

TK 155.469

14

KFKI-1983-15

SZABADOS LÁSZLÓ
BARANYAI GÁBOR
CSOM VÉRBULCSÚ
EGELY GYÖRY
MARÓTI LÁSZLÓ
MAETZ ERVIN
PERNECZKY LÁSZLÓ
TÓTH IVÁN
TROSZTEL ISTVÁN
WINDBERG PÉTER
THOMAS BANDURSKI

A PMK-NVH BERENDEZÉS LÉTESÍTÉSÉHEZ
KAPCSOLÓDÓ KUTATÁSOK

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

2017

5) KFKI-1983-15

SPEC: 11-014

6) 104

10x

2) A PMK-NVH BERENDEZÉS LÉTESÍTÉSÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KUTATÁSOK

mind SEKI
szívetel
utolsó

1) SZABADOS LÁSZLÓ, BARANYAI GÁBOR, CSOM VÉRBULCSU, EGELY GYÖRGY,
MARÓTI LÁSZLÓ, MAETZ ERVIN, PERNECZKY LÁSZLÓ, TÓTH IVÁN,
TROSZTEL ISTVÁN, WINDBERG PÉTER, THOMAS BANDURSKI*

Központi Fizikai Kutató Intézet
1525 Budapest 114, Pf. 49

A PMK-NVH BERENDEZÉS LÉTESÍTÉSÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KUTATÁSFEJLESZTÉSI TEVÉKENYSÉG EREDMÉNYEIT FOGLALJA ÖSSZE

KUTATÁSFEJLESZTÉSI VEZETŐ: DR. SZABADOS LÁSZLÓ, BUDAPESTI MŰTECHNOLÓGIAI EGYETEM, MŰTECHNOLÓGIAI INTÉZET, 1053 BUDAPEST, HUNGÁRIA
MÉRŐI VEZETŐ: DR. HARTYI LÁSZLÓ, MŰTECHNOLÓGIAI EGYETEM, MŰTECHNOLÓGIAI INTÉZET, 1053 BUDAPEST, HUNGÁRIA
KUTATÁSFEJLESZTÉSI VEZETŐ: DR. TROBOSZTAL ISTVÁN, MŰTECHNOLÓGIAI EGYETEM, MŰTECHNOLÓGIAI INTÉZET, 1053 BUDAPEST, HUNGÁRIA
KUTATÁSFEJLESZTÉSI VEZETŐ: DR. KÖRÖSI LÁSZLÓ, MŰTECHNOLÓGIAI EGYETEM, MŰTECHNOLÓGIAI INTÉZET, 1053 BUDAPEST, HUNGÁRIA

KIVONAT

A dolgozat a PMK-NVH berendezés létesítéséhez kapcsolódó kutatásfejlesztési tevékenység eredményeit foglalja össze. Széles körű irodalmi áttekintés után megfogalmazza a hazai feladatokat, előkészítő számítások sorozatával nyújt segítséget a kísérleti munka megtervezéséhez. Összefoglalja a mérés-technikai és technológiai kutatások eredményeit.

Előszó

Jelen munkában azoknak a kutatás-fejlesztési munkáknak az eredményeit foglaljuk össze, melyek az OKKFT A/11-2. alprogram keretében 1982-ben születtek és közvetlenül kapcsolódnak a PMK-NVH berendezés létesítéséhez. Az előkészítő munka első részét [1]-ben foglaltuk össze és a kutatások a terveknek megfelelően 1983-ban folytatódnak.

A munka első fejezete a reaktorbiztonsági kutatások nemzetközi helyzetét foglalja össze olyan szempontból, hogy a PMK-NVH berendezés kutatási programja a tapasztalatok felhasználásával megalapozott és korszerű legyen.

A második fejezet a kutatási programot tartalmazza, pontosabban a kutatási célkitűzések egy olyan széles spektrumát, amelyből a reálisan végrehajtható program 1983 során kiválasztható lesz.

A harmadik fejezet az előkészítő számítások első részét tartalmazza és a vizsgálható folyamatoknak csak egy szűk körére terjed ki. A kísérletek megtervezése azt kívánja meg, hogy a végleges kutatási programba felvett valamennyi esetre hasonló számításokat végezzünk.

A negyedik és ötödik fejezet néhány technológiai, mérés-technikai és műszer-alkalmazási problémát tárgyal.

A beruházás 1982 végi helyzetét külön tanulmányban foglaltuk össze.

1. A reaktorbiztonsági kutatások helyzete

1.1 Bevezetés

A reaktorok tervezéséhez, engedélyeztetéséhez és üzemeltetéséhez sok ismeretre van szükség, az egészen enyhe tranziens jelenségektől a súlyos üzemzavarokig. Más és más szempontok vezetik a tervezőt, az engedélyezőt és üzemeltetőt, de az közös mindegyikükénél, hogy pontosan kell ismerniök azokat a tranzienseket, amelyekre a reaktor üzemeltetése közben számítani lehet. A legegyszerűbb esetek közé sorolhatók például a szivattyukiesés vagy egy szabályozórudnak a meghibásodása. Jóval több problémát jelentenek az olyan esetek, amikor a nyomástartó rendszer kismértékben megsérül és kismennyiségű hűtőközeg távozik a hermetikus térbe. Olyan tranziensek is előfordulhatnak, amelyeket egy szivattyu meghibásodása miatt kizárt hurok újraindításánál a lehült hűtőközeg okoz.

Fentiek enyhe tranziensek, amelyeket viszonylag egyszerű kísérleti berendezéssel, vagy magával a működő reaktoral az üzembehelyezéskor tanulmányozni lehet. Súlyos üzemzavart, például nagymennyiségű hűtőközeg elvesztését azonban egy működő reaktoral nyilvánvalóan nem lehet szimulálni. Ezért van szükség az ilyen folyamatok vagy kísérleti, vagy számítógépes szimulálására, de amint azt a gyakorlat bebizonyította, egyik sem használható a másik nélkül. A számításokhoz szükségünk van nagymennyiségű kísérleti adatra és a kísérletek megtervezése is már bizonyos számítási eredményeket feltételez.

Amennyiben a tranziens folyamatban a hűtőközeg a primer-körben folyadék fázisban marad, abban az esetben a szimulálással viszonylag egyszerű dolgunk van. Ilyenkor a mérnöki gyakorlatban felhalmozott eddigi módszerek, tapasztalatok megfelelőek. Egyfázisú áramlás esetén nagy biztonsággal le tudjuk írni a legfontosabb tranzienseket, a mérések és a számítások közti eltérés minimális. A számítógépi programok ilyenkor kis memóriát igényelnek és gyorsan számolnak.

A modellezés problémáját a hűtőközeg fázis változása okozza. A gőzfázis megjelenésével két közeget kell egyszerre leírni: a folyadék és a gőz tömegfluxusát, sebességét, nyomását, hőmérsékletét, energiatartalmát kell ismernünk ahhoz, hogy az

összes folyamatot biztonságosan kézben tartasuk.

A reaktorok biztonsági számításait szolgáltató kódok e tekintetben hosszú fejlődésen mentek keresztül. Nézzük példaként a csőtörés esetén megjelenő új fizikai probléma, kritikus tömegfluxus pontos meghatározásának problémáját. A biztonsági számításokban ennek a tömegfluxusnak az értéke alapvető fontosságú. Hosszu évek óta jelentős erőfeszítések történtek ennek meghatározására is. Ma már a komplikáltabb eseteket kivéve eléggé jól megadható, hogy felület-egységenként, idő-egységenként mennyi hűtőközeg hagyja el a primérköri rendszert.

Legelterjedtebbek azok a számítási módszerek, amelyekben az ún. homogén modellt alkalmazzák, amikor feltételezik, hogy a keletkező gőz nyomása, sebessége és hőmérséklete azonos a folyadékéval. Ezek a modellek akkor adnak jó számítási eredményeket, amikor a kiáramlás egy hosszú csövön vagy vezetéken keresztül történik és amikor a rendszer nyomása már meglehetősen alacsony. A törés utáni pillanatokban azonban a modell alapfeltevése nem teljesül, azért nem is szolgáltatathat jó kiömlési értékeket. A homogén modellt csakhamar fölváltotta az ún. Drift-modell, vagy Slip-modell, amikor feltételezték, hogy a gőz más sebességgel áramlik, mint a folyadék. Bár ezzel a módszerrel sikerült javítani a kiáramlás számítását, az eredmény még mindig elmaradt a gyakorlati igényektől. Ezért az utóbbi években kifejlesztett rendszerkódokban két-folyadék-modellt használnak: ebben a gőz és a folyadékfázist külön-külön kezelik. Mindezekre a fejlesztésekre azért volt szükség, hogy a számítások megfelelően adják vissza a kísérletek segítségével megismert, a valóságban lejátszódó folyamatokat.

A számítási modellezés során sok jelenségre csak empirikus korrelációt lehet felállítani. Ilyen a hőátadási korrelációk nagy része, de a két fázis /folyadék és gőz/ egymásközti felületét, tömeg- és energiaátadását, impulzuscseréjét leíró összefüggések is mind tapasztalati, mérési eredményeken nyugszanak.

Az elmúlt évek nagyszámu mérési és számítási eredménye azt

bizonyította, hogy a biztonságos reaktor üzemeltetéshez az egyes, egymástól elhatárolható fizikai jelenségek megismerésén túl lényeges megtudni, hogy egy működő reaktornál ezek az effektusok milyen kölcsönhatásban vannak egymással. Ezért fontosak az ún. integrált kísérletek. Ezek a kísérletek és a hozzájuk kapcsolódó számítások nagyon eszköz és munkaerő igényesek. A kísérletek legnehezebb részét és az alapvető számítógépes fejlesztési munkát csak a legfejlettebb országok tudják finanszírozni. Az azonban minden atomerőművet üzemeltető országnak alapvető érdeke, hogy erőműve biztonságosan üzemeljen, az esetleg előforduló üzemzavar következménye pedig minimális legyen. Ehhez viszont az szükséges, hogy az operátorok, és a reaktor működtetéséért felelős szakemberek a váratlan szituációkban is tájékozódni tudjanak, és az összes lehetséges tranzienszt ismerjék, még hozzá pontosan úgy, ahogy az az adott reaktorban bekövetkezik. Ez azonban csak úgy lehetséges, ha az adott erőműre minden lényeges tranziens szimulálását elvégeztük. Ehhez szükséges, hogy a biztonsági számításoknak kísérleti háttérük legyen, és a kísérleti berendezés főbb paramétereiben megegyezzen a szimulálható reaktor lényeges adataival. Ezt a célt szolgálja a PMK-NVH berendezés.

1.2 Kísérleti berendezések és kutatási irányok

A PMK-NVH berendezés létesítésével kapcsolatos célkitűzéseknek megfelelően itt csak néhány kísérleti berendezést mutatunk be és röviden vázoljuk az ezekre a berendezésekre tervezett, vagy már végrehajtott kutatási programokat, különös tekintettel a kis folyásokra.

A világban létesített, vagy létesítés alatt álló berendezések közül az 1.2.1 Táblázatban néhány berendezés legfontosabb adatait foglaltuk össze. Az összehasonlítás kedvéért feltüntettük a PMK-NVH berendezés hasonló adatait is.

A PMK-NVH berendezés szempontjából fontosnak ítélt kutatási programokat, ill. eredményeket a teljesség igénye nélkül az alábbiakban foglaljuk össze.

A LOFT berendezés. A Loss of Fluid Test /LOFT/ kísérleti berendezés [2] eredendően a méretezési balesetet követő folyamatok vizsgálatára készült. Unikális abból a szempontból, hogy a zónamodell nukleáris fűtésű. Felépítése az 1.2.1 ábrán látható.

A TMI baleset után a berendezés programját lényegesen kibővítették a kis törések, a több meghibásodás együttes fellépését követő tranziensek és a reaktor leállást nem eredményező üzemi zavari állapotok vizsgálatára. [3]

A kis töréseket követő folyamatok vizsgálatára 8 kísérletet hajtottak végre. Az irodalomból jól ismert jelöléssel ezek a következők: L3-0, L3-1, L3-2, L3-7, L3-5, L3-5A, L3-6, L8-1.

Az L3-0 jelű kísérlet a TMI baleset szimulációja volt abban az értelemben, hogy közel névleges paraméterű, és közel izotermikus primerkörben kinyitották a nyomástartó biztonsági szelepet, amely ~ 3 %-os törésnek felel meg.

Az L3-1 kísérletben 2,5 %-os, az L3-2-ben 0,1 %-os hidegági, tört hurokági törést vizsgáltak, teljesítményen lévő zónával. Az L3-7, az L3-2 ismétlése volt. Az L3-5/5A 1,5 %-os törés a hidegágban, az ép hurokágban. A törésméret és hely tekintetében az L3-6 és L8-1 azonos az L3-5-el.

A kis töréses mérésorozat fő célkitűzései:

- mindegyik kísérletnél közös a kódok tesztelése a rendszer-kísérlet eredményeivel;
- az operátor beavatkozások hatásának vizsgálata;
- az egyes rendszerek és a folyamatműszerezés hatásosságának vizsgálata;
- a törés izolálása, majd a rendszer lehűtése;
- szekunderköri feltöltés és lefuvatás hatásossága;
- egy- és kétfázisú természetes cirkuláció, stb.

A kis töréses folyamatokat jól jellemzik a nyomás-idő diagramok. Erre mutatunk példát az 1.2.2 ábrán /L3-1 kísérlet/ és az 1.2.3 ábrán /L3-2 kísérlet/. A tranziensek során bekö-

vetkező események az ábrákra fel vannak írva. Hasonló tranziensek részletes értékelésére a 3. fejezetben kerül sor.

A kísérleteknek egy számunkra érdekes másik csoportja: tápviz elvesztés a gőzfejlesztő szekunder oldalán, turbinakiesés, gőzvezetési zavarások, szivattyukiesés a primerkörben, stb.

A SEMISCALE berendezés. A LOFT-hoz hasonlóan a SEMISCALE program [4] is az USNRC kezdeményezésével és anyagi támogatásával indult. A program végrehajtása során három fontosabb berendezés-változatot építettek: MOD-1, MOD-3 és MOD-2A.

A MOD-1-nél a zónamodell 1.68 m hosszú volt, 40 fűtőelemmel. A MOD-1 módosításával jött létre a MOD-3, majd a MOD-3 módosításával a MOD-2A, melynek főbb adatai az 1.2.1 táblázatban láthatók.

Jelen dolgozatban a MOD-3 rendszert mutatjuk be. A 4-hurkos 1000 MWe teljesítményű PWR modell sematikus rajza az 1.2.4 ábrán látható. A zónamodell magassága 3.66 m, 24 elektromosan fűtött fűtőelemmel a teljesítmény 2 MW, nyomás 15.51 MPa, hőmérséklet 555 K.

A berendezés programja a termohidraulikai biztonsági vizsgálatoknak szinte az egész spektrumát lefedi. A kutatási programból és az eredményekből csak a PMK-NVH programja szempontjából érdekes néhány témát emelünk ki.

Nyolc méréssorozatot végeztek azzal a céllal, hogy a TMI baleset első két órájának termohidraulikai folyamatait tisztázzák. Az eredmények nagyon közel voltak a TMI-nál gyűjtött adatokhoz. A rendszer a balesetet jól szimulálta.

A kis töréses vizsgálatot úgy tervezték, hogy adatokat adjanak a hasonló LOFT kísérletekhez; kimutassák a LOFT geometria hatását a rendszer dinamikus viselkedésére; adatokat nyerjenek kód teszteléshez; megvizsgálják a különböző időpontokban leállított, vagy a tranziens során járó szivattyuk hatását a folyamatokra, stb.

Összehasonlító mérésre került sor a LOFT L3-1 mérés esetében.

A jó egyezést az 1.2.4 ábrán látható nyomás-idő diagram mutatja. Ez fontos információ, mert a PMK és SEMISCALE méreteikben és főbb modellezési elveikben hasonlóak.

A természetes cirkulációs mérések fontos tanulsága, hogy a rendszer hővesztése jelentősen módosítja a természetes cirkulációs sebességet.

A PKL berendezés. A PKL /Primerkreislauf/ kísérleti berendezést [5] a Krafwerk Union AG létesítette 1976-ban erlangeni telephelyén azzal a célkitűzéssel, hogy az 1300 MWe teljesítményű PWR típusu 4 hűtőhurkos német erőművi reaktor nagykeresztmetszetű csőtörését követő tranziens folyamatnak a 30 bar-nál alacsonyabb nyomású szakaszát modellezze a primerköri komponensek közötti kölcsönhatás tanulmányozására. Ezen kívül információkat kívántak gyűjteni a passzív /hidroakkumulátorok 26 bar kezdőnyomással/ és aktív /kisnyomású vészhűtőszivattyúk 10 bar nyomásfokozattal/ vészhűtés hatásáról a zóna újraelárasztási és ujranedvesítési körülményeire, valamint a természetes cirkuláció kialakításának feltételeiről - elsősorban a számítógépi kódok verifikálásához.

A TMI üzemzavart követően, 1979 őszén a berendezést kiegészítették abból a célból, hogy a kis keresztmetszetű törések vizsgálatára is alkalmas legyen. Mivel a kis töréseknél a kiömlő hűtőközeg kevesebb energiát visz el, mint a zónában fejlődő maradványhő és ezért e hő egy részét a gőzfejlesztőn keresztül kell eltávolítani. A bővítés többek között a gőzfejlesztő szekunder oldali gőz dómjának kialakítását, gőzelvétel, illetve tápellátás kiépítését jelentette 100 K^o/h lehűtési sebesség biztosítására. Az 1.2.5 ábrán a PKL berendezésnek ez a kis törések vizsgálatára kiegészített képe látható.

Az eddig elvégzett kísérletekről az 1.2.2 táblázat PKL-I. jelzéssel ad áttekintést. Az ugyanitt szereplő PKL-II. kísérletek egy új kísérletsorozat tervezett és 1982 év végén megkezdett feladatait jelentik.

A PKL-I. és PKL-II. megkülönböztetés alapja az az átépítés, amelyet az USA, Japán és NSZK un. 2D/3D kutatási együttműködé-

se keretében 1982. augusztusában kezdtek el. Ennek lényege, hogy a berendezést - amelynek legfontosabb paraméterei is módosulnak - új reaktortartállyal, a viz-gőz ellenáramlás /CCFL/ vizsgálatára alkalmas 2 zónás új gyűrűskamrával, ezenkívül az US-NRC által biztosított legújabb műszerezéssel /mint például helyi gőztartalom és sebesség mérésre alkalmas impedancia-érzékelő, konduktív folyadékszint detektor, folyadékfilm vastagságmérő érzékelő/ látják el. Az új berendezés, az új műszerezés és az új kutatási program tükrözik azt a szemléletváltást is, amely a termohidraulikai kutatásokban a konzervatív megközelítés helyett az ún. Best Estimate vizsgálatokat helyezi előtérbe.

A PKL-I. és PKL-II. berendezésre alapozott hűtőközegelveztetéses kísérletek alkalmazási tartományát a rendszer nyomás-idő diagramban az 1.2.6 ábra mutatja.

Az 1.2.1 táblázatban található LOBI berendezés eredetileg nagy törések vizsgálatára készült. Módosítások után a LOBI-2 fő célkitűzése a kis törések és tranziens vizsgálatok lesznek.

Építés alatt áll a ROSA-IV berendezés is. Fő célkitűzése: kis- és közepes töréses vizsgálatok, 10 %-nál kisebb törésekkel.

Ugyancsak építés alatt áll a BETHSY két fő célkitűzéssel: az operátor beavatkozás hatásossága az üzemzavar következményeinek csökkentésére és kód verifikálás.

1.2.1 táblázat

KISÉRLETI BERENDEZÉSEK ÖSSZEHOSONLÍTÁSA

Név:	Létesítési idő:	Létesítési hely:	Tipus:	Reaktor tipus:	Térfogat arány:	Magasság arány:	Zóna fűtés:	Telj.: MW	Rud- szám:	Nyomás: MPa	Hőmérs.: K ^o
LOFT	1975	USA	Integrális	PWR	1:45	1:2	Nukleáris	55	1300	15	600
ROSA-IV /LSTF/	1984	Japán	Integrális	PWR	1:48	1:1	Elektromos	10	1184	17.3	616
LOBI	1979	Olaszo.	Integrális	PWR	1:700	1:1	Elektromos	5.3	64	15	600
BETHSY	1985	Franciao.	Integrális	PWR	1:100	1:1	Elektromos	3	419	17	673
Semiscale 2A	1980	USA	Integrális	PWR	1:1705	1:1	Elektromos	2	25	15	600
PKL-I./II.	1976/82	NSZK	Integrális	PWR	1:134/145	1:1	Elektromos	1.5	340	3/4	573
PMK-NVH	1983	Magyaró.	Integrális	WWER	1:2070	1:1	Elektromos	2	19	16	623

PKL kísérletsorozatok áttekintése

	Kísérlet:	Törés nagyság:	Kísérlet célja: Vizsgált paraméter:	Kísérletek száma:
PKL-I. max 30 bar 1:134	A	Nagy törés	Hidr. ellenállás Vészhűtés helye és mennyisége	16
	B	Nagy törés	Törési keresztmetszet Ellennyomás a containmentben Kombinált vészhűtés	15
	C	Kis törés	Üzembehelyezés	-
	D	Kis törés	Stacioner kísérlet Tranziens kísérlet	75 12
	E	Nagy törés	PKL-II. előkészítése	1
PKL-II. max 40 bar 1:145	A	200 %	Ujrafeltöltés, ujranedvesítés uj mérés technikával	4
	B	200 %	Blowdown vége ujrafeltöltés, ujranedvesítés	10

2. Tervezett kísérletek

A PMK-NVH berendezés tervezésénél elsősorban azt igyekeztünk biztosítani, hogy a kísérleti hurok jó lehetőséget nyújtson a primerkörüi kis átmérőjű csővezetékek törését követő folyamatok vizsgálatára. Ezen túlmenően a berendezés számos egyéb jelenség tanulmányozására használható /esetleg némi megszorítással/: tervezzük még primerkördinamikai /elsősorban szekunderkörüi eredetű zavarások/ vizsgálatát, akusztikus és hőmérséklet-zaj, valamint vízkémiai méréseket és a primerkör egészének a zóna újranedvesítésére gyakorolt hatásának tanulmányozását. Az utóbbi vizsgálatok pontosítása az NVH berendezésen szovjet-magyar együttműködésben végzendő kísérletek eredményei alapján történhet meg, így az alábbiakban evvel nem foglalkozunk. A tervezett vizsgálatokat és vízkémiai méréseket az [1] irodalom tartalmazza.

Nyilvánvaló, hogy a PMK-NVH-ra nyert kísérleti eredmények elsősorban a folyamatokat leíró számítógépi programok ellenőrzésére adnak lehetőséget. Ugyanakkor - a modellezés tökéletlenségeit mindig szem előtt tartva - várható, hogy pl. a kis átmérőjű csővezetékek törését követő tranziensek PMK eredményei igen közeleli információt szolgáltatnak a Paksi Atomerőmű VVER-440 típusú blokkjainak viselkedéséről hasonló szituációkban, és így a kísérleti eredmények közvetlenül is hasznos tanulságokkal szolgálhatnak az üzemeltető személyzet részére.

A kis átmérőjű csővezetékek törését követő, valamint a primerkördinamikai folyamatok ismeretében igyekszünk a jelenségek teljes spektrumát átfogni. Mint említettük a PMK-NVH alapvetően alkalmas az első típusú vizsgálatok végzésére, így ezen kísérletek esetében csak akkor beszélünk a modellezési kísérletekről, ahol ez nehézségekbe ütközik. A primerkördinamikai kísérletek tárgyalásánál célszerűnek látszik minden egyes kísérlet típusnál kitérni a megvalósítás problémáira, az alkalmazandó közelítésekre.

2.1 Kis átmérőjű töréseket követő folyamatok vizsgálata

Mindenekelőtt tisztázzuk, meddig célszerű egy primerkörü csővezeték kis átmérőjűnek tekinteni! Ehhez természetesen legcélszerűbb az illető vezeték törését követő folyamatokból kiindulni. Ismeretes, hogy nagy átmérőjű csővezeték /pl. a fő hurokág/ törése esetén a primerkörü nyomás szinte pillanatszerűen csökken le a hőmérsékletnek megfelelő telítési értékre és még ezután is gyorsan esik: evvel párhuzamosan a stationer állapottól erősen eltérő értékű /sőt irányú/ tömegáramok lépnek fel mind a zónában, mind a hurkokban, ami egy adott helyen szinte homogén eloszlású /de a primerkör különböző helyein különböző gőztartalmú/ gőz-víz keverék létrejöttéhez vezet. Evvel szemben a kis átmérőjű törésekre az jellemző, hogy a nyomáscsökkenés meglehetősen lassú, a törésen át távozó közegmennyiség /legalábbis a folyamat kezdeti szakaszában/ nem befolyásolja lényegesen a szivattyúk, majd azok leállása után a természetes cirkuláció által megszabott tömegáramokat: mindez pedig avval jár, hogy a telítési nyomás elérése után keletkező gőzmennyiség szeparálódhat, s a primerkörben egyre süllyedő vízszint alakul ki.

Az USA-ban - 1000 MW villamos teljesítményű reaktort véve alapul - kb. 240 mm átmérőjű csövet tekintenek a kis törések felső határának, ez a 440 MW-os VVER blokkra átszámítva közelítőleg 140 mm-es átmérőnek felel meg. A Paksi Atomerőmű Műszaki Terve "közepes folyás" címszó alatt foglalja össze a 135 mm, illetve annál kisebb átmérőjű csővezetékek törését követő eseményeket.

A PMK berendezés méretezésénél - pl. a tört csővégre ható erők meghatározásánál - 200 mm-es csővel számoltunk, ami már a "közepes törés" kategóriájába tartozik. Valószínű, hogy a vizsgálható tört csővezeték-méretnek az szab majd felső határt, hogy a mérési célú műszerezés kialakításában a kis törésekre jellemző, a fentiekben vázolt folyamatokat vettük alapul.

Mint említettük, a folyamaok egy része oly lassú lefolyású, hogy szinte kvázistacionernek tekinthető, másrészt a törésen

távozó közegmennyiség nem befolyásolja lényegesen az alapfolyamatot. Ennek megfelelően számos, a primerkörben kialakuló egy- illetve kétfázisú természetes cirkulációs hőelvitellel kapcsolatos kérdés igen jól vizsgálható állandósult üzemmódban. Először ismertetjük a stacionárius állapotban elvégzendő vizsgálatokat, majd a kis törést követő folyamatokat időben is leíró tranziens kísérletekről szólunk.

2.1.1 Kísérletek állandósult állapotban

Számos olyan kérdés van a primerkörben kialakuló egy-, illetve kétfázisú természetes cirkulációs üzemállapottal kapcsolatban, amelyre ilyen típusú kísérletektől választ kaphatunk, s ugyanakkor a stacioner állapot jóval pontosabb mérést tesz lehetővé. Az egyfázisú kísérletekre tulajdonképpen elsősorban azért van szükség, hogy ellenőrizzük, mennyire modellezi a kísérleti berendezés az erőmű primerkörét: ui. egyfázisú természetes cirkulációs méréseket /még ha viszonylag szűk tartományban is/ az erőmű üzembhelyezése során is végeznek. Ugyanakkor a kísérleteket olyan tartományban is elvégezzük, amelyek legfőljebb üzembzavari állapotban léphetnek föl az erőműben.

A vizsgálatok tárgyát képező folyamatok a következők:

- A hideg-, ill. melegági vizzsákok hatása a természetes cirkulációra. A VVER-440 típusú reaktorban mind a meleg-, mind a hidegágban /a gőzfejlesztő be-, ill. kilépésénél/ találunk vizzsákot: ezek szerepe elhanyagolható egyfázisú természetes cirkulációs üzemmódban, ugyanakkor nem hagyható figyelmen kívül akkor, ha a hűtőközeg szintje a vizzsáig csökken. A kérdés az, hogy a vizzsákban megrekedő víz nem akadályozza-e meg jelentős mértékben a zóna által termelt gőznek a gőzfejlesztőbe jutását, ill. nem hoz-e létre olyan mértékű áramlási ellenállás növekedést, amely a természetes cirkuláció leállítását okozza. A gőz csak úgy tud átjutni a melegági vizzsákon, hogy a vizzsák zóna oldali szárában lenyomja a vízszintet, míg az a másik szárban felemelkedik: ez természetesen azt jelenti, hogy a zóna fölötti térben a nyomás olyan mérték-

ben megnő, ahogy ezt a vizzsákban kialakuló folyadékoszlop megkivánja. Ha ez a folyamat olyankor következik be, amikor a reaktortartály szintje már közel esik a zóna kilépő szintjéhez, fennáll annak a veszélye, hogy a zóna fölötti nyomásnövekedés a zóna vízszintjét lenyomja a gyűrűskamrában kialakuló szint ellenében, ami természetesen a zóna hűtésének romlásához vezet.

A vizzsákok modellezése a PMK berendezésen /fenti viselkedés szempontjából/ bizonyos nehézségekbe ütközik. A vizzsákok tervezett geometriája a primerköri csővezetékek középvonalának megfelelő magassági szinteknek felel meg. A számunkra legérdekesebb jelenség, a vizzsák "megnyílása" /vagyis a gőz átfújása a zsákon/ akkor fog bekövetkezni, amikor a gőz a folyadékot a csővezeték felső élének szintjéig lenyomta, s ez az 500 mm átmérőjű csővezeték esetében máskor fog megtörténni, mint a PMK 50 mm-es primerköri vezetékeiben.

A folyamat pontosabb megértéséhez tervbe vettük a különböző mélységű vizzsákok vizsgálatát, és méréseinkhez hasznos kiegészítést nyújthatnak a Finnországban [6], ill. Franciaországban [7] nagyobb csőátmérőkkel levegő-vizkeveréssel végzett kísérletek.

- A hőátadás alakulása a gőzfejlesztőben a természetes cirkuláció különböző fázisában. Független elrendezésű, U-csöves hőcserélőkre /különösen a TMI-2 reaktoron bekövetkezett baleset után/számos vizsgálatot végeztek [8]. Bebizonyosodott, hogy az egyfázisú természetes cirkulációs üzemmódot a primerköri gőztartalom növekedésével a jóval hatásosabb kétfázisú váltja fel, s amikor a primerkör legmagasabban fekvő helyeit /pl. a gőzfejlesztő U-csövek felső részét/ gőzdugó zárja le, nem szűnik meg a hőátadás a szekunderkör felé, csak a hőátadás módja változik drasztikusan. A primerkör egészére kiterjedő természetes cirkuláció leáll, de a melegágakból a gőzfejlesztő fölszálló csöveibe beérkező gőz kondenzálódik, és a kondenzátum a melegágon keresztül, a gőzzel szemben áramolva visszajut a reaktortartályba. A hűtésnek ezt a

módját "reflux condenser mode"-nak nevezik, s mint azt kísérleti úton is kimutatták [pl. [8]], az átmenet ebbe az üzemmódba folyamatos, s a zóna hűtése biztosítva van.

A VVER-440 típusu reaktorokban használatos vízszintes elrendezésű hőcserélők viselkedésére a kis töréses üzemzavar viszonyai között semmiféle kísérleti eredmény nem áll rendelkezésünkre. A Szovjetunióban Bukrinszkij és társai [9] végeztek elméleti vizsgálatokat a témakörben. A fő kérdés, amelyre az állandósult üzemállapotban végzett kísérletektől várjuk a feleletet az, hogy a szekunderkör felé történő hőátadás az egyfázisú természetes cirkulációtól a kétfázisúba való átmenet során, majd a különböző magasságban elhelyezkedő primerköri vízszintek mellett folyamatosan és kellő mértékben biztosítható-e vagy nem. Az nyilvánvaló, hogy az álló elrendezésű hőcserélőkben kialakuló "reflux condenser" típusú hőátadás itt nem léphet fel, már csak melegági vízszintek miatt sem. Viszont az várható, hogy a szükséges hőmennyiséget a gőzfejlesztő azon csövei át képesek vinni, amelyek még a primerköri vízszint alatt vannak. Ugyancsak elképzelhető, hogy - amennyiben a gőzfejlesztő kondenzálóképessége kielégítő - a keletkező gőz lecsapódása révén a cirkuláció hatékonysága csak javulni fog a szint csökkenésével.

- Hőátadás a zónában. Végülis az összes eddig elsorolt vizsgálatok arra a célra irányulnak, hogy a zónán belül a fűtőelem-rudak hőmérsékletét az előirt hőmérséklet-határok között tarthassuk. Az összes vizsgálatok során ellenőrizni kell a zónában kialakuló hőátadási viszonyokat: meghatározandó, hogy a vázolt paraméterek függvényében a zóna mely szakaszára milyen hőátadási mód a jellemző, a zónabeli gőzfejlődés hatására milyen mértékben tér el a kétfázisú keverékszint /"swell level"/ az egyfázisútól /"collapsed level"/, s az előbbi meddig képes biztosítani a fűtőelemrudak kielégítő hűtését.

Az egy-, ill. kétfázisú hűtőközeggel állandósult állapotban

elvégzendő kísérleteket a 2.1 táblázatban foglaltuk össze. Az egyes kísérlettipusokhoz még a következő megjegyzéseket fűzzük:

ad 1.1: Kisátmérőjű törések esetén a primerkörü nyomás jelentősen csökkenhet anélkül, hogy a primerkörben a gőzfázis megjelenne: a szintcsökkenés csak a nyomástartóban jelentkezik. A kísérletek célja, hogy földerítse, milyen nyomásmértékig várható az egyfázisu természetes cirkuláció fennállása és annak felmérése, hogy a PMK eredmények mennyire egyeznek a Paksi Atomerőműben végzett természetes cirkulációs mérések eredményeivel.

ad 2.1: A kétfázisu mérések közül talán a legfontosabbak a primerkörben kialakuló hűtőközeg szintjének hatását vizsgáló esetek. A kisátmérőjű törések kapcsán kialakuló szintekhez - bizonyos intervallumban - nyomásértékeket is rendelhetünk, ennek megfelelően a szinthatást a hozzárendelhető nyomás környezetében vizsgáljuk. Az egyes kísérletek kiindulási állapotát a nyomástartó edény lefuvató szelepén keresztül történő gőzelengedéssel állítjuk be. A mérésekből arra kapunk válszt, hogy a primerkörü szint függvényében miként változik a hőátadás a zónában és a gőzfejlesztőben, valamint a keringetett mennyiség a primerkörben és hogy e változások létrehozásában a vizzsákoknak milyen szerep jut. A kísérletekkel addig a határig akarunk elmenni, amikor a zónában krízis lép fel, ill. a természetes cirkuláció leáll.

ad 2.2: A szint mellett nyilvánvalóan a legfontosabb befolyásoló tényező a zónateljesítmény. A kis törést követő folyamatok olyan körülmények között zajlanak le, amikor a zónában a maradványhőnek megfelelő hőenergia szabadul fel. Lehetőség van a PMK berendezésen olyan folyamatok vizsgálatára is, amelyek

olyan esetben léphetnek fel az erőműben, ha a biztonságvédelmi rudak működésében rendellenesség lép fel és a reaktor gyorsleállása nem történik meg. Ilyenkor a zónában keletkező gőz révén szabályozódik vissza a reaktor teljesítménye, ami a nominális teljesítmény kb. 20 %-ig terjedhet esetünkben.

ad 2.3: A reaktor primerkörébe a csőtöréses üzemzavar kapcsán két módon is kerülhetnek gázhalmazállapotú termékek: részint a leürült hidroakkumulátorokból nitrogén amennyiben az elzárógömb nem zár tökéletesen /sőt ezek lezárása esetén is maga a hidroakkumulátorok vize tartalmaz nitrogént oldott állapotban/, másrészt a fűtőelemburkolat túlmelegedése esetén a cirkónium-vizgőz reakciója következtében hidrogén. A PMK berendezésen végzendő vizsgálatok szempontjából a gázfajta közömbös, ugyanakkor jelentőséggel bír, hogy viszonylag nagymennyiségű, vagy csak oldott állapotban lévő gázzal van-e szó.

Az oldott állapotban lévő gáz a zónában, ill. a gőzfejlesztőben történő hőátadási folyamatra gyakorol káros hatást, de irodalmi adatok szerint [5], [8] ez nem jelentős. A viszonylag nagymértékben bekerülő gáznak az előzőn tulmenően más hatása is van: a primerkör magasabban fekvő részeiben összegyűlve akadályozza, sőt leállítja a természetes cirkulációt. Ezenkívül a gőzfejlesztőben fölgyülemelő gáz kizárja a hőcserélőből a hőátadó felület egy részét.

A PMK-kísérletek azt kívánják vizsgálat alá venni, hogy a reaktortartályban, ill. a gőzfejlesztőben fölgyülemelő különböző mennyiségű nitrogén gáz milyen mértékben zavarja a hőátadási, ill. hidraulikai folyamatokat.

ad 2.4: A gőzfejlesztőben a szekunder oldali vízszint lényeges csökkenése jelentősen befolyásolja a hőátadási viszonyokat. Ez a kérdéskör ugyan nem tartozik szorosan a "kis törés" témakörhöz /legföljebb az un. "egyidejű hibaesetek" vizsgálatára esetén/, de kapcsolódik a később primerkördinamikai folyamatok címszó alatt tárgyalandókhoz és a problémakör állandósult üzemmódban előnyösen vizsgálható: ezért tárgyaljuk itt.

Ezeket a vizsgálatokat mind a maradványhő szintjén, mind a névleges teljesítményszinten elvégezzük. Ez utóbbi esetben egy-, és kétfázisú mérésekre egyaránt sor kerül. Meg kívánjuk tudni, hogy adott teljesítményszinten adott szekunderkörü vízszinthez egy bizonyos zóna kilépő gőztartalom rendelhető-e hozzá és ez a vízszint függvényében hogyan változik, s mikor vezet a krízis fellépéséhez.

A kis töréshez kapcsolódó vizsgálatokat alacsony teljesítményszinten, viszont a primerkörü szintváltozás hatását is figyelembevéve végezzük.

2.1.2 Tranziens kísérletek

A PMK berendezés tervezésénél fontos szempontként szerepelt, hogy a kis átmérőjű csővezeték törését követő üzemzavari állapot vizsgálatakor a kísérlet időben is szimulálja a reaktoron lejátszódó folyamatot. Ezek a kísérletek tehát nemcsak egy-egy részeseményről adnak információt, hanem azok egész időbeli láncolatáról, s a fő események tekintetében helyesen adják vissza azok időbeli egymásutánját.

