

TK 155.354

KFKI-1982-09

MIETTINEN J.
PERNECZKY L.

MÓDOSÍTOTT SZIVATTYÚ ÉS GŐZFEJLESZTŐ
MODELL ALKALMAZÁSA A PAKSI ATOMERŐMŰ
BIZTONSÁGI ANALÍZISÉHEZ

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

MÓDOSÍTOTT SZIVATTYÚ ÉS GŐZFEJLESZTŐ MODELL
ALKALMAZÁSA A PAKSI ATOMERŐMŰ BIZTONSÁGI ANALÍZISÉHEZ

Miettinen Jaakko* és Perneczky László

Központi Fizikai Kutató Intézet
1525 Budapest 114, Pf. 49

HU ISSN 0368 5330

*vendégkutató a VTT /Helsinki/ kutatóintézetből

KIVONAT

A tanulmány áttekintést ad a primer körű főkeringető szivattyúk és gőzfejlesztők modellezési lehetőségeiről a RELAP4 programban a Paksi Atomerőmű biztonsági számításainak szemszögéből. Számszerű adatokat is közöl azokhoz a módosított modellekhez, amelyek elsősorban a kis folyást eredményező csőtörések okozta üzemzavari tranziensek pontosabb meghatározásához szükségesek.

1. Bevezetés

A könnyűvízhűtésű atomreaktor biztonsági analizisében a korábbi években a méretezési baleset, a főkeringető csővezeték pillanatszerű törése, kétoldali teljes keresztmetszetű kifolyással, játszotta a fő szerepet. E maximális folyást okozó üzemzavaroknál a reaktor zónahűtésének elégtelenségét és veszélyes hőállapot kialakulását döntően a törés helye és a rajta kiáramló hűtőközeg mennyisége, illetve az üzemzavari hűtőrendszerek működése befolyásolja, míg a szekunder hűtőkör és a főkeringető szivattyu üzemállapota elhanyagolható hatással van a folyamatokra.

Az 1979 márciusi Three Mile Island 2. blokk üzemzavara óta a figyelem a kis törésekre és egyéb üzemzavari tranziensekre terelődött, amelyeknél mind a primer hűtőközeg keringetése, mind a gőzfejlesztőben a hőelvonás meghatározó szerepet játszik. Ez indokolja, hogy a biztonsági analizishez felhasznált modelleket, elsősorban a RELAP4 kód modellezési lehetőségeit figyelembe véve, felül kellett vizsgálnunk.

2. RELAP4 szivattyu modell

A RELAP4-ben alkalmazott szivattyu modell a centrifugál-szivattyuk empirikus uton meghatározott "négy-kvadransos" jelleg-görbéjéből származó információkra épül fel, amelyet a gyártó cég a szivattyuval együtt szállít, pontosabban kellene szállí-

tania. Egy jellegzetes "négykvadránsos" jelleggörbét mutat a 2.1 ábra, amely a szivattyu emelőmagasságát és hidraulikus nyomatékát a szállított mennyiség és a szögsebesség /fordulatszám/ függvényében mutatja.

Mivel azonban egyfázisu áramlás esetén az emelőmagasság a szögsebesség négyzetével, a szállított mennyiség a szögsebességgel lineáris kapcsolatban van, e görbesereg a szivattyu névleges paramétereire vonatkozó relatív mennyiségeket használva két egyszerűbb ábrára redukálható. A 2.2 ábra a relatív emelőmagasság, a 2.3 ábra a relatív egyfázisu hidraulikus nyomaték görbéit mutatják, ahol

$$\begin{aligned}
 H &= \text{emelőmagasság} \quad /m/ \\
 T &= \text{nyomaték} \quad /Nm/ \\
 Q &= \text{szállított mennyiség} \quad /m^3/sec/ \\
 &= \text{szögsebesség} \quad /rad/sec/ \\
 h &= \frac{H}{H_N}, \quad \beta = \frac{T_{hy}}{T_{hyN}}, \quad v = \frac{Q}{Q_N}, \quad \alpha = \frac{\omega}{\omega_N}
 \end{aligned}$$

indexek: N = névleges, hy = hidraulikus.

A szivattyu jelleggörbe négy kvadránsának leképezésénél a névleges üzemi munkapont a görbét két részre osztja, az ábrázolás egyszerűsége érdekében mind a független, mind a függő változó a két szakaszon különbözik. A 2.2 ábrán ez a következőképpen alakul /a program inputjában szereplő tipusszám sorrendjében/

Tipus	üzemmód	α	v	$\frac{\beta}{\alpha}$	$\frac{h}{\alpha^2}$	$\frac{h}{v^2}$
1	normál szivattyu	>0	≥ 0	≤ 1	HAN	-
2	normál szivattyu	>0	≥ 0	> 1	-	HVN
3	energia disszipáció	>0	< 0	≥ -1	-	HVD
4	energia disszipáció	>0	< 0	< -1	HAD	-
5	normál turbina	≤ 0	≤ 0	≤ 1	HAT	-
6	normál turbina	≤ 0	≤ 0	> 1	-	HVT
7	reverz szivattyu	≤ 0	> 0	≥ -1	-	HVR
8	reverz szivattyu	≤ 0	> 0	< -1	HAR	-

Ha a szivattyu forgórész visszaforgását mechanikai szerkezet megakadályozza, akkor két kvadráns a jelleggörbéből hiányzik, így az 5, 6, 7 és 8 típusu inputok elmaradnak és az IRF reverz forgási opciót ennek megfelelően /0 értékkel/ kell megadni.

A modell lehetőséget ad a kétfázisu áramlás hatásának szimulálására is. Ehhez a differenciál jelleggörbét, azaz az egyfázisu minusz kétfázisu értékeket kell megadni olyan módon, hogy a térfogatigőztartalom függvényében $M/\alpha/$ szorzótényezők táblázatát is csatolni kell.

Igy a tényleges emelőmagasság meghatározása a

$$H = H_1 - M/\alpha/ \cdot /H_1 - H_2/$$

összefüggés szerint történik.

A nyomáskülönbség a szivattyun a következőképpen számítható:

$$\Delta p = \rho \cdot H$$

A szivattyu kikapcsolása esetén a kifutási egyenlet:

$$I \frac{\partial \omega}{\partial t} = T$$

amelynek megoldása

$$\omega_{t+\Delta t} = \omega_t - \frac{T \cdot \Delta t}{I}$$

alakú, ahol: I = inercia momentum

Δt = időlépés

A RELAP programba két szivattyu dimenzió nélküli jelleggörbe adatait beépítették. A Bingham Pump Company szivattyuja 4.200, a Westinghouse Electric Corporationé 5.200 ford/perc fordulatszámú. A jelleggörbék a 2.4 és 2.5 ábrán láthatók. Ugyancsak beépítették a kétfázisu differencia görbéket /lásd 2.6 ábra/, amelyek az 1 - 1/2 loop MOD-1 Semiscale kísérlethez beépített szivattyun mértek ki. Ezek a jelleggörbék a megfelelő névleges

dimenzionált adatokkal kiegészítve a felhasználók rendelkezésére állnak.

