

TK 156.451

KFKI-1982-11



ÉZSÖL GY.  
MARÓTI L.  
PERNECZKY L.  
SZABADOS L.  
TÓTH I.  
TROSZTEL I.  
VÉRTES P.  
VIGASSY J.

BALESETHEZ VEZETŐ ÜZEMZAVARI ÁLLAPOTOK  
VIZSGÁLATA A PAKSI ATOMERŐMŰ  
BALESETELHÁRÍTÁSI INTÉZKEDÉSI TERVÉNEK  
(BEIT) ELKÉSZÍTÉSÉHEZ

*Hungarian Academy of Sciences*

CENTRAL  
RESEARCH  
INSTITUTE FOR  
PHYSICS

BUDAPEST



BALESETHEZ VEZETŐ ÜZEMZAVARI ÁLLAPOTOK  
VIZSGÁLATA A PAKSI ATOMERŐMŰ  
BALESETELHÁRÍTÁSI INTÉZKEDÉSI TERVÉNEK  
(BEIT) ELKÉSZÍTÉSÉHEZ

Ézsöl Gy., Maróti L., Perneczky L., Szabados L.,  
Tóth I., Trosztel I., Vértes P., Vigassy J.

Központi Fizikai Kutató Intézet  
1525 Budapest 114, Pf. 49

## KIVONAT

A tanulmány összegzi a BEIT kidolgozása céljából a KFKI AEKI Termohidraulikai és Reaktorfizikai Osztályain végzett azon vizsgálatokat, amelyek a Paksi Atomerőmű három hipotetikus baleseti helyzetében a primerkörből kikerülő aktivitások meghatározására irányultak. Áttekintést ad az alkalmazott számítási modellekről, kiindulási feltételekről, analizálja az egyes baleseti helyzeteket, és közli a számítások legfontosabb eredményeit.

## Bevezetés

A Paksi Atomerőmű üzembe helyezése magával hozza, hogy országos intézkedési terv kidolgozására van szükség balesetet, kifejlődött esetben zónaolvadást eredményező üzemzavar esetére. A Balesetelhárítási Intézkedési Terv /BEIT/ kidolgozásának elősegítésére megvizsgáltuk néhány, zónaolvadásra vezető hipotetikus üzemzavar időbeli lefolyását a KFKI AEKI Termohidraulikai és Reaktorfizikai Osztályán rendelkezésre álló számítógépi programok segítségével. A kódok a folyamatok követését a hermetikus tér határáig tették lehetővé.

A vizsgált, igen kis valószínűséggel bekövetkező üzemzavarok a következők voltak:

- a/ villamosenergia betáplálás megszűnésével együtt fellépő szabályozó kazetta kivetődés azzal a súlyosbíttással, hogy a reaktor biztonságvédelmi rendszere sem működik;
- b/ villamosenergia betáplálás megszűnésével egyidejűleg bekövetkező közepes méretű primer körű csővezeték törése;
- c/ végül kisméretű primer körű csővezeték törése hasonlóképpen a villamosenergia betáplálás egyidejű kimaradásával.

A számítások azzal járulnak hozzá az intézkedési tervek kidolgozásához, hogy lehetővé teszik - a hűtőközeg elvesztését, az üzemanyag burkolatok felhasadását, majd a zóna olvadását kísérő - aktivitás-kikerülés sebességének becslését, valamint tájékoztató értékeket szolgáltatnak az üzemzavari folyamatok során az intézkedések megtételére rendelkezésre álló idő vonatkozásában.

A vizsgálatok eredményei egyben felhívják a figyelmet azon folyamat paraméterekre, amelyek rendellenes változása előre jelzése lehet a balesethez vezető állapotok bekövetkezését illetően.

## 1. Alkalmazott számítási modellek

Mindhárom üzemzavari tranziens kezdeti igen dinamikus szakaszának számítására a nemzetközileg legjobban elterjedt reaktorbiztonsági programot, a RELAP4 kódot alkalmaztuk. Az 1.1 ábra szerint alakítottuk ki a primerkör modelljét, amelyben az aktív zóna egy "VOLUME"-mal és egy "HEAT SLAB"-bal szerepel, ezek a hűtőközeg és az üzemanyagrud átlagos paramétereit szolgáltatják. A primerkört összesen 10 térfogat reprezentálja, míg a további 6 térfogat a hidroakkumulátorokat és a hermetikus teret modellezi.

Mivel a RELAP4 -ben a buborékoltató kondenzátor közvetlen modellezésére nincs mód, a 16. sorszámú fiktív térfogattal és a C6 jelű szeleppel lehet a lokalizáló rendszerben, illetve a helyiségek falán fellépő kondenzáció nyomáscsökkenő hatását szimulálni.

A folyamatokat az első 15-20 sec. során egy kiegészítő forró csatorna modellel is vizsgáltuk, amelynél a zóna 10 axiális részre van felosztva. /Lásd 1.2 ábra./ Az alsó és felső keverőtér /11. és 12. térfogat/ határfeltételként szerepel. A tranziens vizsgálat során a primerköri analiziskor nyert u.n. "plotrestart" mágnesszalagról olvastuk be a 9. illetve 2. térfogat aktuális paramétereit. Az üzemanyagrudak hőmérsékleteloszlásának, mint kombinált hővezetési és hőátadási feladat eredményének meghatározására a térfogathoz csatolt 10 "heat slab" szolgált.

A szabályozó kazettacsoport kivételése üzemzavarnál felhasználtuk a RELAP4 kódba beépített neutron-kinetikai modellt is, amely egy "CORE SLAB" alkalmazásával pontmodellként szerepel, ennek ellenére az eredmények jó egyezést adtak a LINCUP egydimenziós modelljének eredményével. Ennél az üzemzavari vizsgálatnál a hidroakkumulátorok nem szerepeltek a számítási sémában. A RELAP4 futtatásainál a szekunder kör csak határfeltételként, a gőzfejlesztőben elvont hőteljesítménnyel szerepelt.

A szabályozó kazettacsoport kivételése üzemzavari állapotban a folyamatot a kezdeti néhány másodpercben - pontosabb számítások elvégzése érdekében - a LINCUP programmal elemeztük, amely axiálisan egydimenziós kapcsolt neutronkinetikai-termohidraulikai kód. A hűtőcsatorna modell egy átlagos csatorna üzemének leírását adja. A hűtőcsatornában telítéshez közeli állapotú víz-gőz keverék áramlik időben változó módon a reaktor bemeneti keresztmetszetén megadott peremfeltételeknek és a reaktor üzemének megfelelően. A fűtőelem hőmérsékletek számításához a reális geometriát és az üzemi feltételeket vettük figyelembe. A neutronkinetikai modell axiális egydimenziós kétcsoport diffúziós egyenleteken alapszik.

