} \delta x_i e^{-\frac{\delta x_i^2}{2\sigma^2}} d \delta x_i = \\ &= \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma \cdot \beta_i}{\sqrt{\pi}} \cdot T \approx \underline{\underline{0,8 \sigma \beta_i T}} \quad 26.) \end{aligned}$$

azaz a hatás a szórással arányos.

Mivel a korrelációs függvények szórás /illetve szórásnégyzet/ jellegűek, az 1.3. alapján meghatározott mintavételi idők alapján egyértelmű összefüggést kapunk a mintavétel gyakoriságának a gazdaságosságra, vagy más optimalizálendő jellemzőre gyakorolt hatásáról.

2. KAZÁNÜZEMI OPTIMALIZÁLÁS

2.1. A kazán gazdaságosságát befolyásoló jellemzők elemzése

A következőkben az erőművön belüli optimalizálás legbonyolultabb részével, a kazánüzemmel foglalkozunk. Nem szükséges részletesebben indokolni, hogy az erőművön belül a kalorikus üzem az a terület, ahol a gazdaságosság hatásos javítására a legtöbb lehetőség van. Ezen belül a kazánüzem azért érdekes számunkra kiemelkedően, mert a kvázistacionárius üzem körülményei között a kazán van a legjobban kitéve statisztikus zavarásoknak, a viszonyok a kazánnál általában nem számíthatóak előre kielégítő pontossággal. Az egyes jellemzők kölcsönhatásai itt nem eléggé tisztázottak. Éppen ezért a kvázistacionárius üzem viszonyai között a kazánüzemet kell első-sorban elemeznünk egy esetleges számológépes irányítás lehetőségei és a jelenleg szokásos módszerekkel szemben várható haszna szempontjából.

Az elemzések során először sorravesszük az egyes főbb befolyásoló, illetve értékelő jellemzők /ki- és bemenő jellemzők/ jelenlegi műszaki eszközökkel megvalósítható mérési pontosságát, a mérési módszerek időbeli viselkedésének hatását, a mérési hiba hatását a gazdaságosság értékelésére /pl. szerepét a hatásfok-számításnál/, a mérési hiba hatását az optimumra szabályozás helytelen beállítása következtében /pl. a légfeszültség helytelen beállítása a gázelemzés, vagy egyéb jellemzők hibás és késedelmes mérése miatt/, és ennek befolyását a hatásfokra. Végül a kísérleti eredmények összevetésével hasznosítjuk az 1. fejezetben rögzített általános elveket.

Az optimalizálandó jellemzőt befolyásoló tényezők és jellemzők vizsgálatát tehát két oldalról közelítjük meg. Az egyik a technológiai szemlélet, amelynél megvizsgáljuk, hogy milyen - a jelenlegi műszaki színvonalon mérhető, vagy körülírható - jellemzők és

milyen mértékben befolyásolják az optimumot; a másik a méréstech-
nikai szemlélet, amely az optimumra valamilyen módon jellemző ada-
tok mérésének megbízhatóságát, ez utóbbinak az optimum meghatáro-
zására gyakorolt hatását elemzi.

Az optimumra vonatkozólag mind a 7./, mind a 8./ egyenletben adott
meghatározások használhatóak, most már figyelembevéve az 1. fe-
jezetben ismertetett pontossági, mintavételi és átlagolási szem-
pontokat.

A további 2.2. és 2.3. pontokban a teljesség és az áttekinthe-
tőség kedvéért, részben céljainknak megfelelően összeállítva,
olyan megállapításokat, illetve adatokat foglaltunk össze, ame-
lyek önmagukban közismertek.

2.2. A kazánüzem gazdaságossági méréseinél szereplő jellemzők méréstechnikai értékelése

Az adatokat [13 - 32] alapján a 3. táblázat foglalja össze. A szük-
séges mérési pontosságra vonatkozó, az adatokból levonható követ-
keztetésekre a további fejezetben ismertetett anyag szintézise
során térünk vissza.

2.3. A kazánüzemet befolyásoló jellemzők és a hatások összefüg- gése

1./ Szénösszetétel.

Mint Bassa [33] is kimutatja, a fűtőérték távolról sem egyértel-
mően meghatározó jellemző, a fűtőanyag különböző összetevőinek
hatása az elégésre különböző. A mechanikai jellemzők változását,
amely főleg a kiórlásra van hatással, a 2.3. -2./ alatt tárgyal-
juk, itt csak a kémiai összetételre szorítkozunk. Ugyancsak
az idézett munka világít rá arra a körülményre is, hogy a tiszta
karbontartalom megjelenési formája /szilárd, vagy illó állapot/
milyen jelentős befolyással van az égési viszonyokra. A hamu, en-

3. TÁBLAZAT

A kazánüzem néhány fontos mérési adatának értékelése a mérés technikai követelmények és gazdaságosság szempontjából

	mérési pontosság üzemi	speciális	időkésés	hiba az enthalpiaszámításnál	linearizálás hibája az enthalpiaszámításnál	egyéb jellemzők számításánál befolyás	befolyás a hatások változására	hatások számítása	hivatkozás
GŐZHÓFOK ellenálláshőmérő hőelem	$\pm 0,5 \div 1 \%$	$\pm 0,2 \div 0,5 \%$	0,5 - 10'	0,4 % / hiba %	$\pm 20 \text{ C}^\circ$ tartományban $\sim 0,03 \%$	mennyiségmérő $\pm 20 \text{ C}^\circ$ tartományban $\mp 0,1 \div 0,2 \%$	turbinánál $\sim 0,2 \%/ \text{C}^\circ$	0,1 \div 0,2 % /direkt mérés/	[13], [14], [15], [16], [18], [24], [25], [30]
GŐZNYOMÁS	$\pm 0,5 \div 1,0 \%$	$\pm 0,1 \%$	< 0,1''	0,13 % / hiba %	± 5 at tartományban $10^{-2} \%$ nagyságrend	mennyiségmérő ± 5 at tartományban $10^{-3} \%$ nagyságrend	turbinánál 0,1 \div 0,5 %/at	0,01 \div 0,03 %	[13], [14], [15], [16], [18]
GŐZ- ÉS TÁPVIZ- MENNYISÉG	$\pm 1,2 \div 2 \%$	$\pm 0,5 \%$	< 0,1''	arányos	-	-	-	/1,2 - 2 %/ /arányos hiba, direkt mérés/	[13], [14], [15], [18], [23], [29]
TÁPVIZHÓFOK	mint a gőzjel- lemzőknél	mint a gőzjel- lemzőknél	mint a gőzjel- lemzőknél	arányos	$\pm 0,1 \div 0,2 \%$ 10 C° enthalpiaeltérés	-	-	0,02 \div 0,05 %	
TÁPVIZNYOMÁS	- " -	- " -	- " -	$10^{-2} \%$ nagyság- rend	$\pm 0,1 \div 0,15 \%$ 10 C° enthalpiaeltérés	-	-	0,02 \div 0,05 %	
SZÉN FÜTŐÉRTÉK mintavétel elemzés	2,5 \div 8 % 1,5 \div 3 %	- -	} 1/2 - 1 nap			füstgázvesztesség $\frac{0,03 \div 0,05 \%}{\text{fűtőérték } \%}$ salakéghető: kb. arányos, /ellenkező elő- jellel/	0,2 \div 0,5 % normál mérési pontosságnál	arányos	[15], [17], [19], [26], [27], [28], [31]
SALAKÉGHETŐ PERNYÉGHETŐ	30 - 40 % 15 %		} 1/2 - 1 nap				0,1 \div 1,0 % hamutartalomtól és fűtőértéktől függően		[15], [19], [26], [27], [28], [31]
FÜSTGÁZÖSSZETÉTEL CO H ₂ JO ₂ ; O ₂ %	0,1 % 0,1 % $\sim 10 \%$		} 15 - 20''				$\frac{0,5 \div 0,6 \%}{1 \% \text{ hiba}}$ 0,05 % veszteség 0,2 \div 1 % / 10 % hiba az optimumtól való távolodással növekedve lásd 2.3.3.		[13], [14], [15], [19], [52], [53]

3/a. TÁBLÁZAT

Adatmegadási hibák hatása a kazánhatásfok számítására [32]

adatifajta	tipikus érték	2 %-os adatmegadási hiba körülbéli hatása a hatásfok számítására
salakéghető	5 %	0,005 %
hamutartalom	5 %	0,005 %
szén karbon tartalma	85,0 %	0,30 %
oxigén a füstgázban	3,0 %	0,18 %
szén hidrogéntartalma	5,0 %	0,064 %
CO ₂ a füstgázban	15,0 %	0,57 %
szén kéntartalma	3,0 %	0,0025 %
füstgáz hőfok	150 C°	0,17 %
levegő hőfok	15 C°	0,037 %
szén szabad nedvesség tartalma	0,2 %	0,036 %
fűtőérték	5200 kkal/kg	0,28 %
sugárzás, stb.	fűtőérték 0,75 %-a	0,014 %

Megjegyzés: A CEGB által gyűjtött fenti angol adatok nyilván csak értelemszerűen, a lényegesen eltérő minőségű /5200 kkal/kg, hamutartalom/ szenek figyelembevételével alkalmazhatóak.

nek összetétele, a nedvesség és ennek kötődési formája - amely szintén időről-időre változhat - lényeges befolyást gyakorol a kazán viselkedésére, azonos fűtőértékek mellett is. A tüzeléstechnika mai állása mellett, továbbá az anyagjellemzők jelenlegi mérési módszerei korlátainak figyelembevételével olyan matematikai modellt, amely a szénösszetétel függvényében elfogadhatóan pontos dinamikus képet adhat a kazán viselkedéséről, nem lehet adni, ezt egyelőre meg sem kísérelték. Itt kell hangsúlyoznunk, hogy az ezzel kapcsolatos elméleti vizsgálatok, továbbá mérési módszerek kutatása nemcsak a kazánszabályozás, hanem a tervezés szempontjából is talán a legfontosabb feladat - azonban ez a feladat kívül esik az automatika területén.

Jelenleg az egyetlen rendelkezésre álló, többé-kevésbé használható numerikus összefüggés a jól ismert Rosin-féle képlet az elméletileg szükséges légszükséglet és a fűtőérték közötti kapcsolatokra [34].

$$L_{\min} = \frac{1,01 F}{1000} + 0,5, \quad 27./$$

ahol L_{\min} az elméleti légszükséglet, Nm^3/kg
 F a fűtőérték, $kcal/kg$,

innen az az ϵ légfelesleg-eltérés arány, amely a feltételezett fűtőanyagra optimálisan beállított szabályozás esetén áll elő, ha a fűtőérték μ tényezővel változik:

$$\epsilon = \frac{1,01 \mu F + 500}{1,01 F + 500} \quad 28./$$

$$\left(\mu = \frac{F_{\text{valódi}}}{F_{\text{feltételezett}}} \right)$$

ϵ értékeit a 4. táblázat mutatja.

4. TÁBLÁZAT

$$\xi = \frac{1,01 \mu H + 500}{1,01 H + 500}$$

$\frac{H}{\mu}$	1500	2000	3000	4000	5000	6000
0,8	0,8495	0,8897	0,8285	0,8221	0,8185	0,8155
0,9	0,9248	0,9205	0,9145	0,9115	0,9078	0,9076
0,99	0,9925	0,9918	0,9915	0,9905	0,9999	0,9110
1,01	1,0075	1,0080	1,0085	1,0085	1,0085	1,0091
1,1	1,0737	1,0808	1,0855	1,0875	1,0907	1,0910
1,2	1,1497	1,1599	1,1708	1,1775	1,1820	1,1845

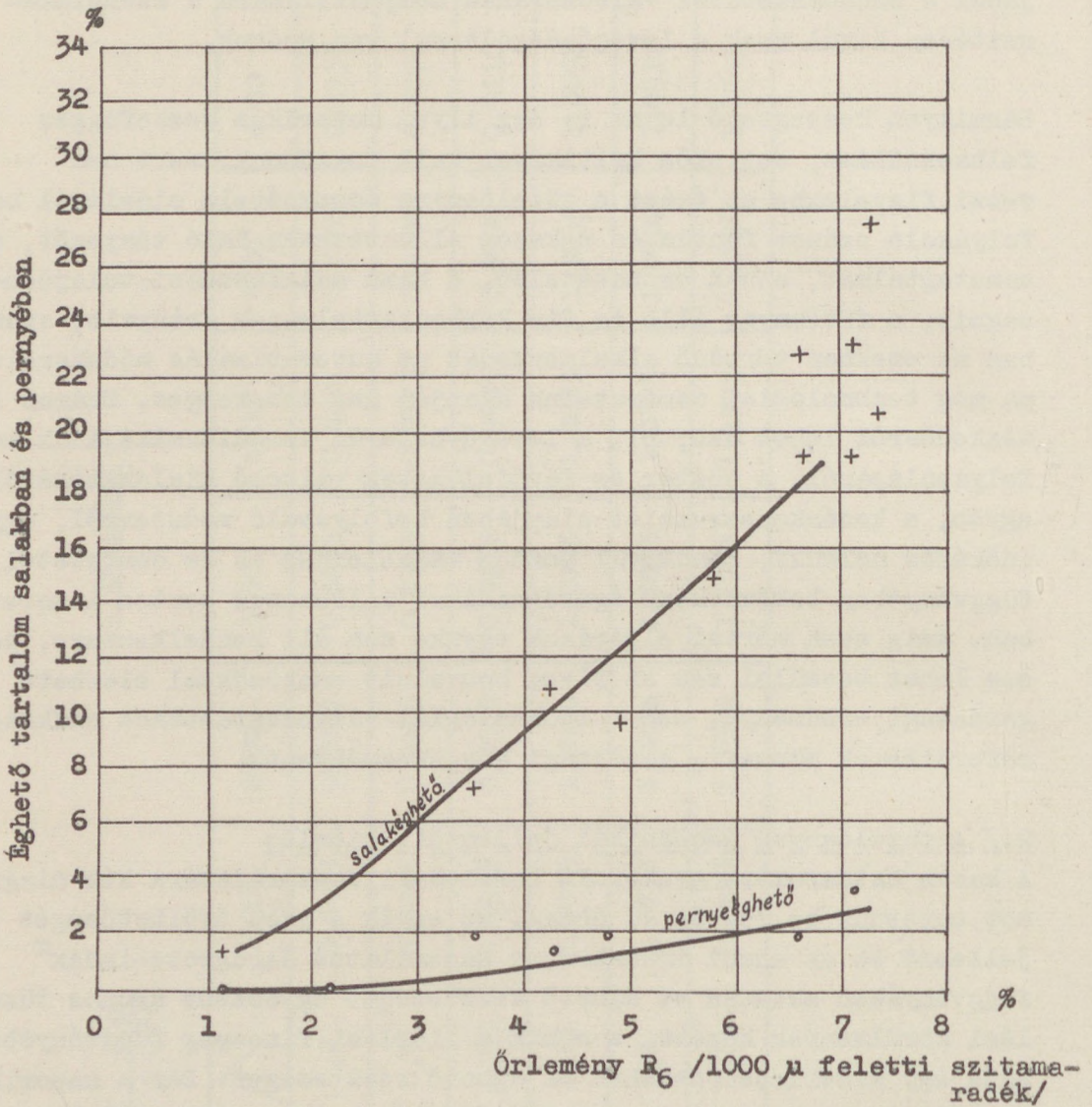
Ilyenformán a fűtőérték /illetve ezen keresztül megközelítve a szénösszetétel/ változását a légfelesleg változására vezettük vissza. Ez azért lenne jelentős, mert az automatizálás szempontjából a szénösszetétel változásának kompenzálására a szénelőkészítésen kívül csak a levegőadagolással van módunk.

Bármilyen kecsegtető lenne is egy ilyen numerikus összefüggés felhasználása, azt erős kritikával kell fogadnunk, mert nem veszi figyelembe az égést a tüzelőanyag összetétele oldaláról befolyásoló számos fontos és sokszor ellentétesen ható tényezőt, a hamutartalmat, annak összetételét, a hamu salakosodási tulajdonságait, a fűtőanyag illó és fix karbontartalmának arányait, azonban az ezekhez történő alkalmazkodás az automatizálás módszereivel ma még technológiai ismereteink alapján nem lehetséges. Számos intézkedésről lehet szó, pl. a levegő-befúvás aerodinamikájának befolyásolásáról, a tüztér és fűtőfelületek változó kialakításáról, egyéb, a kazánkonstrukciót alapjában befolyásoló módszerről, egy időkésés nélküli, rendkívül pontos szénelemzés és az összetétel függvényében bekövetkező égésdinamikai változások pontos ismeretében. Amíg ezen mérési eljárások egyike sem áll rendelkezésre, meg sem lehet becsülni sem az ilyen bonyolult eszközökkel elérhető gazdasági eredményt, sem a technológiai változtatásokhoz szükséges ráfordítások miszaki, gazdasági következményeit.

2./ A tüzelőanyag mechanikai jellemzői, kiörlés

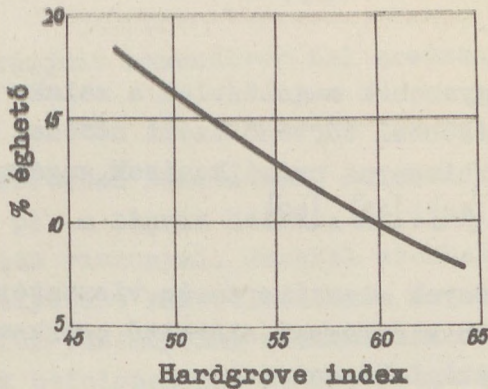
A kazán hatásfokára gyakorolt befolyás illusztrálására két diagramot mutatunk be /3. és 4. ábra/, az egyik a szén örlhetőségét jellemző és az angol irodalomban használatos Hardgrove-index^x függvényében mutatja az éghető veszteséget egyébként azonos tüzelési körülmények között, a másik a kiörlési finomság függvényében adja egy kísérletsorozatban az éghető veszteséget. Bár a numerikus összefüggéseket minden szénfajtára külön kell megállapítani, az irányzat világos, a szén rosszabb örlhetősége rosszabb hatásfokot

^xA Hardgrove-indexet úgy állapítják meg, hogy szabványos laboratóriumi örlőberendezéssel, szabványos körülmények között örlt szénnek szitamaradékát, tehát kiörlési finomságát hasonlítják össze. Az index a szén rosszabb örlhetőségével nő. /A Hardgrove-index csak fekete szénekre ad minősítést. A hazai szénekre félrevezető eredményeket is szolgáltathat./



3. ábra

Összefüggés az örlemény durva /1000 μ feletti/ frakciója és a salak, ill. pernyééghető tartalma között [35]



4. ábra

A pernyeéghető százaléka a Hardgrove index függvényében [36]

ad, illetve az őrlő és előkészítő berendezéssel alkalmazkodni kell a szén mechanikai tulajdonságaihoz is. Bár az égés, lévén elsősorban felületi reakció, a minél tökéletesebb kiórlés /minél nagyobb fajlagos felület/ irányában válik tökéletesebbé, valamilyen optimum itt is adódik. Ezt az optimumot részben a növekvő őrlési energiaszükséglet, de méginkább az a körülmény indokolja, hogy az őrlés eredmény összetétele a szemmagyság függvényében változik, a hamutartalom főleg a kis szemcseméreték táján helyezkedik el. Emiatt minden szénösszetételre van egy olyan kiórlési eloszlás, amelynél finomabbat már nem érdemes erőltetni [33].

A már idézett munka [33] részletesen kimutatja annak lehetőségét, hogy az őrlési finomság változtatásával lehetőség van a szénminőségváltozás kompenzálására. A fűtőanyagra jellemző illó-fixtartalom arány minden szénre ad egy égési sebességnek nevezett, $\text{kg/m}^2\text{sec}$ dimenzióju jellemzőt, amelyből az optimális őrlési finomság, illetve szemcseösszetétel számítható.

Lényegesen nehezebb a fenti kvalitatív megállapításon túl mennyiségi összefüggést kapni, amely a szabályozás és az azzal kapcsolatos gazdasági vizsgálat alapja is lehet. Az irodalomban vitatott magának a kiórlési finomságnak a helyes meghatározása [37], bár erre éppen az idézett munka tudományosan megalapozott elméletet ad. Nincs azonban sehol megoldva az őrlési finomság folyamatos, üzemi mérése, ami a megfelelő malomszabályozásnak feltétele lenne. Valamilyen optikai, esetleg sugároptikai módszer kidolgozása fon-

tos feladat lenne. Ugyancsak megoldatlan a salak- és pernyeéghető folyamatos, kis időkéssel történő üzemi mérése, bár ebben az irányban már folynak bizonyos próbálkozások sugárzástechikai módszerekkel [38], [39], [40], [41], [42].

A hazai mérési eredmények elemzése során visszatérünk a salak- és pernyeéghetőnek a jobb kiörléssel elérhető csökkentésére, illetve az így elérhető gazdasági haszonra.

3./ Levegőadagolás

Tökéletes égést feltételezve a hatás pontos elemzését az irodalom általában megkerüli. A tökéletes égéshez szükséges légfelületen felüli levegőmennyiség adagolásának hatása ugyanis igen sokrétű és függ a kazán konstrukciójától. A légfelület a tüztér hőmérsékletét csökkenti, de nem lineárisan, mivel a CO_2 százalékaránya a tökéletes égés elérése felett csökken, márpedig a CO_2 és a levegő fajhőjének aránya kb. 4:3. A sugárzó hőátadás a lánghőmérséklet negyedik hatványával csökken, viszont ezt befolyásolja a füstgázok aerodinamikai viszonyainak változása is /a sugárzó lánghőmérséklet, stb./. Változnak a viszonyok a konvektív felületeknél, a változott füstgázhőmérsékletek és sebességek következtében. Mindezek alapján az optimum felett a kilépő gőzjellemzők és ezzel a termelt hőmennyiség csökkenhet, vagy az alacsonyabb tüztérhőmérsékletek ellenére is esetleg nőhetnek a kilépő füstgázhőmérsékletek. A rendelkezésre álló adatok éppen a még részletezendő mérési nehézségek miatt elégtelenek.

A tökéletes égéshez szükséges légmennyiség elégtelen volta esetén a fűtőanyag összetételéről /elsősorban C, H_2 és szabad O_2 arányaitól/ függően a lineárisnál erősebben nő a veszteség, mivel az azonos levegőszükségletű $\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}$ és $\text{CO} + \text{O} \rightarrow \text{CO}_2$ reakciók hőfejlesztése között kb. 1:2 az arány. A numerikus tárgyaláshoz kvadratikus közelítést használhatunk.

A gyakorlatban - mivel hazai mérések nincsenek - külföldi, félempirikus táblázatokat, diagramokat szoktak használni, melyeket elsősorban a kazángyártó és műszergyártó cégek szoktak összeállítani. Mi is - közelebbi lehetőség híján - a VGB, a Siemens és

Ledinegg [34] diagramjait használtuk fel eredményeink értékelésére.

4./ Egyéb hatások

A hatásfokot természetesen számos más, kazánon kívüli tényező is befolyásolja, mint pl. a tápvíz hőfoka, a külső levegő hőfoka, az esetleges újrahevítés viszonyai. Ezekkel azonban itt nem foglalkozunk, mivel a szabályozást közvetlenül nem érintik, illetőleg a kazánon belüli hatásfok-viszonyokat ezekhez való alkalmazkodással egyelőre nem tudjuk befolyásolni. Külön vizsgálhatóak ezek a tényezők a rendszerszabályozással kapcsolatban, mivel ebben az esetben figyelembevételük a gazdaságos teherelosztást esetleg befolyásolhatja. Ugyancsak itt tárgyalandók az olyan lassan változó hatások, mint az elpiszkolódás és hamis levegő betörés. Ezekre ma még rendkívül kevés mérésünk van, csak hosszú idejű, igen alapos méréssorozatok után tudunk konkrét számítási összefüggést adni.

Nem szerepel vizsgálataink között a salakkal elvitt hő optimalizálása. Ez elsősorban konstrukciós probléma, amivel főleg Dolezal foglalkozott. Nagy hamutartalmu szeneknél ez az érték összesen az 1 %-ot közelíti meg. Nyilvánvaló, hogy gazdaságos üzemvitel mellett a megtakarítás, amit kizárólag egy tényező, az eltávolítandó salak befolyásolhat csak, valószínűleg elhanyagolható, tehát egy adott technológiára nem optimalizálható.

Ugyancsak nem foglalkoztunk egyelőre olyan tényezők befolyásával, mint a koromfuvatás, leiszapolás veszteségei, mert ezekre vizsgálatokat még nem tudtunk kiterjeszteni. Az irodalomban Sherry [36] ad hasznos - eddig talán legteljesebb - tájékoztatást.

A hőfokszabályozás módja szintén kívül esik ezen a tárgykörön, ennek egyébként igen bő irodalma van [44, 45, 46]. A segédüzemi fogyasztásra vonatkozólag végeztünk méréseket, ennek optimuma a nagy üresjárású teljesítmények miatt igen lapos. A segédüzem optimalizálása inkább tervezési feladat, függően a várható terhelésingadozásoktól.

Az optimalizáláshoz figyelembe veendő tényezők elemzésénél nem szabad szem előtt téveszteni, hogy a kazán veszteségeinek fő forrásai a füstgáz és salakveszteség, ezek nem konstruktív jellegű

csökkentésének jelenlegi lehetőségei a szénelőkészítés és égés-szabályozás. Mind a technológusok, mind az automatizőrök erőfeszítései erre a két területre és az azokkal kapcsolatos mérés-technikai problémákra összpontosítandók.

2.4. Mérések, becslések és adatok a kvázistacionárius üzemi statisztikus változásainak hatására

Az előbbi adatokat és megfontolásokat - melyek részben önmagukban közismert tények - szintetizálva, rátérünk annak vizsgálatára, hogy az egyes jellemzők üzemközben szokásos változása, továbbá ezen változásoknak az automatizálás eszközeivel történő csökkentése révén milyen mértékben változik a kazán hatásfoka, illetve az erőmű, vagy a teljes energiarendszer gazdaságossága.

2.4.1. A terhelésváltozások és a fűtőanyag változásainak hatásai

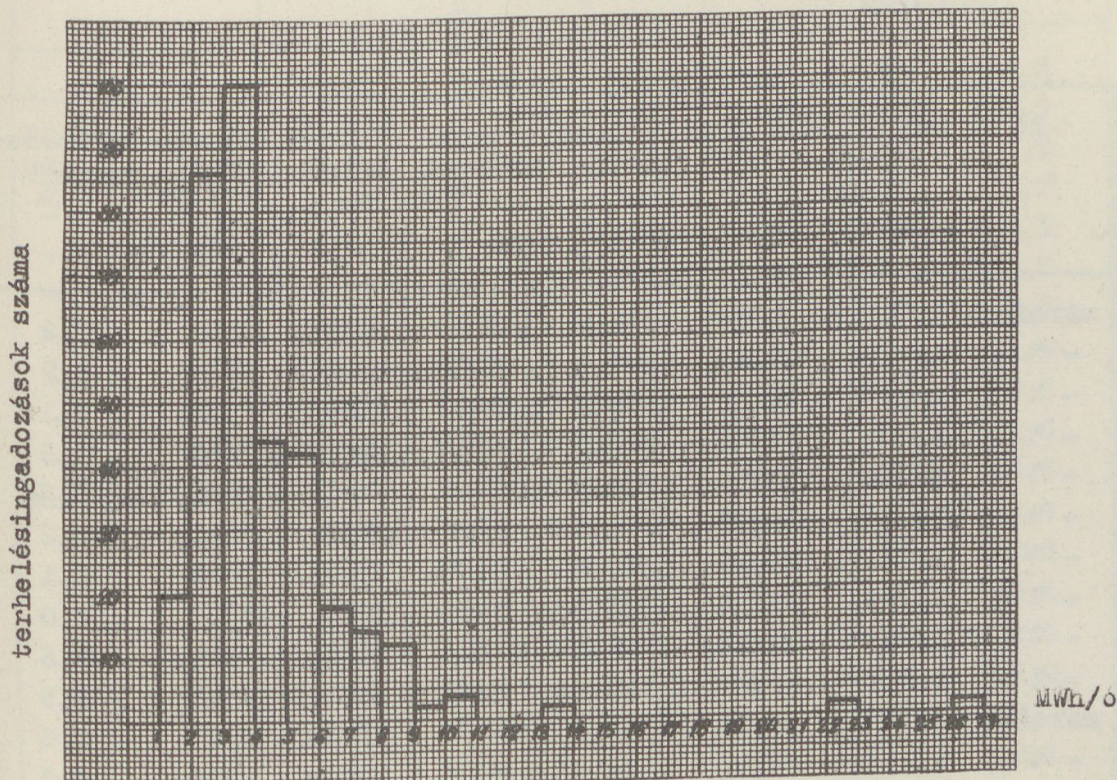
Az alábbiakban néhány a veszteségekre hatást gyakorló tényezővel foglalkozunk, amelyekre vonatkozólag azonban ismétetendő okok miatt nem végeztünk korrelációs vizsgálatokat.

2.4.1.1. A hálózati terhelésingadozások hatása

Először a terhelésingadozásból indulunk ki, ez az a jellemző, amely az egész rendszert befolyásolja és szabályozás nélkül eltolja a rendszer állapotát abból az optimumból, amelyet egy adott állapotra számított gazdaságos teherelosztásra kaptunk.

A magyar Teherelosztó gyakorlata szerint a rendszerteljesítmény tervezésének pontossága általában jobb, mint a teljes fejlesztés 2 %-a. /Ez ma kb. +30 MW megbízhatóságot jelent./ Bár a teljesítményingadozásokra a méréseink idején még egyetlen kooperációs összeköttetés, a cseh-magyar rendszerösszeköttetés ingadozása csak kis részben jellemző, mégis érdekes az 1962. június 12-25-ig terjedő, kb. kéthetes időszak ingadozásainak feldolgozása /5. ábra/. Ezt az egyébként elsősorban a rendszerek közötti lengésekből származó, frekvenciatényezőtől és számos más villamos jellemzőtől függő ingadozást dr. Ronkay [47, 48] részletesen elemzi, mi kizárólag azért vesszük mégis szemügyre, mert az utólagos diszpécseri beavat-

kozáson kívül a teljesítmény-szükséglet ingadozásai mégis bizonyos mértékig tükröződnek ebben - a jelenleg egyedül rendelkezésre álló - diagramban, más regisztráló berendezésünk a rendszerteljesítmény követésére ugyanis nincsen.



5. ábra

Terhelésingadozások eloszlása a csehszlovák-magyar kooperációs vezetéken 1962. június 12-26-ig

A két hét tartamára megadjuk a kétórás átlagoktól való pozitív és negatív irányú MWó eltérések integrálját. A közölt adatok is bizonyítják, hogy a tervezett és beállított rendszerteljesítményben különleges, rövid idejű és ezért az optimalizálás szempontjából nem különösen érdekes zavaroktól eltekintve nagymértékű eltérések nincsenek.

Az ideálistól eltérő teherelosztás gazdasági következményeit első-

5. TÁBLÁZAT

A Pécsi Hőerőműben végzett szénelemzések

/Bányászati Kutató Intézet - Száva István
irányítása alatt/

hó	nap	óra,perc	hamu %	égés- meleg kcal/kg	fűtő- érték	tiszta- szén égésme- leg kcal/kg	Bomba- kén %
március	1.	9,00	55,4	3273	3138	7507	2,2
- "	- 1.	10,25	58,3	3008	2883	7319	1,7
- "	- 1.	10,35	57,2	3097	2969	7356	2,1
- "	- 1.	10,46	60,7	2744	2652	7165	1,5
- "	- 1.	11,06	61,1	2761	2643	7266	1,5
- "	- 1.	11,13	59,5	2927	2805	7391	2,2
- "	- 1.	11,28	57,4	3105	2977	7446	2,1
- "	- 1.	11,51	53,4	3413	3273	7501	2,0
- "	- 1.	12,33	59,3	2931	2808	7364	2,6
- "	- 1.	16,03	55,8	3201	3069	7342	2,5
március	2.	8,00	64,1	2381	2273	6783	2,6
- "	- 2.	8,32	66,3	2178	2077	6600	2,3
- "	- 2.	9,15	58,7	2871	2747	7089	2,0
- "	- 2.	9,31	59,1	2888	2765	7184	2,3
- "	- 2.	10,12	58,0	3048	2922	7416	2,3
- "	- 2.	10,31	56,7	3087	2957	7281	2,3
- "	- 2.	11,04	56,0	3159	3027	7329	2,2
- "	- 2.	11,29	55,7	3168	3035	7299	2,2
- "	- 2.	12,06	56,0	3125	2993	7251	2,5
- "	- 2.	12,26	58,3	2971	2847	7194	2,3
- "	- 2.	12,57	57,0	3034	2904	7224	2,2
- "	- 2.	14,59	63,1	2566	2456	7050	2,6
- "	- 2.	15,38	62,0	2651	2538	7086	1,7
- "	- 2.	16,24	60,5	2739	2620	7059	2,3
- "	- 2.	17,16	66,8	2175	2076	6631	3,00
- "	- 2.	17,30	57,8	3034	2907	7328	1,5

hó	nap	óra,perc	hamu %	égés- meleg kcal/kg	fűtő- érték kcal/kg	tiszta- szén égésme- leg kcal/kg	bomba- kén %
március	3.	8,51	56,9	3082	2953	7252	1,9
március	6.	16,28	55,8	3277	3144	7568	1,9
március	7.	8,37	69,6	1746	1656	5781	2,9
- " -	7.	8,43	50,5	3802	3654	7791	1,7
- " -	7.	8,50	62,0	2763	2650	7388	2,3
- " -	7.	9,54	60,2	2851	2730	7346	1,7
- " -	7.	10,48	61,8	2797	2682	7498	2,6
- " -	7.	11,25	61,4	2780	2664	7374	1,9
- " -	7.	12,13	63,1	2593	2482	7163	2,5
- " -	7.	16,35	59,4	2972	2850	7430	1,8
március	8.	8,20	60,0	2832	2710	7299	1,5
- " -	8.	8,54	59,0	2934	2810	7353	1,4
- " -	8.	9,29	57,8	3039	2911	7394	2,2
- " -	8.	9,44	55,8	3223	3089	7495	2,1
- " -	8.	12,14	58,8	2946	2823	7274	2,4
- " -	8.	12,45	67,6	2142	2044	6757	3,2
- " -	8.	13,00	67,7	2097	2000	6636	2,1
- " -	8.	15,56	55,3	3187	3052	7293	2,1
- " -	8.	16,25	54,6	3286	3149	7401	2,1
március	9.	9,00	55,4	3273	3138	7507	2,2
- " -	9.	10,25	58,3	3008	2883	7319	1,7
- " -	9.	10,35	57,2	3097	2969	7356	2,1
- " -	9.	10,46	60,7	2744	2652	7165	1,5
- " -	9.	11,06	61,1	2761	2643	7266	1,5
- " -	9.	11,13	59,5	2927	2805	7391	2,2
- " -	9.	11,28	57,4	3105	2977	7446	2,1
- " -	9.	11,51	53,4	3413	3273	7501	2,0
- " -	9.	12,33	59,3	2931	2808	7364	2,6
- " -	9.	16,03	55,8	3201	3069	7342	2,5

hó	nap	óra,perc	hamu %	égés- meleg kcal/kg	fűtő- érték	tiszta- szén égésme- leg kcal/kg	bomba- kén %
március	13.	10,35	60,5	2807	2689	7216	2,3
- " -	14.	15,28	60,8	2753	2629	7188	2,2
- " -	15.	15,52	57,7	3023	2896	7284	1,9
- " -	16.	16,35	58,3	3004	2878	7381	2,0
március	21.	8,20	54,7	3322	3186	7482	1,9
- " -	21.	8,25	54,9	3262	3126	7380	2,0
- " -	21.	9,08	55,6	3214	3081	7389	1,9
- " -	21.	9,20	56,0	3186	3053	7461	2,0
március	22.	11,12	63,7	2591	2482	7299	1,8
- " -	22.	12,09	71,1	1897	1810	6680	1,8
március	23.	15,54	57,3	3033	2904	7273	1,9
- " -	23.	16,21	63,7	2495	2385	7068	2,2
- " -	23.	16,54	58,1	3073	2947	7510	1,9
- " -	23.	17,05	53,5	3322	3182	7285	1,8
- " -	23.	17,05	58,1	2983	2856	7311	1,8
- " -	23.	17,05	54,7	3246	3110	7320	1,9
- " -	23.	17,47	57,8	3013	2885	7313	2,0
- " -	23.	18,05	58,2	2959	2833	7252	1,9
- " -	23.	18,05	58,4	2945	2820	7218	1,9
március	24.	11,06	57,6	3017	2889	7287	2,1
- " -	24.	11,06	57,4	3047	2919	7307	1,8
- " -	24.	13,41	60,6	2740	2621	7135	2,2
- " -	24.	13,41	60,7	2728	2609	7141	2,2
- " -	24.	16,21	63,9	2458	2349	7003	2,1
- " -	24.	16,53	61,4	2659	2542	7091	1,5
- " -	24.	16,53	61,3	2668	2551	7077	1,6
- " -	24.	18,12	60,3	2783	2662	7229	1,4
- " -	24.	18,12	60,2	2826	2705	7302	1,4
- " -	24.	18,23	60,3	2802	2681	7297	1,3
március	27.	7,30	61,0	2677	2559	7063	2,3
- " -	27.	7,30	61,2	2694	2577	7108	2,3
- " -	27.	8,40	61,7	2631	2515	7054	2,2

hó	nap	óra,perc	hamu %	égés- meleg kcal/kg	fűtő- érték kcal/kg	tiszta- szén égésme- leg kcal/kg	bomba- kén %
március	27.	8,40	61,7	2567	2452	6845	2,1
- " -	27.	10,39	52,2	3426	3283	7305	1,9
- " -	27.	10,39	52,0	3482	3338	7408	2,0
- " -	27.	13,58	55,4	3218	3083	7381	2,5
- " -	27.	15,34	56,0	3143	3010	7309	2,6
- " -	27.	16,32	53,8	3289	3150	7276	2,2
- " -	27.	17,00	53,8	3397	3257	7549	2,2
március	28.	10,00	59,9	2737	2616	7000	2,8
- " -	28.	11,24	57,9	3000	2873	7299	3,0
- " -	28.	11,40	57,7	3013	2885	7295	2,3
- " -	28.	11,58	55,9	3163	3030	7322	2,2
- " -	28.	12,07	55,4	3153	3018	7232	2,0
- " -	28.	12,24	58,8	2851	2726	7092	1,9
március	29.	12,24	78,9	830	766	4049	2,7
- " -	29.	12,59	56,6	3116	2984	7384	1,8
- " -	29.	13,27	58,1	3043	2916	7458	2,3
- " -	29.	14,49	55,5	3124	2990	7182	1,5
- " -	29.	14,59	56,8	3053	2922	7269	1,8
- " -	29.	16,18	56,3	3140	3008	7388	1,4
március	30.	7,45	63,2	2489	2376	7091	1,5
- " -	30.	8,13	56,5	3071	2936	7436	1,3
- " -	30.	8,13	55,4	3111	2974	7320	2,1
- " -	30.	8,30	57,9	3006	2876	7534	1,7
- " -	30.	8,30	56,9	2990	2856	7328	2,0
- " -	30.	8,59	58,9	2869	2743	7245	1,8
- " -	30.	8,59	57,7	2912	2783	7102	2,1
- " -	30.	9,19	56,2	3045	2909	7320	2,0
- " -	30.	9,19	57,2	3001	2872	7197	1,9
- " -	30.	9,40	59,8	2854	2732	7299	2,0
- " -	30.	9,40	59,0	2723	2596	6982	2,2
- " -	30.	10,11	59,5	2902	2776	7557	2,0
- " -	30.	10,11	58,8	2911	2786	7277	1,9

hó	nap	óra,perc	hamu %	égés- meleg kkal/kg	fűtő- érték kg	tiszta- szén égésme- leg kkal/kg	bomba- kén %
március	30.	10,34	59,6	2826	2704	7191	2,0
- " -	30.	10,34	59,2	2822	2698	7126	2,1
április	25.	10,41	55,7	3164	3031	7290	2,0
- " -	25.	10,41	55,9	3203	3070	7432	2,0
- " -	25.	11,01	55,8	3215	3082	7459	2,0
- " -	25.	11,01	55,5	3227	3092	7452	1,9
- " -	25.	11,34	55,5	3214	3081	7355	2,0
- " -	25.	11,34	55,4	3257	3122	7470	1,0
- " -	25.	12,27	56,4	3088	2958	7198	1,9
- " -	25.	12,27	56,4	3165	3033	7464	2,0
- " -	25.	13,11	55,2	3196	3064	7313	1,8
- " -	25.	13,11	55,0	3286	3150	7468	2,0
- " -	25.	13,22	54,0	3287	3148	7304	1,8
- " -	25.	13,22	54,7	3325	3189	7506	1,9
- " -	25.	14,10	55,1	3239	3104	7378	1,9
- " -	25.	14,10	55,2	3264	3129	7452	2,0
- " -	25.	14,46	55,0	3296	3160	7491	2,0
- " -	25.	14,46	55,3	3285	3150	7534	2,0
- " -	25.	15,58	55,6	3205	3071	7402	1,8
- " -	25.	15,58	55,4	3171	3036	7289	2,2
- " -	25.	17,01	56,3	3175	3044	7401	2,1
- " -	25.	17,46	58,3	2880	2754	7093	1,7
- " -	25.	17,46	57,5	2947	2818	7135	2,0
április	26.	7,54	58,0	2983	2855	7329	1,7
- " -	26.	8,57	57,7	3010	2882	7306	1,6
- " -	26.	9,42	58,1	2948	2820	7297	1,6
- " -	26.	10,20	57,9	3008	2881	7319	1,0
- " -	26.	11,42	55,6	3180	3047	7310	2,0
- " -	26.	13,09	55,5	3195	3060	7396	2,0
- " -	26.	15,31	59,3	2790	2667	7045	2,3
- " -	26.	16,18	59,2	2873	2748	7292	2,3
- " -	26.	16,47	59,7	2815	2693	7181	2,3

hó	nap	óra,perc	hamu %	égés- meleg kcal/kg	fűtő- érték kcal/kg	tiszta- szén égésme- leg kcal/kg.	bomba- kén %
április	26.	16,47	59,8	2819	2697	7209	2,3
- " -	26.	17,09	60,4	2700	2579	7086	2,5
- " -	26.	17,59	60,6	2737	2618	7127	1,8
április	27.	7,45	61,8	2661	2545	7192	2,1
- " -	27.	7,45	62,0	2621	2506	7103	2,1
- " -	27.	7,54	61,8	2652	2537	7129	2,1
- " -	27.	7,54	61,6	2674	2558	7169	2,1
- " -	27.	8,03	61,8	2682	2567	7210	2,1
- " -	27.	8,03	62,0	2671	2556	7258	1,8
- " -	27.	8,12	62,2	2655	2541	7214	2,0
- " -	27.	8,12	62,0	2628	2513	7122	1,8
- " -	27.	8,21	61,7	2680	2564	7204	1,9
- " -	27.	8,21	61,6	2697	2582	7211	1,8
- " -	27.	8,30	60,6	2770	2650	7251	1,9
- " -	27.	8,30	60,9	2786	2668	7312	1,9
- " -	27.	8,39	61,5	2765	2649	7373	1,8
- " -	27.	8,39	61,2	2747	2630	7248	2,0
- " -	27.	8,48	56,6	3086	2954	7313	1,8
- " -	27.	8,48	56,7	3024	2892	7200	2,1
- " -	27.	8,54	56,2	3057	2924	7209	1,9
- " -	27.	8,57	56,3	2095	2962	7300	2,1
- " -	27.	9,04	56,1	3120	2987	7307	2,1
- " -	27.	9,06	56,3	3081	2949	7215	2,0
- " -	27.	9,06	56,4	3083	2951	7237	2,0
- " -	27.	9,12	56,3	3102	2970	7282	2,0
- " -	27.	9,15	56,2	3078	2945	7225	1,9
- " -	27.	9,24	55,8	3109	2976	7213	2,0
- " -	27.	9,33	56,6	3109	2977	7367	2,0
- " -	27.	9,33	57,1	3068	2941	7322	1,8
- " -	27.	9,41	58,7	2922	2797	7269	2,0
- " -	27.	9,41	60,2	2881	2761	7404	2,0
- " -	27.	9,42	56,2	3136	3000	7538	2,0
- " -	27.	9,42	56,1	3209	3077	7480	1,9

hó	nap	óra,perc	hamu %	égés- meleg kkal/kg	fűtő- érték kkal/kg	tiszta- szén égésme- leg kkal/kg	bomba- kén %
április	27.	10,00	58,0	2979	2853	7248	2,1
- "	- 27.	10,00	59,1	2975	2850	7551	2,0
- "	- 27.	10,09	59,9	2839	2717	7279	2,0
- "	- 27.	10,09	60,8	2869	2748	7671	2,0
- "	- 27.	10,18	60,1	2791	2670	7212	2,0
- "	- 27.	10,18	60,1	2774	2653	7149	2,0
- "	- 27.	10,27	59,4	2894	2772	7290	2,1
- "	- 27.	10,27	58,3	2937	2811	7216	2,0
- "	- 27.	10,36	59,0	2918	2794	7313	2,0
- "	- 27.	10,36	59,1	2894	2771	7253	2,1
- "	- 27.	10,45	60,2	2794	2673	7201	2,0
- "	- 27.	10,45	60,4	2824	2705	7278	1,9
- "	- 27.	10,54	58,5	2930	2805	7235	2,0
- "	- 27.	10,54	59,7	2873	2751	7292	1,9
- "	- 27.	11,03	59,4	2893	2770	7324	1,3
- "	- 27.	11,13	57,8	2967	2840	7184	2,0
- "	- 27.	11,13	58,9	2896	2772	7222	2,0
- "	- 27.	11,21	59,4	2912	2789	7391	1,9
- "	- 27.	11,21	59,5	2884	2762	7301	2,0
- "	- 27.	11,30	60,3	2849	2730	7305	2,0
- "	- 27.	11,30	60,1	2807	2686	7197	2,0
- "	- 27.	11,41	60,0	2940	2819	7558	1,9
- "	- 27.	11,41	59,1	2927	2804	7336	1,9
- "	- 27.	11,52	60,4	2745	2625	7130	2,0
- "	- 27.	11,52	60,5	2767	2648	7187	2,0
- "	- 27.	12,03	61,8	2648	2533	7118	2,1
- "	- 27.	12,03	62,1	2645	2530	7168	2,1
- "	- 27.	12,14	61,7	2689	2574	7190	2,1
- "	- 27.	12,14	61,6	2661	2545	7515	2,2
- "	- 27.	12,25	62,0	2660	2545	7169	2,2
- "	- 27.	12,25	61,8	2629	2514	7067	2,2
- "	- 27.	12,36	60,0	2814	2693	7215	2,0
- "	- 27.	12,36	59,0	2808	2684	7038	2,0

hó	nap	óra,perc	hamu %	égés- meleg kcal/kg	fűtő- érték kcal/kg	tiszta- szén égésme- leg kcal/kg	bomba- kén %
április	27.	13,18	53,2	3353	3213	7305	1,9
- "	- 27.	13,27	52,7	3450	3308	7435	1,5
- "	- 27.	14,12	54,4	3305	3168	7394	1,7
- "	- 27.	14,41	55,1	3289	3154	7475	1,8
- "	- 27.	15,28	54,3	3331	3194	7419	1,8
- "	- 27.	15,48	53,1	3438	3298	7458	1,8
- "	- 27.	16,32	52,7	3428	3286	7388	1,8
- "	- 27.	16,54	46,7	4023	3863	7677	1,7
- "	- 27.	17,05	46,5	4080	3920	7757	1,4
- "	- 27.	17,09	60,6	2702	2582	7073	2,2
- "	- 27.	17,16	51,8	3604	3459	7636	1,5
- "	- 27.	17,29	52,3	3564	3420	7665	1,6
- "	- 27.	17,40	47,0	4067	3908	7806	1,7
- "	- 27.	18,07	46,5	4052	3892	7689	1,8

5/a. TÁBLÁZAT

A Pécsi Hőerőműben végzett szénanalízések ösz-
szesítése

N a p	Adat- szám	maximum	minimum	átlag	szórás
III.2.	17	3035	2076	2705	307
III.7.	9	3654	1656	2660	480
III.8.	9	3149	2000	2732	396
III.9.	10	3273	2643	2921	193
III.21.	4	3186	3053	3111	71
III.22.	2	2482	1810	2146	336
III.23.	9	3182	2820	2880	188
III.24.	9	2919	2542	2686	127
III.27.	10	3338	2452	2922	337
III.28.	7	3030	2616	2836	147
III.29.	5	3008	2916	2964	37
III.30.	15	2974	2376	2782	146
IV.25.	22	3189	2754	3059	85
IV.26.	12	3060	2579	2795	149
IV.27.	40	2987	2506	2723	172
Összes:	186	3654	1656	2720	220

5/b. TÁBLÁZAT

A Pécsi Hőerőműben az egyhónapos mérési időtartam alatt üzemszerűen végzett szénanalízisek összesítő eredménye

	égésmeleg	fűtőérték	hamu %
<u>PORSZÉN</u>			
átlag	3108,67	2943,93	56,92
szórás	160,2	152,4	6
maximum	3416	3299	60,95
minimum	2764	2663	53,81
<u>NYERSZÉN</u>			
átlag	2897,96	2733,7	54,21
szórás	230,5	211,2	2,423
maximum	3347	3192	59,12
minimum	2523	2400	48,66

/Pécsi Hőerőmű szénlabor -
Gyuris Károly vezetése alatt./

sorban Kirchmayer [49] és Krutyikova et al. [50] vizsgálták. Az optimumtól való 2 %-os eltérés esetén, a legrosszabb esetre számítva, mindkét szerző adatai szerint 0,01 % körül lehet a gazdaságosság-romlás. Már ez az adat is mutatja - nem támaszkodva az optimum meghatározásának, az egyéb adatok mérésének már részben tárgyalt megbízhatóságára - hogy az ilyen kismértékű menetrendi eltérések gazdasági optimum szerinti kiigazításának semmiféle gyakorlati jelentősége nincs, ilyen befolyás az egyébként feltételezeten jól megtervezett optimumot nem tolja el. A gazdaságos teherelosztás indokolt utánállításának alsó határára a későbbi elemzés után térünk ki.