3./ A GCN-317 szivattyu jelleggörbéi

A Paksi Atomerőműben GCN-317 típusu egyfokozatu, függőleges elhelyezésű szervezett szivárgásu centrifugál szivattyuk gondoskodnak a primer hűtőközeg keringetéséről. Sajnos, e szivattyuk két-kvadránsos jelleggörbéjével /a visszafelé forgást kilincsmű akadályozza meg/ nem rendelkezünk,

A 3.1 ábrán látható a PAV I.számú blokkjához leszállított Gy.sz.15 főkeringető szivattyu jelleggörbéje. Ebből az alábbi adatok nyerhetők, ha a névleges adatok a következők: $\omega_N = 1493$ ford/min = 156.3 rad/sec, $H_{mN} = 0.46$ Mb, $Q_N = 7100$ m³/h = 1.972 m³/sec

Q m ³ /h	4000	4500	5000	6000	6600	7100
H _m MPa	0,57	0,59	0,59	0,54	0,50	0,46
h	1,239	1,283	1,283	1,174	1,087	1,00
$\frac{v}{\alpha}$	0,563	0,634	0,704	0,845	0,930	1,00
$\frac{h}{\alpha^2}$	1,239	1,283	1,283	1,174	1,087	1,00

illetve

Q m ³ /h	7,100	7,800	8,000	8,700	9,000
H _m MPa	0,46	0,40	0,37	0,30	0,265
h	1,00	0,869	0,804	0,652	0,576
v ²	1,00	1,208	1,271	1,502	1,607
$\frac{\alpha}{v}$	1,00	0,910	0,887	0,816	0,789
$\frac{h}{v^2}$	1,00	0,720	0,633	0,434	0,359

A $v/\alpha - h/\alpha^2$ illetve $\alpha/v - h/v^2$ értékpárokat berajzoltuk a 2.2 ábrába és így kaptuk az ábra folytonos vonallal rajzolt

görbét, amelyek a Westinghouse-szivattyu görbéihez állnak közel.

További számítható adatok

$$E_N = H_{MN} Q_N = 0.46 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot 1,972 \frac{m^3}{sec} = 9,071 \cdot 10^5 \frac{Nm}{sec}$$

$$T_{hyN} = \frac{E_N}{\omega_N} = \frac{9,071 \cdot 10^5}{156,3} = 5,804 \cdot 10^3 Nm$$

A szivattyu további adatait a RELAP4 modellhez az indítási mérések során nyert információkból kívánjuk majd beszerezni. Ezáltal a biztonsági analízishez az eddig használt jelleggörbék a tényleges jelleggörbékkel kiválthatók lesznek.

4./ A gőzfejlesztő egyszerű modellezése

A RELAP4 programban a gőzfejlesztő modellezésre négy lehetőség van. Az első kettő a RELAP3-ból átvett egyszerű modell, amely lényegében csak a primer oldalt modellezi, a szekunder oldal határfeltételként szerepel úgy, hogy a primer és a szekunder oldalt elválasztó hőátadó szerkezeti anyagok hővezetési problémájával nem foglalkozik. Eddigi számításaink során ezt az alábbiakban részletezett egyszerűbb két változatot alkalmaztuk.

4.1/ Áramlási és hőmérsékletfüggő modell

Ez a modell a szekunder oldalon konstans folyadék-hőmérsékletet $/T_{sec}/$ és állandó effektív hőátbocsájtási tényezőt $/C/$ tételez fel. A gőzfejlesztő által a primerkörből elvitt hőteljesítmény a primer hűtőközeg hőmérséklete $/T_{pri}/$ és tömegárama $/F/$ változásától függően a következő összefüggés szerint alakul:

$$W = C \cdot F / T_{pri} - T_{sec} /$$

Ha az inputban C -re zéró értéket adunk meg, akkor a tranziens során a kezdeti értékekből meghatározott stationer értékekkel számol a program:

$$C = W_0 \frac{1}{F_0 \cdot T_{pri_0} - T_{sec}}$$

4.2/ Időfüggő modell

Ez a modell a primeroldali kilépő paraméterek meghatározásához a gőzfejlesztő relatív hőteljesítménye időbeli változásának megadását igényli az input kártyákon, táblázatos formában.

5./ A gőzfejlesztő hővezetési modelljei

A RELAP4 programban a hővezető elem /heat slab/ felhasználásával a gőzfejlesztő hővezetési modelljének két változatát valósították meg.

5.1/ Hővezetés speciális határfeltétellel

Ez a modell lényegében a 4.1 -ben leírt modell olyan bővítése, hogy a konstans szekunder oldali folyadék hőmérséklet mellett a szekunder oldali hőátadási tényezőt /h/ veszi konstansnak és ezekkel a speciális határfeltételekkel oldja meg a primer oldal térfogateleméhez csatlakozó hővezető elemekben a hővezetési egyenletet. A megoldás szolgáltatja a szekunderoldali falhőmérsékletet /T_f/ és így az adott kezdeti relatív hőteljesítményből nyert W₀ és a h segítségével határozható meg a konstans szekunderoldali határfeltételi hőmérséklet:

$$T_{sec} = T_f - \frac{W_0}{Ah}$$

ahol A a hőátadó felület a szekunder oldalon.

A tranziens számítás során a T_f aktuális értéke a

$$W = A h / T_f - T_{sec} /$$

összefüggésből nyerhető.

5.2/ Általános hővezetési modell

Az általános hővezetési modell alkalmazásához a felhasználónak térfogat-elemet kell definiálnia a gőzfejlesztőnek mind a primer mind a szekunder oldalára.

Ezenkívül hővezető elemet kell definiálni úgy, hogy a primer hűtőközeg térfogat-eleme legyen a bal oldalon, a szekunder hűtőközegé a jobb oldalon. A hővezető elem geometriájának leírásához azonban a csőköteg egyetlen csövének geometriai adatait kell csak megadni. A szekunder oldali tápvezeték, gőzkollektor és biztonsági szelep modellezése megfelelő "fill" és "break" csatlakozásokkal valósítható meg.