A zónakiszáradást követően a fűtőelem hőmérséklet számítására a BIOT kódot használtuk. A BIOT egy háromdimenziós időfüggő hővezetési kód, amely határfeltételként a hűtőközeg állapotát veszi figyelembe. A feladatot három axiális osztásban oldottuk meg, a teljesítmény axiális eloszlásának megfelelően, azaz három karakterisztikus keresztmetszetben.

A nemzetközi tapasztalatok és gyakorlat alapján az egyes üzemzavari tranziensek lezajlása utáni, hosszú idejű változások leírására nem a lassu futási idejű, nagyméretű számítógépi kódokat használjuk. A lassu változások esetén ugyanis az egyes állapotjelzők idő szerinti deriváltjai majdnem zérust adnak, ezért lehetséges a kvázistacioner tárgyalási mód.

Ezzel az eljárással számítottuk a primer kör leürítését, majd a kifolyással összefüggésben a hermetikus tér viselkedését, végül szekunder oldalról a gőzfejlesztő kiszáradását.

A hűtőközeg kiáramlását a primer körből úgy számítottuk, hogy a teljes kört egy tartálynak tekintve - a tartály lefuvatási problémát megoldó egyenleteket használtuk. Csatolási feltételként a kezdeti kiömlés értékére a rövid idejű leírás által /RELAP/ megadott kiömlési értéket tekintettük abban az időpontban, amikor a RELAP számítás befejeződik és áttérünk kvázistacioner számítási módra. A hőfejlődés mértékét a maradványhő időbeli változásából számítottuk.

A tartály-lefuvatás során egyetlen fizikai megkötés, hogy a rendszert telített állapotúnak tekintettük, így a kis átmérőjű törés esetén telített gőzt, a nagyátmérőjű törés esetén a kiömlő csomák eléréséig telített vizet, majd itt is telített gőzt fuvatunk le. Ez a tárgyalási mód használható az aktív zóna eléréséig. Ettől kezdve a leürülés mértékével együtt csökken a hőforrásként szereplő térfogat /aktív zóna/ is, mivel a gőznek átadott hőtől eltekintünk.

A kiáramlott mennyiség ismeretében számíthatók a hermetikus tér állapotjelzői. A számítás során komplett hermetikus teret tekintettünk, vagyis figyelembe vettük a kondenzációs torony viztartalmát is. Egyetlen jelentős elhanyagolást tettünk: nem vettük figyelembe a szabad felületeken történő lekondenzálódást. Ezt megtehetjük, mivel így a valódi értékeknél valamivel nagyobb nyomásértékeket kaptunk, ami pesszimális becslésnek felel meg. Az állapotjelzők meghatározására a tömeg- és energia megmaradási egyenleteket használtuk, feltételezve azt, hogy a rendszer telített állapotban egyensúlyba kerül.

Végül röviden ismertetjük a gőzfejlesztő szekunder oldali leürülésének számítását. Ebben az esetben a kiáramlott

mennyiséget abból határozhatjuk meg, hogy ismerjük a biztonsági szelep paramétereit és a rendszert mindig telített állapotnak tekintjük, valamint a lefújás és gőzfejlődés mértéke dinamikus egyensúlyban van.

A számítások eredményeit az egyes esetekre külön-külön a megfelelő fejezetekben részletesen elemezzük.

A radioaktivitások meghatározásához a TIBSO programot használtuk, melynek segítségével 123 hasadási termék megfelelő értékei állíthatók elő. Kiinduló állapotként egy 10 hónapos névleges teljesítménnyel vett kampány szolgált. Ezt az állapotot a reaktorban lévő össz-aktivitás és a primerkörüli aktivitás jellemzi. Ez utóbbi a Műszaki Terv szerint megengedett mértékben gáztömörtelen és defektálódott fűtőelemekből kiszabadult aktivitás következménye. A programban a csőtörés modellje a következő: a töréskor a primervíz  $\lambda$  időállandóval a hermetikus térbe folyik, majd egy bizonyos idő múlva újabb fűtőelemek válnak gáztömörtelenné, illetve defektálódnak. Teljes aktivitás-tartalmuk a primerkörbe kerül és a kifolyás mértékének megfelelően jut a többletaktivitás a hermetikus térbe. Az eredményeket a program mind a 123 hasadási termékre táblázatosan adja meg. /1.1 és 1.2 táblázat/

## 2. Kiindulási feltételek

A feltételek a bevezetőben ismertetettek, a kiindulási adatok a Műszaki Terv megfelelő adatai. A hiányzó adatokat az ERŐTERV és PAV szakértőivel történt megbeszélések alapján vettük fel. Az egyes feladatokra vonatkozó speciális feltételezéseket az adott fejezetben tárgyaljuk.

A RELAP4 1.1 ábrán bemutatott számítási modelljéhez tartozó legfontosabb input adatokat két táblázat tartalmazza. A 2.1 táblázatban a térfogatok /VOLUME/ geometriai jellemzőit és az állandósult /névleges/ hőtechnikai paramétereit adtuk meg, míg a 2.2 táblázatban a térfogatok közötti kapcsolódások /JUNCTION/, "ablakok" hasonló adatai találhatóak. A forró csatorna vizsgálat jellemző kiinduló adatait a 2.3 táblázat foglalja össze. /Meg kell említeni, hogy az adatok nem egyetlen forró rud és csatorna, hanem ezekből egy kötegni számítására szolgálnak./

A szabályozó kazettacsoport kivetődés számításánál a következő neutronkinetikai adatokat használtuk a RELAP programban:

$$\beta/\ell = 170 \text{ sec}^{-1}$$

$$\text{többletaktivitás} = 0.7 \text{ \%$$

$$\text{reaktivitás sűrűségfüggése} = 0.268 \text{ \%/1\% változás}$$

$$\text{Doppler-hatás} = -2,8 \text{ \%/1000 } F^0$$



A forrócsatorna számítás már természetesen nem a pontkinetikai modell segítségével történt, a relatív teljesítmény értékeket adtuk meg a 3.4 ábrának megfelelően, táblázatosan.