2.4.12. Fűtőanyag minőség

A következő alapvető zavaró jellemző a fűtőanyag minősége. A Pécsi Hőerőműben végzett kísérletek során a szokásostól eltérően nagy számú és pontos szénmintaelemzési vizsgálatot végeztünk. A kísérletek eredményeit az 5. táblázatban közöljük. Meg kell jegyeznünk, hogy a fűtőérték szórására kapott értékek a hasonló hamutartalmu szenekre megengedett meghatározási hiba körül mozognak /kb. 7 %/. A rendkívül nagy és okaiban /mérés, vagy valódi érték/ nehezen elemezhető szórás tényezőihez közelebb visz két körülmény. Az egyik az, hogy a megengedett eltérés nagyobb része a mintavételből adódik /2,5 - 0,1 hamu %, ami esetünkben 7,5 - 8 %-ot ad/, a másik, hogy a táblázatból is láthatólag az időben egymáshoz közel eső mérések viszonylag kis /1-2 %/ eltérést mutatnak. Kellő számú mintavétellel /erre a klasszikus szénelemzés nem ad módot/ a mintavételi hiba jelentéktelenné csökkenthető, kizárólag a mérési hiba maradna, ami a jelenlegi módszerekkel, hazai szenekre 1,5 - 3 % lehet. Hasonló következtetéseket vonhatunk le az Erőmű Tröszt és az ERBE által végzett mérésekből is /6. táblázat/. Ezek a mérések igen gondosak és szakszerűek voltak, azonban objektív körülmények miatt csak kisszámúak és így számunkra csak tájékoztató jellegűek. Hasonló eredményeket mutatnak a 6. ábra csehszlovák adatai [51].

Figyelembevéve a 2.3.3.-ban hivatkozott diagramokat, a szénminőség ingadozásának hatása a hatásfokra csak a légfelesleg-optimumtól való eltérés következtében 0,2 - 0,5 %-ra tehető. Az ennek következtében beálló gazdaságos teherelosztási hiba maximálisan

6/a. TÁBLÁZAT

Tüzelőanyag fűtőérték-ingadozások kazán átvételi kísérletei során /kcal/kg/

Mátravidéki Hőerőmű	1580 - 1655
November 7. Erőmű	2302 - 2321
Borsodi Hőerőmű	2469 - 2826
Tiszapalkonyai Hőerőmű	2275 - 2542
Pécsi I. Hőerőmű	2875 - 3484
Ajkai Hőerőmű bőv.	2426 - 2504

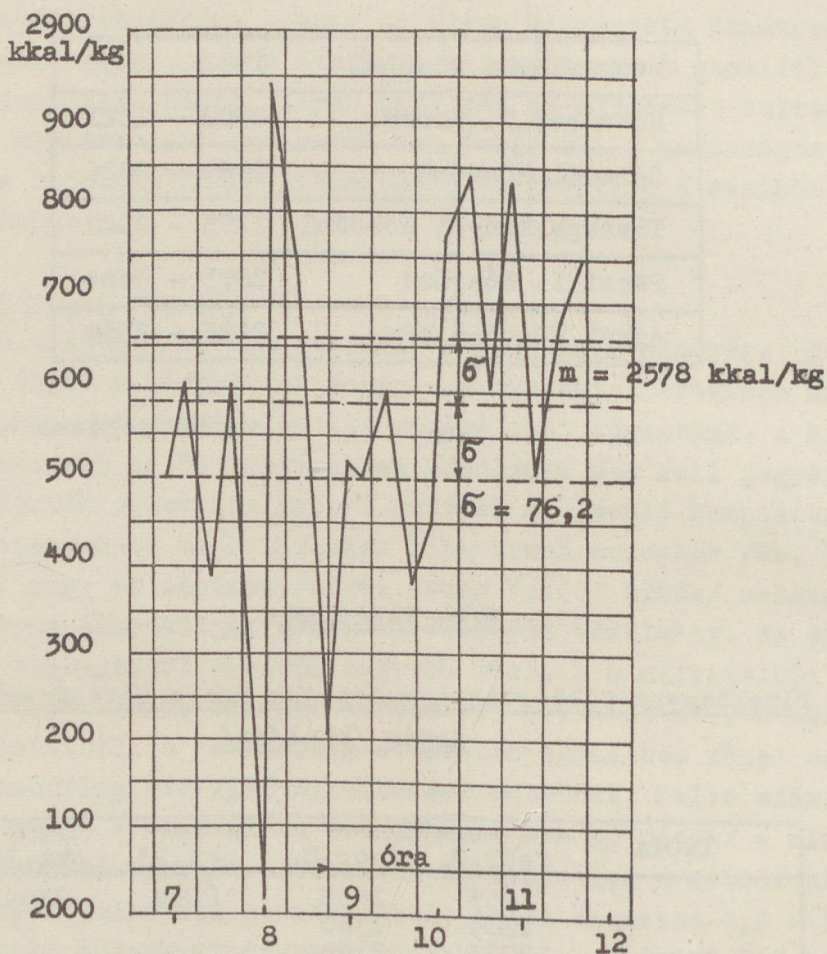
/ERBE mérések - Tiray Richárd szivességéből./

6/b. TÁBLÁZAT

Tüzelőanyag fűtőérték-ingadozások kazán hatásfokmérések során /kcal/kg/

INOTA -	1957		1958		
	febr.7.	febr.8.	okt.23.	okt.29.	okt.30.
	1855	1658	2088	2399	2159
	2289	1580			2116
	2023	2194			2140
BÁNHIDA -	1957. márc. 20.				
	3589				
	3633				
	3626				
	3814				
	3767				
	3801				

/Erőmű Tröszt mérések - Cserfalvy György szivességéből./



6. ábra

Barnaszén fűtőértékének ingadozása 1/4 órás mintavételezéssel [51]

10^{-3} százalék nagyságrendű, de lehet ennél egy nagyságrenddel kisebb is, azaz elhanyagolható. Ilyenformán a szénminőség normális ingadozását csak a kazán szabályozásnál kell számításba venni, a rendszerszabályozásnál az elhanyagolható.

A szénminőség változásának stochasztikus elemzése szintén kérdéses. Első közelítésben sem tételezhetjük fel, hogy a jelenség fehér-zaj szerű. Azonos időben, vagy közel azonos időben vett minták egymáshoz közelebb állnak, rövid időn belül valószínű, hogy viszonylag homogénebb a szénösszetétel, mint hosszabb időszakra. Megbízható autokorrelációra azonban a mai módszerekkel nincs kellő számú vizsgálatunk.

Ez a vizsgálat-sorozat is elemzésenként 300.-, összesen kb.

75.000.- Ft-ba került.

/Az ilyen jellegű megjegyzés egyedüli célja a vizsgálatok gazdasági háttérének megvilágítása./

Figyelembe kell venni azt a körülményt is, hogy a központi szénelőkészítés kivételével általában a kazánokat egyidejűleg folyamatosan több malomból táplálják, amelyeket külön, esetleg elég különböző időben és különböző helyről származó szénrel töltött hombárok látnak el. Ha a malom belső tárolóképességének megfelelő szénmenyiséget teljesen homogénnek tételezzük fel, továbbá a megbízhatósági intervallumot 2 %-ban állapítjuk meg, normál eloszlás esetén, a Student próba alapján 5-6 próbát kell venni a malom-térfogatból. A mintavételi ciklust a malomtérfogat, a névleges tüzelőanyagfogyasztás és a fenti ajánlás szabja meg.

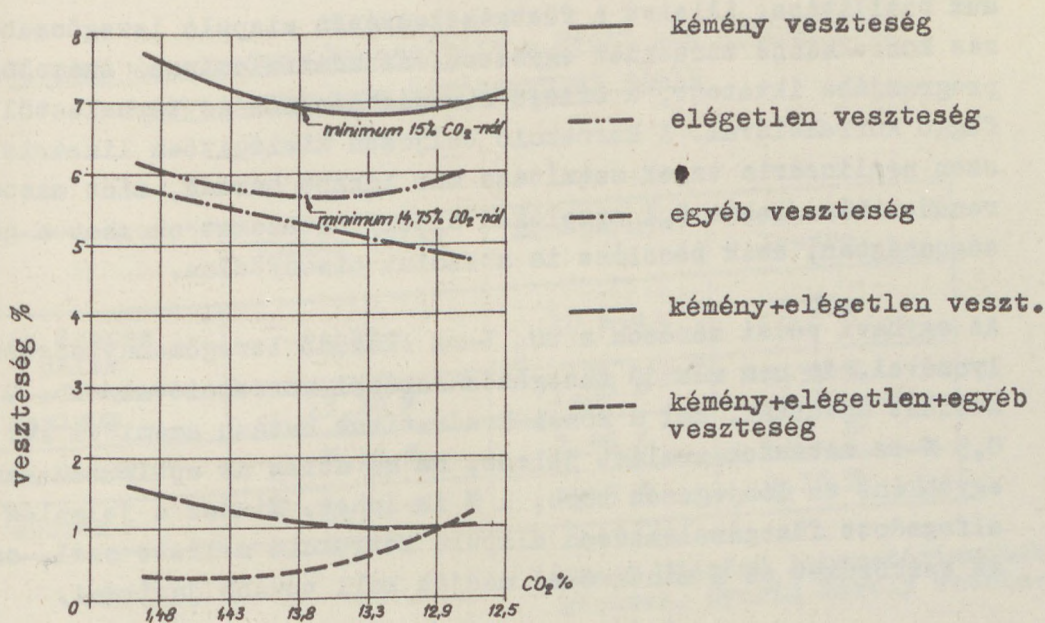
Vegyük a 2 %-os hibahatárt a szórással azonosnak, a szénösszetétel változásának más hatásait olyan módon tekintjük kompenzálnak, hogy a szórásnál bizonyosan nagyobb hibahatárt vesszük számításaink alapjául. Ekkor, és az 5-7 %-os szénösszetétel szórását figyelembe véve, a korábbi számítások és hivatkozott diagramok alapján a hatásfokot a szénminőség átlagaitól és a kilépő füstgáz-hőfoktól függően általában 0,2 - 0,3 %-kal lehet javítani.

Meg kell vizsgálnunk, hogy a folyamatos, pontosabb szénelemzés mit adhat a jelenleg szokásos, korszerű füstgázelemzéssel szemben. A füstgázelemző a légfelületet /főleg O_2 elemző esetében [52]/ a

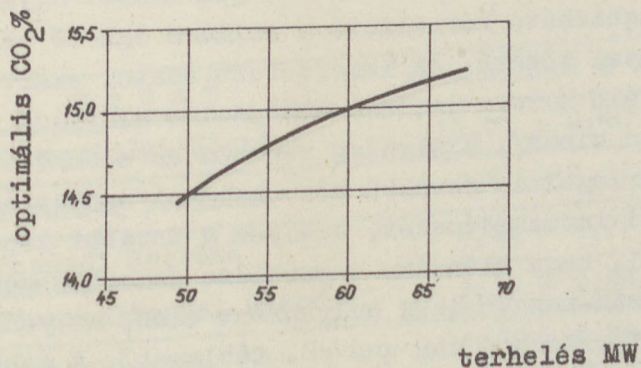
szénminőség változásaitól gyakorlatilag függetlenül, de a rossz mintavételi megoldások miatt általában erősen késve szolgáltatja. Ez az optimális légfelesleg azonban részben a fűtőanyag, részben a terhelés /7. és 8. ábra/ függvénye is. Ezek a hatások az előző 0,2 % körüli veszteség % nagyságrendbe esnek. Az adatokat azonban kritikával kell fogadni, ugyanis nem közölték, hogy milyen számú mérésből következtek a hivatkozott ábrák adataira.

Az optimum kialakítását mindenesetre befolyásolja az a körülmény, hogy a füstgázveszteség és a salak-, illetve pernyeéghetővel keletkező veszteség egymástól nem független, ezen összefüggés azonban kazánról-kazánra, fűtőanyagról-fűtőanyagra változik és Magyarországon nem áll rendelkezésre annyi koordinálható mérésadat, ami megbízható következtetést adna. Bár a salakéghető-, pernyeéghető és füstgázban maradt elégtelenségi veszteségek között ismeretek az összefüggések, a kilépő füstgázhőmérséklet ezzel kapcsolatos változásai már nem tisztázottak. Mindenesetre valószínű, hogy az őrlés szabályozásával ehhez a feladathoz is közelebb kerülhetünk.

Csak a füstgázveszteséget tekintve a légfelesleg optimumában a fűtőanyagminőségtől függő eltérések másodrendűen kicsinyek, hatásuk tehát jóval az ezrelék alatt marad. Ilyenformán a korszerű, jól beállított és karbantartott, helyes mintavételezéssel működő füstgázelemző mérési pontossága által adott /1.2.2./ korrekción túl nem kaphatunk megbízhatóan észlelhető eredményt. A mérés holtideje és időállandója 15-20''-es mintavételi időket tesz indokolttá. Ha ehhez hozzászámítjuk a folyamat maximálisan 5''-es és a beavatkozás szintén kb. 5''-es idejét [53], maximálisan 30'' a teljes szabályozási hatáslánc időállandója és holtideje. Ez a ciklus - figyelembevétel a fűtőanyagnak a malomban történő már említett homogenizálódását - teljesen elegendőnek látszik ahhoz, hogy egy helyesen kialakított optimumhoz - amit további gondos kísérletekkel kell számítani - érzékelhető romlás ne járuljon. Különösen kedvezően alakul a helyzet, ha a nagy veszteséget okozó és elég hirtelen letörést adó CO és szabad H₂ mérésére 0,1 % pontossággal jelző, illetve működtető infravörös sugárelnyelési elven dolgozó gázelemzőt állítunk be, mint azt Ahnert [52] javasolja. Az opti-



7. ábra
Veszteség % a CO₂ % függvényében [36]



8. ábra
Optimális CO₂ % a terhelés függvényében [36]

num beállítása, illetve a füstgázelemzésen alapuló levegőszabályozás korrekciója történhet egyszerű, az adatfeldolgozó számológép programjába iktatott, a kilépő füstgázahőfoktól és terheléstől függő korrekcióval. A korrekció teljesen kielégítően lineáris, hiszen nemlineáris tagok számítása már inkább harmad, mint másodrendűen kis /tehát 0,1 ezreléken aluli/ hatásokat okozhat a gazdaságosságban, amik becslése is abszolút bizonytalan.

Az egyhavi pécsi mérések a CO_2 %-ra /működő levegőmennyiség-szabályozóval, de nem működő füstgázösszetétel-korrekcióval/ kb. 0,9 % szórást mutattak, ami a közel kvadratikus hatást számítva kb. 0,5 %-os hatásfok-romlást jelent, ha az átlag az optimumon van, egyébként ez lényegesen több, 1 % is lehet. Mindez a jelenleg már elfogadott füstgázelemzésen alapuló korrekció mellett szól, csak az eszközöket és a mintavétel módját kell tovább javítani.

2.4.13. A fűtőanyag mechanikai tulajdonságai, salak- és pernyeveszteség

A Pécsi Hőerőműben végzett egyhónapos kísérletsorozat alatt az üzem által szolgáltatott szilárd éghető-veszteségek adatait a 7. táblázat foglalja össze. Az értékelhetőség legfontosabb problémája, hogy a fűtőanyag jellemzői és az éghetőtartalom eredményei nem korrelálhatóak, részben a minták kis száma, de főleg a jellemzők időbeli összehangolásának nehézségei miatt. Ugyancsak nem mutatható ki megbízható korreláció a szilárd éghető és a kazán terhelési viszonyai között. Az ismertetett adatok ezért nem szolgálhatnak semmiféle automatizálási elképzelés alapjául /sajnos ilyen az irodalomban sincs/, kizárólag részben az elérhető lehetőséget hivatottak mérlegelni, továbbá körvonalazni azokat a kísérleti és mérés technikai intézkedéseket, amelyek a további lépéseket feltétlenül meg kell, hogy előzzék. A probléma jelentőségét mutatja, hogy itt a kazán-veszteségek helyenként első, helyenként második legfontosabb forrásáról van szó /8. táblázat/. A mérési adatok által jellemzett esetben a szórások által jellemzett veszteség 1 % körül van, ami igen jelentős.

$v_e = \frac{7900 \cdot h \cdot \epsilon}{F \cdot (1-\epsilon)}$ % képlettel számolva, ahol v_e a veszteség, h a hamu % a fűtőanyagban, ϵ a szilárd éghető %, összesítve a különbö-

7. TÁBLÁZAT

Éghető veszteségek összesítése a Pécsi Hőerőműben vég-
zett egyhónapos méréssorozat alatt

	Tüztér salak	Eko-pernye	Pernyelevá- lasztó
Az összes salak	15 %-a	10 %-a	75 %-a
maximum	13,18 %	7,58 %	8,33 %
minimum	7,16 %	2,36 %	3,8 %
szórás	1,71 %	1,45 %	1,15 %

/Pécsi Hőerőmű laboratóriumának
mérései, Gyuris Károly vezeté-
sével./

8. TÁBLÁZAT

Salakéghető veszteség %-os ingadozásai átvételi kísér-
letek során.

E r ő m ű	salakéghető %
Mátravidéki Hőerőmű	11,7 - 2,40 %
November 7. Erőmű	0,8 - 1,0 %
Borsodi Hőerőmű	4,84 - 0,77 %
Tiszapalkonyai Hőerőmű	2,23 - 0,48 %
Pécsi Hőerőmű	15,65 - 4,94 %
Ajkai Hőerőmű bőv.	4,44 - 2,17 %

/ERBE mérései, Tiray Richárd
szivességéből./

zó leválasztási helyekről, és f a fűtőérték kkal/kg.

Bár esetünkben különlegesen nagy, kb. 60 %-os hamutartalomról van szó, a többi erőműveknek az Erőmű Tröszt mérései alapján adódó adatai sem mutatnak nagyságrendi különbséget ettől. Az eredmények kritikájához tartozik, hogy az éghető-meghatározás szórása hasonló nagyságrendbe esik /lásd 2.2./. A mérési hiba nagyobb része itt is a mintavételezésből származik. A veszteségek számításánál ezt a bizonytalanságot tovább növeli a hamutartalom kb. 10 %-os és a fűtőérték 5-7 %-os szórása /5. táblázat/.

Mindez azt a következtetést vonja maga után, hogy az optimalizálás számára kecsgetőbb területen mindaddig nem lehet semmiféle további lényeges és tudományosan megalapozott javaslatot tenni, amíg nincsenek tisztázva a fűtőértéknek, az örölhetőségnek, az örlemény finomságának, a salak és pernyeéghető százaléknak, a távozó füstgázzal mért veszteségnek és a kazán terhelésének kölcsönös összefüggései. Ehhez nagyszámu, jól koordinálható, megbízható mérésre van szükség, kb. olyan mintavételezési gyakorisággal, mint azt a fűtőanyag ellenőrzésére javasoltuk. Csak az ilyen vizsgálatok után lehet kiemelni a lényeges, szabályozandó hatásokat. Az első lépés e felé a megbízhatóbb és gyors, lehetőleg folyamatos mérési módszerek kidolgozása, mint például a már hivatkozott rádióaktív izotópos módszerek, vagy a Bassa Gábor által javasolt derivatográfus, vagy a ön ellenőrző porégs módszer, stb. Kémiai, vagy rádiókémiai eszközökkel meg kell tudni határozni a minták /fűtőanyag, pernye, hamu/ összetartozóságát és az ebből levont következtetések alapján lehet az üzemi mérési eredményeket egymáshoz rendelni. Így tehát - előbb méréstechnikai és technológiai problémákat kell megoldani, az automatika feladata ma még csak a kérdés helyes felvetése és a válaszok kritikai vizsgálata lehet, stimulálva ezt a kutatási programot a megfelelő eredmények esetén lehetséges javulás kimutatásával. Ezzel kapcsolatban rá kell mutatni arra, hogy a gazdaságosság-javitásnál az eddigiekkel ellentétben nem a szórás értékét kell alapul venni, azaz nem azt a célt kell kitűzni, hogy a salakéghetőnek a szórással jellemzett ingadozása az átlag körül minél kisebb legyen. Ebben az esetben ugyanis az optimum nem az éghető átlagához való simításnál van, hanem az

adott viszonyok között elérhető legkisebb éghetőnél. Ha nem a véletlennek /mérési, vagy egyéb okokból véletlen/ tekinthető minimumot, hanem az átlagnak a szórással kisebbitett értékét vesszük elérendőnek, mint a salakveszteség reális szintjét, az eredmény esetünkben a 2 % hatásfokjavulási lehetőség felé mutat. Bár más erőművekben a helyzet a salakéghetővel általában jobb, mégis országos átlagban itt 1 %-os javulást, évi kb. 50-100 millió Ft-os megtakarítást tűzhetünk ki célul, ami a befektetendő erőfeszítéseket teljesen indokolja és esetleg 1-2 hónap alatt amortizálhatóvá teszi.

2.4.2. Korrelációs vizsgálatok

A tanulmányban már többször hivatkoztunk a Pécsi Hőerőműben végzett mérésekre. Mivel a mérés lényeges körülményeinek ismerete a mérés alapján végzett korrelációs vizsgálatok elemzése során szükséges, az erről, továbbá a mérés kritikájáról szóló rövid összefoglalót itt iktatjuk be.

2.4.2.1. A mérések leírása és kritikája

Az adatfeldolgozógépes ellenőrzés, illetve esetleges irányítás viszonyainak, lehetőségeinek és várható eredményeinek vizsgálatára a Pécsi Hőerőműben egy hónapon keresztül, 1962. május 10-től június 10-ig, az erőmű 4.sz. kazánján és 2.sz. turbináján kísérleti méréseket végeztünk. A berendezések adatait a 9.sz. táblázat, kapcsolását a 9. ábra, a mért jellemzőket a 10. táblázat mutatja.

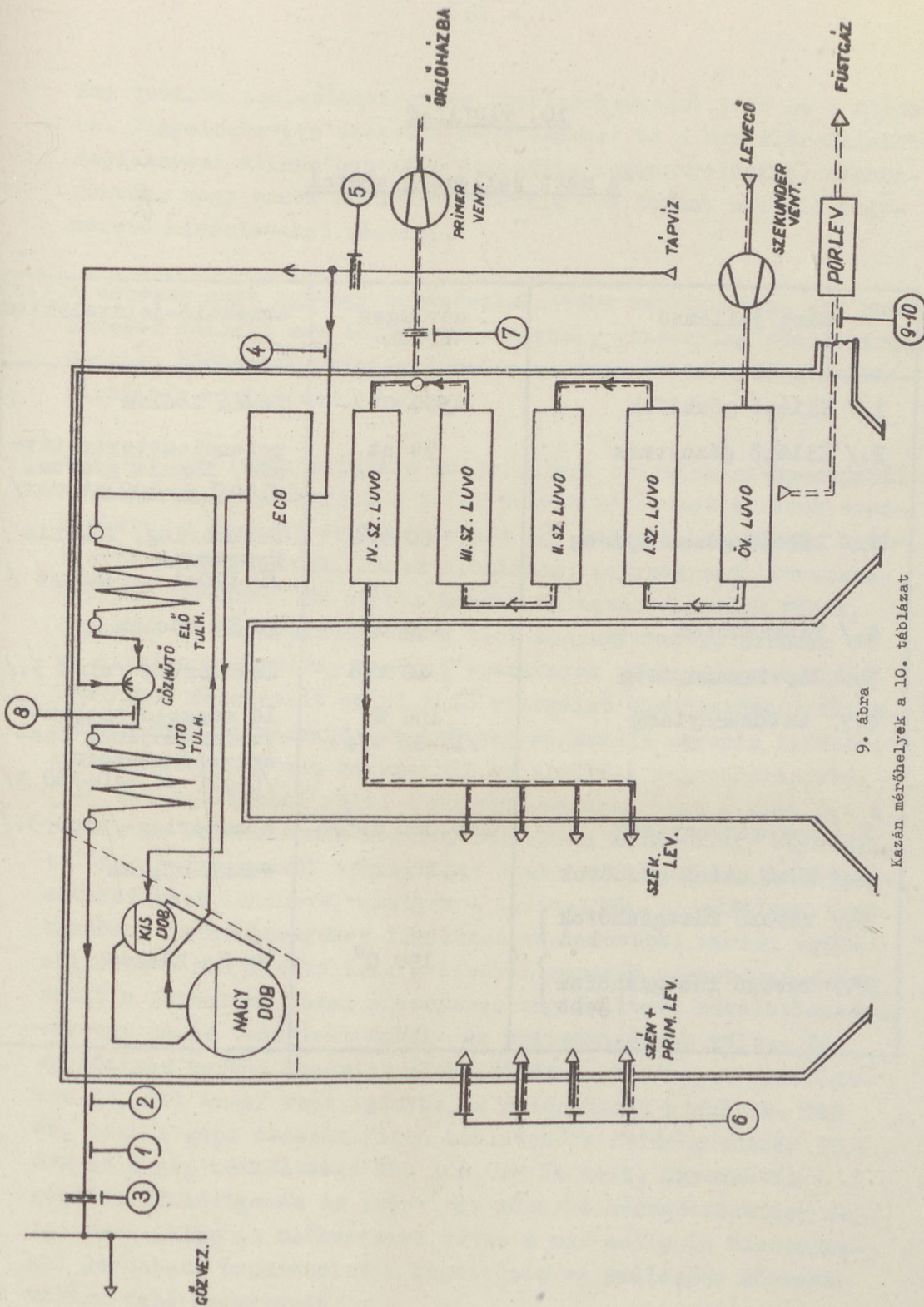
A mérések értékeléséhez a következőket kell előrebocsátani:

a./ A mérések igen nehéz körülmények között történtek. Bár az üzem minden lehetséges segítséget megadott a kísérletek folytatásához, és az üzem műszereinek, mérő-érzékelőinek karbantartása, ellenőrzése is jobb az országos átlagnál, mégis komoly nehézséget okozott az a körülmény, hogy egy néhány hónapos méréshez még esetleg megfelelő mérési viszonyok között egy hónapig kellett dolgozni /ideiglenes kábelezés, stb./. Különösen sok gondot okozott a regisztrálás. Ez két MAW gyártmányú 12 pontíró kompenzográfal történt, amelyek gyenge konstrukciójuk miatt tartós mérésre majdnem alkalmatlanok. A regisztrált értékeket adatfeldolgozási célokból manuális úton kellett digitalizálni,

9. TÁBLÁZAT

Kazán tervezési főadatok

teljesítmény	60 t/6
tüzelőanyagfajta	kőszénhulladék
tüzelőanyag fűtőérték	3275-3483 kkal/kg
túlhev. gőzhőfok	500 °C
túlhev. gőznyomás	74 at
tápvizhőfok	190 °C
szav. hatásfok	73 %



9. ábra
Kazán mérőhelyek a 10. táblázat szerint

10. TÁBLÁZAT

A mért jellemzők adatai

mért jellemző	névleges érték	érzékelő-jelátalakító
1./ Kilépő gőzhőfok	500 C°	Fe-Ko hőelem
2./ Kilépő gőznyomás	74 at	potenciométeres távadó, Regula gyártm. /160Ω ~ 100 at.max/
3./ Kilépő gőzmennyiség	60 t/ó	árammérleg, Askania gyártm. /0÷120mA ~ 0÷80t/ó /
4./ Tápvizhőfok	190 C°	Fe-Ko hőelem
5./ Tápvizmennyiség	60 t/ó	árammérleg /mint 3./
6./ Szénmennyiség	100 % /17-18 t/ó /	14 adagoló tachométerdinamójának összegező műszere /0÷120 mA ~ 0÷100 %/
7./ Levegőmennyiség	~60.000 Nm ³ /ó	árammérleg /mint 3./
8./ Hűtő utáni gőzhőfok	~400 C°	Fe-Ko hőelem
9./ Távozó füstgázhőfok bal	190 C°	Fe-Ko hőelem
10./ Távozó füstgázhőfok jobb		

ami további pontatlanságot és körülményességet vitt be a mérésbe. Figyelembevéve ezeket a nehézségeket és a már előrehaladott fejlesztési állapotban lévő digitális regisztrálónkat, elhatároztuk, hogy ennek üzembehelyezéséig nem fogunk hasonló nagyméretű kísérleteket végezni.

- b./ A mérések csak egy-egy berendezésfajtára vonatkoztak, egy szénkeverék mellett egy idényt jellemeztek, viszonylag stacionárius üzemben történtek. Mindez mutatja a mérés eredményei általánosításának korlátozandó voltát.

A fenti problémák ellenére is jelenlegi céljaink szempontjából kielégítőnek tarthatjuk a lefolytatott méréseket és azok eredményeit. A mostani szakaszban nem egy konkrét berendezés beállítása volt a célunk, hanem általános, nagyságrendi következtetések levonása. Ez utóbbi mondat ellentmondásosnak tűnik, éppen az általánosíthatóságra tett megjegyzéssel, azonban ez az általánosíthatóság csak az eredmények pontos, egy konkrét irányítás feladatait célul tűző vizsgálat szempontjából ilyen korlátozott. A várható értékek nagyságrendje ugyanis korábbi, sok erőműben történt mérésekből és elméleti megfontolásokból [54] extrapolálható volt. A mostani méréssorozat - mint azt a részletes értékelésnél megalapozottabban kimutatjuk, olyan általános nagyságrendi becsléseket igazolt és további feltételezéseket tett lehetővé, amelyek - ismételjük, a jelenlegi szakaszban - a nehézségeket figyelembevéve további mérési erőfeszítéseket nem indokolnak. A további mérések megkezdése ellen szólt a jelenlegi hazai műszerezettség említett tökéletlensége, egy-egy mérés rendkívül munka- és költségigényes volta. Egy egyhónapos tartós kísérlet előkészítése sok hónapot /esetünkben kb. fél évet/ vett igénybe, a feldolgozás újabb kb. fél év, csak a gépi óraszám /igen korlátozott feldolgozásra/ 33,4 óra és a gép bérköltisége kb. 100.000 Ft volt. Ugyanakkor a gépi adatfeldolgozás és irányítás műszaki berendezéseinek fejlesztési állapota szükségessé tette a már eddig is biztonságosan levonható tapasztalatok rögzítését és szélesebb műszaki vitára való bocsátását.

VILLENKI

..... kazán

Óra	kilépő gőz			tápvíz		szénadagoló																												
	nyomás at	hőfok C°	mennysé- ség t/ó	hőfok C°	mennysé- ség t/b	állásjelző %														nyomáskülönbség v.o.mm														
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
0	78	190	48	191	102	70	75	75	80	75	85	85	70	80	70	75	90	-	-	50	60	40	70	70	50	70	80	60	50	60	60	-	-	
1						70	75	80	80	70	85	85	70	80	70	75	90	-	-	50	60	50	70	70	50	70	80	60	50	60	60	-	-	
2						70	75	80	80	70	85	85	70	80	70	75	90	-	-	40	70	50	70	70	70	70	80	60	50	60	60	-	-	
3	78	190	48	191	102	80	80	85	90	85	90	100	85	90	85	90	100	-	-	40	50	50	70	50	40	60	80	50	50	60	70	-	-	
4	80	195	51	191	105	70	70	70	70	70	75	70	70	70	70	70	90	-	-	40	60	30	80	70	50	60	80	60	40	70	60	-	-	
5	78	190	48	191	102	70	75	80	90	75	85	85	70	75	70	75	90	-	-	50	60	40	80	70	50	60	70	70	50	70	60	-	-	
6	78	195	46	192	102	94	94	90	90	86	96	96	86	86	86	86	90	-	-	50	50	46	54	70	56	60	85	60	50	66	68	-	-	
7	78	195	46	192	102	96	94	90	90	86	96	96	86	86	86	86	90	-	-	50	50	46	54	70	56	60	85	60	50	66	68	-	-	
8	78	195	46	192	102	96	94	90	90	86	96	96	86	86	86	86	90	-	-	50	50	46	54	70	56	60	85	60	50	66	68	-	-	
9	78	195	48	192	102	88	80	85	85	86	100	100	90	96	88	90	100	-	-	50	54	60	70	88	86	54	80	54	58	56	66	-	-	
10	78	195	56	192	102	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	55	60	35	75	70	60	80	60	60	60	60	-	-		
11	78	195	50	192	105	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	50	60	34	70	66	60	64	80	58	56	60	60	-	-	
12	78	195	46	192	102	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	55	60	40	50	64	58	70	80	60	60	60	60	-	-	
13	78	195	53	192	102	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	55	60	40	55	60	60	70	80	60	60	60	60	-	-	
14	78	195	54	192	102	88	90	90	94	86	100	100	100	92	88	90	100	-	-	50	54	30	70	68	52	54	80	54	58	56	62	-	-	
15	78	195	55	192	102	75	80	75	80	70	70	70	80	80	75	85	85	-	-	50	60	35	75	70	60	60	85	60	60	60	65	-	-	
16	78	195	50	192	102	70	75	70	75	70	70	65	75	75	70	70	80	-	-	40	60	30	80	70	75	60	80	70	60	75	70	-	-	
17	78	195	52	192	102	80	90	90	90	92	90	85	90	95	90	85	100	-	-	55	55	35	85	75	60	70	80	75	65	60	62	-	-	
18	78	195	50	192	102	80	85	85	90	90	100	95	85	90	82	85	95	-	-	60	50	30	55	60	75	65	75	70	60	60	60	-	-	
19	78	195	50	192	102	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	50	50	30	75	60	40	70	80	76	70	70	70	-	-	
20	78	195	46	192	102	70	75	75	80	70	80	80	70	75	70	75	85	-	-	50	60	35	55	65	70	60	75	75	60	60	60	65	-	-
21	78	195	50	192	102	90	90	94	100	80	100	100	96	92	90	96	90	-	-	50	48	30	64	60	70	60	82	78	60	66	60	-	-	
22	78	195	50	192	102	90	90	100	100	90	95	100	90	95	95	100	100	-	-	50	50	30	60	70	50	60	80	74	60	60	60	65	-	-
23	78	195	60	192	102	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	40	54	40	50	55	55	64	70	42	60	57	46	-	-	
24	110	195	60	192	102	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	50	55	40	65	70	64	70	78	64	54	48	46	-	-	

"TÉMPÓ"Ksz./Mezi: 1599. A/3. 1 old. 200 pld./

196... év. Április..... hó. 26. nap.

Óra	levegőcsap- panlyu %	Sűrű- perdület szabályozó % 6p	füstgőzcsap- panlyu %	perdület szabályozó %	kilépő hőfok C°	tűztér- hőfok C°	CO ₂ %	Δp v.o.mm	gőzhőfok		motorok áramfelvétele.				Megjegyzés:
									hűtő előtt C°	hűtő után C°	malom A	átmenet- veszt. A	száll. lev. A	szívó vent. A	
0			15	100	190	1310	13,9	42	410	360	-	-	34	26	-
1			16	100	190	1310	13,9	42	410	360	-	-	34	26	-
2			16	100	190	1310	13,9	42	410	360	-	-	34	26	-
3	23	ü	45	55	200	1330	14,5	52	420	350	-	-	34	26	-
4	22	ü	40	55	190	1310	14	48	410	350	-	-	34	26	-
5	25	ü	50	50	190	1300	14,1	44	410	350	92	37	36	26	-
6	22	ü	35	70	180	1260	13,5	44	410	360	92	40	38	25	-
7	22	ü	30	70	170	1260	13,5	44	400	320	92	38	37	26	-
8	22	ü	30	70	180	1260	13,5	44	410	360	-	-	-	26	-
9	24	ü	25	50	180	1260	13,5	44	410	360	-	-	-	26	-
10	24	ü	30	70	170	1290	14	46	410	350	92	42	38	26	-
11	26	ü	25	70	170	1380	14,1	46	410	350	92	43	39	26	-
12	25	ü	30	70	160	1260	13	43	400	370	92	40	38	26	-
13	25	ü	35	80	170	1280	14	45	410	350	92	42	39	26	-
14	20	ü	30	70	180	1290	14,7	40	410	350	92	40	33	25	-
15	20	ü	30	70	175	1300	14,6	40	400	360	90	35	34	25	-
16	20	ü	25	70	180	1280	14	42	400	360	91	37	34	25	-
17	16	ü	20	60	180	1290	14,5	38	410	350	92	39	33	25	-
18	15	ü	20	40	195	1250	13,5	42	420	350	-	-	33	24	-
19	15	ü	10	20	200	1230	14,5	35	410	340	-	-	30	23	-
20	15	ü	15	50	180	1260	13	35	400	360	92	42	32	25	-
21	18	ü	35	50	180	1270	13	38	410	360	92	42	32	26	-
22	18	ü	26	60	180	1260	13,9	39	410	360	92	40	32	26	-
23	22	ü	50	80	180	1280	14,2	47	410	355	92	40	34	26	-
24	22	ü	55	80	190	1290	14,3	48	410	350	92	35	35	26	-

Kazán
gyújtású
géppel jött együtt.

"TÉMPÓ"Ksz./Mezi: 1599. A/3. 1 old. 200 pld./

2.4.22. A gépi adatfeldolgozás

Gépi adatfeldolgozást a kazánmérésekkel kapcsolatban végeztünk, korrelációs elemzést és spektrálsűrűség-felbontásokat. Valamennyi mérésnél 36''-enként történt az egyes mérőpontok mintavételezése. Ezt az a gyakorlati korlát befolyásolta, hogy 12 pontiró berendezésnél - a beállítható legkisebb 3''-es kompenzációs idővel - ez a minimális mintavételi idő. Bár egyes átmeneti viszonyok megítélése szempontjából a 15-20''-es mintavételi periódus /amit kevesebb jellemzőt regisztráló, korábbi méréseknél alkalmaztunk/ esetleg kedvezőbb, a korrelációs függvények sima voltát és a jelenségek nagyjából ismert átmeneti folyamatait figyelembevéve a választott mintavételi idő kielégítő volt.

A gépi adatfeldolgozásnál egy kb. 13 órás, az egész hónapi mérés során mérés technikailag legmegbízhatóbbnak tekinthető üzemmenetet vettünk alapul, az eredményeket természetesen gondosan összehasonlítva a hónapos mérés többi szakaszának tanulságaival. Ez a 13 órás üzemidő is, görbénként kb. 1300 adattal, összesen 6 feldolgozásra kiválasztott görbével, több mint 10.000 adat egymásközi összefüggéseinek vizsgálatát jelentette, általában 25 lépcsőig /15' eltolásig/ számítva az auto- és keresztkorrelációkat. Ezen kívül a havi üzemmenet során egy fokozottan ellenőrzött és kiterjesztett adatleolvasást és jegyzést kaptunk az üzemtől /10. ábra/, amelyből szintén számos következtetést vonhattunk le.

Az adatfeldolgozásnál alkalmazott gépi autokód-programokat /részben a gép programkönyvtárából, részben Ferenczy Eörs és Braun Péter munkái alapján/ a 11. és 12. ábra mutatja. Egy kinyomtatott auto- és egy keresztkorrelációs eredményt, továbbá a spektrálsűrűség kinyomtatott számítását a 13., 14. ábrák mutatják, egyébként a görbét a könnyebb áttekinthetőség kedvéért a numerikusan nyomtatott eredmények alapján rajzolt diagramokban közöljük.

2.4 23. A korrelációs összefüggések értékelése

Esetünkben a korrelációs összefüggések értékelésénél a feladat bizonyos mértékben különbözött a statisztikus szabályozáselmélet klasszikus feladataitól [55, 56, 57]. Általában az ismert és mérhető statisztikus jellegű bemenő és kimenő mennyiségek közötti

```
SETS N(2)OPJ(25)G(25)KIX(1500)Y(1500)S(1)T(1)U(1)V(1)QLZR
SETV W(2)BCDEF
SETF SQRT FILM
SETR 4
1)READ N
READ M
WAIT
READ O
READ P
CYCLE H=1:1:P
READ JH
READ GH
REPEAT H
WAIT
FILM(1) ALLOW WRITE
FILM(1) SEARCH 1000
CYCLE K=1:1:O
CYCLE I=1:1:N
READ XI
REPEAT I
W1=STAND N
W2=W1/64
N1=INT W2
N1=N1+1
VARY I=1:64:N1
FILM(1) FROM XI
REPEAT I
WAIT
REPEAT K
CYCLE H=1:1:P
TITLE +KOR. AZ ALAABBI GOERBEEK KOEZOETT
LINE
PRINT JH
PRINT GH
LINES
JI=JH-1
JH=JH*N1
JH=JH+1000
FILM(1) SEARCH JH
VARY I=1:64:N1
FILM(1) TO XI
REPEAT I
GH=GH-1
GH=GH*N1
GH=GH+1000
FILM(1) SEARCH GH
VARY I=1:64:N1
FILM(1) TO YI
REPEAT I
SUBR 2
REPEAT H
STOP
2)TITLE
ELTOLAAS          KORRELAACIO      X SZORAAS      Y SZORAAS
LINES 2
S1=O
T1=O
U1=O
V1=O
Y=O
X(N+1)=O
CYCLE I=1:1:N
S1=S1+X1
U1=U1+Y1
```

```
Q=X1*Y1
R=Y1*Y1
M=T1+Q
V1=V1+R
REPEAT I
CYCLE K=O:1:M
L=N-K
Z=O
CYCLE I=1:1:L
M(2)=X1*Y(1+K)
Z=Z+N2
REPEAT I
U1=U1-YK
R1=YK*YK
V1=V1-R
S1=S1-X(L+1)
Q=X(L+1)*X(L+1)
T1=T1-Q
U=U1
V=V1
S=S1
T=T1
R=S*U
Z=L*Z
Z=Z-R
S=S*S
T=L*T
T=T-S
U=U*U
V=L*V
V=Y-U
B=STAND T
C=STAND V
D=STAND L
E=STAND Z
B=SQRT B
C=SQRT C
F=B*C
E=E/F
B=B/D
C=C/D
PRINT K
SPACES 13
PRINT E 4
SPACES 9
PRINT B 4
SPACES 7
PRINT C 4
LINE
JUMP 04
3)CYCLE I=1:1:70
OUTPUT 31
REPEAT I
4)REPEAT K
CYCLE I=1:1:100
OUTPUT 0
REPEAT I
EXIT
START 1
```

```
SETS IN
SETV FABSLR(200)MT
SETF TRIG
SETR 3
1)READ N
CYCLE I=0:1:N
READ RI
REPEAT I
T=1-RN
CYCLE I=0:1:N
RI=RI-RN
RI=RI/T
REPEAT I
WAIT
TITLE LAG OMEGA SPEKTRAALSUERUESEEG
LINES 2
2)READ L
F=6.2831/L
S=0
LINES 2
PRINT L,6
LINE
CYCLE I=0:1:N
A=STAND I
B=F*A
B=B/3.14159
B=cos B
M=L-1
JUMP IF A%M@3
SPACES 10
PRINT I
SPACES 5
PRINT B,6
LINE
3)B=RI*B
S=S+B
REPEAT I
PRINT L,6
SPACES 5
PRINT F,6
SPACES 5
PRINT S,6
LINE
JUMP @2
START 1
```

+KOR. AZ ALA BBI GOERBEEK KOEZOETT

1 1

+KOR. AZ ALAABBI GOERBEEK KOEZOETT

ELTOLAAS	KORRELAACIO	X SZORAAS	Y SZORAAS
0	.9660	49.79	67.19
1	.8893	49.80	67.17
2	.8150	49.79	67.13
3	.7414	49.78	67.11
4	.6656	49.77	67.09
5	.5918	49.74	67.07
6	.5196	49.67	67.05
7	.4495	49.63	67.04
8	.3789	49.59	67.05
9	.3104	49.57	67.06
10	.2409	49.55	67.07
11	.1723	49.53	67.07
12	.1084	49.52	67.09
13	.0430	49.50	67.10
14	-.0239	49.49	67.12
15	-.0880	49.49	67.14
16	-.1517	49.49	67.16
17	-.1691	49.49	67.17
18	-.1832	49.49	67.19
19	-.2006	49.50	67.21
20	-.2173	49.50	67.24
21	-.2286	49.51	67.26
22	-.2337	49.53	67.28
23	-.2386	49.54	67.31
24	-.2428	49.55	67.33
25	-.2512	49.57	67.36

13. ábra

LAG	OMEGA	SPEKTRAALSUERUESEEG
2.00000	0	1.00000
	1	-1.00000
2.00000		3.14155 .190547
3.00000	0	1.00000
	1	-.499977
	2	-.500046
3.00000		2.09437 .185006
4.00000	0	1.00000
	1	.000020
	2	-1.00000
	3	-.000060
4.00000		1.57077 .865880
5.00000	0	1.00000
	1	.309032
	2	-.808998
	3	-.809045
	4	.308956
5.00000		1.25662 .217737
6.00000	0	1.00000
	1	.500012
	2	-.499977
	3	-1.00000
	4	-.500046
	5	.499942
6.00000		1.04718 .273742
7.00000	0	1.00000
	1	.623499
	2	-.222499
	3	-.900000

14. ábra

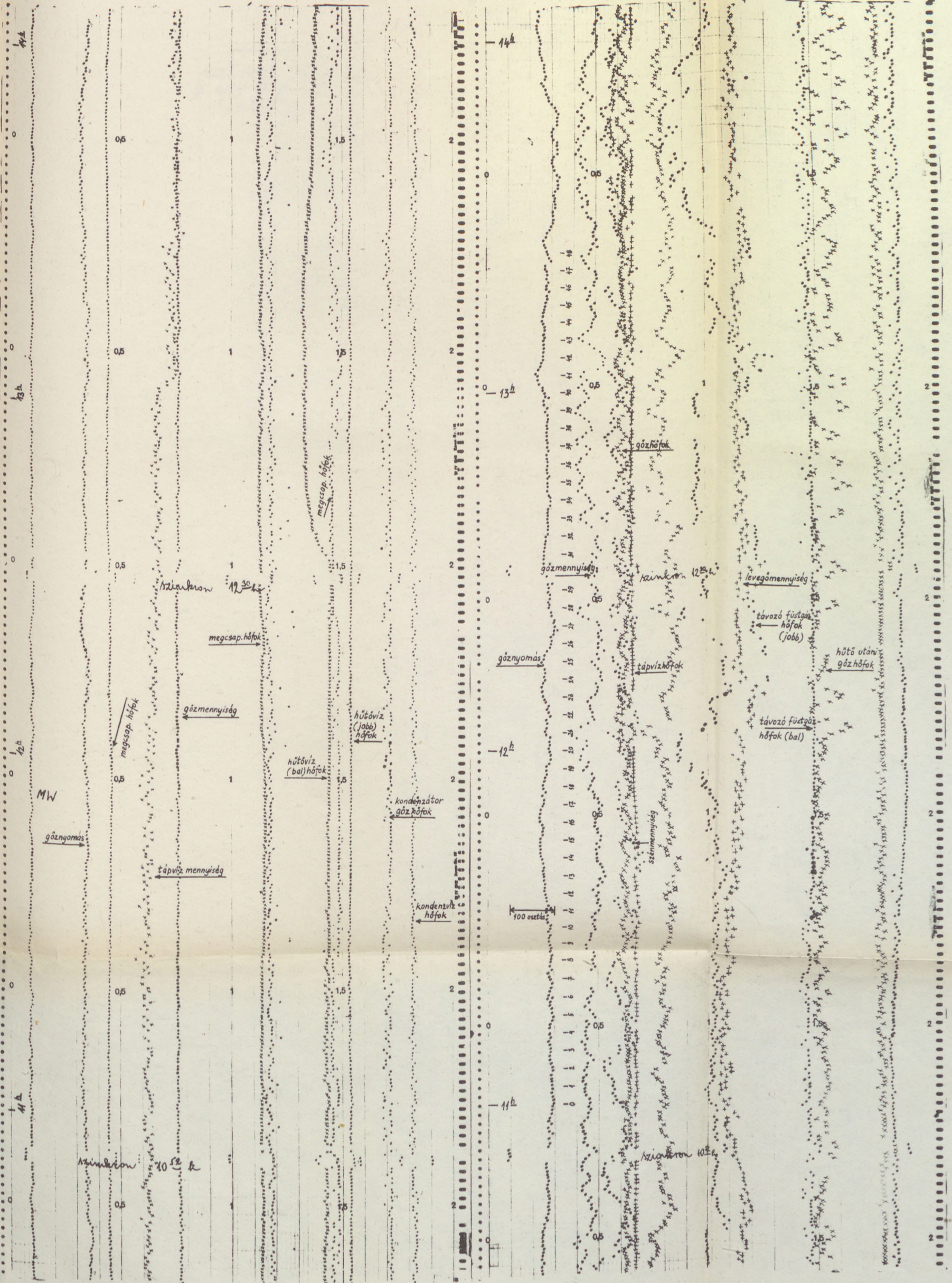
összefüggések vizsgálata a cél, ennek kapcsán vagy a statisztikus bemenetű és kimenetű, de kauzális átviteli függvényű rendszer megismerése, vagy konstruálása. A szintézis során a feladat rendszerint egy optimális /pl. minimális eltérést adó/ szűrő tervezése, amely ismert statisztikus jellemzőkkel megadott zavarásra a legkedvezőbben reagál.

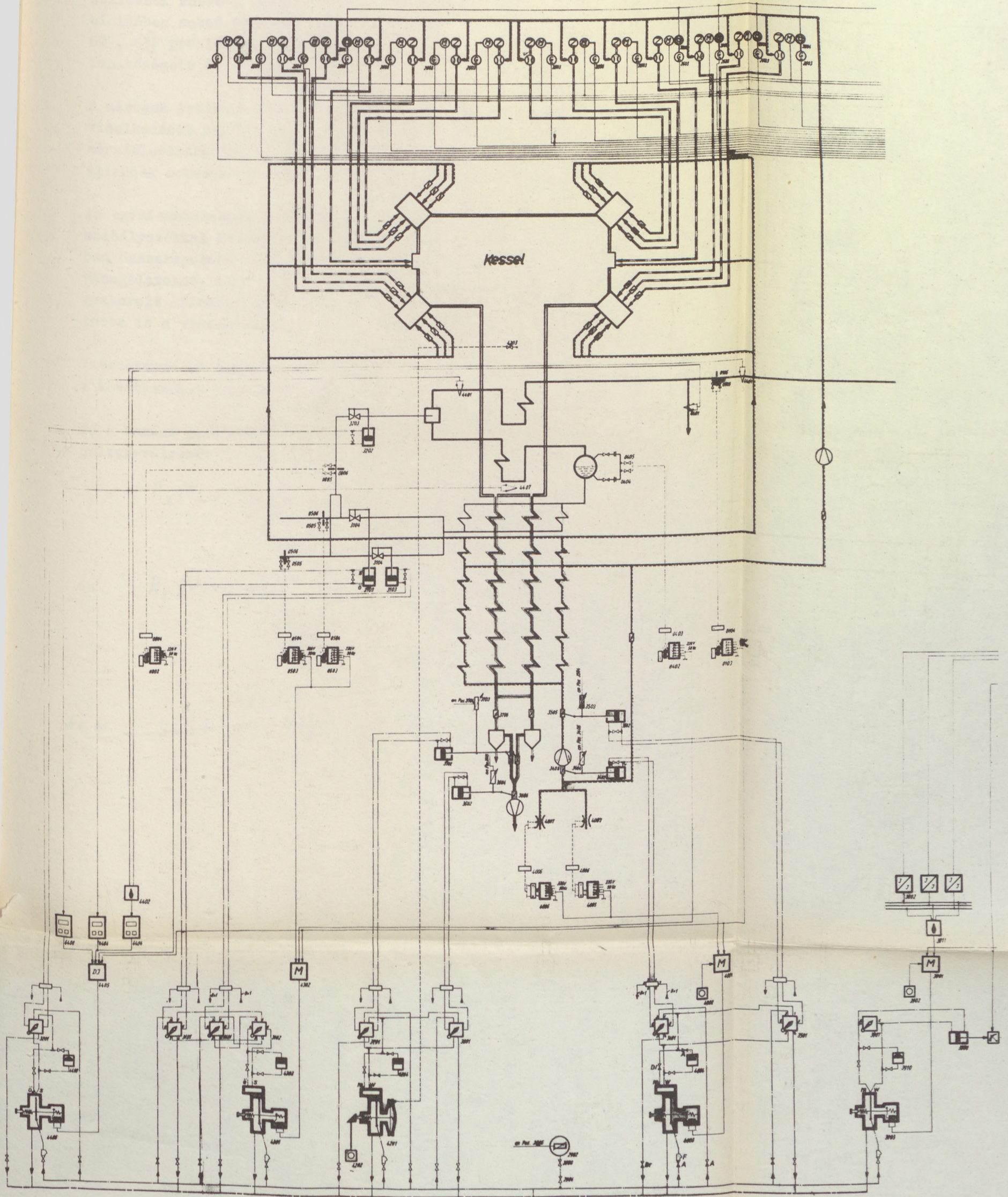
Különös szerepet kapnak az ilyen vizsgálatoknál a zajgenerátorok, főleg a fehér zaj-generátorok, amelyekkel zavarva a rendszert elvileg /sajnos itt is csak elvileg/ egyszerű eszközökkel kapjuk a rendszer dinamikai jellemzőit.