6./ A Paksi Atomerőmű gőzfejlesztőinek modellje

Mint az előzőekben említettük az eddigi RELAP4 vizsgálatainkban a gőzfejlesztő számítására a 4. pontban leírt egyszerű modelleket, elsősorban az időfüggő modellt alkalmaztuk, amelyhez a relatív hőteljesítmény időbeli változását több-kevesebb sikerrel előre megbecsültük. Ez a nagykeresztmetszetű csőtörések vizsgálatánál kielégítő volt. Az utóbbi időben azonban a biztonsági analízis keretében előtérbe kerültek a kis törések elemzése is, amelyekkel a gőzfejlesztő szekunder oldalának meghatározó szerepe lehet. Így ezen üzemzavari folyamatok pontosabb elemzése érdekében szükségessé vált a gőzfejlesztő modell javítása is, amelyre a hővezetési modellek közül az általános hővezetési modell létrehozásával, beépítésével és tesztelésével került sor.

Meg kell itt említeni azt is, hogy főleg a szekunder oldali kieséssel járó üzemzavaroknál e modell alkalmazása a RELAP4-mod3

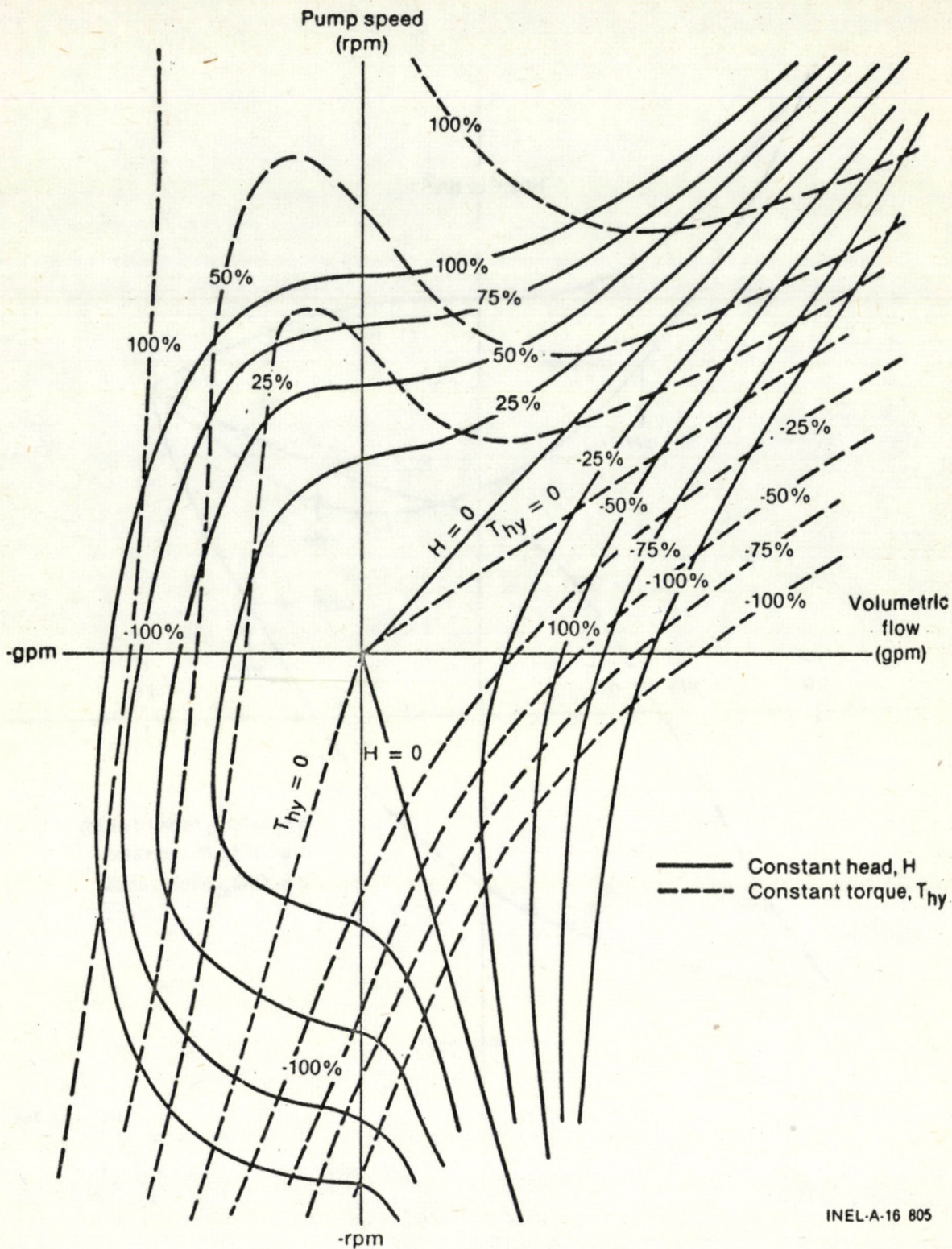
programváltozatban még bizonyos korlátokkal jár együtt, mivel pl. a természetes konvektív hőátadáshoz szükséges opciót e változat még nem tartalmazza. Irodalmi források alapján megállapítható ugyanis, hogy a RELAP4-mod5, illetve mod6 változatokkal végzett külföldi vizsgálatokban a Steam Generator Natural Convection opciót kivétel nélkül alkalmazták.

Az általános hővezetési gőzfejlesztő modellt szekunder oldalon egy térfogati elemből és három részre osztott hővezető elemből építettük fel a 6.1 ábra szerint. Az ábra a teszteléshez használt teljes 16 térfogatelemből és 21 csatlakozásból álló sémát mutatja. Az input adatokat a Paksi Atomerőmű első kiépítése biztonsági elemzéséhez összegyűjtött adatok alapján adtuk meg. A gőzgenerátorra vonatkozó főbb adatokat a 6.1 táblázat tartalmazza. Az ábrán feltüntettük a gőzfejlesztő szekunder oldali kiszáradását jobban modellező változat /20 térfogat 25 csatlakozás/ séma részletét is, amelynél a szekunder oldali vizteret három részre osztottuk.

A tesztszámítás eredményeiből a 6.2 ábrán a hűtőközeg hőmérséklet változását láthatjuk a gőzfejlesztő primer és szekunder oldalán a 90 mm átmérőjű nyomástartó és térfogat-kompenzátori hidegvizbefecskendező cső törése esetén, ha a törés a 2. sec-ban következik be, a szekunderoldali gőzelvétel az ezt követő 2.5 sec alatt megszűnik, és tápvizbetáplálás is kiesik, a 4. és 10. sec között lineárisan csökken nullára.