A LINCUP kóddal végzett számítások legfontosabb input adatait a 2.4 táblázat foglalja össze.

A zónakiszaradáskor kialakuló hőmérsékletek meghatározására a BICT kódot alkalmaztuk, mégpedig átlagos, a forrókazetta átlagos és a legjobban igénybevett terhelésű üzemenyagrudakra. Feltételeztük, hogy a folyadékszint alatti rudszakaszok telítési hőmérséklet közelében vannak, az axiálisan fokozatosan szárazra kerülő részek közül három jellemző axiális osztásra végeztünk el számításokat, ezek a rudvég közelében lévő, 0.41 értékű 1.0 és a maximális 1.4 axiális egyenlőtlenességi tényezővel jellemzett helyek.

A kiindulás előbbieik szerinti adatait a 2.5 táblázat tartalmazza. A folyadékoldali határfeltételként a telített gőzhűtésnek megfelelő  $6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  hőátadási tényezőt használtuk, amikor azonban a hűtőközeg szint a zónamagasság 10% alá csökkent, a további gőzfejlődést elhanyagolva adiabatikus felhevülést számoltunk.

A TIBSO programrendszer olyan adatbázissal rendelkezik, amely biztosítja

- nukleáris és egyéb adatkönyvtárak összeállítását;
- nukleáris technológiai folyamatokat leíró differenciál egyenletek együtthatóinak meghatározását;
- az egyenletek megoldását különböző kiinduló feltételek mellett;
- izotópeloszlással való manipulációt pillanatszerű változások esetén;
- aktivitás dózis és egyéb meghatározását a számított izotópeloszlásból.

Esetünkben a TIBSO kód alkalmazásához a 2.6 táblázatban található kiinduló feltételeket használtuk fel.

### 3. Szabályozó kazettacsoport kivetődés

A szabályozó kazettacsoport hajtás reaktorfedélen való kivezetésének törése esetén fellép annak lehetősége, hogy az adott kazetta a primerkörü nyomás hatására kiveződik és helyére a végéhez kapcsolódó fűtőelemköteg húzódik be. Az így bevitt  $C,7 \text{ \textcircled{r}}$  többlet-reaktivitás által okozott rövididejű hatások vizsgálata képezte a feladat első részét, míg a második részben a primerkör hosszidejű viselkedésére kerestük a választ a következő feltételek mellett:

- a biztonságvédelmi és szabályozórendszer nem működik;
- villamosenergia betáplálás nincs.

A rövididejű folyamatok részletes vizsgálatát a LINCUP programmal végeztük, a következő feltételekkel:

- a./ a kazetta állandó sebességgel 0.2 sec alatt fut át az aktiv zónán;
- b./ a hűtőcsatorna rácspontkiosztása a 3.1 ábrának megfelelően 35 egyenlő hosszúságú szakaszt határol. A neutronikai számítások ezeken az alappontokon tulmenően reflektorban lévő rácspontokat is felhasználnak;
- c./ a belökődés kezdő időpontját követő 1.1 sec-ben következik be a teljes áramkimaradás és kb. 30 sec időállandónak megfelelően csökkenni kezd a hűtőcsatorna belépő vízforgalma. A számításokban a belépő vízhőmérséklet megváltozásával nem számoltunk.

A számítások eredményei a következőket mutatják:

- a./ A belökődés 0.2 sec időtartamán belül az aktiv zónában a teljesítmény nem egyenletesen változik és így a fluxus-alak torzul, ahogyan az a 3.5 ábrán látható.
- b./ A teljesítmény maximuma a belökődés időpontjának végéhez közel alakul ki, majd gyorsan lecseng és a kibocsátott energia sem jelentős: 3.2, 3.3 ábra.
- c./ A fűtőelemhőmérsékletek /3.6, 3.7 ábra/ 2.5 sec körül érik el maximális értéküket. A 3.3 ábrából, ahol a RELAP eredményeit is feltüntettük, az is látható, hogy a LINCUP-ban alkalmazott közelítés /a belépőhőmérséklet állandó/, lényegesebb eltérést csak kb. 10 sec után okoz.

A teljesítmény gyors csökkenését a következő fizikai folyamatok magyarázzák: a fluxuscsucs maximális amplitudóját főként a prompt- és késő neutronpopulációk azon aránya jelöli ki, amely az 1 % alatti reaktivitású állapotokhoz egyértelműen hozzárendelhető. A Doppler visszacsatolás felépülése gyorsabban csökkenti a teljesítményt, mint ahogyan a későneutron populáció fejlődésnek indulhatna. Nagyobb idők esetén a Doppler visszacsatolás szerepét a hűtőközeg visszacsatolásai veszik át.

A primerkör hosszabbidejű viselkedését a RELAP kóddal számoltuk, a neutronkinetikai opció felhasználásával. A főkeringető szivattyúk kifutása, valamint a turbina gyorszárás 2 sec múlva következik be.

A 3.3 ábra szemlélteti a két különböző programmal kapott eredmények jó egyezését a zóna átlagos paramétereivel számolva a tranziens kezdeti szakaszában.

A RELAP4 kóddal elvégzett forrócsatorna számítás eredményei azt mutatják, hogy a folyamat elején még a legjobban igénybevett fűtőelemeknél sem alakul ki burkolatsérüléshez vezető hőfizikai állapot. A 3.11 ábra szerint az üzemanyagrud maximális hőmérséklete /az 5. jelű slab középponti hőmérséklete/ a kezdeti 2030 C<sup>o</sup>-ról 2 sec alatt 2232 -re nő, azonban ezután a teljesítménynek megfelelően gyorsan csökkenni kezd

és a 23. másodpercben már  $1200\text{ C}^{\circ}$  alá esik. Ugyanezen ábrán felrajzolt burkolathőmérsékletek azt tanúsítják, hogy a 10. sec tájékán átmenetileg fellép a hőátadási krízis, de a teljesen ki nem alakuló gőzdugót a nyomáskülönbség a csatornából kilöki, így a maximális burkolathőmérséklet nem haladja meg a  $700\text{ C}^{\circ}$ -ot. Ez a folyamat a 20. sec után amikor az üzemanyag átlaghőmérséklete már leesett, kisebb-nagyobb mértékben megismétlődik, amit a gőztartalom 3.42 ábra szerint változása is jól szemléltet.