A tranziens kísérletek közös jellemzője, hogy kiindulási állapotuk megfelel a nominális teljesítményen üzemelő reaktor állandósult üzemi állapotának /ahol ettől eltér, azt külön jelezzük/. A törés megnyitás pillanatától kezdve a rendszer viselkedését az üzemi, ill. üzemzavari szabályozók beavatkozásai szabják meg. Ezek adják a jelet a zónateljesítménynek oly módon történő változtatásához, hogy az a reak-

torban a maradványhő által létrehozott hőfluxus-változásnak feleljen meg, a primerköri szivattyu kikapcsolásához, a nagy-nyomású ZÜHR szivattyuinak indulásához, a szekunderoldali nyomás előírt módon történő változtatásához, stb.

Az elmondottak alapján minden kiindulási folyamat /pl. a Paksi Atomerőmű reteszlistáját véve alapul/ egy bizonyos módon zajlana le egészen a kísérlet végéig. Valójában számos olyan paraméter van, amely a folyamatot vagy ennek kezdetétől, vagy egy bizonyos szakasztól lényegesen befolyásolja. Az alábbiakban ezekről adunk rövid áttekintést:

- A törés helye. A nagy átmérőjű csővezetékek törését leíró vizsgálatokból tudjuk, hogy milyen lényeges különbségek vannak különösen a folyamat kezdeti szakaszában a hideg-, ill. melegági törés esetei között. Kis átmérőjű törés esetében a folyamat kezdetén a törés helyének szerepe nem jelentős, csak akkor válik azzá, amikor a primerköri vízszint a törés magasságáig csökken: a törésen való gőzkiáramlás következtében a primerköri nyomás ettől a pillanattól kezdve rohamosan csökken.

A PMK berendezésén a következő törési helyek vizsgálatát tervezzük:

- melegági csővezeték a reaktortartálynál
- hidegági csővezeték a reaktortartálynál
- gőzfejlesztő cső törése
- a nyomástartóedény lefuvató szelepeinek szándékolatlan nyitva maradása

Az első két esetben - minthogy a tört ág a PMK-ban nincs modellezve - nem áll módunkban a törés geodetikus magasságának változtatására. A gőzfejlesztő cső törését valamelyik gőzfejlesztőkollektor légtelenítő vezetékén keresztül történő lefuvatással lehet modellezni. A nyomástartóedényen külön csomópont áll rendelkezésre a lefuvatás céljára.

- A törés átmérője. Ennek függvényében a folyamatok három csoportba sorolhatók. A legnagyobb kis törések esetében a törésen keresztül távozó energia akkora, hogy még a gőz-

fejlesztő üzemképtelensége esetén is képes a primerkör nyomását csökkenteni, legalábbis attól az időponttól kezdve, amikor a tört csővégen gőz kezd kiáramolni. A közepes és kis méretű "kis törések" esetében ez nem áll fenn, s a primerkör dekompressziója a szekunderköri nyomás fölötti értéken megáll, s hogy milyen értéken, az a szekunderkör felé a gőzfejlesztőben történő hőátadás függvénye. Ezen túlmenően az egészen kis méretű törések esetében a nagynyomású ZÜHR szivattyúi a törésen eltávozó közegmennyiségnél többet képesek szállítani, s így nyomásnövekedést hoznak létre a primerkörben: a nyomás olyan értéken stabilizálódik, ahol a törésen távozó és a szivattyúk által szállított közegmennyiség egyensúlyba kerül.

Az említett háromfajta folyamatot behatóan vizsgálni kívánjuk a PMK berendezésen. Ehhez nem a Paksi Atomerőmű primerkörében előforduló tényleges csőátmérőket vesszük alapul, hanem paraméter-vizsgálatot végzünk az átmérő függvényében: ezzel a módszerrel választ kapunk arra a kérdésre, hogy melyik intervallumban melyik fajta folyamat várható és egyben az egyes részfolyamatok lezajlására is maximális mennyiségű információ gyűjthető be.

- A nagynyomású ZÜHR működő szivattyúinak száma. A Paksi Atomerőmű minden egyes blokkja három nagynyomású szivattyúval rendelkezik a zóna üzemzavari hűtésének biztosítására. Az alkalmazott biztonsági filozófia szerint, primerköri kis átmérőjű törés esetén, a három szivattyúból egy nem kezd a primerkörre táplálni valamilyen hiba folytán. A megmaradó kettőből az egyikről feltehető, hogy éppen a tört ágba táplál, és az általa szállított hűtőközeg mindenfajta hatás nélkül elfolyik a törésen keresztül. Ily módon a megmaradó egyetlen szivattyúnak biztosítania kell a zóna megfelelő hűtését.

Vizsgálataink többsége természetesen a legpesszimistább üzemi esettel foglalkozik, vagyis egyetlen szivattyú betáplálását feltételezi. Tervezzük az erőmű üzemzavari állapotai tekintetében sokkal valószínűbb két és három sziv-

vattyu betáplálását modellező kísérletek végzését, valamint szivattyu betáplálás nélküli esetet is: ez utóbbi jelentősége abban áll, hogy megismerjük, mely fizikai folyamatokra van hatása a nagynyomású ZÜHR-nek.

- Hidroakkumulátorok kezdőnyomása. A Paksi Atomerőműben a hidroakkumulátorok kezdőnyomása 58,8 bar, vagyis jó 10 barral magasabb a szekunderköri nyomásnál. A nyomottvizes erőművek viszonylatában ez az érték szokatlanul magas /pl. a Westinghouse-nál ez 45, a KWU-nál 28 bar, de minden típusra jellemző, hogy a megszólalási érték a szekunderköri nyomás alatt fekszik./ Ennek következtében a kis törést követő folyamatok lefolyása a hidroakkumulátorok korai belépése miatt teljesen másként alakul a Paksi Atomerőműben, mint a más típusú nyomottvizes reaktorokban. A hidroakkumulátorokból beáramló nagymennyiségű hidegvíz hatására a nyomás tovább csökken, mégpedig a szekunderköri nyomás alatti értékre, így a gőzfejlesztőkben hőelvonás helyett visszatáplálás történik. Ez viszont a természetes cirkuláció leállításához vezet, tehát a zóna áramlása lényegében stagnál [10] A hidroakkumulátorok a teljes primerkört feltöltik, ennek megtörténte után a nyomás hosszú ideig stabilizálódik olyan szinten, amit a hidroakkumulátorok által befecskendezett és a törésen elfolyt mennyiség egyensúlya határoz meg. A folyamatban lényeges változás akkor várható, amikor a hidroakkumulátorok kiürülnek, és a primerkör nyomása ismét csökken: kérdés, hogy ekkor kellően alacsony nyomásszintek alakulnak-e ki ahhoz, hogy a hűtést a kisnyomású ZÜHR szivattyui biztosítsák.

Vizsgálatainkat ki akarjuk terjeszteni olyan esetekre is, amikor a hidroakkumulátorok nyomása 58,8 barnál alacsonyabb. Ilyen kísérletek elvégzését az indokolja, hogy tárgyalások folynak a hidroakkumulátor nyomás csökkentéséről [11], s amennyiben ez valóban megtörténik, ez a kis átmérőjű törést követő folyamatokban lényeges változást jelenthet.

- Szándékos primerkörü nyomáscsökkentés. Mint említettük, igen kis átmérőjű törések esetében előfordulhat, hogy a nagynyomású szivattyúk betáplálása következtében a primerkörü nyomás hosszabb időre jóval a szekunderkörü fölötte stabilizálódik. Ilyen esetben kívánatos lehet a nyomás mesterséges csökkentése, abból a célból, hogy a nagynyomású szivattyúknál hatásosabb üzemzavari hűtőrendszerek, elsősorban a hidroakkumulátorok beléphessenek. A nyomás csökkentésre a nyomástartóedényből a buborékoltató kondenzátorba való gőzlefuvatás nyújt módot, minthogy azonban ez a primerkörü vízszint csökkenésével jár együtt, folyamatosan biztosítani kell a vízbetáplálást: ezt a feladatot a lefuvatással egyidőben a nagynyomású szivattyúk látják el.

Természetesen ez az üzemmód nem szerepel a Paksi Atomerőmű üzemi vagy üzemzavari előírásai között, ezért az ezzel kapcsolatos folyamatok tanulmányozására a PMK berendezés jó lehetőséget nyújt. Választ kaphatunk a kísérletekből arra, hogy a módszer valóban hatékony-e, végrehajtható-e az aktív zóna hűtésének veszélyeztetése nélkül és milyen paraméterek mellett várható optimális eredmény.

A kísérletet nem szükséges önálló vizsgálatként kezelni. Ellentétben az eddig tárgyalt esetekkel, amelyekben a kiindulási állapot a reaktor normál üzemének felel meg, ez a kísérlet egy igen kis törést követő folyamat végállapotából, a stabilizálódott nyomás értékről indulhatna, ez utóbbi folytatásaként.

- A gőzfejlesztők szekunder oldali lehütése. Említettük, hogy a "nagyobb" kis átmérőjű törések kivételével az üzemzavar lefolyása erősen függ a szekunderkörü hőelvonás meglététől, ill. annak mértékétől: nagyjából állandó szekunder oldali nyomás mellett a primerkörü nyomás hosszú időre a szekunder oldali fölötte stabilizálódhat, ami a primerkörből elfolyó hűtőközeg mennyiségét növeli. Emiatt pl. a KWU-típusú reaktoroknál kis törésre utaló jelek esetén automatikusan megkezdődik a szekunder oldal

100 C^o/h sebességgel történő lehűtése. A PKL berendezésen nyert eredmények [5] és saját számításaink is azt bizonyítják, hogy a primerkörü nyomásváltozás igen jól követi a szekunderkört, tehát a szekunder oldali lehűtés a primerkörü nyomáscsökkentés hatékony eszköze lehet.

A Paksi Atomerőmű üzemviteli szabályzata a primerkör 30 C^o/h sebességű lehűtését engedélyezi. Természetesen ilyen lassu lehűtéstől nem várhatunk komoly előnyöket, ugyanakkor egy adott üzemzavar mielőbbi elhárítása érdekében ennél nyilván nagyobb sebességű lehűtés is megengedhető. Vizsgálatainkat kb. 100 C^o/h értékig kívánjuk elvégezni.

A kísérletek részben nominális állapotból indulnának, ahol a lehűtés a folyamat kezdetétől megtörténik, másrészt az előző bekezdésben tárgyalt primerkörü nyomáscsökkentés alternatívájaként "folytató kísérletként" végeznénk a primerkörben állandósult nyomás befolyásolására.

- A gyűrükamra-kilépőkamra közötti szivárgás mértékének hatása. A nyomottvizes reaktorok szerkezeti kialakítása megengedi, hogy az akna és a reaktortartály illeszkedésén keresztül a reaktor normál üzemi állapotában, a hűtőközeg egy kis hányada a zónán való átáramlás helyett a gyűrükamrából közvetlenül a kilépőkamrába jusson. Ez a hányad a reaktor hűtésében nem vesz részt és így veszteségként jelentkezik. Primerkörü csővezeték törés esetén viszont előfordulnak olyan üzemállapotok, amikor a zóna fölötti tér nyomása nagyobb a gyűrükamra tetején mérténél, és így a réseken való áramlás ellenkező irányu. Ilyen esetet irtunk le a fentiekben a vizzsákok hatásával kapcsolatban, s hasonló állapot állhat elő az újraelárasztás szakaszában nagy törések esetén: az újraelárasztási folyamat által termelt nagymennyiségű gőz /p. hidegági törés esetén/ csak a teljes primerkör és a gőzfejlesztő ellenállását leküzdve juthat ki a hermetikus térbe, ami a zóna kilépőkamra nyomásának növekedéséhez vezet, ez pedig az újraelárasztási folyamatot akadályozza.

A VVER-440 típusu reaktornál, a nyugati típusuakkal ellentétben e rés minimális, így az üzemzavari szituációkban való nyomáscsökkentő szerepével sem számolhatunk. A Babcook-Wilcox cég reaktorában ezzel szemben külön csapanttyukat helyeznek el, amelyek a kilépőkamra viszonylagos nyomásnövekedése esetén a gyűrűskamrába való lefuvarást biztosítják.

Kísérleteink arra irányulnak, hogy fölmérjük a rés reális értékhatárokon belül történő változtatásával milyen hatás érhető el az üzemzavari helyzetben. Ehhez egy olyan típusu kis-töréses kísérlet néhány rés-értékkel való megismétlésére van szükség, amelyben az előbb említett kilépőkamra-beli nyomásnövekedés fellép.

- Főkeringető szivattyúk működtetése. Ezt a kérdést csak igen röviden érintjük, inkább csak azért, hogy lehetőleg teljes képet adjunk az üzemzavar lefolyására jelentőséggel bíró eseményekről.

A Semiscale és a LOFT berendezésen - elsősorban a TMI-2 baleset eseményeinek tisztázása céljából - behatóan vizsgálták, mi történik a primerkörben járó ill. leállított szivattyúkkal [4], [3]. Az eredményeket úgy lehet tömören összefoglalni, hogy jobb a szivattyúkat a folyamat elején leállítani, mint a folyamat közben /pl. kavitáció következtében/ elveszteni. Ezek az eredmények és az a tény, hogy a Paksi Atomerőműben a FKSZ-k kis primerköri nyomás jelről automatikusan leállnak, lényegében fölöslegessé tesz e kérdés PMK-beli vizsgálatát.

2.2 Primerkördinamikai folyamatok vizsgálata

Előljáróban meg kívánjuk említeni azokat a főbb nehézségeket, amelyeket ezek a kísérletek támasztanak. A PMK berendezés a Paksi Atomerőmű primerkörének hat hűtőkörét egyetlen hurokkal modellezi, ez azt jelenti, hogy olyan típusu zavarások vizsgálata, amelyek elsősorban a hűtőkörök valamelyikét érintik nem követhetők kísérletileg. Ugyancsak nehézséget okoz az a tény, hogy a PMK berendezés szekunderkörét a meglévő NVH berendezés képezi, és ez utóbbi meglehetősen rugalmatlan.

A gőzfejlesztő szekunder oldali vízmennyisége - konstrukciós adottságok miatt - lényegesen nagyobb, mint az a modellezési elvekből következne: ez olyan típusu tranzienseknél jelenthet problémát, ahol pl. a viktér kigőzölgése fontos szerepet játszik.

Az alábbiakban sorra vesszük mindazokat a dinamikai folyamatokat, amelyek az aktiv zóna hűtésében jelentős változást hoznak létre. Ezek egy részében a zavarás a primerkörben áll elő, míg a folyamatok többségében ez a szekunderkörü paraméterek megváltozásán keresztül érezteti hatását a primerkörben. Célunk, hogy minden egyes típusu tranziens esetében megvizsgáljuk, milyen lehetőség nyílik a folyamatnak a PMK berendezésen való modellezésére és milyen korlátok között.

2.2.1 Szándékolatlan teljesítménynövelés. E tranziensek pozitív reaktivitás útján jönnek létre és három fontos al-esetre bonthatók:

- Szabályozórudak kihuzása.
- Tiszta víz beadás a pótvezrendszeren keresztül, ennek következtében bórkoncentráció csökkenés.
- Hideg hűtőközeg beáramlása a reaktortartályba, pl. nem működő hurok rákapcsolása révén.

A két utóbbi esetben már a teljesítménynövekedés is a reaktivitás bórkoncentráció-, ill. hőfoktényezője révén következik be, az első esetben pedig ismét ez utóbbi tényező játszik jelentős szerepet az üzemzavar lefolyásában oly módon, hogy a megemelkedő primerkörü átlaghőmérséklet a reaktorteljesítmény csökkenéséhez vezet. Látható tehát, hogy ezen üzemzavarok alapvető folyamatait a neutronfizikai visszacsatolások befolyásolják, ezek közvetlen figyelembevételére a PMK berendezésen természetesen nincs lehetőségünk. Ugyanakkor módunk van arra, hogy

- pl. az előbbieken vázolt esetekre - számított teljesítményváltozásoknak megfelelően változtassuk a PMK berendezés fűtőelemeinek teljesítményét és a primerkörü hű-

tőközeg paramétereinek alakulását az esetleges szekunderkörü változások figyelembevételével kísérleti uton vizsgáljuk.

2.2.2 Szivattyukiesés. A VVER-440 reaktor főkeringető szivattyui hármásával vannak egy-egy háziüzemi transzformátorral táplálva. Ennek következtében hat üzemelő FKSZ közül egy vagy három eshet ki nagy valószínűséggel a betáplálás megszünése következtében. Öt, ill. négy működő FKSZ közül ugyanilyen megfontolás alapján egy ill. két szivattyu egyidejű kiesése valószínűsíthető. Mind a hat FKSZ egyidejű kiesésével - a Műszaki Terv alapján - csak a reaktorblokk teljes feszültségkiesésekor kell számolni, ezzel a későbbiekben külön foglalkozunk. Előfordulhat még az üzemelő FKSZ-ek közül az egyik járókerekének hirtelen beszorulása, ami az illető hurokban a hűtőközegforgalom jóval drasztikusabb lecsökkenését eredményezi, mint a szivattyukifutás.

A fenti esetek közvetlen modellezésére /a hat FKSZ egyidejű kiesését kivéve/ a PMK berendezésen nincs mód, tekintve, hogy egyetlen hűtőkörrel rendelkezik. A hat szivattyu kiesése esetében is látni kell, hogy a PMK primerkörü szivattyuja teljesen más dinamikai jelleggörbével rendelkezik, mint a paksi FKSZ-ek, így a folyamat modellezésére csak úgy van lehetőség, hogy a Paksi Atomerőműnél megmért forgalomértékeket a kísérlet során szabályozó szelepek segítségével állítjuk be.

Természetesen, amennyiben megfelelő információ áll rendelkezésünkre a zónaforgalom változásáról különböző számú FKSZ kiesése esetén, a hat szivattyu esetére elmondott eljárás tetszőleges esetben használható: ilyen esetben a kísérletek a hőtechnikai paraméterek változását szolgáltatják. Mindehhez a szabályozók megfelelő modellezésére van szükség: a teljesítményszabályozó működése fogja megszabni a PMK-n a fűtőelemekre adandó teljesítmény időbeli változását, a turbina követő szabályozója pedig a szekunderkörü paraméterek változását befolyásolja.

2.2.3 Gőzelvétel növekedés. Ez az esemény az alábbi esetekben következhet be:

- Gőzvezeték törése.
- A BRU-A vagy BRU-K gyorsműködésű redukálók, ill. a gőzfejlesztők biztonsági szelepeinek szándékolatlan kinyitása, ill. nyitvamaradása következtében.

A gőzvezeték törése bekövetkezhet a leválasztó tólózár előtt, ill. után. Az előbbi esetben egy gőzfejlesztő gyűjtővezetékének, az utóbbiban a főgőzkollektornak a törése képezi a legsúlyosabb esetet. E két eset további esetekre bontható attól függően, hogy a leválasztó tólózárak, /ill. azok mindegyike/ működik-e.

E folyamatok PMK-n történő modellezése számos problémát vet fel. Az első azzal kapcsolatos, hogy a PMK szekunderkörét az NVH berendezés képezi, és ez utóbbin a folyamat elejét jellemző gyorsnyomáscsökkenést létrehozni nincs módunk, csak oly módon, hogy a gőzfejlesztő szekunder oldalát a tranziens indulásakor leválasztjuk az NVH többi részéről, és csak a leválasztott részt fuvatjuk le. Ebből az is látszik, hogy nem tudunk különbséget tenni az előbb említett két különböző helyzetű törés között legfeljebb a törés keresztmetszetét változtathatjuk, helyét nem. A PMK egyetlen gőzfejlesztője miatt nem modellezhető azok az esetek, amikor egy gőzfejlesztő lényegesen más paraméterekkel rendelkezik, mint a többi. A kísérletileg reálisan vizsgálható esetek tehát a főgőzkollektor törése az összes leválasztó tolózár működésével, ill. anélkül, valamint a gőzfejlesztő törése a leválasztó tolózárak működése nélkül. Foglalkozni kell a tápvizbetáplálás kérdésével az üzemzavar folyamán, valamint elemezni kell azt a hatást, amit a valóságostól eltérő arányú szekunderköri vízmennyiség okozhat a folyamatokban.

A primerköri viszonyok modellezése jól megoldható. Az egyetlen nehézséget az jelentheti, ha a szekunderköri

nyomáscsökkenés a primerkör olymértékű lehülését okozza, hogy a leállított reaktor a negatív hőfoktényező következtében újra kritikussá válik: e folyamat modellezéséhez előzetes kapcsolt számítások elvégzésére van szükség.

A BRU-A, BRU-K és gőzfejlesztő biztonsági szelep nem-üzemszerű működését követő tranziensek jellegben meg-egyeznek az előbbieken tárgyaltakkal, csak a kiömlő mennyiségekben van különbség. Így a fentiek értelemszerűen itt is érvényesek.

2.2.4 Gőzelvétel csökkenés. Ez az esemény bekövetkezhet:

- a turbina gyorselzáró szelepek zárásakor
- a turbina szabályozó szelepeinek zárásakor, különösen ha a BRU-K nem működik
- teherledobáskor
- kondenzátor kieséskor vagy vakuum romláskor
- teljes feszültségkieséskor.

A teljes feszültségkiesés esete lefedi a többi üzemza-var során várható tranzienseket, így ezekkel külön nem foglalkozunk.

A tranziensek mind szekunder, mind primer oldalról a reaktor egészét érintik, ilyen szempontból a PMK beren-dezésen való modellezésükre jó lehetőség van. Nehézsé-get - mint az előbbieken - a szekunderkörü folyama-tok modellezése okozhat: ebben az esetben is le kell választani a gőzfejlesztő szekunder oldalát az NVH be-rendezésről. Kérdés, hogy az ily módon izolált szekun-der-részben a turbina gyorselzáró szelepeinek zárását kö-vetően fellépő nyomásnövekedés azonos módon megy-e vég-be, mint az erőműben. Itt elsősorban két hatás okozhat eltérést: egyrészt a szekunder oldali vízmennyiségek arányában meglévő eltérés, másrészt az a tény, hogy a szekunder oldalnak az NVH-ról való lekapcsolása a táp-viz betáplálás megszűnését is jelenti. Az utóbbi prob-lémára vonatkozóan megvizsgáljuk annak lehetőségét, hogy a betáplálást dugattyus szivattyúval biztosítsuk.

A szekunder oldali paraméterek időbeli változásának meghatározására - a PMK esetében - a közeljövőben kiterjedt számításokat kívánunk végezni. A szekunderkörü szabályozások rendszere /a tápviztől eltekintve / modellezhető lesz, de a fent említett okok miatt különös figyelmet kell fordítani a gőzfejlesztő vízszintjéről működő szabályozásokra. A primerkör tekintetében a korábbi fejezetekben elmondottak érvényesek.

2.2.5 Tápviz forgalom változás. Elvileg elképzelhető az indokolatlan tápviz növekedés esete pl. szabályozási hiba vagy szándékolatlan üzemzavari tápszivattyú beindulás következtében. Ezek az események nem okozzák a primerkörü jellemzők drasztikus megváltozását, és meg van a lehetőség az időben történő operátor-beavatkozásra, ezenkívül valószínűségük is meglehetősen kicsi. Ezért ilyen típusu vizsgálatokat jelenleg nem tervezünk a PMK berendezésen.

Sokkal súlyosabb következménnyel jár a tápviz forgalom csökkenése, ami létrejöhet az egyik tápszivattyú kiesése vagy a tápvezeték törése következtében. A legsúlyosabb eset a gőzfejlesztő és a visszacsapó szelep közötti szakaszon a fő tápviz vezeték törése, ami egy gőzfejlesztőből való víz, majd gőz kiáramlását idézi elő. A gerincvezetékben létrejövő nyomáscsökkenés miatt a tápszivattyúk leállnak és szerepüket - késleltetéssel - az üzemzavari tápszivattyúk veszik át. A turbinák lekapcsolódása következtében a gőzvezetékben lévő gyorselzáró működése után a nyomás olyan mértékben emelkedik, hogy a gőzfejlesztők biztonsági szelepei megszólalnak. Ezzel párhuzamosan a primerkörü nyomás is megnövekszik, és ugyancsak üzembelépnek a nyomástartó biztonsági szelepei is.

Az ismertetett folyamatnak a PMK-n való modellezése meglehetősen bonyolult folyamat. Mindenekelőtt nyilvánvaló, hogy az üzemzavari gőzfejlesztő modellezésére nincs mód, tehát eleve fel kell tennünk, hogy az 5 sértetlen gőzfejlesztő viszonyai fogják befolyásolni a primerkörü jellemzőket. Ez egyben azt is jelenti, hogy az üzemzavari gőzfejlesztőknek /tehát a törésnek/ a többire gyakorolt hatá-

sát csak előzetes számítás útján tudjuk meghatározni, és az ily módon meghatározott paraméter-változások adják a PMK-n végzendő kísérlet gerjesztő-függvényeit. A gőzfejlesztőknek a főgőzkollektorról való leszakaszolása, ill. az üzembiztos tápszivattyúk beindulása előtti időszakban a szekunder oldali nyomás erősen leeshet: további vizsgálat tárgyát kell hogy képezze, ilyen drasztikus változások megengedhetők-e egyáltalán a PMK-n. Az is megvizsgálandó, a primerkörüli folyamatok szempontjából nem elegendő-e, ha ezen időszakban a nyomást állandó értéken tartjuk és csak az utána következő nyomásnövekedést vesszük tekintetbe. A tápvíz-beadás tekintetében ugyanazok a problémák merülnek fel, amelyeket az előző pontban tárgyaltunk.

2.1 táblázat

Kísérlet típusa:	Változtatandó paraméter:	Kiindulási állapot jellemzői:	Vizsgálandó folyamat:	Határértékek:
1. Egyfázisu	1.1 Nyomás	<ul style="list-style-type: none"> - Teljesítmény: $N = 0,01 - 0,1 N_{nom}$ - Konstans szekunder oldali nyomás és szint 	<ul style="list-style-type: none"> - Primerkörü forgalom - Zóna hőátadás - Gőzfejlesztő hőátadás 	<ul style="list-style-type: none"> - Szint megjelenés a primerkörben - Forrás a zónában
2. Kétfázisu	2.1 Primerkörü szint /és nyomás/	"	<ul style="list-style-type: none"> - Primerkörü forgalom - Zóna hőátadás - Gőzfejlesztő hőátadás - Vizzsák viselkedés 	<ul style="list-style-type: none"> - Krízis a zónában - Forgalom leállítás
	2.2 Zóna teljesítmény	<ul style="list-style-type: none"> - Különböző primerkörü szint - Konstans szekunder oldali nyomás és szint 	"	"
	2.3 N_2 a primerkörben	<ul style="list-style-type: none"> - $N = 0,01 - 0,1 N_{nom}$ - Konstans szekunder oldali nyomás és szint 	"	"
	2.4 Szekunderkörü szint	<ul style="list-style-type: none"> - $N = 0,01 - 1,0 N_{nom}$ - Különböző primerkörü szint 	"	"

3. Előkészítő számítások

Az előkészítő számítások célja az volt, hogy segítséget nyújtson a műszerezés megfelelő megválasztásához, az adatgyűjtéssel szembeni követelmények megfogalmazásához, az irányítórendszer tervezéséhez, a különböző típusú kísérletek során várható folyamatok előrejelzéséhez, azaz a biztonságos üzemvitelhez és ezen belül a kísérletek megtervezéséhez. A számítások fontos szerepet kapnak annak megítélésében, hogy a berendezésen kapott kísérleti eredmények közvetlen felhasználása az erőművi folyamatok leírására milyen korlátokkal lehetséges.

1982-ben a folyamatoknak csak egy meghatározott körét vizsgáltuk a RELAP4 program segítségével. A számítások 1983-ban is folytatódnak részben a KFKI-ban, részben a VTT- Nuclear Engineering Laboratory-ban Helsinkiben a SMABRE és RELAP5 kódok felhasználásával, az előző fejezetben leírt tranziensekre.

Jelen riportban a következő tranziensekre elvégzett számítások eredményeit mutatjuk be:

- stacionárius üzemállapot;
- teljesítmény tranziensek;
- szivattyukieséses tranziens;
- 1 % törés hidroakkumulátorok nélkül;
- 3 % törés /TMI típus/.

A felhasznált kódok: RELAP4/mod3 és mod6.

3.1 A számítási modell létrehozása

A számítási modell létrehozásához elkészítettük a PMK berendezés geometriai modelljét. A fontosabb diszpozíciós méretek az erőmű primerkörére a 3.1.1 ábrán, a PMK-NVH berendezésre a 3.1.2 ábrán láthatók. A sematikus rajzról hiányzik: a szivattyu, a nagynyomású ZÜHR rendszer csatlakozó vezetékai és a gőzfejlesztő szekunder oldala, valamint az edények, csővezetékek stb. méretei. Ezeket az adatokat a kiviteli tervdokumentáció tartalmazza.

A 3.1.3 ábrán látható a számításoknál használt nodalizációs séma, az ehhez tartozó legfontosabb input adatokat a 3.1.1 táblázatban foglaltuk össze.

A PMK berendezésen elvégzendő kísérleteknél a VVER-440 reaktornál alkalmazott GCN-317 típusu, nagyinerciájú szivattyúk közvetlen modellezése nehézségekbe ütközik. Ezért egy olyan forgalom szabályozó rendszert kell a berendezéshez illeszteni, amelynek segítségével az áramlási tranziensek előirt módon előállíthatók. A szabályozó alapjelének változtatásához éppen a számítási modell segítségével nyert eredmények adnak információt.

A számítási modellhez viszont a Paksi Atomerőműben üzemelő szivattyúk - mérések alapján korrigált [10] - modelljét vettük alapul, a megfelelő kicsinyítés figyelembevételével.

Az aktív zónában a fűtőelemrud modellezésére 5 hővezető elemet / heat slab/ vettünk fel, ebből a középső három axiálisan egyenletesen fűtött szakasz.

3.2 Stacionárius üzemállapot

Ismeretes, hogy a RELAP számításokhoz stacionárius adatmező szükséges. A feladat megoldásához felhasználtuk a STESTA programot. A PMK esetében a jó stacioner adatmezőnek mérési szempontból is nagy jelentősége van. Pontosán kell beállítani a hőbevitel és a gőzfejlesztőn keresztüli hőelvitel értékeit, egyensúlyát. Ismerni kell a primerkörben a hőmérséklet- és nyomáseloszlást, stb. abból a célból, hogy a berendezésen a kívánt értékeket állítsuk be.

A stacionárius adatmezőt teljes egészében 3.2.1 és 3.2.2 táblázatban közöljük. Megemlítjük még, hogy 3.1.1 táblázatban szereplő nyomáseloszlás a Paksi Atomerőmű 1.sz. blokkján a melegjáratáskor elvégzett hidraulikai mérések alapján korrigált adatokon alapul.

3.3 Teljesítmény tranziensek

A vizsgált teljesítmény tranziensek közül azt mutatjuk be, melynél a 3.3.1 ábrán látható módon a teljesítményt háromszorosára növeltük, majd 10 s-ig ezen az értéken tartva a névleges értékre csökkentettük. A teljesítmény a zóna átlagos teljesítménye. A forrócsatornára vonatkoztatott viszony csak mintegy másfélszeres. A reaktornál hasonló erős zavarás nem fordul elő. A negatív neutronkinetikai visszacsatolás a teljesítmény értékét "megfogja". A vizsgált tranziens célja az, hogy megismerjük a paraméterek változását ilyen erős zavarás esetében.

A 3.3.2 ábrán a zónán átáramló hűtőközeg mennyisége /JJW9/ látható az idő függvényében. A zónában keletkező gőz miatt a forgalom fluktuálása figyelhető meg, éles csucssal a 20 s-os tranziens idő végén.

Hasonló csucs figyelhető meg a 3.3.3 ábrán, ahol a kilépő kamra nyomásváltozása látható /VAP10/. A nyomáscsucs értéke 147 bar, amely azt jelenti, hogy a nyomástartó szelepe kinyit és a 3.3.4 ábra /JJW14/ szerint lefúj és ez a nyomás gyors visszaesését eredményezi.

A tranziens során a hűtőközeg belépő hőmérséklete /VAT8/ a 3.3.5 ábrának megfelelően mintegy 2K-t változik. A 3.3.6 ábrán /VAT10/ látható, hogy a hűtőközeg kilépő hőmérséklete /VAT10/ 27K-nél nő 11 s alatt. A fűtőelem felületi hőmérséklete /SSR4/ a 3.3.7 ábra szerint 633K, a hasadóanyag hőmérséklete /SSL4/ a 3.3.8 ábra szerint 2500K. Ezek a hőmérsékletek a zóna átlaghőmérsékletét jelentik. A zónában /a zónamodellen/ valószínűleg fellép a forrásos krízis és a burkolat sérülése, ehhez azonban további vizsgálatok szükségesek: pl. forrócsatorna analízis a RELAP4/mod6 és az SSYST-2 programmal.

A 3.3.9 ábrán /VML11/ látható, hogy a térfogatkompenzátor feltelik majd a szint a lefuvással egyidejűleg kezd csökkenni. A gőzfejlesztő szekunder oldali szintje /VML12/ - 3.3.10 ábra - és nyomása /VAP12/ - 3.3.11 ábra - csak kissé növekszik. Az erős zavarás szekunder oldali hatása elhanyagolható.

3.4 Szivattyukieséses tranziens

A másik tipikus tranziens a szivattyukiesés. A számításokat a RELAP4/mod6 programmal végeztük 250 s folyamatidőre.

A 3.4.1 ábrán /JJW9/ látható a hűtőközeg tömegsebesség-idő függvénye. A függvény az üzembehelyezési mérések során nyert szivattyuadatok felhasználásával a program által "előállított" görbe. A tranziens 5 s-nél kezdődik.

A 3.4.2 ábrán a reaktor l-re normált - általunk felvett - teljesítménylefutását ábrázoltuk: a teljesítmény 10 s-nál, 2 s alatt a maradványhő szintjére csökken és az idő függvényében az ennek megfelelő értékeken marad.

A következő néhány ábrán bemutatjuk, hogy ez a tranziens mennyiben érinti a rendszernyomást /nyomásszabályozás nincs!/, a hőmérsékleteket és a szinteket.

A 3.4.3 ábrán a felső keverőtér nyomásának /VAP10/ időfüggvényét ábrázoltuk. A nyomáscsökkenés gyakorlatilag a reaktor leállításával egyidőben a névleges értékről 10 s alatt 117 bar-ra csökken, 20 - 250 s között a nyomáscsökkenési sebesség lényegesen kisebb, 250 s-nél kb. 114 bar, mely messze a telítési nyomás felett van.

A 3.4.4 és 3.4.5 ábrán a hűtőközeg hőmérsékletváltozása látható, az alsó /VAT8/ és a felső /VAT10/ keverőtérben. Mivel a hőbevitel a rendszerbe a névleges érték 5-7 %-ára csökkent, az első 50 s-ban gyors hőmérséklet-kiegyenlítődés figyelhető meg. A zónán átáramló hűtőközeg mennyiség 50 s-nál a névleges érték 1/3-a. A vizsgált folyamatidő második felében a hőmérséklet különbség a felső- és alsó keverőtér között a teljesítménynek és a hűtőközeg áramlásnak megfelelően lassan tovább csökken, a folyamatidő végén 8K. Az átlaghőmérséklet lassan növekszik.

A 3.4.6 ábrán a zónamagasság 2/3-ában, a burkolat hőmérséklet /SSR3/ változása látható, amely természetesen hasonló viselkedést mutat, mint a kilépő hőmérséklet: a kezdeti gyors változást követően 50 s-tól lassan növekszik.

A 3.4.7 ábrán a hasadóanyag középponti hőmérséklete /SSL3/ látható, amely a hőkapacitásnak megfelelő késéssel a reaktor teljesítményt követi: 50 s után gyakorlatilag állandó.

A 3.4.8 ábrán a gőzfejlesztő vízszintváltozását /VML11/ ábrázoltuk az idő függvényében. A szint a hűtőközeg hőmérsékletváltozásának megfelelően 50 s-ig 3,2 m-ről 2,6 m-re csökken, majd lassan emelkedik.

A gőzfejlesztő szekunder oldali vízszintje /VML12/ látható a 3.4.9 ábrán. A gőzelvételi szelep a szivattyú kiesése után 3 s múlva kezd zárni és 5 s-ig bezár. A szintváltozás a folyamatidő során csupán néhány cm.

3.5 1 % törés hidroakkumulátorok nélkül

A számítások fő célkitűzése a folyamatok időbeli változásának megismerése volt 1 %-os hidegági törés feltételezésével, a hidroakkumulátorok alkalmazása nélküli esetre.

A RELAP4/mod6 kóddal végzett analízishez a 3.1.3 ábrán látható nodalizációs sémát használtuk. A folyamatidő: 1000 s.

A legfontosabb jelenségek a 3.5.1 ábrán látható nyomás-idő ábrán magyarázhatók meg. Az ábrán látható töréspontok a következő eseményeknek, jelenségeknek felelnek meg:

- 40 s-nál a reaktor AZ1-gyel leáll, mivel a nyomás 115 bar alá esik.
- 120 s-nál a nyomástartó leürül. A primerkör legmelegebb részeiben az erőteljes gőzfejlődés csökkenti a nyomáslefutás sebességét.
- 140 s után a reaktor felső keverőterében összegyűlt gőz a rendszer-nyomás kismértékű növekedéséhez vezet.
- 430 s-nál a felső keverőtérben a gőz-víz keverék szintje a melegági csővezeték becsatlakozási szintjéig csökken. A melegágban összegyűlt gőz a melegági vizzár reaktor felé eső oldalán lenyomja a vízszintet, mely azt eredményezi, hogy a nyomás a zónában ismét emelkedik. Mintegy 620 s után már elegendő mennyiségű gőz megy át a vizzáron és ez lassítja a nyomás növekedését.

- 700 s után a gőz a gőzfejlesztő csöveibe jut, amely azt eredményezi, hogy a szekunder oldalon javul a hőátadás, mely a gőz kondenzálódásához vezet. Ez azt eredményezi, hogy a hurokban és a zónában is növekszik a tömegáramlási sebesség és a nyomás kis értékkel a szekunderkör nyomása felett ismét stabilizálódik.