A végzett vizsgálatoknál - és esetünkben általában - ezeknek a jól kidolgozott eszközöknek a használatáról nem lehetett szó, hiszen a bemenet /pl. fűtőanyag minőség- és mennyiségváltozás/ önmagában zajjellegű és nem mérhető a ma rendelkezésünkre álló műszaki eszközökkel. A kazán gőztermelésének állandó és a 15. regisztrátumon jól látható lengése elsősorban ezzel a zavarással magyarázható, hiszen a kazánnal együttjáró turbina a hálózatról nem vett fel lengéseket, más befolyásoló jellemzők, mint például a tápviz-hőfok, levegőadagolás, stb., mind viszonylag stabil értékűek. A kazán, mint érzékeny kaloriméter - a benne levő különböző időtartományokba sorolható tárolóelemek közvetítésével - döntően a fűtőanyag mennyiségi és minőségi zavarásait tükrözi a gőztermelés rendszeres ingadozásaiban.

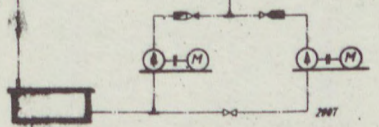
Esetünkben általában a kimenet ismert, továbbá korábbi vizsgálatokból ismertnek tételezzük fel [54 , 58 , 59] az átviteli szakasz dinamikai jellemzőit. Keressük a bemeneten ható zaj jellemzőit, ilyen módon visszakövetkeztetve az egyelőre nem mérhető zajra, továbbá annak a kimenetre gyakorolt hatásából levonható tanulságokra.

Az auto- és keresztkorrelációk értékelésénél egyébként általában az 1.3. szempontjait alkalmazzuk az adatfeldolgozáshoz javasolható mintavételezési és átlagolási idők meghatározására, a szükséges és lehetséges mérési és értékelési /pl. hatásfokmeghatározási/ pontosságok, ellenőrzési megbízhatóságok elérésére.





16. ábra
Kessel szabályozási kapcsolása



A keresztkorrelációk ezen kívül kapcsolatokat mutatnak az egyes jellemzők között, amelyek a kazánszabályozások területén az utóbbi időben sokat tárgyalt egymásrahatás mentes szabályozás [60, 61, 62, 63] problémáira utalnak, és eldöntik az ilyen szabályozások lehetőségeit és szükségszerűségeit.

A mérések értékelésénél figyelembe kell venni az érzékelők időbeli viselkedését is. Különösen vonatkozik ez a nagy időállandóju hőmérsékletérzékelőkre. Ezeknél a tulajdonképpeni technológiai időállandók sokszor egy nagyságrenddel kisebbek, mint az érzékelőké.

Az egymásrahatásnál gondolnunk kellett arra is, hogy a mért kazán szabályozókkal felszerelve, tehát bizonyos jellemzőket zárt hurokban összekapcsolva működött /16. ábra/. Ez részben segítette a vizsgálatokat, mert egyes jellemzők stabilizálásával a másokra gyakorolt kölcsönhatások számát csökkentette, de részben bonyolította is a viszonyokat.

Visszatérve az ismeretlen zavaró hatás statisztikus vizsgálatára, a következőket jegyezhetjük meg:

Ha a bemenő jellemzőt $x(t)$ -vel, a kimenőt $y(t)$ -vel, a szakasz impulzus-válaszát $k(t)$ -vel jelöljük

$$R_x(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) x(t+\tau) dt \quad 29.)$$

$T \rightarrow \infty$

és

$$R_x(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T y(t) y(t+\tau) dt \quad 30.)$$

autokorrelációkkal

$T \rightarrow \infty$

és az

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(u) k(t-u) du \quad - \text{val}$$

$$R_y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} du \int_{-\infty}^{\infty} k(v) k(u) R_x(\tau+u-v) dv \quad 31.)$$

lesz [55]^x, ahol az u és v időjellegű segédváltozók.

Ebből az $R_x/\tau/$ -t zárt alakban meghatározni igen nehéz, általában nem lehetséges. Könnyebben közelíthető a konvolúciókkal és az ezzel kapcsolatos súlyfüggvényekkel való műveletek elkerülésével a spektrálsűrűség.

Ha

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau, \text{ ill.} \quad 32.)$$

$$S_y(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_y(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad 33.)$$

és a $k/\tau/$ súlyfüggvénnyel jellemzett szakasz átviteli függvénye $\phi/j\omega/$,

$$S_x(\omega) = \frac{S_y(\omega)}{|\phi(j\omega)|^2} \quad 34.)$$

Esetünkben általában az $R_y/\tau/ = a \cdot e^{-\frac{|\tau|}{T_y}}$ alakú, $a = R/o/ = 1$ a kazán gőztermelésének a tüzelésre vonatkozó átviteli függvénye. [54] alapján

$$\frac{1}{1 + T_y j\omega} e^{-j\omega T_y} \text{ -val közelíthető,} \quad 35.)$$

ahol a holtidő a további számításoknál a spektrálsűrűség amplitúdójellege miatt fizikailag is jól érzékelhetően, matematikailag pedig szemmel láthatóan nem játszik szerepet.

Az $R_y/\tau/ = e^{-\frac{|\tau|}{T_y}}$ -hoz tartozó spektrálsűrűség:

$$S_y(\omega) = \frac{\frac{2}{T_y}}{\omega^2 + \frac{1}{T_y^2}} = \frac{2 T_y}{T_y^2 \omega^2 + 1} \quad 36.)$$

^x Op.cit. 189-190.old.

$$|\phi(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + T^2\omega^2} \quad 37.)$$

$$S_x(\omega) = 2T_y \frac{1 + T^2\omega^2}{1 + T_y^2\omega^2} \quad 38.)$$

ha $T_y, T \gg 1$ /nagy ω -ra/ $S_x(\omega_k) \cong 2 \frac{T^2}{T_y^2} = c_1$ 39.)

$T_y, T \ll 1$ /kis ω -ra/ $S_x(\omega_n) \cong 2 T_y = c_2$ 40.)

ha $T > T_y$ $S(\omega_n) > S(\omega_k)$ 41.)

$T < T_y$ $S(\omega_n) < S(\omega_k)$ 42.)

A fentiek szerint, ha feltételezéseink helytállóak, a bemeneten ható zavarás széles frekvenciatartományban állandó spektrálsűrűségű, fehér zaj jellegű. Nézzük meg, hogyan kell alakulnia a kimenet spektrálsűrűségének, illetve autokorrelációjának abban az esetben, ha a bemeneten egy $R_x/\tau = e^{-\frac{|\xi|}{T_x}}$ autokorrelációju zavarás hatna, az átviteli szakasz az előzőnek megfelelő.

Ekkor

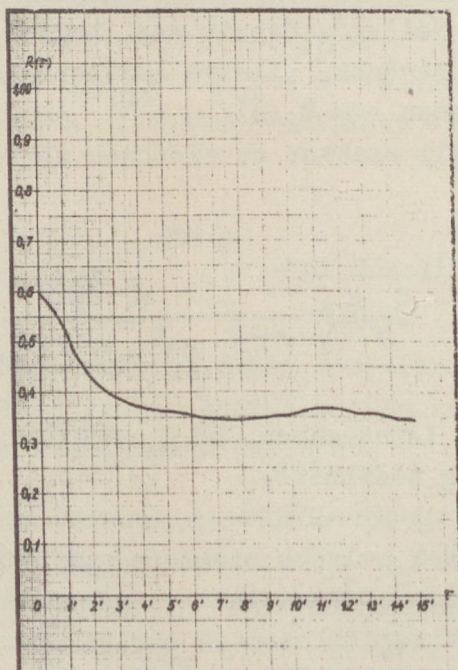
$$S_y(\omega) = \frac{2 T_x}{(T_x^2 \omega^2 + 1)(T^2 \omega^2 + 1)} \quad 43.)$$

alaku lesz, azaz lefutásában, ha $T_x \neq T$, két különböző időállandóju exponenciális tag észlelhető.

A lehetséges esetek mélyebb elemzése nem szükséges, figyelembevétel a szabályozott szakasz dinamikai viselkedésének változó jellegét [54], továbbá a vizsgált hatások mérési bizonytalanságát, valamint a vizsgálatainkkal elérni kívánt gyakorlati célok korlátozott igényeit.

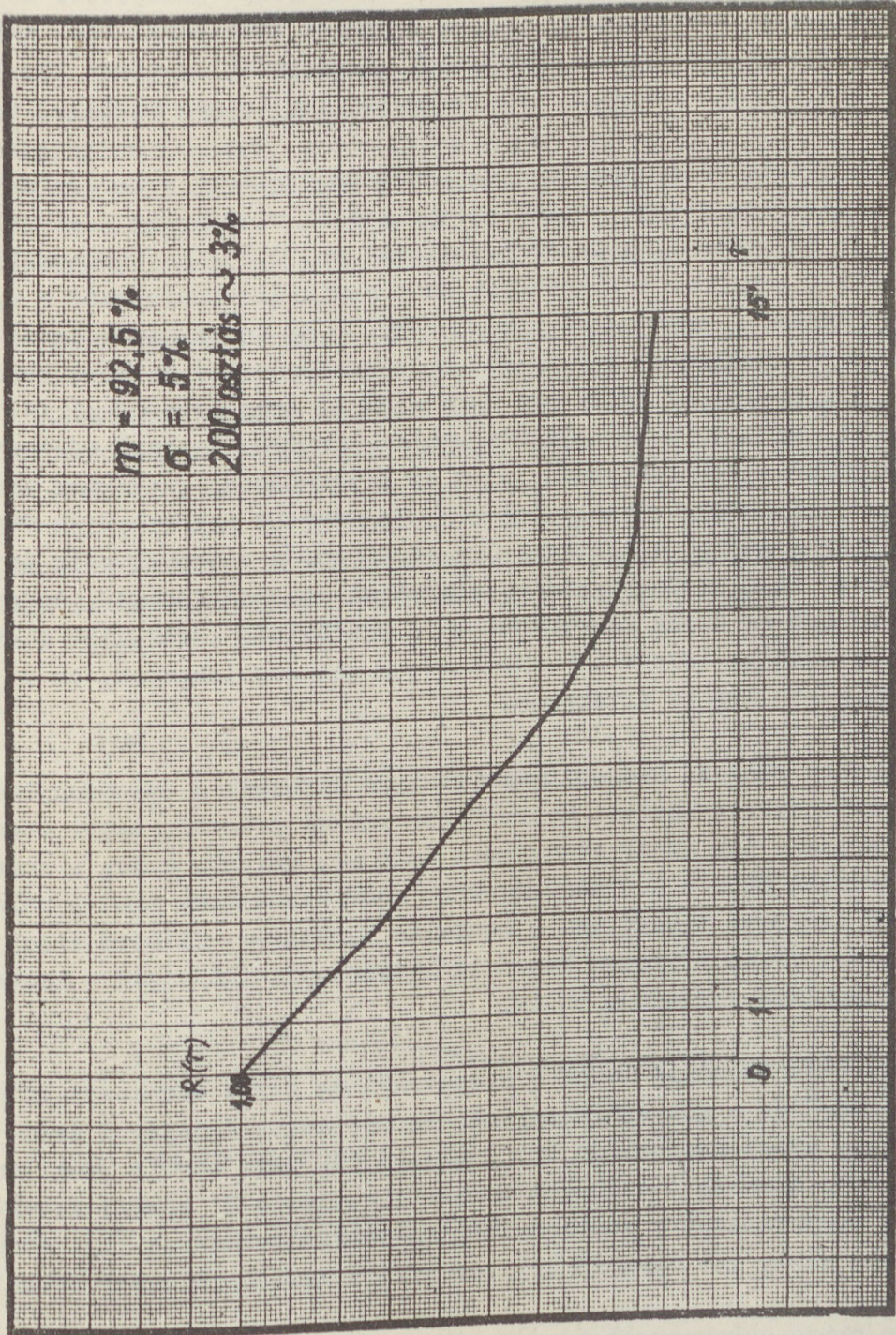
2.4.24. A gőzmennyiség és nyomás statisztikus alakulása

A kazán viselkedésének statisztikus vizsgálata során számunkra a legérdekesebb a gőzmennyiség elemzése volt, mivel a többi, a vizsgálatunk szempontjából fontos jellemző /szénminőség, füstgázösszetétel, salakéghető/ nem volt folyamatosan mérhető, más jellemzők pedig /gőzhőfok, vizállás/ autonóm vagy félautonóm szabályozási körökkel stabilizálhatók és az optimalizálásnál csak másod-, vagy harmadrendű szerepet játszanak. A gőzmennyiség a rendszer szempontjából kimenő jellemzőként szerepel, a gőzmennyiséget befolyásoló jellemzők közül a szénmennyiséget tudtuk csak folyamatosan mérni, azt is eléggé bizonytalan módon. Az adagoló sebességeket összegező mérés nem veszi figyelembe a rétegvastagságban, tömörítésben, stb. bekövetkező változásokat, melyek szorosan összefüggnek a szén elsősorban mechanikai jellemzőinek változásával. A kazán terhelésszabályozóval dolgozott, azaz a termelt és elvett gőz-áramok különbségének integráljával összefüggő gőznyomástól vezérelve változott az adagolósebesség. A viszonyokat jól mutatja a gőzmennyiség és szénmennyiség közötti korrelációs görbe /17. ábra/



17. ábra

Korreláció a gőzmennyiség és szénmennyiség között



18. ábra

Szénmennyiség autokorrelációja

amely 0,35 körüli korrelációval mutat állandósult állapotot. A görbe maximális korrelációja 0,6, a 0 perces eltolásnál van, ami a terhelésszabályozó gyors működéséről tanuskodik. A görbe kb. 3'-es időállandóju esést mutat, gyakorlatilag lengés nélkül.

A szénmennyiség és a gőzmennyiség keresztkorrelációja méréseink alatt, illetőleg vizsgálataink szempontjából viszonylag laza volt, hiszen az állandósult állapotot jellemző kb. 0,35-ös autokorrelációt kell 0 vonalnak tekintetnünk és a maximális korreláció a 0,6 és 0,35 közötti, arányos nagyításban kb. 0,38 érték. Az állandósult állapot helyzetét a folyamat kvázistacionárius jellege indokolja. A korrelációs görbe egy több mint 12 órás üzemellenőrzés eredménye, amelyen belül nyilván vannak többórás jellegű változások is /mind a folyamatokban, mind az érzékelésben/, ezeknek azonban szempontunkból technológiai következményeit nem vehetjük figyelembe, mivel azokat a normális üzemmenet során a szabályozók és a személyzet amugyis korrigálják, azonkívül rendszerességük, éppen a hosszú idő és ennek következtében a gyakoriság csökkenése miatt kicsi, a belőlük levont következtetések nem megbízhatóak, és a fentiek miatt nem is értékesek.

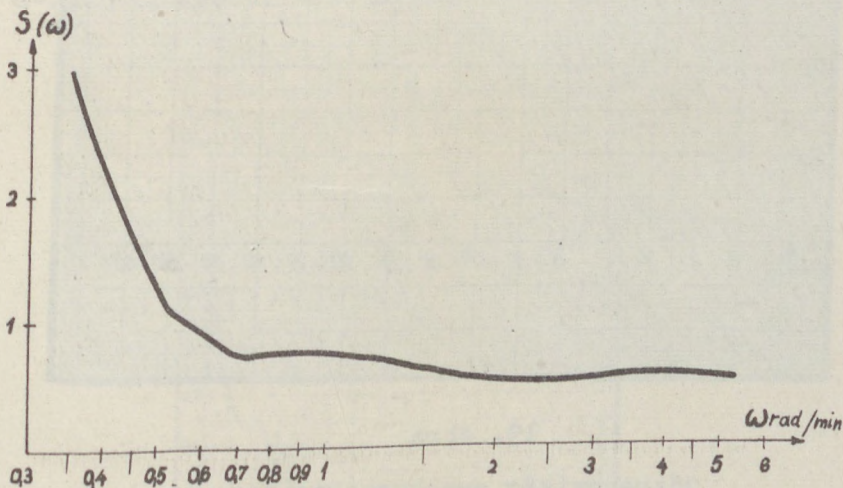
Egy folyton változó teljesítménnyel járó kazánál a szénmennyiség és a gőzmennyiség közötti összefüggés sokkal erősebb, ezzel sokat foglalkoztak, így annak vizsgálata most nem célunk. Eppen a kvázistacionárius üzem a legtanulságosabb most számunkra, ahol a változások lényeges részét nem a kauzális terhelés-, illetve ezzel a szabályozó révén szorosan kapcsolt tüzelőanyag-mennyiség - hanem a statisztikus zavarások adják.

Érdekes ellentmondást mutat a szénmennyiség görbe autokorrelációja /18. ábra/^x és a gőz-szénmennyiség keresztkorrelációja. A szénmennyiség autokorrelációja egy hosszabb, 12 perc körüli időállandót mutat, szemben a szén-gőz keresztkorreláció 3' körüli értékével. A magyarázatot a gőzmennyiség autokorrelációjának /19. ábra/ elemzése adja, itt ugyanis két jól elválasztható jelenség /esetleg

^xA következő autokorrelációs görbéken feltüntetjük a mérés m átlagát és szórását, továbbá a 15. ábra diagramjain felvett léptékeket, amelyek numerikus számokként a számológép programban, ill. eredményekben szerepeltek.

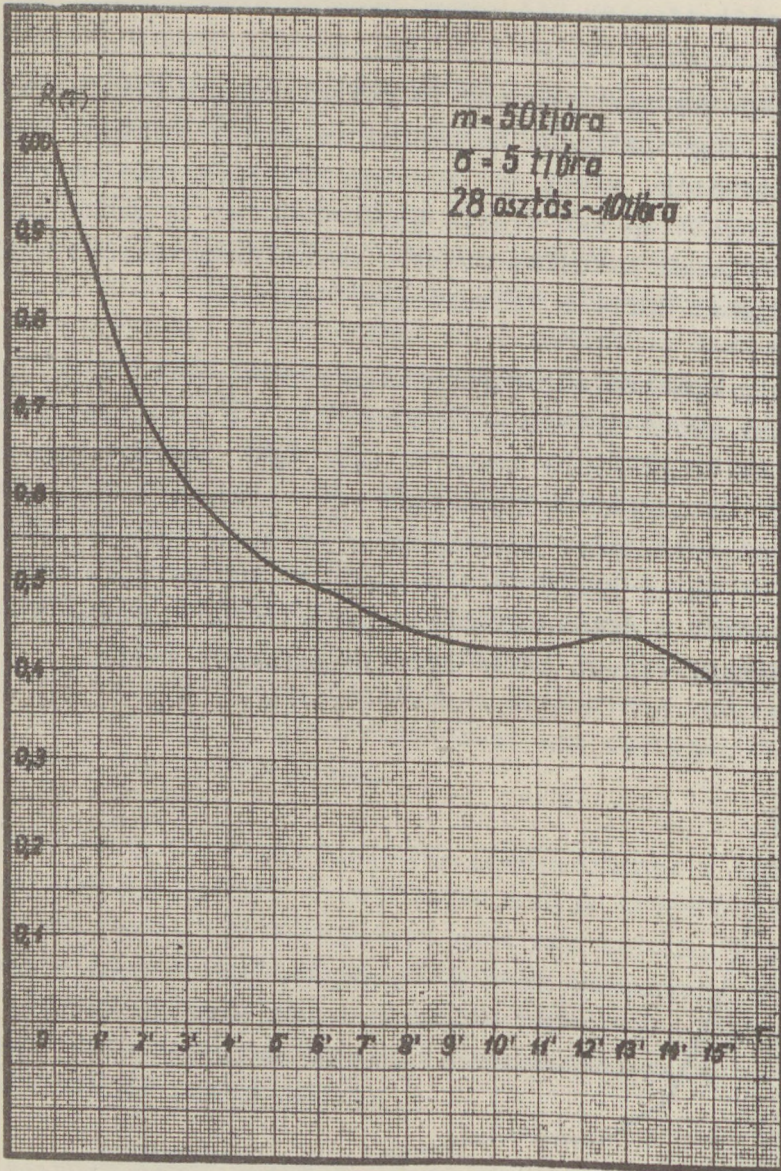
három/ találkozik; egy gyorsabb lefutású, exponenciális, továbbá egy lassabb, lengő jellegű. Ez utóbbi részben a kazánok közötti lengésből származik, mivel egy turbina két párhuzamosan kapcsolt kazánnal dolgozott és nem tiszta blokk-üzemben. A szénmennyiség autokorrelációjának lefutása tehát a terhelésszabályozó gőznyomás érzékelőjénél történt változásokat tükrözi.

A gőzmennyiség spektrálsűrűség-görbéje /19.a. ábra/ több kiemelkedő periódust mutat 15'-es periódusidőre. /A spektrálsűrűség ábrák vízszintes tengelyének skálája $\omega = \frac{2\pi}{T}$ rad/min-ban adja az értékeket, az időállandó jellegű $\frac{1}{\omega}$ értékek tehát a T-k 2π -vel való osztásából származnak./ Ez a 15' körüli periódusidő tehát a 3'-es, a kazán gőzterelési átvitelére jellemző időállandót tükrözi. A szénmennyiség spektrálsűrűség-görbéje egyenletesebb lefutással /18.a. ábra/ hasonló jelleget mutat.



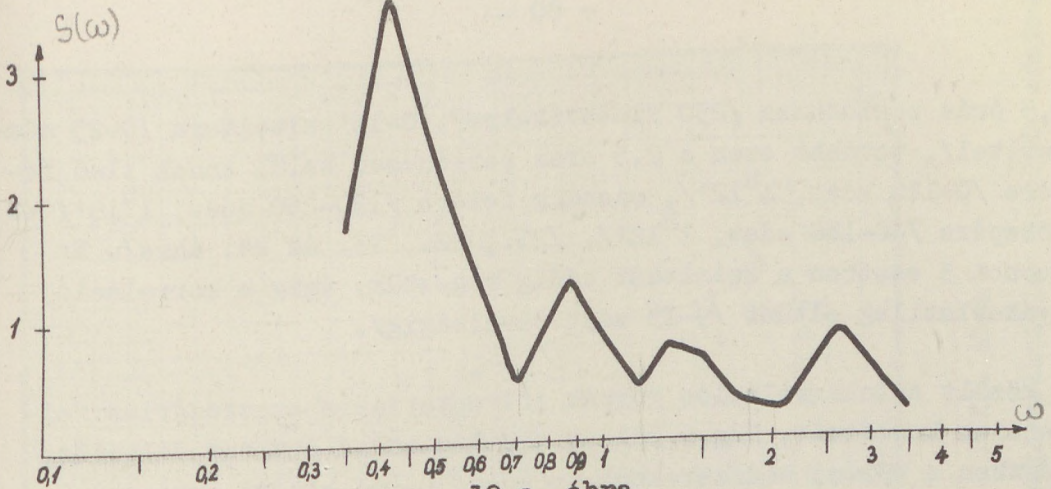
18.a. ábra

Szénmennyiség spektrálsűrűsége



19. ábra

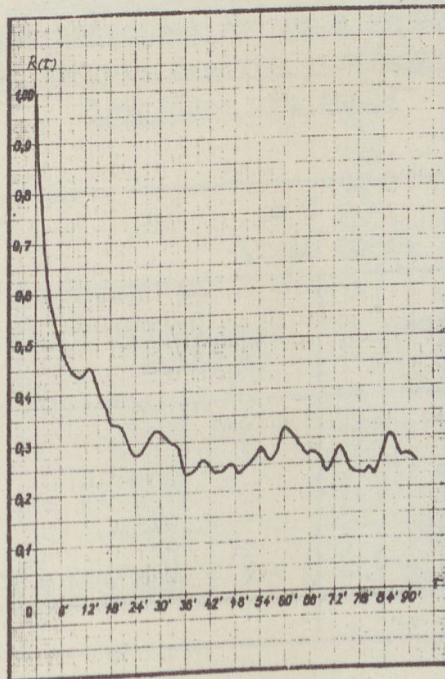
Gőzmennyiség autokorrelációja



19.a. ábra

Gőzmennyiség spektrálsűrűsége

Különösen gondosan vizsgáltuk a gőzmennyiség statisztikus viselkedését. Több számítást végeztünk a jelenség stacionárius volta-
nak ellenőrzésére. Ezért a már említett 13 órás periódus alatt
készítettünk egy autokorrelációt 0-90°-es eltolásra /1500 mintavé-
telből 6-150 mintavétel távolságig/ /20. ábra/, egy kiragadott



20. ábra

Gőzmennyiség autokorrelációja 90° eltolásig

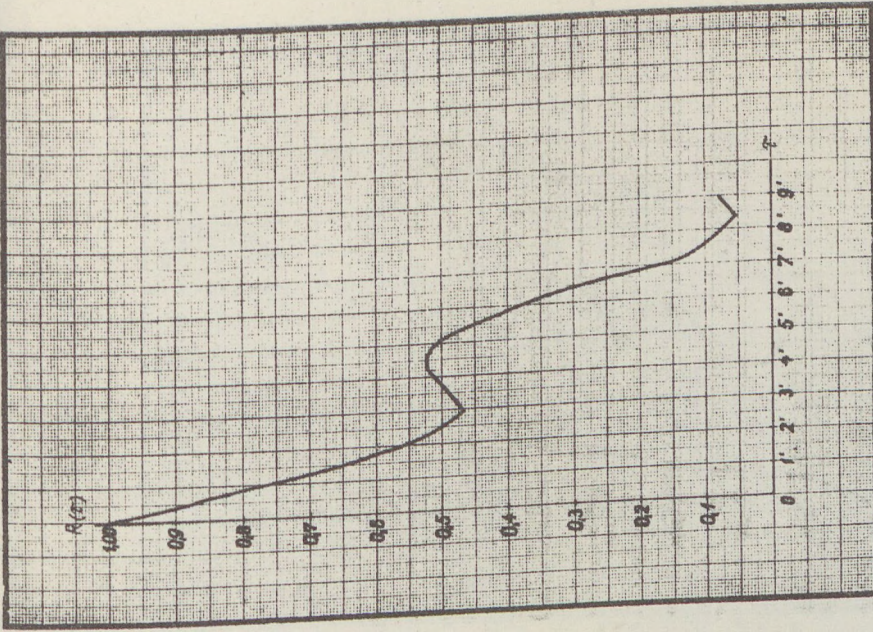
2,5 órás periódusra /250 mintavételre/, 0-15' eltolásra /0-25 mintavétel/, továbbá ezen a 2,5 órás perióduson belül annak első felére /0-120 adat, $1^{h}12'$ /, második felére /120-250 adat, $1^{h}18'$ / és közepére /60-180 adat, $1^{h}12'$ /, /21., 22., 23. és 24. ábra/. Ez utóbbi 3 esetben a számítást addig végeztük, amíg a korreláció gyakorlatilag eltűnt /9-15 adat távolságig/.

A közölt autokorrelációs görbék jól mutatják a stacionárius feltételek korlátait. Még a 90'-es eltolás is ad egy nem jelentős, részben a mérési módszerekből is adódó 0-tól eltérő autokorrelációt a 13 órás értékekből számolva. Ugyanakkor a görbe első szakasza világos és egyértelmű választ ad arra a legfontosabb kérdésre, hogy milyen interpolációs időszakokat kell felvennünk adott mérési pontossághoz. Összehasonlításként táblázatban mutatjuk a különböző %-os eltérésekhez tartozó adatokat /11. táblázat/.

11. TÁBLÁZAT

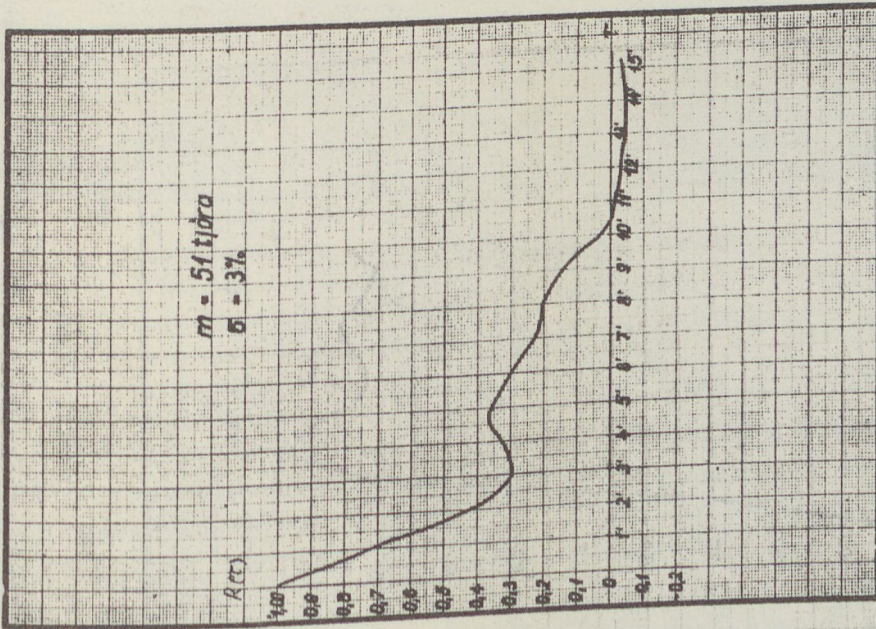
Összefüggés a szórás, az autokorreláció, a mintavételezési idő és a mérési pontosság között, a gőzmenyisígre vonatkozó mérések alapján /műszerpontosságot nem számítva/

pontossági osztály	$\delta = 5\%$ /1500 adat/		$\delta = 3\%$ /250 adat/	
	R/ τ / autokorre- láció	τ mintavételi periódus	R/ τ /	τ
1,0	0,8	1' 10''	0,66	1' 10''
0,5	0,9	36''	0,83	30''
0,2	0,96	15''	0,93	15''
0,1	0,98	8''	0,96	10''



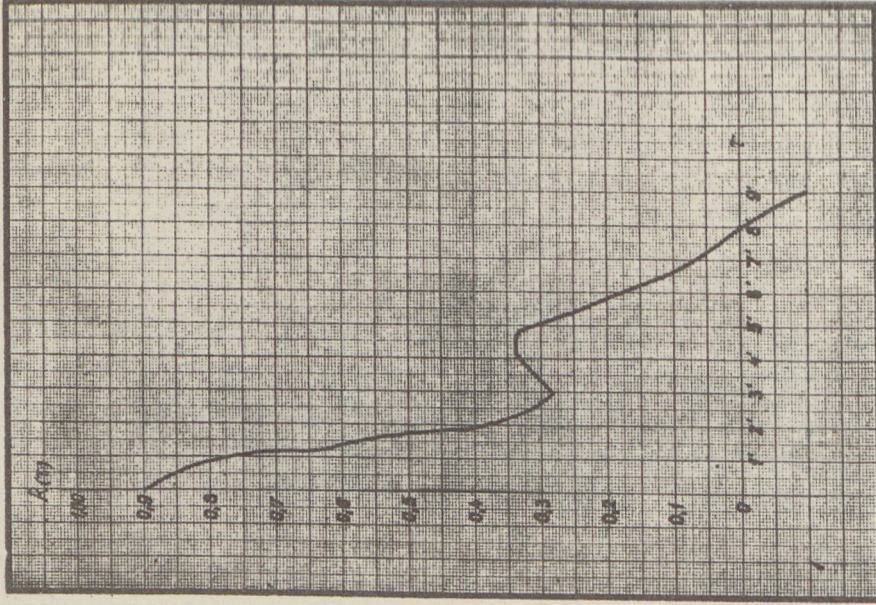
22. ábra

Gőzmennyiség autokorrelációja 0 - 120 adatra



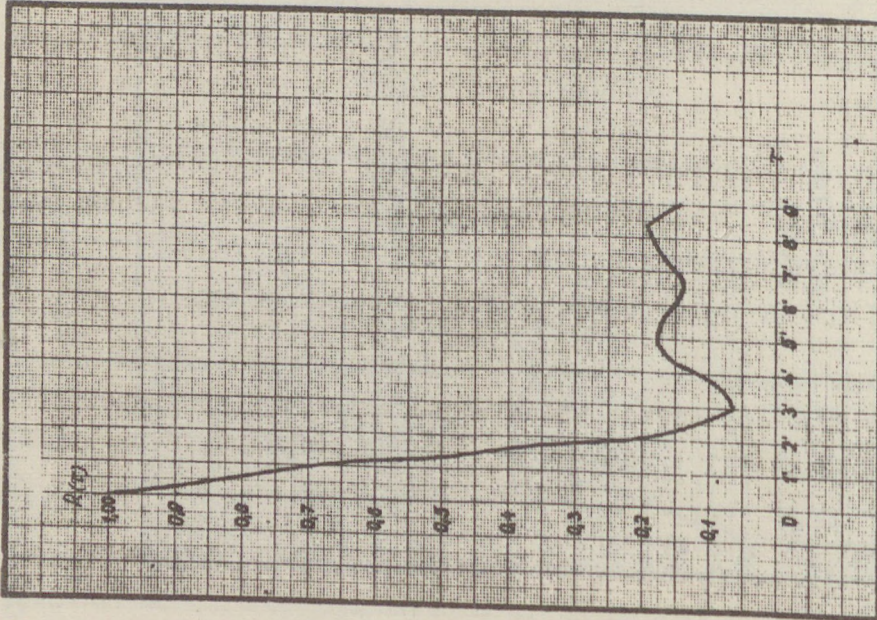
21. ábra

Gőzmennyiség autokorrelációja 250 adatra



24. ábra

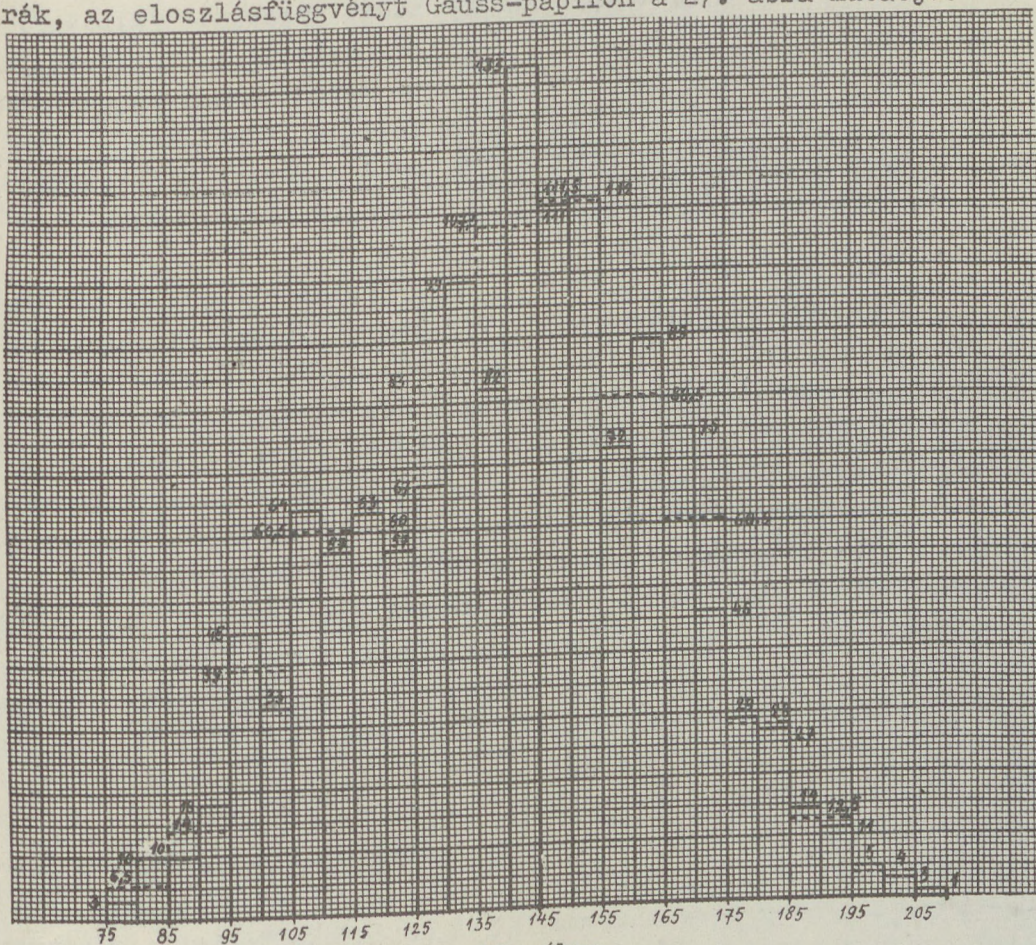
Gőzmennyiség autokorrelációja 60 - 180 adatra



23. ábra

Gőzmennyiség autokorrelációja 120-250 adatra

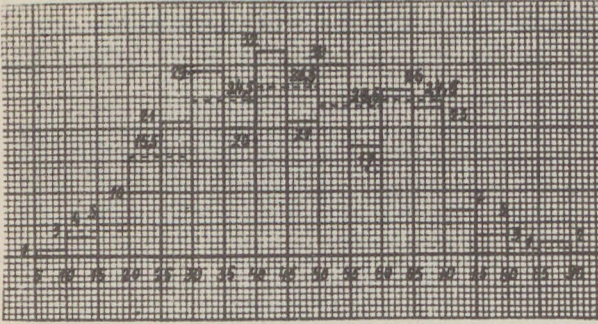
Ellenőrzést végeztünk a gőzmennyiség eloszlás hipotézisére. Az 1300 mérés és a kiragadott 250 mérés hisztogramját a 25., 26. ábrák, az eloszlásfüggvényt Gauss-papíron a 27. ábra mutatja.



25. ábra

1300 mérés eloszlása
/amplitudók az ábraosztás léptékében/

Az utóbbin látható, hogy a görbe legalsó szakaszán, az eloszlás 0,2 %-át kitevő értékek hibáját leszámítva - ami más külső okból is bekövetkezhetett - az eloszlás egészen pontosan /a mérési pontosságnál nagyobb konfidenciával/ fedi az egyenesnek megfelelő Gauss-Gauss-görbét. 250 adat eloszlása sem mutat nagy eltérést a Gauss-papir egyenesétől /28. ábra/. Hasonló ellenőrzést végeztünk más jellemzőkre is, azonban a szigorubb vizsgálat itt nem szükséges, mert az eloszlással kapcsolatos hipotézis megfontolásainkban kizá-



26. ábra
250 adat eloszlása

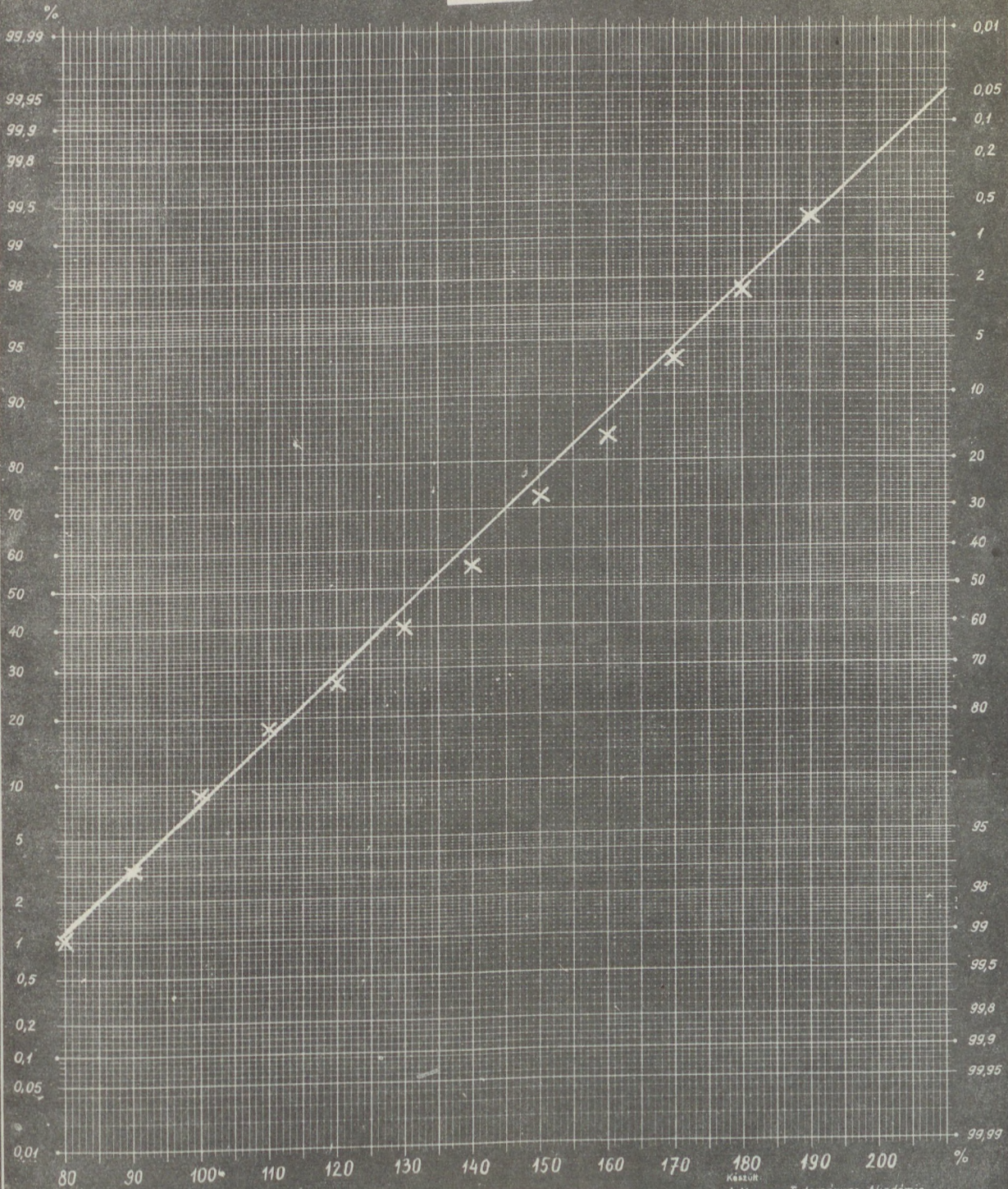
sen a gőztermelés változásait, hiszen a dob és egyéb gőz- és vízterek tárolóképeségei tompítják ezt a primer hatást. A fentiekből azonban feltételezzük, hogy a gyors lefutású változások elsősorban a tüzelés ingadozásának következményei, vagyis az ideális tüzelésszabályozásnak ezt kellene követnie. Mint már hangsúlyoztuk, esetünkben egyetlen beavatkozási lehetőség az optimalizálás irányában a kiörlésnek és a levegőmennyiség adagolásának a változtatása, hiszen a szénmennyiség pontos mérésének és a gyors és pontos szénanalízisnek a hiánya tüzeléssoldali gyors beavatkozást és a változások kompenzálását nem teszi lehetővé.

Az optimum közelében 1 % légfeleslegeltérés 0,01 %-nál kisebb hatásfokváltozást okoz /a görbe parabolikus/, a 3 %-os maximum 0,02-0,03, míg az 5 %-os maximum 0,1 % hatásfokeltérést. Ez annyit jelent, hogy a gőz-levegő arányszabályozás esetén kvázistacionárius üzemben a mért szórások /1,5 órás 3 %, 13 órás 5 %/ a hatásfokot nem befolyásolják lényegesen, utánállításra - azonos teljesítményszint esetén - legfeljebb órás átlagok alapján van szükség. A lényeges eltéréseket részben a tüzelőanyagminőség, részben a kilépő füstgázhőfokváltozás okozhatja.

A gőzmennyiség mintavételezésével szemben szigorúbbá válnak a követelmények egy esetleges közvetlen számítással dolgozó hatásfokmérés és erre alapozott optimalizálás esetén. /Ennek más irányu korlátaival már foglalkoztunk./ Itt célszerű a gőzmennyiségmérést a műszer osztálypontosságánál megbízhatóbbra választani, ezért hasonló visel-

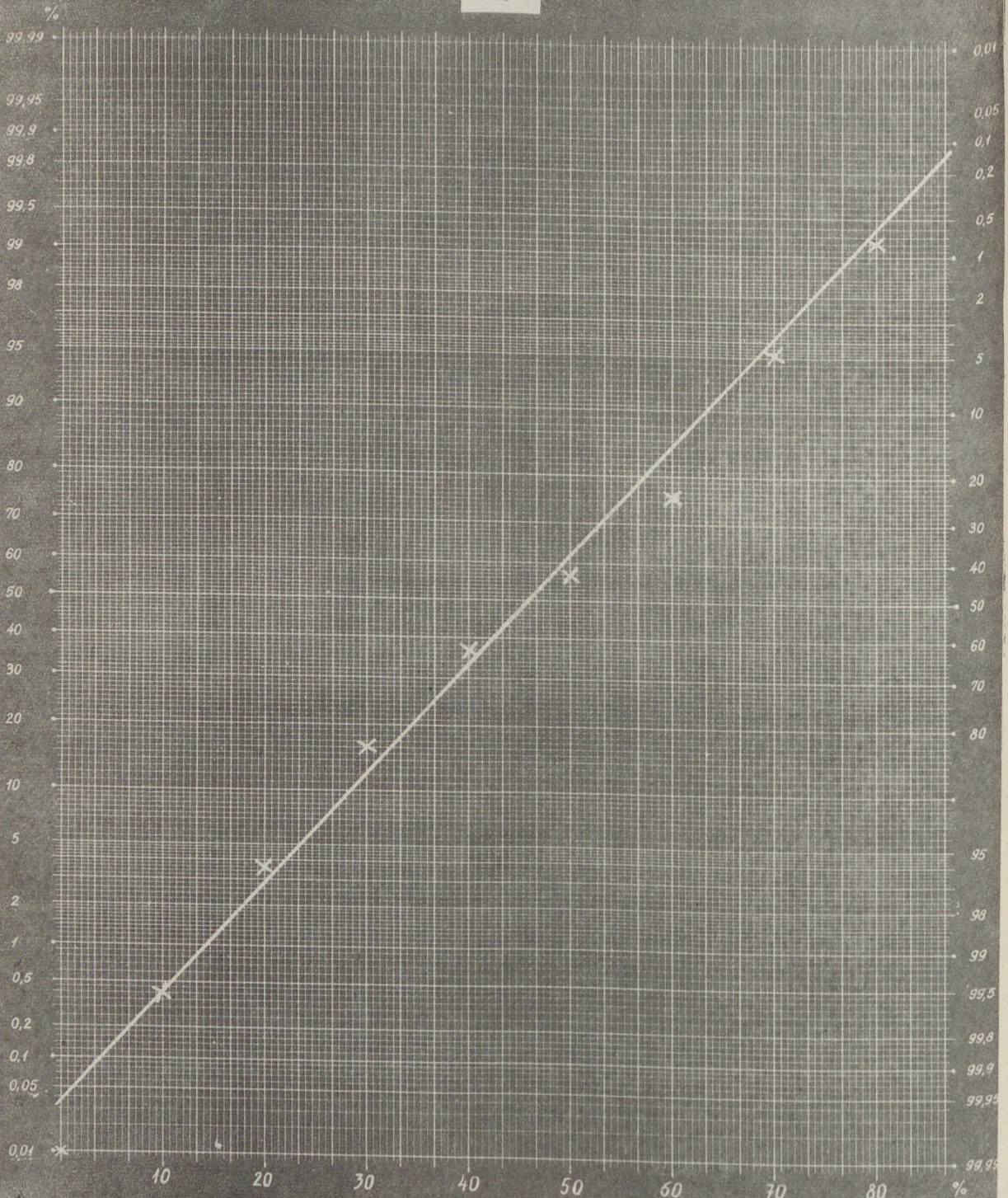
rőlag a hosszú ideig tartó statisztikus hatás elemzésénél szerepelt /1.1.4./, nem érintve a mintavétellel és átlagolással kapcsolatos megállapításainkat, amelyek mind a korrelációs összefüggésekre támaszkodnak.