A 3.4 ábrán bemutatott hosszuidejű teljesítménygörbe és nyomástartó viselkedés jól szemlélteti a folyamat egyes fázisait. A primerköri hűtőközeg hőmérséklete /3.8 ábra/ a gőzfejlesztésben fokozatosan romló hőátadás következtében egyre emelkedik, és ez a telítési hőmérséklet elérése után együtt jár a nyomás növekedésével. A szekunderoldali nyomás a folyamat első 10 mp-ében eléri a lefujási nyomás értékét, ettől kezdve a gőzfejlesztő biztonsági szelepe hol visszazár, hol újra nyit. /3.10 ábra/. Bár a moderátorhőmérséklet növekedésével a reaktorteljesítmény erősen csökken, 60 másodperc táján elérjük a nyomástartó biztonsági szelepeinek megszólalási nyomását /3.9 ábra/. A nyomástartó szintje a zónában létrejövő gázképződés következtében ugyancsak emelkedik és az 57. sec-ban eléri a maximumot. A nyomástartó biztonsági szelepein keresztül a buborékolatató kondenzátorba lefujt viz-gőz elegy nagy mennyisége következtében ez utóbbi a 87. sec-ben eléri lefujási nyomását, és ezentul a kiömlés közvetlenül a hermetikus térbe történik. A primerkörből lefujt hűtőközeg, és a hőmérséklet növekedése következtében a teljesítmény tovább csökken, emiatt nemcsak a biztonsági szelep zár vissza, de a nyomás még tovább is csökken. Ezután a folyamat a fejlődő és a gőzfejlesztőben elvont hőmennyiségnek megfelelő nyomásszinten hosszú időre szinte állandósul, a zónából a hőelvonás természetes cirkuláció útján történik. Drasztikus változás a gőzfejlesztők kiszáradása után, 9000 sec táján következik be: a primeryomás a megszűnő hőelvonás következtében ismét a lefujási értékre emelkedik fel és a primerköri vízszint csökkenni kezd. A hermetikus tér nyomása és hőmérséklete ezzel párhuzamosan nőni kezd, a 3.17 és 3.18 ábra szerint. A zóna kiszáradása csaknem 5 óra múltán kezdődik meg.

A leürítés folyamatát, vagyis a hűtőközeg folyadékterfogatának és az elgőzölgéssel elvitt hőnek csökkenését a 3.13 ábra mutatja. Az időskála kezdőpontja egybeesik az aktív zóna felső szintjéig történő leürülés időpontjával. A szabályozó-kazettacsoport kivetődésére a felső időskála érvényes. Ugyanezen időskála vonatkozik jó közelítéssel az NA 273-as csővezeték törésére is, míg az NA 108-as csőtöréshez az alsó skála tartozik. Az ábráról leolvasható, hogy a folyadékszint mikor éri el az egyes axiális keresztmetszeteket, így bejelöltük azokat a keresztmetszeteket, amelyekre a BICT számításokat végeztük. A három különböző terhelésű fűtőelemrud /amelyekkel azonos, vagy

nagyobb terhelésű rudak részaránya a zónában 0,49 1,25 ill. 48,3 %/ felhevülésének időbeli változását az említett keresztmetszetekben mutatják a 3.14, 3.15 és 3.16 ábrák folytonos görbéi. Ezekről olvastuk le a burkolatfelhasadásra választott 900 C<sup>o</sup>, illetve az uránoxid 2800 C<sup>o</sup>-os olvadáspontja elérésének időpontjait. /Lásd 3.1 táblázat/.

A primerkör és a hermetikus helyiség aktivitásváltozását a burkolatfelhasadásig a 3.19 ábrán mutatjuk be, a különböző mértékű burkolatsérülés során felszabaduló aktivitásokat a 3.1 táblázat tartalmazza,

#### 4. Az NA 273 x 20 mm-es reaktortartály előtti hidegági csővezeték törése

A feladathoz előírt feltételek:

- villamosenergia betáplálás nincs,
- diesel nincs,
- aktiv zónahűtés nincs,
- szekunder oldali betáplálás nincs,
- turbina gyorszárás működik.

Számítási eljárásban használt kiegészítő feltételek: az 1. Fejezetben leírt általános feltételeken kívül a számításokat úgy végeztük, hogy csak két hidroakkumulátor működik a lehetséges négy közül.

Számítási eredmények rövid ismertetése: a 4.1 ábrán a primerköri nyomás időbeli változása látható a tranziens alatt a folyamat első 150 másodpercében. A nyomás a nagy átmérőjű törés következtében rendkívül gyorsan csökken, majd stabilizálódik azon az egyensúlyértéken ahol a törésen kiáramló és a fűtés miatt fejlődő gőzmennyiség egyensúlyt tart. Ugyanerre az ábrára rajzoltuk fel a hidroakkumulátorok nyomásváltozását is. Nyomon követhető a hidroakkumulátorok működésének kezdetétől /kb. 20. sec/ a nyomás, amely lassabban csökken a rendszernyomásnál. Emiatt a befecskendezett vízmennyiség nő. Ezt a folyamatot mutatja a 4.1 ábrára felrajzolt H2 szintgörbe is. Itt a 20.-tól kb. a 90. sec-ig táplál be vizet a hidroakkumulátor. Végül ezen az ábrán tüntettük fel a gőzfejlesztő szekunderoldali víztérfogat csökkenését a biztonsági szelep nyitásától annak zárásáig /kb. 25. sec/, valamint a nyomástartó vízszintváltozását is. A biztonsági szelep zárásának oka, hogy a primerköri nyomás a szekunderköri alá csökken és emiatt megszűnik a gőzfejlődés.

A primerköri nyomásváltozás hatására a törésen kiáramló hűtőközegmennyiséget az idő függvényében mutatja a 4.2 ábra. Az ábra legkarakterisztikusabb része 150-170 sec között van, ahol a reaktortartály kiömlő csonkot a vízszint eléri és ettől kezdve a kiömlő közeg gőz halmazállapotú. Innentől kezdve a kritikus kiáramlás és gőzfejlődés egyensúlyban

tartja a rendszert a víztérfogat egyenletes csökkenése mellett, a nyomás stabilizálódásának megfelelően.

A zóna felső szintjének elérésekor, 882 sec-nál ismét a 3.13 ábra szerint kezdődik a zóna kiszáradási folyamata, a 3.14, 3.15 és 3.16 ábrák szolgáltatják a fűtőelemcsoportok sérülési időpontjait.