A 3.5.2 ábrán ugyanezt a nyomás-idő függvényt mutatjuk be a Paksi Atomerőmű primerkörére [10]. Látható, hogy a két esetben a nyomáslefutás nagyon hasonló, ami azt jelenti, hogy a PMK az erőmű primerkörének kis keresztmetszetű törését követő folyamatokkal jól modellezi. A két nyomáslefutás között kis különbségek a következőkkel magyarázhatók:

- A nyomástartó leürülése a PMK-ban hosszabb időt vesz igénybe ami egy input hiba következménye /a víztérfogatot a kiinduláskor nagyobbra vettük/.
- A törésen kiáramló mennyiség a PMK-ban nagyobb, különösen alacsony nyomásokon /130 s után/. Ez azt jelenti, hogy a felső keverőtérben, a PMK esetében a szint hamarabb csökken a melegági csővezetékek szintjéig: 430 s a PMK és 580 s az erőmű esetében.
- A vízzár hatása is különböző a két esetben: a nagytérű erőművi vízzáron előbb jut át a gőz és így időben korábban mérsékli a nyomásnövekedést. Az egyensúly a PMK esetében alacsonyabb nyomásnál jön létre. További vizsgálatok szükségesek azonban ahhoz, hogy kimutassuk, hogy a modellezés "gyengesége" milyen mértékben "felelős" ezért a hatásért.

A fenti analízis alátámasztására, ill. a folyamat jobb megértése érdekében a PMK-ra végzett számítások eredményei közül néhányat még bemutatunk.

A 3.5.3 ábrán a hűtőközeg belépési hőmérséklet /alsó keverőtér/ - /VAT8/ - változása látható a folyamatidő függvényében. 40 s-tól, vagyis a reaktor leállításától 140 s-ig meredeken esik, majd 1000 s-ig lassan - gyakorlatilag lineárisan - csökken. Kis zavarás csak a 620-700 s között a felső keverőtérben és a melegágban lejátszódó folyamatok miatt látható.

A 3.5.4 ábrán a hűtőközeg kilépési hőmérséklete /felső keverőtér/ - /VAT10/ - látható az idő függvényében. 40 s-ig a reaktor leállításáig a hőmérséklet enyhén emelkedik, majd 60 s-ig a szivattyúk kiejtéséig drasztikusan csökken. 140 s-ig további kis csökkenés után lényegében stagnál, majd az áramlási sebesség csökkenésének megfelelően 620 s-ig növekszik.

A 620 és 700 s közötti események miatt a változási sebesség mérséklődik. Ezt követi - kb. 700 s-tól - egy éles hőmérséklet csökkenés, majd az áramlás csökkenésének megfelelően a hőmérséklet ismét enyhén emelkedik. A belépő forgalom itt a névleges érték 1/4 %-a. /3.5.5 ábra JJW9/.

A 3.5.6 ábrán a kiömlő mennyiség /JJW24/ időfüggvénye látható a fenn tárgyalt karakterisztikus pontokkal.

A 3.5.7 ábrán a szint változása látható a felső keverőtérben /VML10/. A szint 150 és 430 s között 5 m-ről 2,6 m-re a melegági csővezeték becsatlakozási szintjéig csökken, majd a vizsgált folyamatidő végéig lényegében nem változik.

A 3.5.8 ábrán a nyomástartó edény szintjének /VML11/ változása látható: 120 s-ig a nyomástartó leürül, majd a gőz-víz keverék-szint 430 és 630 s között a melegági csővezeték becsatlakozási szintjén stabilizálódik. Ezt követően a folyamatidő végéig a szint ismét zérus.

3.6 3 % törés, TMI típus

Ennél a tranziensnél a PMK-ra végzett számítások eredményeit a RELAP4/mod3 kóddal 1981-ben végzett VVER-440 számítással hasonlítjuk össze [12]. Ez az összehasonlító analízis annak kimutatására nyújt lehetőséget, hogy mennyiben befolyásolja az eredményeket az a tény, hogy két különböző kód verziót /opciókat, modelleket/ használunk.

A PMK számítások során a nyomástartóban teljes fázisszeparációt tételeztünk fel, míg az erőműnél 1 m/s "bubble rise velocity"-t használtunk. A séma a 3.1.3 ábra szerinti volt.

A fázisszeeparáció a törésen kiáramló mennyiséget is befolyásolja ahogyan az a 3.5.1 és 3.5.2 ábrákon látható. A teljes fázisszeeparáció feltételezése a PMK nyomástartójában azt eredményezi, hogy a törésen kiáramló mennyiség 200 s után erőteljesen oscillál. Ez annak a következmények, hogy a törés helyén az időben vagy csak víz, vagy csak gőz van.

A mod3 verzióban a kritikus kiáramlásra a Moody modellt használtuk. Időközben kiderült 10, hogy a mod3 programhibája miatt a kritikus kiömlést a valóságosnál jóval kisebb értékkel számítja. Ennek következtében a PMK-ból /a mod6-ban a Henry-Fauske és a Homogeneous Equilibrium Model-t választottuk/ ill. az erőmű primerköréből eltávozó mennyiségek jelentősen különböznek egymástól /3.6.3 ábra alsó része/. A HF-HEM modell alkalmazásával a mennyiségnek kb. a kétszerese távozik el. Ez egy másik oka a PMK-ban a gyorsabb nyomáscsökkenésnek.

A 3.6.3 ábrán látható nyomáslefutás időbeni korai szakasza a fent leírt okok miatt jelentősen különbözik egymástól, tehát a két rendszer viselkedése más. A gyors nyomáscsökkenés a PMK-ban azt eredményezi, hogy a hidroakkumulátorok már 50 s-nál belépnek és 75 s-ig teljesen feltöltik a nyomástartót és ezután lényegesen lecsökken a betáplálás a hidroakkumulátorokból.

Az erőmű /VVER-440/ esetében, a mod3-ban felvett alacsony gőzszeeparáció miatt a nyomástartó hamarabb megtelik hűtőközeggel és ezután 7,5 MPa-nál egy nyomásplató alakul ki. Az akkumulátor befecskendezés csak 140 s-nál kezdődik, amely erőteljes kondenzációt okozva gyorsan csökkenti a rendszer nyomását és a gőzviz keverékszintjét a nyomástartóban. 190 s-nál azonban a nyomástartó ismét tele van és a hidroakkumulátorok veszik át a nyomástartó szerepét, azaz a rendszernyomás a hidroakkumulátorok nyomásához igazodik. A tranziens későbbi szakaszában /kb. 200 s után/ a nyomáslefutások közötti különbségek döntően a gőzfejlesztő hőátadásban meglévő különbségek okozzák. A PMK számításokban konstans szekunder oldali nyomást tartottunk. Ennek az a következménye, hogy amikor a primerköri nyomás a szekunderköri nyomás alá csökken, a szekunderkör "füti" a primerkört. Emiatt a nyomás növekszik, majd stabilizálódik azon a szekunderoldali nyomáshoz közel eső szinten, amelyet az ener-

giabevitel /zóna + szekunder oldal/ és elvitel /a törésen távozó energia/ határoz meg.

Az erőművi számításban /VVER-440/ azt tételeztük fel, hogy a gőzfejlesztőben átadott hő a hurokáramlással arányosan csökken és 70 s után válik zérussá. Ebben az esetben a rendszernyomást az akkumulátorból bejutó víz határozza meg 500 s-ig, amikor az akkumulátorok kiürülnek és leválasztódnak a rendszerről, így ez a szerepük is megszűnik.

3.7 Az előkészítő számítások eredményeinek összefoglalása és értékelése

A stacionárius üzemállapot adatai: jellemző hőmérsékletek, nyomás és nyomáskülönbség értékek lényegében megfelelnek a modellből számítható értékeknek. Az adatok véglegesítése majd a mérésekkel lesz megvalósítható. Pontosan be kell állítani a nyomásesés értékeket, vezérléssel kell biztosítani a szükséges szivattyú karakterisztikát /forgalom- idő függvényt/, stb. Az előzetes számítások azt mutatják, hogy az erőművi primerkörhöz hasonló stacionárius üzemállapot beállítható.

A teljesítmény tranziensek közül szélsőséges, hipotetikus esetet választottunk. A háromszoros teljesítményt 10 s át a zóna nem viseli el /de ez a teljesítményszint erőművi viszonyok között a neutronika negatív visszacsatolása miatt nem is tartható fenn/. A számításokból közvetlenül nem látható, de az adatok azt mutatják, hogy fellép a krízis, erősen fluktuál a forgalom és a nyomástartóban éles nyomáscsucs keletkezik, az erőteljes gőzfejlődés miatt a nyomástartó feltelik és lefúj. Az adatokból az is látszik, hogy hasonló tranziens vizsgálat a PMK-n lefolytatható: megfelelő kiégésvédelem szükséges, a tranziens idő lényegesen rövidebb lesz. A tervezett irányítóadatgyűjtő rendszert az ilyen tranziens nem érinti.

A szivattyúkiesést követő tranziens az erőműnél előforduló szivattyúkieséshez hasonló folyamatot ír le, veszélyhelyzet nem alakul ki. Itt vezérléssel kell biztosítani a megfelelő szivattyúkifutást és teljesítmény ledobást. Súlyosabb esetet jelent az AZ1 hibás működése, vagy a járókerék beszorulás. A tranziens a tervezett műszerrendszerrel kezelhető.

A csőtöréses üzemzavari állapotnál a paraméterek a várakozásnak megfelelően szélsőségesen változnak és 1 %, vagy annál kisebb értékű törés esetén a folyamatidő néhány 1000 s lesz. Méréstechnikai szempontból gondot jelent az áramló mennyiségek /hurokáramlás, kifolyás/ pontos mérése. Nagyon fontos adat a nyomáslefutás pontos mérése a 123 bar-tól néhány bar-ig terjedő tartományban. Külön feladatot jelent a mérésadatgyűjtés és adattárolás a várható 3-6000 s-os folyamatidőre, valamint az előzetes adatredukció és a végleges adatfeldolgozás megtervezése, ill. megvalósítása.

A kísérleti program követelményeinek megfelelően folytatni kell az előkészítő számításokat 1983-ban.

	V m ³	F m ²	h m	H m	de m	p bar	t C ^o
V1	0,00641	0,001647	1,446	5,623	0,0458	122,23	296,6
V2	0,01190	0,003959	3,438	5,623	0,071	121,85	296,6
V3	0,01008	0,002850	1,824	7,186	0,0071	121,38	268,0
V4	0,01477	0,003959	5,038	4,023	0,071	120,89	268,0
V5	0,0023	0,001647	0,0458	4,023	0,0458	122,89	268,0
V6	0,00618	0,001647	1,646	4,023	0,0458	124,89	268,0
V7	0,002267	0,003959	4,797	1,021	0,071	124,76	268,0
V8	0,00279	0,007423	0,380	0,854	0,0415	124,66	268,0
V9	0,00544	0,001722	3,160	1,234	0,0092	123,71	298,0
V10	0,02834	0,003324	4,950	4,394	0,046	122,56	296,6
V11	0,02262	0,008659	4,102	7,069	0,105	122,07	326,3
V12	0,37175	0,12887	3,200	7,151	0,0566	46,71	259,4
V13	0,00032	0,000079	3,554	1,039	0,01	123,71	268,0
V14	3.000,0	100,0	15,240	0	0	1,0	40,0
V15	0,06785	0,027464	2,750	8,526	0,187	60,0	40,0
V16	0,00100	0,000531	1,493	7,033	0,026	60,0	40,0
V17	0,06785	0,027464	2,750	8,526	0,187	60,0	40,0
V18	0,00179	0,000531	2,893	5,633	0,026	60,0	40,0

4. Indirekt fűtésű fűtőelemek fejlesztése

A PMK ujranevesítéses kísérleteihez a megfelelő modellezés megkívánja, hogy a fűtőelemmodellek indirekt fűtésűek legyenek és dinamikus viselkedésük a reaktor fűtőelemeivel azonos legyen.

4.1 Konstrukció

A feladatokhoz kétféle konstrukciót alakítottunk ki. Az egyik /4.1 ábra/ olyan, hogy a fűtőszál hozzávezető elektródái a fűtőelem két végén vannak kivezelve. A másik /4.2 ábra/ megoldás olyan, hogy mindkét elektróda a fűtőelem alsó végén van kivezelve. Az értékesebb megoldás a második, mivel ennél a megoldásnál a felső elektróda nem "zavarja" az ujraelárasztási folyamatot és konstrukciósan is egyszerűbb kötegmegoldást tesz lehetővé.

Mindkét megoldásnál a fűtőszál átmérő 1,5 mm-es molibdén. Ezt $\phi 6/1,5$ mm-es magnéziumoxidból készült szigetelő gyűrűk veszik körül. A fűtőszál közvetlenül nikkel áramhosszvezetőhöz csatlakozik, majd a fűtőszáltól távolabban / ~ 100 mm/, ezt egy réz áramvezető váltja fel. A molibdén a nikkelhez hegesztéssel, a nikkel a rézhez speciális keményforrasztással van illesztve. Az első megoldású fűtőelemnél a szigetelőgyűrűket egy $\phi 8,5/6$ mm átmérőjű saválló acélcső veszi körül, melynek külső palástján 6 db különböző hosszúságú, axiális irányú $1,1 \times 0,6$ mm méretű horony van kimarva "lapos keresztmetszetű" termoelemek részére. A horonyba $1,05 \times 0,55$ mm-es "lapos keresztmetszetű" fokozott termoelemeket helyezünk el, és ezek a paláston az axiális hőmérséklet mérőhelyekig vannak elvezetve. A termoelemeket tartó saválló köpeny egy $9,1/8,5$ mm méretű szintén saválló csővel van burkolva. Az illesztési hézag kb. 0,05 mm. A fűtőszál a rajzon látható módon a külső köpenyben van bórnitrid szigetelőanyaggal rögzítve és lefelé tágul. Az alsó táguló elem, melyben rugalmas elemként egy $\phi 0,5$ mm-es ezüst huzal van elhelyezve, nem minden kialakításnál szükséges, csupán ott, ahol a fűtőelem vége a mérőszakaszonál nyomás alatti "viztérben" van. Ha mérőszakasz nyomástartó edényének alsó falán a fűtőelem átvihető, akkor "alul" a fűtőelemet nem kell tömiteni és így a fűtőszál is lefelé, szabadon tágulhat.

A másik konstrukció annyiban tér el az elsőtől, hogy a fűtőszálat körülvevő szigetelőgyűrű külső átmérője kisebb, kb. 5,2 mm. Erre a szigetelő rétegre van felhuzva a 0,3 mm falvastagságú ϕ 5,8/5,2 mm méretű áramvisszavezető réz, vagy nikkelcső, mely a fűtőszállal felül össze van hegesztve. Az áramvisszavezető külső felülete plazmatechnikával felvitt kb. 0,1 mm vastag alumíniumoxid réteggel van bevonva, hogy a fűtőelem többi rétegétől magát az áramvezetőt elszigetelje. A fűtőelem többi rétege az előző kivitelével megegyezik. Felül a legkülső köpenyzárt és belülről a fűtőszáltól egy csillámlap szigeteli el. A fűtőszál lefelé, a köpeny felfelé tágulhat, mivel a nyomástartó edény alján van - elképzelés szerint - szilárdan rögzítve.

4.2 A fűtőelem műszaki jellemzői

A fűtőelemek alapvetően újranedvesítési kísérleteknél lesznek felhasználva, ennek megfelelően a maradványhővel azonos teljesítményt kell szolgáltatniuk.

a lineáris hőforrássűrűség	14 - 20 W/cm
a hőfluxus	5 - 7 W/cm ²

A fűtőelem hossza a VVER-440-es fűtőelemének megfelelően 2.500 mm. Maximális hőfluxusnál az egyes rétegekben a hőmérsékletesések 1.000 C^o, külső felületi hőmérsékletnél kívülről befelé haladva:

a külső 0,3 mm vastag saválló köpenyben	2,3 C ^o
a hőelemeket tartó " "	21,2 C ^o
a MgO ₂ szigetelő rétegben	300,0 C ^o
a szigetelő és a fűtőszál közötti légrétegben	130,0 C ^o
Összesen:	453,5 C ^o

A fűtőelemmel az adott technológiai kivitelnél 1.000 C^o maximális felületi hőmérséklet érhető el, elsősorban az alkalmazott speciális keményforrasztások következtében.

A fűtőszál maximális hőmérséklete a maximális hőteljesítménynél és 1.000 C^o külső felületi hőmérsékletnél ideális rés elhelyezkedési esetben 1453,5 C^o, de nem centrikus elhelyezkedésnél, aminek valószínűsége sokkal nagyobb, 1600 C^o, sőt ennél lényeg-

gesen nagyobb is lehet. A hőmérsékleti értékekből is láthatóan a gyűrűk helyett poralaku szigetelőt kellene alkalmazni és "rázással" tömöríteni, hogy a légrés okozta bizonytalanság és a fűtőszál igénybevétele csökkenjen. Ebben az esetben "Kanthal" huzal is megfelelő lenne, ami lényegesen olcsóbb és egyszerűbb technológiával feldolgozható. A "kanthal" huzalnak egyéb "jó" tulajdonsága is van a molibdén szállal szemben. Ezen a hőmérsékleten a molibdénnek "meredeken" növekszik az ellenállási tényezője a "kanthal"-hoz viszonyítva, és ez erősen torzítja az eredményeket. A fűtőelem dinamikai tulajdonságainak azonosnak kell lenni a reaktorban használt fűtőelemek dinamikai jellemzőivel. A dinamikus viselkedés összehasonlítására a hővezetés differenciálegyenletében szereplő hőfokvezetési tényező $/a/$ alkalmas. Ennek a tényezőnek a számlálójában a hővezetési tényező $|\lambda|$, a nevezőjében pedig a hőkapacitás $/\rho C/$ szerepel. A probléma megoldása nélkül közöljük ezeknek a hőfizikai állandóknak az értékeit 1.000 C° hőmérsékleten a 4.1 táblázatban.

Ebből a táblázatból is látszik, hogy egymásnak ellentétes szempontokat kell figyelembevenni. A szigetelőanyag MgO_2 és az UO_2 hőkapacitása ugyanis közel azonos, de a saválló acél és a cirkónium burkolat hőkapacitásai több mint kétszeresek. Ezt az ellentmondást - kompromisszumon kívül - csak úgy lehetne megoldani, hogy burkolatként a modellen is cirkóniumot használnánk. Az elkészült fűtőelemek hőkapacitásának bemérése a fűtőelemre adott teljesítményugrás függvényével és a válasz késleltetésének mérésével, és annak kiértékelésével fog történni. Jelenleg csak axiálisan egyenletesen fűtött elemeket tervezünk, de lényegében nincs akadálya kb. 1,5 x-es axális egyenlőtlenség megvalósításának sem. A beépített lapos keresztmetszetű köpenyes termoelemek kiinduláskor $\phi 0,8$ mm méretűek és saját technológiánkkal lapitjuk. A köpeny anyaga inconel, a termoelem Cromel-Alumel. A lapított termoelem beállási ideje $0,10 - 0,20$ sec.

4.3 Tapasztalatok, mérések

Eddig 3 db 4.1 ábra szerinti fűtőelemet készítettük 1.250 mm fűtött hosszúságban. Mind a három fűtőelemnél különböző méretű volt a belső fűtőszál. A jelenlegi $\phi 1,5$ optimálisnak tekinthető. Egyik fűtőszál sem égett el, a termoelemek közül azonban néhány bizonyos igénybevételi idő után zárlatossá vált. Ezen a későbbi-

ekben úgy segítettünk, hogy a termoelemeket a hengerlés után, de beszerelés előtt néhány perces kb. 1.000 C^o-os hőkezelésnek vetjük alá, majd újra megvizsgáljuk, hogy nem történt-e zárlatosodás, vagy jelentős mértékű szigetelés romlás.

A fűtőelemekkel a PMK előzetes kísérleti és technológiai vizsgáló mérőszakaszában újraelárasztásos méréseket is végeztünk gyűrűcsatornában. Az eredmények az általunk már hasonló, de csőmérőszakasszal végzett mérésekkel jó egyezést mutattak. A 4.3 ábrán illusztrációként bemutatunk egy ilyen fűtőelemen végzett ujrantedvesítéses mérés hőmérséklet lefutásának idődiagrammját.

4.1 táblázat

A nukleáris fűtőelem és fűtőelemmodell hőfizikai állandóinak
összehasonlítása

	λ [W/cm]	ρc [J/cm ³ C°]
Cirkónium	0,21	2,5
UO ₂	0,08	3,7
Saválló acél	0,29	5,0
Magnéziumoxid	0,022	3,8
Fűtőszál: Molibdén	-	-
Kanthal	0,16	5,0

5. Méréstechnikai eszközök alkalmassági vizsgálatai

A PMK kísérleti berendezésen tervezett mérések megkívánják, hogy a hőmérséklet és nyomásmérők jó dinamikai tulajdonságokkal rendelkezzenek. A megfelelő típusu és konstrukcióju eszközök kiválasztására, ill. kialakítására előzetes kísérleteket folytattunk, melyek tapasztalatait a végleges kiépítésnél fogjuk felhasználni.

5.1 Hőmérsékletmérők vizsgálata

A hőmérsékletek mérését kontakt hőmérséklet mérési módszerrel valósítjuk meg két különböző típusu villamos-hőmérséklet átalakítóval, az egyik az ellenálláshőmérő, a másik a hőelem. Mindkét hőmérési eljárásnál a cél az, hogy a hőmérő érzékelő része, ellenálláshőmérőnél a mérőellenállás, hőelemnél a forrasztási hely a mérendő testtel, vagy közeggel azonos hőmérsékletű legyen. A hőmérő a mérendő közeg hőmérsékletét elvben csak végtelen hosszú idő múlva éri el, így kénytelenek vagyunk megelégedni korlátozottabb pontossággal a véges idő miatt. Bonyolítja a helyzetet az, ha időben gyors hőmérsékletváltozásokat akarunk mérni aránylag nagy pontossággal, mint a mi esetünkben. Ilyen igények felmerülésekor csakis jó dinamikai tulajdonságokkal rendelkező érzékelők jöhetnek szóba.

A hőmérők dinamikai viselkedését egyértelműen meghatározza azok időállandója:

$$\tau = \frac{\alpha A}{m c}$$

ahol τ a hőmérő és a környezete között érvényes hőátadási tényező

A a hőátadási felület

m hőmérő tömege

c a hőmérő testének fajhője

A hőmérők időállandója /hőtehetetlensége/ látható, hogy ugy csökken ha megnő a hőérzékelő felület, valamint a hőátadási tényező, továbbá csökken a tömeg, valamint ha kis fajhőjű anyagot alkalmazunk.

A hőmérséklet érzékelők dinamikus tulajdonságainak megismerésére méréseket végeztünk az ellenállás hőmérőkkel, ill. a hőelemekkel. A jobb összehasonlítás miatt azonos körülmények között és azonos módon végeztük méréseinket, 22 C⁰-os levegőből 80 C⁰-os vízbe 1 m/sec sebességgel merítettük be az érzékelőket, miközben mértük a beállási karakterisztikájukat. Az állandósult állapot 63,2 %-ig eltelt időt vettük az érzékelő időállandójának. Méréseinket az alábbi érzékelőkkel végeztük el:

5.1.1 Ellenálláshőmérő vizsgálata

Amerikai LEICO gyártmányu platina szálu ellenálláshőmérőt vizsgáltunk, aminek 0 C⁰-on 100 Ohm az ellenállása. A platinaszál bifiláris tekercselése kerámiatesten helyezkedik el és kívülről kerámia burok védi. Két különösen kis méretű, de különböző geometriájú érzékelőt használtunk.

Az egyik karcsu kivitelű, a kerámia hossza 15 mm, az érzékelőrész hossza 13 mm, és külső átmérője 1,59 mm. Az időállandó értékére $\tau = 400$ msec-ot kaptunk. A másik tömör, rövid felépítésű kivitel, a külső kerámia és az érzékelőrész hossza megegyezik, 6 mm, a külső átmérő 2 mm. Az időállandója az előbbi kivitelnél lényegesen jobb

$\tau = 35 - 40$ msec. Ezeket az érzékelőket nagynyomásu közegben közvetlenül használni nem lehet, mivel a kerámiaburok mérsékelt mechanikai igénybevételt bír csak ki. Ezért a kísérleti berendezésbe rozsdamentes védőcsőben helyezük el az érzékelőket, ami természetesen rontja az időállandó értékét akár több nagyságrenddel is. Emiatt alkalmazásuk az igen nagy pontosságot, de mérsékelt dinamikai tulajdonságokat igénylő hőmérsékletmérő helyeken indokolt.

5.1.2 Hőelem vizsgálata

Igen gyors hőmérsékletváltozások vizsgálatára szintén Leico gyártmányú Crommel-Alumel szálú köpenyes termoelemeket használunk. A külső köpeny anyaga Inconel és a termoelem szálak belső szigetelése magnézium-oxid. A vizsgálatainkat szigetelt kivitelű termoelemekkel végeztük, melyeknél a szigetelés ellenállás nagyobb volt, mint 15 Mohm.

Két különböző keresztmetszetű termoelemmel végeztük el a beállási idő vizsgálatainkat. Az egyik körkeresztmetszetű és 0,8 mm átmérőjű, míg a másik saját technológiánkkal az előbbi méretükből 0,5 mm vastagságúra lapított.

Mindkét fajtánál hasonló eredményeket kaptunk a $\tau = 100 - 200$ msec volt. Meg kell jegyezni, hogy több termoelem vizsgálata elég nagy szórást adott a fenti intervallumon belül. Ennek magyarázata valószínűleg az, hogy a köpenyeket nem sikerült egyformán lezárni, és így különböző hővezetés adódik a köpeny és a termoelemszálak között. A termoelemeket közvetlenül lehet alkalmazni nagynyomású térben, így azokat igen gyors hőmérsékletváltozások mérésére, valamint kis méretükből adódóan a fűtőelemek felületihőmérsékletének meghatározására lehet használni.

5.2 Nyomás és nyomáskülönbségmérők vizsgálata

A kísérleti méréseinknél nyomás és nyomáskülönbségmérőként az MMG-AM Mikro-tran távadó család tagjait tervezzük felhasználni. Jelenleg ez a távadó család tekinthető a hazai gyártásuk közül a legmodernebbnek, tervezésénél és gyártásánál felhasználták az utóbbi évek hazai és külföldi félvezető technológia eredményeit. Végigtekintve az utolsó évtized törekvéseit és megoldásait, az érzékelési módok egész sorát találjuk, de a fejlődést úgy fejezhetnénk ki, hogy a mozgóelemes érzékelési módot felváltotta a mikro elmozdulásos rendszer, és ezen belül a megoldás eljutott a szilárd áramkörös érzékelési módhoz. Ezek az érzékelők /nyulásmérő bélyeges, vékonyfilmes, difundált félvezetős és piesorei-sisztív/ már jól megközelítik az igényeket. Az említett távadó családnál az érzékelést félvezető alapanyagú membránra

diffúzióval felvitt megfelelő orientációban elhelyezett ellenálláshiddal oldották meg. A bemenő nyomás, ill. nyomáskülönbség a szilikonolajjal töltött membránrendszeren keresztül hat a membránrendszerbe beépített félvezető nyomásellenállás átalakítóra, amelyben a nyomással arányos ellenállásváltozás jön létre. Ezt az ellenállásváltozást az elektronikus egység a bemenő nyomással arányos 4 - 20 mA-ig terjedő áramjellé alakítja. A nyomástávadók a műszaki adatokban megdott nagyságu bemenő jellel, míg a nyomáskülönbség távadók a statikus nyomás határig tulterhelhető meghibásodás nélkül, de a kimenőjel természetesen nem követi végig a változást.

A távadókkal kapcsolatos vizsgálatainkat két irányban végeztük. Megvizsgáltuk a távadó környezeti hőmérséklet függését, valamint dinamikus vizsgálatokat végeztünk az átviteli függvények meghatározására. Mindkét vizsgálatot 1-1 nyomástávadóra /mérési tartomány: 100 bar/, és nyomáskülönbség távadóra /mérési tartomány: 1600 mbar/ végeztük el.

5.2.1 Távadók környezeti hőmérséklet függése

A távadók műszerkönyv szerint -50 és $+80$ $^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérséklettartományban használhatók. A referencia feltételük 20 ± 2 $^{\circ}\text{C}$ -ra van definiálva. A vizsgálatot klimaszekrényben végeztük változó nyomásokon, ill. hőmérsékleteken. Vizsgálataink eredményét az 5.1, 5.2 sz. ábrák tartalmazzák. Megállapítható, hogy a távadók érzékelőinek és elektronikus egységeinek hőmérséklet kiegyenlitése jól sikerült, a műszerkönyben közölt megengedett járulékos hibánál jelentősen kisebb eltérések tapasztalhatók.

5.2.2 Távadók dinamikus vizsgálata

A jelátvivő tagoknál az állandósult állapot létrejöttéig a jelek valamilyen időfüggvény szerint változnak. Az állandósult állapot igen ritkán áll be azonnal, az esetek többségében csak jelentékeny idő eltelte után. A jelek késésének oka mindig valamilyen energiatároló jelenléte. Ilyen energiatároló lehet a távadóknál a tömeg tehetetlenség, a

térfogat, az elektronikus átalakító egységben kapacitás, induktivitás. Attól függően, hogy a bemenő és kimenő jel kapcsolatát leíró differenciál egyenlet kimenő jel oldalán hányadfoku differenciál hányados áll, megkülönböztetünk egytárolós, kéttárolós és többtárolós jelátvivő tagokat. Vizsgálatainkat a távadó egészére végeztük, tehát valamilyen nyomásjellegű jel /bemenő jel/ hatását figyeltük az áramkimeneten /kimenő jel/. Bemenő jelként kétfajta jelet használtunk, a nyomástávadónál nyomás egységugrást, míg a nyomáskülönbség távadónál tiszta szinuszos nyomásváltozást.

Nyomástávadó

Ugrásjelleggel 100 bar nyomású levegőt vezettünk a távadóra és az 5.3 ábrán látható kimenő jelet kaptuk eredményül. Az ábrán látható, hogy kb. 20 msec-os fázisidővel csillapodó harmonikus lengések jöttek létre, és kb. 120 msec elteltével lehetett a kimenő jelet is állandósultnak tekinteni. A kezdeti lengések nagysága és tartóssága egyértelműen a csillapítás nagyságától függ. Adott esetben a túllendülés amplitúdója akár az állandósult érték kétszeresét is elérheti és a lengés időtartama pedig egészen a végtelenig tarthat. Megállapítható, hogy a távadó aránylag jól csillapított és a függvény menetéből ítélve a hozzávezető rendszerrel együtt kéttárolós, arányos átvitelű tagként kezelhető.

Nyomáskülönbség távadó

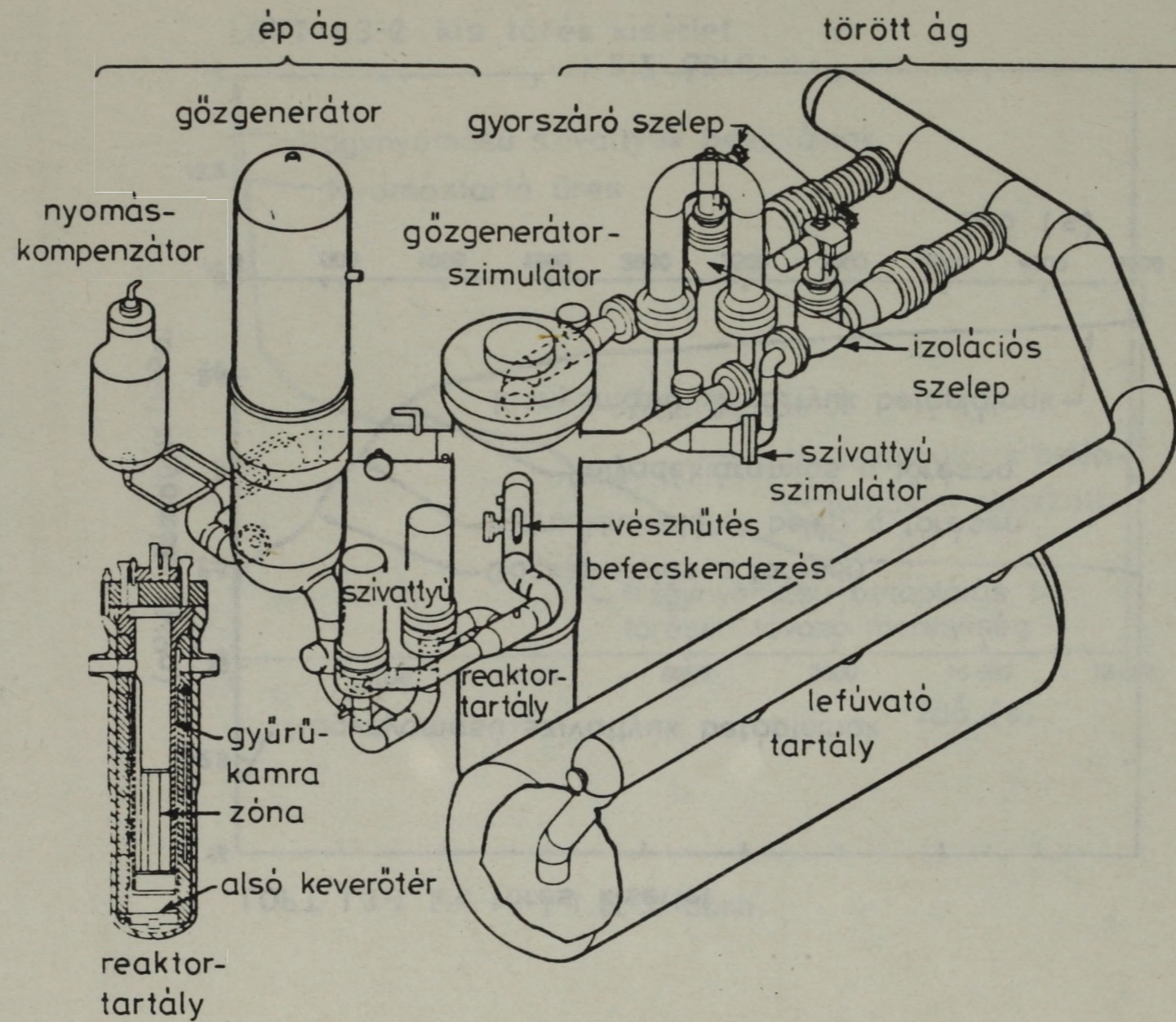
A távadó bemenetére változó körfrekvenciájú tiszta szinuszos nyomásváltozást vezettünk. A kimenő jel kvázistacionárius állapot beállta után szintén tiszta szinuszos és ugyanolyan körfrekvenciájú volt, mint a bemenő jel, tehát az átvitel lineáris tulajdonsággal rendelkezett. Bizonyos körfrekvencia elérése után jelentős amplitudó csökkenést lehetett tapasztalni a fáziskésés növekedése mellett. A méréseink eredményét Bode-diagramban foglaltuk össze, ami az 5.4 sz. ábrán látható. Az a/ω / függvény a kimenő jel amplitudó változását ábrázolja, a körfrekvencia változás függvényében. Megállapítható, hogy kb. $\omega = 20/s$ körfrekvencia értékig amplitudó csökkenés alig tapasztalható, $\omega = 20 - 40/s$ értékhatárok között 20 dB/dekád

a csillapítás, majd e felett egy jelentős kb. 40 dB/dekád csillapítással csökken a kimenő jel amplitudója. A φ/ω görbe a fáziskésés nagyságát adja a körfrekvencia változás függvényében. A kimenő jel fáziskésése ω növekedésekor nő, és a görbe inflexiós pontja kb. $\omega = 28/s$ értéknél található. Ennél nagyobb értékeknél a fáziskésés meredeksége már csökkenő tendenciájú és nagy körfrekvenciák esetén 180° -os késéshez tart. A nyomáskülönbség távadója szintén a kéttárolós arányos tag átviteli tulajdonságai jellemzőek és kb. 250 ms-nál nagyobb idő alatt lejátszódó nyomásfluktuációk igen jól követhetők vele.