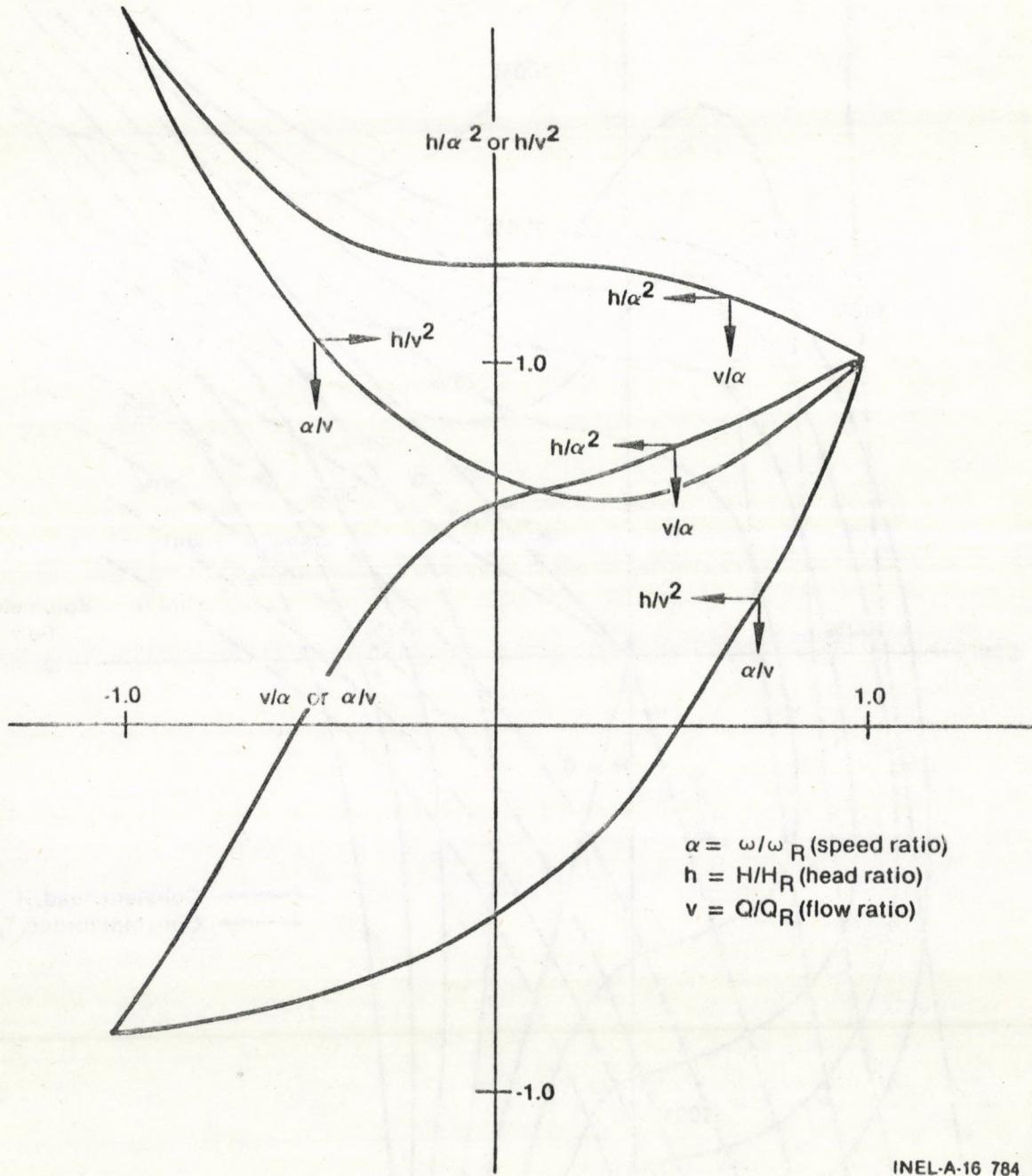
Irodalom: K.V.Moore, V.H. Retting: RELAP4 - a computer program for transient thermal-hidraulic analysis. ANCR-1127. 1973. december.

- RELAP4/MOD5 - a computer program ... User's Manual Vol.I. ANCR-NUREG-1335. 1976 szeptember.
- RELAP5/MOD1 Code Manual Vol.1. System models and numerical methods. NUREG/CR-1826. 1981. március.