A környezetre a csőtörés a hermetikus térbe kiáramló hűtőközeg és az azzal együtt kijutó aktivitáson keresztül fejti ki hatását, ezért legfontosabb, hogy a folyamat során meghatározzuk a hermetikus térállapot-jelzőit.

A 4.3 - 4.5 ábrákon a hermetikus tér nyomás- és hőmérsékletváltozása látható a tranziens folyamán. A számításokhoz komplett hermetikus teret vettünk figyelembe, tehát a kondenzációs torony víztartalmának hatását is. A termohidraulikai egyensúlyba kerülő rendszer - amint az a számításokból jól látható - sehol sem haladja meg paramétereiben a megengedett értékeket.

A 4.6 és 4.7 ábra hermetikus térbe kijutó aktivitás mértékének alakulását mutatja a burkolatfelhasadásig. A különböző mértékű burkolatsérülés során felszabaduló aktivitásokat a 4.1 táblázat tartalmazza. A forrócsatorna analízist ebben az esetben is elvégeztük, amely szerint forráskriszisz nem lép fel, azaz a burkolathőmérséklet a legjobban igénybevett rudnál a folyamat kezdeti szakaszán a kezdőérték közelében marad.

#### 5. Az NA 108 x 9 mm-es primerkörü csővezeték törése

A nyomástartóhoz a nyomásszabályozás céljára az egyik primerkörü hurok hidegágából kiindulva NA 108 x 9 mm-es cső csatlakozik. E cső törését vizsgáltuk azzal a feltételezéssel, hogy közvetlenül a térfogatkompenzátornál törik el és lényegében csak egy oldalon, a kompenzátor felől történik kifolyás, mivel a befecskekezdés mértékét szabályozó szeleprendszer a másik oldalról történő kifolyást elhanyagolható mértékűre korlátozza. A négy hidroakkumulátor közül hármát /hideg oldalon csak egyet/ tekintettünk aktívnak a számításainkban.

A folyamat első szakaszában a primerkörü nyomás az 5.1 ábra szerint esik le a telítési értékig, ezután a gőzfejlesztő hőelvonása és a térfogatkompenzátor vízszintjének változása befolyásolja a primerkör paramétereit. A turbina gyorszáró működése miatt a gőzfejlesztő szekunder-oldalán a nyomás gyorsan nő és a biztonsági szelepek nyitnak. A főkerिंगető szivattyúk kifutásával közel arányosan csökken a primerkörből elvont hőmennyiség mindaddig, amíg a primeroldali nyomás a szekunder oldali nyomás alá nem esik. Ez a hidroakkumulátorok belépése után következik be. Közben a térfog-

gatkompENZátorban a folyadékszint emelkedik és a gőzpárna a kiáramlás eredményeként elfogy, így a nyomástartó szerepe megszűnik. Az akkumulátorok üzembelépésekor ezek veszik át a nyomásszabályozó szerepét, a primerkörü nyomás átmeneti tranziense - amelyet a hideg vízbefecskendezés okoz - után az akkumulátorok nyomásához igazodik. Ezzel magyarázható, hogy a vészhűtés folyadékárama alacsony értékre esik vissza /5.2 ábra/ és lényegében a hidrosztatikus nyomáskülönbségnek, illetve a "megnyomott" térfogatkompenzátorból kiáramló vízáramnak felel meg, valamint, hogy a folyamat e szakasza 520 sec-ig elhúzódik. Az akkumulátorok golyós szelepeinek lezárása után a rendszernyomás leesik és ekkor víz helyett ismét gőz áramlik ki a törésen, azaz ismét gőzpárna jelenik meg a térfogatkompenzátorban.

A folyamat ezután következő szakasza kvázistacionernek tekinthető: a maradványhőnek megfelelő gőzmennyiség távozik a rendszerből, a rendszernyomás lassu növekedése után 17 bar-on stabilizálódik, miközben a folyadékszint a primerrendszerben fokozatosan csökken 11385 sec-nál éri el a zóna tetejét.

A leürítés a 3.13 ábra alsó időskálája szerint megy végbe, míg 3.14, 3.15 és 3.16 ábrákon a szaggatott görbék mutatják a különböző hőterhelésű rudcsoportok egyes axiális keresztmetszetében a felhevülés folyamatát.

A zóna fokozatos kiszáradása következtében az 5.1 táblázat szerint történik a burkolatfelhasadás, illetve üzemanyag megolvadás.

A folyamat során a hermetikus térbe kiömlő hűtőközeg a tér nyomását és hőmérsékletét az 5.3 - 5.5 ábra szerint emeli meg. A nyomás maximális értéke jóval alatta marad a Műszaki Terv szerint megengedett értéknek. A primerkörbe és a hermetikus helyiségekbe jutott aktivitás mértékét a burkolatfelhasadásig az 5.6 ábra mutatja.

1. IZOTOPAZAT NORMAL UZEN 10 HONAFOS KAMPANY VESE  
 IZOTOP LELET AZ IP FUTOELEMEKREN A TELVES AKTIVITAS: 2.12726E 09 CURIE