IRODALOMJEGYZÉK

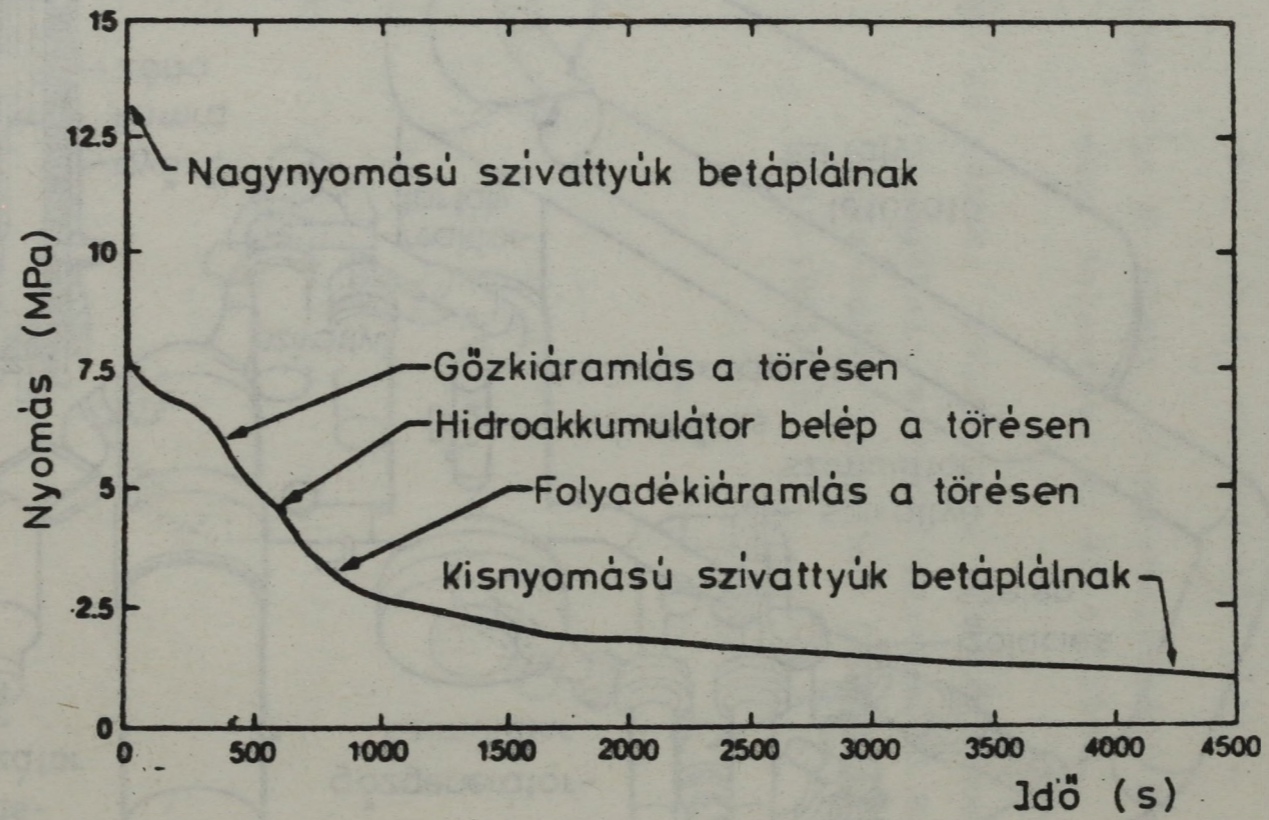
- [1] Szabados L., és mások: A PMK-NVH berendezés.
KFKI-1982-14.
- [2] McPherson, G.D.: The LOFT Facility. GRS-Fachgespräch.
1979. nov. 29-30, München.
- [3] McPherson, G.D.: Heat and Mass Transfer Lessons Learned
from the LOFT Program. Int. Seminar on Nuclear
Reactor Safety Heat Transfer.
1980. szept. 1-5. Dubrovnik.
- [4] Larson, T.K., Havega, E.A.: Semiscale Program Summary:
A Review of Mod-3 Results. Nuclear Safety,
Vol. 22, 1981. pp. 312-327.
- [5] Hein, D., Winkler, F.: A Synopsis of PKL Small Break Tests.
8th Water Reactor Safety Research Information
Meeting. 1980. okt. 27-31. Gaithersburg.
- [6] Miettinen, J. et al.: Scoping Studies on PWR Core Behaviour
under SB LOCA Conditions. CSNI Specialists'
Meeting on Safety Aspects of Fuel Behaviour.
1980. szept. 1-4. Espoo
- [7] Bourteele, J.P.: Investigation of Stratified and Counter-
current Flows in Horizontal Piping during LOCA.
European Two-Phase Flow Group Meeting,
1980. jun. 3-6. Glasgow
- [8] McPherson, G.D., Leach, L.P.: The Status and Future Directions
of Small-Break Studies in the LOFT and Semiscale
Integral System Facilities. Topical Meeting on
SB-LOCA Analysis in LWRs.
1981. aug. 25-27., Monterey
- [9] Bukrinszkij, A.M. és mások: Vübor prizvagyityelnosztyi ava-
rijnüň padpitocsnüň naszoszov vüszokava davle-
nyija. Tyeploenergetika, 1981. 54-58.

- [10] Perneczky L. és mások: A RELAP4 különböző változatainak alkalmazása a Paksi Atomerőműre.
KFKI riport megjelenés alatt.
- [11] Paksi Atomerőmű I. blokk. Üzembehelyezést Megelőző Biztonsági Jelentés. V. kötet 1982.
- [12] Ézsöl Gy. és mások: Balesethez vezető üzemzavari állapotok vizsgálata a Paksi Atomerőmű Balesetelhárítási Intézkedési Tervének /BEIT/ elkészítéséhez
KFKI-1982-11.



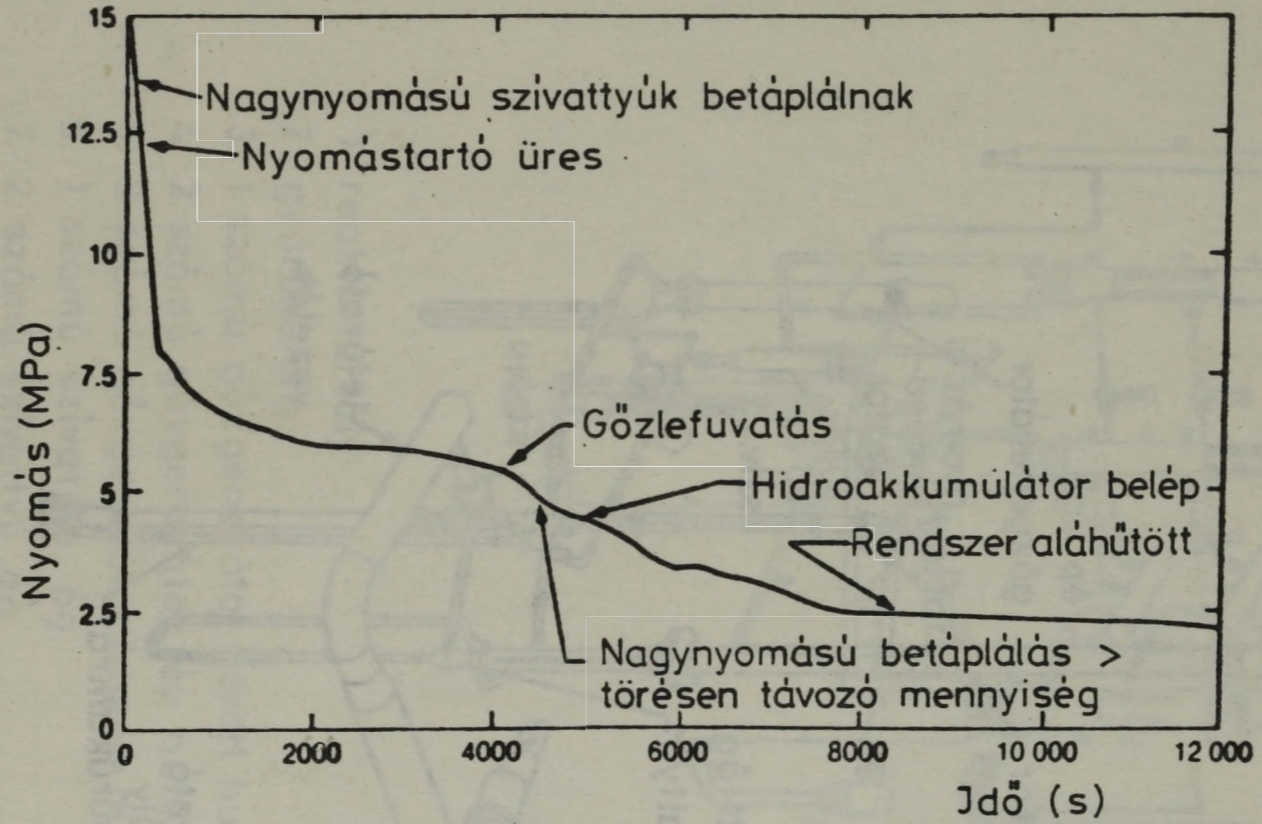
1.2.1. ábra. A LOFT felépítése

LOFT L3-1 kis törés kísérlet

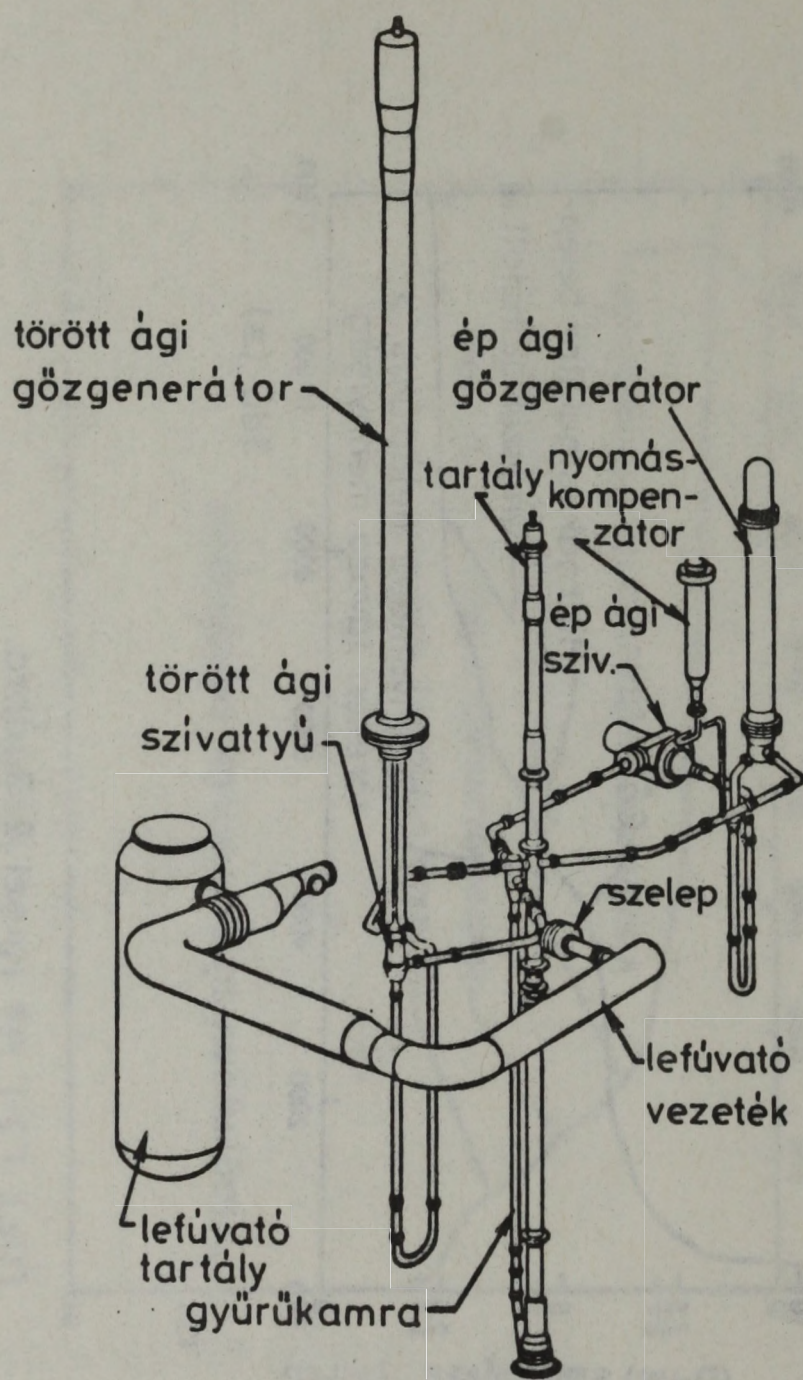


1.2.2. ábra.

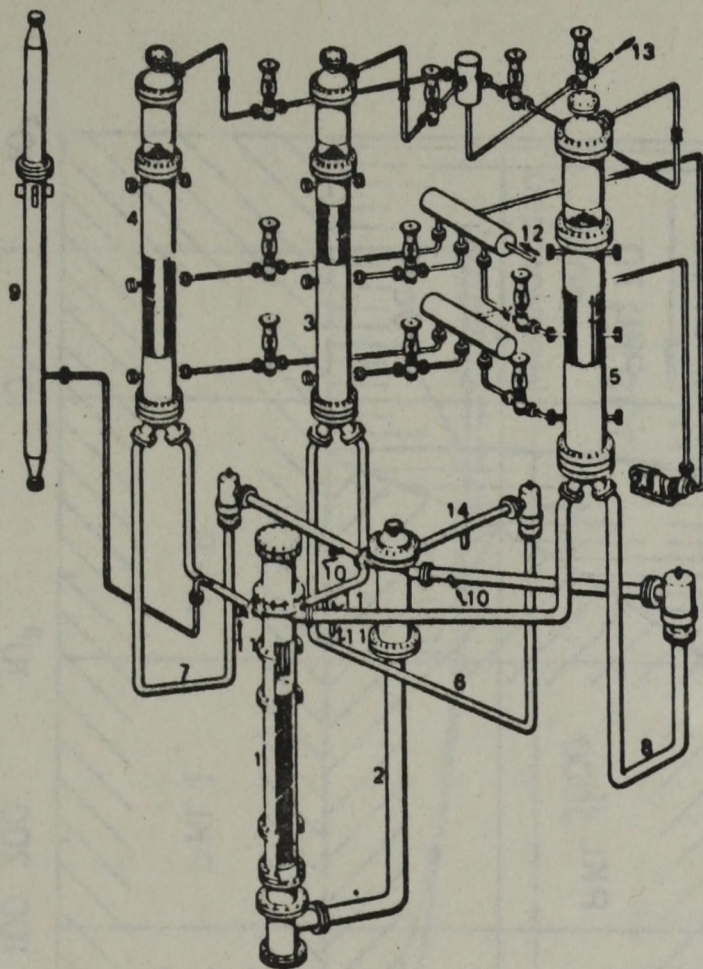
LOFT L3-2 kis törés kísérlet



1. 2. 3. ábra.

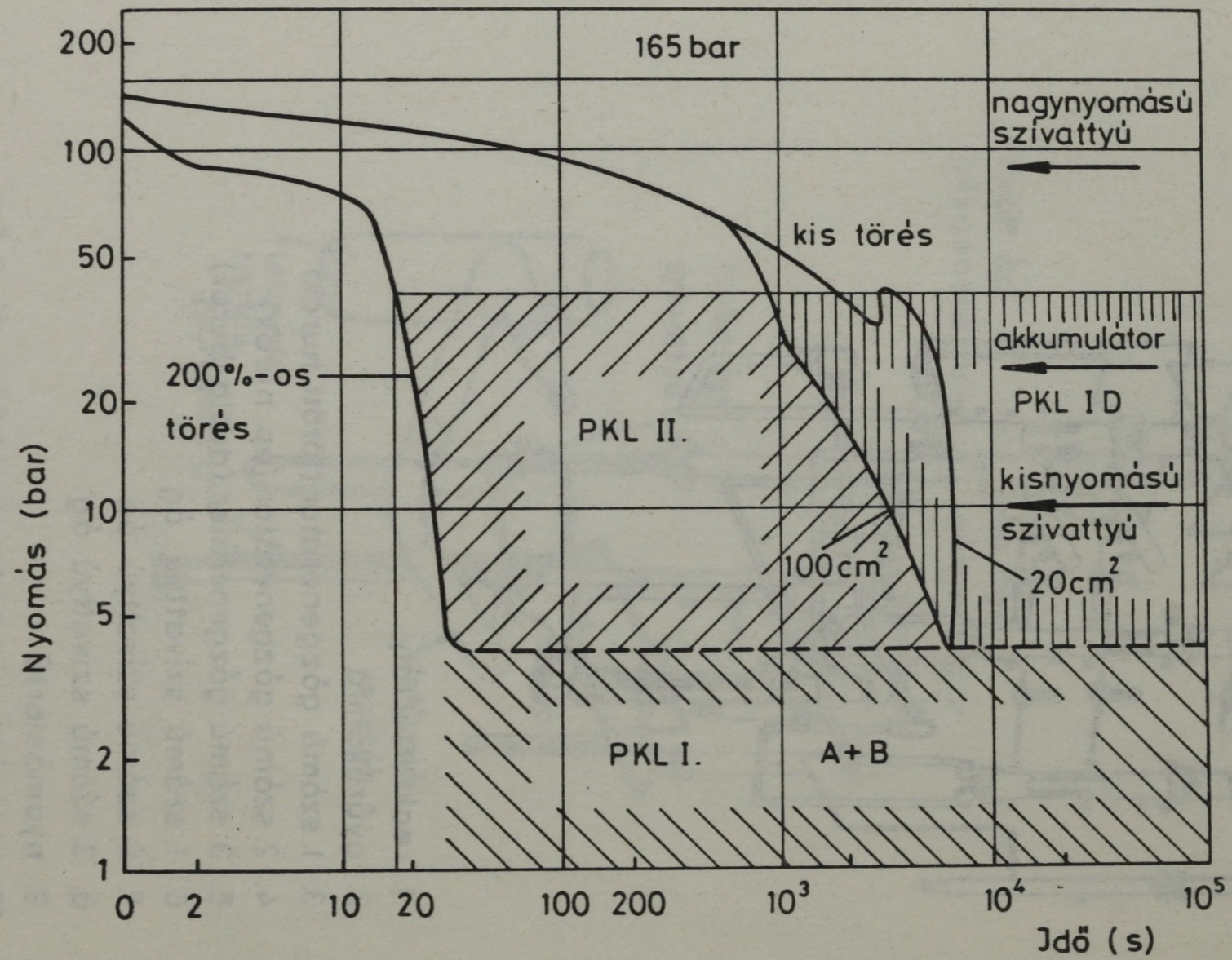


1.2.4. ábra . Semiscale Mod-3 Rendszer



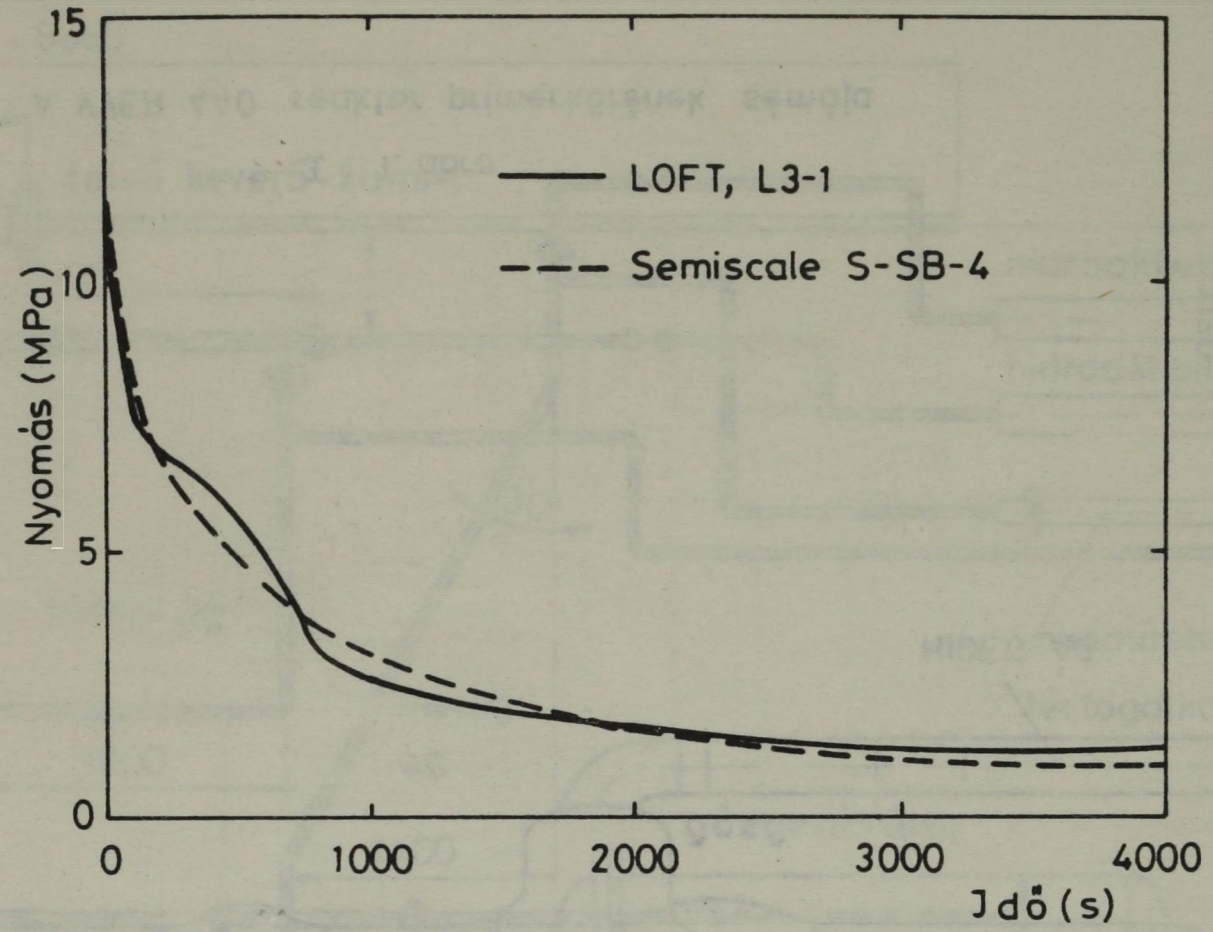
1. reaktortartály
2. gyűrükamra
3. 1. számú gőzgenerátor (törött hurok)
4. 2. számú gőzgenerátor (ép hurok)
5. 3. számú gőzgenerátor (dupla hurok)
6. 1. számú szivattyú ág
7. 2. számú szivattyú ág
8. 3. számú szivattyú ág
9. nyomástartó
10. hidegági vészbefecskendezés
11. melegági vészbefecskendezés
12. szekunder-oldali tápvíz
13. szekunder-oldali gőzlefúvató vezeték
14. hidegági törés

1.2.5. ábra. A PKL berendezés rajza



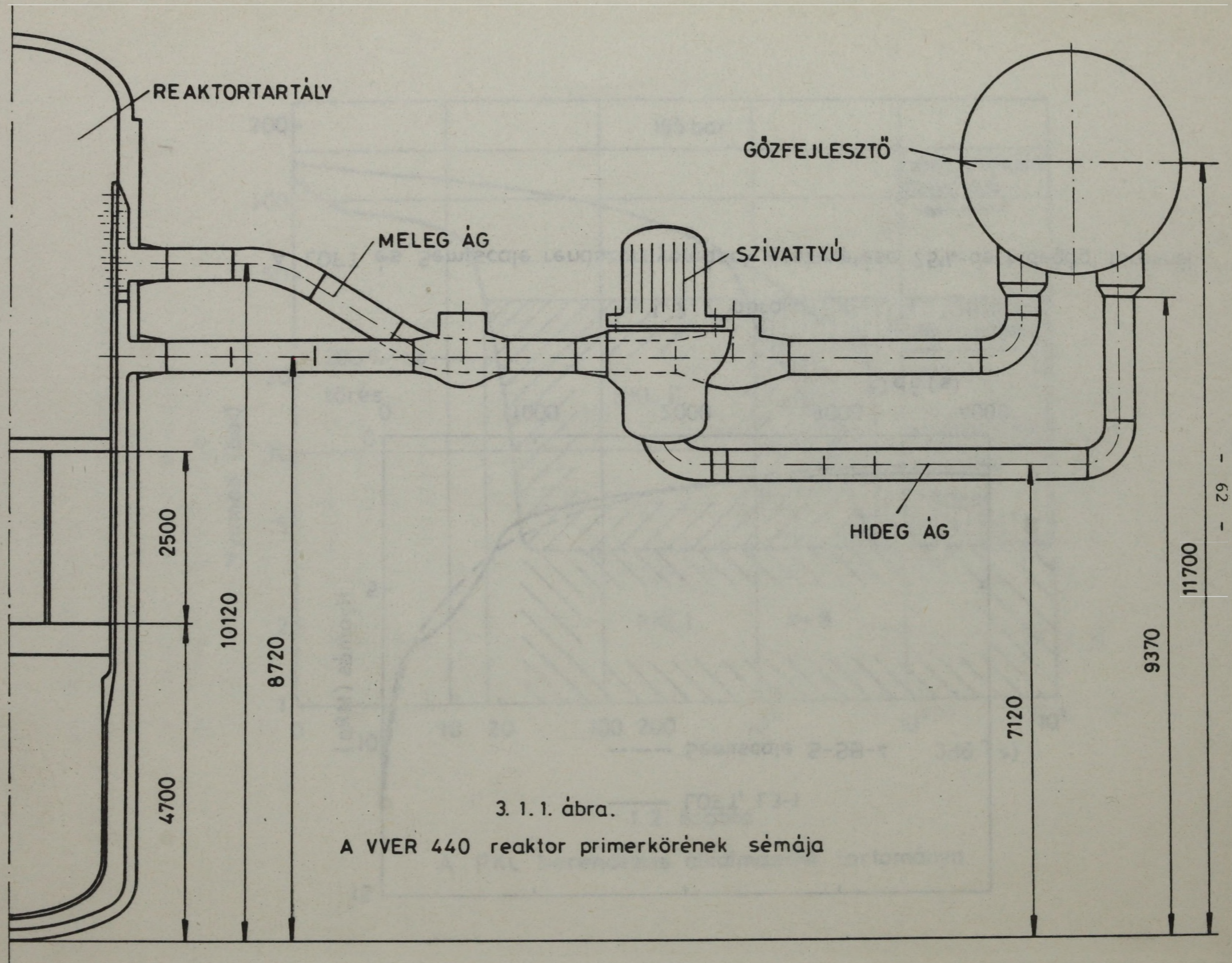
1. 2. 6. ábra.

A PKL berendezés alkalmazási tartománya



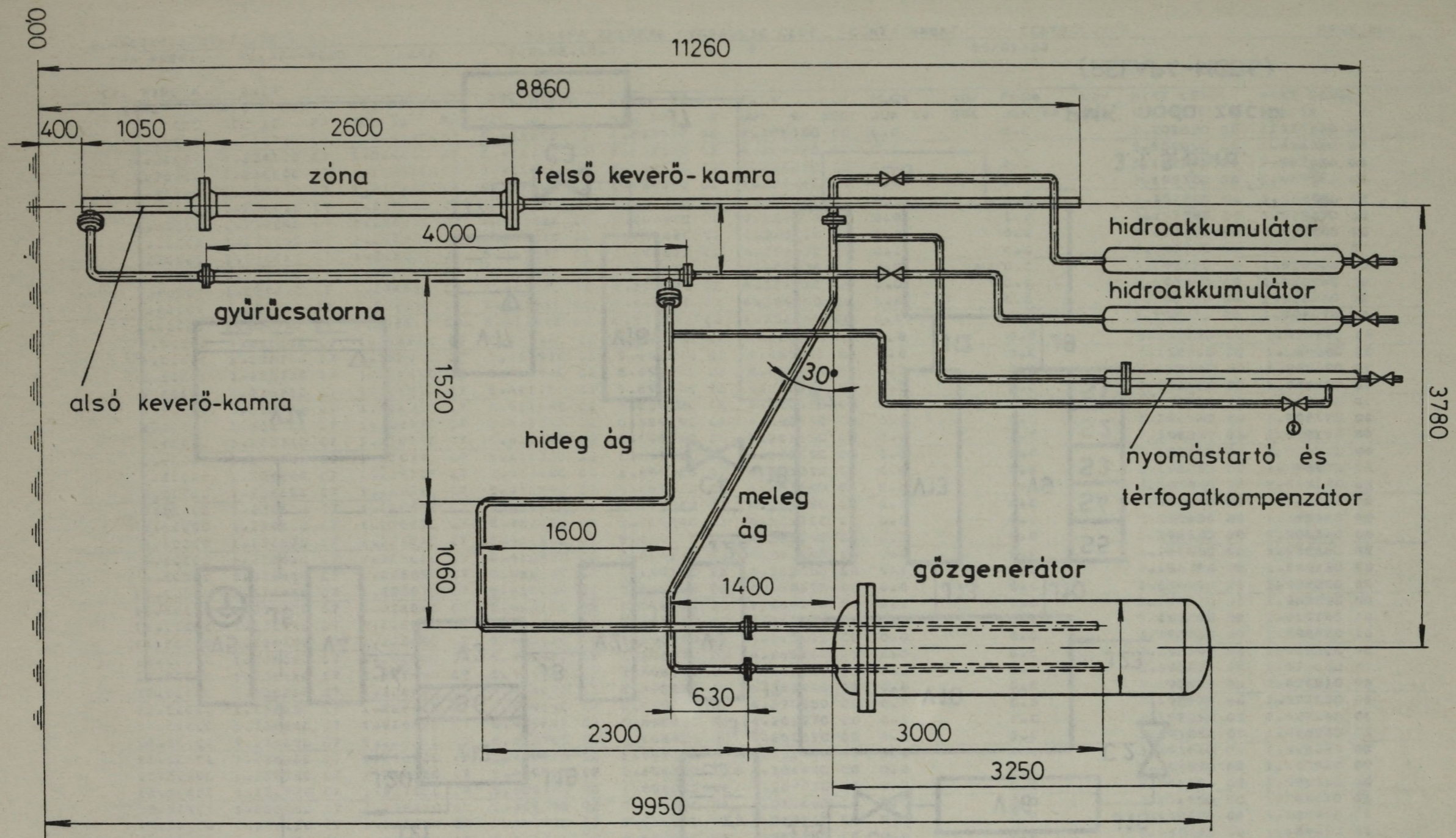
1. 2. 7. ábra.

A LOFT és Semiscale rendszernyomások összevetése 25%-os hidegági törésnél.



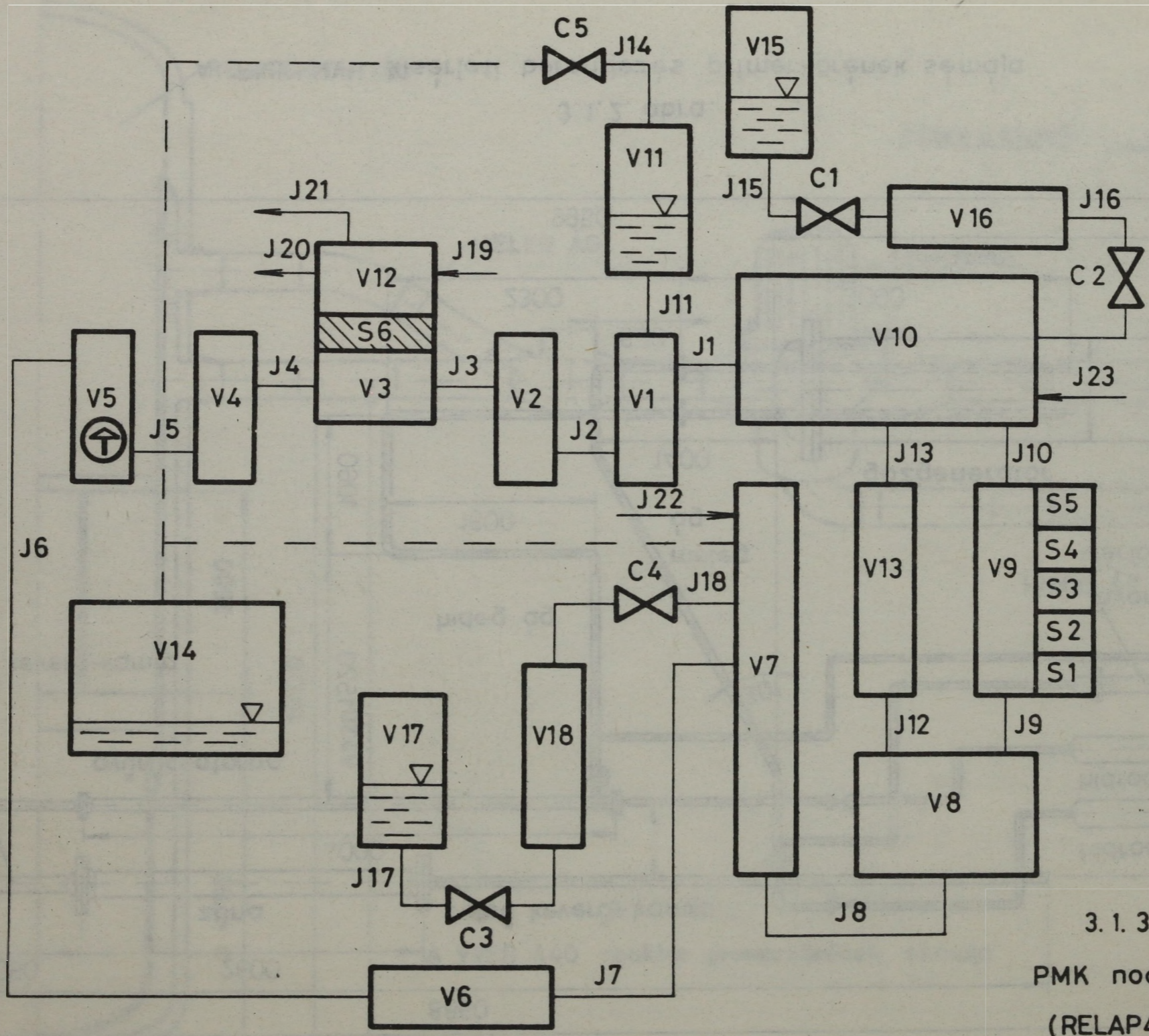
3. 1. 1. ábra.

A VVER 440 reaktor primerkörének sémája



3.1.2. ábra.

A PMK-NVH kísérleti berendezés primerkörének sémája



3. 1. 3. ábra.
 PMK nodalizáció
 (RELAP4-MOD6)

FMK MODEL

RELAP4-MC03

LCCA

E2.C8.C5.

F F

09/21/82

CFL TIME = 2.07

TIME	AVG PRESS		WATER TEMP		WATER TEMP		FLCW		FLCW		FLCW		MIXT LEVEL		MIXT LEVEL	
	SEC	VCL 10 PA	VCL 11 PA	VCL 8 K	VCL 10 K	JUN 9 SEC	JUN 14 SEC	JUN 16 SEC	JUN 16 SEC	JUN 16 SEC	VCL 11 M	VCL 12 M	VCL 11 M	VCL 12 M		
0.10000	1.230770	C7	1.229140	C7	5.411650	C2	5.697970	C2	4.255350	C0	0.0	0.0	3.201600	00	1.983180	00
0.20000	1.234100	C7	1.229010	C7	5.411750	C2	5.698130	C2	4.254280	C0	0.0	0.0	3.200590	00	1.986380	00
0.30000	1.236000	C7	1.228920	C7	5.411820	C2	5.698240	C2	4.256270	C0	0.0	0.0	3.199570	00	1.987480	00
0.40000	1.236730	C7	1.228880	C7	5.411840	C2	5.698300	C2	4.256460	C0	0.0	0.0	3.198760	00	1.987650	00
0.50000	1.236810	C7	1.228850	C7	5.411860	C2	5.698360	C2	4.256790	C0	0.0	0.0	3.197800	00	1.988050	00
0.60000	1.236890	C7	1.228840	C7	5.411860	C2	5.698420	C2	4.256430	C0	0.0	0.0	3.197280	00	1.988070	00
1.00000	1.236890	C7	1.228830	C7	5.411880	C2	5.698480	C2	4.260010	C0	0.0	0.0	3.197130	00	1.988060	00
1.20000	1.236810	C7	1.228820	C7	5.411890	C2	5.698520	C2	4.257470	C0	0.0	0.0	3.197080	00	1.988060	00
1.40000	1.236910	C7	1.228820	C7	5.411900	C2	5.698580	C2	4.259270	C0	0.0	0.0	3.197030	00	1.988060	00
1.60000	1.236810	C7	1.228820	C7	5.411910	C2	5.698620	C2	4.258010	C0	0.0	0.0	3.197000	00	1.988060	00
1.80000	1.236900	C7	1.228810	C7	5.411920	C2	5.698680	C2	4.259290	C0	0.0	0.0	3.196960	00	1.988060	00
2.00000	1.236790	C7	1.228810	C7	5.411930	C2	5.698720	C2	4.258260	C0	0.0	0.0	3.196930	00	1.988070	00
2.50000	1.236800	C7	1.228810	C7	5.411940	C2	5.698850	C2	4.259930	C0	0.0	0.0	3.196880	00	1.988070	00
3.00000	1.236760	C7	1.228810	C7	5.411910	C2	5.698970	C2	4.260370	C0	0.0	0.0	3.196810	00	1.988080	00
3.50000	1.236750	C7	1.228800	C7	5.411840	C2	5.699070	C2	4.260600	C0	0.0	0.0	3.196740	00	1.988080	00
4.00000	1.236750	C7	1.228750	C7	5.411780	C2	5.699160	C2	4.260750	C0	0.0	0.0	3.196660	00	1.988090	00
4.50000	1.236740	C7	1.228780	C7	5.411640	C2	5.699230	C2	4.260930	C0	0.0	0.0	3.196570	00	1.988090	00
5.00000	1.236730	C7	1.228770	C7	5.411510	C2	5.699290	C2	4.260990	C0	0.0	0.0	3.196460	00	1.988100	00
5.50000	1.236710	C7	1.228760	C7	5.411370	C2	5.699340	C2	4.261190	C0	0.0	0.0	3.196330	00	1.988110	00
6.00000	1.236700	C7	1.228740	C7	5.411230	C2	5.699360	C2	4.261090	C0	0.0	0.0	3.196190	00	1.988110	00
6.50000	1.236680	C7	1.228730	C7	5.411080	C2	5.699380	C2	4.261310	C0	0.0	0.0	3.196030	00	1.988120	00
7.00000	1.236650	C7	1.228710	C7	5.410940	C2	5.699380	C2	4.261640	C0	0.0	0.0	3.195840	00	1.988120	00
7.50000	1.236630	C7	1.228690	C7	5.410810	C2	5.699360	C2	4.261650	C0	0.0	0.0	3.195640	00	1.988130	00
8.00000	1.236600	C7	1.228670	C7	5.410680	C2	5.699340	C2	4.261800	C0	0.0	0.0	3.195430	00	1.988140	00
8.50000	1.236570	C7	1.228640	C7	5.410560	C2	5.699300	C2	4.262140	C0	0.0	0.0	3.195200	00	1.988140	00
9.00000	1.236520	C7	1.228620	C7	5.410450	C2	5.699260	C2	4.262640	C0	0.0	0.0	3.194950	00	1.988160	00
9.50000	1.236460	C7	1.228590	C7	5.410340	C2	5.699220	C2	4.262850	C0	0.0	0.0	3.194710	00	1.988130	00
10.00000	1.236450	C7	1.228570	C7	5.410250	C2	5.699190	C2	4.267210	C0	0.0	0.0	3.194430	00	1.988250	00
10.50000	1.236330	C7	1.228540	C7	5.410160	C2	5.699110	C2	4.264100	C0	0.0	0.0	3.194250	00	1.987890	00
11.00000	1.236440	C7	1.228520	C7	5.410080	C2	5.699100	C2	4.265650	C0	0.0	0.0	3.193860	00	1.989140	00
11.50000	1.236200	C7	1.228490	C7	5.410020	C2	5.698960	C2	4.262110	C0	0.0	0.0	3.193830	00	1.984930	00
12.00000	1.236390	C7	1.228460	C7	5.409960	C2	5.698970	C2	4.269100	C0	0.0	0.0	3.193290	00	1.999220	00
12.50000	1.236180	C7	1.228440	C7	5.409910	C2	5.698780	C2	4.262500	C0	0.0	0.0	3.193270	00	1.973180	00
13.00000	1.236290	C7	1.228400	C7	5.409870	C2	5.698820	C2	4.260900	C0	0.0	0.0	3.192810	00	2.039510	00
13.50000	1.236250	C7	1.228410	C7	5.409840	C2	5.698850	C2	4.279550	C0	0.0	0.0	3.192770	00	1.973190	00
14.00000	1.236250	C7	1.228350	C7	5.409810	C2	5.698830	C2	4.261970	C0	0.0	0.0	3.192290	00	1.988240	00
14.50000	1.236050	C7	1.228310	C7	5.409780	C2	5.698430	C2	4.260510	C0	0.0	0.0	3.191850	00	1.988200	00
15.00000	1.236210	C7	1.228300	C7	5.409760	C2	5.698380	C2	4.263750	C0	0.0	0.0	3.191620	00	1.988330	00
15.50000	1.235990	C7	1.228260	C7	5.409750	C2	5.698280	C2	4.256420	C0	0.0	0.0	3.191590	00	1.987910	00
16.00000	1.236230	C7	1.228250	C7	5.409740	C2	5.698300	C2	4.268830	C0	0.0	0.0	3.191180	00	1.989340	00
16.50000	1.235950	C7	1.228210	C7	5.409740	C2	5.698170	C2	4.251660	C0	0.0	0.0	3.191150	00	1.984550	00
17.00000	1.236130	C7	1.228220	C7	5.409730	C2	5.698220	C2	4.255100	C0	0.0	0.0	3.190820	00	1.985710	00
17.50000	1.236170	C7	1.228200	C7	5.409730	C2	5.698200	C2	4.262340	C0	0.0	0.0	3.190630	00	1.984970	00
18.00000	1.236140	C7	1.228180	C7	5.409730	C2	5.698260	C2	4.271170	C0	0.0	0.0	3.190490	00	1.999400	00
18.50000	1.235760	C7	1.228160	C7	5.409730	C2	5.697990	C2	4.263040	C0	0.0	0.0	3.190360	00	1.973250	00
19.00000	1.236180	C7	1.228130	C7	5.409730	C2	5.698140	C2	4.248150	C0	0.0	0.0	3.190320	00	2.039560	00
19.50000	1.236060	C7	1.228110	C7	5.409740	C2	5.697930	C2	4.299020	C0	0.0	0.0	3.190420	00	1.973250	00
20.00000	1.236020	C7	1.228110	C7	5.409730	C2	5.697820	C2	4.261820	C0	0.0	0.0	3.189780	00	1.988330	00

3. 2. 1. táblázat

- 65 -

CPL TIME = 17.05

STANDARD TIME STEP NUMBER 42. ACTUAL TIME STEP NUMBER 258. TIME = 0.170000 02 SEC. LAST DT = 0.152939D 00 SEC.