Figyelemmel kell lenni arra, hogy a kilépő gőzmennyiség alakulása nem tükrözi telje-



27. ábra
1300 adat eloszlása

Készült:
A Magyar Tudományos Akadémia
Alkalmazott Matematikai Intézetében



28. ábra
250 adat eloszlása

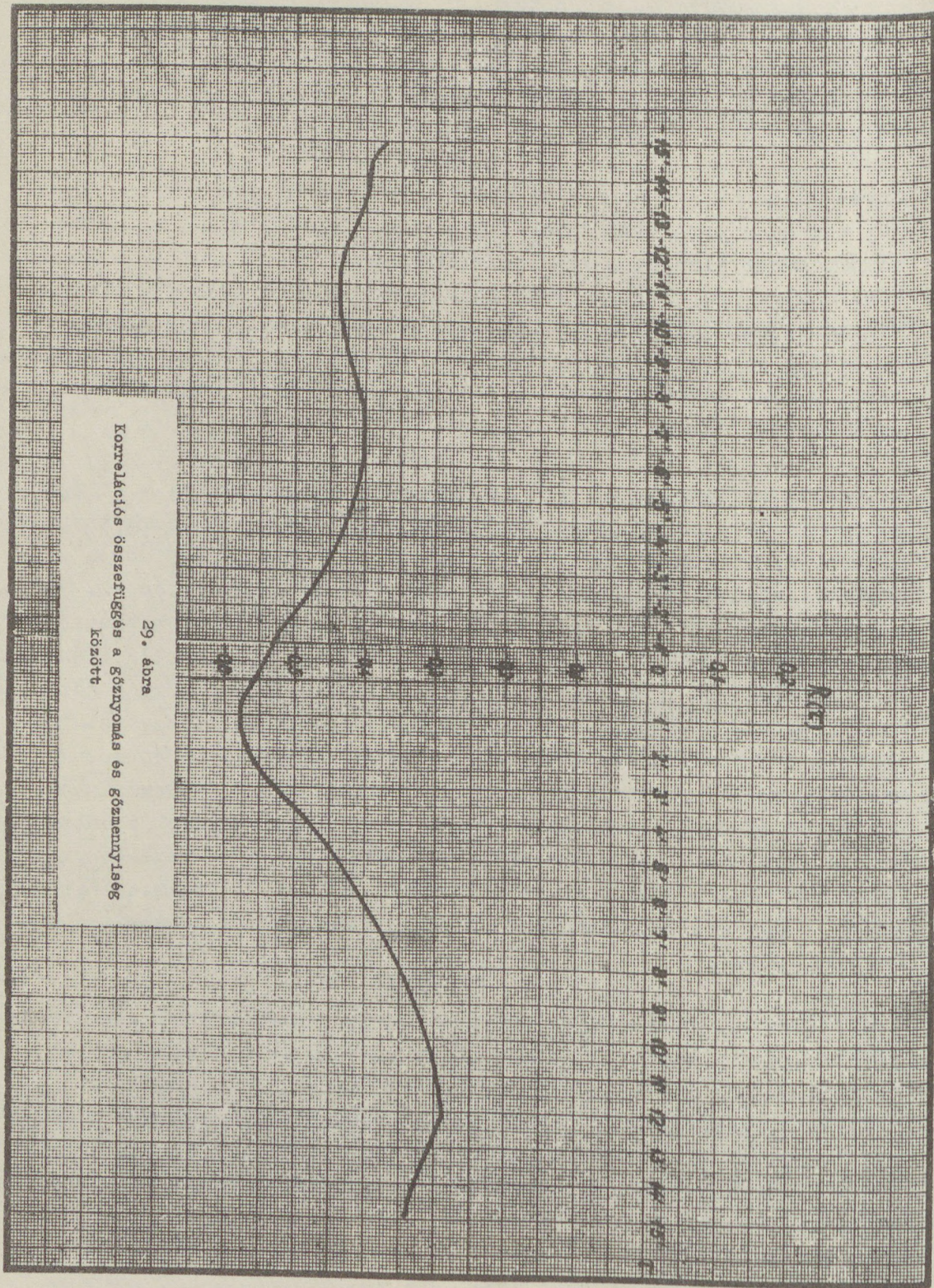
Készült:
A Magyar Tudományos Akadémia
Alkalmazott Matematikai Intézetében

kedés esetén 1,0 osztályú műszerhez kb. félpercenként, 0,5 osztályú műszerhez 15''-enként venni mintát. Az átlagolási időtartamok célszerű értéke a tranziensek lefutása, kb. 10'.

Egyszerű digitális üzemellenőrzéshez szintén a gyors és esetleg meg nem engedhető változások ellenőrizhetőségét kell figyelembe venni. Ennek alapján a közölt mérések szerint javasolható ellenőrzési ciklus $1/2 - 1'$. A szabályozási vizsgálatok céljaira történő regisztrálásoknál, ahol a tranziens válaszok jelformája fontos, lehetőség szerint 10-20''-es mintavételi ciklust érdemes választani, bár a közölt adatok szerint a 30'' körüli ciklus is elfogadható eredményeket adhat.

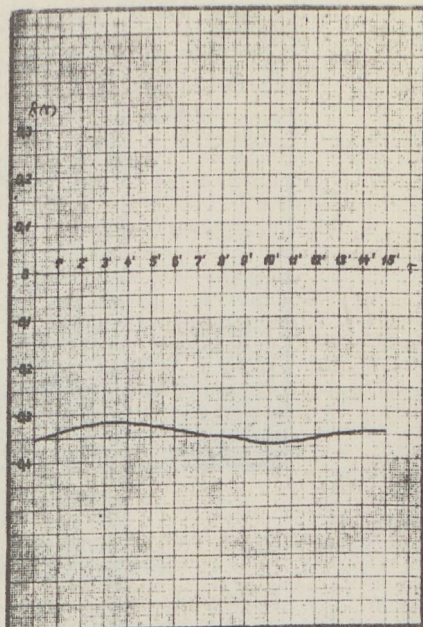
Vizsgálva a gőzmennyiség és más jellemzők kapcsolatait, a kilépő gőznyomás és a gőzmennyiség keresztkorrelációja a 29. ábra szerint alakul. A maximum $1' 10''$ körül van, a gőznyomást mint időben előresiető jelenséget mutatva. A maximum mindkét időirányban kb. 7-8' időállandóval csökken, majd enyhe lengést mutat. A keresztkorreláció csökkenő szakasza kb. megfelel a gőznyomás autokorrelációja alakulásának. Ez is bizonyítja előbbi feltevésünket, hogy a gőzmennyiség gyorsabb változási összetevője a tüzeléssel, a lassabb pedig a gőznyomásingadozással kapcsolatos. A gőznyomás és szénmennyiség keresztkorrelációja tovább bizonyítja előző feltevésünket. A viszonylag gyenge és állandó átlagu keresztkorreláció is mutatja, hogy a kvázistacionárius üzem változásai főleg nem a tüzelőanyagmennyiség, hanem a minőség változásából adódnak, a tapasztalható enyhe lengés jellege ugyanúgy a gőzterek közötti ingadozásokra mutat /30. ábra/.

Visszatérve a szénminőségváltozásnak, mint zavarásnak a nyomonkövetésére, a 2.4.23. -ban mondottak alapján és a közölt mérési eredményekből a következőket szűrhetjük le: Valószínű, hogy a 19.a. ábra spektrálsűrűség-görbéjén szereplő több, rövidebb periódusu lengést a szénminőségváltozás gerjeszti. Feltételezésünk szerint a szénminőségváltozás autokorrelációja aperiodikus jellegű, függően a szén származásának /bánya, szállítmány, fejtés/ időben romló valószínűségű kapcsolatától és a malom homogenizálásának szintén időben csökkenő hatásától. /Ez utóbbi lényegesen rövidebb



29. ábra
Korrelációs összefüggés a csapadék és a párolgás között

idejü, mint a többi, egymástól szintén különböző időtartományu hatások./ Valószínű az is, hogy a hosszú időn át történő megfigyelés /20. ábra/ csökkenő statisztikus összefüggései között is tényezőként szerepelnek a szénminőségváltozás lassabb komponensei. Megbízható, pontosan elemezhető kapcsolatot a sok bizonytalanság miatt egyelőre nem tudunk kimutatni.

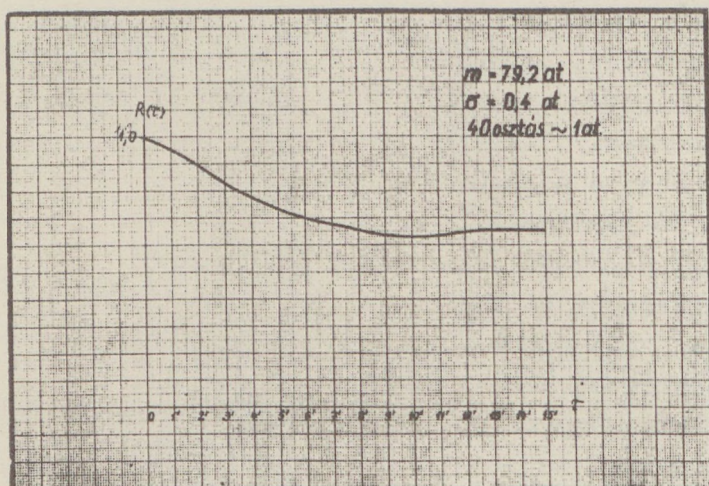


30. ábra

Korrelációs összefüggés a gőznyomás és szénmennyiség között

A gőznyomás autokorrelációjából /31. ábra/ a következő mintavételezési idők javasolhatók:

Mivel a 13 órás mérés szórása 0,4 at, az átlag 79,2 at, a szórás kb. 0,5 %, ami az enthalpiaszámításnál a korábbiak szerint kb. 0,01 % hibát okoz. Ezért kvázistacionárius állapotban a mintavételi időre a közvetlen hatásfokmérés szempontjából sem lehet kikötést tenni. Kizárólag az üzemellenőrzés szempontjából érdemes kb. percenként mintát venni. Az ilyen mintavételi ciklus megfelel egy nem folytonos működésű olyan szabályozó számára is, amely a turbinák körfolyamata optimalizálására tartja állandó értéken, vagy a terheléstől változó értéken a gőznyomást. A perces értéket nem a kvázistacionárius statisztikus viselkedésre jellemző autokorreláció szolgáltatja, hiszen itt az egy percre kapott 0,95-ös autokorreláció 0,02 at szórást ad az 1 perccel korábbi értékkel szemben. Ezt a ciklust az előző, a tranziens válaszokra vonatkozó kauzális vizsgálatokból 54 alapján javasoljuk és kizárólag a definit, nem stacionárius jelenségek ellenőrzésére szolgál. A statisztikus mérések alapján a javasolható legkisebb átlagolási idő kb. 10'.

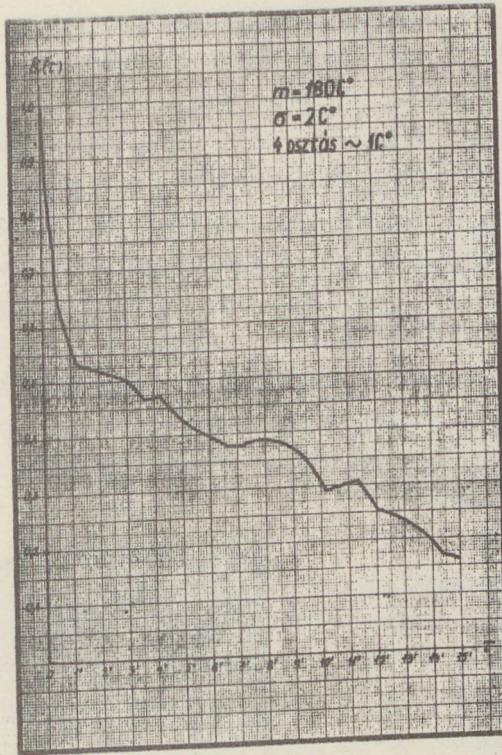


31. ábra

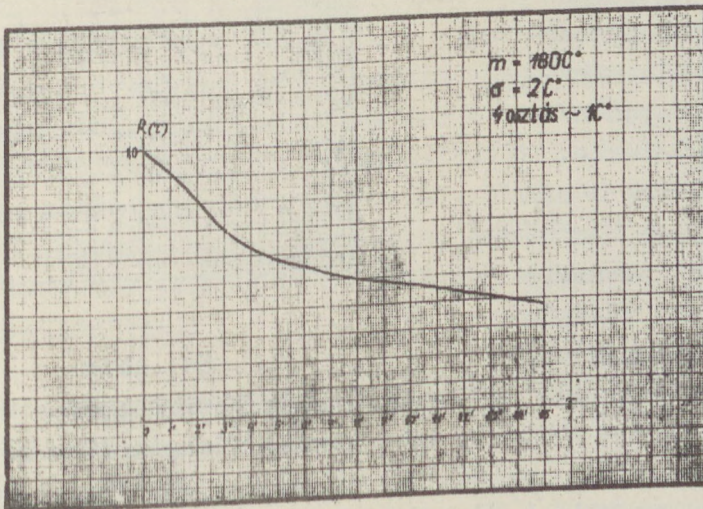
Gőznyomás autokorrelációja

2.4.25. A füstgáz, a levegő és az ezekkel összefüggő viszonyok
Az optimalizálás szempontjából további fontos - és jól mérhető - jellemző a távozó füstgáz hőfoka. Itt természetesen, a jól mérhető megjegyzésnél figyelembe kell venni a hőmérők időbeli válaszából, a füstgáznak a csatornában tapasztalható egyenlőtlen hőfok-eloszlásából adódó problémákat, amelyek azonban megfelelő és műszakilag rendelkezésre álló eszközökkel megoldhatók. Jellemzők ezekre a problémákra a bal- és jobboldali füstgázcsatornában egyidejűleg mért hőfokok eredményei /32. és 33. görbék/. Az egyik görbe kb. 6-8 perces időállandóju, teljesen monoton lefutást mutat, a második egy gyors, kb. 1-2'-es időállandóju lefutást /ez a hőelem saját idejét tükrözi/ és egy az előzőhöz hasonló, de kevésbé egyértelmű lefolyást.

A 13 órás statisztikus vizsgálat szerint a szórás $2-3^{\circ}\text{C}$. Ez a kánhatásfoknál az optimális légfelesleg esetén kb. $0,08\%$ veszteség/ $^{\circ}\text{C}$ aránnyal számolva kb. 2 ‰ romlást eredményez. Rosszabb légfeleslegnél ez az érték csak valamit változik, eléri a $0,1\%$ veszteség/ $^{\circ}\text{C}$ arányt. Így a 2 ‰ -es értékben a légfelesleg szórása is beleérthető. A kilépő füstgáz hőfokának állandó, megengedhető legalacsonyabb értékre történő szabályozása már $6-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ingado-



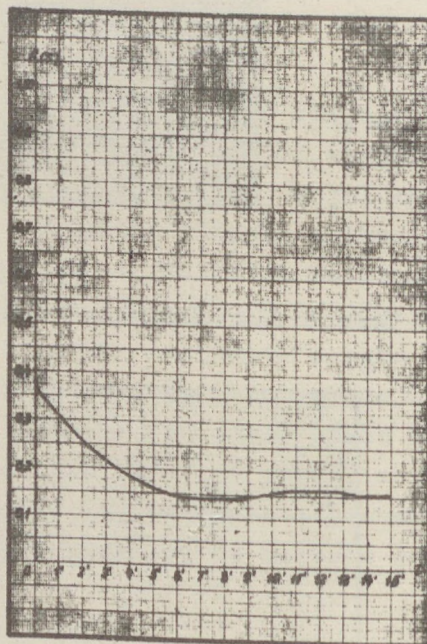
32. ábra
Távozó füstgáz hőfok /baloldali/ autokorrelációja



33. ábra
Távozó füstgáz hőfok /jobboldali/ autokorrelációja

zás esetén is 0,5 százalékos hatásfokjavulást eredményezhet. A per-
cenkénti mintavétel a mérési szórást 0,2-0,3 C^o-ra, percenkénti
kb. 1 C^o-ra csökkenti, ezért a gyakori mintavétel nem indokolt,
ezt más üzembiztonsági okok sem támasztják alá, a szabályozás bea-
vatkozási sebessége /csappantyuk, stb. mozgatása/ sem indokolja.
Inkább érdemes egy viszonylag hosszabb, pl. 5 perces perióduson
belül több helyről venni mintát és azt esetleg aerodinamikai és hő-
fokeloszlási egyéb kísérletek alapján súlyozott átlaggal számítani.
Az átlagolási időtartamra 1/4 - 1/2 óra javasolható.

A szénmennyiség és a távozó füstgázhőfok összefüggéseire utaló
keresztkorrelációk /34. ábra/ viszonylag laza összefüggést mutat-
nak, de a monoton lefutás 0 eltolástól jelzi, hogy a szénmennyi-
ségnek milyen része van
a füstgázhőfok változá-
sában, továbbá azt, hogy
a hatás a jelenlegi hő-
mérő-válaszsebességek
mellett is elég gyorsan
észrevehető. Az össze-
függés szabályozási szem-
pontból nem használható,
hiszen a korreláció gyen-
ge, ezért egy esetleges
komplex számítórendszer-
ben /például kölcsönha-
tásmentes szabályozás/
nem veendő figyelembe.
Megjegyezzük, hogy a má-
sodik, valamilyen techno-
lógiai ok miatt kevesebb
változást mutató füstgáz-
hőfokkal a szénmennyiség
teljesen korrelálatlan
/35. ábra/.

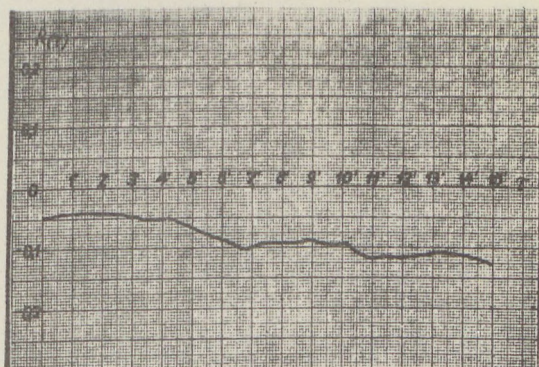


34. ábra

Korrelációs összefüggés a szénmennyiség
és a távozó füstgázhőfok /jobboldali/
között

A gőzmennyiség és kilépő füstgázhőfok összefüggése a kilépő füst-
gázhőfokra, mint primer tényezőre, 1' eltolásnál ad éles és elég

jelentős maximumot /36. ábra/. Figyelembevéve a gőztermelés időállandóját és a füstgázok átfutási idejét, ez a görbe is arról tanuskodik, hogy a füstgázjáratokba beépített hőmérők kielégítően gyorsak. Az összefüggés felhasználása kérdéses.

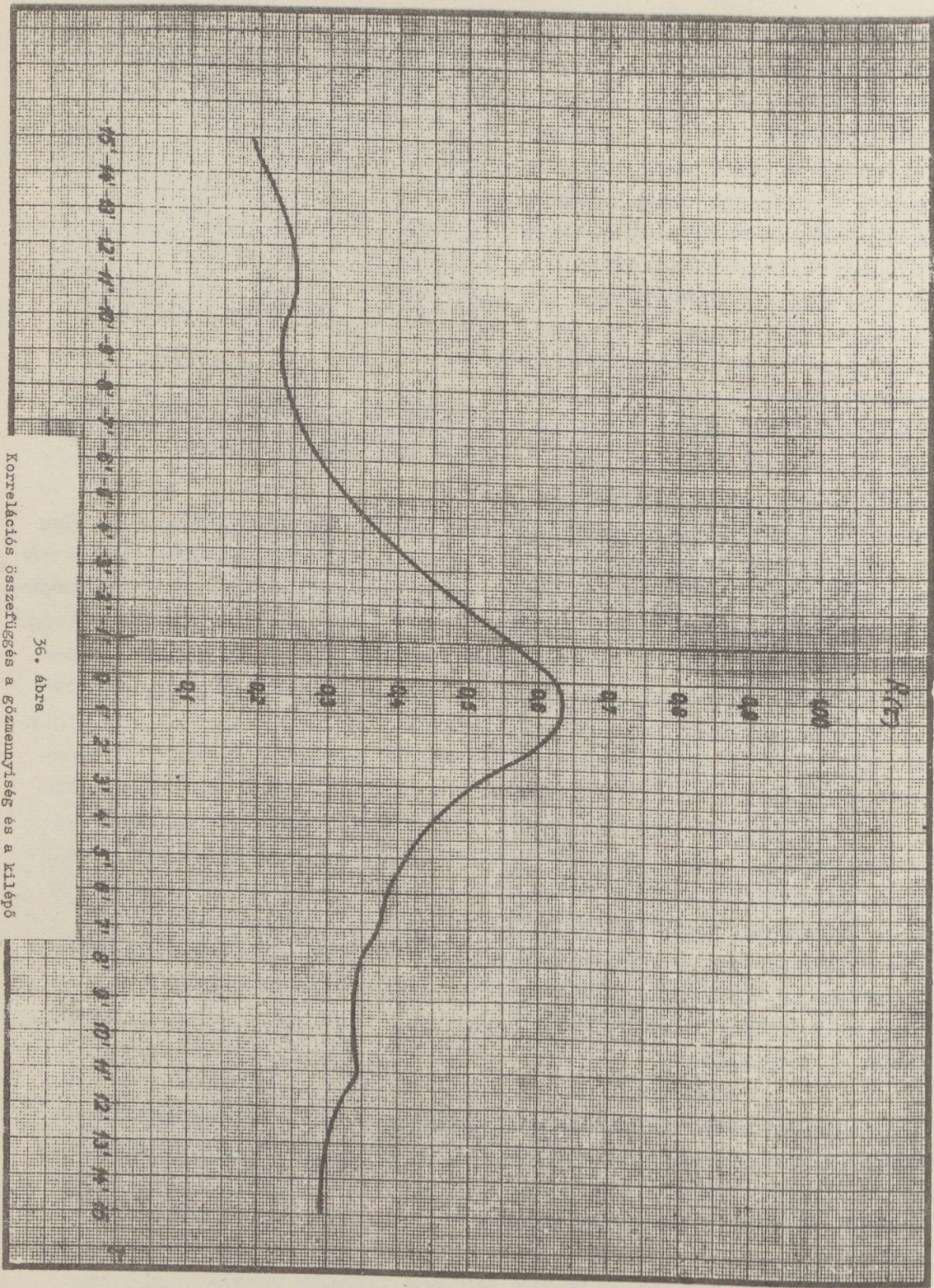


35. ábra

Korrelációs összefüggés a szénmennyiség és a távozó füstgáz hőfok /baloldali/ között

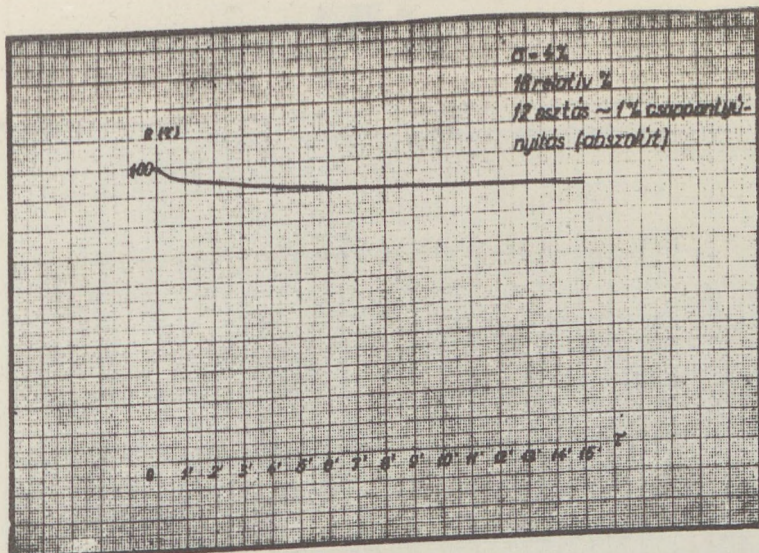
A keresztkorreláció viszonylag gyors időállandója arról tanuskodik, hogy itt a tüzelésben bekövetkezett változások hatásairól van szó, az előbbiekből pedig következik, hogy ez a hatás nem a tüzelőanyagmennyiség, hanem feltételezhetően a minőség változásait tükrözi. "A kazán a legjobb kaloriméter" - tapasztalati kalorikus közmondás itt jól érzékelhető. Elsődleges problémánkra, a tüzelőanyagminőségtől függő szabályozásra visszanyulva, erre az összefüggésre esetleg támaszkodhatunk a későbbiekben. Ehhez azonban megfelelő gyors eszközökkel el kellene végezni a kilépő /vagy akár egy közbenső/ füstgáz hőfok, a gőzmennyiség, a füstgázösszetétel és a pernyeéghető korrelációs vizsgálatát, amire a mostanáig rendelkezésre álló eszközökkel nem volt mód. Ha azonban ez a módszer kielégítőnek bizonyul, a kapott 0,6 körüli maximális keresztkorreláció egy 5-7 %-os szórású tüzelésszabályozást /a szórás a szénminőségből adódik/ esetleg 2-3 %-os szórásra javíthatna, amit az autokorrelációk figyelembevételével a szabályozók, stb. 1-2 perces késése 3-4 %-ra ronthatna. Ebben az esetben azonban a mintavételi periódus minél rövidebb, legfeljebb 10-20''-es legyen, hogy a mintavétel periódusa ne játsszon szerepet a korreláció további gyengülésében.

A levegőmennyiség változásainak elemzése 16 %-os szórást mutat a vizsgált időtartamon /37. ábra/. Ez az érték nem megbízható, a regisztrálás alapja nem közvetlen levegőmennyiségmérés, hanem csappantyúállás volt, megbízható csappantyú-jelleggörbék pedig nem álltak rendelkezésre. /Ha a csappantyú-jelleggörbe adott is lenne, a változó viszonyokkal torzulva így sem lehetne pontos numerikus



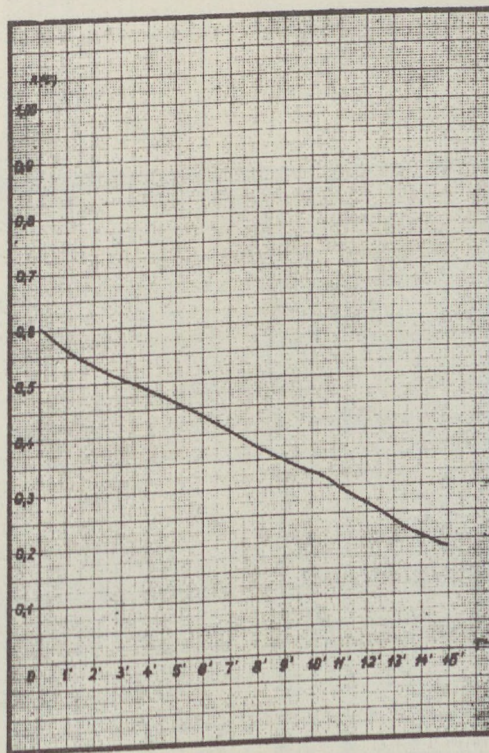
36. ábra

Korrelációs összefüggés a főmenyiség és a kilépő
fűtőgázok között



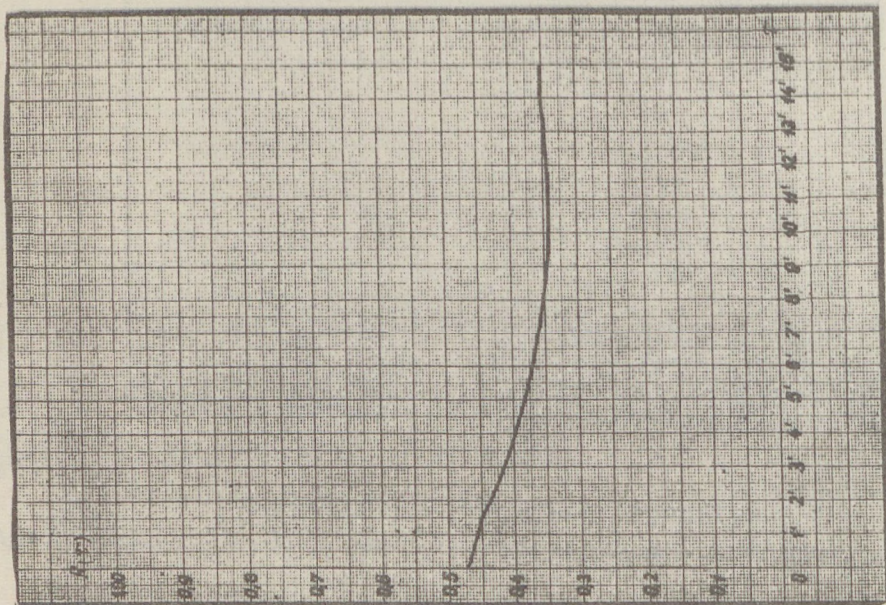
37. ábra

Levegőmennyiség autokorrelációja
/csappantyunyitás - a mérés alatti max. 25 % 74 relatív %-a/



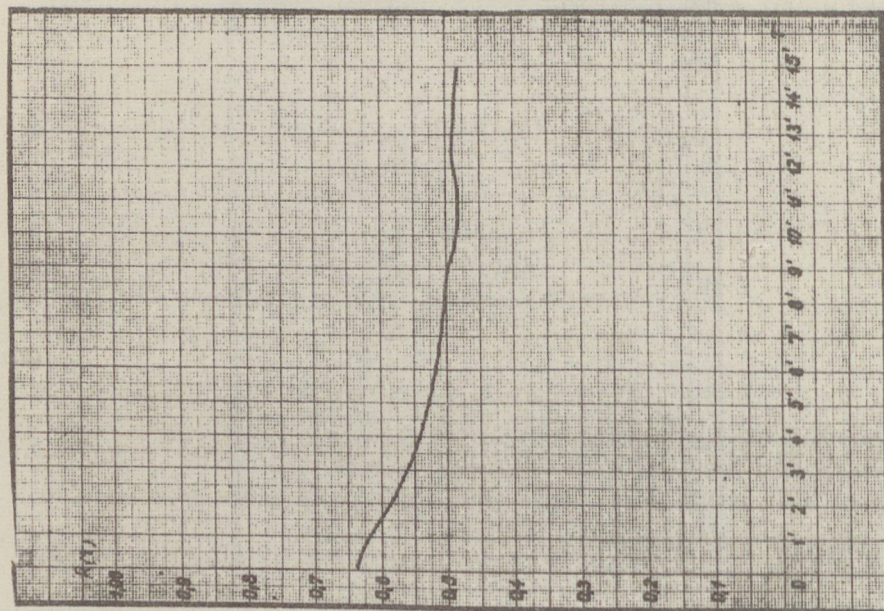
38. ábra

Korrelációs összefüggés a szénmennyiség és levegőmennyiség között



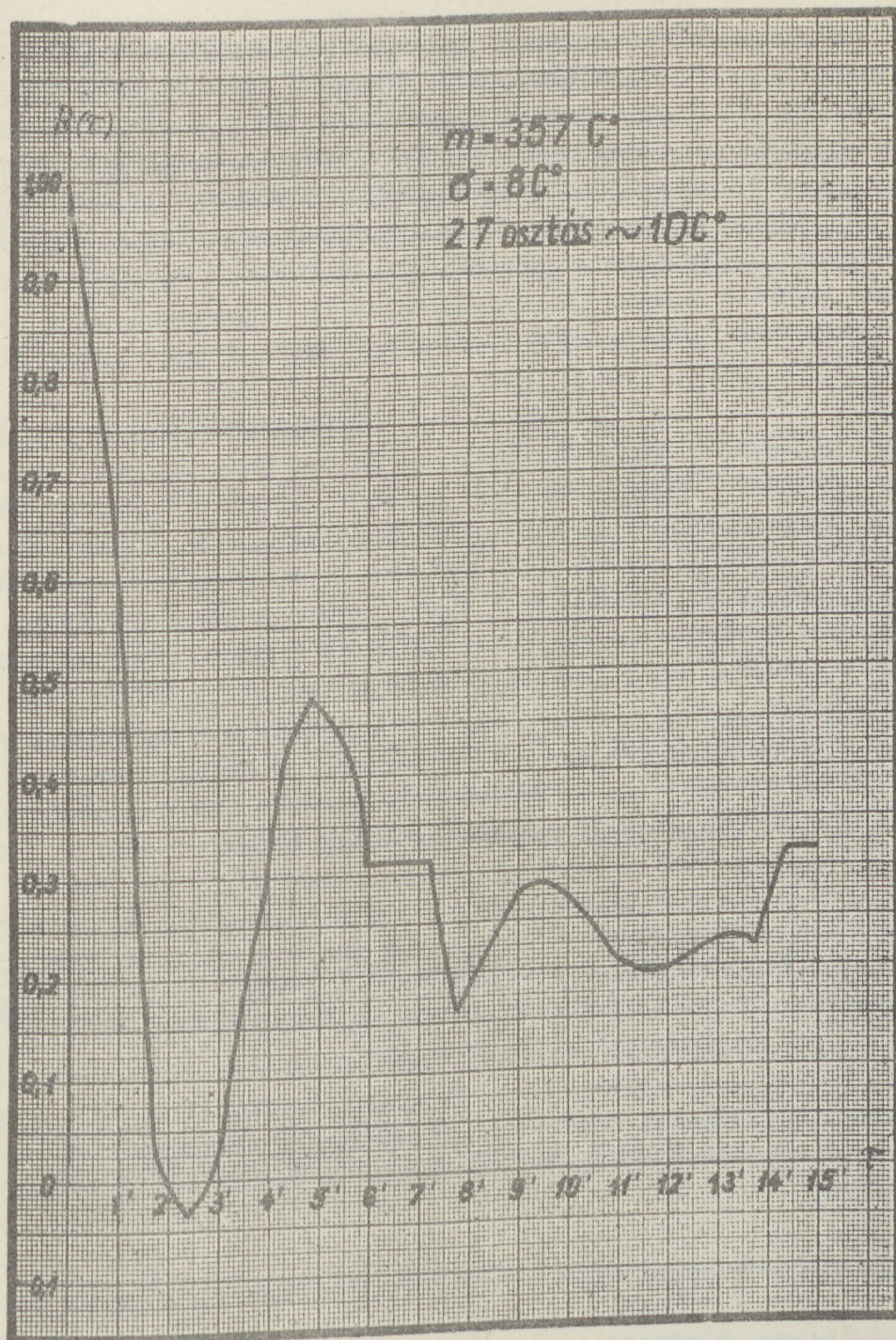
40. ábra

Korreláció a levegőmennyiség és füstgázok között



39. ábra

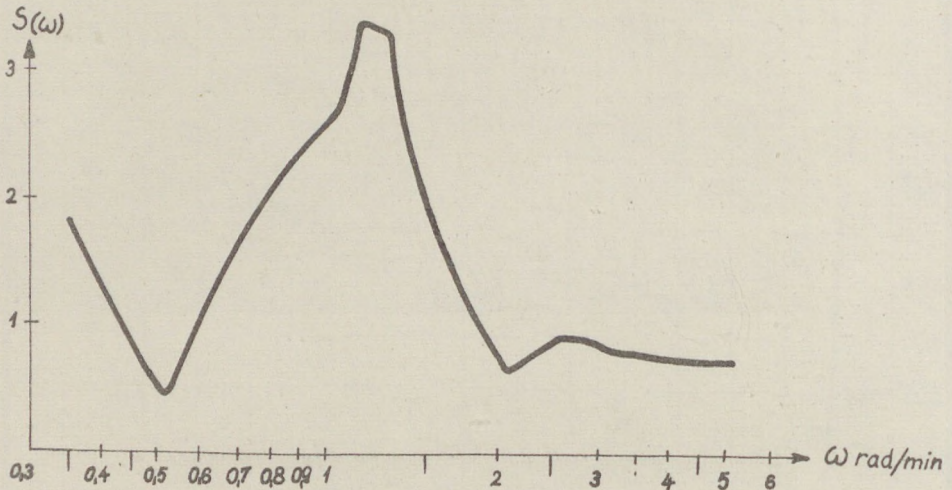
Korrelációs összefüggés a gőzmennyiség és levegőmennyiség között



41. ábra

Hűtő utáni gőzhőfok autokorrelációja

összefüggések számítási alapja./ A közölt autokorreláció arról tanuskodik, hogy a csappantyúállítás hosszabb időnként történt. A szénmennyiség-levegőmennyiség keresztkorreláció - /38. ábra/ - újra a szénmennyiség kihatását tükrözi a kvázistacionárius üzem változásaira. /A kazán gőz-levegő arányszabályozóval dolgozott, amit a/39. ábra/ gőzmennyiség-levegőmennyiség összefüggést mutató görbe jellemez. Még itt is gyengébb a korreláció a vártnál, ami va-



41.a. ábra

Hűtő utáni hőfok spektrálsűrűsége

lószerűleg a szabályozó érzéketlenségének tudható be. Ez a görbe mutatja, hogy hasonló keresztkorrelációk felvétele jó ellenőrzése a szabályozó tartós üzemi viselkedésének.

A levegőmennyiség-füstgáz hőfok korreláció nem ad új eredményt a gőzmennyiség-füstgáz hőfok összefüggés analízisével szemben.

/40. ábra/

A fentiek összefoglalásául a következőket szögezhetjük le:

Változó minőségű tüzelőanyag esetén alapszabályozásként a gőz-levegő /és nem a tüzelőanyag-levegő/ arányszabályozás a célravezető. Ezt kell a megfelelő korrekciókkal /a szokásos gázelemzéses, a ja-

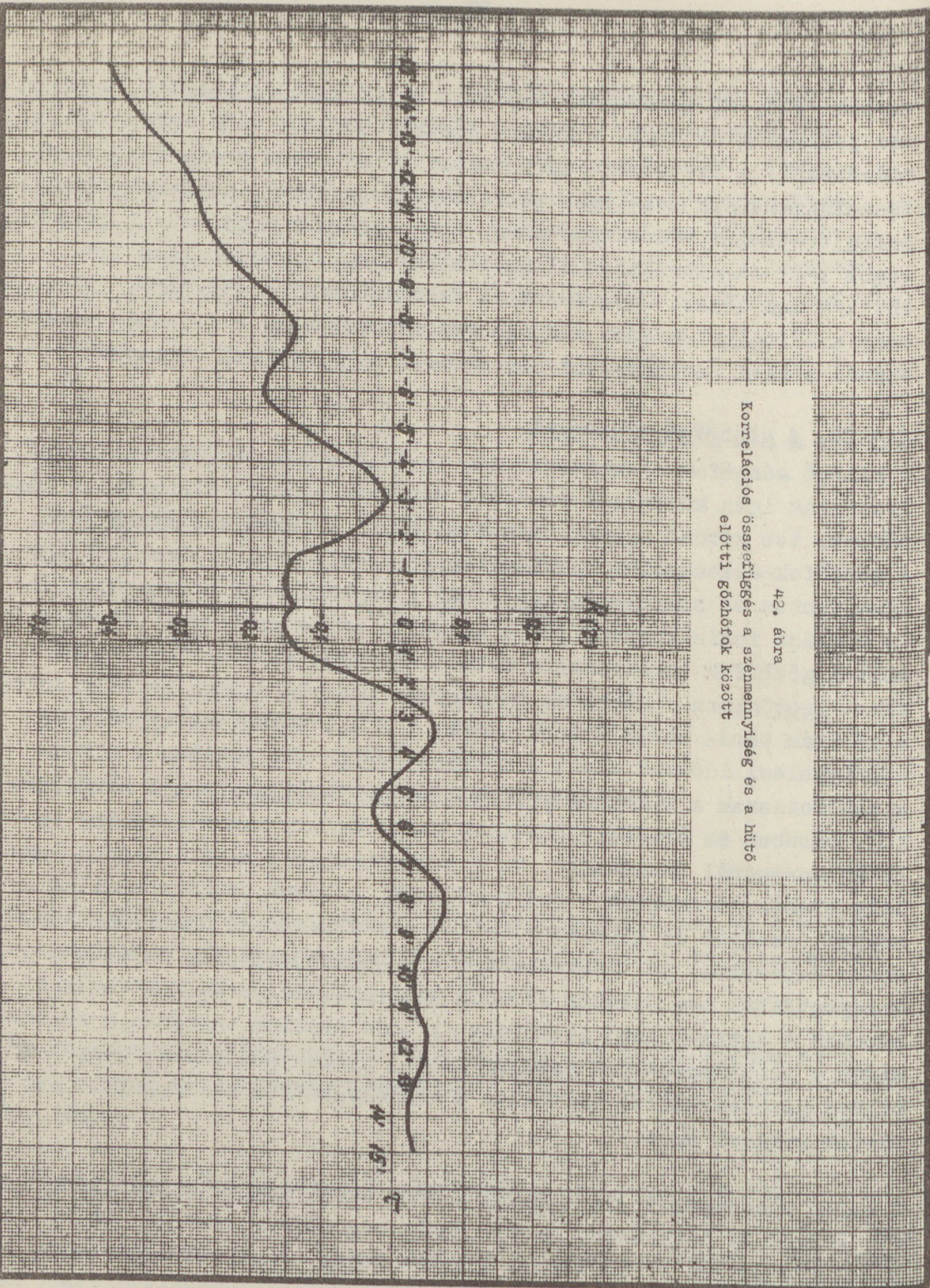
vasolt [52], CO érzékelőre kapcsolt kétállásos, integráló, továbbá más jellemzőktől - pl. a kilépő füstgázhőfoktól vett impulzusokkal - módosítani. A levegőmennyiség regisztrálása ezen hatás jellegének, összefüggéseinek esetleges ellenőrzésére szolgál, a szabályozásnál pedig esetleges visszavezetésre. Éppen ezért a mintavételi gyakoriságot 1-2'-es minimumban állapíthatjuk meg, az átlagolási idő kb. 1/4 óra lehet. Ujra fel kell azonban hívni a figyelmet arra, hogy a füstgázelemzésen alapuló beavatkozás csak a jelenleg szokásosnál sokkal megbízhatóbb mintavételi módszerekkel történhet.

2.4.26. A gőzhőfok viszonyai

A kilépő gőzhőfok elemzésével nem foglalkoztunk. A gőzhőfok-szabályozásnak igen kiterjedt irodalma van, ezt a témát elemezték a legtöbbet, itt kitűnő magyar összefoglalásra is hivatkozhatunk [46]. A gőzhőfok-szabályozás statisztikus értékelésével Profos [45] egy igen fontos és szempontjaiban ehhez a tanulmányhoz nagyon közelálló munkája foglalkozott, külön kiemelve azt a gazdasági tényezőt, amit a gőzhőfok ingadozása a tulhevitőcsövek kifárasztása révén okoz. Esetünkben a gőzhőfok ingadozása amugyis nagyon csekély volt, a 13 órás mérés alatt a mért szórás $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on belül, az egyhónapos megfigyelési időszak alatt $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül volt, ami részben a hőfok-szabályozásnak a kilépő gőzhőfok szempontjából megfelelő működéséről, részben az érzékelő hőelemek nagy /és meg nem engedhető/ tehetetlenségéről tanuskodik. Ez a kvázistacionárius állapotban észlelt stabil hőfokszint - ami megfelelő, autonom szabályozási körökkel, amelyek az általános optimumszabályozással nincsenek szorosan kapcsolva, jól fenntartható - a kazánberendezés határfoka szempontjából nem játszik további szerepet. Külön ki kell emelni azonban a kazán kilépő gőzhőfoka állandó értéken tartásának fontosságát a turbinahatásfok szempontjából, hiszen közismert, hogy $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ kilépő gőzhőmérséklet-csökkenés a körfolyamatban kb. 0,2 %-os határfok romlást okoz.

A belső viszonyokat jól tükrözi a hűtő utáni gőzhőfok alakulása /41. ábra/. Ez határozott /a 42. ábrán még jobban látható/ kb. 2 - 2 1/2 perces félperiódusu lengést mutat, amelynek amplitúdószórása megfelel a teljes megfigyelési időszak szórásának. /Az autokorreláció fél perióduson belül 1-ről 0-ra csökken./ Ez az

42. ábra
Korrelációs összefüggés a szénmennyiség és a hűtő
előtti gőzhőfok között



érték a mérések alatt kb. $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt /a maximális eltérés $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ /, a félperiódusonkénti igénybevétel-változás egy évi üzemben több mint 5 millió igénybevételt jelent, ami teljesen indokolhatja a túlhevítőcső tönkremenését. A szabályozó konstrukciójánál, beállításánál tehát ezeket a közbenső értékeket is célszerű figyelembe venni.

Az autokorreláció alakulása mutatja, hogy az $5\text{ }^{\circ}\text{C}$; $2\text{ }^{\circ}\text{C}$; $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ szórású mérésekhez rendre $1'20''$; $45''$; $20''$; $5''$ ciklusidők tartoznak, azaz a megfelelő pontosságú mérésekhez egy fokozattal kisebb ciklusidőt érdemes választani, hogy a mintavétel a mérési hibát már ne befolyásolja lényegesen.

2.4.27. A mérést és értékelést befolyásoló körülmények

Már említettük, hogy a mérések értékelésénél gondolni kell néhány mellékkörülményre.

Az érzékelők időbeli viselkedését esetünkben kizárólag a hőfokérzékelőknél kell figyelembe venni. A 2.2. adatai mutatják, hogy az általunk tárgyalt időtartományokban csak a hőfokérzékelők okoznak számottevő hatást. Már korábban, a Borsodi Erőműben végzett hőfokszabályozó mérésrel kapcsolatban utaltunk arra, hogy a szabályozók érzékelőjeként általában használt dilatációs érzékelők sokkal fürgebbek mint a beépített villamos érzékelők /hőelemek/, melyek időállandói a védőcső miatt perces nagyságrendben mozognak. A

2.4.26. -ban közölt adatok a mintavételezéssel kapcsolatban a hőfokérzékelőkre is vonatkoznak, azaz a megfelelő mérési pontossághoz megfelelő időállandójú érzékelőket kell rendelni, figyelembe véve a gőzhőfok és a túlhevítő átmeneti viszonyaira már sokszorosán feldolgozott adatokat, nem elégedhetünk meg méréstechnikánkkal, amíg legalább $5-10''$ körüli beállási idejű hőfokérzékelőket nem sikerül kialakítani. Ilyen megoldások már kilátásban vannak /fonal-hőelemek, igen kis átmérőjű, vékonyfalú védőcsővel/.

A másik lényeges körülmény, amely méréseinket befolyásolja és amelyre többször utaltunk, a mérés alatt működő szabályozások. Ezek hatását a gőzmenntiség-szénmenntiség-levegőmenntiség viszo-

nyok tárgyalásánál - olyan mértékben, amilyen mértékben a céljainkra szükséges és az adatok és összefüggések megbízhatóságát figyelembevéve érdemes - elemeztük. Az összefüggések sokszor bizonytalan volta nem teszi szükségessé, hogy csak a tárgyalási elegancia kedvéért /más célt - mint az itt nem közölt, de ellenőrzésül elvégzett számítások bizonyítják - nem érhetünk el/ felhasználjuk a statisztikus szabályozáselmélet idevágó, egyébként jól kidolgozott fejezeteit.

Ibler legújabb publikációjában [64] adatokat közöl arra vonatkozólag, hogy a normális, 10-20 % szabályozási tartományban történő ingadozások is érzékelhető hatásfok-romlással járnak. Általában 0,1, 0,2 % romlás/% ingadozásról számol be. Ezek az adatok azonban nem értékelhetők a mérések megbízhatósága szempontjából, mivel mind a statikus mérési pontosság, mind a statisztikus megbízhatóság szempontjából ismeretlenek a körülmények.

Az ismertetett adatok és megfontolások alapján néhány általánosabb észrevételt tehetünk. Profos, aki az erőművi szabályozások fejlesztésének egyik uttörője volt, cikkében [65] 18 évvel első munkájának megjelenése után felveti az automatizálásra fordított eszközök gazdasági hatásának kérdését. Több diagramot közöl, ezeket idézett könyvében is megismétli, azonban ezek a hőfokszabályozással kapcsolatban említett más cikkétől eltekintve csak tendenciagörbéket, relatív számokat mutatnak, konkrét értékelést nem. A korábban már idézett szovjet irodalom szintén bizonytalan adatokat közöl. A fentiekben megpróbáltunk néhány, legfontosabb kérdésben, a kvázistacionárius üzem körülményei között választ adni az elérhető gazdasági haszon mértékére, annak számítási metodikáját, mérési-kísérleti módszereit példával illusztrálva kidolgozni. Ezek az adatok segítséget nyújtanak nekünk egy konkrét berendezés további automatizálásánál, az adott szempontból elérhető haszon értékeléséhez. Tekintetbe kell azonban venni a következő szempontokat:

a./ Mint azt az 1.1. kifejti, üzemellenőrzési szempontból nem kerülhető el a korszerű digitális mérésadat ellenőrzés és feldolgozás.

- b./ Az optimális viszonyok ismerete nemcsak az adott berendezés javítását, hanem a további berendezések helyes tervezését is szolgálja.
- c./ A kvázistacionárius üzem - bár az üzemidő tulnyomó részét jellemzi, nem egyedüli vizsgálati cél. A tranzien্স folyamatok gépi irányítása sokszorososan nagyobb gépi felkészültséget igényel, de igényli a kvázistacionárius üzemben szerzendő mérési, üzemeltetési tapasztalatokat. Az indítási-leállítási műveletek helyes, leggyorsabb lebonyolítása és az ilyenkor gyakoribb üzemzavarok elkerülése további jelentős hasznot hoz.
- d./ A mostani munka 5-10 éves, sőt még hosszabb lejáratú megvalósulást kell, hogy megelőzzön, tekintve a szokásos kutatási-fejlesztési-tervezési és gyártási átfutási időket. Az élet-színvonal szükségyszerű emelkedésével lényegesen megváltozik az automatizálással helyettesített munkaerő gazdasági megítélése is, ami ma még hazánkban nem elég súlyos.

Az ismerttetett mérési eredményekkel és következtetésekkel kapcsolatban ismételten hangsúlyozzuk, hogy azok csak egy üzemállapot-
ra, egy kazántípusra vonatkoznak konkrétan, más-más esetre módosulnak. A folyamatok dinamikai viszonyainak ismeretében azonban leszögezhetjük, hogy ez a módosulás általában nem okoz nagyságrendi különbséget, eredményeink így a jelenlegi fázisban alapul szolgálhatnak az általánosításra és kellő támpontot nyújtanak az építés alatt álló mérésadatfeldolgozó rendszer követelményeinek meghatározásához.

2.4.3. Egyéb következtetések a mérések alapján

2.4.3.1. Hatás a gazdaságos teherelosztásra

Visszatérve a gazdaságos teherelosztásnak már a 2.4.1. -ben érintett problémáira, az ott hivatkozott számítási módszerek és a hazai energiarendszer adatai alapján meghatározhatjuk a teherelosztás hibájának valószínűségét. Kiindulunk a kazán-növekmény-hőfogyasztás megállapításának valószínű hibájából, illetőleg az adott teljesítményszínthez tartozó fogyasztás /vagy indirekt mód-

szerrel veszteség/ hibájából. A megbízható értékelés itt különösen fontos, hiszen a

$$\lambda = \frac{dx}{dy}$$

(λ a növekményhőfogyasztás, x a bevitt kkal/óra, y a kivett kkal/óra) differenciálhányadost olyan külön mérések differenciálhányadosából számolva, amelyekre nézve a 2.2. és a később kapott statisztikus pontossági jellemzők igazak, a szokásos és lehetséges $1 < \lambda < 1,6$ értékek helyett akár ± 3 körüli értékeket is kaphatunk, mivel két közel eső terhelési eset mellett a hasonló hatások gradiens-eltérések ilyen nagyok is lehetnek, hiszen a λ a fenti értelmezés szerint az η hatásokból képzett $-\frac{\eta'}{\eta^2}$ gradiens.