ISOTOPE	DENSITY	ACTIVITY	ISOTOPE	DENSITY	ACTIVITY	ISOTOPE	DENSITY	ACTIVITY
350830	1.55186E 21	3.58486E 06	360831	1.31327E 21	3.58486E 06	350840	6.53160E 20	6.42568E 06
350851	2.93738E 21	1.05799E 07	360850	1.91039E 24	1.05330E 05	350870	5.45366E 19	1.34246E 07
360870	4.51102E 21	1.80561E 07	360880	1.36647E 22	2.54089E 07	370880	1.43971E 21	2.54039E 07
370890	1.63144E 21	3.43186E 07	380890	8.04530E 24	3.37033E 07	380900	3.87098E 25	8.03439E 05
390900	9.79169E 21	7.91840E 05	380910	7.80249E 21	4.17533E 07	390911	4.69766E 21	3.05773E 07
390910	1.10515E 25	4.06216E 07	380920	1.92146E 21	3.84811E 07	390920	2.66131E 22	3.34810E 07
390930	2.64756E 22	4.37152E 07	400950	1.31262E 25	4.36358E 07	410951	1.52301E 22	8.30877E 05
40950	6.56091E 24	4.16231E 07	400970	1.40875E 23	4.34048E 07	410971	1.32374E 20	4.15011E 07
410970	1.02550E 22	4.32372E 07	420990	5.58465E 23	4.40734E 07	430991	4.31462E 22	3.74822E 07
430990	3.38501E 25	0.0	441000	7.05478E 24	0.0	441010	3.63082E 25	0.0
441020	7.55871E 24	0.0	441030	1.03414E 22	5.67373E 04	451031	1.02018E 19	5.59719E 04
451030	7.85012E 24	0.0	421010	1.91982E 25	4.10425E 07	451010	1.84070E 21	4.10425E 07
421020	1.20431E 21	3.25489E 07	451050	3.58353E 21	5.13159E 06	451060	2.67949E 22	1.45235E 06
441060	2.70115E 24	3.68895E 04	451070	1.05008E 21	1.52273E 06	471130	1.03233E 20	1.01279E 05
481130	7.30141E 21	0.0	501270	7.53813E 21	1.82545E 06	511270	3.27872E 22	1.82545E 06
521271	1.56137E 23	3.43877E 05	521270	3.15101E 21	1.78236E 06	501280	5.09606E 20	2.74035E 06
511281	5.71076E 19	2.54803E 06	511280	3.52414E 20	1.91446E 05	511290	5.25258E 21	6.44505E 06
521290	1.41140E 21	6.44032E 06	531290	5.62482E 24	0.0	531300	8.91269E 20	3.51325E 05
531310	1.15553E 24	3.10745E 07	531301	7.17296E 18	2.44268E 05	521291	3.51685E 23	2.30972E 06
511300	1.61226E 21	1.41181E 07	521310	2.48866E 21	3.10745E 07	511310	1.43091E 21	1.93366E 07
521311	1.30116E 22	2.90150E 06	521320	5.10382E 21	3.39335E 07	531320	1.50005E 22	3.39335E 07
531330	1.97108E 23	4.93802E 07	541330	1.19382E 24	4.90432E 07	551330	3.10992E 25	0.0
551340	1.24881E 25	3.54392E 06	551350	2.29143E 21	0.0	551360	6.83499E 23	1.13978E 07
521340	6.70337E 21	4.98224E 07	531340	0.58106E 21	5.67095E 07	521350	5.70824E 22	4.42774E 07
541350	1.99086E 22	1.12995E 07	541351	0.63265E 21	1.32832E 07	551370	4.25213E 25	8.46978E 05
541380	1.89897E 21	4.20340E 07	551380	4.34430E 21	4.20340E 07	551390	1.24791E 21	4.31708E 07
561390	1.28168E 22	4.73308E 07	561400	2.69249E 24	4.56606E 07	571400	3.52702E 23	4.56606E 07
561410	2.58162E 21	4.48292E 07	571410	3.27156E 21	4.48292E 07	581410	6.70418E 24	4.47549E 07
561420	1.42122E 21	4.03317E 07	571420	1.24356E 21	4.03317E 07	571430	1.98104E 21	4.41719E 07
581430	2.86128E 23	4.41719E 07	591430	2.68616E 24	4.29059E 07	591440	1.27850E 21	2.30820E 07
601430	3.33113E 25	0.0	581440	2.89534E 25	2.20692E 07	591450	3.51813E 22	3.06172E 07
601450	2.53159E 25	0.0	581460	1.06860E 21	2.38270E 07	591460	1.86384E 21	2.38270E 07
601470	1.02142E 24	2.01153E 07	611470	3.83151E 21	2.71927E 05	611481	1.68705E 23	8.70834E 05
601490	2.65073E 23	2.60646E 07	611500	1.45647E 20	2.80666E 05	621500	1.72333E 23	0.0
621510	2.23131E 23	1.57539E 03	621520	5.35632E 23	0.0	621530	4.28530E 22	4.74012E 06
631530	7.24132E 23	0.0	631540	1.54788E 21	5.73134E 04	631550	1.60512E 23	5.24917E 04
631560	2.18105E 23	3.10937E 06	641550	1.73010E 21	0.0	641540	1.79306E 22	0.0
631510	1.35452E 20	0.0	631521	7.99041E 17	4.47534E 02	631520	1.19379E 20	5.71034E 00
621490	7.41247E 23	0.0	611480	5.01337E 22	2.01890E 06	601490	3.08374E 21	9.33156E 05
601510	1.38175E 20	3.59888E 06	611510	1.96399E 22	3.59888E 06	621550	1.66569E 19	2.36347E 05