TOTAL SYSTEM QUANTITIES	NORM PCWR	PCWR (MW)	HEAT REM (WATT)	ENGY LEAK (J)	MASS LEAK (KG)	ENGY BAL. (J)	MASS BAL. (KG)	TOT. REAC (S)	REAC T SEC.
	1.000000 00	6.676000-01	0.0	0.0	0.0	6.066300 09	2.862170 04	0.0	0.0
VOLUME NUMBER	AVG. PRES PA	TOT. MASS (KG) F2C	AVG. ENTH (J/KG)	AVG. DENS (KG/M3)	AVG. TEMP (K)	AVG. QUAL	BUBB MASS (KG)	MIXT LEVL (M)	LIQ. MASS (KG)
1	1.230010 07	4.663860 00	1.322430 06	7.274850 02	5.698250 02	0.0	0.0	1.445790 00	4.663860 00
2	1.227410 07	8.656930 00	1.322590 06	7.273770 02	5.698520 02	0.0	0.0	3.437840 00	8.656930 00
3	1.220390 07	7.871370 00	1.172040 06	7.810480 02	5.408700 02	0.0	0.0	1.823980 00	7.871370 00
4	1.214250 07	1.153280 01	1.172050 06	7.809700 02	5.408690 02	0.0	0.0	5.037830 00	1.153280 01
5	1.231320 07	5.642780-01	1.172810 06	7.810360 02	5.409670 02	0.0	0.0	4.581140-02	5.642780-01
6	1.246320 07	4.829230 00	1.172470 06	7.812310 02	5.409640 02	0.0	0.0	1.645770 00	4.829230 00
7	1.245820 07	1.771060 01	1.172500 06	7.812170 02	5.409690 02	0.0	0.0	4.796820 00	1.771060 01
8	1.244520 07	2.183340 00	1.172820 06	7.811940 02	5.409730 02	0.0	0.0	3.799940-01	2.183340 00
9	1.240600 07	3.947280 00	1.329190 06	7.252710 02	5.710490 02	0.0	0.0	3.159950 00	3.947280 00
10	1.236130 07	2.062220 01	1.322360 06	7.276100 02	5.698220 02	0.0	0.0	4.979910 00	2.062220 01
11	1.228220 07	1.180680 01	1.539560 06	5.219070 02	5.995800 02	3.075570-02	2.699640-05	3.190820 00	1.144360 01
12	4.678520 06	1.831740 02	1.164560 06	4.927590 02	5.329420 02	1.840000-02	3.426870-02	1.989710 00	1.758040 02
13	1.240810 07	2.521660-01	1.172510 06	7.811530 02	5.409690 02	0.0	0.0	3.553940 00	2.521660-01
14	1.000000 05	2.824280 04	1.922110 05	1.099410 01	3.131480 02	5.077780-03	0.0	1.524000-01	2.809540 04
15	5.995400 06	4.896540 01	1.704120 05	7.398850 02	3.129770 02	1.917010-05	0.0	1.999850 00	4.896450 01
16	6.012420 06	1.000170 00	1.727630 05	9.949500 02	3.131500 02	0.0	0.0	1.493000 00	1.000170 00
17	5.995400 06	4.896540 01	1.704120 05	7.398850 02	3.129770 02	1.917010-05	0.0	1.999850 00	4.896440 01
18	6.019240 06	1.777770 00	1.727700 05	9.949530 02	3.131510 02	0.0	0.0	2.892950 00	1.777770 00

VOLUME AIR MASS (ONLY VOLUMES WITH AIR LISTED)

14	2.889070 03
15	1.233690 00
17	1.233690 00

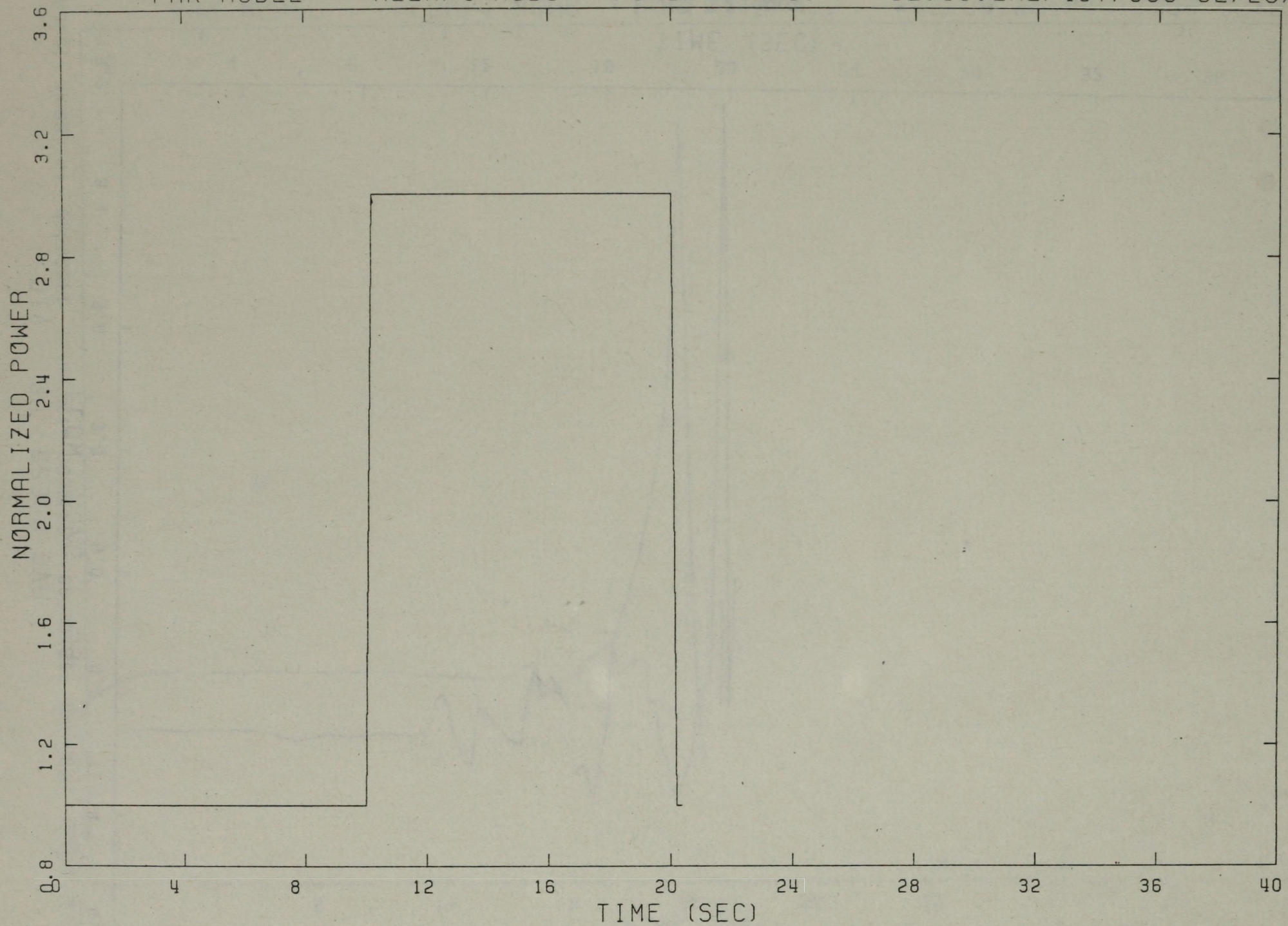
VOLUME PUMP SPEED PUMP NORM (RPM) TCRGLE

5	1.486000 03	6.377930-01
---	-------------	-------------

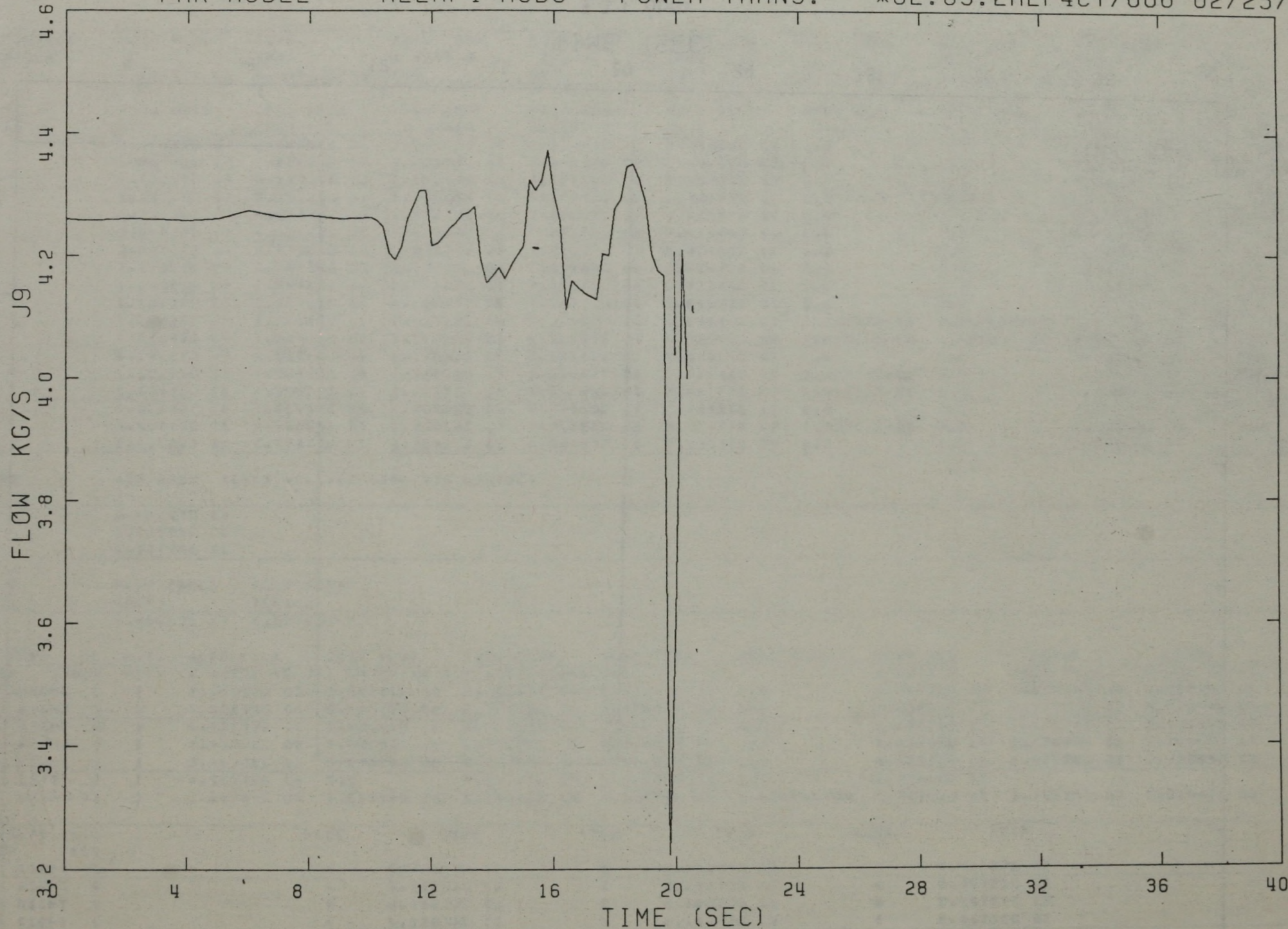
HEAT SLAB NUMBER	VCL NUM	F.T. NCDE	SURF FLUX (WATT/ M2)	CRIT FLUX (WATT/ M2)	F.T. CDEF	SURF TEMP (K)	AVG. QUAL	PCWR H2C (WATT)	LCCAL MASS FLUX	LCCAL FLUID TEMP.
1	RIGHT 9	1	3.452570 03	5.880620 06	2.760550 04	5.711540 02	0.0	8.284750 02	2.470700 03	5.710490 02
2	RIGHT 9	1	4.926970 05	5.880620 06	2.760550 04	5.888770 02	0.0	2.675760 05	2.470700 03	5.710490 02
3	RIGHT 9	1	4.926970 05	5.880620 06	2.760550 04	5.888770 02	0.0	2.675760 05	2.470700 03	5.710490 02
4	RIGHT 9	1	4.927060 05	5.880620 06	2.760550 04	5.888770 02	0.0	1.337880 05	2.470700 03	5.710490 02
5	RIGHT 9	1	3.481650 03	5.880620 06	2.760550 04	5.711550 02	0.0	4.136360 02	2.470700 03	5.710490 02
6	LEFT 3	1	-4.985760 04	0.0	1.943870 04	5.383250 02	0.0	-6.774650 05		
6	RIGHT 12	2	3.647850 04	3.615150 06	1.951400 04	5.354220 02	1.834640-04	6.709120 05	2.791250 00	5.329420 02

HEAT SLAB NUMBER	VCL NUM	NCDE	TEMP	NCDE	TEMP	NCDE	TEMP
1	RIGHT 9	4	5.730130 02	5	5.712970 02	6	5.712270 02
2	RIGHT 9	4	5.120320 02	5	6.113730 02	6	5.997510 02
3	RIGHT 9	4	5.120320 02	5	6.113730 02	6	5.997510 02
4	RIGHT 9	4	5.120320 02	5	6.113730 02	6	5.997510 02
5	RIGHT 9	4	5.730350 02	5	5.713000 02	6	5.712280 02

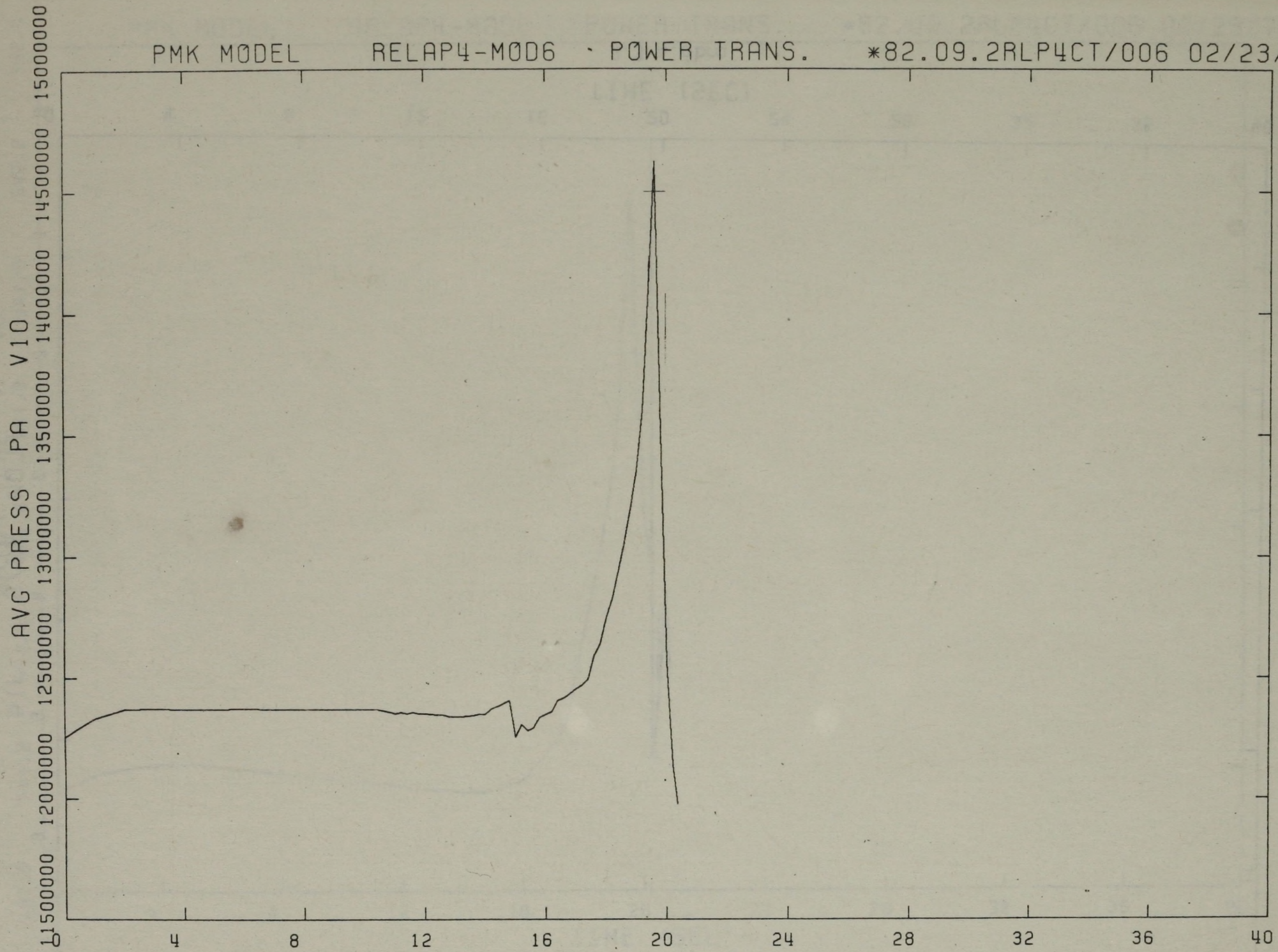
1
66
1



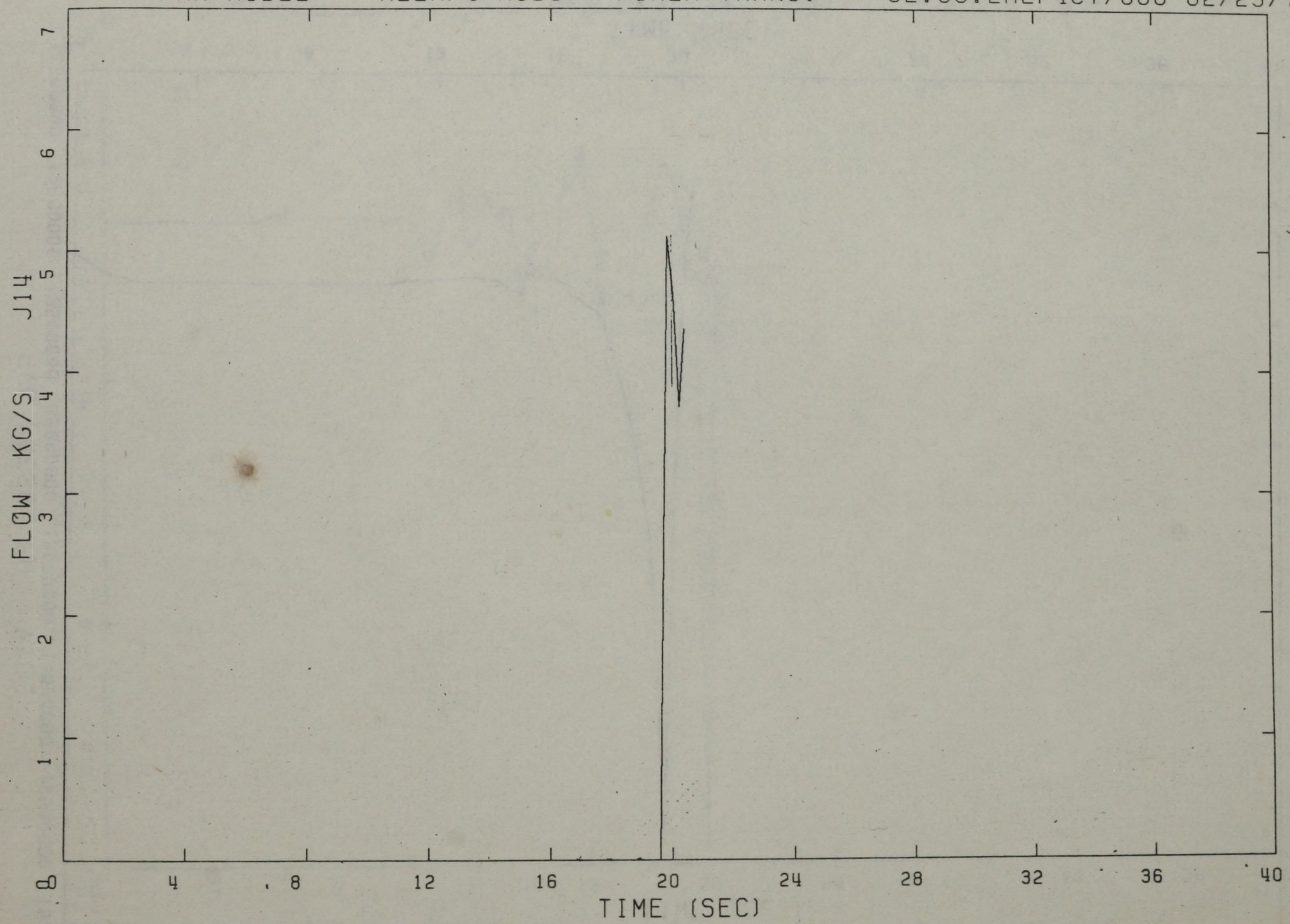
3.3.1. abra



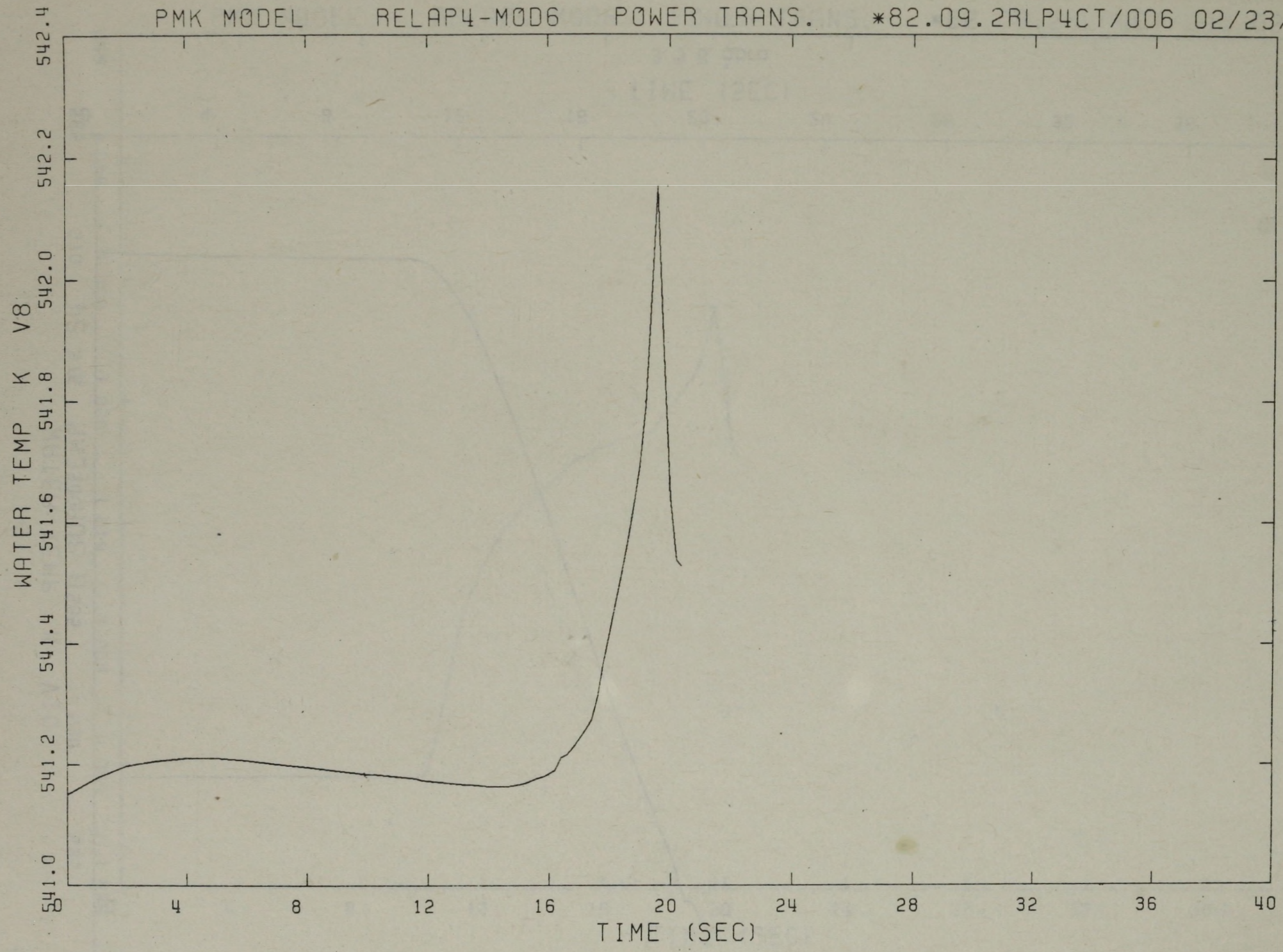
3.3.2. ábra



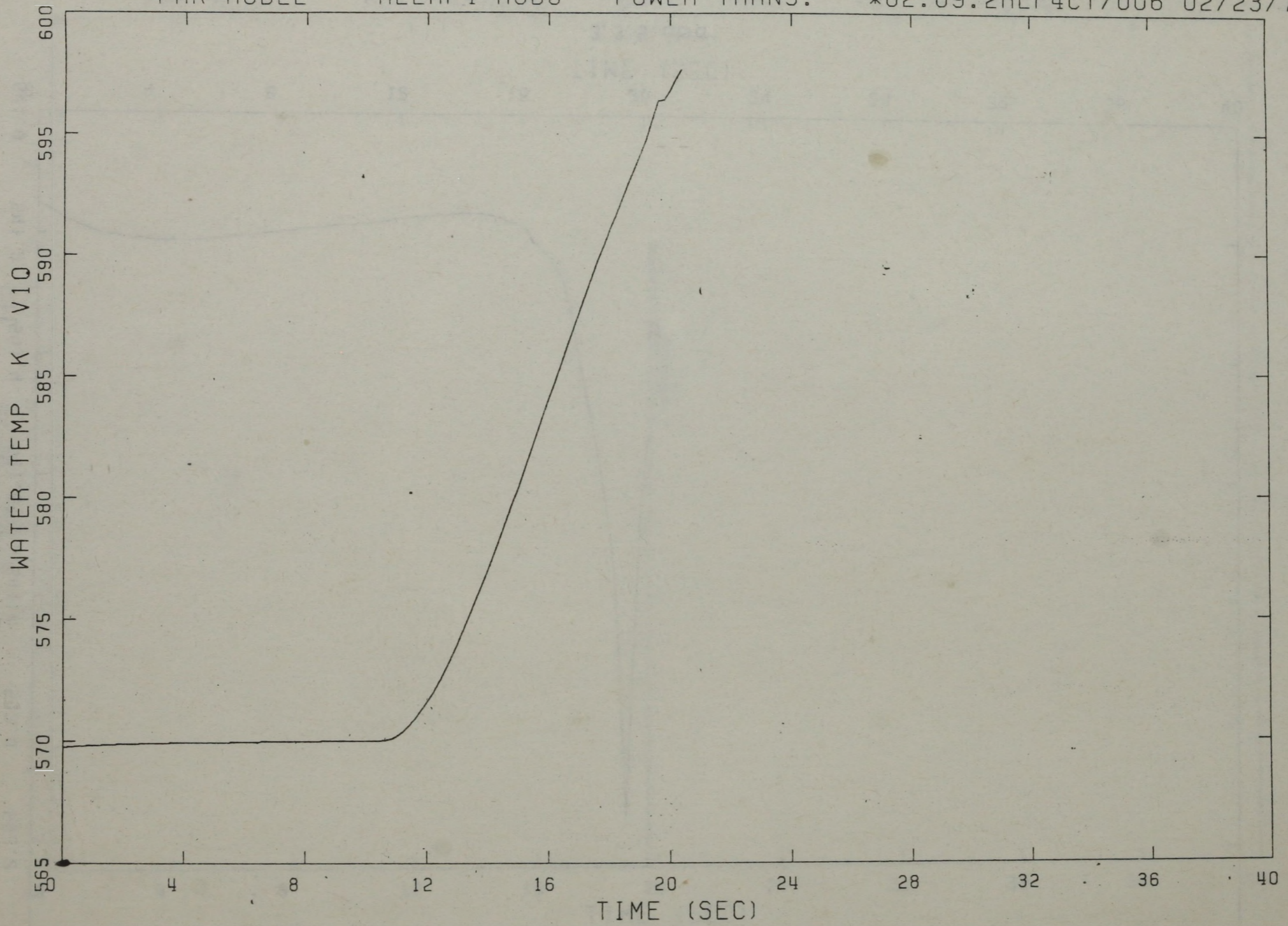
TIME (SEC)
3.3.3. abra



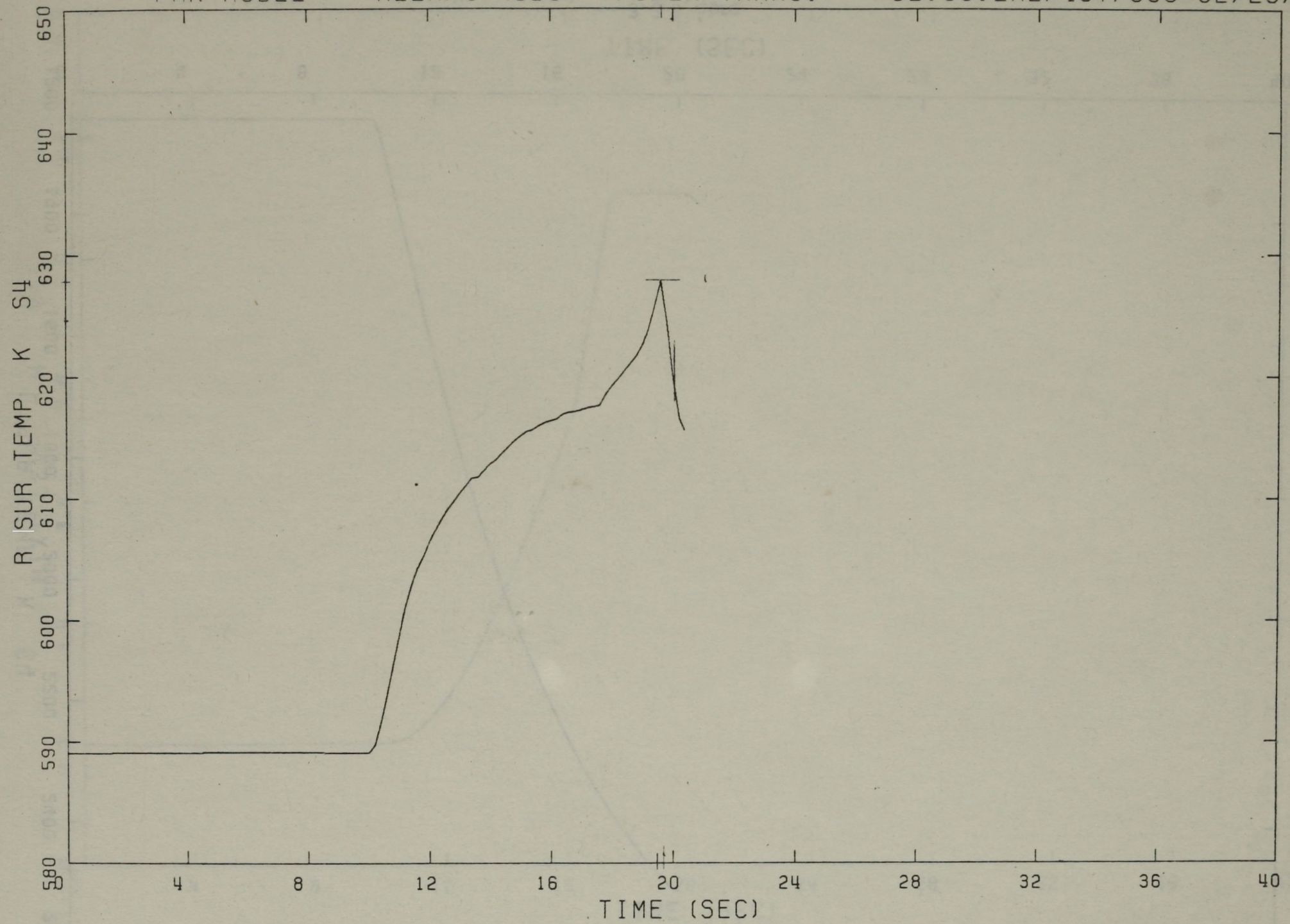
3.3.4. ábra



3.3.5. ábra

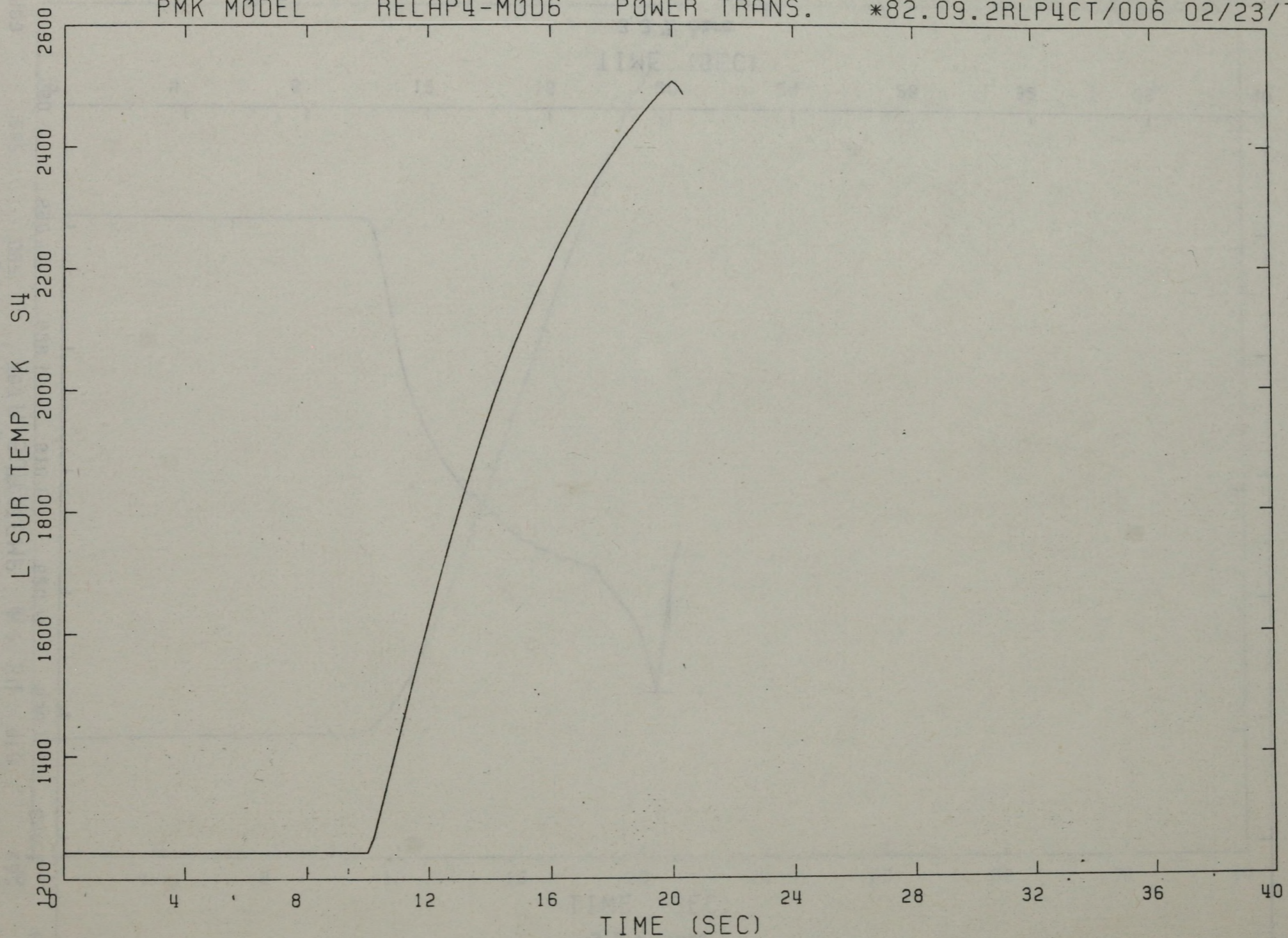


3.3.6. ábra

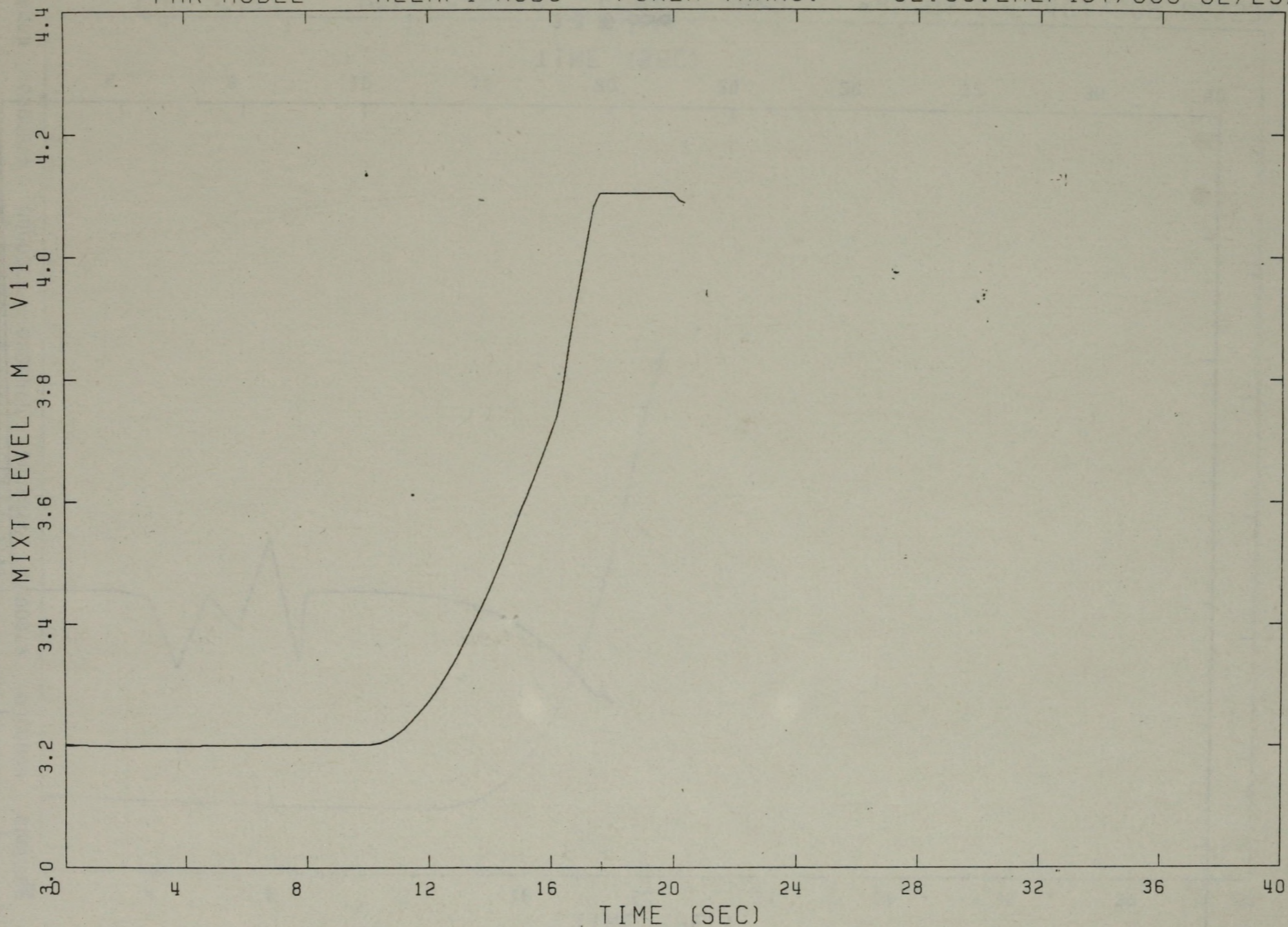


TIME (SEC)