Ez a példa is mutatja, hogy nem kellő konfidenciájú, vagy nem megfelelően értékelt mérések milyen helytelen, sokszor fizikailag is lehetetlen következtetésekhez vezetnek. Sokkal kisebb hibát adhat, ha egy nagy átlagokból meghatározott /a jelenlegi módszernek megfelelő/, fizikailag megalapozott tapasztalati görbéből indulunk ki, mint pillanatnyi, kis megbízhatóságú mérésekből. Ezért, a fentiek alapján azt javasolhatjuk, hogy a mérésadatfeldolgozás üzembehelyezése után, csak nagyon sok és elegendően hosszú idejű mérés után szabad a növekményhőfogyasztás közvetlen, pillanatnyi értékére támaszkodni. Ezt is csak olyan formában, hogy a tartós viszonyokra kapott hatások /vagy veszteség/ görbét korrigáljuk a tartós mérések során az egyes befolyásoló jellemzőkre kapott korrelációkkal. A pécsi mérés, részben az adatfeldolgozás hiányosságai, részben a már részletesen ismerttetett mérés technikai problémák miatt, egyelőre csak a negatív választ adhatta meg.

Vizsgálva továbbá a gazdaságos teherelosztás szabályozásának alapparamétereit jelentő és kazánon mért növekményhőfogyasztás lehetséges korlátait, a következő megállapításokat tehetjük. Magának a hatások, vagy veszteséggörbének a kb. 2 %-os szórását [15] véve alapul, továbbá a hatások-görbét 10 %-os terhelésváltozásonként meghatározva /a differenciálhányados képzését a 10 %-onkénti változás differenciálhányadosaként kezelve/ 5 %-os pontossághoz 99,5 %-os konfidenciát írunk elő. A szórás pontosnak feltétele-

zett ismeretében ez a szokásos statisztikai módszerekkel tárgyalva kb. 12, az előbbi feltételt mellőzve, a Student próba alapján 23 mintát jelent, minden egyes hibapontra. A gépi adatfeldolgozás programozása során ezt a gondolatot fogjuk felhasználni.

Az 5 %-os növekménygörbe-pontosság a rendszer összhatásfoka /optimuma/ szempontjából a már többször idézett módszerek alapján számítva 0,1 - 0,2 % változást jelent. /Ez utóbbi szám extrémán kedvezőtlen körülményekre adott érték./ Figyelembevéve az egyéb mennyiségek mérhetőségének a nagyságrendjét, ennél jobb eredményre törekedni /hiába jelent ez is energiarendszerünkben évi kb. 10 millió Ft-ot/ öncsalás lenne. Ugyanakkor a jelenlegi, legfeljebb 10 %-os megbízhatóságu görbékkel szemben a javulás eléggé józan feltételek alapján számítva is kb. 0,2 % /az 5 %-ra való hibacsökkenéssel/, ami - bár még mindig a mérési lehetőségek alsó határán mozgunk, mégis kézzelfogható, adatszerűen indokolható, kb. 10-20 milliós megtakarítás évente. Bár a nagyságrendek nem különböznek lényegesen, az eredmények megbízhatósági tartománya minőségileg változik.

2.4.32. Surlódásjellegű veszteségek

Röviden foglalkoznunk kell a már korábban felvetett surlódásjellegű változások kérdésével, azaz azzal a problémával, hogy jelent-e a kazán üzemében a terhelésváltoztatás olyan járulékos veszteséget, amely a ciklus ellentétes irányu lefolytatásánál nem térül meg. Ez a kérdés azt dönti el, milyen mértékben számíthatjuk egy tartósabb, bizonyos határok között változó terhelésű üzem gazdaságosságát az egyes üzemállapotokra stacionáriusan kapott gazdaságossági paraméterek mentén történő integrálással.

Kvázistacionárius üzemben ilyen jelenséget nem tudunk kimutatni, az adott mérési pontosság sem elegendő ehhez. A falvesztés, illetőleg a falban tárolandó hő részben visszatérül, részben - mint már korábban vizsgálatainkkal kimutattuk [54] - a normális terhelésváltozások során nem jelentős, [34] maximális értékét indítási műveleteknél 2 %-ra becsüli. Így ezzel a kérdéssel a kvázistacionárius üzem viszonyai között egyelőre nem foglalkozunk. Lehetséges, hogy a változó - főleg a gyorsan változó - üzem az égés

viszonyai között lényeges hatást gyakorolhat, elsősorban a füstgáz- és pernyevesztésre. Ezen veszteségek meghatározási pontossága azonban nem volt még elegendő ahhoz, hogy ilyen problémát megközelíthessünk.

2.4.33. A szabályozási körök autonómiája

Korábbi munkánkban részletesen foglalkoztunk a klasszikus szabályozási körök autonómiájával [2, 62], majd a többparaméteres rendszerek szabályozási módszereinek alkalmazási lehetőségeivel [63]. Ezeket a megállapításokat, melyek természetesen nagyon közelítő és csak az adott lehetőségeket figyelembevevő következtetések, a mostani, korszerűbb vizsgálatok után sem kell lényegében revideálni, illetőleg azt is lehetne mondani, hogy a korszerű eszközök figyelembevétele sem teremt egyelőre újabb lehetőségeket a kölcsönhatások szabályozástechnikai felhasználására.

Eppen többek között ennek a kérdésnek a vizsgálatára végeztünk el annyi korrelációs számítást. Minden keresztkorreláció értékelésénél meg kellett állapítanunk, hogy bár a kölcsönhatások jelenléte érzékelhető, azok igen lazák, változók, sokszorosan hurkolt jellegűek. Ujra fel kell tennünk a kérdést, van-e értelme elvi szépségek kedvéért az eddig készített bizonytalanul mérhető és definiálható matematikai modelleknek csak minőségi vizsgálatokra való alkalmasságát látva, ezt a problémát erőszakoltan és idő előtt kényszeríteni, hiszen a modell számos fizikai paraméterre sem jól definiálható.

A jelenlegi és néhány vonatkozásban kiegészítendő szabályozási körök a feladatukat ellátják, autonom, esetleg félautonom jelleggel. a csak lazán kapcsolt, általában változó tranziens hatású /időálló/ kölcsönhatásokat, mint zavarásokat véve figyelembe. A kielégítő működés azt bizonyítja, hogy a szekunder kölcsönhatások /tehát az ilyen kiszabályozások visszahatásai/ nem okoznak zavart, mint a korrelációs görbék mutatják, általában nem is ki-mutathatóak. Itt kivételként jegyzendő meg a kényszeráramlású kazánok gőzhőmérséklet-szabályozása, amelyet tárgyalásunkból kihagytunk, mert az irodalomban alaposan fel van dolgozva.

nincs értelme sem.

A javasolt ciklusidőket az egyes jellemzőkre sorra megadtuk, ezeket összefoglalva a 12. táblázat tartalmazza.

A szükséges utasításokat, memóriakapacitást és működést egy javasolt megoldással illusztrálva a szerző egy korábban publikált tanulmánya [4] ismerteti.

Itt kell még megemlékeznünk két aktuális kérdésről, a számológépes irányítás és a tanuló-rendszer problémáiról.

A kivitelezett, vagy üzembehelyezés alatt álló rendszerek kivétel nélkül legfeljebb fölérendelt szerepet adnak a számológépnek, a megépített és működő klasszikus szabályozási körök felett. Ezekben a rendszerekben a számológép a szabályozók beállítását, alapjelmódosítását, esetleg egyes körök kölcsönös koordinálását végzi, de nem helyettesíti a klasszikus szabályozókat. Tudunk olyan tervről, ahol ezt tűzik ki célul - a megvalósítástól még elég távol állnak - tehát egy olyan rendszert, ahol a számológép az egyedi szabályozó aritmetikai funkcióit is átveszi. Ez nem első-sorban rendszertechnikai /hiszen a funkció most sem változna lényegesen/, hanem megbízhatósági-gazdaságossági probléma, annak kérdése, hogy a központi számológép megbízhatósága milyen mértékben fogadható el az egyedi, robusztus szabályozók helyett, a kieséseknek mi lenne a következménye, és végül milyen megtakarítást hoz a szabályozók /érzékelő és beavatkozószerelv természetesen változatlan/ elhagyása. A kérdésre csak tartós üzemi tapasztalatok, gyártási mult után adhatunk választ, így az számunkra ma még nem érdekes. Először egy adatfeldolgozó rendszert kell üzemeltetnünk, szabályozó funkciók nélkül. A mintavételi ciklusidők, a rendszer sebessége teljesen elegendő egy későbbi szabályozásra történő kiegészítéssel, az utasításrendszert és a memóriát kell némileg módosítani, tehát a jelenlegi gép alapul szolgálhat a későbbi ilyen irányú fejlesztéshez.

Minden olyan rendszernél, amelynek összefüggései nem ismerhetőek meg egyszerű matematikai modellezéssel, vagy ezek az összefüggé-

12. TÁBLÁZAT

A kazán ellenőrzésére javasolt mintavételi
idők

gőzhőfok	5''
gőznyomás	1'
gőzmennyiség	10÷20''
tápvíz hőfok	1÷5'
tápvíznyomás	5'
tápvízmennyiség	10÷20''
füstgáz hőfok	1-5'
füstgázösszetétel	15-20''
szén fűtőérték	$\tau_f = \frac{G_m \cdot x/}{Q_{ks} / 5 \div 6/}$
salakéghető	τ_f
levegőmennyiség	1-2'

x/G_m a malomban névleges terhelésnél tárolt szén [kg]

Q_{ks} a kazán névleges terhelése mellett a malomból fogyó szén [kg/Δ]

sek változnak az idő, vagy más paraméterek függvényében, felmerül az adaptív és tanuló elv alkalmazásának lehetősége. Esetünkben általában mindkét lehetőséget elvetjük. Tanulórendszert ott érdemes létrehozni, ahol a bemenő és kimenő jellemzők mérése nem kérdéses, ezek száma is jól definiált. Ezek között kell - tanuló módon - az összefüggéseket felkutatni, majd a rendszert ehhez alkalmazni. A kazán ma még nem ilyen folyamat. Berendezésről-berendezésre kell eldöntenünk, melyek a lényeges befolyásoló jellemzők, tehát a tanuló rendszerbe eleve túl sok adatot kellene a teljeséghez beadni, túlzott programmal /korrelációk állandó számításával/ ellátni. Már a most feldolgozott anyag is mutatja /bár távolról sem adott egyértelmű eredményt/, milyen számítási munkával kellene a tanuló gépnek megbirkóznia. Az ilyen tanuló munkát a központi gépre kell bízunk, és józan, technológiai, szabályozás-technikai belátásunkra, ha nem akarunk a célszerűnél nagyságrenddel nagyobb számológépet állandóan igénybe venni.

Bizonyos adaptív megoldásokra már eddig is sor került, ilyen csirájának kell tekinteni a többparaméteres levegő-, vagy hőfokszabályozásokat is. Ezek továbbfejlődése a folyamat további megismerésétől, és - nem győzzük hangsúlyozni - a mérés-technikai feltételek javulásától függ. Az égésnek, a szénelőkészítésnek az optimális szilárd éghető szerint történő szabályozását például előreláthatólag adaptív módon kell megoldani.

Ismeretes, hogy az Egyesült Államokban kb. 1958 óta folynak előkészületek a hőerőművek számológépes irányítására. Más ipari államokban azóta több helyen foglalkoznak hasonló elgondolásokkal. Mint már a bevezetőben említettük, ennek a tanulmánynak nem feladata az ilyen irányzatok összefoglaló ismertetése és értékelése, mivel az egy másik munka keretében készül, azonban az eddigi eredmények birtokában mégis szükséges néhány szóval visszatérni a nemzetközi tapasztalatokra.

A kísérletek általában gépi mérésadatfeldolgozással kezdődtek. Ez a lépés bevált, mindenütt indokoltnak bizonyult. Annál több nehézség merült fel a számológépes komplex automatizálás és optimalizálás megoldásánál. Igaz, hogy ezek a kísérletek nemcsak a

kvázistacionárius, hanem a rendszerirányítás szempontjából hasonlóan fontos tranziens üzem irányításával /önműködő leállítás, indítás/ is foglalkoznak. Mégis figyelemreméltó az a körülmény, hogy az 1961-62-re tervezett munkák a mai napig sem fejeződtek be teljes sikerrel. A beszámolók egyöntetűen arról szóltak, hogy a nagy felkészültséggel végzett előkészületek során is lebecsültek a várható nehézségeket. Kiderült, hogy az eredeti célkitűzések megvalósításához a tervezettnél sokkal nagyobb memóriakapacitású és esetleg gyorsabb számológépek szükségesek. Számos probléma volt az érzékelőkkel és jelátalakítókkal. Valószínűnek kell tartanunk, hogy azok a modellezési, technológiai problémák, amelyeket itt tárgyaltunk, szintén jelentős szerepet játszottak. Egy-egy ilyen számológépes irányítás becsült költsége 1/2 millió dollár körül van, aminek jelentős része a "software", az applikációs fejmunka. Ebben a periódusban, amikor ez még néhány nagy cég kiforratlan monopóliuma, számunkra nem hozzáférhető. Ugyanakkor a különböző erőművi technológiáktól, tüzelőanyag- és egyéb lehetőségektől, helyi adottságoktól is erősen függő a feladat. /Az USA-ban folyó munkák jelentős része olaj- és földgáz-bázisú, vagy a mienkhez nem is hasonlítható minőségű szénrel dolgozó erőműben készül./ Nekünk eddigi tapasztalataink és a fenti példák birtokában igen meggondoltan kell tehát a következő lépéseket előkészítenünk.

Az eddigiek során levonható fő tanulság, hogy a gépi mérésadatfeldolgozás feladata megérett és az megvalósítható. /Itt főleg a mérésértékátalakítók műszertechnikai kérdése lesz a nehézségek súlypontja./ Az erőművi optimális irányítás legfontosabb soronlévő munkája a kazánok optimalizálása. A közölt vizsgálatok alapján a sokjellemzős rendszer viszonyai közül kiválasztottuk a szilárd éghető maradék és a füstgázvesztesség minimalizálását, mint a legtöbb eredményt biztosító feladatokat. A két veszteség-jellemző minimalizálását az őrlés és a levegőadagolás szabályozásával kívánjuk megoldani. A problémakör leszűkülése 2 szabályozott és 2 szabályozó főjellemzőre lényeges könnyebbség, bár nyilvánvaló, hogy nem beszélve a már sokszor hangsúlyozott mérés-technikai problémákról, számos segédjellemzőt nem lehet a konkrét megvalósítás köréből kivonni. Így az őrlés szabályozása nemcsak egyszerű szé-

relési feladat /tehát a kazánba adagolandó őrlemény szemszerkezetének aerodinamikai irányítása/, hanem magával vonja a malom jó működéséhez szükséges füstgáz, meleglevegő, stb. szabályozását is. A feladat ilyen fogalmazásával azonban mégis sikerült bizonyítanunk a megoldás lehetőségét, gazdasági kilátásait. Korlátozott igényű optimalizálási kritériumunk, melyet az 1.2.-ben általánosságban fogalmaztunk meg, esetünkben a következőképpen konkretizálódik:

Az irányítás feladata adott /menetrendileg előirt/ teljesítményszintekhez megtalálni adott /pillanatnyilag és statisztikus fiziko-kémiai jellemzőivel mérhető/ fűtőanyag mellett a szilárd éghető maradék és a füstgázveszteség összegéből kapható minimális veszteséget, az őrlemény szemcseeloszlásának és a levegőadagolásnak a változtatásával.

$$\left. \begin{aligned} & \int_T (y_s + y_f) \\ & y_s + y_f = f_V(x_{\bar{o}}, x_{\ell}, x_N, x_f) \\ \text{adott } & x_N = f_N(t); \bar{x}_f; \sigma_{x_f}; x_f = f_f(t) \end{aligned} \right\} 44.)$$

ahol

y_s — a szilárd éghetőmaradék %

y_f — a füstgázveszteség %

$x_{\bar{o}}$ — őrleési finomság jellemzője /lásd pl. [33] javaslata/

x_{ℓ} — légfeslesleg % /esetleges segédjellemezőkkel is, mint primer és szekunder levegőarány, stb./

x_N — a kazán menetrendi teljesítménye (t/ó)

x_f — fűtőanyagjellemezők /fűtőérték kkal/kg; fix/illó arány %; őrölhetőség, stb./

f_V — általában változó együtthatóju veszteségfüggvény

f_N — kazán menetrend

\bar{x}_f — az x_f várható értéke

σ_{x_f} — az x_f szórása

f_f stochasztikus változó
 T értékelési intervallum 1.3.szerint

Ez az optimum létezik és az adottságoktól függően 0,5 - 1,0 % körüli gazdaságosságjavulást eredményezhet.

A fenti fogalmazás egyben - egyelőre - állásfoglalást jelent az indirekt /nem direkt hatásfok, hanem veszteség alapon történő/ értékelés mellett.

Végül megjegyezzük, hogy a kazán blokküzemben /kazán-turbinablokk/ történő optimalizálásával mérési objektum hiányában nem foglalkoztunk. Módszereink, elgondolásaink azonban értelemszerűen átvihetők a blokkirányításra is. Ez a munka előkészítés alatt áll és 1964.évi konkrét mérési feladataink között szerepel.

3. NÉHÁNY MEGJEGYZÉS A TURBINÁK OPTIMÁLIS ÜZEMVITELÉVEL ÉS MÉRÉS- ADATFELDOLGOZÁSÁVAL KAPCSOLATBAN

3.1. A turbinaüzem és a kazánüzem sajátos különbségei

A turbinaüzem optimális irányítása kvázistacionárius állapotban lényegesen kevésbé kérdéses, mint a kazánoké. Itt ugyanis a folyamatok technológiája és méréstechnikája lényegesen kidolgozottabb, a matematikai modellezés és megfigyelés lényegesen egyszerűbb, mint a kazánoknál. A külső zavaró jellemzők száma is kisebb, ezek jól meghatározottak. Nem véletlen, hogy folyamatos üzemi növekmény hőfogyasztásmérők beiktatását is elsősorban a turbinaüzemnél kísérelték meg [68].

A zavaró hatások mérhetősége és kisebb száma miatt a turbinaüzem lényegesen stacionáriusabb, mint a kazánüzem. Ezt már a kazán vizsgálatánál megmutattuk /15. ábra/. A teljes egyhónapos mérési időszak alatt a Pécsi Hőerőmű turbinái gyakorlatilag azonos, vagy kissé változó üzemben dolgoztak. Mivel a rövid idejű átmeneti állapotok kivételével a regisztrátumok teljesen sima jellegűek voltak, a kazánokhoz hasonló korrelációs vizsgálatokat nem végeztünk.

Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a megvizsgálandó kérdéseket:

- a./ a turbina gazdaságossági mérésének jelenlegi problémái, határai, lehetőségei
- b./ a turbinaüzem kvázistacionárius változásainak hatásai a turbina és a teherelosztás gazdaságosságára /terhelés, gőzjellemzők, megcsapolások, hűtővízhőmérséklet, határvákuum, elpiszkolódás/
- c./ a turbinaüzemi mérésadatfeldolgozás aktuális kérdései.

A nemstacionárius üzemmel /indítás, leállítás, mosás/ itt sem fog-

lalkozunk, mivel az egy másik, most elindított munka feladata.

3.2. A turbina mérésének kérdései

A turbinaüzemnél különböző a kazántól az 1.3. alatt mondottak problémája, az átfutási idők részben jól ismertek, részben röviddek, részben a kifejezetten átmeneti állapotoktól eltekintve lényegesnek mondható változások sem állnak be a turbinaüzemben. Azonban itt is meggondolandó az egy mérési ciklus alatt kapott eredmények egymáshozrendelése. A gazdaságosságszámításnál a turbina üzemétől és kapcsolásától függően célszerű dinamikai meggondolásokat is igénybe venni. Bizonyos tárolójellegű szakaszok ugyanis a turbinánál is vannak. Lényeges tároló lehet a kondenzátor, amely lehetővé teszi, hogy a beömlő gőzmennyiség és a kondenzvízmennyiség egyensúlya időről-időre változzék, ami jelentősen befolyásolja a pillanatnyi mért, és az integrált hatások különbségét. A javasolt negyedórás átlagolás ezen jól segít, figyelembevételével, hogy az egyéb zavarások - kivéve az esetleges, főleg a szelepnyitások környékén történő terhelésingadozásokat - lassabb lefolyásúak. Ugyancsak figyelembe kell venni szükség esetén a megelőzőknek és az újrahevitésnek az irodalomban behatóan elemzett tárolóképességét. A negyedórás átlagolás ezeket is kiszűri.

A turbinahatásfok számítására legalaposabban kidolgozott eljárás az ASME átvételi mérési előírása [69], amelynek szigorú változata $\pm 0,3\%$ pontosságot ír elő. Ez az eljárás egy nagy, 300 MW körüli gépen 145 mérőhelyen, 1240 különböző időpontu, vagy helyi megfigyelést ír elő, a mérés teljes költségét ezért 50.000 β -ra becsülik [70]. A $\pm 1\%$ körüli mérési pontosságú előírások 21-109 mérőhelyen történő 40-600 megfigyelést javasolnak. Itt meg kell jegyezni, hogy a szigorú ASME előírások szerinti számítás /amely a legrigorózusabb gőztáblázati korrekciókat is elvégzi/ az IBM 7090 számológépen 22 másodpercet vett igénybe. A $\pm 1\%$ pontosságra garantált eljárás /amely figyelembevételével a mennyiségmérések lehetséges pontosságait/ plauzibilisebb, nyilván igen gyorsan végezhető, számításigénye kb. egynolcada a szigorú programnak. Ilyenformán a korszerű mérés technika és mérés adatfeldolgozás eszközeivel lehetőségünk van arra, hogy $\pm 1\%$ pontosságú, folyamatos

hatásfok és növekményhőfogyasztásmérést valósíthatunk meg.

A hazai mérési lehetőségek ettől nyilván elmaradnak, nem becsülhetők jobbra, mint legfeljebb 2 %-ra, figyelembevéve a hazai gyakorlatban szokásos műszerek, transzmitterek pontosságát. A Láng gyár általában 3 %-os tűréssel adja meg a garanciális adatokat.

Az 1 %-os mérési és adatfeldolgozási pontosság lehetséges és érdemes is célul kitűzni, mivel ez megbízható és természetesen gazdaságilag is igen jelentős eredményt ad. A 2.2. szerint a gőzjellemzők lineáris közelítéssel javasolt módszere ezt a pontossági követelményt teljesen kielégíti. Ugyanakkor ez a korrekció feltétlenül szükséges is, mivel a változó terhelési állapotok általában változó gőzjellemzőket is vonnak maguk után, hiszen - kivéve a nagy teljesítőképességű blokkokat - rendszerint nem a turbina előtti jellemzőket veszik a szabályozás alapjául. A változásnak ez a mértéke a 0,2 - 0,5 %-ot is eléri, szélsőséges esetben 1 % fölé is mehet. /13. táblázat/

A mérési ciklusidőt kizárólag a mérésadatellenőrzés feladata szab-

13. TÁBLÁZAT

Borsodi turbinák hőfogyasztás-korrekciója a belépő gőzjellemzők függvényében

nyomás at	korrekció %	hőfok C°	korrekció %
65	+2,9	450	+1,75
67	+1,9	460	+1,1
69	+0,95	470	+0,55
71	0,00	485	0,00
73	-0,25	500	-0,25
75	-0,3	510	-0,35

/Erőmű Tröszt - Láng Gépgyár adatai/

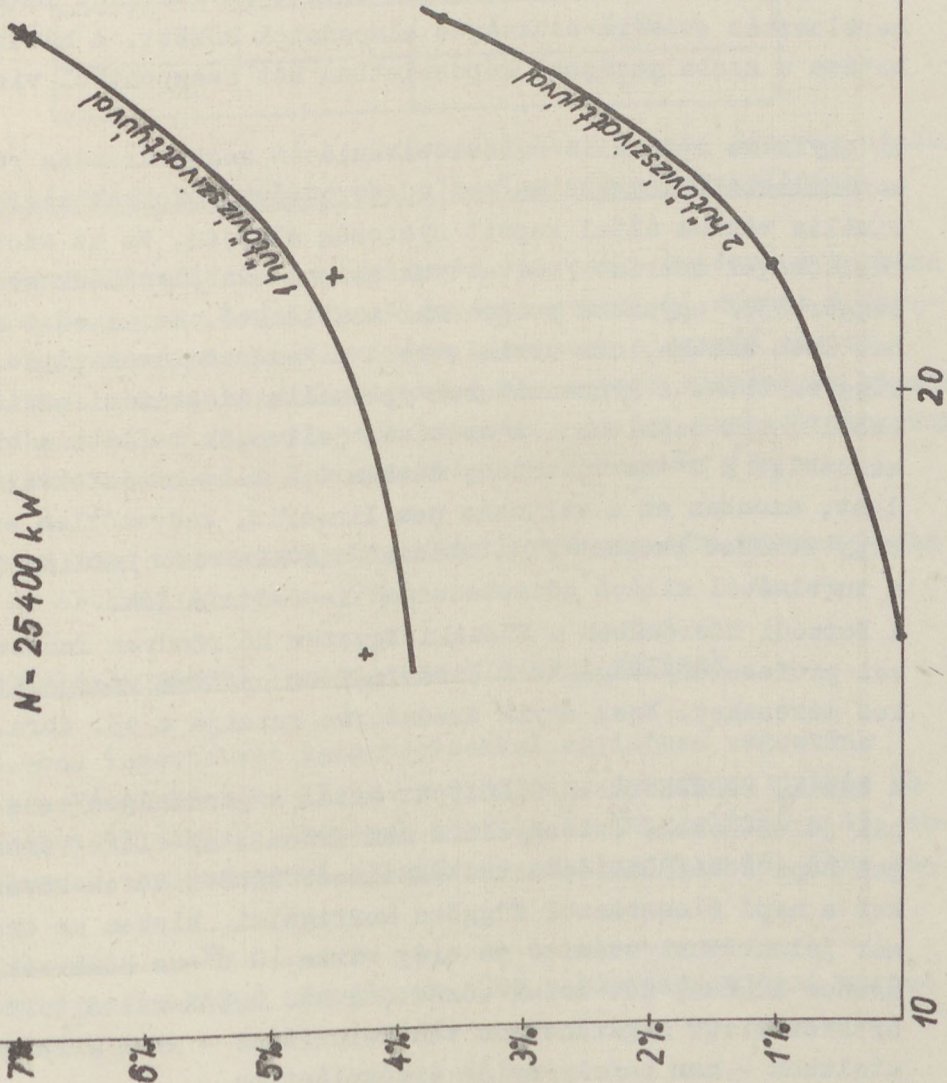
ja meg, az esetleges hirtelen hőfok, rezgés, stb. változások ellenőrzésére minimálisan 5 másodperces ciklusidőt érdemes előírni, figyelembevéve a turbinánál az átmeneti folyamatok és lehetséges változások sebességét. A gazdaságossági jellemzők számításához elegendő a negyedóránkénti ciklus /hiszen gyors változások kvázistacionárius üzemben nincsenek/ kivéve, ha egy-egy lényeges jellemző érzékelhető változást mutat.

3.3. A zavarások hatásai

3.3.1. Terhelésingadozások

A turbinánál a terhelésingadozásoktól függő változások hatásának követése különösen fontos, mert a hatásfok-görbék a szabályozó-szelep-jelleggörbétől függően általában nem simák, hanem törések. Mivel ezeknek a szelep-jelleggörbe szingularitásoknak a helye az üzemben a kezdő- és végjellemzők, továbbá más, üzemi hatások /pl. elsózódás/ következtében változhat, célszerű a tényleges jelleggörbe meghatározása. Az ilyen jellegű hatásfokváltozások a $\pm 0,5\%$ nagyságrendet is eléri, ezért az üzemvitel szempontjából igen jelentősek lehetnek /pl. ha a gép éppen a szingularitás közelében szabályozza a terhelésingadozásokat. Ebben az esetben $\pm 1\%$ -nál nagyobb változás is lehet. Hasonlóképpen üzem közben változhatnak a megcsapolásokkal kapcsolatos berendezések /előmelegítők, stb./ üzemviszonyai, hasonló szintű generátor-, illetve turbinaterhelés esetén is. Az ilyen jellegű változások elemzésére változó üzemben további méréseket kell végezni minden géptípusra. A pécsi mérések ezt a menetrend sima volta miatt nem tették lehetővé. A már elemzett tárolókapacitások hatásának kiszűrésén túl a terhelésingadozások befolyásának elemzésére különböző terhelésszinteken, maximálisan $\pm 10\%$ -os terhelésingadozások mellett /ezt a határt szabtuk a kvázistacionárius üzemnek/ a negyedórás átlaghatásfok értékekhez hozzá kell rendelni az ingadozások statisztikai jellemzőit /közép és szórás/, amit az 5 másodpercenkénti terhelésleolvasásokból erre az időszakra kaptunk. A 15 perces időszakhoz tartozó 180 adat lényegesen jobb konfidenciát ad, mint az a mérési pontosságot figyelembevéve indokolt, úgy hogy ennek ritkítása szükség esetén lehetséges az

fajlagos hőfogyasztás
növekedés q-%-ban
N = 25 400 kW



Beleépő hűtővíz hőmérséklet
C°

43. ábra

adott mérési pontosságnak megfelelő és az 1. fejezetben hivatkozott konvencionális statisztikai módszerekkel meghatározott értékre. Az ilyen jellegű vizsgálat azonban minden valószínűség szerint csak a beállító-kísérleti mérések idején szükséges, állandó programozása csak akkor indokolt, ha ezek a hatások időszakonkénti meghatározott értékektől lényeges, a mérési megbízhatóságot meghaladó, gazdaságilag megbízhatóan értékelhető eltéréseket mutatnak.

3.3.2. Hűtővízhőfok

A hatások ismertek, minden erőmű ezeket az adatokat megadja a teherelosztás számára szükséges alapadatok között. A hűtővízhőfok hatása a szabályozással kapcsolatban két szempontból vizsgálendő.

Az egyik az optimális hűtővízcirkuláció meghatározása /és ezzel kapcsolatos önfogyasztás/ az adott hűtővízhőfokkal elérhető optimális vákuum által kapott nyereség alapján. Ez az adott műszaki lehetőségek szerint /szivattyúk száma, szabályozásuk módja, jelleggörbéje/ egyszerű programmal megoldható. Ez az adat is változhat üzem közben, nem utolsósorban a kondenzátorok elpiszkolódása függvényében. A kondenzátorok optimális tisztítási periódusát is ebből lehet számítani. A szokásos jellemzők mellett a hűtővízhőmérséklet $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os változása durván 0,1 %-os hatásfokváltozást jelent, azonban ez a változás nem lineáris, kedvezőtlen esetben igen nagy romlást okozhat /14.táblázat/. A hűtővíz cirkuláció optimumát a turbinából kilépő gőzsebességek is definiálják.

A Borsodi Hőerőműben a Műszaki Egyetem Hőerőművek Tanszéke /Dr.Lévai professzor/ végzett a hűtővíz-üzem optimum vizsgálatára értékes méréseket. Ezek egyik eredményét mutatja a 43. ábra.

A másik, rendszeresen számított hatás a gazdaságos teherelosztásnál jelentkezik. Itt egyelőre nem érdemes az előre várható országos napi középhőmérsékletre számított hűtővízhőfok-következményeket a napi elosztástól függően korrigálni, hiszen az országban már jelentősnek számító és elég ritka $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleteltérés azonos időben, két erőmű között, a kb. 0,5 %-kal eltolt hatásfokértékek miatt a gazdaságos teherelosztást - mint arra már többször utaltunk - nem befolyásolja érzékelhetően.

14. TÁBLÁZAT

Borsodi turbinák gőzfogyasztás változása a hűtővizhőfok függvényében

hűtőviz belépő hőfoka C°	hőfogyasztás változás C°
2	+0,3
7	±0,00
10	-0,15
12	±0,00
17	+3,00
20	+7,00

/Erőmű Tröszt - Láng Gépgyár adatai./

3.3.3. Elszódás, kondenzátorok, előmelegítők elpiszkolódása

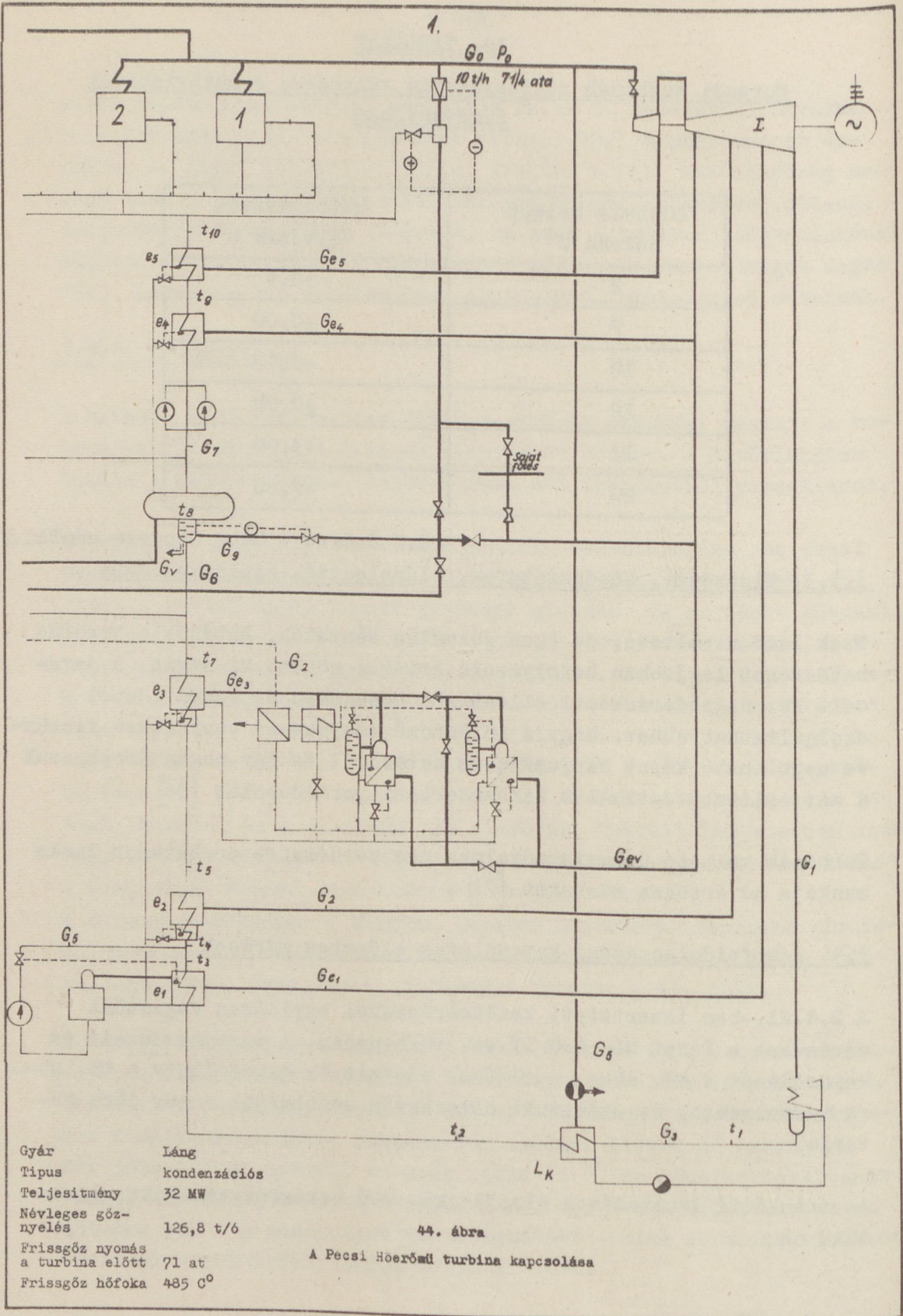
Ezek lassan változó, de igen jelentős tényezők, hatásuk a turbina hatásfokot legjobban befolyásoló értéké nőheti ki magát. A javasolt kb. negyedóránkénti ellenőrzés bőségesen elegendő adatot szolgáltat ahhoz, hogy a különböző más zavaró tényezőket kiszűrve megbízható képet kapjunk ezek hatásáról és így meghatározhassuk a már említett optimális karbantartási periódusokat [36].

Turbinák változó üzemviszonyainak más kérdéseire dr.Zettner Tamás munkája ad értékes adatokat [71].

3.4. Adatfeldolgozással kapcsolatos előzetes mérések

A 2.4.21.-ben ismertetett kazánmérésekkel egyidőben végeztünk méréseket a Pécsi Hőerőmű II.sz. turbináján. A turbina adatait és kapcsolását a 44. ábra, a mérések adatait és kapcsolását a 45. ábra tartalmazza, az óránkénti ellenőrzés adatlapját a 46. ábra mutatja.

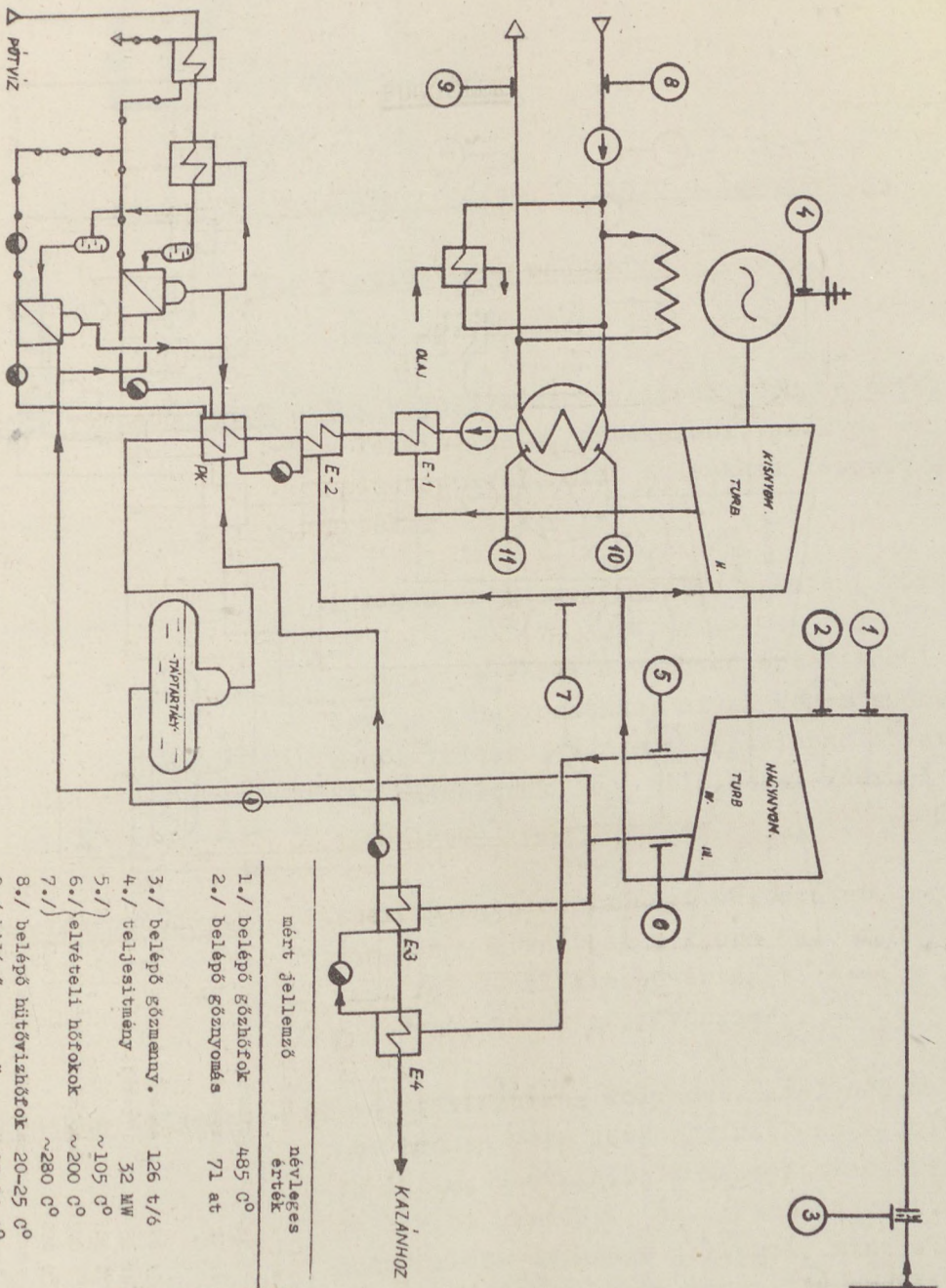
Az óránkénti leolvasások alapján kb. 700 hatásfokszámítást végeztünk az



Gyár	Láng
Tipus	kondenzációs
Teljesítmény	32 MW
Névleges gőz-nyelés	126,8 t/6
Frissgőz nyomás a turbina előtt	71 at
Frissgőz hőfoka	485 C°

44. ábra

A Pecsí Hőerőmű turbina kapcsolása



mért jellemző	névléges értékek	érzékelő-jelátalakító
---------------	------------------	-----------------------

- | | | |
|----------------------------|----------|---|
| 1./ belépő gőzhőfok | 485 °C | Re-Ko hőelem |
| 2./ belépő gőznyomás | 71 at | potenciométeres távadó, 100 at max. ~ 150 Ω |
| 3./ belépő gőzmenny. | 126 t/h | Regula egytémény |
| 4./ teljesítmény | 32 MW | potenciométeres távadó |
| 5./ } belvételi hőfokok | ~105 °C | Hall Eenerátor O-200 mV |
| 6./ } ~200 °C | | |
| 7./ } ~280 °C | | |
| 8./ belépő hűtővizshőfok | 20-25 °C | Re-Ko hőelem |
| 9./ kilépő " " | 27-32 °C | " " |
| 10./ kondenzátor gőzhőfok | 30-35 °C | " " |
| 11./ kondenzátor vízshőfok | 30-35 °C | " " |

45. ábra

VILLENKI.

turbina

1962. év. május. hó. 13. nap

Óra	belépdő gáz			Kondenz víz kondenzátorban		teljesít- mény MW	elvételi				ellenőrző foko- zati nyomások		hűtővíz hőfoka C°		motorok áramfelvétele								
	nyomás at	hőfok C°	mennyiség t/ó	mennyiség t/ó	hőfok C°		nyomások at				hőfokok C°				1	2	be	ki		hűtővíz-sziv.		kondenz-sziv.	
							1	2	3	4	1	2	3	4						A	B	A	B
0	72	492	28:25	57	30	13	-	0,21	2,5	5,2	9,2	13,2	22,3	27,2	6,2	24	20	27	-	65	-	30	39,51%
1	73	495	29:32	61	31	15	-	0,3	3-	6,1	7,5	12,6	21,2	27,2	7	28	20	27	-	65	-	30	25,58-
2	72	492	29:32	62	31	15	-	0,32	3-	6,1	7,5	13,4	22,0	28,0	7	28	20	27	-	65	-	30	25,98
3	73	494	29:32	60	31	15	-	0,34	3,1	6,2	7,8	13,3	24,0	27,9	7	28	20	27	-	65	-	31	25,58 1
4	73	495	29:32	60	31	15	-	0,34	3-	6,1	7,8	13,2	23,5	27,8	7	28	20	27	-	66	-	31	25,96
5	74	492	29:34	63	31	15	-	0,32	3,1	6-	7,6	13,1	23,0	27,8	7	27	20	27	-	66	-	31	25,70-
6	76	487	26:28	60	31	13	-	0,25	2,6	5,4	7,3	12,1	22,3	26,7	6,3	24	20	27	-	66	-	29	25,58-
7	72	492	32:42	74	35	18	-	0,6	3,9	7,8	8,0	13,3	23,2	28,2	8,5	34	20,5	29-	-	66	-	30	35,68-
8	74	491	31:40	80	35	18	-	0,7	3,8	7,5	8,0	13,9	23,8	28,2	8,5	34	21	30	-	66	-	30	26,87+
9	72	491	30:34	62	33	15	-	0,35	3,0	6,2	7,6	13,5	22,8	27,8	7,2	29	22	29	-	66	-	30	24,81-
10	71	491	28:28	57	32	13	-	0,24	2,6	5,4	7,2	12,5	22,2	26,8	6,2	24	22	29	-	66	-	29	25,94-
11	72	490	26:28	59	33	13	-	0,24	2,6	5,35	7,2	12,8	22,3	26,8	6,2	25	23	30	-	66	-	29	25,49
12	74	491	26:28	59	33	13	-	0,21	2,5	5,2	7,8	12,4	22,4	26,5	6,2	24	23,5	30,5	-	66	-	29	25,49
13	73	490	28:26	56	31	13	-	0,21	2,5	5,2	7,5	12,2	22,3	26,4	6,1	24	23,5	30,5	-	66	-	29	25,50
14	72	493	28:26	59	35	13	-	0,21	2,5	5,2	7,5	12,5	22,5	26,8	6,2	24	24-	31-	-	66	-	29	25,43
15	74	492	28:25	58	35	13	-	0,24	2,6	5,3	7,2	12,5	22,0	26,5	6,2	24	24-	31-	-	65	-	30	25,95
16	76	492	27,5:24	56	34	13	-	0,24	2,6	5,2	7,2	12,3	20,9	26,5	6,3	24	23,5	30,5	-	65	-	30	26,73
17	75	490	27,5:24	56	34	13	-	0,24	2,6	5,3	7,2	12,5	20,5	26,5	6,2	24	23,5	30,5	-	65	-	30	26,76
18	73	490	28:25	58	34	13	-	0,22	2,6	5,2	7,2	12,5	20,5	26,6	6,2	24	23-	30-	-	65	-	30	25,98
19	76	490	27,5:24	56	33	13	-	0,24	2,6	5,3	7,2	12,2	20,5	26,3	6,2	24	23-	30-	-	66	-	30	26,76-
20	71	490	29:30	60	34	14	-	0,31	2,95	5,8	7,5	13,2	21,2	27,5	6,8	26	22,5	29,5	-	65	-	30	25,12-
21	73	492	29:32	62	34	14	-	0,31	2,9	5,8	7,5	12,9	21,0	27,3	6,8	26	22,5	29,5	-	66	-	30	24,28
22	74	493	28:24	55	32	13	-	0,2	2,4	5-	7,3	12,5	20,9	26,1	6-	24	22	29	-	66	-	30	26,43-
23	74	495	27:23	54	32	12	-	0,17	2,3	4,8	7,2	12,5	20,4	26,4	6-	22	21,5	28,5	-	65	-	30	25,33
24	73	492	27:23	50	31	12	-	0,16	2,2	4,6	7,2	12,3	20,4	26,2	6-	22	21,5	28,5	-	65	-	30	25,37

Turbinákat kazánok táplálták.

Megjegyzés: 22.5 kor F10 melegítő csapadék átmeneti szivás tyu ledlítő.

46. ábra

VILLENKI.

1962. év. május. hó. 13. nap

Óra	pótvíz hőfok		Megjegyzés:
	Be C°	Ki.	
0	-	-	
1	-	-	
2	-	-	
3	-	-	
4	-	-	
5	-	-	
6	✓	✓	
7	✓	✓	
8	✓	✓	
9	✓	✓	
10	✓	✓	
11	✓	✓	
12	✓	✓	
13	✓	✓	
14	-	-	
15	-	-	
16	-	-	
17	-	-	
18	-	-	
19	-	-	
20	-	-	
21	-	-	
22	-	-	
23	-	-	
24	-	-	

$$\eta = \frac{a (P_g - P_s)}{i_b G_b - i_k G_k} \text{ képlet alapján, ahol } 45,$$

P_g a generátorteljesítmény /MW/, P_s a segédüzemi fogyasztás /MW/, $a = 8,6 \cdot 10^5$ kkal/MWó, i_b a beömlő gőz hőtartalma, i_k az előmelegített tápviz hőtartalma (kkal/kg), G_b és G_k a belépő gőz, illetve az utolsó előmelegítőtől kilépő tápviz mennyisége (kg/ó).

A módszer kizárólag az üzem közben történő változások, a szokásos ingadozások értékelésére alkalmas. A 15. táblázat közli az összeállított eredményeket, amelyek kellően nagyszámu mérés esetén a mérési pontosság körüli szórásokat és természetesen kevés mérés esetén igen kieső értékeket is adnak. Az adatok egyébként a turbina hatásfok-jelleggörbét sem követik. Hasonló eredményeket mutatnak az ERBE ajkai mérései és más átvételi mérések ingadozásai is.

Közelebbről elemezve az eredményeket, azok főleg a jelenlegi üzemi méréstechnika és adatfelvétel kritikáját adják /a feljegyzett adatok nagyjából megegyeznek az üzem által készített gyűjtőlapokkal/. A hatásfokingadozásokat a hűtővízhőfok változásaival nem lehetett korrelálni, az összefüggés gyenge volt. Az ingadozások két lényeges összetevője a kondenzvíz-mennyiség egyensúlyváltozása és az ugyanahhoz a generátor teljesítményhez tartozó bruttó belépő gőz-mennyiségek változása volt, amely utóbbinak az okaira a felvett egyéb adatok nem adtak olyan korrelálható összefüggést, amely a statisztikus kapcsolatokból kauzális következtetésekre alkalmas lenne. Kismértékű befolyást gyakorolt a gőz kezdő jellemzőinek változása. Bármilyen komolyabb következtetés levonásához nagyobb számu és a jelenlegi üzemi méréstechnikai eszközöknél igényesebb felkészültségű mérésre van szükség.

3.5. Következtetések

a./ A turbina-üzem optimalizálásához a jelenlegi üzemi méréstechnikai felkészültség nem kielégítő. Figyelembevéve a legjobb

15. TÁBLÁZAT

A pécsi 2.sz. turbinán óránkénti leolvasás alapján
kapott gazdaságossági adatok statisztikus összesítése.

teljesít- mény MW	mérések száma	n			
		max.	min.	közép	szórás
12	10	35,08	25,33	31,5	3,16
13	30	35,30	25,43	30,93	4,14
14	10	34,79	24,28	31,72	3,7
15	8	36,12	24,81	28,00	4,19
16	2	37,04	34,50	35,77	1,27
18	5	35,68	26,87	33,30	3,9
20	17	37,60	31,39	33,40	1,74
21	2	35,60	34,96	35,28	0,32
22,5	1	-	-	34,82	-
23	14	46,94	24,75	36,00	5,32
24	17	36,00	31,14	34,69	1,09
25	29	41,81	37,14	34,80	2,83
25,5	6	32,05	27,52	29,40	1,38
26	26	36,75	29,32	34,02	1,74
27	13	35,88	31,23	34,07	1,18
28	17	38,72	33,51	34,77	1,15
29	4	34,14	32,38	33,53	0,52
30	67	37,53	33,00	35,00	1,15
30,5	223	35,95	32,81	34,49	0,69
30,7	2	34,60	34,17	34,38	0,22
31	141	36,84	32,34	34,78	0,98
31,5	20	36,55	32,79	35,28	1,04
32	2	36,43	35,41	35,92	0,51
	666 mérés				

nemzetközi adatokat [69 , 70 , 72 , 73] kb. 0,7 ÷ 1,0 %-os teljes mérési pontosságra kell törekedni 0,5 osztályu mennyiségmérés és villamos teljesítménymérés, 0,2 osztályu analóg-digitális átalakítók alkalmazásával. A méréseket a tárolási folyamatok kiegyenlítésére és a kvázistacionárius üzem viszonyainak figyelembevételével az 5 másodpercenkénti üzemellenőrzési ciklusból negyedóránként érdemes átlagolni.