1.2 Tábl. NORMAL UZEM 10 HONAPOS KAMPANY VEGE  
 IZOTOP LETAR A PRIMERKORBEN, TELJES AKTIVITAS 5.23791E 06 CURIE

ISOTOPE	DENSITY	ACTIVITY	ISOTOPE	DENSITY	ACTIVITY	ISOTOPE	DENSITY	ACTIVITY
350830	3.47421E 18	7.53057E 03	360831	3.80670E 18	1.03912E 04	350840	8.24666E 17	8.11293E 03
360851	2.54528E 19	3.01306E 04	360850	2.15137E 22	1.18616E 03	350870	5.47644E 16	1.85015E 04
360870	7.37674E 18	2.95070E 04	360880	3.08882E 19	5.74353E 04	370880	3.25438E 18	5.74353E 04
370890	1.63223E 18	3.41887E 04	380890	8.01476E 21	3.35754E 04	380900	3.85633E 22	8.00449E 02
390900	9.76162E 18	7.88844E 02	380910	7.77294E 19	4.15957E 04	390911	4.87912E 18	3.04615E 04
390910	1.10096E 22	4.04676E 04	380920	1.91418E 19	3.83353E 04	390920	2.65123E 19	3.83353E 04
390930	8.61481E 19	4.35397E 04	400950	1.30764E 22	4.34703E 04	410951	1.51723E 19	8.77535E 02
410950	6.64158E 21	4.14650E 04	400970	1.40342E 20	4.32404E 04	410971	1.31873E 17	4.13439E 04
410970	1.02162E 19	4.30735E 04	420990	5.56349E 20	4.39065E 04	430991	4.29827E 19	3.72904E 04
430990	4.10819E 22	0.0	441000	3.38083E 20	0.0	441010	3.91151E 22	0.0
441020	4.54622E 21	0.0	441030	2.53214E 17	1.38925E 00	451031	2.50570E 14	1.37475E 00
451030	2.06227E 22	0.0	421010	1.91255E 18	4.08872E 04	431010	1.83373E 18	4.08872E 04
421020	1.19975E 18	3.24257E 04	451050	4.52860E 19	6.54811E 03	451060	1.30352E 18	7.11649E 01
441060	2.69793E 21	3.67502E 01	451070	1.05506E 17	1.51701E 03	471130	1.02842E 17	1.00896E 02
481130	7.58315E 19	0.0	501270	7.50958E 17	1.81853E 03	511270	3.26630E 19	1.81853E 03
521271	1.65908E 20	3.42577E 02	521270	3.13908E 18	1.75619E 03	501280	5.07675E 17	2.73047E 03
511281	5.69212E 16	2.53838E 03	511280	3.51079E 17	1.90721E 02	511290	5.23268E 18	6.42063E 03
521290	1.41303E 18	6.41590E 03	531290	6.30826E 22	0.0	531300	3.99566E 17	1.61986E 02
531310	1.16209E 22	3.12509E 05	531301	3.09463E 15	1.05385E 02	521291	3.50350E 20	2.30095E 03
511300	1.60615E 18	1.40646E 04	521310	2.47922E 18	3.09568E 04	511310	1.42549E 18	1.92634E 04
521311	1.59808E 19	2.88950E 03	521320	5.08449E 20	3.38050E 04	531320	3.08921E 19	6.98828E 04
531330	1.21712E 21	3.04609E 05	541330	1.31686E 22	5.40978E 05	551330	4.95723E 23	0.0
551340	7.24222E 21	2.05522E 03	551350	1.76429E 19	0.0	551360	2.61742E 22	4.36473E 05
521340	6.67798E 18	4.96336E 04	531340	1.37128E 19	8.11649E 04	531350	2.03807E 20	1.58088E 05
541350	7.68944E 20	4.36428E 05	541351	7.23224E 18	1.44840E 05	551370	4.64290E 23	9.24815E 03
541380	2.06559E 19	4.57221E 05	551380	4.72642E 19	4.57313E 05	551390	1.33955E 18	4.63411E 04
561390	1.37350E 19	5.04855E 04	561400	2.68429E 21	4.54878E 04	571400	3.51367E 20	4.54877E 04
561410	2.57383E 18	4.46594E 04	571410	3.25917E 19	4.46594E 04	581410	6.67877E 21	4.45853E 04
561420	1.41583E 18	4.01790E 04	571420	1.23885E 19	4.01790E 04	571430	1.97354E 18	4.40046E 04
581430	2.85143E 20	4.40046E 04	591430	2.75181E 21	4.39546E 04	591440	1.20658E 18	2.17836E 04
601430	3.89253E 22	0.0	581440	2.88440E 22	2.19838E 04	591450	3.50481E 19	3.05013E 04
601450	2.90754E 22	0.0	581460	1.06456E 18	2.37367E 04	591460	1.85678E 18	2.37367E 04
601470	1.02552E 21	2.00392E 04	611470	1.51328E 22	3.44374E 03	611481	2.19499E 20	1.13309E 03
611490	1.02563E 20	1.00623E 04	611500	2.15051E 15	4.14408E 00	621500	3.71586E 18	0.0
621510	2.55682E 21	1.80359E 01	621520	7.82299E 20	0.0	621530	1.15471E 19	1.27954E 03
631530	9.76761E 20	0.0	631540	1.11177E 20	4.11657E 00	631550	1.40368E 20	4.59041E 01
631560	7.51905E 18	1.07096E 02	641550	1.58386E 19	0.0	641540	1.30955E 18	0.0
631510	8.21091E 18	0.0	631521	1.82857E 15	1.02301E 00	631520	3.35909E 17	1.60692E-02
621490	5.20916E 21	0.0	611480	4.54942E 19	1.83206E 03	601490	3.07206E 18	9.27919E 03
601510	1.37751E 17	3.58525E 03	611510	1.95655E 19	3.58525E 03	621550	1.65938E 16	2.35452E 02



Sor- szám	P bar	T C <sup>o</sup>	V m <sup>3</sup>	A m <sup>2</sup>	d <sub>e</sub> m	h m	h' m	H m
1.	123.76	281.22	10.14	3.38	0.008596	3.0	3.0	- 4.35
2.	122.93	295.60	42.81	6.80	1.88	6.19	6.19	- 1.35
3.	122.60	295.60	2.66	0.193	0.496	2.45	2.45	- 0.25
4.	121.80	282.40	10.08	0.70	0.0132	3.32	3.32	1.08
5.	122.93	267.00	3.94	0.193	0.496	2.93	2.93	- 1.85
6.	122.60	295.60	13.30	0.965	0.496	1.90	1.90	- 0.25
7.	121.80	282.40	50.40	3.50	0.0132	3.32	3.32	1.08
8.	122.93	267.00	19.70	0.965	0.496	2.93	2.93	- 1.85
9.	124.26	267.10	50.35	3.12	0.332	9.04	9.04	- 8.44
10.	122.59	326.28	44.00	4.52	2.40	9.75	5.50	2.20
11.	1.0	30.0	52340.	474.8	0.	23.74	0.015	- 8.45
12.	60.0	40.0	70.45	7.045	0.	10.00	6.00	2.88
13.	60.0	40.0	0.0852	0.0426	0.	3.00	3.00	- 0.116
14.	60.0	40.0	70.45	7.045	0.	10.00	6.00	2.88
15.	60.0	40.0	0.0852	0.0426	0.	1.596	1.596	1.283

2.1 Táblázat. RELAP-4 számítási modell input adatai - VOLUME

Sorszám	from	to	P/C	G kg/sec	A m <sup>2</sup>	d <sub>e</sub> m	H m
1.	9	1	-	9339.0	3.12	0.008596	- 4-35
2.	1	2	-	9339.0	3.12	0.008596	- 1.35
3.	2	3	-	1556.5	0.193	0.496	1.40
4.	3	4	-	1556.5	0.193	0.496	1.08
5.	4	5	- P1	1556.5	0.193	0.496	1.08
6.	5	9	+ P1	1556.5	0.193	0.496	0.0
7.	2	6	-	7782.5	0.965	0.496	1.40
8.	6	7	-	7782.5	0.965	0.496	1.08
9.	7	8	- P2	7782.5	0.965	0.496	1.08
10.	8	9	+ P2	7782.5	0.965	0.496	0.0
11.	3	10	-	0.	0.0684	0.	2.20
12.	9	11	C1	0.	0.0426	0.	0.0
	10	11	C1	0.	0.00636	0.	11.64
13.	12	13	C4	0.	0.0426	0.	2.88
14.	13	9	C2	0.	0.0426	0.	0.0
15.	14	15	C5	0.	0.0426	0.	2.88
16.	15	2	C3	0.	0.0426	0.	1.40