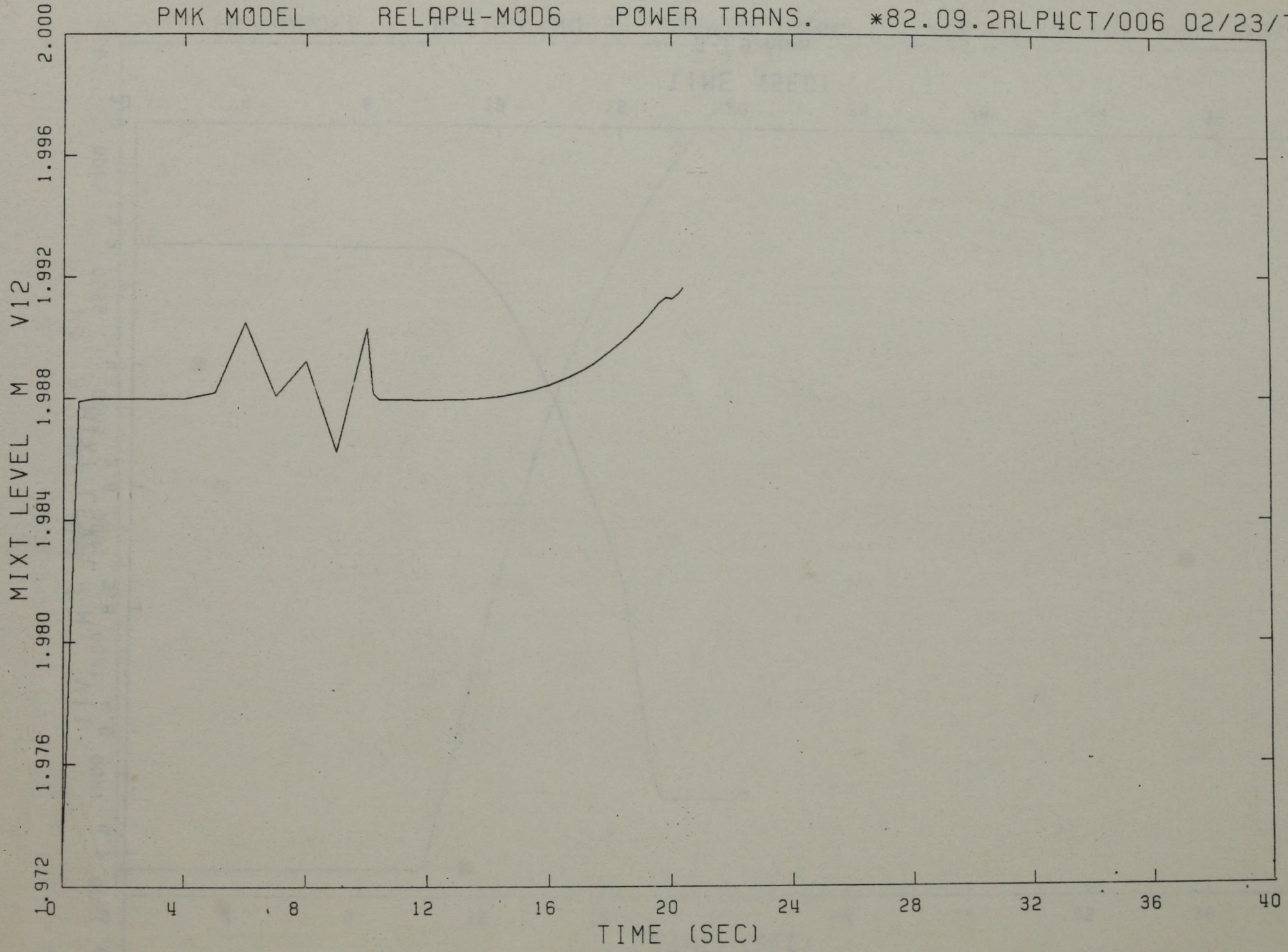
3.3.7. ábra



3.3.8. abra

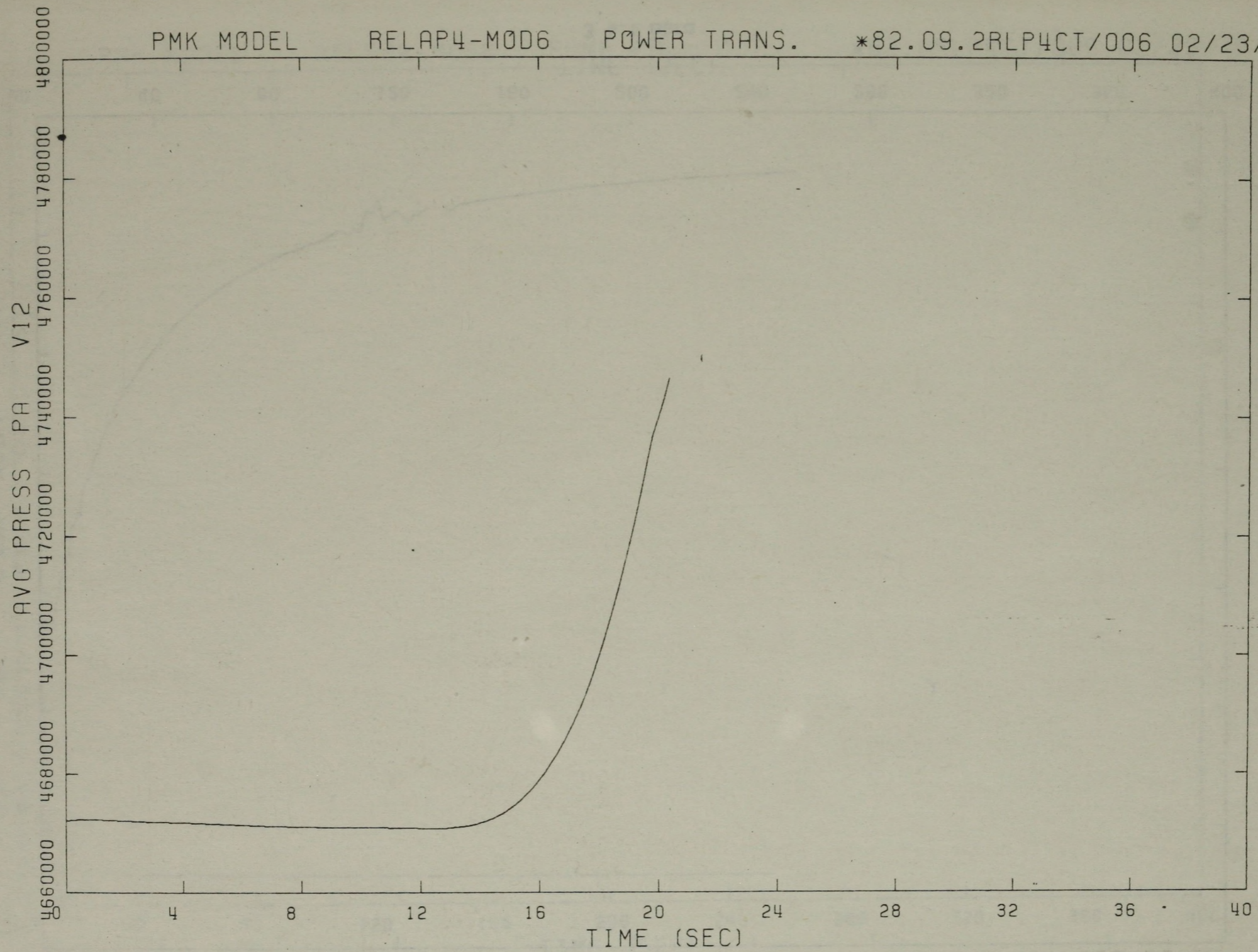


3.3.9. ábra



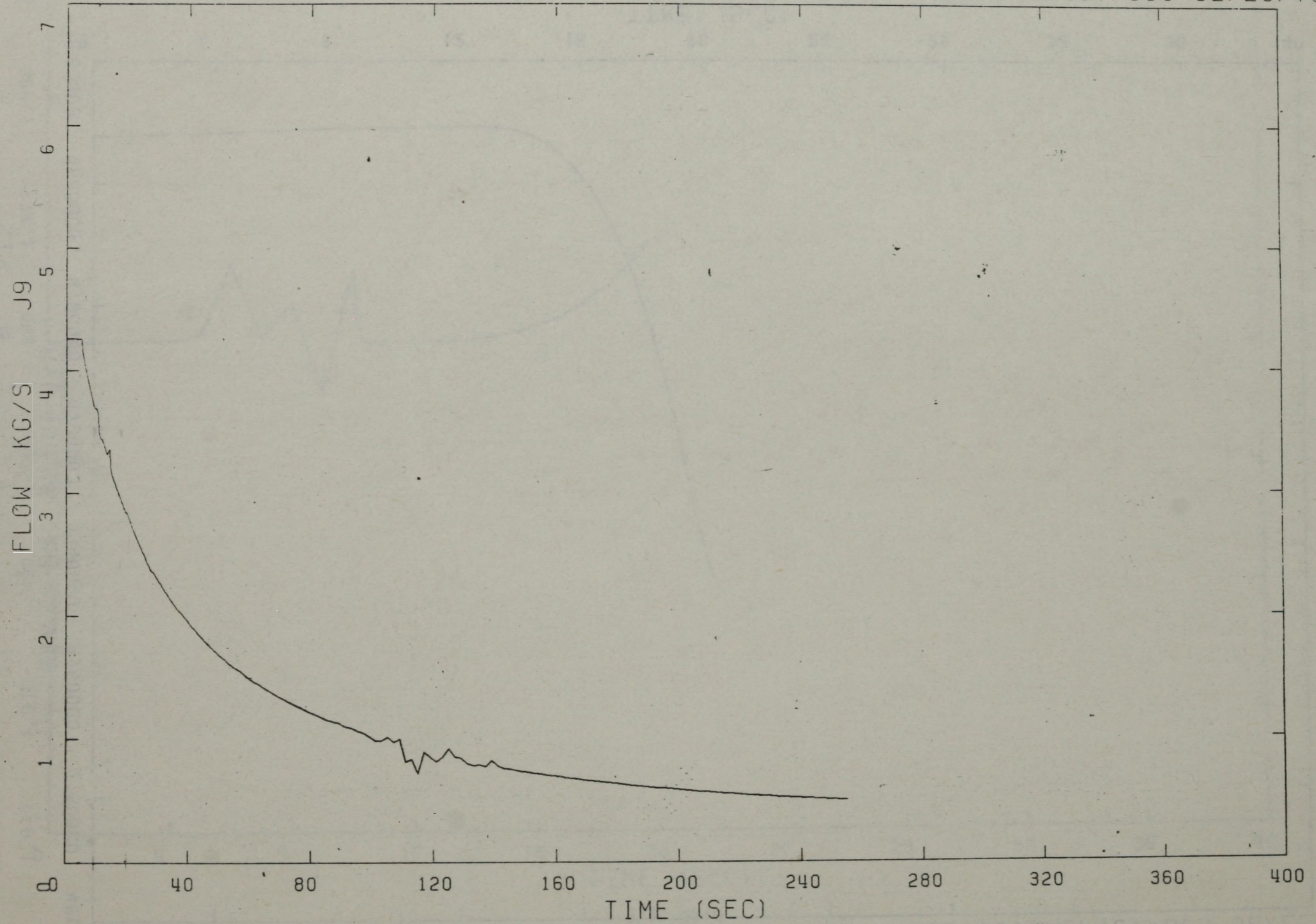
TIME (SEC)

3.3.10. abra

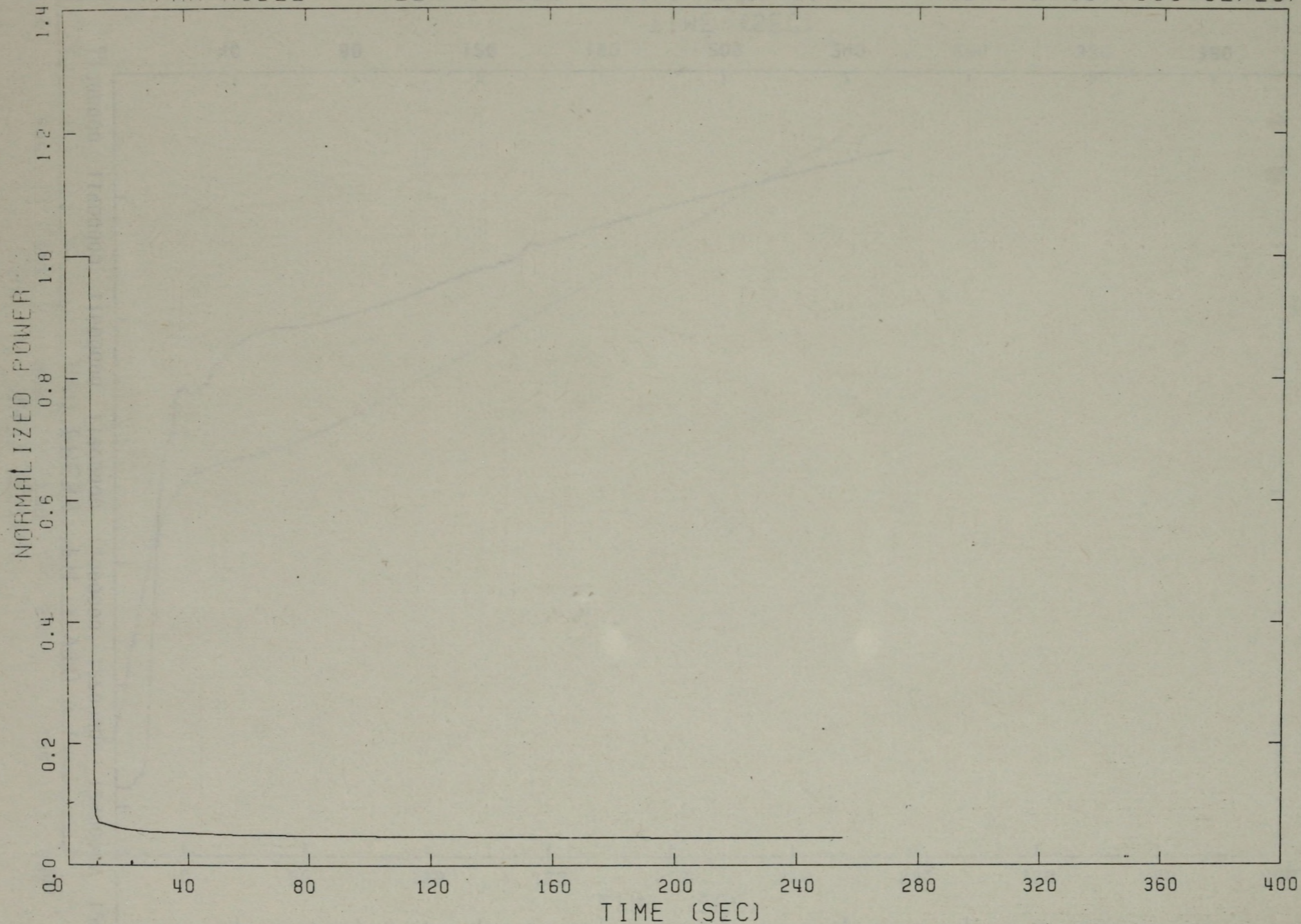


TIME (SEC)

3.3.11. ábra



3.4.1. abra



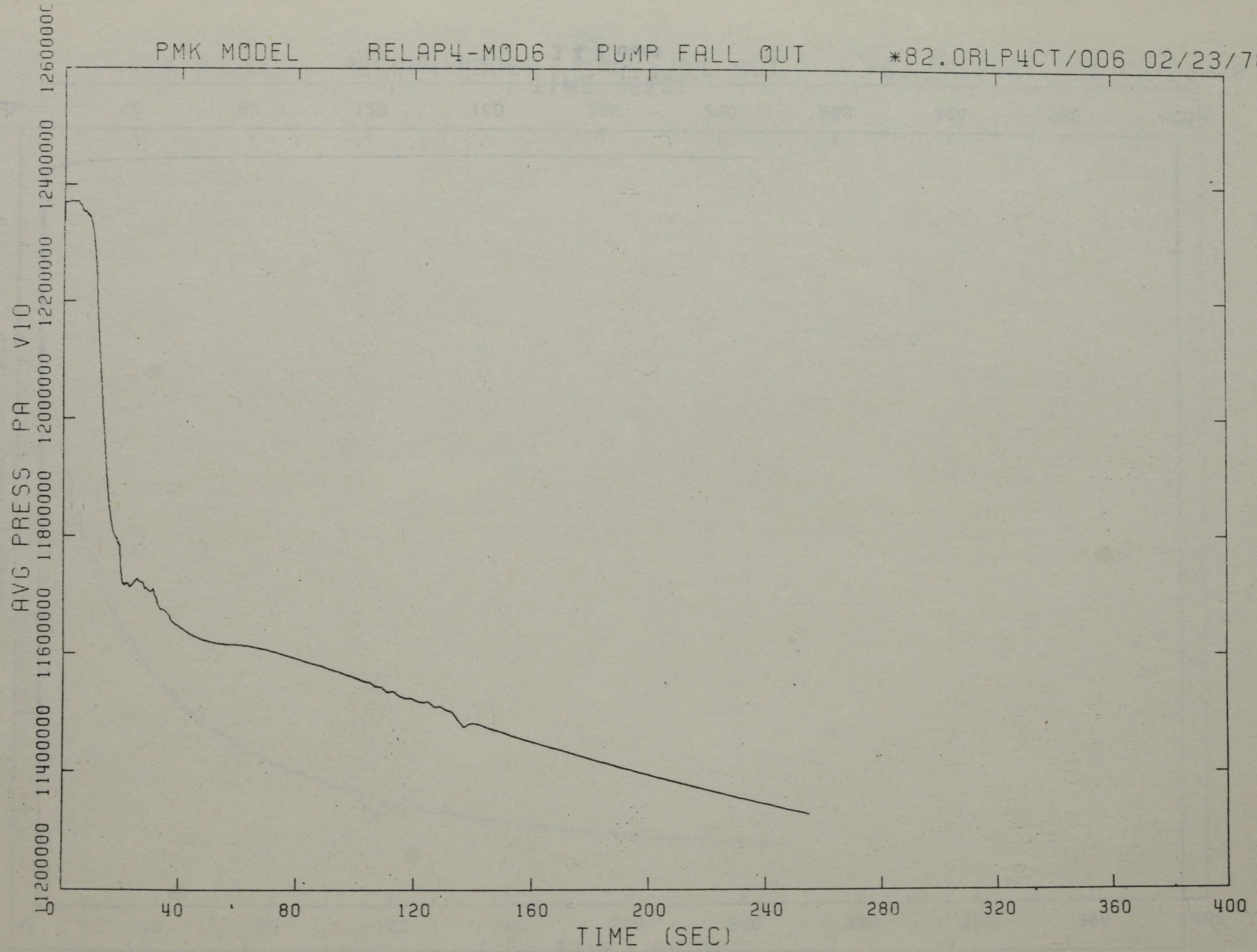
3.4.2. abra

PMK MODEL

RELAP4-MOD6

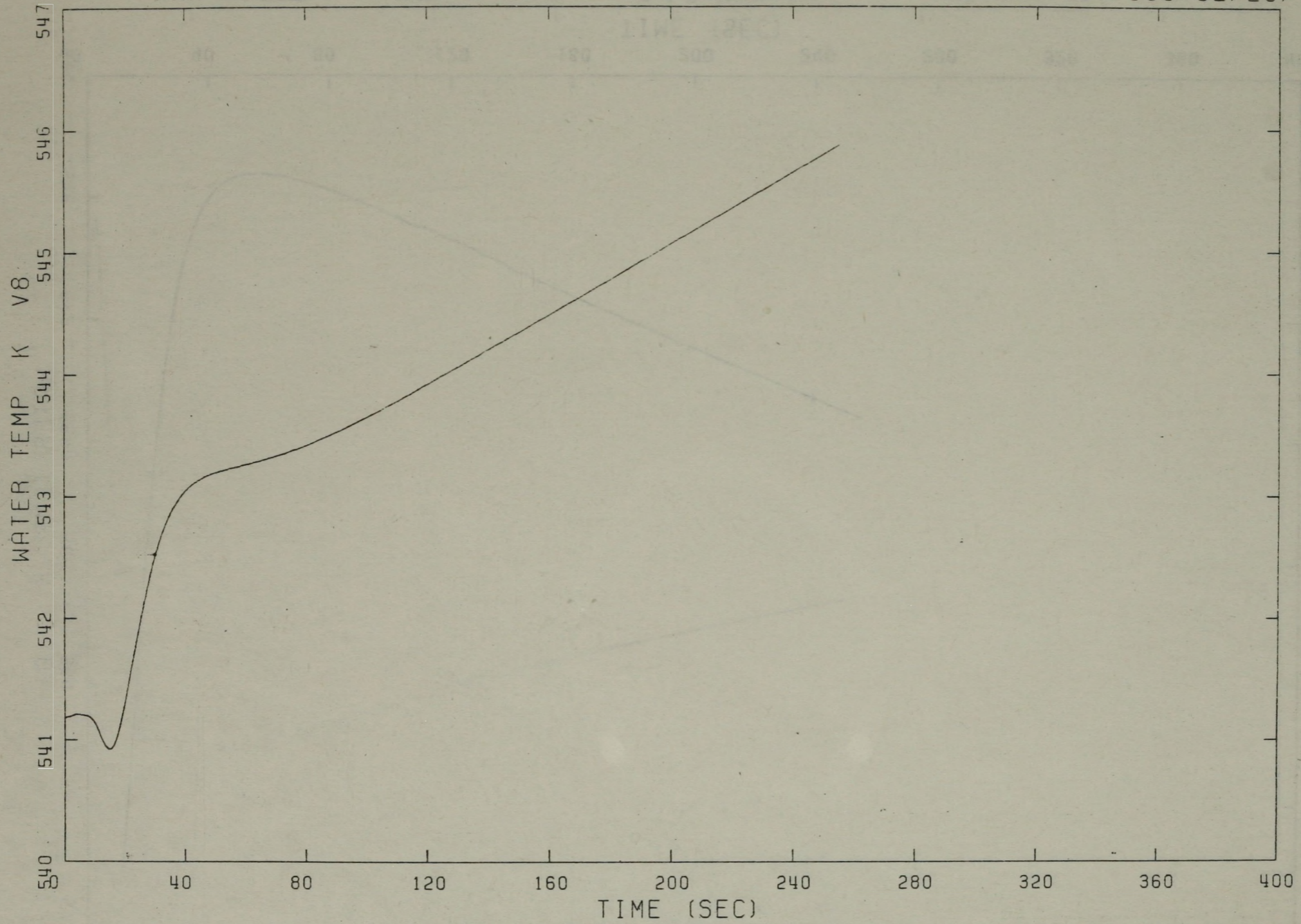
PUMP FALL OUT

*82.ORLP4CT/006 02/23/78 09/2

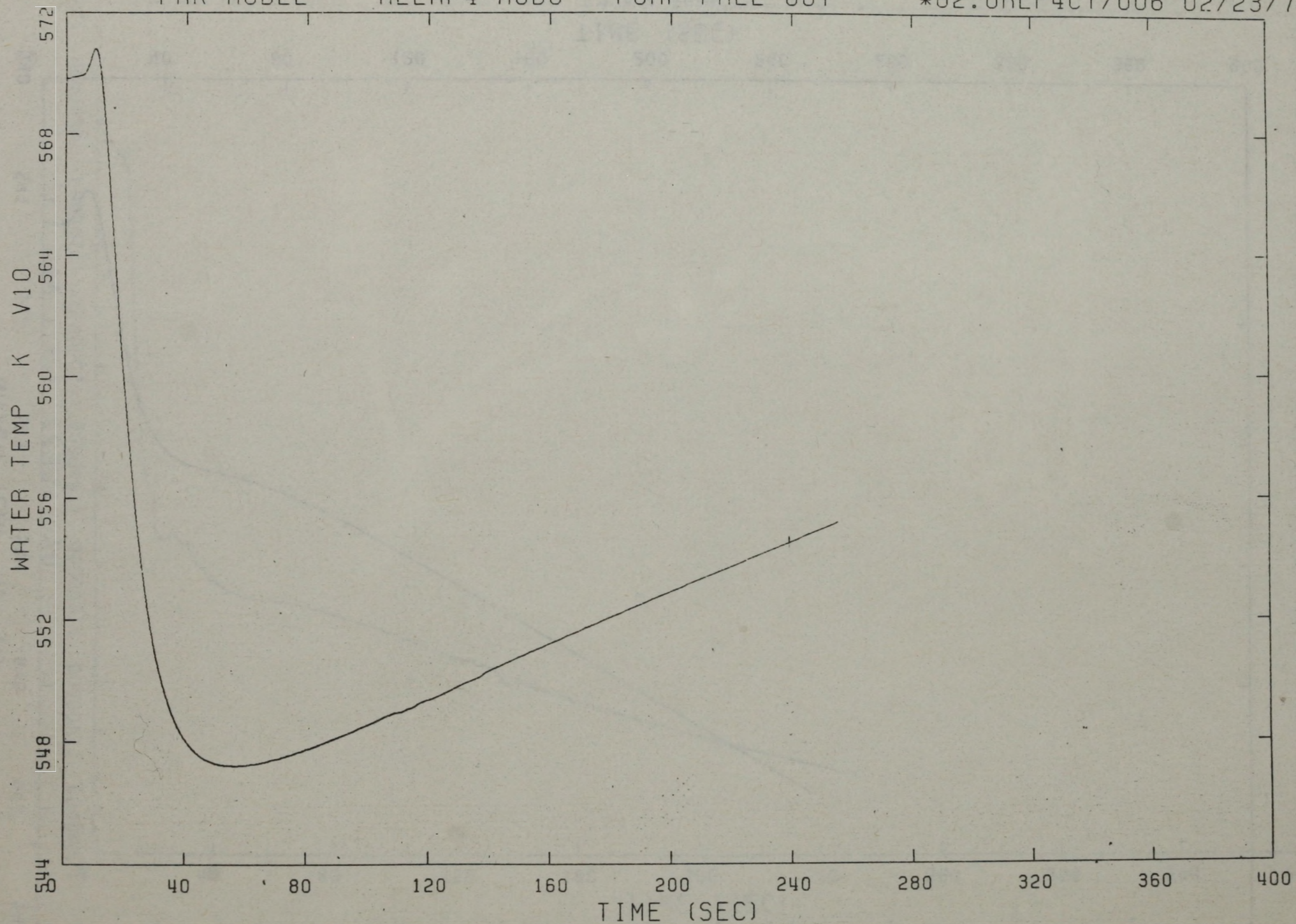


TIME (SEC)