- b./ Az ilyen mérés technikai felkészültséggel, amely a rendszer szabályozását adaptálja a szelep-karakterisztikák változásához, az optimális vákuum-viszonyok megteremtéséhez, a lerakódások figyelembevételéhez, 0,5 ÷ 1 %-os maximális javulást várhatunk. Ez az érték, figyelembe véve egy 1 %-os, vagy annál valamivel jobb teljes hatásfokmérést, amelyen belül az egyes tényezők pontossága jobb, továbbá a nagyszámu mérésből adódó, nagyobb mérési megbízhatóságot - még éppen érzékelhetőnek mondható.
- c./ A növekményhőfogyasztás üzem közben történő folyamatos mérése alapján történő gazdaságos teherelosztás már nem ad megbízhatónak elfogadható javulást.
- d./ A további vizsgálatokat egy folyamatos - az amugyis szükséges mérésadat-ellenőrzővel összekapcsolt - egyszerű programu adatfeldolgozóval kell elindítani, amelynek lehetséges programját a már idézett korábbi tanulmány [4] tartalmazza.
- e./ A kazán-turbina blokkirányítás, a turbina szekunderszabályozásának vitatott kérdései olyan - a jelen gondolat körbe nem illesztett - problémák, amelyek részben a nemstacionárius folyamatok most induló irányítási vizsgálataival, részben az új géptípusok technológiai problémáival vannak összekapcsolva. Ezek megoldásához azonban elengedhetetlen egy megbízható időtartamu mérés-ellenőrzés technikai gyakorlat és adatfeldolgozó lehetőség, egyszerűbb, itt vázolt berendezésekkel.

OPTIMALIZÁLÁS AZ ENERGIARENDSZERBEN

4. AZ OPTIMÁLIS GÉPI RENDSZERIRÁNYÍTÁS KÉRDÉSEI

4.1. A rendszerirányítás optimalizálásának célja és irányai

Az energiarendszer optimalizálásának kérdésével igen bő irodalom foglalkozik. A kérdés magva a gazdaságos menetrendkészítés, különböző időtartamra, különböző tényezők figyelembevételével. A menetrendek készítése különböző időtartamokra történik, leghosszabb és egyben legdurvább becsléssel, nagy víztartalékokkal dolgozó víze-nergia-hőenergiarendszerben, ahol a sokéves csapadékatlagok, továbbá a csapadékosabb és szárazabb évek bizonyos valószínű periódicitásának számításával történik az üzemeltetési tervezés. Ez a tervezés természetesen már mélyen átnyulik a gazdaságos rendszertervezés területére is. Természetes menetrendkészítési periódus az éves ciklus, az évszakok szerint nagyjából törvényszerűen változó terhelési szükségletek és a meteorológiai viszonyok által meghatározott energiatermelési feltételek alapján, az egész évre tervezhető, rendszeres karbantartások figyelembevételével. Hasonlóan természetesen adódó ciklus az évszakokra, a fogyasztási feltételek változása miatt a hetekre, a napokra és órákra történő tervezés. Ezt esetleg tovább finomítja a számológépes folyamatos [49, 74], vagy az angol energiarendszer példájára a negyedórás, ötperces tervezés. Kvázistacionárius üzemben az ilyen finomítás várható eredményeit már a 2.4.11. alatt elemeztük.

Hasonló módon különböző lépcsőkben történhet a gazdaságos menetrendkészítést, teherelosztást befolyásoló egyes tényezők figyelembevételére. A legegyszerűbb - és sok esetben kielégítő eredményt is adó - módszer kizárólag az egyes erőművek teljesítmény-hatásfok /fajlagos költség/ görbéiből lezármaztatott növekményköltséggörbék alapján történő elosztás, a feltételes szélsőértékszámítás közismert Lagrange-féle módszerével. A számítás finomítható a hálózati veszteségek figyelembevételével, ezen belül is különböző tényezőkkel számolva, illetőleg egyeseket elhanyagolva /fogyasztási csomópontok terhelési arányainak változása, fázisszögek, feszültségviszonyok változása, hálózati kapcsolási állapot változása, stb./.

Az amerikai irodalom foglalkozott a karbantartási költségek figyelembevételével [75, 76], a hazai gyakorlat is számításba veszi az indításnak és a leállásnak az üzemi időszakot terhelő költségeit.

A tervezési optimalizálás területén már évek óta alkalmaznak valószínűségszámítási módszereket a várható üzemviszonyok, üzemállapotok becslésére. Hazánkban Sóváry Emil és Pető János végeztek ilyen jellegű számításokat. A feladat kevésbé kérdéses, mint az üzemvitel optimalizálásánál. A tervezési optimalizálás ugyanis mindig egy hosszabb időtartamra ad optimális variációt az energiatermelés céljait szolgáló létesítési, beruházási feladatra. Ilyen hosszabb időszakokra a statisztikus átlagok a nagy számok törvényének közelítése miatt jól érvényesülnek. Sokkal nehezebb a helyzet a menetrendi energiatermelési tervezésnél, ahol végeredményben egy pillanatnyi állapotra kell valószínűségi becsléseket, jóslást adni.

Az eddigi irányítási gyakorlat alapja az igen jó közelítéssel számolt terhelési menetrend /lásd 2.4.11./. Ebből kiindulva történik a napi erőművi termelési menetrend számítása az erőművi fajlagos költségadatok, a hálózati veszteségek és egyes esetekben az indítási-leállítási költségek alapján. A fentiekben körülírt eljárás viszonylag jól automatizálható, a legtöbb nagy energiarendszer analóg vagy digitális számológéppel végzi, sokszor közvetlenül a rendszer hasznos energiatermelésének és periódusszabályozásának zárt hatásláncába beépítve "on line" eszközként. Az a tudományos kollektíva, amelynek a szerző is tagja, egy nagyobb és ebben a dolgozatban is jelentős részében körvonalazott kutatási célkitűzés keretében, több új hozzájárulással foglalkozott ezzel a feladattal [74, 77, 78, 79, 80]. A rendszerirányítás más funkciói, így az egyes időpontokban várható kapacitások felmérése, üzemzavarok, vagy más menetrendtől eltérő események következményeinek mérlegelése és az ebből származó döntések az emberi diszpécser-munka keretében maradtak. Ezek a korábbiaknál lényegesen bonyolultabb logikai funkciók számos különböző jellegű információt igényelnek, a döntések általában nem merev, előre programozott logikával történnek, hanem sokszor szükségképpen szubjektíven, a diszpécser hasonló esetekből kialakult és általánosított tapasztalata alapján, amit ha ki akarunk elemezni, meg kell vizsgálnunk az esetek hasonlóságának, a

felismeréshez szükséges információszerzésnek és feldolgozásnak és végül egy heurisztikus döntési módszernek a kritériumait. Ez már az automatizálás általánosított tárgykörébe vágó, tipikus alkalmazott kibernetikai feladat, operáció-kutatás a diszpécseri irányítási munka matematikai modelljének, az automatizálás alapfeltételének megközelítésére. Ilyen jellegű első kísérletnek kell tekinteni az említett munkaterv keretében a hálózatirányítás egyes kérdéseiről készült tanulmányt [81].

A következőkben az előző fejezetekhez képest lényegesen vázlatosabban fogunk foglalkozni az erőművek közötti irányítás kérdésével. A már említett és alaposan feldolgozott kérdéseken túl, ez a problémakör teljesen új, hasonló külföldi kísérletekről sem tudunk, bár a személyes beszélgetések szerint ilyen kérdések máshol is foglalkoztatják a kutatókat. Éppen ezért a feldolgozás végleges várható eredménye sem ismert, bár a szerző nem bizonyított meggyőződése szerint a teljes automatizálás is megvalósítható lesz, azaz elérhető, hogy az energiarendszer diszpécserirányításának minden feladatát számológépek vehetik át. A magyar származású Neumann Jánost, századunk egyik legnagyobb zsenijét kell idéznünk: "Minden, ami kimerítően és egyértelműen leírható, minden, ami teljesen és egyértelműen szavakba foglalható, ipso facto megfelelő véges neuronális áramkörrel megvalósítható" [82]. Nem kétséges, hogy a diszpécseri tevékenység, ha rendkívül bonyolult is, de végeredményben ilyen kimerítően és egyértelműen leírható döntési és irányítási rendszer.

A kérdés vizsgálatánál igyekszünk néhány általános - bár a valóságos feladatot bizonyos mértékben leegyszerűsítő - módszert bemutatni, majd annak alkalmazására néhány példát adni. A megfontolások értelemszerűen kiterjeszthetők az energetikához hasonló jellegű technológiákra, tehát olyan folyamatokra, amelyeknél egy adott /vagy várható/ teljes termelési igényt több párhuzamos kapacitás elégíti ki, különböző költségszinten és különböző, számos tényezőtől függő, változó kapacitással. Bár ez az általánosítás lehetséges, hangsúlyozni kell, hogy a villamosenergia termelés különleges technológia, mivel a termelésnek mindig egyenlőnek kell lennie a pillanatnyi fogyasztással, a fogyasztást legfeljebb statisztikus alapon

lehet előre becsülni és a rendszerben általában nincs lényeges tárolóképesség.

Az erőművön belüli optimalizálás fő nehézsége mérés-technikai jellegű volt. Az erőművek közötti optimális irányítás egyik fő nehézsége statisztikai jellegű, nincs kellő megbízhatóság, statisztikus adatunk az egyes berendezések várható viselkedéséről /megbízhatóságáról, üzemzavarairól, stb./. Mivel ilyen adatok rendszeres gyűjtése sokéves feladat, igyekeztünk kiragadott példáinkat az erőművek eddigi tapasztalataira építeni, ezek azonban, mint látni fogjuk, a megoldáshoz igen hiányosak, legfeljebb illusztratív szerepet játszhatnak.

4.2. Karbantartási költségek befolyása a rendszerirányításra

Először azt vizsgáljuk meg, hogy a karbantartási költségek általában játszhatnak-e szerepet a gazdaságos teherelosztásban. A 16. táblázat bemutatja az egyes erőművek 1960 és 1961 évi fajlagos karbantartási és felújítási költségeit.

A táblázat adatai még körülbelül azonos időben épült és azonos nagyságu erőműveknél is jelentős különbséget mutatnak. Érdekes megfigyelni, hogy a fajlagos /és abszolút/ mutatók évről-évre változnak, az 1962 és 1963 évi /tervezett/ adatok, amelyek még az 1961-62 évihez hasonló részletes feldolgozásra nem kerültek, szintén hasonló tendenciát mutatnak. A változások fő oka az, hogy bizonyos felújítási ciklusok nem évek, hanem lényegesen hosszabbak /turbinák átlapátózása, kazánok egyes részeinek teljes cseréje/.

A táblázat azt mutatja, hogy a teherelosztásban résztvevő jelentős erőművek között is 4-5 %-os fajlagos karbantartási költség-különbség mutatkozik, ami a teherelosztásnál a figyelembeveendő különbségek alsó határát jelenti. /Továbbra is a már idézett és a függelékben röviden ismertetett becslési módszer alapján számítjuk a gazdaságos teherelosztásból kapható eredményt./ Különösen lényeges tényező a karbantartási költség azért, mert az az előző évre pontosan számított, már pénzértékben kifejezett tényszám, a következő

16. TÁBLÁZAT

Fajlagos karbantartási költségek

E r ő m ű	Karbantartás és felújítás/ összes term.ktg. %		Megjegyzés
	1960	1961	
Tiszapalkonya	4,5	6,3	
Borsod	8,3	9,0	
Ajka	6,6	5,6	
Mátra	8,1	8,7	
Budapest	9,6	8,8	
November 7.	6,1	6,3	
Pécs	8,0	5,0	
Bánhida	8,3	7,8	
Tatabánya	7,8		
Dorog	18,7	18,4	
Komló	10,7	9,7	
Salgótarján	8,7	8,2	
Ujpest, Révész u.	26,0	11,7	1961-ben összes fűtőerőmű
Tiszalök	26,0	20,5	1961-ben összes vizerőmű
Ö s s z e s e n :	8,3	8,0	

/Erőmi Tröszt KKSz,
György Vilmos adatai alapján/

évre pedig a tapasztalatok alapján általában jól becsülhető.

Kérdéses, hogy a fajlagos karbantartási költségeket hogyan kell számításba venni. Ideális az lenne, ha minden terhelési szinthez, sőt minden változáshoz külön hozzá lehetne rendelni a megfelelő részt, tehát meg lehetne állapítani, hogy egy erőmű, vagy egy erőművi nagyberendezés milyen terhelése milyen elhasználódást von maga után, az egyes változások külön milyen járulékos kopásokkal, igénybevételekkel járnak és mik azok következményei. Ilyen adat számítására nincs lehetőség. A megfigyelési intervallumok, a megfigyelhető azonos objektumok száma lényegesen kisebb, mint amiből bármilyen megbízhatóan általánosítható következtetést is lehetne levonni. Az ilyen irányú kísérletek /nagy számu azonos berendezés különböző szinten történő üzemeltetése/ megvalósíthatatlanok, illetőleg több nagyságrenddel drágábbak lennének, mint a várható gazdasági eredmény. Így meg kell elégednünk azzal az első közelítéssel, hogy a karbantartási és felújítási költségek egyenletesen terhelik az erőművet, azaz irányítási szempontból a termelés állandó költségeihez tartoznak. Ennek következtében a különböző terhelési szinteken /lévén feltételünk szerint a karbantartás üresjárású veszteségjellegű tényező/ a már említett 4-5 %-os különbségek tovább nőnek és nem elhanyagolhatókká válnak. Mindezek alapján a karbantartási-felújítási költségeket, mint állandó, a terheléstől független költségeket, célszerű a gazdaságos teherelosztás növekményköltség-számításánál figyelembe venni. Ez természetesen semmiféle járulékos nehézséget nem jelent, az önműködő számolóapparátust, annak algoritmusát nem befolyásolja, kizárólag az amugyis állandóan változó alapadatokat módosítja. Évesnél nagyobb ciklusok adatait megbízható, sokéves /5-10/ periódusok tapasztalatai hiányában még nem vehetjük számításba, de ezeket a mutatókat tovább kell figyelni. Kellően nagy számu és hosszú idejű megfigyelésből következtetni tudunk majd a sokéves átlagok hatására /ezek esetleg közelebb hozzák egymáshoz a kb. azonos típusu erőműveket/, továbbá az erőmű korának befolyására. Ez utóbbi hatás már az idézett táblázatnál is kitűnik, ha pontosabb összefüggés még nem is vonható le belőle.

4.3. A várható üzemállapotok értékelése

A következő, lényeges problémakör az optimális rendszerirányítás algoritmusának valószínűségi háttere. A diszpécserirányítás tervezett és ezért feltételezett kapacitásokkal és tevékenységének feltételezett következményeivel számol. Ezért valamilyen objektív módszert kell találni annak becslésére, hogy tetszés szerinti időpontban milyen kapacitások és milyen körülmények /feltételek/ mellett állnak rendelkezésre. Ezt a jellemzőt, amely a rendelkezésreállást, üzemkészséget jellemzi, a továbbiakban üzemkészségnek fogjuk nevezni. Megjegyezzük, hogy a szóhasználat vitatható /mint ahogy egy előzetes megbeszélésnél sok ellenvetésre is talált/, és talán nem fed teljesen a továbbiakban pontosan definiálendő fogalmakat, vagy nem felel meg mindenben a szó általában szokásos értelmezésének. Egy szóval kifejezhető jobb szót nem találván, egyelőre ezt a kifejezést alkalmazzuk, hangsúlyozva, hogy az üzemkészség szót az itt definiálendő értelmezésben használjuk.

Először egy általános sémát adunk az üzemkészség becslésére, amely - bár példaként mindig erőművet mond - valószínűleg lényegesen szélesebb körben alkalmazható. Ez a séma természetesen részben leegyszerűsített, részben merev, a problémakör első logikai megközelítését adja, módszertani kísérlet. Később igyekszünk a lehetséges adatokkal kitölteni, de látni fogjuk, hogy az alkalmazás még nagyon sok kérdés tisztázását, sokéves adatgyűjtést és a módszer igen kritikus ellenőrzését igényli.

A kísérlet során elvileg megvizsgáljuk, hogy lehetséges-e olyan objektív mérőszámot, következtetési módszert kidolgozni, amely alkalmas lenne az üzemkészség, tehát a várható üzemviszonyok önműködő figyelemmelkísérésére és ennek alapján logikai döntések hozatalára. Ha ilyen elvben lehetséges, milyen információk szükségesek ehhez, hogyan lehet azokat megszerezni és feldolgozni, mi az ennek alapján hozott ítéletek, következtetések megbízhatósága.

4.3.1. Az üzemkészség meghatározása

*reklamációk
ok 21*

Az üzemkészség az energiarendszer /vagy erőmű, vagy egyedi berendezés/^{x/} valószínű állapotainak idő szerint rendezett halmaza. Ennek a halmaznak minden pontjához hozzárendelhetünk egy vektort, amely az állapotot jellemző paraméterekből tevődik össze /pl. energiatermelés, költség, kiesési valószínűség, stb./. A teljes halmaz az energiarendszer diszpécserirányításának lehetséges megoldásait foglalja össze egy megoldástérben. Világos, hogy a döntést végző személy vagy gép csak azt a termelési kapacitást tekintheti biztonságosnak, amelyet a pillanatnyilag működő teljesítményszintek adnak. Valamennyi változás olyan átmeneti folyamatokat tesz szükségessé, amelyeknek sikerét csak valamilyen valószínűségi becslés alapján lehet előre megbecsülni. Így a teherelosztás szempontjából az adott állapotot teljesen jellemzi a pillanatnyilag termelt energia és annak költségei /vagy más olyan jellemzők, amelyek egyenértékien meghatározzák a költségeket/. Itt természetesen a későbbi állapotokat, mint csak valószínűségi alapon becsülhető lehetőségeket, még nem tárgyaljuk. Ennek alapján:

$$\ddot{U} = \{P, K\}_{t=t_0} \quad 46.)$$

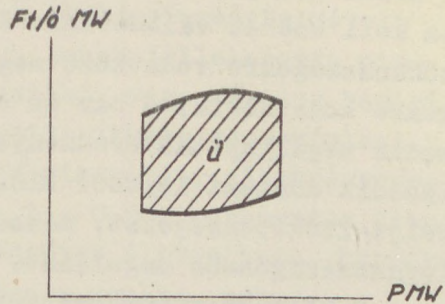
ahol \ddot{U} az üzemkészség, definíciónk szerint a fázis-térben azoknak az állapot pontoknak a halmaza, amelyek a $t = t_0$ pillanatban érvényesek, és a halmaz pontjai, a P (fejlesztett teljesítmény, MW és K költségek, Ft/óra). Ebben az esetben a fázisterek fázissikká degenerálódnak. /47. ábra/

A feladat az \ddot{U} megállapítása, illetőleg ennek a megállapításnak a módszerét kidolgozni a következő időszakra.

^{x/} A továbbiakban berendezés alatt minden esetben érthetünk teljes erőművet, vagy energiafejlesztő egységet /turbina, generátor, kazán, kazán-turbina blokk/ vagy olyan lényeges részt, amelynek fontos befolyása van az energiatermelésre. Így például egy ventilátor, vagy malom feltétele lehet egy kazán teljes, vagy részleges termelési kapacitásának.

Minden további időpontra történő becslés alapja a stacionárius állapotban várható változások és a terhelésváltoztatással együttjáró várható előnyök, hátrányok, valószínű események összegezése.

A becslésnél tehát figyelembe kell venni magának a becslésnek a valószínűségi megbízhatóságát, a berendezés várható t_0 és t időpontok közötti/ változásait, tehát a t időben várható előéletét is, sőt az üzemkészséget befolyásolhatja a t időpont utáni, várható, vagy kívánt utóélet is. /Pl. túlterhelés miatt a következő időszak üzemkészsége csökken, a berendezés hirtelen állapotváltozásának elkerülésére célszerű egy a következő időszakban szükséges állapot környezetébe beállni, stb./.



47. ábra

Az üzemkészség prediktív jellemzésére tehát a következők szükségesek:

- 1./ A teljesítőképességek valószínűségi eloszlása, az időtől és az átmeneti állapotok lefolyásától függően $/p_1/$.
- 2./ Az ezekhez az értékekhez tartozó valószínű költségeloszlások $/p_2/$.
- 3./ A költségeloszlások időintegráljai a számításba vehető menetrendek mentén $/p_3/$.

Azaz:

$$\ddot{U} = \left\{ p_1 = f_1(P, t); p_2 = f_2(K, P, t); p_3 = f_3(P, K, \int K dt) \right\} \quad 47.)$$

A három eloszlás szétválasztható és a gyakorlati kezeléshez szét is kell ezeket választani. Az első eloszlás csak a várható teljesítőképességekre vonatkozó megállapítás. A második a várható költségekre vonatkozik, s bár az első maga után vonja a másodikat, a második megállapítás eredménye nem helyettesítheti az elsőt. Ez egy második döntési lépcső. Először figyelembe kell venni a lehetséges teljesítőképességeket, másodsor ki kell választani ezek közül a leggazdaságosabb megoldást. A p_2 értelmezésénél hangsúlyozni kell, hogy a költségek nemcsak a P -vel, hanem t -vel is változhatnak /pl. ugyanaz az egység, ugyanolyan P teljesítmény mellett viszonylag rövidebb időszakon belül is változtathatja a határfokát éjszakaról nappalra, a hűtővíz hőfokok változása következtében/. A második kifejezés az állandósult állapotokra vonatkozik. A harmadik ezt kiegészíti az átmeneti állapotok következtében beálló változásokkal. Ez a harmadik kifejezés nem egyszerű vonal-integrál a $K(t)$ görbék mentén, amelyeket a második kifejezésből kaptunk, mivel az átmeneti állapotok következtében mindig pótköltségek lépnek fel.

Az eddigiek során feltételeztük, hogy a szükséges információk /valószínűségek, teljesítmény- és költségadatok, időfüggvények/ rendelkezésre állnak, kizárólag a döntéshez szükséges értékelés feladata áll előttünk. Ennek ellenére ez az idealizált feladat is egy sokdimenziós megoldástérben való tájékozódást igényel, és a tárgyalás során lényegesen egyszerűsíteni kell ahhoz, hogy gyakorlatilag használható eredményt és módszert kapjunk.

4.3.2. Az üzemállapotok osztályozása az üzemkészség szempontjából

Amint a 4.3.1. pontban említettük, a döntés első lépése a p_1 ismerete alapján történik, ezért a szabályozás gyakorlati alapja a teljesítőképességek valószínűsége.

A teljesítőképesség várható értékét háromfajta üzemállapotra külön tárgyaljuk:

a./ A berendezés normális üzemben dolgozik, hibajelzés nélkül, az engedélyezett működési időn belül. Mindkét feltétel az egyes berendezésekre egzaktan megfogalmazható, megállapítható, mit

tekinthetünk normális körülmények közötti üzemállapotnak /csapágy hőfokhatárok, rezgéshatárok, teljesítményfelvételi határok, egyéb objektív mérőszámok/. Ennek jellemzésére minden esetben elegendő véges számú fizikai, vagy esetleg kémiai jellemző ellenőrzése. Ugyancsak megállapítható tapasztalati alapon az üzemidő, amelyben két felülvizsgálat, alkatrészcsere között nagy valószínűséggel /pl. $p = 0,99$ / hibamentes üzemre lehet számítani. /Tipikus: rádiócsövek élettartama, kontaktusok működési száma, malom forgórészek kopása, stb./.

b./ A berendezés hibajelzés nélkül dolgozik, de az engedélyezett üzemidőn túl.

c./ A berendezés hibajelzést ad.

Mind a háromfajta üzemállapotot külön tárgyaljuk a következő

4.3.21., 22. és 23. pontokban.

4.3.21. Optimalizálás normális üzemállapotban /a üzemállapot/

Ebben az esetben a második egyenlet p_1 -e közelítőleg Poisson-eloszlást ad. Az a üzemállapot definíciója szerint egy hiba előfordulásának valószínűsége igen kicsi, a mintavételi lehetőségek száma pedig /azok az időszakok, amelyekben a hiba előfordulhat/ igen nagy. A megengedett működési időtartamot úgy állapítjuk meg, hogy ezalatt nincsenek különlegesen veszélyes időszakok, azaz a kassési valószínűség az egész időtartam alatt egyforma. Ezzel a három feltétellel kielégítettük a Poisson-eloszlás követelményeit. A Poisson-eloszlásnak azonban nincs prediktív jellege a rövidebb periódusokra /pl. egy 5000 órás engedélyezett működési időn belül nem lehet megbízható valószínűségi becslést adni egy meghatározott 1 vagy 8 órás időszakra/. Mindezeket figyelembevéve az a üzemállapotban dolgozó berendezéseket ebből a szempontból egyenértékűeknek kell kezelnünk. Ez annyit jelent, hogy döntéseinket, azaz a teherelosztást az erőművek, egységek, stb. között a kiesési valószínűség figyelembevétele nélkül kell elvégezni. Ha csak olyan berendezéseknek kell üzemelniük, amelyek az a üzemállapotban dolgoznak, a megengedett teljesítmény-határok között, a programozást a nemlineáris

programozás jól ismert módszereivel lehet elvégezni /pl. gazdasá-
gos teherelosztás/.

Figyelembe kell még venni azonban az átmeneti folyamatok időfüggvényeit és az átmeneti folyamatok költségintegráljait. A változatokat számítógépi apparátusnak tehát tárolnia kell az átmeneti folyamatok időfüggvényeit és az ezekhez tartozó költségértékeket. Erre tehát az eddig kidolgozott gazdaságos teherelosztó automaták /az amerikai irodalomban automata terhelés diszpécserék/ már nem alkalmasak.

A 4.5. pontban röviden ismertetjük a lehetséges megoldásokat.

Megvilágítja a problémát a következő példa:

Egy erőmű 4 egyforma kazánal jár, mindegyik 90 %-os terheléssel. Ha az igény úgy nő, hogy a kazánok terhelését 100 %-ra kell fokozni, felmerülhet az a változat is, hogy egy ötödik, hasonló teljesítőképességű kazánt is üzembeállítanak és így az egyes kazánok 80 %-os terheléssel járhatnak, ami általában az optimális határfok körüli terhelés. Ebben az esetben mérlegelni kell az átmeneti állapot /felfűtés, esetleges későbbi leállítás, a többszöri indítással, leállítással bekövetkező élettartam csökkenés, stb./ költségeit a várható tartamu állandósult állapot megtakarításával szemben.

Igy a döntés menete a következő: adott egy valószínű menetrend bizonyos hosszabb időszakra /1-2 nap/. Egyes erőművekben a rendszeroptimumra előírt feltételeket /növekményköltségek egyenlősége/ különböző utakon lehet elérni. Ha egy variáció az előírt időtartamon belül az átmeneti állapotok tartama miatt nem valósítható meg, úgy az nem jön számításba. /Például egy hideg kazán felfűtési ideje tulságosan hosszú egy hirtelen felmerülő többletigény fedezésére./ Ezt a tárolt átmeneti időfüggvények automatikusan is kiadhatják. A költségintegrálást ezekre a lehetséges variációkra a teljes menetrendi tartamra el kell végezni. A döntést nyilván az optimális /legkisebb költségintegrált adó/ ut szolgáltatja, mivel más szempontokat most már nem kell figyelembe venni. Így a kérdés klasszikus variációszámítási problémává válik, az adott függvényosztályokon belül /átmeneti növekményköltséggörbék/ kell a minimális integ-

rált adót kiválasztani,

$$\text{az } J = \int_{t_0}^{t_1} K [P(t)] dt \quad 48.)$$

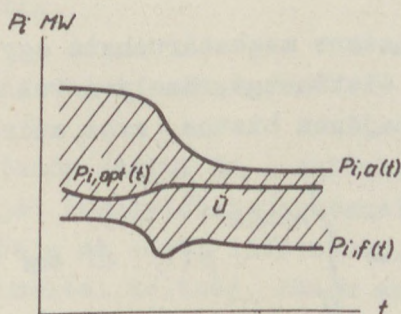
függvényt kell minimalizálni. P itt a pillanatnyi erőművi teljesítmények vektora $[P_1, P_2, \dots, P_n]$. Tehát feladatunk az optimális P/t függvények kiválasztása az adott korlátok figyelembevételével.

A fentiek szerint tehát az U üzemkészség a t időpontban műszakilag lehetséges P teljesítőképesség-értékek halmaza, ahol minden P értékhez tartozik egy K érték /az állandósult állapot költségei/ és minden $P_i = P_i/t$ görbéhez egy $\int K_i dt$ integrált költséggörbe. Még egyszer hangsúlyozni kell, hogy $\int K_i dt$ értékek általában nem azonosak a K értékek összegezésével a választott $P_i = P_i/t$ menetrend szerint. Az egyes $P_i = P_i/t$ görbék az i -edik berendezés lehetséges teljesítmény-menetrendjei, a P -t síkokon egy-egy egyszerűen összefüggő zárt felületet alkotnak. Ugyanez vonatkozik a hozzá tartozó K és $\int K dt$ értékekre /48. ábra/.

Összegezve: adva vannak a $P_i = P_i/t$ görbék lehetséges síkfelületei, ezeken kell találni egy-egy olyan optimális görbét, hogy a görbéhez tartozó $\int K dt$ értékek összege minimum legyen, tehát keresendő a

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \int_{t_0}^{t_1} K_i [P_{i, \text{opt.}}(t)] dt \quad 49.)$$

megoldás.



48. ábra

4.3.22. Az engedélyezett üzemidő utáni állapot figyelembevétele
/b üzemállapot/

Bonyolultabb a helyzet a b esetben. Az engedélyezett üzemidő túl-
lépése a kiesési valószínűséget növeli, ezzel növeli az egész rend-
szert terhelő költségtöbblet valószínűségét, továbbá általában nö-
veli a karbantartási költséget is /fokozott tönkremenés, hosszabb
karbantartási idő/. Ebben az esetben a következő kérdéseket kell
tisztázni:

- 1./ Hogyan változik az engedélyezett üzemidő letelte után a
berendezés kiesési valószínűsége?
- 2./ A berendezés kiesésének milyen gazdasági következményei
lesznek az energiarendszerben?
- 3./ A berendezés továbbjáratása milyen gazdasági következmé-
nyekkel jár a berendezés további életében? /Karbantartás,
magnövekedett energiafogyasztás, rosszabb hatásfok, stb./

ad 1./ Világos dolog, hogy az engedélyezett üzemidő letelte után a
kiesési valószínűség már nem Poisson-eloszlású. Az engedé-
lyezett működési időt éppen úgy határoztuk meg, mint annak
a működési időtartamnak a határát, amíg a kiesési valószínű-
ség igen kicsi és amely alatt minden időben egyforma a kie-
sési valószínűség. Ez után a határidő után ezek a feltételek
már nem teljesülnek, a kiesési valószínűség időről-időre
változik, van sűrűsödési szakasza /vagy szakaszai/, azaz a
viselkedése nem Poisson-eloszlású.

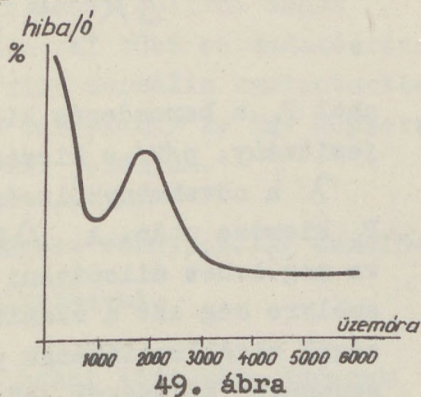
Minden berendezésre meghatározható egy olyan $T_{max,é}$ maximá-
lis valószínű élettartam, amelyen túl a berendezés tönkre-
menetele már majdnem biztos, azaz amire az eloszlás-függ-
vény:

$$F(p) = \int_0^{T_{max,é}} p(t) dt \approx 1 \quad 50.)$$

A p/t/ sűrűség-függvényt a fentiek és a tényleges üzemi statisztikák figyelembevételével kell minden berendezésre megállapítani. Nem bizonyos, hogy ez a függvény a $T_{\max, \epsilon}$ -ig monoton nő, mint már említettük, lehetnek sűrűsödési szakaszai is. Bár az elektronikus berendezések viselkedése nem jellemző az erőművekre, ezen a területen végzett rendszeres statisztikai vizsgálatok jól mutatják a hasonló kiesési valószínűségi eloszlások alakulását /49. ábra/.

Az ebben a pontban tárgyaltak a T_p és $T_{\max, \epsilon}$ időpontok közötti időszakokra vonatkoznak.

A kiesésnek az energiarendszerre gyakorolt gazdasági hatását a következő lehetőségekre bonthatjuk szét:



- a./ A hiba jellege olyan, vagy a rendszer hirtelen igénybevehető tartalékainak helyzete olyan, hogy az energiarendszerre semiféle gazdasági következménnyel nem jár. Ezt az esetet nem kell tárgyalni, mivel nem érinti az e pontban felvetett kérdést.
- b./ A berendezés kiesése a termelői oldalon átmeneti folyamatokat von maga után. /Együttműködési csereteljesítmény változtatása, új berendezések felfűtése, stb./. Ezeknek bizonyos gazdasági következményei vannak /több teljesítményvételezési pönálé, felfűtési költség, stb./. A fogyasztói oldalt a változások /kiesés, stb./ nem érintik.
- c./ Fogyasztói korlátozás válik szükségessé.

A b./ és c./ esetben először zárjuk ki a szimultán hibák esetét. A berendezés helyén /saját vezénélőberendezésnél/ ismeretes a teljes rendszer költséggörbéje az adott időpontban, azaz nemcsak a pillanatnyi rendszer-termelési költség, hanem annak alakulása a lehetséges maximális terhelésig, beleértve a fogyasztási korláto-

zási határt /50. ábra/. A fogyasztói korlátozási határ a növekményköltséggörbén ugrásszerű változást okoz. Ezen görbe ismeretében a berendezésre büntetőtarifát lehet megállapítani, amely egyben eldönthetővé teszi, hogy a berendezés üzem-bentartása célszerű-e még. A büntető ΔK_{b_1} többletköltség:

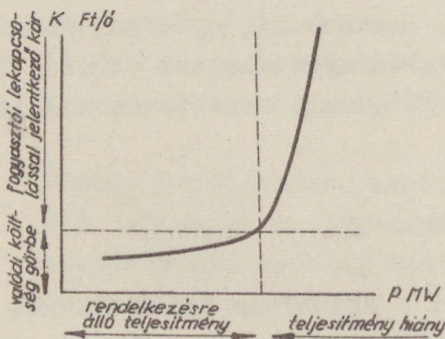
$$\Delta K_{b_1} = p(t) \cdot P_k \cdot \lambda \cdot Ft/\text{ó} \quad 51.)$$

ahol P_k a berendezés kiesése következtében kieső teljes teljesítmény, $p(t)$ a kiesés 1 órára számított valószínűsége,

λ a növekményköltség az adott rendszerteljesítményen, P_k kiesése után. A ΔK_{b_1} lehetséges értékeit figyelembevéve meg lehet állapítani azt a minimális berendezésszámot, amelyre még ezt a számítást el kell végezni. A termelési költségek megállapításának pontossága, a további információkhoz szükséges költségek /műszer, csatorna, stb./ ésszerű határt szabnak arra, hogy mely berendezéseket /milyen nagyságrendű, lehetséges P_k kieső teljesítőképességeket/ érdemes még figyelembe venni.

Szimultán hibáknál figyelembe kellene venni két berendezés p_i/t és p_j/t kiesési valószínűségeinek együttes következményeit. Az ilyen valószínűségek általában kicsinyek, a fi-

gyelembevétel viszont igen bonyolult, sok információt igényelne. Néhány nagyon fontos, esetleg determinisztikusan is összefüggő együttes kiesést a feltételes valószínűségek alapján egy növelt ΔK_{b_1} értékkel lehet számításba venni. Egyéb esetben a helyzet súlyosságát a központi diszpécser /-berendezés/ úgy érzékeli, hogy figyelemmel kíséri, hány berendezés jár lényeges büntetőtarifával.



50. ábra

ad 3./ A berendezés, vagy erőmű többletköltségeit az engedélyezett üzemidő után hasonló módon, a 2./-ben tárgyaltak alapján lehet számítani. Ha a berendezés a megengedettnél hosszabb időn túl történő üzemeltetése többletköltséggel jár az üzem szempontjából, azt szintén további büntetőtarifával kell figyelembe venni. A p/t/ függvényhez hasonlóan, esetleg azzal teljesen azonos alakban lehet felírni ennek eloszlását. /Pl. egy bizonyos időn túl több berendezésrész szétbontása, cseréje szükséges, mint normális karbantartásnál, ennek költségei az üzemidőt terhelik./ Az így képzett többlet-büntetőköltseget ΔK_{b_2} -vel jelöljük.

A ΔK_{b_2} számításának szükségességére vonatkozólag az előzőekben adott kritériumot kell alkalmazni.

Egyes berendezéseknél az indítás utáni közvetlen időszak is fokozott meghibásodási valószínűséggel jár. Erre az időszakra a számítás teljesen megegyezik a megengedett időszak utáni tartamra mondottakkal.

4.3.23. Hibajelzések figyelembevétele /c üzemállapot/

A legélesebb a döntés szükségessége abban az esetben, ha egy lényeges berendezés hibajelzést ad. Ebben az esetben akkor nevezünk egy berendezést lényegesnek, ha gazdaságilag érezhető teljesítőképességváltozást okozhat. Itt a döntést két tényező szabja meg: a hibajelzés minősége és a rendszer állapota.

A hibajelzések osztályozása az üzemkésztség szempontjából:

- 1./ Azonnali tönkremenés és emiatt termelés kiesés áll be. Ebben az esetben a központi irányító /berendezés/ a rendelkezésre álló teljesítményt adott értékkel csökkentve veszi a továbbiakban figyelembe, azaz egyenleteinkben a P változik.

2./ Üzembentartás esetén T_t időn belül előreláthatóan tönkremenés, súlyos károsodás áll be. Ebben az esetben a berendezést azonnal büntetőtarifával kell figyelembe venni, úgy, hogy a költséggörbe a T_t időnél a berendezés kiesésének javításánál fellépő teljes kárt /javítási többletidő, több alkatrész cseréje, hosszabb kiesés, stb./ elérje. Ez a prediktív költséggörbe biztosítja a berendezésnek a teljes rendszer állapota figyelembevételével helyes időben történő kikapcsolását, új tartalékberendezések előkészítését.

21./ Bizonyos teljesítményhatáron felül /tehát a berendezés kihasználhatóságának bizonyos fokán felül a tönkremenés valószínűsége $T_{t,k}$ időn belül majdnem biztos. Ez a 2./ álesete. Nagyobb egységeknél, amelyek több párhuzamos részből állnak, az egyik rész kiesése teljesítőképesség-csökkenést okozhat. Ha ezt a csökkent teljesítőképesség-határt átlépjük, a még ép párhuzamos berendezésrészek túlterhelődnek és bizonyos időn belül tönkremennek. Ezt a határt egyszerűen figyelembe vehetjük a 2./-ben megszabott büntetőtarifával, amely az előírt csökkent teljesítőképesség-határ felett lép életbe.

3./ További üzembentartás esetén a berendezés tönkremenésének valószínűsége lényegesen nagyobb, mint normális üzemben. A büntetőtarifa hasonló az 51./ képlethez.

4./ A hibajelzés rosszabb jellemzőkkel való járást mutat. Csökkent a hatásfok, a költséggörbe ennek megfelelően változik.

5./ Figyelmeztetés az üzemnek, a diszpécserirányításra háruló következmény nélkül. Ezt az esetet itt nem kell tárgyalni.

Gépesítés esetén természetesen valamennyi előrelátható lényeges hibajelre tárolni kell a következményeket /a büntetőtarifa menettét/. Ha ez a funkció még nincs gépesítve, a közbenső információt

- a hibajel következményét a költséggörbére - a diszpécsernek kell megadnia.

4.4. A szükséges információk mennyisége és az optimalizálás menete

A fentiekből összefoglalható az üzemkészségre vonatkozó vizsgálatok és az optimalizálás menete.

A döntéshez /optimalizáláshoz/ szükséges információk:

- 1./ A berendezésre /pl. erőmű vonatkozó statikus költséggörbék $K = K/P$ állandósult állapotban, $t_0, t \dots t_n$ időpontban, vagy $K = K/t$ görbék $P_a, P_1 \dots P_n, P_f$ teljesítményre, ahol P_a az alsó és P_f a felső rendelkezésre álló hátteljesítmény az idő függvényében.
- 2./ A $P_{tr} = P/t$ lehetséges átmeneti folyamat görbéi, az átmeneti folyamatok sebességei és a folyamat kezdő időpontja szerint rendezve.
- 3./ A $P_{tr} = P/t$ átmeneti görbékhez tartozó $\int K dt$ görbék.

A fentiekben a már tárgyalt büntetőtarifák természetesen bennfoglaltatnak.

A felsorolt három görbesereg a gyakorlat számára elfogadható módon, viszonylag nem sok adattal rögzíthető. Az egyes görbék igen jól közelíthetőek, /a jelenleg használt statikus növekményköltséggörbék tapasztalataiból kiindulva/ 10 ponttal. A figyelembeveendő variációk száma /felfutási sebességek, lényeges változások száma/ a berendezés /erőmű/ állapotában a következő 24-48 órában szintén nem valószínű, hogy túllépi a 10-et. Így az adat egyik koordinátáját címével rögzítve maximálisan 300 tárolandó értéket kapunk egy-egy berendezésre. Az adatok változási sebessége megengedi, hogy a jelenleg rendelkezésre álló információs csatornákon /pl. telefon/ azok mindenkor megfelelő biztonsággal, automatikusan továbbíthatóak legyenek. Az egyes erőművekben a hibajelzéssel kapcsolatos döntésekhez rendelkezésre kell állniuk a teljes rendszer összesített

24-48 órára szóló költséggörbéinek, ami az előzőek szerint kb. 100 információ.

Ezekben a számokban természetesen nem szerepelnek a rendellenes üzemállapottal kapcsolatos feladatok. Ezek feldolgozása az erőművi üzemellenőrzés feladata, az erőmű és a diszpécserközpont közötti hírközlő csatornát ezzel nem érdemes terhelni. Ha egy erőműben durván 1000 megfigyelendő adattal számolunk, adatonként 10 tárolható döntéssel, kb. 10.000 adat feldolgozásáról van szó, ami figyelembevételével a folyamatok sebességét, viszonylag kis kapacitású és lassu adatfeldolgozó berendezéssel is megoldható. Az 1000-es nagyságrendű adat az irodalom alapján elfogadható, a legtöbb adatnál 2 /alsó, felső határ/, vagy 4 /alsó vész-, alsó figyelmeztető, felső figyelmeztető, felső vészhatár/ értéket kell figyelembe venni; a tárolandó görbék miatt számolunk a maximális 10-es szorzóval.

Az adatfeldolgozó berendezés az egész egységre /pl. kazán-turbina blokk, erőmű/ adja meg a $K/P, t/$, $P_{fel}/t/$ és $\int K dt$ görbéket.

4.5. Vázlat egy optimális megoldást kereső algoritmus készítéséhez

Az optimális elosztás keresésének kiindulópontja a statikus költségek optimalizálása, azaz kiindulva a t_0 időpontban várható $\sum P_i$ terhelésből, elvégezzük a gazdaságos elosztást az ismert eljárással a feltételes szélsőértékek Lagrange-multiplikátoros módszerével. Ugyancsak hasonló módon végezzük el az elosztást az összes többi $t_k'' - t_k'$ időszakra, amikor a rendszer terhelése közel állandó, az állapot stacionárius. Ezekre az időszakokra ugyanis az $\int K_1 dt$ költségértékek az egyes P_i teljesítményértékekhez rendelt K_1 költségek egyszerű integrálásából adódnak.

Külön kell vizsgálni a helyzetet a következő tranziens állapotokra:

a./ a rendszer összterhelése ($\sum P_i \neq \text{áll.}$) változik

b./ egy /vagy több/ egység /erőmi/ teljesítménye változik $P_i \neq \text{áll.}$

c./ egy vagy több egység /erőmi/ költséggörbéje változik

$$K_1 = f/P_i / \neq \text{áll.}, \text{ ha } P_i = \text{áll.}$$

Az a./ és b./ eset lényegében azonos, a rendszer szempontjából hasonló a helyzet, ha a szükséglet nő, vagy ΔP -vel, vagy egy termelő kiesése miatt a szükséglet állandó ugyan, de ΔP -vel kell növelni a többi egység össztermelését, hogy a hiányt fedezzék. A c./ eset külön tárgyalandó, mivel ebben az esetben az is lehetséges, hogy semmiféle teljesítményváltoztatás nem indokolt.

4.5.1. Számítási elv teljesítményváltozási esetekre /terhelés, termelői teljesítmény

Az a./ és b./ esetben első lépésként el kell végezni a statikus gazdaságos elosztást a ΔP -vel módosított teljes terhelésre. Utána az egyes egységekre tárolt átmeneti folyamatgörbék segítségével ki kell választani a műszakilag lehetségeseket, /amelyek kielégítik az adott idő alatt elvégzendő terhelésváltoztatást/. Ezek közül kiválasztandóak a legkisebb $\int K_1 dt$ tranziens költséget tranz

adók. Az így kapott ΔK_i dt értékeket hozzá kell adni a ΔP -vel módosított új állandósult állapot költségelosztásához, amelyet integrálunk az új állandósult állapot várható idejére. A feladatot a korábbi, stacionárius állapotokra kidolgozott számítási módszereink alkalmazására az alábbi módon is megközelíthetjük:

Az átmeneti állapotok költségkihasználásának figyelembevételére a hatást mindig az elérendő állandósult állapot tartamára kell vonatkoztatni. Ha az i -edik erőmű k -adik műszakilag megvalósítható átmeneti állapotának /pl. turbinaindítás, kazánleterhelés, stb./ költsége ΔK_{ik} [Ft], az átmeneti állapot időtartama $T_{tr\ 1}$, a következő állandósult állapot időtartama $T_{st\ 1}$ /51. ábra/, értelmezhetünk egy redukált tranziens növekményköltséget:

$$\lambda_{tr,ik} = \frac{\Delta K_{ik}}{\Delta P_{i1} (T_{tr\ 1} + T_{st\ 1})} \quad 52.) , \text{ ahol}$$

ΔP az ik -adik tranziens révén elért teljesítményváltozás /természetesen ez lehet pozitív és negatív irányú is/. A $T_{st\ 1}$ időszakra a $\lambda_i = \lambda_{i0}(P_1) + \lambda_{tr\ ik}$ növekményköltséggel kell számolni, ahol $\lambda_{i0}(P_1)$ a szokásos módon, az i -edik erőmű P_1 teljesítményére számolt növekményköltség.

Céloztunk már arra a körülményre, hogy az optimalizálásnál nem elegendő egy lépcsőt számítani, ugyanis tekintetbe kell venni a következő teljesítményváltoztatás hatását is, amit az 50. ábrán a $T_{tr\ 2}$, ill. $T_{st\ 2}$ időszakra mutatunk be. Ez a változás lehet a korábbi, első lépésben bekövetkezett változással megegyező, vagy ellenkező irányú is.

A várható hatás igen lényeges lehet. Tétélezzük fel, hogy a ΔP_1 teljesítménynövelésnél egy újabb gépegység üzembevétele, vagy a már működők további terhelése között kellett dönteni. Ha ΔP_2 változás további növekedést ír elő, az az újabb egység üzembevételét tovább indokolja, ha a ΔP_2 csökkenést jelent, úgy a lehetséges túlterhelés mellett célszerű állást foglalni.

Meg kell jegyezni, hogy ez a feladat a Bellman által megfogalmazott dinamikus programozás tipikus esete, egy többlépcsős, optimalizálási folyamat problémája. A megoldást azonban egyelőre a klasszikus módszerek általánosításával igyekszünk megközelíteni.

Az előző módszert kiterjesztve a következő utat választjuk:

A T_{st} időszakra elvégezzük a stacionárius és a tranziens üzemállapotot figyelembevevő elosztást, azaz az elosztást λ_i és λ_{i0} szerint. Ahol ez a két elosztás a megengedhető eltérési határon túl mutat különbséget /általában 1-2 %/, mindkét eredményt tároljuk. Most elvégezzük ezt az elosztást a T_{st} időszakra, kiindulva a T_{st} időszakra nyert mindkét eredmény terheléseloszlásból /a P_1 -nek a λ_i és a λ_{i0} alapján kapott esetleg különböző értékeiből. A T_{st} -re történő elosztás a $\lambda_{tr i}$ -k alapján, tehát csak a tranziens költségek figyelembevételével történik. Az alternatív megoldásokra kiszámítjuk a teljes utra vonatkozó $/T_1+T_2/$ költségintegrált és a legkedvezőbbet választjuk.

Lehet, hogy ez a számítás még mindig nem ad egyes részletekre megnyugtató eredményt. A lényeges döntéseket mindenképpen elvégzi /új berendezés üzembehelyezésének, vagy leállításának indokoltságát/, mivel ez ugrásszerű változással jár, ami ebben a döntési periódusban kifejezésre jut. Előfordulhat azonban, hogy bizonyos alternatíva nem ad teljes megoldást, például a közbenső T_{st} időszakra nem teljesül a $\sum P_i = P_{fogy}$ feltétele, azaz a javasolt optimális teljesítmények összege nem fedezi az előírt szükségletet. Ennek a problémának a megértéséhez figyelembe kell venni, hogy a döntés, illetőleg a teljesítményváltoztatási lehetőség kétirányú, az egyik diszkrét, a másik folytonos. A diszkrét döntés egy-egy berendezés be-, illetve kikapcsolásával, a korábbiakban már említett diszkrét tranziens utakkal kapcsolatos. A másik, folytonos irányú változást az egyes egységek folytonos terhelésváltoztatása jelenti. Az utóbira, ha a kétlépcsős számítás során még nincs megnyugtató eredményünk, a költséggradiensek irányában történő lineáris interpolációval végezhetünk korrekciót.