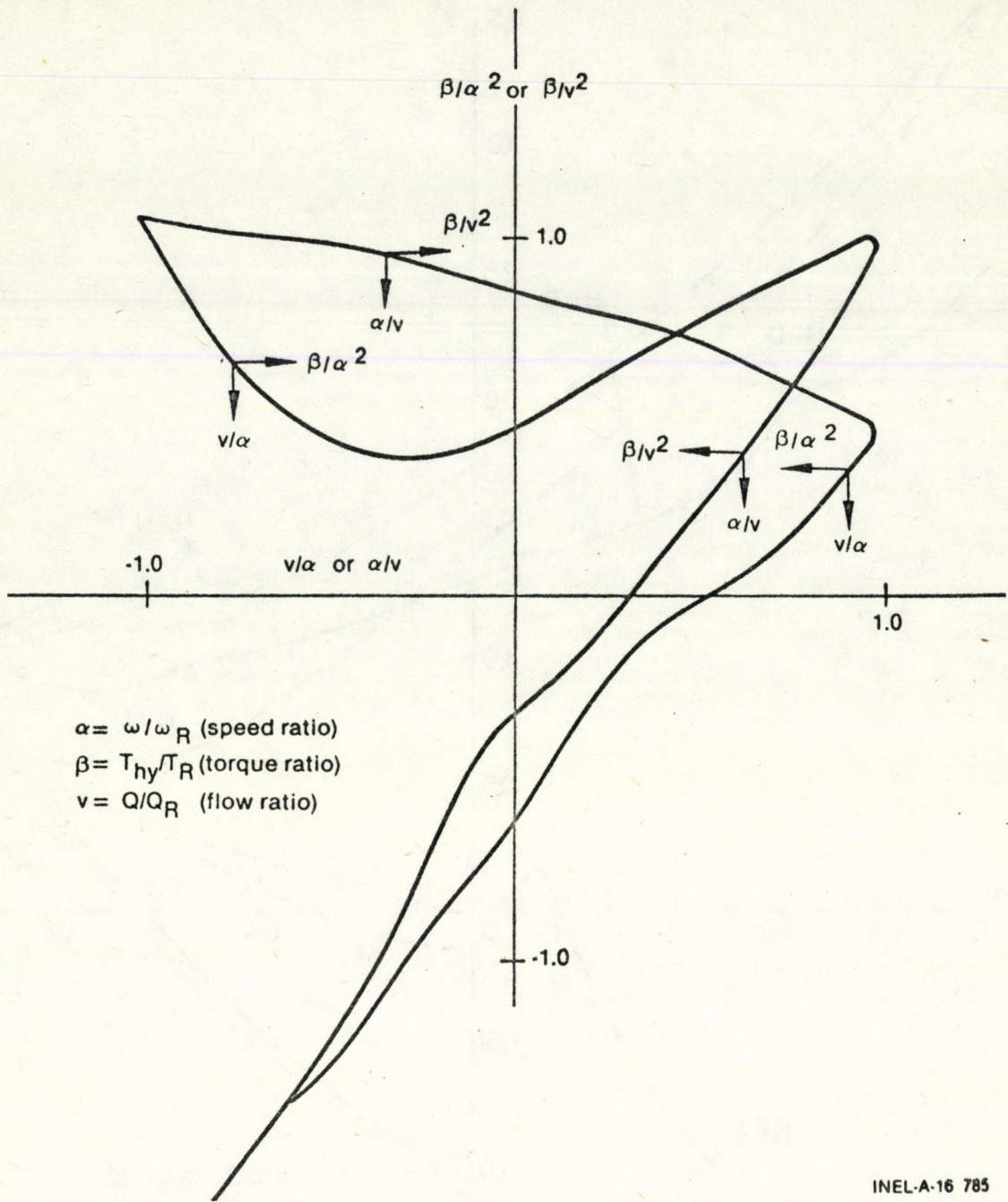
INEL-A-16 805

2.1 ábra

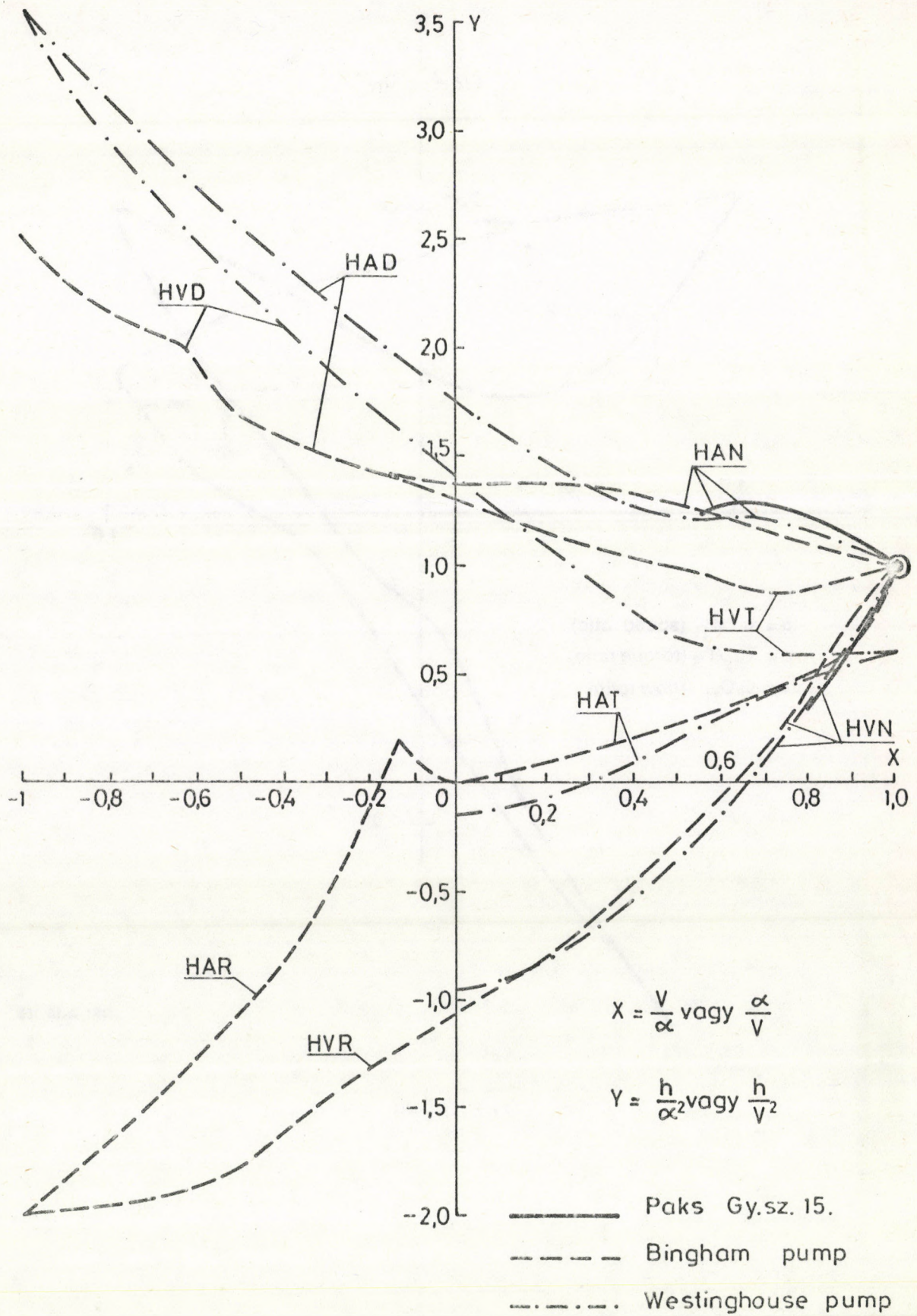