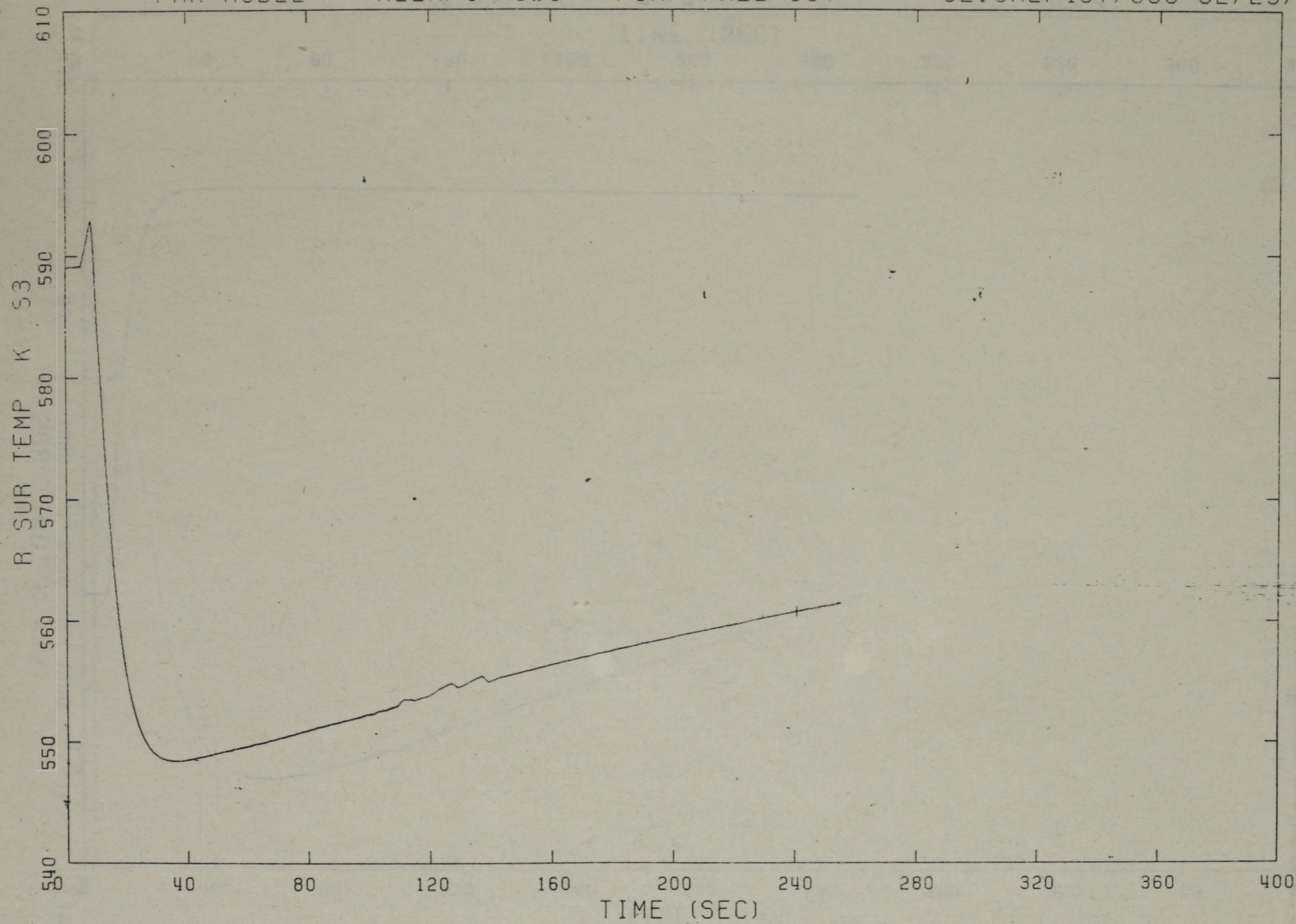
3.4.3. ábra



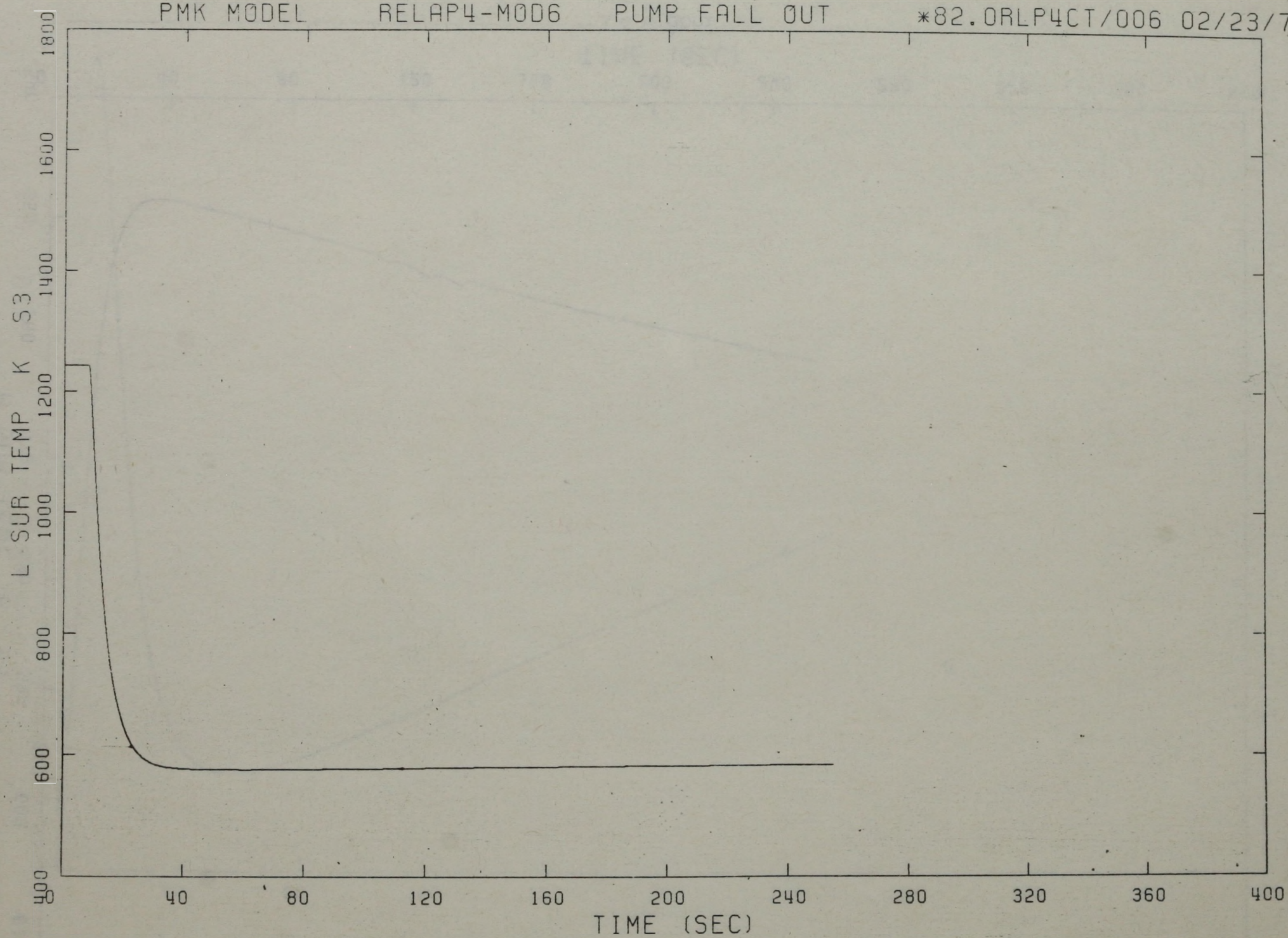
3.4.4. ábra



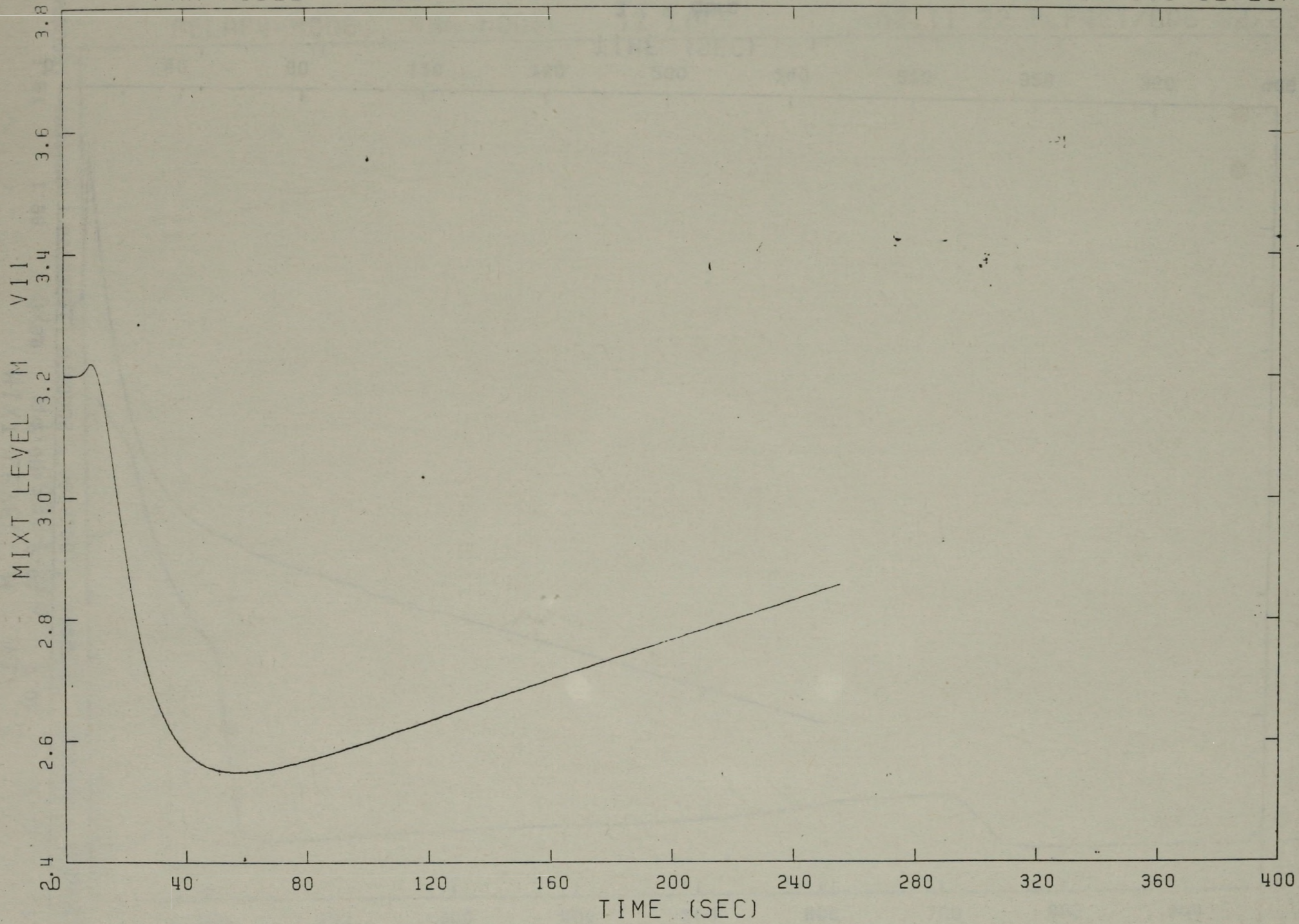
3.4.5. abra



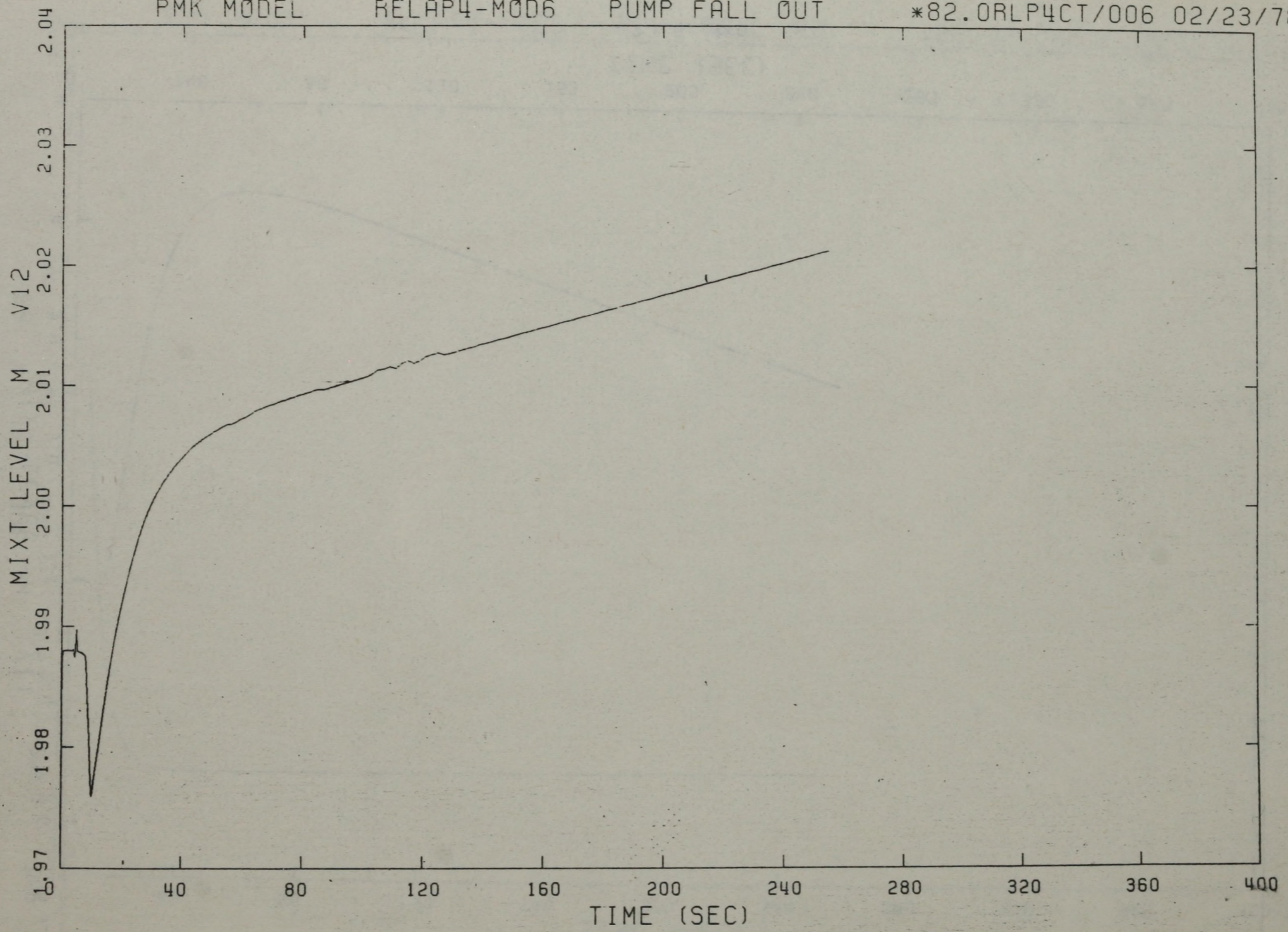
3.4.6. ábra



3.4.7. ábra

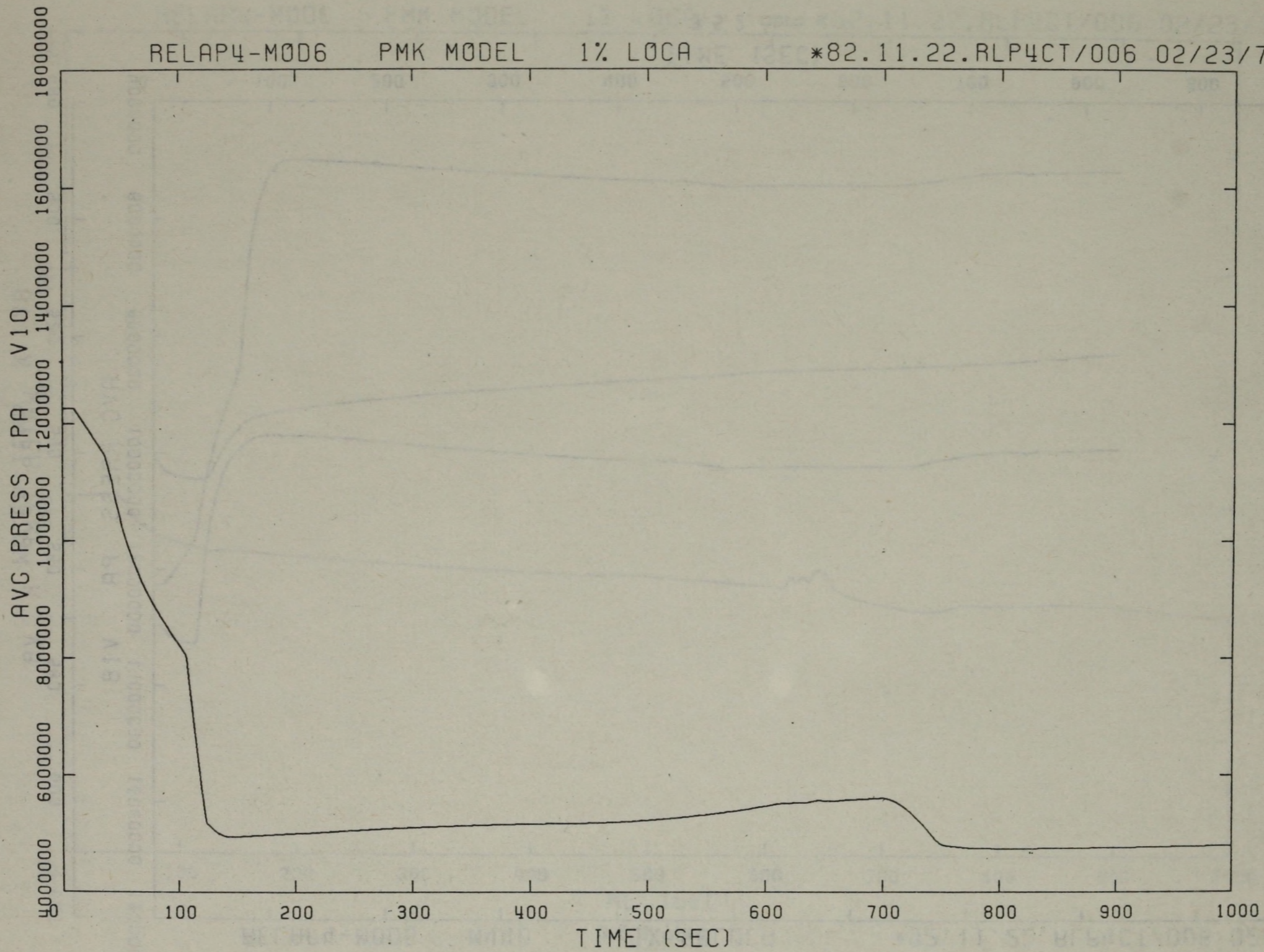


3.4.8. ábra



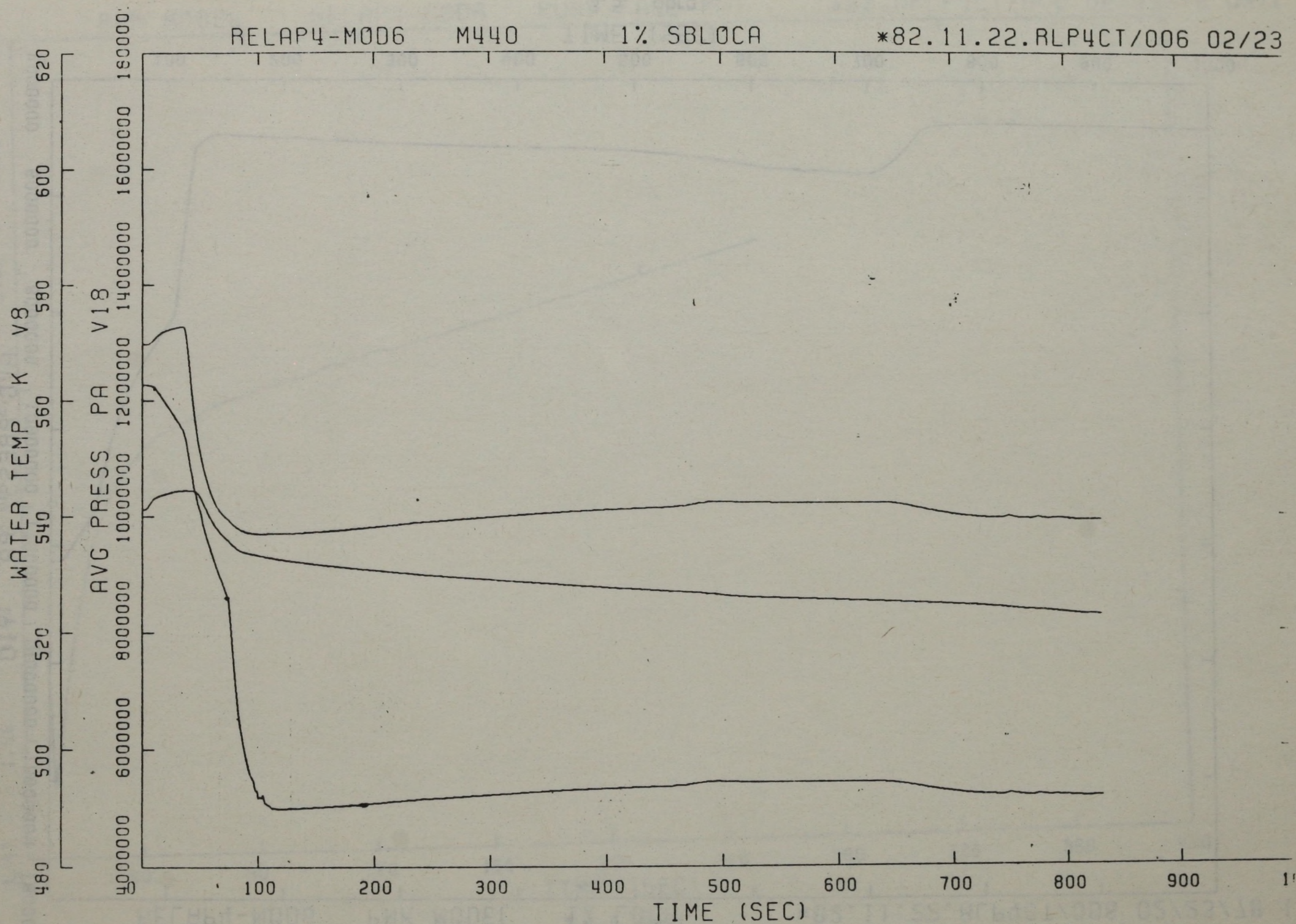
TIME (SEC)

3.4.9. ábra



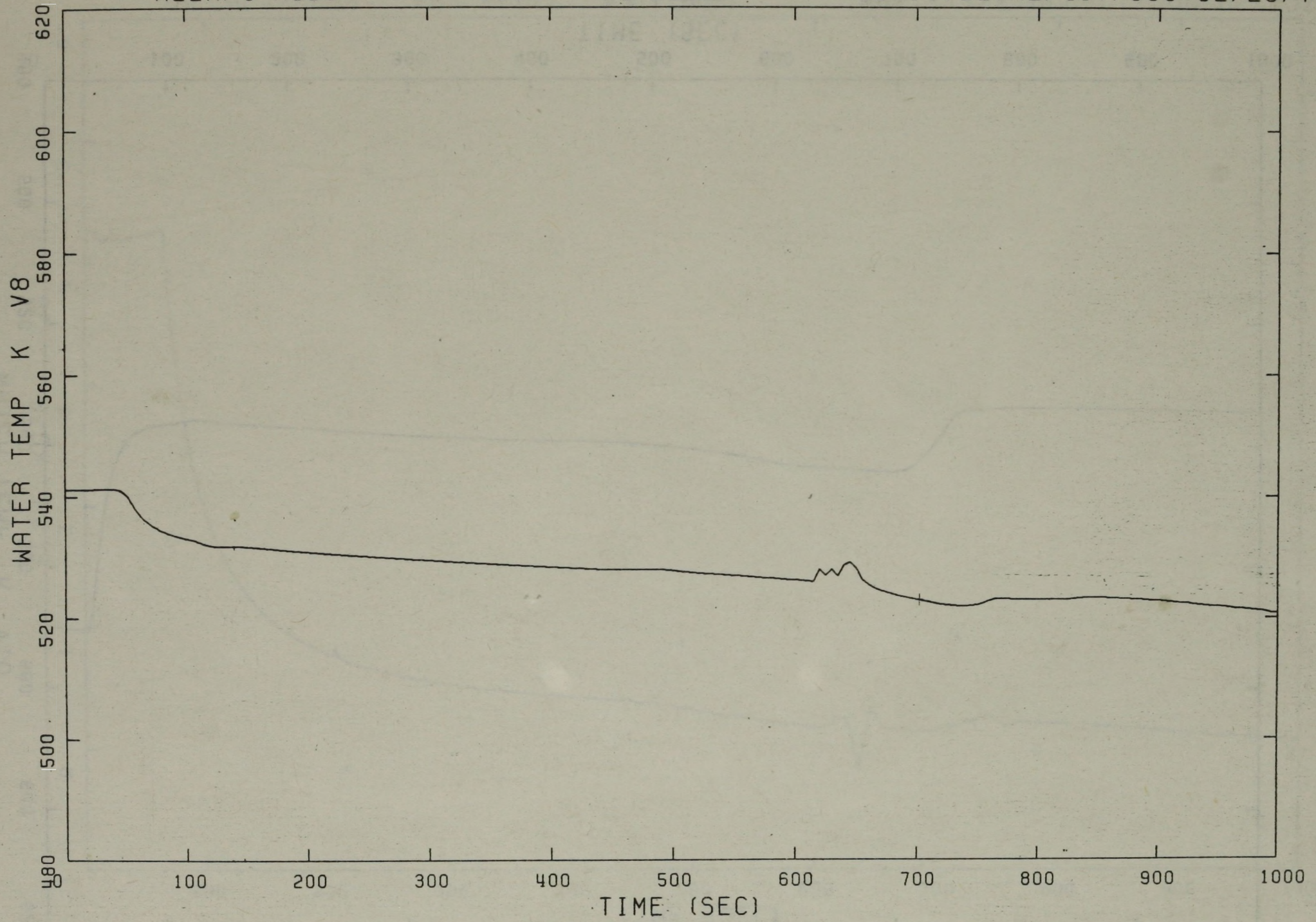
TIME (SEC)

3.5.1. ábra

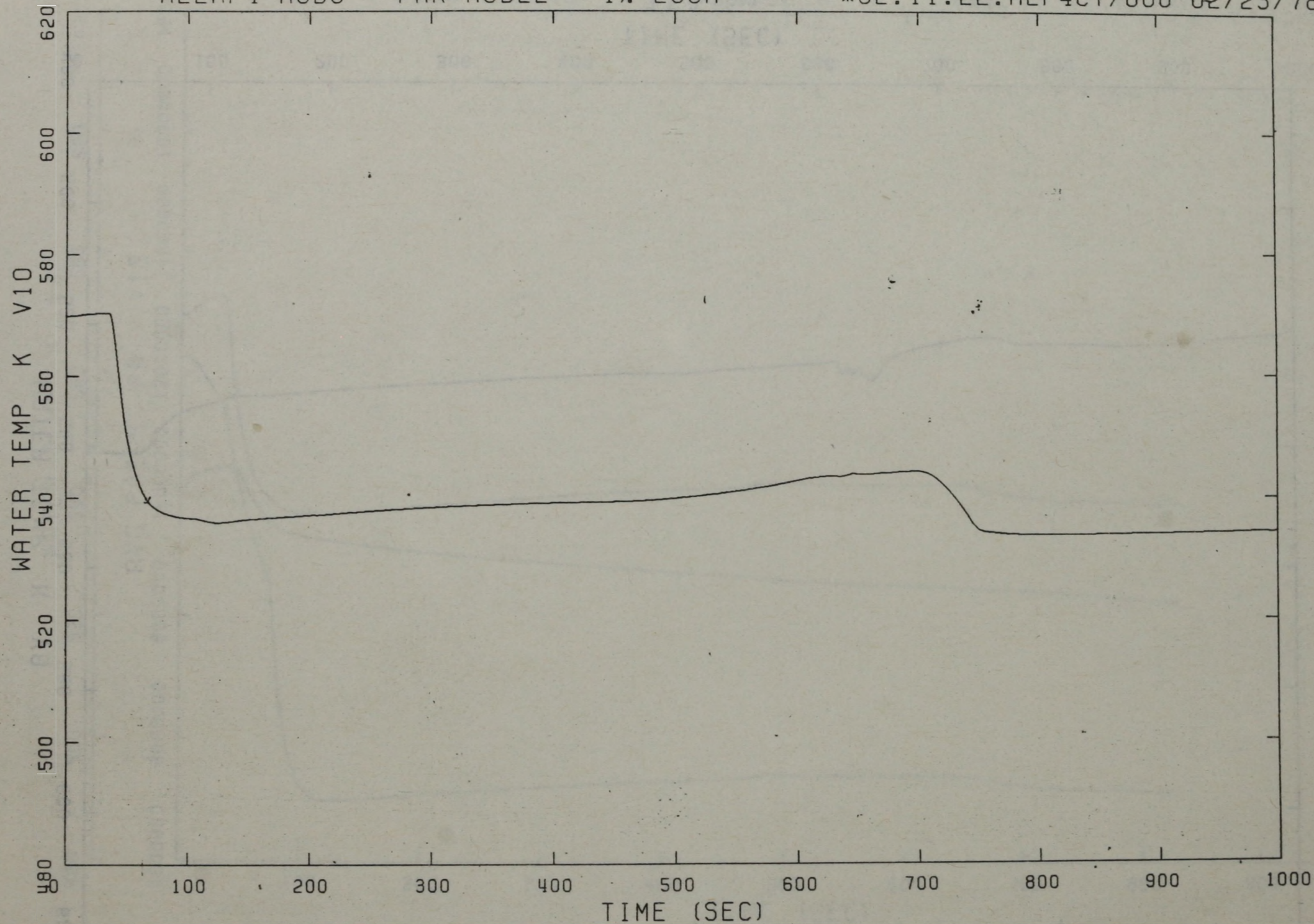


TIME (SEC)

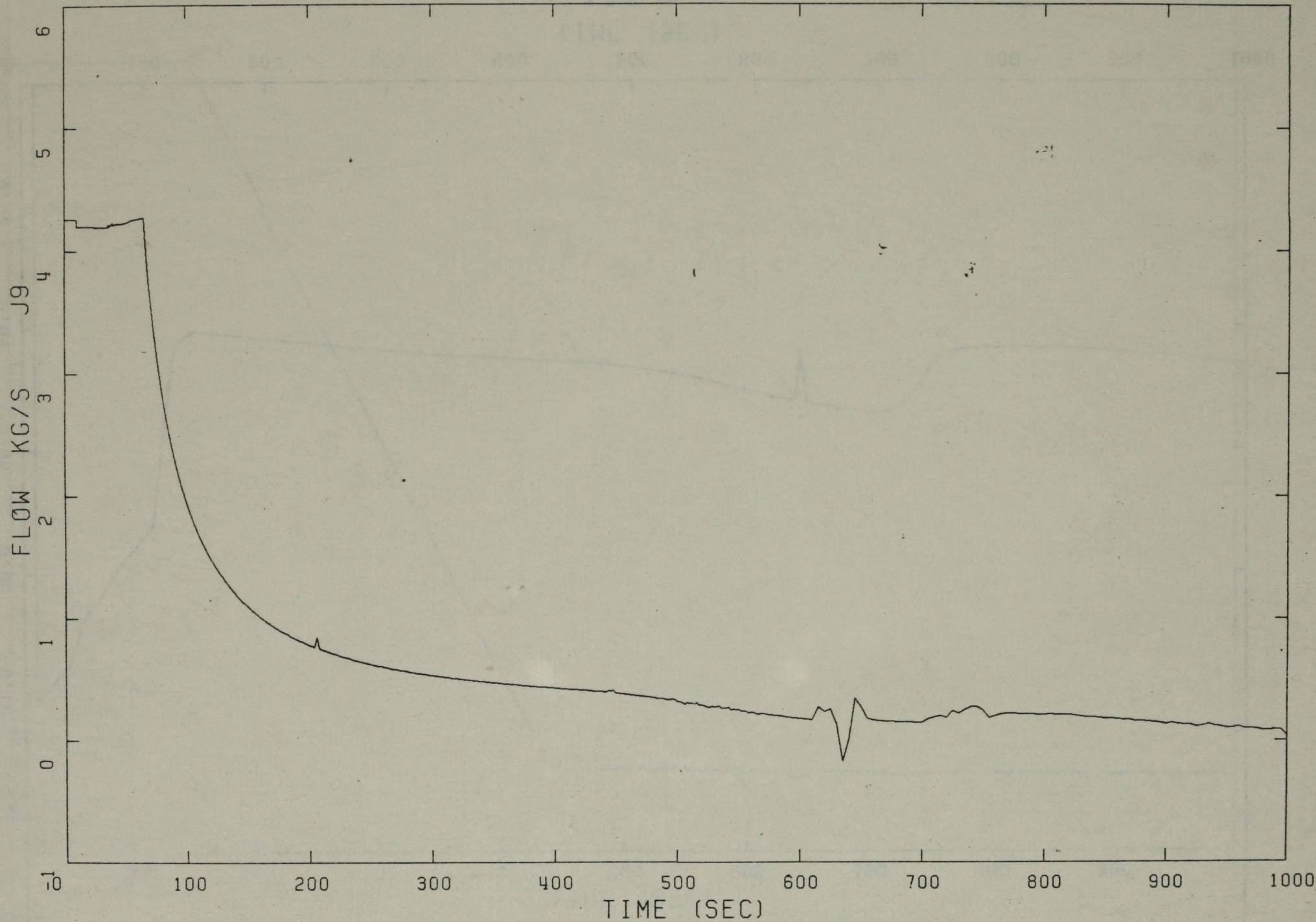
3.5.2. ábra



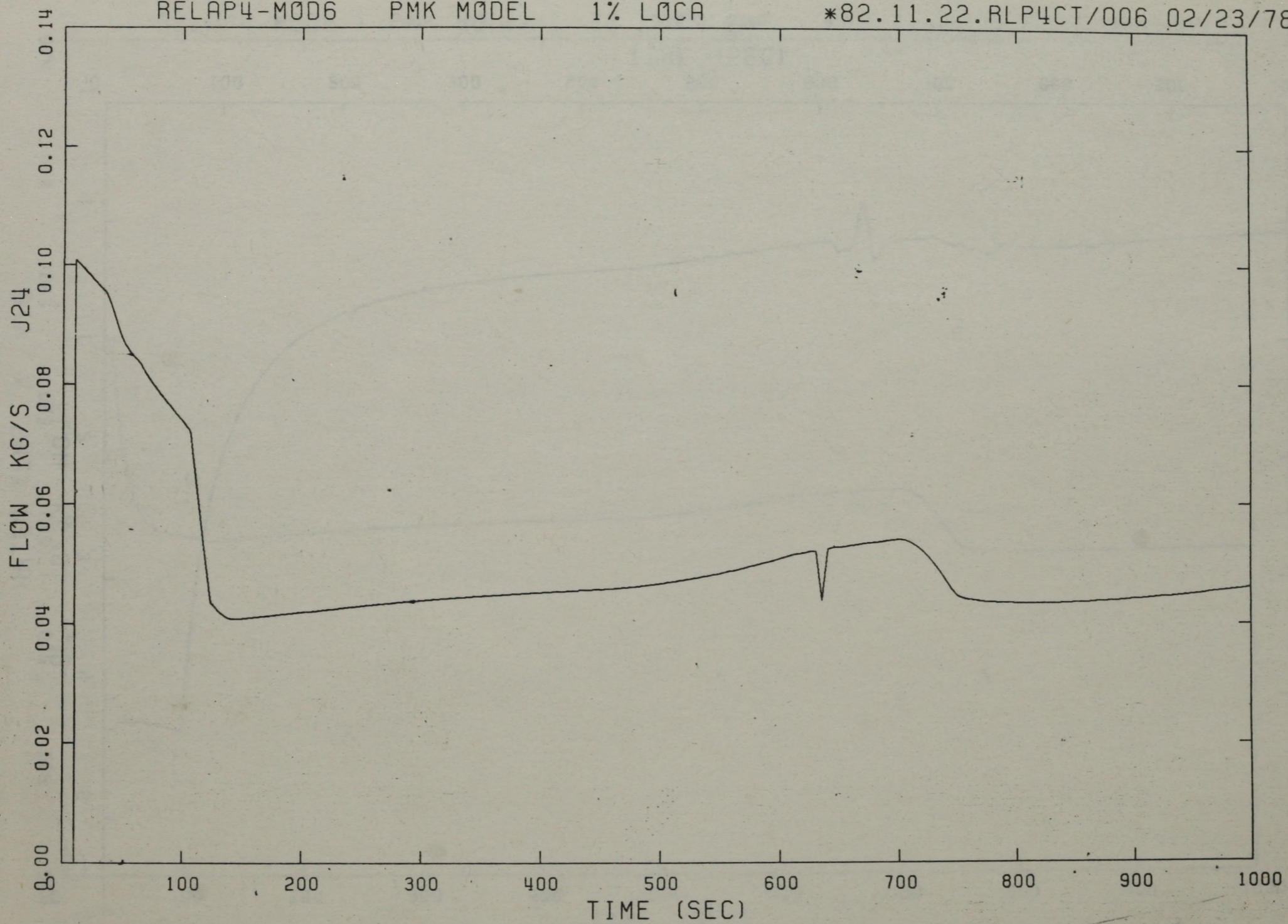
3.5.3. ábra



3.5.4. ábra

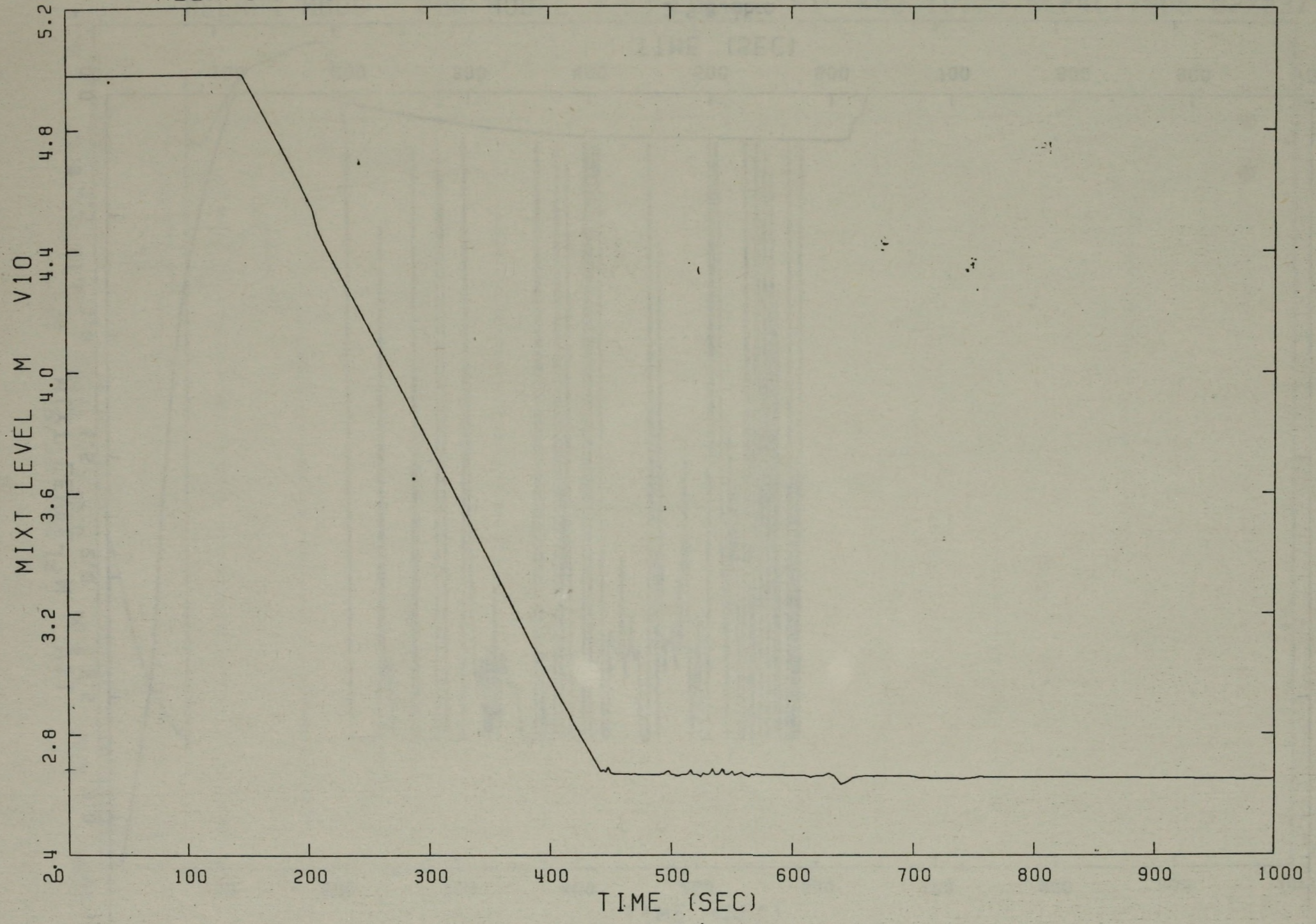


3.5.5. ábra

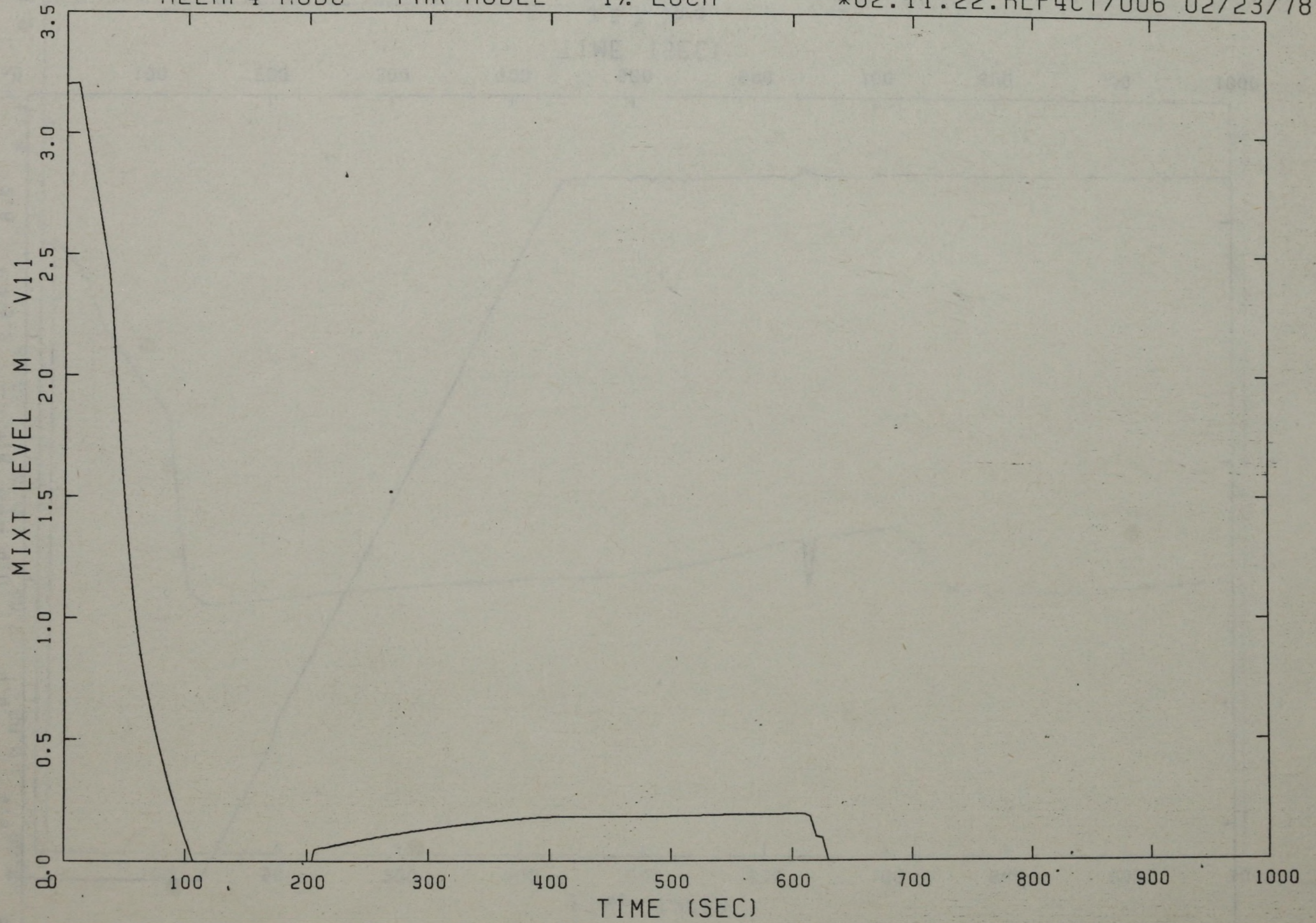


TIME (SEC)