Kritikus esetekben a döntési folyamatot három lépésre kell kiegészi-

teni, teljesen hasonló eljárással, bár ez már igen sok számítási munkát igényelhet. Kellő adat birtokában előzetes modellkísérleteket kell végezni arra vonatkozólag, hogy ilyen szükséglet egyáltalán felmerül-e?

4.5.2. Számítási elv a költséggörbék változásának esetére

Korábban utaltunk azokra az esetekre, amikor az egyes egységek, erőművek fajlagos költségei az időben változnak. Ebben az esetben a kiindulás a változó fajlagos költségek alapján készített menetrend a teljes előirányzott periódusra. Ez a menetrend az egyes erőművekre meghatározott átmeneti folyamatokat ír elő. Ezekre az átmeneti folyamatokra meghatározzuk az előbbieken definiált tranziens növekményköltségeket. Ha a tranziens növekményköltségekkel korrigált menetrend nem különbözik az engedélyezett hibahatáron túl a statikus menetrendtől, a számítási folyamat befejeződött, ha lényeges eltérést ad, lineáris interpolációval közelítjük meg a helyes eredményt.

4.5.3. A tranziensek kiválasztása

A megoldási ut általános kijelölése után rátérünk az algoritmus felállítására. Első feladat a tranziensekkel kapcsolatos műveletek meghatározása.

A tranziensekre vonatkozólag a következő adatok tárolása szükséges:

- a./ A tranziens időbeli lefolyására jellemző adatok. Lengésmentes átmeneti teljesítménygörbéket feltételezve, céljainknak megfelelően egy holtidős, egytárolós elemmel való közelítés, azaz a T_{tr} holtidő és a T_{tr} időállandó megadása. Ezeket az időértékeket elegendő két-két oktális számmal rögzíteni, az első a nagyságrendet /mp, 10 mp, perc, 10 perc, óra/, a második a mantissza jellegű osztást tartalmazza a nagyságrenden belül. Valószínűleg kielégítő a még takarékosabb jellemzés az 1 mp-től kb. 12 óráig / $4 \cdot 10^4$ mp/ terjedő szakasz másodperc számra vett kétjegyű, két-két bináris értékkel közelített logaritmus.

b./ A tranzienst lehetséges irányára vonatkozó közlések /teljesítménynövelés, - csökkentés, tetszőleges/ - 2 bit.

c./ A tranzienst abszolút és relatív alsó és felső határteljesítményei. /Relatív határteljesítmények a tetszőleges, éppen leadott teljesítményhez adódnak, vagy abból vonódnak le, a b./ által előírt irányban./ A kétféleképpen /abszolút és relatív/ megadott határteljesítmények ellentmondása esetén a szigorubb érvényes. - Két binárisan kódolt oktális jeggyel megadva - $6 \times 4 = 24$ bit.

d./ A tranzienst költségei állandó és változó értékre bontva, a teljes tranzienst időtartamra $(\tau_{tr} + \frac{3}{2} T_{tr})$ integrálva^{x/}:
 $K_{tr 0}$ /állandó/ Ft és $K_{tr/P}$ /változó/ Ft/MW, mindkét költség-tényező logaritmikusan, két oktális jegyet adva $2 \times 4 = 8$ bit.

A teljes szükséglet 46, illetve takarékosabban 42 bit, ami még megfelel egy normális szóhossznak.] ?

A fenti módon, egy szóban tárolt tranzienstek hovatarozását /mely erőmüre, egységre vonatkoznak/ a memóriarekesz címe határozza meg. A következő lépés egy kiválasztó algoritmus felállítása, a tranzienst értékelésére. Az első kielégítendő feltétel, hogy a tranzienst időbeli lefolyása megfeleljen a szükségleteknek. A menetrendkésztő programnak rendelkezésre áll a teljes rendszerre vonatkozó menetrend, azaz a változási szakaszokat törtvonallal jellemző $(\sum P_i, t_j)$ értékek, amelyekből az adott t_x időpont és a következő, t_j -edik időpontban szükséges változáshoz hátralévő idő, a $t_j - t_x$ számítható, innen a kiválogatás a

$$\tau_{tr} + \frac{3}{2} T_{tr} \leq t_j - t_x$$

alapján történik.

^{x/} A 3/2-es szorzó abból adódik, hogy az időállandó kb. 2/3-a az 5 %-os hibával számított állandósult állapot eléréséhez szükséges időnek.

A tranziens iránya, abszolút és relatív határteljesítményei adják a kiválogatás következő lépcsőit. Ha a tranzienszt jellemző szó 9. és 10. bitje

01	$\Delta P > 0$
10	$\Delta P < 0$
11	$\Delta P \leq 0$

kóddal definiált, úgy a megfelelő rekeszek hagyandók csak meg a további döntéshez. Ezután a statikus elosztás alapján adódó ΔP_1 -ket kell a rendelkezésre álló, még meghagyott tranziensekkel összehasonlítani. A 11-16 bit helyen tárolt P_{atr} alsó, illetve a 17-22 helyen tárolt P_{ftr} felső, abszolút határértékre

$$P_0 \geq P_{atr} \quad \text{és} \quad P_0 + \Delta P_1 \leq P_{ftr}, \quad \text{ha} \quad \Delta P > 0 \quad \text{és}$$

$$P_0 \leq P_{atr} \quad \text{és} \quad P_0 - \Delta P_1 \geq P_{ftr}, \quad \text{ha} \quad \Delta P < 0$$

illetve a 23-28 helyen tárolt P_{artr} alsó relatív tranziens határra és a 29-34 helyen tárolt P_{frtr} felső relatív tranziens határra:

$$P_0 + \Delta P \geq P_0 + P_{artr} \quad \text{és} \quad P_0 + \Delta P \leq P_0 + P_{frtr}, \quad \text{ha} \quad \Delta P > 0 \quad \text{és}$$

$$P_0 - \Delta P \leq P_0 - P_{artr} \quad \text{és} \quad P_0 - \Delta P \geq P_0 - P_{frtr}$$

összehasonlításokat kell elvégezni.

Az eddig leírt összehasonlítások egyidejűleg is elvégezhetőek egy olyan szubrutinnal, amely a statikus elosztás alapján kapott értékeket szintén egy kb. 26 bites szóba írja, az értékeknek megfelelő, az a./ - c./ alatt előírt átalakításával. A megfelelő összehasonlítások így párhuzamosan történhetnek, azt a tranzienszt szabad csak a továbbiakban figyelembe venni, amely mindegyik összehasonlításnál, egyidejűleg megfelelt, azaz ha a feltételek eredményei a, b, c_a és c_r /abszolút és relatív határteljesítmények/ 1 és 0 értéket

vehetnek fel:

$$a b c_a c_r = 1$$

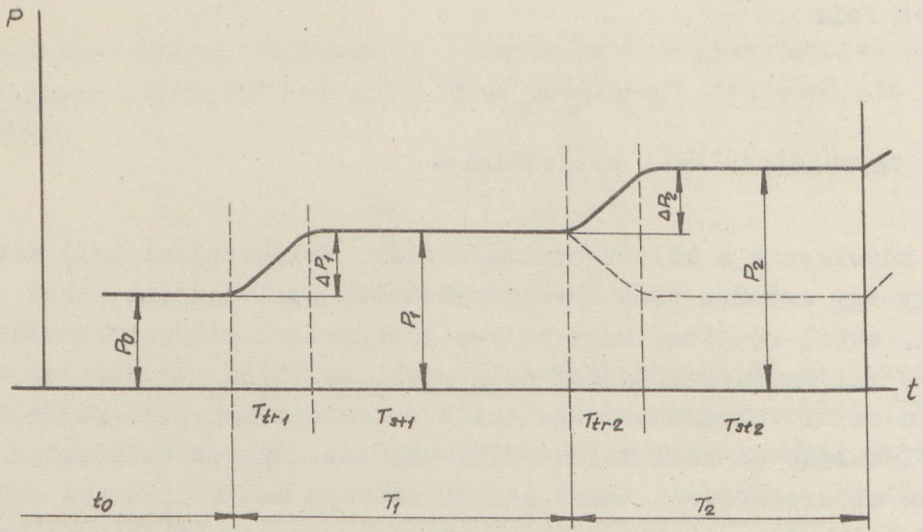
logikai egyenletnek kell teljesülnie.

Ezután következik a költségoptimalizálás. Emlékeztetni kell arra, hogy egy-egy erőmüre több növekményköltség-jelleggörbét lehet megadni, attól függően, hogy milyen gépegységek milyen terheléssel /esetleg milyen kapcsolatban/ dolgoznak. Az ilyen, viszonylag rövid időn belül választható variációk száma nem nagy, ezekre a statikus elosztást el kell külön-külön végezni. Így az előzőekben a statikus elosztásra vonatkozó adatok esetleg nem egy, hanem esetleg 2, legfeljebb 3 variációt jelentenek. Egy-egy variációhoz a lehetséges tranziensek közül csak egy, vagy néhány tartozik, így az összehasonlításokat csak a statikus elosztás alapjául feltételezett növekménygörbéhez tartozó tranziensekre kell elvégezni. Ezt a kapcsolatot előre rögzíteni lehet, induló állapot és a lehetséges új állapotok /növekménygörbék/ közötti áttérés a memóriarekesz számával rögzített tranzienseket érint.

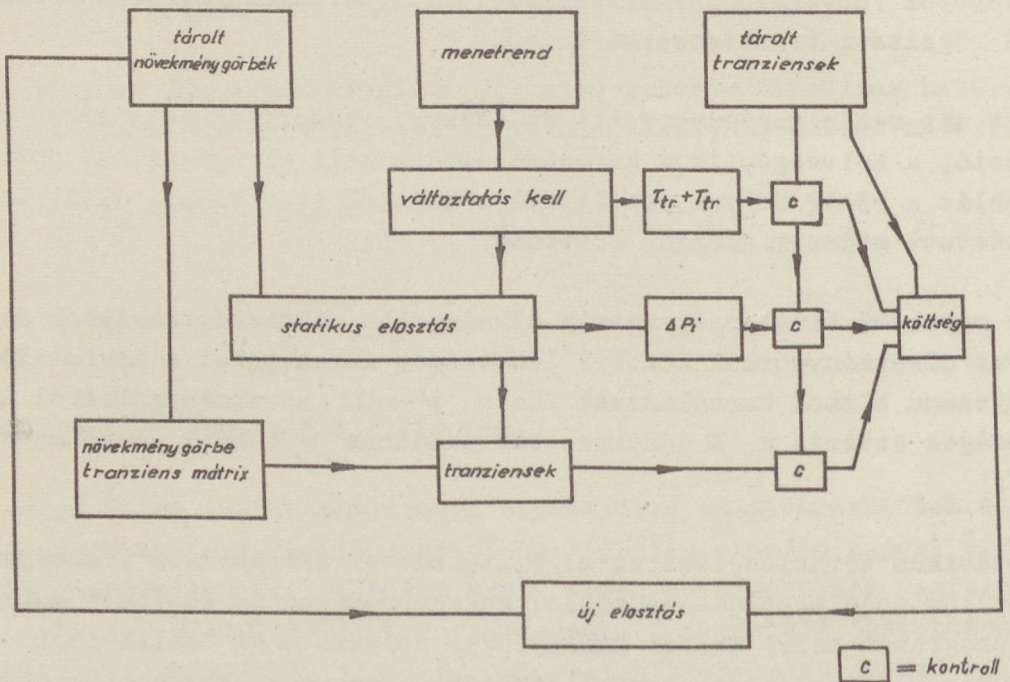
Most már rendelkezésünkre áll az összes, műszakilag lehetséges variáció, a költségoptimum keresést ezekre kell elvégezni. Az optimalizálás a 35-42 helyen tárolt költségadatokat és a 4.4.1. alatt ismertetett módszer alapján történik.

Egy egyszerű kiválasztó-mátrix alkalmazása célszerű, amelyben az egyes növekménygörbék közötti lehetséges átmeneteket a megfelelő helyszámu elemek tartalmazzák /ha a ν -edik növekménygörbéről lehetséges áttérés a μ -edikre, ezt a mátrix ν/μ -edik eleme mutatja/.

A statikus terheléselosztás algoritmusát az amerikai és a szovjet irodalom több megoldásban közli, Magyarországon az említett kutatási programon belül Kaiser Mihály [79] dolgozott ki önálló gépi programot a gazdaságos teherelosztásra. Ezekre a programokra egyelőre nem térünk ki, feltételezzük, hogy egy ilyen algoritmust átvevünk. A számítások vázlatát az 52. ábra mutatja.



51. ábra



52. ábra

4.6. A diszpécserirányítási algoritmus adatszolgáltatási problémái

Az előzőekben körvonalazott általános módszer és algoritmus különös ellentmondására kell rámutatnunk. Felállítottunk egy igen általános, mint látni fogjuk, egyenlőre adatokkal nehezen kitölthető sémát és egy bizonyos irányokban elég konkrét javaslatokat tartalmazó lehetséges algoritmust. Ennek a tárgyalásmódnak határozott célja és oka van. Meg kellett mutatni, hogy a feladat megoldása megfelelő adatok birtokában lehetséges, sőt a jelenlegi technikai színvonalon nem is igényel tulságosan nagy információcsatornát és számítási kapacitást. Ha ezt a lehetőséget nem mutatjuk meg, esetleg nem is lenne érdemes hozzáfogni az adatok előkészítésének sokéves, fáradságos munkájához. Következő kérdés, hogy ezek az adatok egyáltalán megállapíthatóak-e a kívánt módon. Ez azonban rávilágít a diszpécseri és erőművezetési módszerek általános problémájára, a tapasztalatokra támaszkodó, de objektíve végig nem gondolt, játékszerű, intuitív döntési módszer elemzésére. Ez a megjegyzés távolról sem bíráló, éppen a kibernetikus feladata az ilyen intuitív logikák heurisztikájának megkeresése, nyomonkísérése, esetleges pontosabbá tétele. A már idézett hálózatirányítási tanulmány [81] éppen játékelméleti módszerekkel igyekszik hasonló feladatokat megoldani. Valamennyi komoly erőművi vezető a feltett kérdésekre úgy válaszolt, hogy ezek az adatok /amelyek az algoritmus kitöltéséhez szükségesek/ szükségesek lennének saját munkájukhoz, ezek nélkül döntéseik bizonytalanok. Csak úgy lehet az irányítást befolyásoló véges számú, lényeges paramétert megállapítani, ha valamilyen sémával azok feldolgozását előre vázoljuk, utána a séma és az adottságok egyeztetésével állapítjuk meg részben a séma határait, hiányait és a további tisztázáshoz szükséges kutatási feladatokat. Ilyenformán az adott általános módszer további kutatásaink vázlatlatterve, amely nyilván sok lényeges módosításra szorul, az algoritmus pedig szemléltető példa a megvalósítás gépi lehetőségére.

4.6.1. Tranziensek és költségeik

A konkrét adatok vizsgálatát kezdjük a tranziensekkel, a $P_{tr} = P/t$ és az ezekhez tartozó $\int K dt$ értékekkel /4.3./. A statikus $K = K/P$ költséggörbékre vonatkozólag itt már nem kell kiegészítő

megjegyzést tenni, azok a rendszerben ma is adottak. A hibajelzések, vagy megengedett üzemidő túllépések hatását ezek a most tárgyalandó adatok egyelőre még nem tartalmazzák. Az erőművek hideg és meleg állapotról /ezen belül esetleg több fokozatban, bizonyos idejű állás utáni állapotról/ történő indítási és felterhelési diagramjai a Teherelosztónak rendelkezésre állnak, így ezek számológépes tárolása a vázolt módon könnyen lehetséges. Valamennyi nagyberendezésre adottak a műszakilag üzembiztos minimális és maximális terhelések, ez utóbbiakra vonatkozólag az időbeli korlátozások /általában 10 % körüli túlterhelés 1 órára/. Az Országos Teherelosztó ma is ezen adatok alapján készíti menetrendjeit, legfeljebb a gyors, nem tervezett diszpécseri beavatkozásnál nem tudják ezeket az adatokat önműködően figyelembe venni. Ha az indítási hőszükségletek adatait összevetjük, azt látjuk, hogy a kazán-turbina egység /nem feltétlenül blokküzem/ hideg állapotból történő indítási hőszükséglete durván megfelel az egyórás névleges üzemi hőszükségletnek. A meleg állapotból történő indítás az előzetes leállítástól eltelt időtől függően 10'-30'-es névleges üzemi hőszükségletnek felel meg. Ez annyit jelent, hogy pl. a hideg állapotból való indítás feltételei, /nem beszélve a felfutás időbeli problémáiról/ 2 %-os hőfogyasztási számítási pontosság esetén a kb. kétnapos további üzemgazdaságosságot /és az ezen belülieket/ már befolyásolják.

Az indítás-leállítás költségeit a viszonylag könnyebben mérhető hőveszteségeken kívül terhelik a műveletekkel járó fokozott üzemzavarvalószínűségek, továbbá az átmeneti viszonyok következtében megnövekedett igénybevétel okozta járulékos elhasználódás.

Sajnos itt teljes bizonytalanságban vagyunk, bár az összefüggések létezését minden üzemi szakember vallja és azok igen kézenfekvők. Áttekintve az Erőmű Tröszt által 1956-63-ig készített üzemzavarjelentéseket, megállapíthatjuk, hogy statisztikus megbízhatósággal elfogadható adatot nem kaphatunk. Egy-egy nagy egység /kazán, turbina/ meghibásodási gyakorisága évi 0,5 és 5 között mozog. Ez típusonként is legfeljebb évi 10-50 üzemzavart jelent. A kimutathatóan indításból származó üzemzavarok száma összesen évi 1-2, ugyanakkor az indítási műveletek száma a rendszerben összesen ezres nagy-

ságrendű. Az üzemzavarok költségkihatásai is igen bizonytalanul állapíthatóak meg, erről a továbbiakban még részletesebben szólunk. Maguk a kalorikus üzemzavari okok főleg anyagkifáradás jellegűek, amik részben a tranziens üzemállapotok fokozott igénybevételére vezethetők vissza, de megbízható összefüggést itt nem adhatunk. Nagyságrendi becslést mutat a következő számítás: ha az adott be-
rendezésen az indítási-leállítási műveleteink száma az üzemzavarok számának tízszerese /ez igen durván elfogadható arány/, és az indítási-leállítási műveletek befolyása a megtörtént üzemzavarokra 5 %-os, azaz átlagban 200 ilyen művelet idéz elő egy üzemzavart, az egy indítást terhelő üzemzavari veszély 0,5 %-os. Ha egy üzemzavar kihatása kb. 200 óra üzemkiesést jelent /kb. 1 hét leállítás, javítás, javítási költség/, úgy az egy műveletet terhelő üzemzavari veszély kb. 1 órás üzemköltséggel lesz egyenértékű, azaz az indítással kapcsolatos normális hővesztések nagyságrendjébe jutot-
tunk. Ez a számítás roppant durva, de adatai mégis eléggé tükrözik a már idézett többéves üzemzavari statisztikák és feltételezhető hatások nagyságrendjét, így legalább azt mutathatják, hogy távolról sem elhanyagolható tényezőről van szó.

A számítás menete mindenestre hasonló lehet a fentihez, a típusonként átlagolt üzemzavar/indítás arányok már becsülhetőek lesznek. A becslés megbízhatóságát természetesen csak a rendszeresen gyűjtendő tényadatok szórása fogja eldönteni. Az üzemzavarok átlagos költségkihatásainak megállapításához a jelenleginél sokkal alaposabb statisztika szükséges. Ilyen jellegű számítások már készültek az Országos Teherelosztóban, de ezek a számítási apparátus és a rendelkezésünkre álló adatok /javítási költségek, átlagos kiesési tartamok/ hiánya miatt még nem eléggé érettek. Ezek a számítások sem adnak azonban a fenti becsléstől nagyságrendileg különböző eredményt. Az üzemzavari következményekkel kapcsolatos további kérdésekkel még a továbbiakban /4.6.2., 4.6.3./ foglalkozunk. A gépi irányítási módszer modellkísérletéhez, amelyet a közeljövőben digitális számológépen el kívánunk végezni, az indítási művelettel kapcsolatos többletköltséget /üzemzavar következményei, elhasználódás/ $1/2 - 1$ órás üzemköltséggel tesszük egyenlővé.

A terhelésváltoztatások hatására vonatkozóan már az előző fejeze-

tekben megállapítottuk, hogy a kvázistacionárius üzemben surlódás-jellegű veszteségeket nem tudunk megbízhatóan kimutatni, a berendezés járulékos elhasználódása sem becsülhető. A kvázistacionárius üzem korlátai között lefolyó kisebb átmeneti jelenségeket /pl. normális rendszerszabályozás/ járulékos veszteségnélkülnek tekintjük, azaz erre az esetre az $\int K_1 dt$ értékek azonosak a statikus költség-görbék vonalintegráljával. Az idő-dimenziót nem tekintve a rendszer mozgása konzervatív térben történik. /A zárt teljesítmény-görbe menti vonalintegrál, az $\oint K_1/P/ dP$ zérus, az előző esetben pedig az indítás-leállással kapcsolatos járulékos költség volt/.

A kvázistacionárius üzemre vonatkozó fenti megállapítást csak akkor változtathatjuk meg, ha kimutatható és a teherelosztásnál számbaveendő nagyságrendű járulékos költséghatásokat lehet észlelni.

Lényeges, a kvázistacionárius üzemnek az 1. fejezetben meghatározott korlátait túllépő terhelésváltozások esetén valószínűleg már vannak figyelembeveendő járulékos veszteségek és következmények. Erre vonatkozólag semmiféle hazai adat nincs, elfogadható külföldi utalásról sem tudunk. Egy előzetes modellkísérletnél a terhelésváltoztatás mértékétől függő görbével a tranziens az indítási-leállítási járulékos kihatás $10 \div 25$ %-ával, kb. $5 \div 15$ perces üzemköltséggel vesszük egyelőre számításba. Az ilyen adat természetesen teljesen önkényes, a gyakorlati ember tapasztalatokon alapuló, de szubjektív feltételezéseként kezelendő./Esetünkben legfeljebb ezt a szubjektív, tapasztalati becslést nem közvetlen diszpécseri döntésben juttatjuk kifejezésre, hanem egy számológéppel közöljük, ez már az adatmegadás bizonyos végiggondolását és a továbbiakban annak ellenőrzésére irányuló törekvést rejt magában./

Külön tényezőként kezelendő az olyan, az $\int K_1 dt$, ill. $\int K_1 dP$ vonalintegrálok szempontjából szingularitásnak tekintendő pontok, mint a turbinák szeleppontjai. Ez utóbbi hatására már a 3.3.1-ben rámutattunk. Az ilyen jellegű hatások figyelembevétele nem lenne nehéz, de a hatásfokmérések általános kérdése, a szeleppontok pontos meghatározása és a turbina üzemviszonyainak változás következtében lehetséges eltolódása ezt a feladatot is bonyolítja.

4.6.2. Az engedélyezett üzemórán felüli üzembentartás költségei

Az adatszolgáltatás második kérdéscsoportja az engedélyezett üzemórán felüli üzembentartás következményeinek számítása /4.3.12. b üzemállapot/. Érdekes módon az erőműveknek ilyen jellegű gyakorlati tapasztalatuk, adatuk nincsen. Valóban kézenfekvő, hogy erre a kérdésre megbízható választ általában akkor kaphatunk, ha egy berendezés sok azonos, vagy hasonló alkatrészből van felépítve, mint például a nagy hiradástechnikai, vagy egyéb elektronikus berendezések. Így számológépekre, telefonközpontokra, sokcsatornás átviteli berendezésekre jól kidolgozott elméletek és számos adat áll rendelkezésre. Erőműveknél a berendezések sokfélesége és a hatások különbözősége és változékonysága nagyon megnehezíti az áttekintést. Ugyanakkor ezek az adatok lennének a karbantartások tervezésének /TMK/ egyik legfontosabb objektív alapjai, hiszen egy karbantartás mindig jelentős költséget igényel /országos átlagban a fejlesztési költségeknek kb. 8 %-át/, és ezzel szemben a rendszerint bizonytalan hatásfokjavuláson kívül csak az elhasználódás miatt már várható kiesések megelőzését lehet állítani. Egyelőre megfelelő adatgyűjtés nem folyik, márpedig csak sokéves gondos gyűjtés után lehetne egyáltalán arra következtetni, hogy a kapott adatok eléggé megbízhatóak-e. Ezt az adatgyűjtést mindenesetre el kell kezdeni, hiszen - mint hangsúlyoztuk - itt a rendszeres megelőző karbantartásnak, tehát egy jelenleg évi 300-400 millió forintos ráfordításnak a gazdaságossági megítéléséről van szó. Ez volt az oka annak, hogy bár jelenleg a b üzemállapotra vonatkozólag igen kevés adatszerüt tudunk mondani, azt, mint a jövőben feltétlenül feldolgozandó kérdéscsoportot, az általános sémába bevettük. Ennek indoka az is, hogy a gondolat más technológiáknál történő felhasználásánál esetleg éppen erre a kérdésre lehet legkönnyebben választ adni. Néhány megjegyzést fűzünk még ehhez a ponthoz. Az adatok többsége valóban egyelőre igen nagy szórást mutat, pl. egyik korszerű, nagy erőművünk azonos típusu ventillátorainak karbantartást igénylő kopása 300 - 7000 óra alatt következett be, a rendkívüli eltérések okait ma is kutatják. Ugyanitt azonban a malmok kopási ideje 600 - 800 óra, tehát viszonylag szűkebb tartományban változik. Itt a számítás menete a következő lehet:

A malom kiesési valószínűsége 600 órával kezd nőni, és a tapasztalat szerint 1500 óránál gyakorlatilag biztos, hogy a sorozatos lapáttörések miatt ki kell venni az üzemből. Ezért a kiesési valószínűséget az idővel exponenciálisan növelve /ez természetesen csak egy plauzibilis, de nem bizonyított feltevés/ 0 - 1-ig, 600 - 1500 órára számítjuk. A malom kiesése az erőmű termelését 5 MW-tal csökkenti. Ez a rendszerben, ha bekövetkezik, egy a tervezett időpontoktól függő, de kb. 20-30 f/kWó, tehát kb. 10.000 Ft/ó veszteséget jelent. A kiesési valószínűségek időbeli változása szerint kb. 1600 üzemóránál a kiesési valószínűség 0,5, a berendezést terhelő többletköltség 5000 Ft/ó. Ezt növeli még egy tényező. A malom normális javítási költsége 10.000 Ft. Üzemszerű leállás esetén nemcsak lapátcsere, hanem teljes forgórész-csere is kell, feltételezett többletköltsége 10.000 Ft. A malom nagyobb karbantartása további kb. egy nappal hosszabbítja a karbantartási időt, ami a teljesítménykiesés miatt 200.000 Ft valószínű kár. A 210.000 Ft többletköltség úgy számítandó, hogy a valószínűségi eloszlás szerint a 600-adik üzemóra után az első órában zérus, a valószínűségi eloszlás szerint az idővel nő és az 1500-adik órára éri el a 210.000 Ft-ot. Ezek szerint pl. az említett 1100. üzemóra táján kb. 1200 Ft/ó a valószínű többletköltség. Hasonló számítást lehet elvégezni olyan esethen, ha a berendezésről már ismert, hogy tönkremenése valószínű. Így pl. egy erőművi segédüzemi kábelrendszer előregedett, a rendszerben több kábelzárlat, robbanás, stb. történt. Ilyenkor meg kell becsülni a kábel üzemzavari kiesése következtében bekövetkező kárt, ezt egy feltételezett 3-5 éves, a teljes kábelcserét megelőző időtartamra egy feltételezett /pl. exponenciális/ valószínűségi eloszlással kell számolni és azzal az üzemet terhelni.

Mindezen példák egyelőre csak egy számítási modellkísérletnek lehetnek alapjai, továbbá módszertani vitaalapul szolgálhatnak egy a gyakorlatban később bevezethető eljáráshoz.

4.6.3. Adatszolgáltatás a hibajelzésekre

Vizsgáljuk most meg a 4.3.13-ban leírt g üzemállapotra /hibajelzés/ jelenleg adható felvilágosításokat. A hibajelzések többsége miszakilag meghatározott, jelentős részük várható következményei is rögzítettek. Így például turbinánál a csapágyak rezgésének megengedhető határai μ -ban, a csapágyak maximális hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$ -ban, a minimális vákuum Hg mm-ben, a csapadékviz szennyezettsége pH° -ban és keménységi fokban, tengelyelmozdulás mm-ben, kerékszekrény-, csapágy olajnyomás, tömszelence göznyomás at-ban, stb. Hasonló módon a kazánoknál gőzjellemzők és vízjellemzők a megfelelő dimenziókban: vízállás cm-ben, huzat vízoszlop mm-ben, lángfolytonosság a tüztér sugárzási szinképében, stb. Néhány olyan jellegű hiba van, amelyek vizuális megfigyelést igényelnek, mint pl. a gőzkifúvások. Ezek önműködő megfigyelésének lehetőségeire nem térünk ki, de elvben megoldhatóknak tekintjük, bár rendszerünk nem zárja ki, sőt magába foglalja az emberi beavatkozás lehetőségét is. Az egyes hibahatárok sokszor berendezéstípuson belül is változnak, így azonos típusu turbinánál, teljesen azonos körülmények között is az üzemvezetőség tapasztalata alapján más-más csapágyrezgésértékeket tartanak veszélyesnek. Ezeket a tapasztalati értékeket azonban általában már ma is rögzítik a kezelőszemélyzet számára, azaz az emberi irányítás ellenére is merev programmal dolgoznak.

A várható üzemzavarok következményeivel már részben foglalkoztunk. A kockázatok számítására egy az előzőekhez hasonló példát mutathatunk be. Adott gépnél a normális rezgés tapasztalati határa 30μ . Katasztrofális üzemzavar /teljes lapátsorok tönkremenetele, tengelygörbülés/ feltételezhetően 100μ felett. A rezgés-amplitudótól függően exponenciálisan csökkenő idővel és növekvő valószínűséggel tételezzük fel a katasztrofális üzemzavart. Az utóbbi várható következménye 1 millió Ft javítási többletköltség, 2 hónapos járulékos termelés kiesés 50 MW-os gépre számítva 50 f/kWó egységárral kb. 36 millió Ft. Ha az adott rezgési amplitudó a következő kétórás tartamra 0,5 valószínűségű katasztrofális kiesést valószínűsít, 18,5 millió Ft a valószínű többletköltség a két órára. Ugyanakkor a rendszer energiahiánnyal küzd, a kiesés fogyasztói lekapcsolást von maga után, 20 Ft/kWó kárt okozva. A lekapcsolással okozott kár

tehát 2 millió Ft /két órán át, 50 MW teljesítményhiány/, azaz a valószínű kárral még nem összemérhető, a gép azonnal lekapcsolandó.

Talán szükségtelen megjegyezni, hogy az életveszélyt valószínűsítő hibajelzés egy humánus társadalomban nem mérlegelhető semmiféle gazdasági ellentétellel.

Nehezebb feladat az olyan hibák értékelése, amelyek észlelése és megítélése a kezelő megfigyelésére van bízva, nem valamilyen fizikai, vagy kémiai mérőszámmal meghatározott jelenségek. Ilyenek elsősorban a már említett tömitetlenségi hibák. Ezek is igen különbözőek lehetnek hatásukban. Egy a kiáramló gőzzel erodált biztosítószелеp rövid időn belül leálláshoz vezethet, vagy esetleg lényeges terheléskorlátozáshoz, kisebb tömitetlenséggel, repedéssel egy berendezés néha egy hétig is eljárhat, néha életveszélyes baleset, kazánrobbanás, teljes csőrendszerek tönkremenetele lehet a belátható következmény. Lemondva egyelőre ennek a jelenleg a zavarok jelentős részét kitevő hibafajtának a logikai elemzéséről, az értékelést továbbra is a kezelőszemélyzetre kell bízni. Már céloztunk rá, hogy a közvetlen emberi tevékenység kikapcsolása itt sem reménytelen feladat, de ennek kidolgozása még teljesen időszerűtlen. Sem megfelelő műszaki eszközök nincsenek ehhez, sem az önműködő megfigyeléssel és értékeléssel elérhető haszon nem indokolja ma még ilyen munka előkészítését, sem az egész téma érettsége nem teszi ésszerűvé az ezzel való foglalkozást. Előbb a már ismerttetett kézenfekvő és az önműködő mérésadatfeldolgozással majdnem magától adódó feladatokra kell a rendszert kidolgozni és kipróbálni. Az ilyen hibák értékelését az erőmű diszpécserre kell egyelőre bízni, a valószínű kockázatot, az erőmű, vagy berendezés valószínű menetrendmódosulását az személyes értékelése alapján, de az előbbiekhöz hasonló megfontolások szerint és adatmegadási rendszerrel közli az irányító géppel. Módszerünk általános vonása, hogy a diszpécseri munka egyes feladatait az automatizálásra érettség szerint sorra választjuk le a közvetlen emberi tevékenységről, de nincsenek olyan illuzióink, hogy egy általános rendszerrel, egy kísérlettel ez azonnal teljesen megvalósítható. Éppen a lépésenkénti haladás módszere /amit az eddig megvalósított munkákban is követtünk/ mutatja meg a még megmaradó problémák súlyát, megoldási lehetőségeit,

egyben megkönnyítve a közvetlen emberi tevékenységnek a legbonyolultabb, még nem automatizált feladatokra való összpontosítását.

4.7. Következtetések és javaslatok

Összegezve az eddig elmondottakat, a következőket állapíthatjuk meg:

- 1./ Az önműködő diszpécserirányítás statikus feladatainak gyakorlati megoldása után - amely munka a gazdaságos teherelosztó automata befejezésével hazánkban is lezárult - szükségesnek látszik foglalkozni a diszpécserirányítás bonyolultabb, a várható valószínű üzemállapotokat is figyelembevevő automatizálásával. Ennek a feladatnak a megvalósításához az első lépés az irányítás céljának egzakt alakban történő definiálása volt. Sikerült az üzemkészség fogalmának bevezetésével olyan mérőszámot találni, amely az optimális irányítás matematikai kritériumának meghatározásához vezetett.
- 2./ Az optimális irányítás kritériumának definíciója alapján felállítottunk egy olyan általános heurisztikus mérési sémát, amely alkalmas a várható tranziens üzemállapotok gépi értékelésére. Megmutattuk, hogy megfelelő adatmegadás esetén ez az irányító apparátus a mai műszaki lehetőségekhez képest nem túlságosan bonyolult algoritmussal és információfeldolgozással a feladatok igen széles körét el tudja látni.
- 3./ A gépi irányítás megvalósításának fő akadálya az erőművek üzemében várható hatásokra vonatkozó adatok hiánya. Ez a hiány azonban a jelenlegi teljesen emberi irányítást is bizonytalanná teszi, az adatok lehetőség szerinti gyűjtése és feldolgozása elengedhetetlenül szükséges, bár csak sokéves munka eredménye lehet.

Az adatgyűjtésnek a következő kérdésekre kell kiterjednie:

a./ Kapacitáscsökkenést okozó üzemzavarok helyei és okai:

/pl. kazán	turbina-generátor
tulhevitőcső	tengely
forrcső	lapát
tápvizelőmelegítő	csapágy
léghevitő	olajberendezés
malmok	kondenzátor
ventillátor	szivattyúk
armaturák	előmelegítők
mérő-szabályozó berendezés	szabályozás
villamos segédüzem	villamos segédüzem
falazat	stb.

a fentiek típusok szerint is részletezve/

Az a./ pontra vonatkozólag az Erőmű Tröszt eddigi statisztikai bizonyos kiegészítésekkel már támpontot nyújthatnak.

b./ Az a./ szerinti részletezésben az üzemzavarok keletkezését és bekövetkezését jelző fizikai-kémiai paraméter-értékek.

c./ Ugyancsak az a./ szerinti részletezésben az egyes üzemzavarok következtében előállott

fogyasztói kiesés /ezt gyűjtik, de ez az érték szubjektív és objektív okok miatt igen kicsi/

többletköltség az energiarendszerben /rosszabb jellemzőjű gépek járatása, indítás, stb. az Országos Teherelosztóban már szokásos módszer alapján számolva/

javitási költségek és idők /ezen belül kiemelve az üzemzavar miatt előállott, a tervszerű javítási költségen és időn felüli ráfordításokat/

d./ A fontosabb berendezések javításai között és üzemzavar között eltelt idők.

e./ A fontosabb berendezések indítási gyakorisága, az indítási gyakoriság és üzemzavar korrelációja.

4./ Közvetlenebb feladatként tűzhető ki a problémakör kezelhetőségének bizonyítására és további tanulmányozására egy számológépes modellkísérlet. Ez részben eddigi, még nem teljesen elfogadható, de már rendelkezésre álló adatokra, részben feltételezett, plauzibilis értékekre alapulna, körülbelül olyan módszerekkel és becslésekkel, amelyek a 4. fejezetben szerepeltek.

5. ÖSSZEFOGLALÓ ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

5.1. A dolgozat kettős, de összefüggő célt szolgál:

a./ Általános vizsgálati módszer kidolgozását a statisztikus változásoktól zavart, sokparaméteres folyamat-szabályozási rendszerek kezelésére. Célul tűzte ki a komplex ipari folyamatok számológépes irányítására vonatkozó fő kérdések rendszerbefoglalását.

b./ Az általános módszerek illusztrálására és meghatározott gyakorlati feladat elvégzése érdekében a mai műszaki lehetőségek határáig alkalmazta eredményeit az erőművek optimális irányítása előkészítésére.

5.2. Első feladat az irányítás céljának, általában az optimum kritériumának megállapítása. Ennek során kimutattuk, hogy a folyamatirányításnál eddig használt optimumra vonatkozó meghatározások nem kielégítőek. A folyamat optima teljes pontossággal és bizonyossággal csak a folyamat teljes, energetikailag, vagy gazdaságilag függetlennek tekinthető tartamára állapítható meg. Ez a tartam a folyamattól függően több év is lehet. A folyamat hatásosságának ezt a teljes értékelőjét folyamat-hatásfoknak, általában folyamat-optimum jellemzőnek neveztük. Megmutattuk, hogy a minél teljesebb, lezártabb időtartamra vonatkozó optimum-jellemzővel szemben az optimális irányítás követelménye ellentétes: minél rövidebb idejű értékelést igényel, hogy ezen temporális optimum-jellemző /hatásfok/ alapján minél gyakrabban lehessen a folyamatot az optimum felé irányítani. A temporális optimum-jellemző /pl. hatásfok/ legkedvezőbb értékelési, vonatkoztatási idejét a fenti, ellentmondásos feltételekből a mérési hiba által amugyis adott korlátozás segítségével határoztuk meg:

a./ A temporális optimum-jellemző értékelési ideje ne legyen kisebb annál az időtartamnál, amely alatt

a folyamat-optimumjellemzőből számított valódi értéktől a mérési hibánál nagyobb valószínűségi megbízhatósággal és hibával különbözhet.

b./ Az értékelési idő ne legyen nagyobb, mint amennyi idő alatt a folyamat az optimumtól a mérési hibánál nagyobb valószínűségi megbízhatósággal és hibával eltérhet.

A gyakorlati esetek túlnyomó többségében a mérési hiba az értékelés korlátja. Ha a mérési pontosság a gyakorlati igényeknek megfelelően korlátlanul növelhető lenne, ezt a határt értelemszerűen az a hiba váltaná fel, amely még érzékelhető gazdasági, vagy egyéb következményekkel jár, illetve, ahol a mérési vagy irányítási intézkedések költsége eléri a gazdasági következmény nagyságrendjét.

A fenti kritériumok alapján a folyamat fizikai /esetleg kémiai/ paramétereinek viselkedését leíró jellemzők, a korrelációs függvények és a szórások alapján könnyen meghatározhatóak a folyamat irányításához legkedvezőbb mintavételi idők és átlagolási tartamok.

Kimutattuk, hogy bár általában a valószínűségi eloszlások teljes ismerete szükséges a statisztikusan zavart folyamatoknak az optimális üzemállapottól való eltérése hatásának értékelésére, a gyakorlati esetek többségében egyedül a változó fizikai paraméterek szórása felvilágosítást nyújt erről a hatásról.

5.3. Az elvi megfontolásokat alkalmazva megvizsgáltuk a kazánüzem optimális irányításának a jelenlegi technológiai és mérés-technikai fejlettség által meghatározott feltételeit és lehetőségeit. A vizsgálatokat a kvázistacionárius üzem viszonyai között végeztük, ennek a tanulmánynak a keretében a tranziens kalorikus üzem kérdésével nem foglalkoztunk.

Sorravéve a kazánüzem optimumát befolyásoló jellemzők hatását

és a lehetséges mérés-technikai és irányítási intézkedéseket megállapítható, hogy a legfőbb zavaró jellemző a tüzelőanyag minőségének változása, amely az őrlés és a levegőadagolás változtatásával kompenzálható. Figyelembevéve a dolgozat első felének elvi számításai és a tüzelés-technikai összefüggések által adott eredményeket, megfelelő intézkedésekkel $0,5 \div 1\%$ hatásfokjavítást lehet elérni. Ehhez azonban ki kell dolgozni a szénösszetétel és a salakéghető olyan gyors, folyamatos mérését, amely egy malomtérfogatból 5-6 próbát tud feldolgozni, illetőleg kérésére ideális esetben nem nagyobb, mint a malom hasznos térfogatának megfelelő szénmennyiségnek a malmon való áthaladási ideje. Hasonló gyors mérési módszert kellene kidolgozni az őrlési finomság ellenőrzésére.

- 5.4. A dolgozat ismerteti azokat az erőművi mérési eredményeket, amelyeket korábbi vizsgálatok alapján általánosítva javaslatot lehet tenni egy erőművi kazánüzemi optimalizáló adatfeldolgozó berendezés mintavételi ciklusaira, minimális pontossági, sebességi és aritmetikai követelményeire. A mérések értékelése kapcsán rámutat egy a statisztikus szabályozásméletben szokatlan problémára, a feltételezett átviteli függvényű és ismert, statisztikus kimenő jelet szolgáltató szabályozott szakaszra ható ismeretlen zavarás jellegének vizsgálatára.

Az ismertetett nagyszámu, számológépen végzett korrelációs és spektrálanalízis számítások eredményein bemutatjuk a 2. és 3. alatt röviden összefoglalt új statisztikus folyamatszabályozási elemzési módszerek alkalmazását, az adatfeldolgozó számológép fő jellemzőinek kialakításáig. A munka szorosan csatlakozik az erre a célra épülő digitális berendezés fejlesztési programjához. Bár néhány év óta a fejlett ipari országokban számos hasonló berendezést helyeztek üzembe, azok elvi előkészítési módszereit, a hozzájuk szükséges folyamatelemzési tanulmányokat, vonatkozó numerikus adatokat összefüggően, a jelen dolgozathoz hasonlóan nem közölték.

5.5. A mérések alapján levonható egyéb következtetések között szerepel az a megállapítás, hogy a magyarországihoz hasonlóan megbízható energiatechnológiai menetrend-készítés viszonyai között az erőművi növekményhőfogyasztási értékek folyamatos, üzemi figyelembevételére nem hozhat érzékelhető gazdasági eredményt.

Megállapítjuk továbbá - szemben egyes irodalmi feltételezésekkel - hogy a kvázistacionárius üzemben az erőművekben érzékelhető mértékű surlódásjellegű veszteségek nincsenek, a kvázistacionárius üzem korlátozott amplitudójú lengései nem okoznak mérhető járulékos veszteségeket.

A dolgozat kiegészíti a szerző korábbi megállapításait a jelenleg használatos szabályozási körök autonomiájával kapcsolatban.

A következtetések során foglalkoztunk a világszerte nagy érdeklődést kiváltó számológépes komplex automatizálás és optimalizálás lehetőségeivel. Megállapítjuk, hogy ennek megvalósítását számos, ma még közvetlenül nem realizálható mérés-technikai és technológiai követelmény kielégítésének kell megelőznie, azonban az erőművi mérésadatfeldolgozás feladata teljesen érett a megvalósításra. A számológépes optimalizáláshoz szükséges feltételek hiányának megállapítása, a tanuló-irányításra vonatkozó megjegyzések a vizsgálat ilyen irányú célkitűzéseit egyelőre negatív eredménnyel zárják le. Ezek a konklúziók egyben felvilágosítást is jelenthetnek azokkal a nehézségekkel kapcsolatban, amelyek a számológépes erőműirányításra vonatkozó kísérletek során külföldön felléptek.

5.6. A dolgozat röviden foglalkozik a turbinaüzem kérdéseivel is és ismerteti a mérésadatfeldolgozás előkészítő méréseit. A turbinánál is meghatározza a szükséges mérési pontosságokat, mintavételi ciklusidőket, átlagolási, értékelési periódusokat. Közli a turbina mérésadatfeldolgozásához szükséges minimális számológép igényeket, utalva egy csatlakozó dolgozatban javasolt programra.

5.7. Az erőművek közötti optimalizálás tárgyalása során a dolgozat új módszert vázol a diszpécserirányítás logikai-döntési funkcióinak automatizálására. Ennek a feladatkörnek a tárgyalása az irodalomban eddig még nem szerepelt. Az irányítás algoritmusának kidolgozásához szükséges volt az optimum pontos matematikai definíciójának kidolgozása, a várható üzemállapotot jellemző üzemkésztség numerikus meghatározása. Az általános módszer ismertetését egy példaként bemutatott algoritmus követi, majd azoknak az adatoknak, statisztikai adatgyűjtéseknek az elemzése, amelyek a feladat gyakorlati megvalósításához szükségesek. Mivel itt nagyszámu, megbízható és célszerűen gyűjtött tapasztalati adat feldolgozása lesz szükséges, ez a fejezet egy sokéves kutatási, rendszerezési munka körvonalait igyekszik rögzíteni. Az irányítási módszer elvi kipróbálására számológépes modellkísérlet készül. Bár a feladat teljes megoldása igen sokéves munkát igényel és ma még semmilyen szempontból nem érett, az előkészítő munkát a hosszú adatgyűjtési és egyéb kísérleti idők miatt már el kell kezdeni, a közbelső eredmények már ma is igen hasznosak lennének a rendszerirányítás további javításához.

FÜGGELÉK

Néhány felhasznált fogalom, definíció ismertetése

1./ Statisztikus módszerek

[11, 55, 56, 57]

Átlag, várható érték - Egy valószínűségi változó várható értéke a lehetséges x_i értékekből, azok p_i valószínűségeivel, mint súlyokkal képzett középérték.

$$\left(\sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i \right)$$

A véges számú megfigyelés számtani közepe

$$\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right),$$

az átlag e körül a várható érték körül ingadozik. A dolgozatban, mivel véges számú megfigyelésről van szó, általában az átlaggal számoltunk \bar{x}_i jelöléssel /normál eloszlásnál m/.

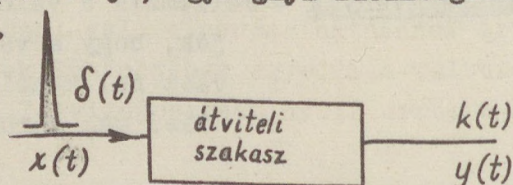
eloszlásfüggvények - Jellemzik a valószínűségi változókat, megadják, hogy a változó mekkora valószínűséggel vesz fel x -nél kisebb értéket $(-\infty < x < +\infty)$. /lásd még sűrűségfüggvények/

ergodikus folyamat - Olyan statisztikus folyamat, amelynél az azonos időben vett csoportminták és a különböző időben vett időbeli minták statisztikus jellemzői azonosak, az egyidőben vett nagyszámú minta ugyanugy jellemzi, mint a sok különböző időben vett minta. Az ergodikus folyamat stacionárius /l. ott/, azaz statisztikus jellemzői az időben nem változnak.

fehér zaj - Olyan statisztikus zavarójelenség, amely statisztikailag teljesen független, egy t időpontban felvett értékéből bármilyen kis dt időintervallumon belül sem lehet valószínűségi következtetést levonni. Az ilyen jelenség korrelációja tehát a teljes időtartományban /kivéve a 0 időpontot/ zérus, spektrálfelbontásában valamennyi frekvencia egyenlő valószínűséggel szerepel. Mint ideális véletlen jelenség, tulajdonképpen fizikai absztrakció.

Gauss-papír - Olyan különleges beosztással készült diagram-papír, amelyen a normál-eloszlás eloszlásfüggvénye egyenes. Az ilyen ábrázolásban jól érzékelhető egy mérési adathalmaz eltérése az ideális normális eloszlástól.

impulzus-válasz /súlyfüggvény/ - Egy átviteli szakasz időbeli válasza egy $\delta(t)$ impulzusra. A $\delta(t)$ egy egységnyi területű, $t = 0$ -tól $t = \varepsilon$ -ig tartó $u(t)$ amplitudóju négyszögimpulzus határeseté, ha $\varepsilon \rightarrow 0$. $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$, tehát egy idealizált, végtelen rövid ideig tartó, végtelen amplitudóju, egységnyi időintegrálú impulzus.



A $k(t)$ jelentősége, hogy ismeretében a Duhamel-integrál segítségével bármilyen bemenő jelformára megkapható a kimeneten a válasz:

$$y(t) = \int_0^t x(t-\tau) k(\tau) d\tau$$

konfidencia /statisztikai megbízhatóság/ - A statisztikus jelenségek, valószínűségi változók jellegzetességeit megfelelő számú minta vételével vizsgáljuk, ill. ellenőrizzük. Egy bizonyos, véges számú minta meghatározott valószínűséggel és meghatározott eltéréssel írja le a teljes halmaz statisztikus jellemzőit. A valószínűségi konfidencia-intervallumok azt adják meg, hogy egy ismert eloszlás átlagát és szórását előírt /pl. 99 %-os/ valószínűséggel és előírt /pl. 1 %-os/ eltéréssel hány mintával lehet megállapítani. A normáloszlásokra ez a konfidenciavizsgálat a Student-próbával /l. ott/ történik.

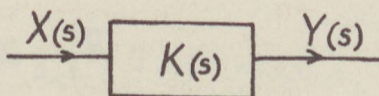
konvolúció - A súlyfüggvények kezelése a Duhamel-integrál miatt általában nehézkes. Egyszerűbb a transzformáltakal való számolás.

$$\text{Ha } \mathcal{L} \{x(t)\} = \int_0^{\infty} x(t) e^{-st} dt = X(s)$$

$$\mathcal{L} \{k(t)\} = \int_0^{\infty} k(t) e^{-st} dt = K(s),$$

$$\mathcal{L} \{y(t)\} = \int_0^{\infty} y(t) e^{-st} dt = Y(s)$$

$$Y(s) = X(s) \cdot K(s)$$



értelemszerűen hasonló az eljárás a Fourier-transzformáltakal, ahol pl.

$$\phi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

korreláció - Valószínűségi változók egymásközi kapcsolatait jellemzi két időpontban felvett értékük várható értékével. Stacionárius jelenségeknél a várható érték az időtől független, ezért csak a két érték közötti intervallum szerepel az összefüggésben. Az autokorreláció egy időbeli statisztikus folyamat önmagával való statisztikus kapcsolatát adja τ időintervallum elteltével. A keresztkorreláció két /több/ folyamatra adja a statisztikus kapcsolatot, ugyancsak τ időintervallum függvényében.