INEL-A-16 784

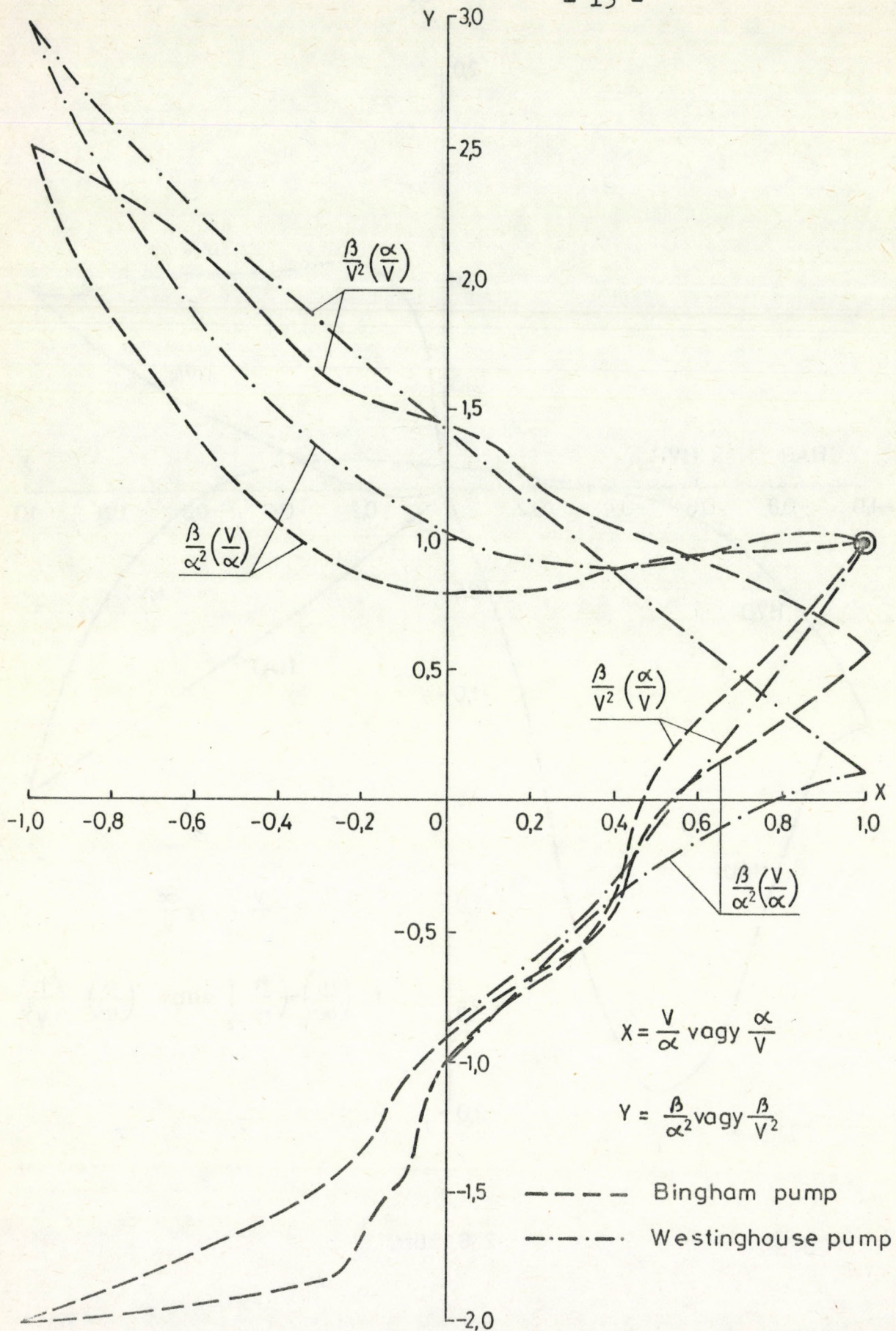
2.2 ábra



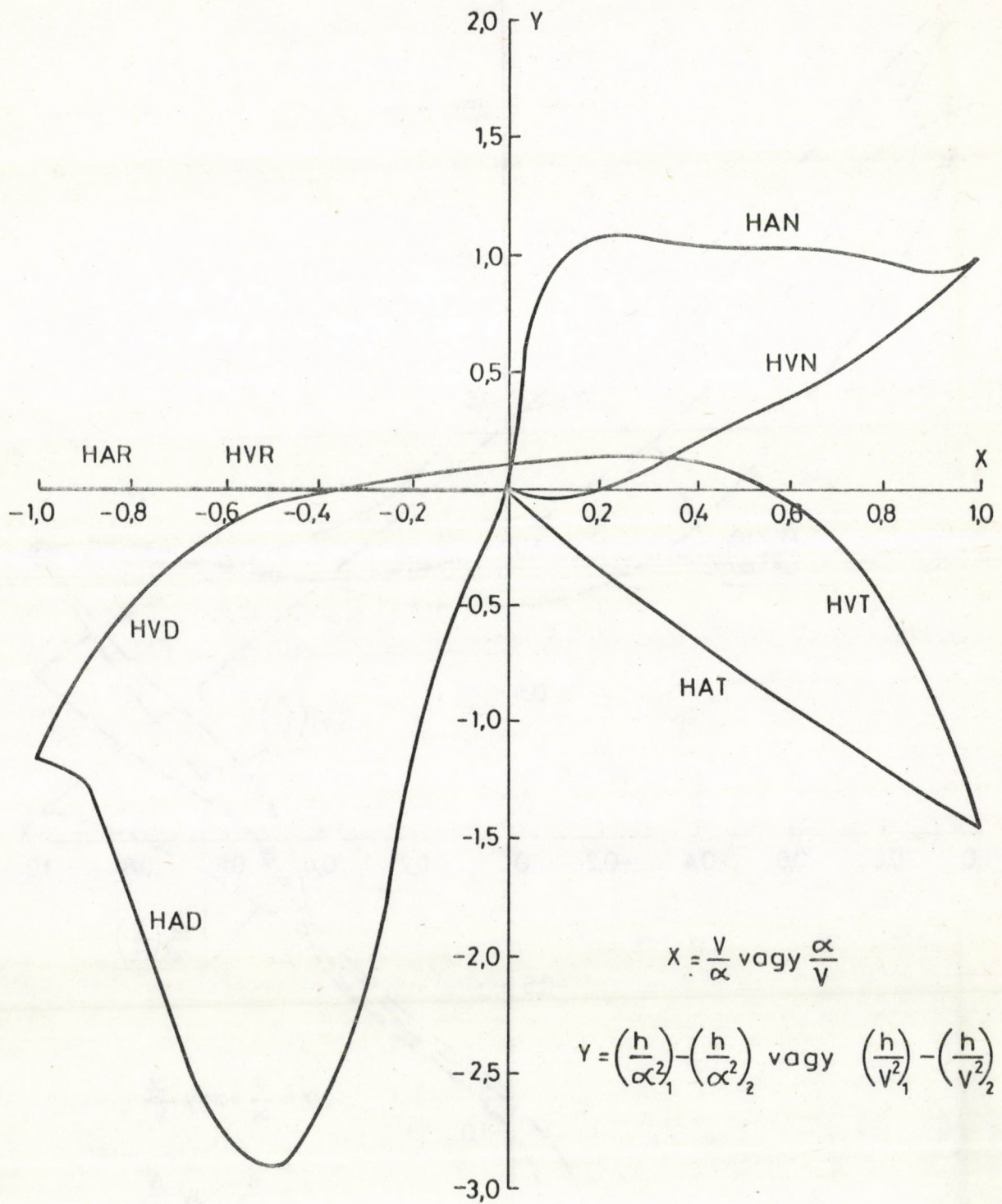