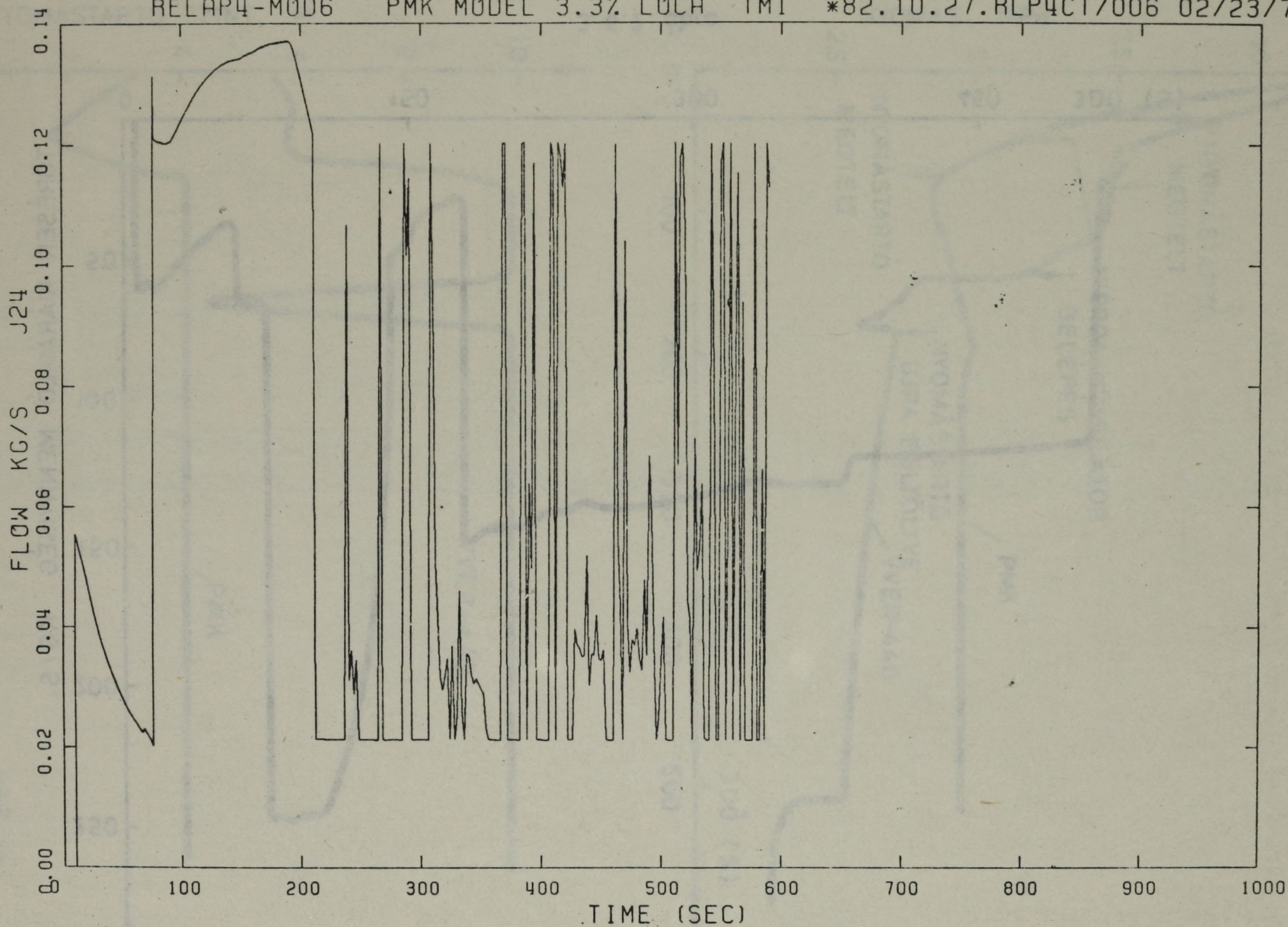
3.5.6. ábra



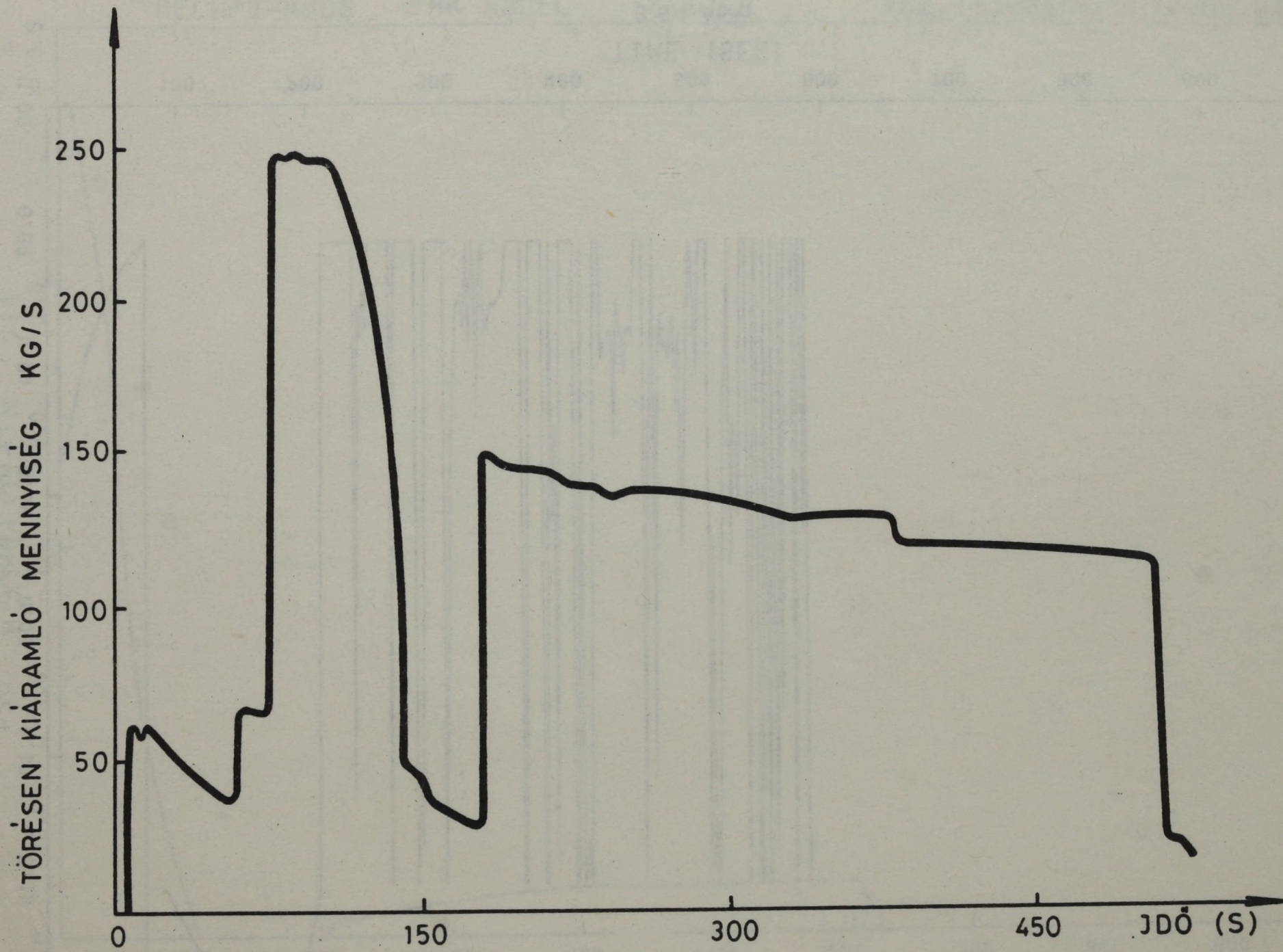
3.5.7. abra



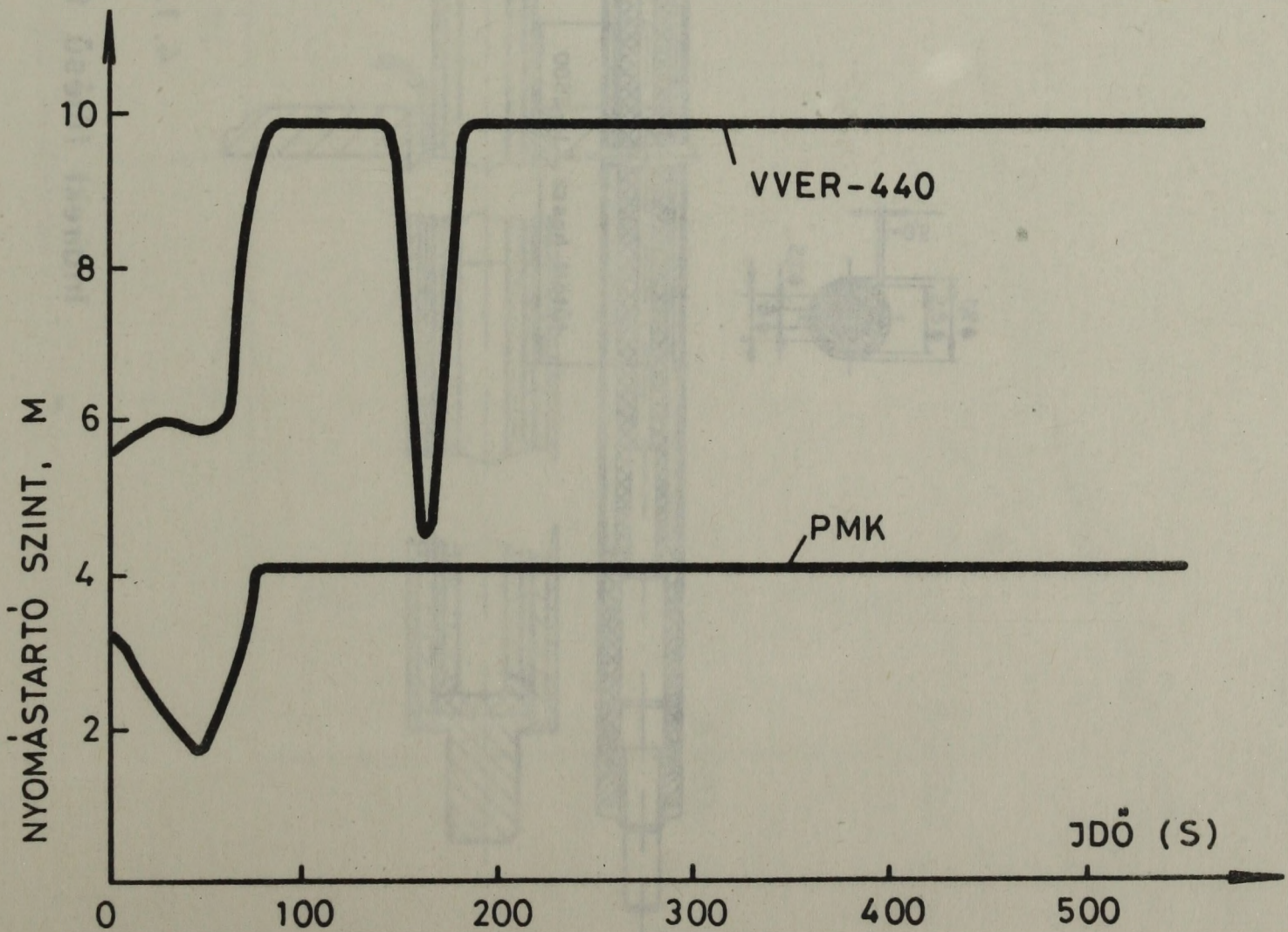
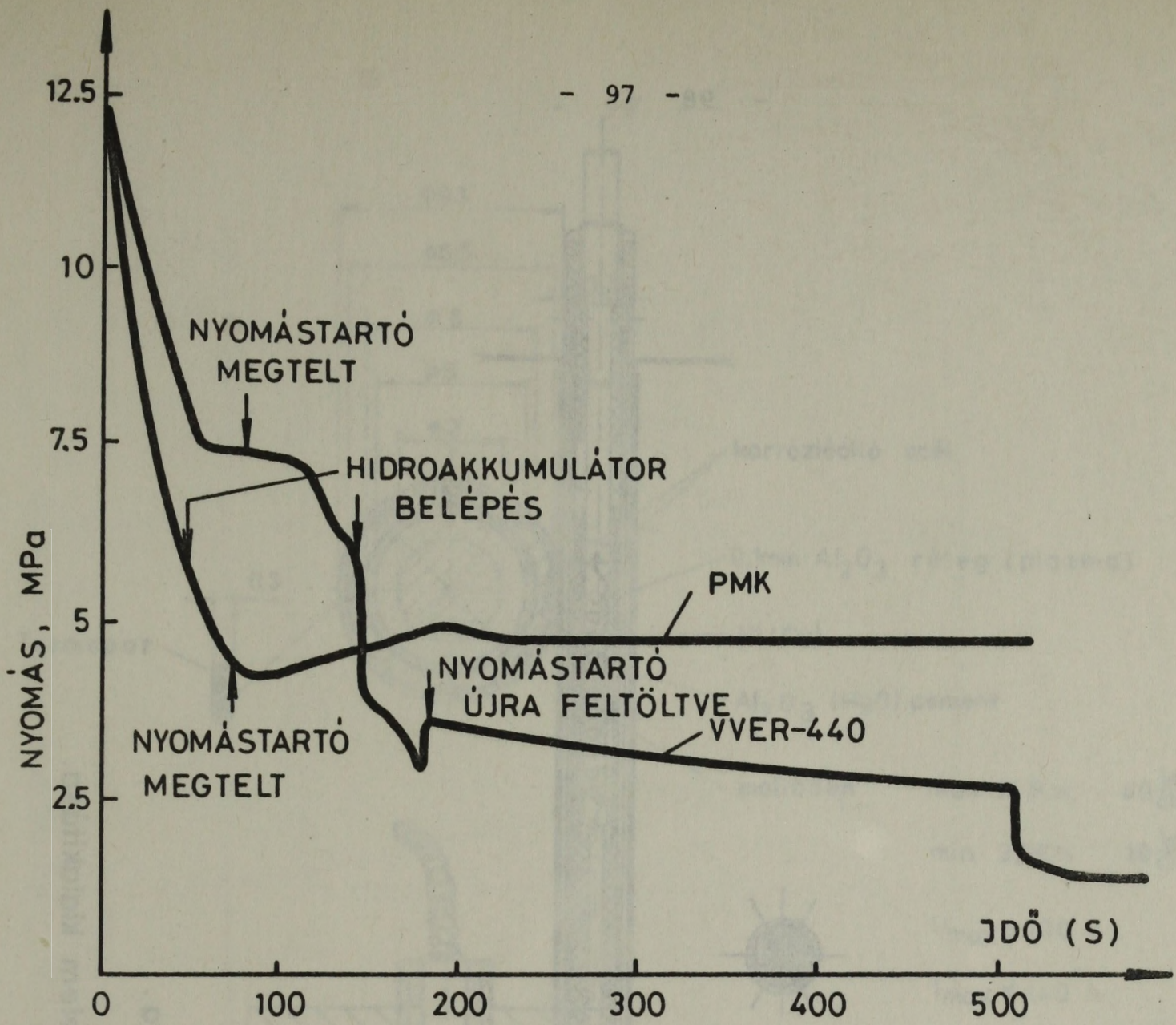
3.5.8. ábra



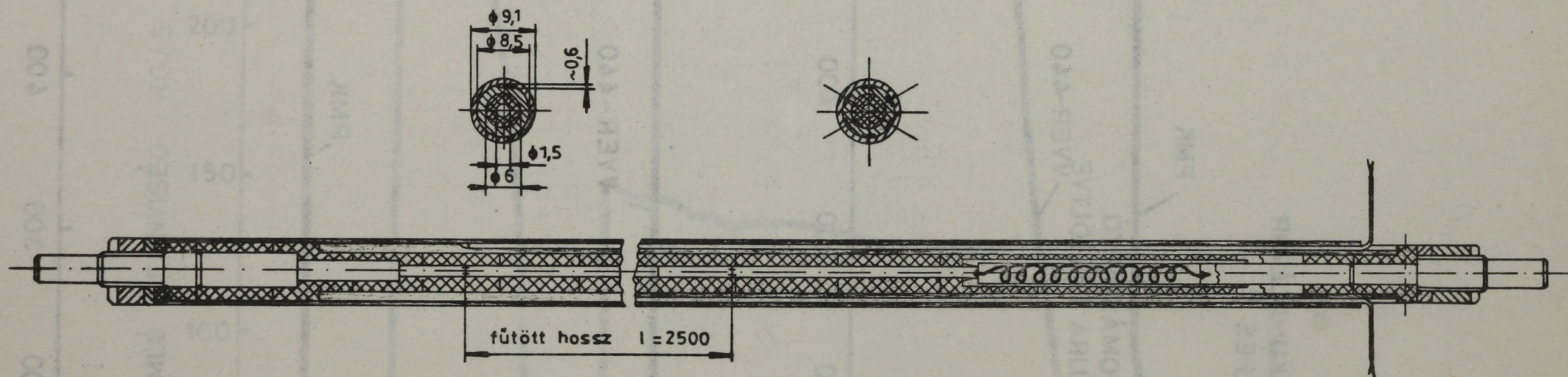
3.6.1. abra



3. 6.2. ábra

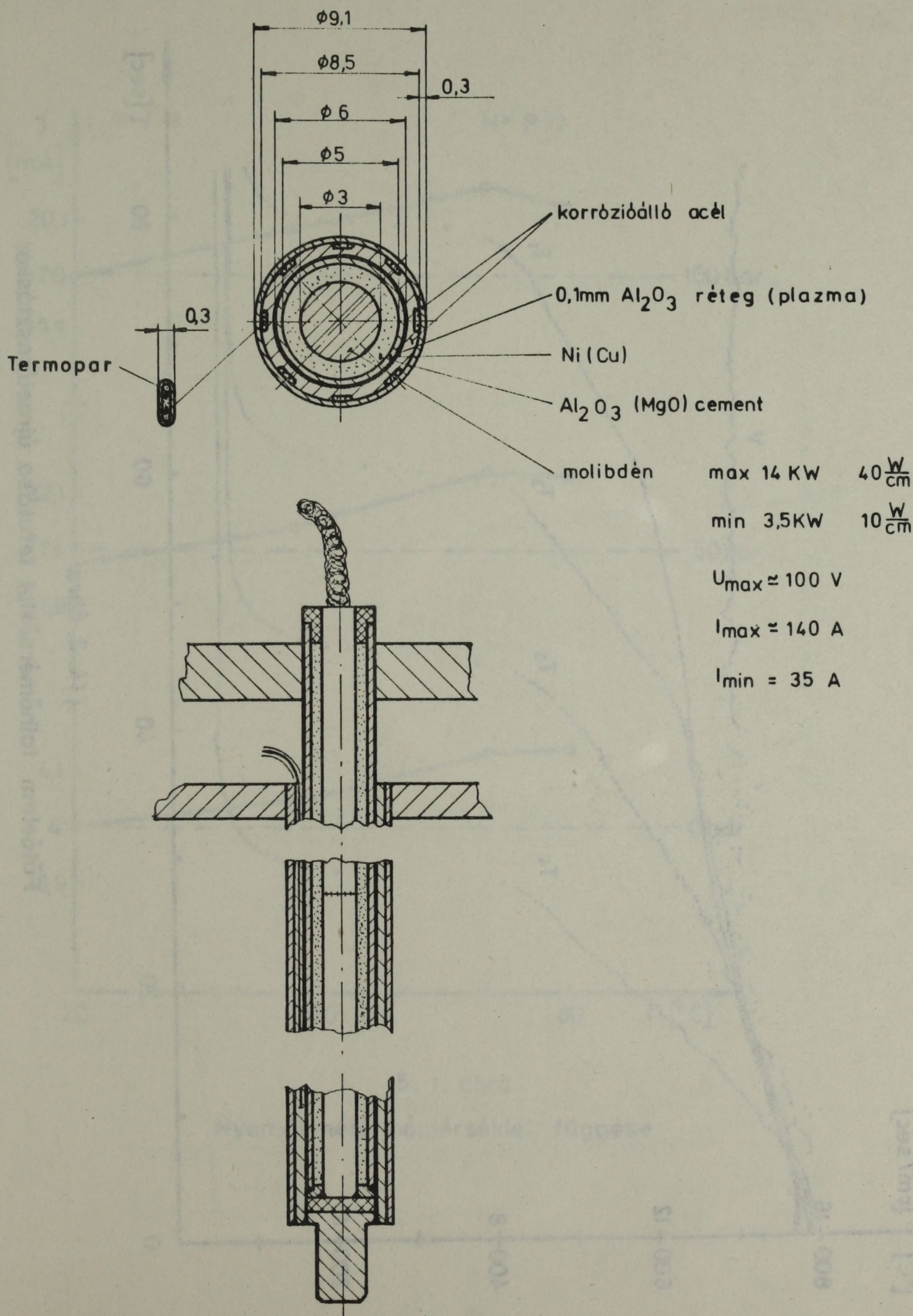


3. 6. 3. ábra.

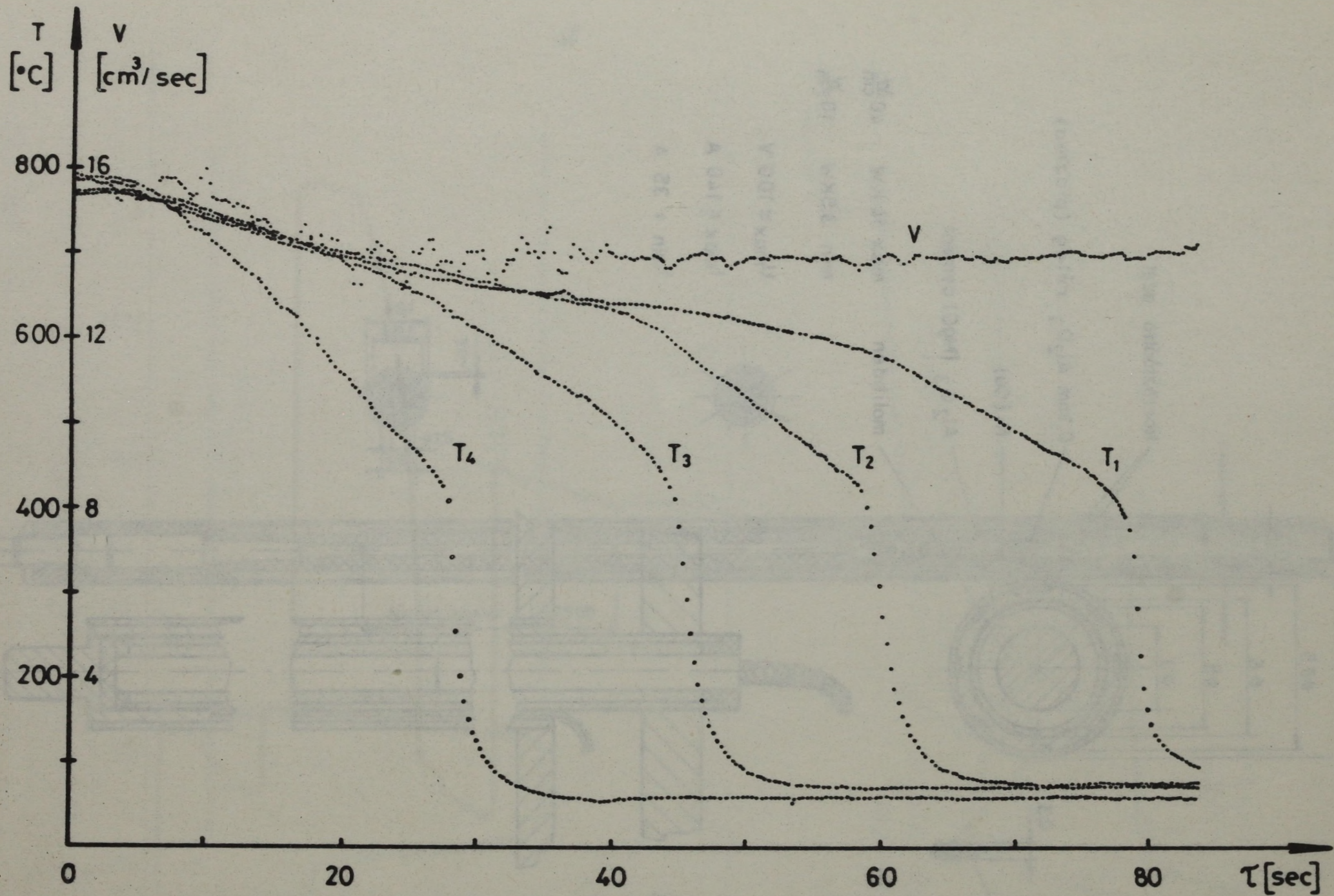


4. 1. ábra.

Indirekt fűtésű fűtőelem kialakítása.

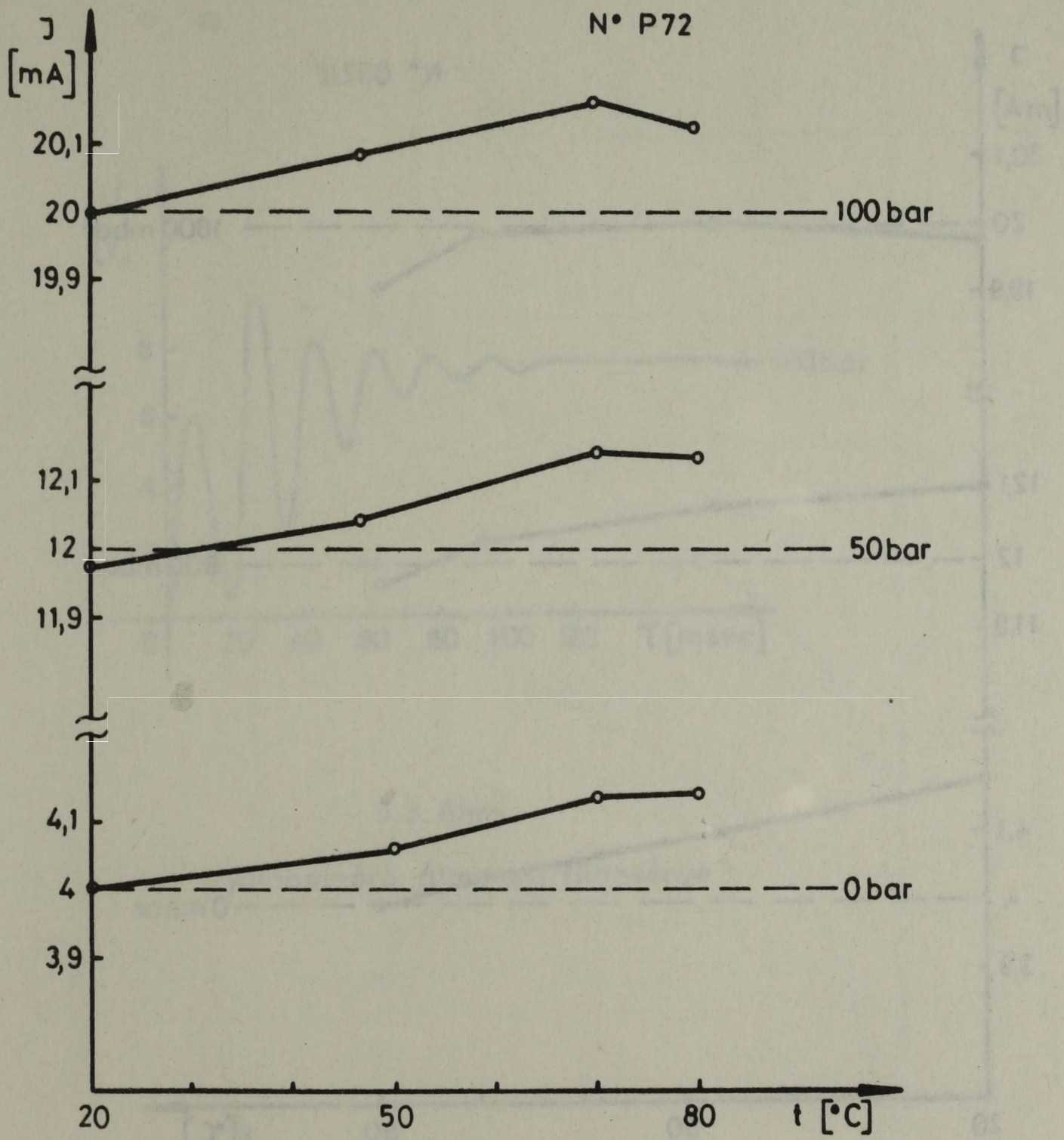


4. 2. ábra.
Indirekt fűtésű fűtőelem kialakítása.



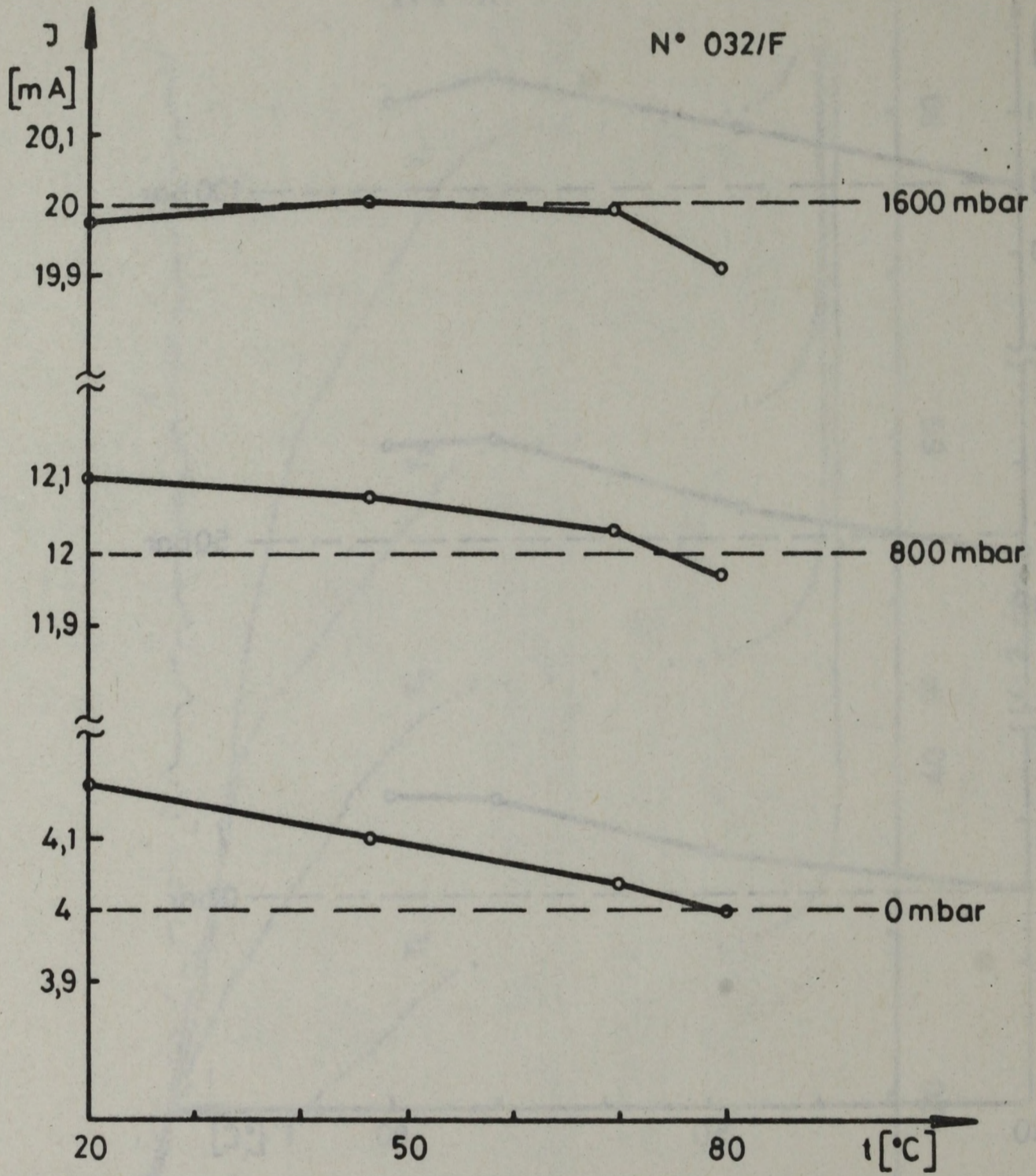
4. 3. ábra

Fűtőelem falhőmérséklet lefutása újraelárasztáskor



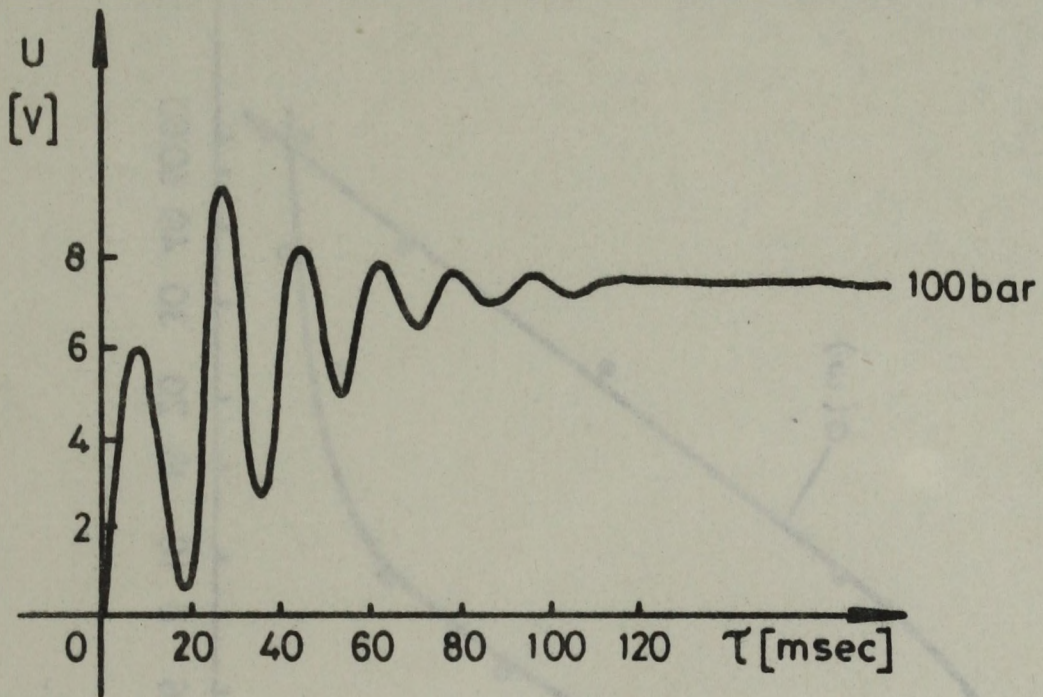
5. 1. ábra .

Nyomásmérő hőmérséklet függése

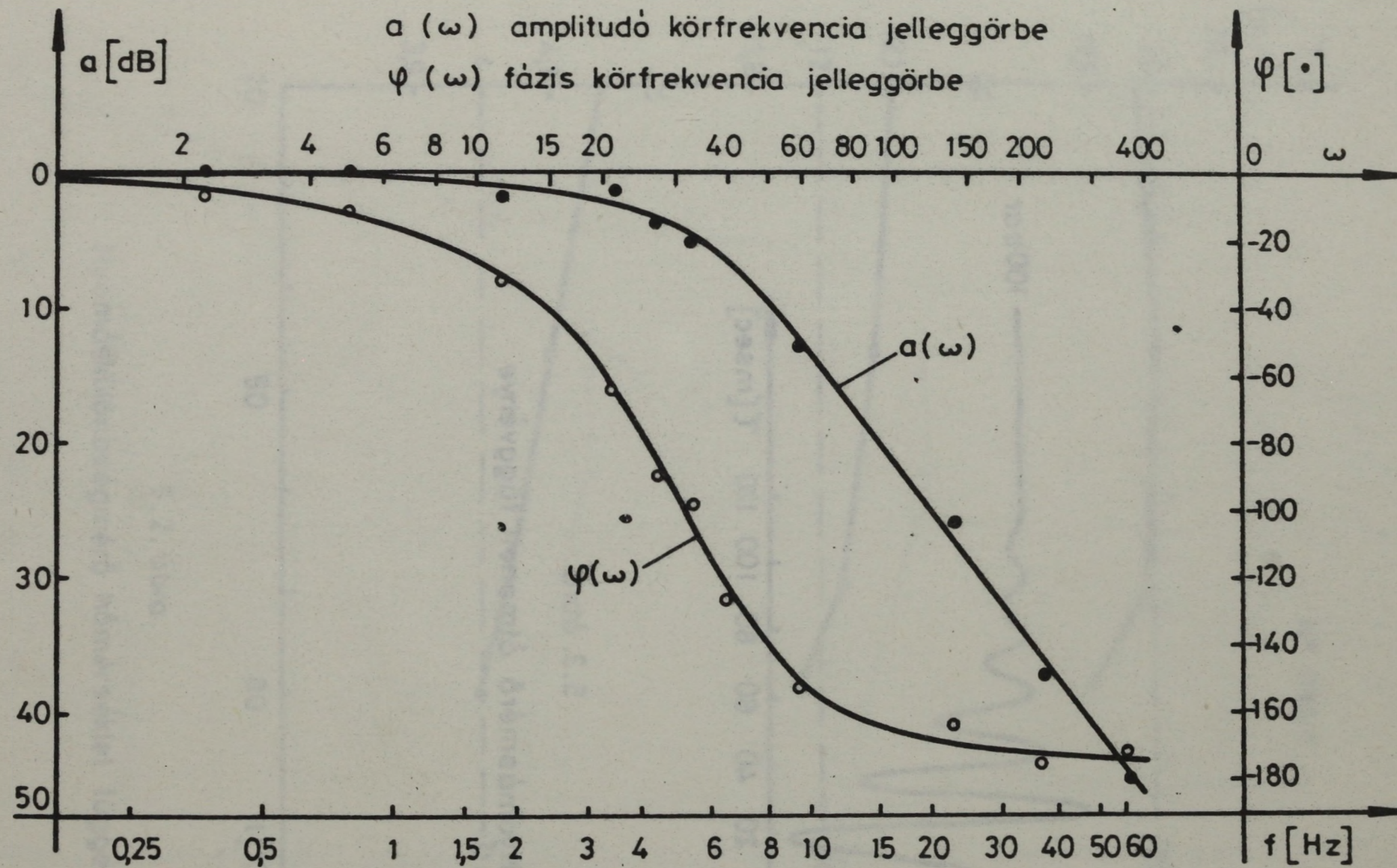


5.2. ábra.

Nyomáskülönbségmérő hőmérséklet függése



5.3. ábra.
Nyomásmérő átmeneti függvénye



5. 4. ábra.

Nyomáskülönbőség távadó Bode-diagramjai.

63.345

Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán
Szakmai lektor: Vigassy József
Példányszám: 52 Törzsszám: 83-103
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Felelős vezető: Nagy Károly
Budapest, 1983. február hó