Az autokorreláció:

$$R_{x,x}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) x(t+\tau) dt$$

A keresztkorreláció:

$$R_{x,y}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t+\tau) dt$$

feltételezve, hogy a folyamat ergodikus, és T

Ha az x/t ; y/t csak az átlagtól való eltéréseket jelenti, nyilván végtelen idő múlva a korrelációs kapcsolat eltűnik

$$R(\infty) = 0$$

Zérus időintervallumra pedig a legerősebb

$$R_{x,x}(0) = \overline{x^2},$$

ami az x/t jelenség szórásnégyzete. Ha az R/τ -t a szórásnégyzettel osztjuk, 0 időintervallumra 1-et kapunk /a jelenség teljes valószínűséggel, minden pillanatban megegyezik önmagával/ ettől távolabb a kapcsolat

/esetleges harmonikus összefüggések kivételével/ gyengül.

Numerikus módszerek a korreláció és spektrálsűrűség számítására

Számításainknál az integrálást egyszerű téglalap közelítéssel végeztük. Figyelembevéve a korrelációs görbék sima voltát és a mérési adatok pontosságát ez teljesen kielégítő volt. Ha a lépések száma /minták egymás utáni száma/ $\mu = 1, 2 \dots N$ és az eltolások száma a τ időtartományban $\nu = 1, 2 \dots n$ ($\tau = \nu \cdot \Delta\tau$)

$$R(\nu) = \frac{1}{N-\nu} \sum_{\mu=1}^{N-\nu} x_{\mu} y_{\nu+\mu}$$

Az Elliott 803/B programkönyvtárában ez a feladat a következő kis módosítással szerepel:

$$R(s)_{x,y} = \frac{(x,y)}{(x,x)^{1/2} (y,y)^{1/2}},$$

$$(x,y) = (n-s) \sum x y - \sum x \sum y$$

$$(x,x) = (n-s) \sum x^2 - (\sum x)^2$$

$$(y,y) = (n-s) \sum y^2 - (\sum y)^2$$

s az eltolások (ν, τ) száma.

A spektrálsűrűség innen

$$S(\omega) = 2 \sum R(s) \cos \omega \cdot s$$

közelítéssel könnyen kiszámítható.

spektrálsűrűség - A korrelációs függvények Fourier-transzformáltja, amely a stochasztikus folyamat frekvencia összetételére jellemző.

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau = 2 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega\tau \cdot d\tau$$

stacionárius véletlen folyamat /1. ergodikus/ - Időbeli véletlen folyamat, amelynek statisztikus jellemzői az időben változatlanok, így azt bármikor kiragadott, kellően hosszú időtartam egyaránt jellemzi.

Student-próba - Normál eloszlások konfidencia próbájára használják, a normál eloszlást végtelen számú minta esetében megközelítő, véges számú mintára számított Student-eloszlás segítségével.
/1. Rényi: Valószínűségszámítás, X. fejelet/

sulyfüggvény - /1. impulzus-válasz/

sűrűségfüggvény - Valószínűségi eloszlások egyik jellemző leírása, az eloszlásfüggvény differenciálhányadosa. A dolgozatban használt eloszlások $w(x)$ sűrűségfüggvényei:

egyenletes:

$$w(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{1}{b-a} & a < x < b \\ 0 & b < x \end{cases}$$

normális /Gauss/:

$$w(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$$

ahol σ tetszőleges pozitív /szórás/ és m tetszőleges valós /várható érték/

Poisson:

$$w(x) = e^{-a} \frac{a^x}{x!}$$

Cauchy: $w(x) = \frac{1}{\pi(1+x^2)}$

Student:

$$w(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot \frac{1}{(1+x^2)^{\frac{n+1}{2}}}$$

n a szabadságfokok száma

/n = 1 Cauchy eloszlás

n → ∞ normál eloszlás/

Γ Gauss-féle gamma-függvény

szórás - A várható értéktől való eltérés négyzetének várható értékéből vont négyzetgyök:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} (x_i - \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i)^2 p_i}$$

azaz véges mintával közelítve:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

ennek négyzete a szórásnégyzet.

stochasztikus folyamat - Az olyan valószínűségi x/t/ változók összessége, amelynél a t valós paraméter egy véges, vagy végtelen intervallumban fekvő összes számokon végigfut. A t általában az idő, így az időben lejátszódó véletlen folyamatokra szokták elsősorban értelmezni.

zaj - Statisztikus zavaró hatás.

zajgenerátor - Olyan mesterséges zavarójelet előállító berendezés, amellyel egy berendezés, átviteli szakasz dinamikai viselkedését statisztikus módszerekkel lehet vizsgálni. Legcélszerűbbek az

ún. fehér zaj /fehér zajt megközelítő/ generátorok, amelyek segítségével az átviteli függvények közvetlenül mérhetőek.

2./ Mérésadatfeldolgozás, számológépes irányítás

adaptív rendszer - Olyan irányító rendszer, amely bármely vonatkozásban önműködően alkalmazkodik az irányítás rendszerében beállt változásokhoz és ennek érdekében saját paramétereit változtatni tudja /l. bővebben Dr.Tarján tanulmánya az MTA Automatika Kutató Laboratórium számára/.

adatfeldolgozó gép /mérésadatfeldolgozó/ - Számológép, amely a bemenetére adott értékeket /pl. mérések/ meghatározott program szerint gyűjti, leszarmaztatott értékekre feldolgozza. Pl. átlagok, egyéb statisztikai jellemzők, átszámított értékek /nyomáskülönbség - áramló mennyiség, termofeszültség - enthalpiaértékek, végső értékelő jellemzők /hatásfok, növekményhőfogyasztás/. A szükséges közvetlen és számított értékeket előírt időpontban, vagy feltételek mellett a gép kiírja, továbbá előírt módon esetleges további feldolgozásra tárolja.

diszkrét rendszer - Nemfolyamatos, időben vagy amplitudóban meghatározott szinteket kezelő rendszerek /mintavételező rendszerek, digitális rendszerek/.

fázistér, megoldástér - Egy bonyolult /fizikai, kémiai, gazdasági, stb./ rendszert nagyszámu jellemző ír le. Az egyes állapotokat kimerítően, vagy az adott feladat szempontjából elegendően jellemző paramétereket geometriai analógiával egy sokdimenziós tér koordinátáiként, az egyes adott állapotokat ezen tér egyes pont-

jaiként értelmezzük. A rendszer változását a különböző jellemzők változása, mint a pont mozgását a térben a különböző koordináták változása írja le. A szükséges n számú paraméternek megfelelő n dimenziós tér a fázistér. Ezen belül a rendszer nyilván csak meghatározott korlátok között mozoghat /a rendszer lehetséges fizikai, kémiai, gazdasági, stb. határfeltételei/. A fázistér ezen lehetséges értékeken /felületen, vagy felületeken/ belüli része a megoldástér. Az optimális megoldást, a rendszer adott szempont szerinti legkedvezőbb állapotát /pl. leggazdaságosabb állapotát/ az optimalizálás, optimális programozás /nem azonos a számológép programozással/ módszereivel keresik ki. Legelterjedtebb általános módszerek a Pontrjagin-féle optimum elv [83] és a Bellman-féle dinamikus programozás [84]. Az előbbi a sokdimenziós térben mozgó pont mechanikai alapegyenleteire, a koordinátákra felírt Hamilton-egyenletekre vezet, vizsgálja a problémát és a Hamilton-elvnek megfelelő optimális /energetikailag legkedvezőbb/ utvonalat számítja. Ez általában variációszámítási feladat. Az utóbbi a sokdimenziós térben való egyszerű tájékozódást lépésenkénti, rekurzív módszerrel sokszori egydimenziós tájékozódással oldja meg.

Ha a paraméterek /koordináták/ között lineáris összefüggés van, a feladat a lineáris programozás módszereivel /pl. szimplex-módszer/ oldható meg.

heurisztika - Megoldáskeresési módszertan. Kibernetikai alapfogalomként is használt szó, amely a gépek magasrendű logikai megoldás-keresési programozását, elveit foglalja össze.

információs gép - A mérésadatfeldolgozó gép olyan változata, amely bizonyos ellenőrző funkciót is végez, pl. határértékek túllépése esetén, vagy más számított, vagy érzékelt rendellenesség esetén jelzést is ad. /Főleg a szovjet irodalom által használt kifejezés./

irányító számológép - Mérésadatfeldolgozó és információs gép továbbfejlesztése a termelési folyamatnak a mért és számított értékek alapján történő önműködő irányítására. Az irányítás történhet úgy, hogy a számológép átveszi a klasszikus szabályozók aritmetikai szerepét is /PID hatás számítása/, vagy csak a számológépkapacitást igénylő bonyolult feladatokat irányítja közvetlenül /indítás, leállítás, optimalizálás/, és a klasszikus szabályozóknál csak a beállítást változtatja optimális, adaptív módon.

mintavétel - Nemfolyamatos mérési eljárás, amikor a mért paramétert csak meghatározott időnként vett "minták"-kal ellenőrzik.

neuron - Az agytevékenység alapeleme. Működési elvére vonatkozólag számos eredmény és feltevés született. Ezek alapján műszaki logikai elemekből /pl. az ismert villamos logikai elemekből/ könnyen felépíthető modellt szerkesztettek a neuronok funkcionális működésének fizikai és matematikai leképezésére. Ilyen diszkrét szintekkel, logikai elemekből felépített neuronális működést modellező alapegységekből álló berendezés a neuronális automata.

tanulórendszer - A számológépes, adaptív irányítás legfejlettebb formája, amikor az irányítás nem a mért értékekből rögzített program alapján számolt beavatkozó jellemzőkkel történik, hanem a gép az

irányítás legjobb utjait, a jellemzők összefüggéseit /pl. korrelációit/ maga kikeresve, tapasztalatokat gyűjtve, önműködően alakítja ki az irányítás programját.

3./ Hőtechnika

hatásfokmérés - Általában kétféle módon történik, a bemenő és kimenő hőmennyiségek viszonyának számításával /direkt/, vagy a veszteségek mérésével /indirekt/.

Gazdaságos teherelosztás, Lagrange-módszer [49, 74]

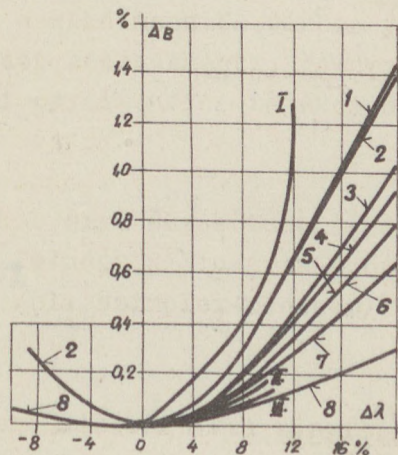
A feladat a következő: adva n számú erőmű költségének jellegörbéje a teljesítmény függvényében: $K_i = f_i/P_i$; $i = 1, 2, \dots, n$; k Ft/ó; P MW; továbbá a rendszer összterhelése: $\sum P_i = P_\Sigma$ MW. Keresendő a P_i azon értéke, amely mellett a $\sum_i P_i = P_\Sigma$ feltétel betartásával $\sum_i K_i$ minimális lesz.

A feltétel akkor elégül ki, ha valamennyi erőműre

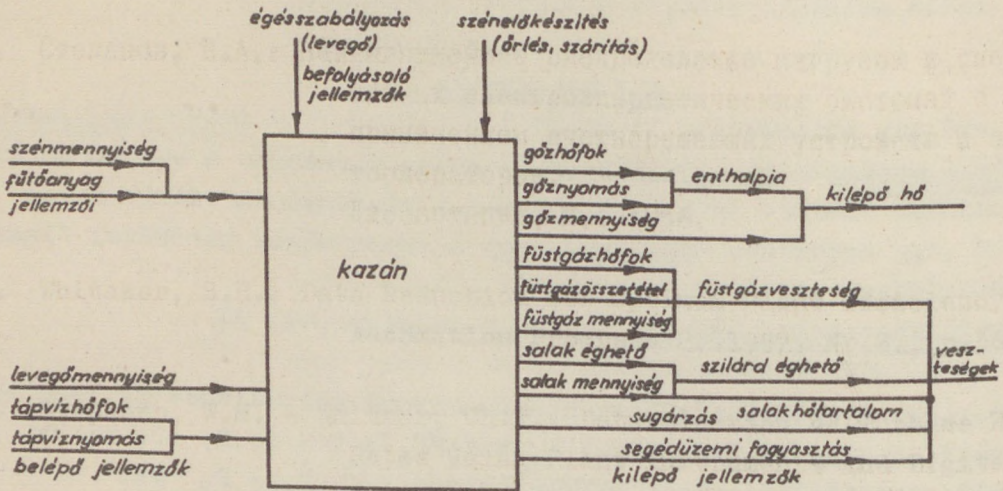
$$\frac{\partial K_i}{\partial P_i} = \lambda \quad \frac{\text{Ft}}{\text{MWó}} \text{ lesz, azaz a } \lambda \text{-val jelölt}$$

növekményköltség azonos lesz.

Az optimális elosztástól való eltérés esetén, akár ha az erőművi teljesítmények térnek el a számított optimumtól, akár, ha a számítások alapjául szolgáló költség, illetve növekményköltség-értékek változtak, a hatás jó közelítéssel lineáris. Az ábra mutatja a Kirchmayer [49] /római számok/ és Krutyikova et al. [50] /arab számok/ által különböző feltételek mellett számított rendszergazdasági következményeket a növekményköltség-eltérések függvényében.



kazánjellemzők - /a dolgozat kiválasztott szempontjai szerint/

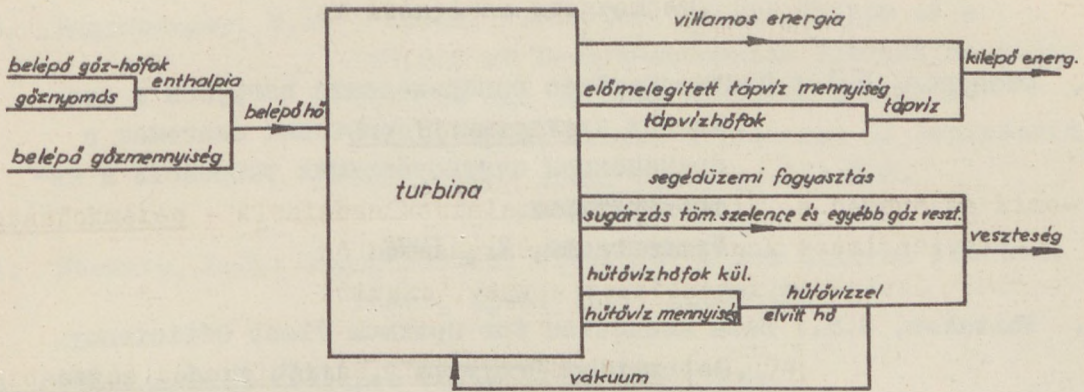


Megjegyzések:

fűtőanyag jellemzők: - vegyi összetétel /C, H, S, O, nedv./
fűtőérték
fix/illó karbon-tartalom-arány
salakösszetétel és olvadáspont
őrölhetőség
hamutartalom

füstgázvesztésösszetevők:
elégetlen CO
- " - H₂
füstgáz hőtartalma /az összetételtől is függően/

turbinajellemzők - /mint a kazánjellemzőknél/



IRODALOM

1. Степанов, В.А.: Наивыгоднейшее распределение нагрузок в смешанных электроэнергетических системах с применением счетнорешающих устройств и автооператоров.
Диссертация, М., 1956.
2. Whitaker, S.H.: Data Reduction for Optimum Plant Efficiency.
Automation Progress 2, 1957. Nr.8., p.368.
3. Stephens, W.M. - Whitmer, Ch.F.: Determination of Turbine Heat Rates Using Plant Instruments and Digital Computer.
Cleveland Electric Illuminating Company,
American Power Conference, 1958.
4. Kalman, R.E.: Design of a Self-optimizing Control System.
Trans. ASME, Febr. 1958.
5. Paul, H.: Zusammenhänge zwischen der Probenahme von Steinkohle und der Genauigkeit des ermittelten Aschegehaltes.
Glückauf, 1958. Juli, S.907-918.
6. Summers, W.A.: Central Station Control Today and Tomorrow.
ISA Journal, Vol.5., No.7., 1958. pp.32-37.
7. Taylor, D.F.: Solid-State Computer Automates Power Station Operation.
ISA Journal, Vol.5., No.10., 1958. pp.32-37.
8. Monroe, E.S.: The Application of Computers to the Small Power Plant.
ASME-58-A-230, 1958.

9. Fiehn, A.J.: Controls for an 865,500 kW Power Plant.
Automatic Control, 1959. No.2., pp.16-22.
10. Eggenberger, M.A. - Ipsen, P.G.: The Control System of a
225,000 kW Double-Automatic Extraction Steam
Turbine and Related Reducing Stations.
Trans. ASME, Series A /Journal of Engineering
for Power/ April 1959, pp.111-122.
11. Stewart, L.E.: Supercritical Pressure: a New Control Problem.
Power, April 1959, pp.63-68.
12. Data Handler Monitors Power Plant Variables.
Automation, Vol.6., No.4., 1959, p.60.
13. Thomas, R.J. - Gustafson, J.O. - Foster, G.E.:
A Solid State, Digital Computing System for
Electrical Load Monitoring.
3rd National Conference on Analog and Digital
Instrumentation, AIEE, April 1959.
14. Daystrom Computer to Control Power Plant.
Automatic Control, Vol.10., No.4., 1959.,
p.12. D.C.
15. Computer Control for Generation of Electricity.
Automatic Control, Vol.10., No.4., 1959.,
p.13. D.C.
16. Control Breakthrough at Little Gypsy.
Power, May 1959., pp.64-65.
17. Дуэль, М.А.: О требованиях к теплоэнергетическому оборудованию
при комплексной автоматизации блочных элект-
ростанций.
Теплоэнергетика, Июль 1959., № 7., стр.12-13.

18. Brown, R.R.: A Generalized Computer Procedure for the Design of Optimum Systems.
AIEE Trans., pt.I. Vol.78., July 1959,
pp.285-293.
19. Operating Safety Shapes Today's Control Systems.
Power, October 1959, pp.167-169.
20. Krečan: Možnosti prekazky automatizace tepelné bilance parního generátoru.
Energetika, 1959, c.11., 552-559. old.
21. Sack, M.: Über die Zusammenarbeit von Fernwirktechnik und Regeltechnik im Betrieb von Hochdruckdampf- kraftwerken.
Energie, Jg.11., Dezember 1959., No.12.
S.566-573.
22. Nissen, H.H.: Die Genauigkeit der Kohlenanalyse.
Elektrizitätswirtschaft, 1959. H.12.,
S.424-427.
23. Crawford, W.F.: Problems of Automation in the Power Industry.
ISA Proc., Second National Power Instrumentation Symposium, 1959, pp.1-13.
24. Summers, W.A.: Central Station Control Automatic Starting of Boilers and Turbines.
Ibid. pp.1-17. /insert/
25. Reine, J.A., Jr.: Performance of the Data Logger at Sterlington.
Ibid. pp.39-49.
26. Nourse, T.M.: Fuel Input Control by Measurement of Pulverized Coal Flow.
Ibid. pp.69-84.

27. Miller, P.G.: Central Information Systems Incorporating a Digital Computer.
Ibid. pp.127-133.
28. Beattie, W.C. - Bauman, H.A. - Driscoll, J.M. - Onderonk, P.T. - Webb, R.L.: Five Years' Experience on the Consolidated Edison System with Protection of Turbine Generators and Boilers by Automatic Tripping.
AIEE Trans., Pt.III., Nr.40., February 1959, pp.1353-60.
29. Фельдваум, А.А.: Вычислительные устройства в автоматических системах /книга/
ФИЗМАТИЗДАТ, Москва, 1959.
30. Скобелев, В.А. - Голембо, З.Б. - Тафт, В.А.: Расчет режимов теплоэнергетических систем с помощью цифровых вычислительных машин.
ВИНИТИ, М., 1959.
31. Sperry, A.F.: Sophisticated Logging and Station Analysis: The Next Logical Step.
Power Engineering, Vol.64. Nr.1., January 1960, pp.61-63.
32. Kennedy, L.F.: Automatic Start-Stop.
Power Engineering, Vol.64. Nr.1., January 1960, pp.64-66.
33. Bechard, H.L.: What Control Computer Can - and Cannot-Do.
Power Engineering, Vol.64. Nr.1., January 1960, pp.52-54.
34. Chadwick, W.L.: Computers to Automate Huntington Beach Units.
Electrical World, Vol.153., 1960, Nr.3.
pp.50-54, 59-60.

35. Ахундов, Е.Б. - Каханович, В.С.: Измерение относительного прироста энергоустановок.
Электрические Станции, Февраль 1960., № 2.
стр. 38-41.
36. Baker, R.A.: A Look at Generating Station Automation.
Combustion, 1960., No.3., pp.36-40.
37. Стефани, Е.П.: О некоторых вопросах автоматизации тепловых электростанций.
Теплоэнергетика, Июль 1960., № 6., стр.3-6.
38. Рабишна, Д.И.: Проектирование автоматизации электростанций большой мощности.
Теплоэнергетика, Июль 1960., № 6. стр.7-12.
39. Southern California Edison Plans for Computer Control.
Power, July 1960., pp.78-79.
40. Reine, J.A., Jr.: The Operational Information System and Automation of Sterlington Steam Electric Station.
IRE Trans. on Industrial Electronics,
Vol.IE-7., Nr.2., July 1960., pp.14-20.
41. Gamma Gages Solve Coal-clogging Problems.
Nucleonics, 1960, 18, No.7., p.94.
42. Otten, H.C. - Salvage, M. - Steinberg, M.I.: Factors Controlling Generator Shutdowns in Light-Load Periods.
Electrical Engineering, Aug. 1960,
pp.671-674.
43. Якобсон, Б.М.: Применение теории информации к оценке эффективности систем централизованного контроля.
Приборостроение, Сентябрь 1960., № 9.
стр.8-12.

44. Baker, R.A.: A Look at Generating Station Automation.
Combustion, Vol.32., Nr.3., September 1960,
pp.36-40.
45. Summers, W.A.: Starting an Electric Generating Station Auto-
matically.
Control Engineering, September 1960,
pp.154-157.
46. The new LN 3000 computer.
Control Engineering, September 1960, p.223.
47. Auricoste, M.J.: Applications des calculateurs numériques
industriels dans les centrales thermiques et
thermiques-nucléaires.
Bulletin de la Société Française des
Électriciens, 8^e Série /Tome I./ Octobre
1960., No.10., p.685-691.
48. Power Plant Automation Fully Justified.
Electrical World, Vol.154., October 17,1960,
No.16., pp.52-54.
49. Little Gypsy. Primera central eléctrica completamente automa-
tica.
Energia Industr., 1960.3. No.11. 66-67.old.
50. Маркович, И.М. - Тафт, В.А. - Совалов, С.А. - Беников, В.А. -
- Цукерник, Л.В.: О задачах в области применения вычислительной
техники при эксплуатации и проектировании
энергосистем.
Электричество, 1960., № 12. стр. 9-14.
51. Kessler, B.W.: Automation and Application of Computers to
Automatic Boiler Operation.
ASME - 60 PWR - 1, 1960.

52. Barney, G.: Data Handling and Computer Equipment for Power Stations.
AIEE CP-60-906.
53. Drew, R.T.: Economics of Generator Shutdown and Start-up.
AIEE Conf.Paper, 1960.
54. Gaines, W.M. - Kennedy, L.F. - Spielberg, A.M.: The Systems Approach to a Computer-Controlled Generating Plant.
AIEE - CP - 60 - 1165.
55. Kirchmayer, L.K. - Galloway, C.D.: Computers Aid System Generation Planning.
Proc. Am.Power Conf. 1960., pp.591-97.
56. Lyle, F.V.: Computer Application to Power Plant Automation.
AIEE - CP - 60 - 1167.
57. Application of Probability Methods to Generating Capacity Problems.
AIEE Committee Report, AIEE Trans.,Pt.III.
Vol.79. 1960, pp.1165-82.
58. Bostic, J.A. - Long, W.F.: Code Testing of Large Boilers Input-Output or Heat Loss Method?
ASME - 60 PWP - 5, 1960.
59. Рушинский, В.М.: Динамика автоматического регулирования блока котел-турбина.
Труды I-го Конгресса ИФАК-а, том. 5.,
стр.326-340.
60. Шаханов, В.С.: Метод и алгоритм вычисления экономического распределения активных нагрузок в сложных гидротепловых энергосистемах на электронных цифровых машинах.
Известия А.Н.СССР, ОТН, Энергетика и Автоматика, 1960., № I. стр. 12-26.

61. Совещание по применению новой вычислительной техники при проектировании и эксплуатации энергосистем.
Известия А.Н.СССР, ОТН, Энергетика и Автоматика, 1960, № 5.стр.190.
62. Bisztray-Balku S. - Dr.Lévai A. - Kakas J. - Nagy M. - Varga K.:
Szenek fűtőértékének meghatározása radiológiai módszerrel.
Energia és Atomtechnika, 13.évf. 1960. 6.szám
472-478.old.
63. Качанова, Н.А. - Умедьян, В.В. - Викторовская, Т.Г. - Крук, Е.П.:
Опыт применения цифровых вычислительных машин для наиболее выгодного распределения нагрузки в энергосистеме.
Электрические Станции, 1960., № II. стр.45-48.
64. Noyes, E.G. - Davidson, J.D.: Turbine generators.
Mechanical Engineering, 1960, No.11.pp.72-74.
65. Hess, W.T.: Economic Justification.
Mechanical Engineering, 1960, No.11.pp.74-75.
66. Kessler, G.W.: Boiler Operation.
Mechanical Engineering, 1960, No.11.pp.68-71.
67. Computer for World's Largest Steam Plant.
Control Engineering, January 1961., p.21.
68. Die CAE mit Vollautomatisierung eines französischen Kraftwerkes beauftragt.
ATM, Januar 1961., S.40.
69. World's First 750 Kilovolt Transmission Line, with Computer Control, put Into Action.
Computers and Automation, January 1961.,
Vol.10.,No.1.

70. Hess, W.T.: Computer Control at Little Gipsy.
Power Engineering, 1961, No.2., pp.114-116.
71. Meiners, G.- Stauch, B.: Der Weg von der klassischen Warte für
Kraft- und Umspannwerke zu der Warte mit
Lochkartensteuerung.
AEG Mitteilungen, 1961. März/April, H.3/4.
S.57-72.
72. Wakefield, A.J.: Operating a Power Station with a Computer.
Control, May 1961, pp.84-87. /Part I./
Control, June 1961, pp.88-91. /Part II./
73. Wirthwein: Automatische Kohlenprobenahme und Teilung.
VGB Mitteilungen, Juni 1961.
74. Lesemann, K.J.: Prozess - Rechenanlage ermöglicht rationelle-
ren Betrieb von Kraftwerken.
Elektronische Rechenanlagen, Jg.3., Juni 1961.
S.101-110.
75. Talton, R.S.: Build First Automatic Coal-Tired Unit.
Electrical World, 1961, No.8.
76. Jones, Ch.E. - Hess, T.W.: Sterlington Computer proves Savings
and Reliability.
Electrical World, 1961, No.11.
77. Clair, S.S. - Einwächter, W.S.: The Weather and Daily Forecas-
tings of Philadelphia Electric System
Loads.
Proc. Am.Power Conf., 1961, pp.853-859.
78. Westerwelt, F.H. - Birget, C.D. - Fischer, F.C.: Automatic
Programming for Optimized Power Plant
Designs.
Ibid. pp.272-280.

79. Fiedler, H.I. - Kirchmayer, L.K.: Automation of System Operation.
Ibid. pp.779-789.
80. Lloyd, B.L. - Scooglund, J.W. - Sauter, D.M.: Automatic Power Plants - The Application of Control Computers.
Ibid. pp.790-802.
81. Reich, J.A. - Bloodworth, T.H. - Wilson, L.M.: The Installation of Automatic Controls in an Existing Power Plant for Minimum Downtime.
Ibid. pp.803-810.
82. Feldmann, M.J. - Pursell, J.W.: Monitoring, Logging and Computing Performance for an Existing Coal- and Oil-Fired Station.
Ibid. pp.811-819.
83. Concordia, C. - Maginniss, F.J.: Developments in the Automation of System Planning During 1960.
Ibid. pp.820-830.
84. Eddings, L.R. - Warmek, J.L.: Automated Plant has One Operator. Electrical World, 1961. No.14.
85. Penescu, C.: L'utilisation des convertisseurs analogues-numeriques pour le controle des installations energetiques.
Acta IMEKO, 1961.
86. Kirchmayer, L.K.: Progress in Power Station and Power System Automation.
Előadás az 1961.évi prágai "Nagy energetikai egységek automatizálása" szimpoziumon.
87. Bellman, R.E.: Adaptive Control a Guided Tour /book/
1961.

88. Mishkin, E. - Braun, L.: Adaptive Control Systems /book/
McGraw Hill, 1961.
89. Brücker-Steinkuhl, K.: Automatische Regelung von Fabrikations-
prozessen nach mathematisch-statistischen
Grundsätzen, Teil I.
Regelungstechnik, Jg.9., Februar 1961.,H.2.
S.54-59.
90. Bridges, J.M.: The Role of Electronics in National Survival.
Electrical Engineering, March 1961, pp.173-
175.
91. Skooglund, J.W. - Squires, R.B.: Computers for Steam Station
Control.
Westinghouse Eng., Vol.21., 1961, No.5.
pp.150-155.
92. Chaussard, R.: Automatisation de la centrale thermique de
Saint-Quen.
Automatisme, 1960., t.5., Nos 10, 11.
/Control Engineering, 1961. t.6. Nos 1, 2./
93. Dillard, J.K. - Everett, J.L.: Simulation of the Steam Power
Plant.
Westinghouse Eng., Vol.21., 1961, No.6.
pp.174-179.
94. Opladen, H.B.: Kraftwerkskontrolle durch Digitalrechner.
Energie, Jg.13., 1961., No.9.,S.395-407.
95. Computers in Plants ... Now Fact, not Theory.
Power, 1961, No.10., p.158.
96. Digital Computer Directs Automatic Dispatching Control System.
Electrical Engineering, October 1961,Vol.80.,
No.10., pp.795-796.

97. Auricoste, M.J.: La conduite automatique de centrales thermiques a l'aide de calculateurs numériques industriels.
Revue Générale de l'Électricité, 45^e année,
Tome 70., Octobre 1961., No.10., p.477-481.
98. Power Station Control by Digital Computers.
Process Control and Automation, Vol.8.,
November 1961, No.11., p.486.
99. Becker, G.: Elektronische Rechengerate im Kraftwerkverbundbetrieb.
Bulletin SEV, Jg.52., 4.11.1961., Nr.22.
100. Zambetti, B.: Data Logging, Scanning, Alarming, Calculation in Power Plants and Substations.
Electrical World, Vol.156., 1961, No.22.,
pp.35-46.
101. Digital Computer Controls Large Plants.
Engineering, Vol.191., 1961, 4951., p.366.
102. Стефани, Е.П.: Комплексная автоматизация электрических станций большой мощности с использованием управляющих вычислительных машин.
Теплоэнергетика, 1962, № 7., стр. 3-10.
103. Рушинский, В.М.: Принципы построения алгоритма управляющей вычислительной машины для комплексной автоматизации блока.
Теплоэнергетика, 1962, № 7., стр. II-17.
104. Левитский, В.Н.: Особенности работы управляющей вычислительной машины блока в режиме регулирования.
Теплоэнергетика, 1962, № 7., стр. 22-27.
105. Дуэль, М.А. - Марьенко, А.Ф.: Пуск и остановка блока 50 мвт с применением управляющей вычислительной машины.
Теплоэнергетика, 1962., № 7. стр. 18-22.

106. Шаханов, В.С.: Методика применения электронных цифровых машин для вычисления энергетических характеристик конденсационных тепловых электростанций. Теплоэнергетика, 1962., № 8., стр. 32-39.
107. Рушинский, В.М. - Дуэль, М.А. - Дементьев, В.А. - Нечаев, Б.Я. - Вайда, В.А. - Штефан, В.Е.: Экспериментальная система управления блоком котел 67-2 СП-турбина К-50-90 с использованием управляющей вычислительной машины. Теплоэнергетика, 1962., № 10., стр. 32-35.
108. Baker, R.A.: New 342 MW Unit to be Controlled Automatically. Electrical World, 61 /156/, Nov. 1962.
109. Whitton, A.W. - Duple, H.M.: Why Use Computers for Programmed Maintenance. American Power Conference, 1962
110. Brooks, A.D.: Computer Model to Determine What and When Facilities are Needed by Simulating Actual Operations of an Industrial Steam Power System. Ibid.
111. Grimes, A.S.: Service Experience with Analog Computers for Large Utility Power Plants. Ibid.
112. Hess, W.T.: Status of Computer Control at Little Gypsy. ISA 5th Nat. Power Instrumentation Symposium, 1962.
113. Chadwick, W.L. - Giles, L.O.: Huntington Beach Control System to Date. Ibid.
114. Barker, R.H.: Automation in the Electricity Supply Industry. Automation in the Electricity Supply Industry Meeting - IEE preprint, 1962.

115. Jones, J.C.: Human Problems in Power System Automation.
Ibid.
116. Beechey, M.A.: Automatic Boiler Control.
Ibid.
117. Gray, A. - Johnson, E.B.: Automatic Turbo-generator Control.
Ibid.
118. Casson, W.: Automatic Systems Control.
Ibid.
119. Hawkins, A.E. - Scott, E.C.: Automatic Control for Security and Economy, Requirements and Constraints.
Ibid.
120. Roberts, J.A.: Automatic Control for Security and Economy, the Approach to Automatic Control.
Ibid.
121. Farmer, E.D. - James, K.W.: Mathematical Techniques in Short Term Load Prediction.
Ibid.
122. Rybak, T.B.M.: Future Trends in Instrumentation.
Ibid.
123. Cundall, C.M.: Reliability and Fail Safe Aspects of Automatic Control Computer Design.
Ibid.
124. Bower, J.: The System Model and its Use.
Ibid.
125. Moran, F.: Dynamic Measurements on Thermal Plant.
Ibid.

126. A turbinák és kondenzátorok gőzoldali elsózódásának eltávolítása.
KGST VÁB IV.szekció, szovjet anyag.
127. Hess, W.T. - Maurin, L.V. - Rithings, F.A. - Summers, W.A.:
Computer Starts, Runs, Stops Little Gypsy,
etc.
Electrical World, 1962, No.17., No.18.,
No.19.
128. Hess, W.T. - Chadwick, W.L.: Operating Improvements and Economics Through Automation in Steam Electric Plants.
World Power Conference, 1962, Melbourne.
129. Eddins, L.R.: Full Automatic Operation Riverside Power Station.
AIEE-DP-62-620.
130. Balekjian, G. - Ratz, J.W.: Instrumentation and Data Logging Changes Required for Conversion of Power Plant to Computer Control.
AIEE-DP-62-645.
131. New, W.R.: Load Forecastings on the TVA System.
AIEE-CP-62-68.
132. Quack, R.: Voraussetzungen für die Automatisierung in Dampfkraftwerken.
Elektrizitätswirtschaft, 1962., Nr.18.,
S.695-707.
133. Cantieri, W.F. - Locke, J.W.: The Boiler Cleaning Control Subloop.
AIEE CP-62-1338.
134. Behm, H.J.: Computer Program to Simulate Operation of Electric Generating System.
AIEE CP-62-1341.

135. Pleines, W.W. - Zajic, K.U.: A Method of Estimating Demand.
AIEE-CP-62-815.
136. Bloggett, D.G. - Falk, A.K. - Kisse, T.W. - Schultz, W.B.:
Application of an On-Line Digital Computer
for Dispatch and Control of the Detroit Edison
System.
AIEE-CP-62-247.
137. Картвелишвили, Н.А.: К общей постановке проблемы оптимизации
режимов энергетических систем.
Известия А.Н.СССР, ОТН, Энергетика и Автомати-
ка, 1962., № I., стр. 45-53.
138. Packaged Computer Systems for Power Stations.
Process Control and Automation, Vol.9., No.1.,
January 1962., p.16.
139. A.E.I. Data Logger for Process Study Work.
Ibid., Vol.9., No.4., April 1962, pp.165-166.
140. The New TRW-330 Process Control Computer.
Ibid., pp.167-170.
141. Automatically Controlled Turbine Run-up System.
Ibid., Vol.9.,No.7., July 1962, pp.332-333.
142. Hotes, H. - Ehling, H.J.: Automatisierung von Dampfkraftwerken.
AEG Mitteilungen, Jg. 52., H.9/10., 1962.,
S.422-429.
143. Zwetz, H. - Ernst, D. - Pilgram, W.: Auf dem Wege zur Voll-
automatisierung des Dampfkraftwerks.
BWK, 1963, No.2., S.62-70.
144. Garver, L.L.: Power Operation Scheduling by Integer Program-
ming.
AIEE-CP-62-212., Trans.AIEE, Pt.III.,Vol.81.
/1963/ pp.730-35.

145. Whisong, J.L. - Uram, R. - Brown, H.E. - King, C.W. - Desalvo, C.A.: A Computer Program for Automatic Transmission Planning. Trans. AIEE, Pt.III., Vol.81., /1963/ pp.774-81.

Az irodalomra vonatkozó bibliográfia:

- Noakes, F. - Arismunander, A.: Bibliography on Optimum Operation of Power Systems 1919-1959 /USA és Kanada publikációk 52 folyóiratból, 436 cím/
Trans. AIEE, Pt.III., Vol.81., /1963/ pp.864-71.

HIVATKOZÁSOK

1. Grabbe, E.M.: Electric Power Applications of TRW Digital Control Computers.
TRW Technical Report.
2. Vámos T.: Hőerőművek optimalizálása a korszerű automatika eszközeivel.
"Négy tanulmány az energetikai optimalizálás kérdéseiről", 385.sz. VILLENKI tanulmány, 1962.
3. Vámos T.: A hatások definíciójának és mérésének néhány kérdése a folyamatoptimalizálás szempontjából.
"Négy tanulmány az energetikai optimalizálás kérdéseiről", 385.sz. VILLENKI tanulmány, 1962.
4. Vámos T.: Egyszerű diszkrét automata erőművi gazdaságosság-ellenőrzésre.
"Négy tanulmány az energetikai optimalizálás kérdéseiről", 385.sz. VILLENKI tanulmány, 1962.
5. Vámos T.: Energiarendszer optimalizálása az üzemkésztség figyelembevételével.
"Négy tanulmány az energetikai optimalizálás kérdéseiről", 385.sz. VILLENKI tanulmány, 1962.
6. Vámos T. - Benedikt Sz. - Uzsoky M.: Some Recent Results in the Computer Control of Energy Systems.
Előadás az IFAC 1963. évi II. /baseli/ kongresszusán.
7. Вамош, Т.: Новые проблемы по оптимизации электростанций и энергосистем.
KGST Villamosenergia Állandó Bizottság 4.szekció 1963. június 10-15. között tartott "Frekvencia és csereteljesítmény-szabályozás együttműködő

energiarendszerekben" témájú budapesti szimposiumának anyaga.

8. Baker, R.A.: Application of Data Handling and Computer.
AIEE CP-60-905, 1960.
9. Chadwick, W.L.: General Philosophy and Objectives of Power Plant Automation.
Power Apparatus and Systems, December 1960,
p.1034.
10. Яковлев, К.П.: Математическая обработка результатов измерений.
ГИТТЛ, 1950.
11. Rényi A.: Valószínűségyszámítás.
Tankönyvkiadó, 1954.
12. Kincaid, W.B. - Wachtel, H.: Putting the Digital Computer to Work at the H.B. Robinson Plant.
Combustion, July, 1961.
13. Considine, D.M.: Process Instruments and Controls Handbook.
McGraw Hill, 1957.
14. Kallen, H.P.: Handbook of Instrumentation and Controls.
McGraw Hill, 1961.
15. DIN 1942. Abnahmeversuche an Dampferzeugern.
16. Seibert, O.: Diagramme zur Bestimmung der Toleranz von Enthalpiedifferenzen für Wasserdampf.
BWK, 13 /1961/ Nr.10.
17. Konejung, A.: Versuche zur Ermittlung des Fehlers bei der Heizwertbestimmung.
Archiv für Wärmewirtschaft, Jg.13., Juli 1932.,
H.7.

18. Каханович, В.С.: Измерение расхода теплоносителя с автоматической коррекцией по нескольким параметрам. Автоматический контроль и повышение экономичности энергоустановок, А.Н. БССР, 1962.
19. Analysenverfahren für den Kraftwerksbetriebe.
VGB - Vulkan Verlag, Essen, 1962.
20. Ellrich, W. - Zimmermann, E.: Wirkungsgradmessung an Dampfkesseln.
ATM V 8231-3 /Juli 1949/
21. Ellrich, W. - Zimmermann, E.: Abnahmeversuche an Dampfkesseln.
ATM V 8231-4 /August 1949/
22. Frank, B.: Bestimmung des Messspiels bei Heizwert-Untersuchungen von Steinkohlen.
BWK, Bd.7. /1955/, S.289-94.
23. Flow Measurement, PTC 19.5, ASME, 1959.
24. MNOSz 14010-57. Ellenálláshőmérők.
25. MNOSz 11290-11292-11293-11294-11299. Hőelemek.
26. MNOSz 700. Szenek vizsgálata.
27. MNOSz 3200. Ásványi szenek mintavétele és a minta előkészítése a fűtőérték megállapításához.
28. MNOSz 18556. Szénvizsgálat mintavétele szénbánya vállalatoknál.
29. DIN 1952. VDI Durchflussmessregeln.
30. DIN 1953. Temperaturmessregeln.

31. DIN 51700-51701-51702-51708-51718-51719-51720. Feste Brennstoffe.
32. Ayers, C.: On-Line Performance Calculation, Automation in the Electricity Supply Industry. IEE preprint, 1962.
33. Bassa G.: Széntüzelések égésmélete. Kandidátusi értekezés, 1960.
34. Ledinegg, M.: Dampferzeugung. Springer, 1952.
35. Tölle, H.: Betriebserfahrungen mit Mühlenfeuerungen für Rohrbraunkohle. Energietechnik, 1954. April, /Jg.4./ H.4. S.161-170.
36. Sherry, A.: Power Station Optimization. Combustion, January 1962.
37. Fáy Gy. - Zselev B.: Az aprításelmélet alapjairól. Energia és Atomtechnika, 1960. 8.sz.
38. Наумов, А.А.: О применении обратного γ -излучения для автоматического контроля состава сложных сред. Автоматическое управление /книга/, Издательство А.Н.СССР, 1959.
39. Пивоваров, Л.А.: О применении явления поглощения β -излучения для автоматического контроля состава многокомпонентных сред. Автоматическое управление /книга/, Издательство А.Н.СССР, 1959.
40. Dijkstra, H. - Sieswerda, B.S.: Apparatus for Continuous Determination of the Ash Content of Coal. Third International Coal Preparation Congress, Liege, 1958. Paper F.9.

41. Belugou, P. - Conjeaud, P.: The Determination of the Ash Content of Coals by Means of X-rays
1st International Coal Preparation Conference,
Paris, 1950., Publ. B.6.
42. Nagy M. - Varga K.: Szenek hamutartalmának meghatározása rádióaktív izotópokkal.
Energia és Atomtechnika, 1962. 9.sz.
43. Dolezal, R.: Grosskessel-Feuerungen.
Springer, 1961.
44. Profos, P.: Vektorielle Regeltheorie.
Leemann Verlag, Zürich, 1944.
45. Profos, P.: Zur Frage der wirtschaftlichsten Regelgüte bei der Temperaturregelung von Überhitzern.
BWK 15 /1963/ Nr.2. Februar
46. Szalay J.: A gőzhőmérséklet szabályozási eljárásának értékelése üzemi szempontból.
Kandidátusi értekezés, 1960.
47. Ronkay F.: Bemerkungen zur Wirkleistungs- und Frequenzregelung beim gemeinsamen Betrieb der Energiesysteme der DDR, der VR.Polen, der CSSR und UVR.
Energietechnik, Jg. 13., H.1., Jan.1963., S.18-21.
48. Ронкай, Ф.: Некоторые практические проблемы регулирования активной мощности и частоты в условиях совместной работы энергосистем /в международном кооперировании/ осуществленной до настоящего времени в рамках СЭВ.
A KGST Villamosenergia Állandó Bizottság 4.szekció 1963. június 10-15. között tartott "Frekvencia és csereteljesítmény-szabályozás együttműködő energiarendszerekben" témájú budapesti szimpóziumának anyaga.

49. Kirchmayer, L.K.: Economic Operation of Power Systems.
Wiley, N.Y., 1958.
50. Крутикова, В.Е. - Маралин, В.Г. - Синьков, В.М.: Влияние погрешностей в определении относительных приростов на перерасход топлива.
Электрические Станции, 1960., № 2., стр.34-37.
51. Иблер, Я.: Требования к регулированию энергетических блоков с точки зрения управления энергетической системы.
Prága, "Nagy energetikai egységek automatizálása" szimposium, 1961.
52. Ahnert, B.: Die Überwachung der Verbrennung an Hochleistungsdampfkesseln.
Energie, Jg.7., No.1., Jan.15. 1955., S.7-12.
53. Profos, P.: Die Regelung von Dampfanlagen.
Springer, 1962.
54. Vámos T.: Dobos szénportüzelésű kazánok terhelésszabályozásának néhány kérdése.
VILLENKI 202.sz. tanulmány,
kandidátusi értekezés, 1958.
55. Солодовников, В.В.: Статистическая динамика линейных систем автоматического управления.
ФИЗМАТГИЗ, Москва, 1960.
56. Middleton, D.: An Introduction to Statistical Communication Theory.
McGraw Hill, N.Y., 1960.
57. Дугачев, В.С.: Теория случайных функций.
ФИЗМАТГИЗ, Москва, 1960.

58. Вамон Т.: Передаточные функции генерирования пара барабанных пылеугольных котлов.
Acta Technica, Том.XXV., fasc.3-4.
Budapest, 1959.
59. Uzsoky M. - Vámos T.: Some Questions Regarding Control of Power Systems.
Proc. IFAC, Moscow, 1960.
60. Ergin, E.I. - Ling, G.: Development of a Non-interacting Controller for Boilers.
Proc. IFAC, Moscow, 1960.
61. Marsik, J.: Some Control Possibilities of Systems with Variable Parameters.
Proc. IFAC, Moscow, 1960.
62. Вамон, Т.: Линеаризация и автоматность процессов регулирования нагрузки котлов.
Acta Technica, Том.XXVI., fasc.3-4.
Budapest, 1959.
63. Uzsoky M. - Vámos T.: An Adaptive, Non-Interacting Control.
64. Иблер, Я.: Вопросы автоматического управления крупных тепловых электростанций в зависимости от регулирования частоты и передаваемых мощностей.
KGST Villamosenergia Állandó Bizottság 4.szekció 1963. június 10-15. között tartott "Frekvencia és csereteljesítmény-szabályozás együttműködő energiarendszerekben" témájú budapesti szimposiumának anyaga.
65. Profos, P.: Grenzen der Regelungsmöglichkeiten von Hochleistungskesseln.
VGB, H. 67. August 1960, S.211/21.

66. Füst L. - Gertler J. - Kaiser M.: FÉTIS O, Félvezetős Távvezérlő és Irányító Szisztéma kísérleti berendezése.
395.sz. VILLENKI tanulmány, 1962.
67. Kaiser M.: FÉTIS Aritmetika II.
376.sz. VILLENKI tanulmány, 1962.
68. Ахундов, Е.Б. - Каханович, В.С.: Измерение относительного прироста энергоустановок.
Электрические Станции, 1960., № 2. стр.38-41.
69. Power Test Code for Steam Turbines.
ASME-PTC-6, 1949.
70. Matthew, P. - Barr, W.H.: An Economic Approach to Plant Performance Evaluation.
ASME Paper, No. 61-WA-272.
71. Zettner T.: Gőzturbinák és kazánok változó üzeme.
Energia és Atomtechnika, 12.évf., 1959.
2-3.sz., 145-158.old. és 5-6.sz.364-376.old.
72. Maneatis, G.A. - Barr, W.H.: A Digital Computer Program for Processing Turbine-Generator Acceptance Test Data.
Trans ASME, Journal of Engng. for Power, July 1962, pp.295-306.
73. Zabłudowsky, A.: Generalized Steam Power Plant Heat Balance for Digital Computer Application.
ASME Techn.Paper, 58-A-213.
74. Borovszky L.: A VILLENKI Teherelosztó Automata /VITA/ műszaki leírása.
392.sz. VILLENKI tanulmány, 1962.

75. Zelenka, D.B. - Travers, R.H.: Fundamental Concepts of Incremental Maintenance Costs as Used by Ohio Edison Company.
Trans. AIEE, Pt.III., 1958, p.1308.
76. Maintenance Costs as they Apply to Economic Dispatch of Power, Report on Present-Day Practices of Handling Incremental.
Committee Report, Trans. AIEE, Pt.III., 1959, pp.279-82.
77. Гертлер, Я. - Вамон, Т.: Методы приближённого расчёта потерь в электрических сетях и расчёт влияния некоторых измерений в сети.
Acta Technica, Том. XXXIX., fasc.3-4.
Budapest, 1962.
78. Гертлер, Я. - Вамон, Т.: Проверочные вычисления к методам расчёта сетевых потерь.
Acta Technica, sajtó alatt.
79. Kaiser M.: Erőművek terheléselosztásának számítása az M3 számítógépen.
322. sz. VILLENKI tanulmány, 1960.,
Elektrotechnika, 55.évf., 1962. 1.sz.
80. Uzsoky M. - Borovszky L. - Vámos T.: Analog Computing Method for Economic Load Distribution Considering Network Changes Directly.
Trans AIEE - sajtó alatt.
81. Benedikt Sz.: Az energiarendszerek számológépes irányításának néhány problémájáról.
Kandidátusi értekezés, 1963.
82. Neumann J.: The General and Logistic Theory of Automata.
/The Hixon Symposium on Cerebral Mechanism in Behaviour/J.Wiley, N.Y., 1951.pp.1-41.

83. Цонтрягин, Л.С. - Болтянский, В.Т. - ГамкRELИдзе, Р.В. -
- Мищенко, Е.Ф.: Математическая теория оптимальных процессов.
ФИЗМАТГИЗ, Москва, 1961.
84. Bellman, R.E.: Dynamic Programming.
Princeton University Press, 1957.