2.3 ábra



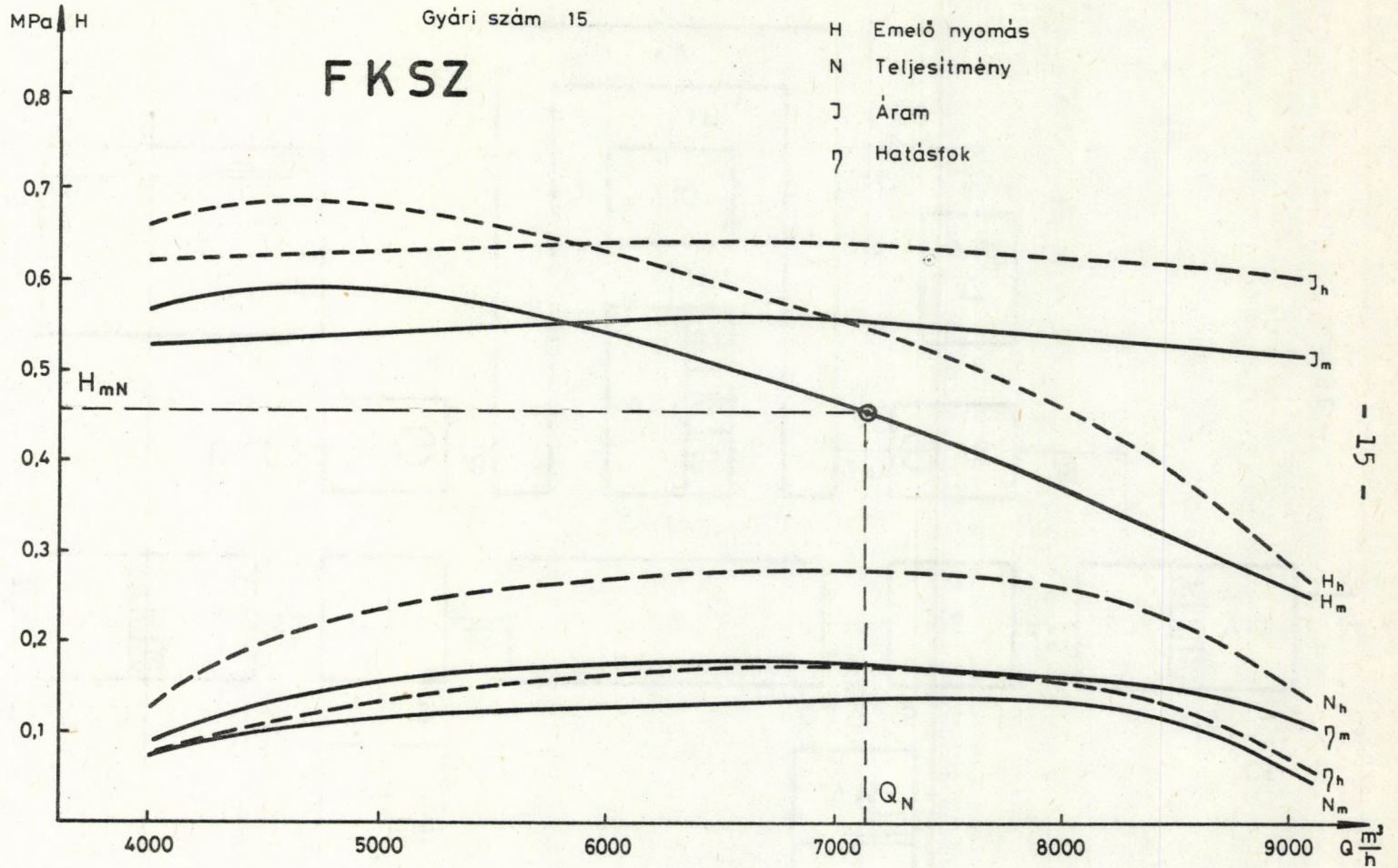
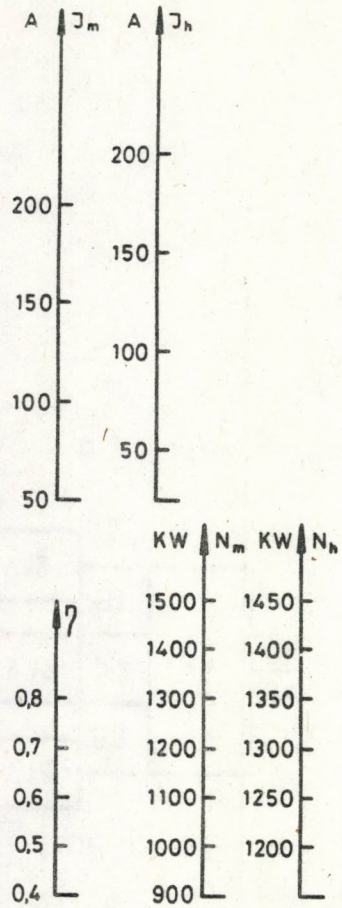
2.4. ábra



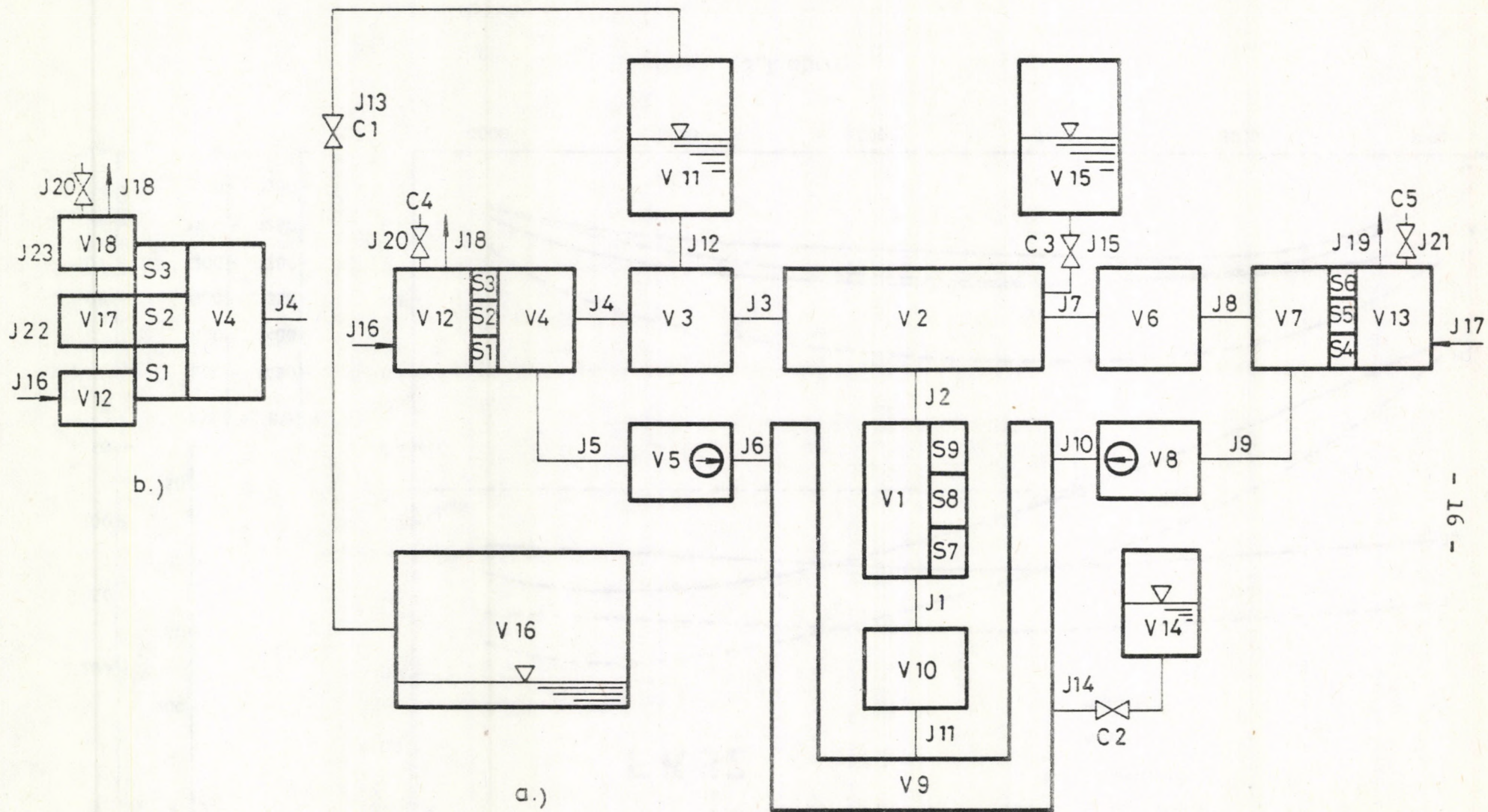
2.5. ábra



2. 6. ábr



3.1. ábra

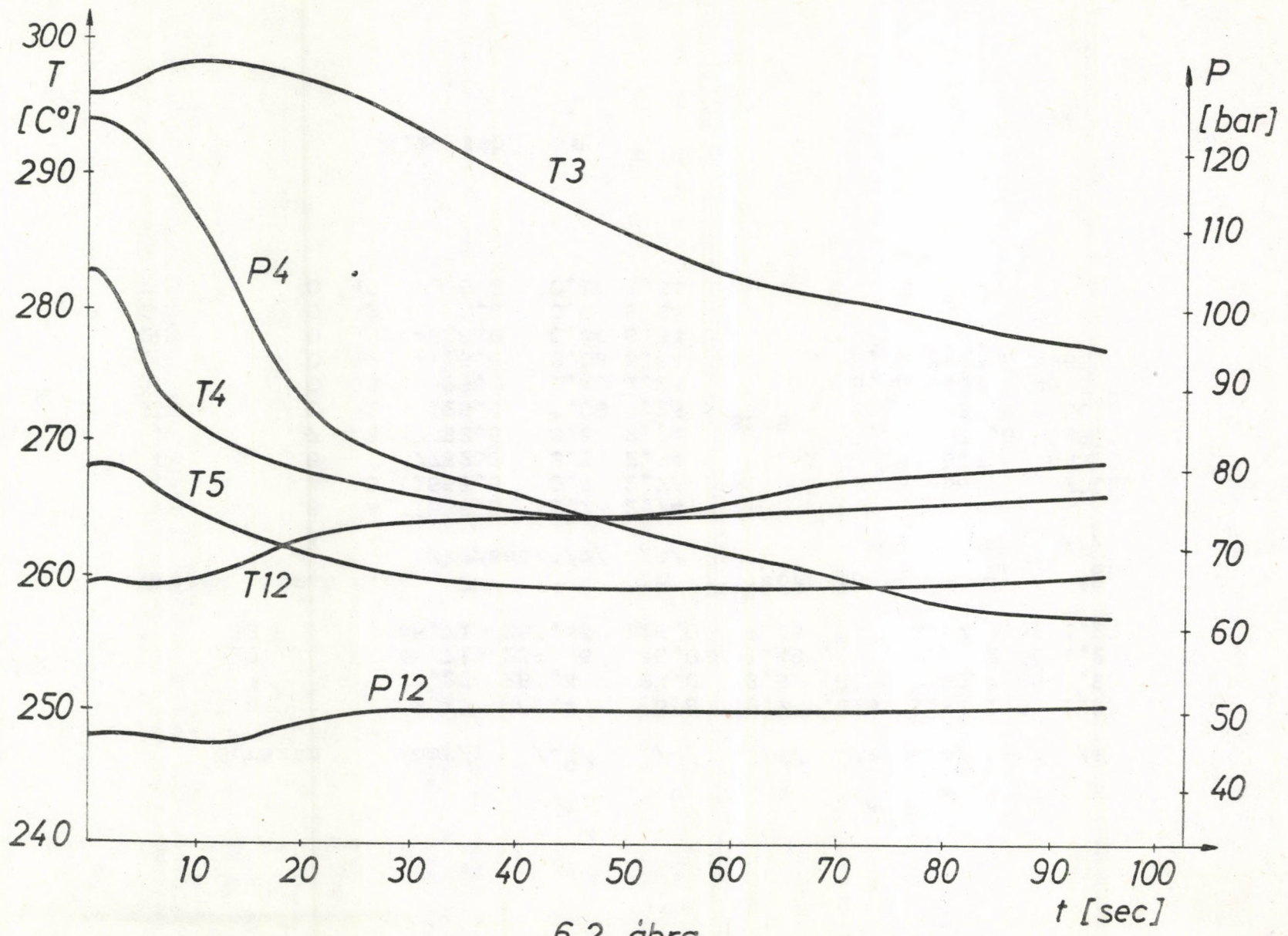


6.1. ábra

	Sorszám	p /bar/	T /C°/	V /m³/	A /m²/	d _e /m/	h /m/	h' /m/	H /m/
VOLUME	4	122.23	282.4	6.8	0.7	.0132	1.83	1.83	1.83
	7	122.23	282.4	34.0	3.5	.0132	1.83	1.83	1.83
	12	46.71 - 259.45		45.0	1.49	.0	4.57	2.60	1.22
	13	46.71 - 259.45		225.0	7.45	.0	4.57	2.60	1.22

	sorszám	from	to	G /kg/sec/	A /m²/	H /m/	sorszám	V _S /m³/	A _{SR} /m²/	A _{SL} /m²/	
JUNCTION	4	3	4	1556.5	0.7	2.74					
	5	4	5	1556.5	0.7	2.74	1	1.08	687.5	833.3	
	8	6	7	7782.5	3.5	2.74	2	1.08	687.5	833.3	
	9	7	8	7782.5	3.5	2.74	3	1.08	687.5	833.3	
	17	0	12	125.6	0.08	1.25	4	5.40	3437.5	4566.5	
	18	0	13	628.0	0.40	1.25	5	5.40	3437.5	4566.5	
	19	0	12	-125.6	0.08	5.64	6	5.40	3437.5	4566.5	
	20	0	13	-628.0	0.40	5.64					
	21	0	12	0.0	0.02	5.64					
	22	0	13	0.0	0.10	5.64					
							SLAB				

6.1. táblázat



6.2 ábra





Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán
Szakmai lektor: Vigassy József
Példányszám: 50 Törzsszám: 82-62
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Felelős vezető: Nagy Károly
Budapest, 1982. január hó