2.2 Táblázat. RELAP-4 számítási modell input adatai - JUNCTION

Sor- szám	P bar	T C°	V O L U M E			H E A T S L A B		
			V <sub>v</sub> m <sup>3</sup>	h m	H m	V <sub>s</sub> m <sup>3</sup>	A <sub>s</sub> m <sup>2</sup>	N <sub>r</sub> MW/MW
1.	124.17	267.2	0.00257	0.320	- 4.35	0.00262	1.1526	0.0001
2.	124.07	270.4	0.00334	0.416	- 4.030	0.00340	1.4974	0.1257
3.	123.98	277.9	0.00167	0.208	- 3.614	0.00170	0.7487	0.1042
4.	123.91	284.1	0.00167	0.208	- 3.406	0.00170	0.7487	0.1200
5.	123.85	290.5	0.00167	0.208	- 3.198	0.00170	0.7487	0.1251
6.	123.79	296.7	0.00167	0.208	- 2.990	0.00170	0.7487	0.1191
7.	123.70	304.6	0.00334	0.416	- 2.782	0.00340	1.4974	0.2000
8.	123.57	312.2	0.00334	0.416	- 2.366	0.00340	1.4974	0.1291
9.	123.45	316.7	0.00334	0.416	- 1.950	0.00340	1.4974	0.0766
10.	123.22	318.6	0.00149	0.184	- 1.534	0.00152	0.6696	0.0001
11.	124.26	267.1	0.1278	9.04	- 8.44	-	-	-
12.	122.93	295.6	0.1203	6.19	- 1.35	-	-	-

JUNCTION:  $A = 0.008046 \text{ m}^2$   $d_e = 0.008935 \text{ m}$   $G = 23.955 \text{ kg/sec}$

CORE SLAB:  $r_1 = 0.003848 \text{ m}$   $r_2 = 0.003908 \text{ m}$   $r_3 = 0.004559 \text{ m}$   $N = 8.329 \text{ MW}$

2.3 Táblázat. Forró csatorna input adatok.

2.4 Táblázat

A LINCUP kód bemenő adatai

Időlépcső	0.01 sec
Axiális rácskiosztás	6.94444 cm
Radiális rácspontok szám a pelletben	5
Kétcsoport reaktorfizikai állandók	KFKI-76-3 riport szerint
0.5 g/kg bórkoncentrációnak megfelelő tényezők:	
Doppler hőfoktényező	$0.34 \cdot 10^{-4} / \text{C}^{\circ} / ^{-1}$
Void tényező	-0.1818
Moderátor hőfoktényező	$-0.54 \cdot 10^{-3} / \text{C}^{\circ} / ^{-1}$
Beáramló hűtőviz állandó hőfoka	267.5 °C
Beáramló hűtőviz állandó sebessége	390 cm/sec
Tranziens vízsebesség időállandója	30 sec
Szabályozóköteg kivetődési ideje	0.2 sec
Szabályozóköteg teljes értékessége	0.7 dollár
A rés hőellenállása	5.0 cm <sup>2</sup> °C/watt
Az UO <sub>2</sub> hővezetési tényezője és fajhője	másodfoku parabolával megadva

2.5 Táblázat

Axiális osztások száma: 1

Radiális osztások száma: 8, ebből üzemanyagban 4  
burkolatban 2

Azimutális osztások száma: 1

Hőátadási tényező:  $6 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \text{ K}}$  ill.  $0.0 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \text{ K}}$

Fűtő- elem tipu- sa	Axiális telje- sítmeny tényező	Radiális teljesítményeloszlás az üzemanyagban, W			
$\bar{q}$	0.41	0.00485	0.03888	0.07778	0.0537
	1.00	0.01191	0.09550	0.1911	0.1319
	1.40	0.01667	0.1337	0.2675	0.1847
1.35 $\bar{q}$	0.41	0.00659	0.05286	0.1057	0.07301
	1.00	0.01608	0.12893	0.2579	0.17807
	1.40	0.02251	0.1805	0.36118	0.2493
1.89 $\bar{q}$	0.41	0.00923	0.07401	0.14808	0.10221
	1.00	0.02251	0.1805	0.36118	0.2493
	1.40	0.03152	0.2527	0.5056	0.3491

2.6 Táblázat

Mennyiség	Egység	Érték
U-235 hasadási hatáskeresztmetszet		
gyors	barn	15.
termikus	barn	390.
Térre, időre átlagolt fluxus a zónában		
gyors	n/barn/s	8.1 E-11
termikus	n/barn/s	2.3 E-11
U-235 magsűrűség	atom/cm <sup>3</sup>	1.62 E20
Urán térfogat	cm <sup>3</sup>	1.627 E7
Fluxus a fűtőközegben		
gyors	n/barn/s	3.12 E-12
termikus	n/barn/s	8.8 E-13
Gáztömörtelen fűtőelemek aránya, normálüzemben		0.01
Defektált fűtőelemek aránya normálüzemben		0.001
Nemesgázok kiáramlási rátája a gáztömörtelen fűtőelemekből	l/s	1. E-5
Halogének kiáramlási rátája a gáztömörtelen fűtőelemekből	l/s	1. E-5
Cézium kiáramlási rátája a gáztömörítetlen fűtőelemekből	l/s	1. E-5

3.1 Táblázat

Érintett fűtő- elemek %-os aránya	Burkolat felhasadás sec	Aktivitás a felhasadt fűtőelemekben a felhasadás pillanatában. C <sub>i</sub>			UO <sub>2</sub> olvadás sec
		Teljes	I <sup>131</sup>	Sr <sup>90</sup>	
0.49	17650	4.95x10 <sup>6</sup>	1.47x10 <sup>5</sup>	3.92x10 <sup>3</sup>	19550
1.25	18300	1.36x10 <sup>7</sup>	3.75x10 <sup>5</sup>	1.0 x10 <sup>4</sup>	20450
48.3	18500	5.16x10 <sup>8</sup>	1.34x10 <sup>7</sup>	3.76x10 <sup>5</sup>	22020
100.0				becsült	25450

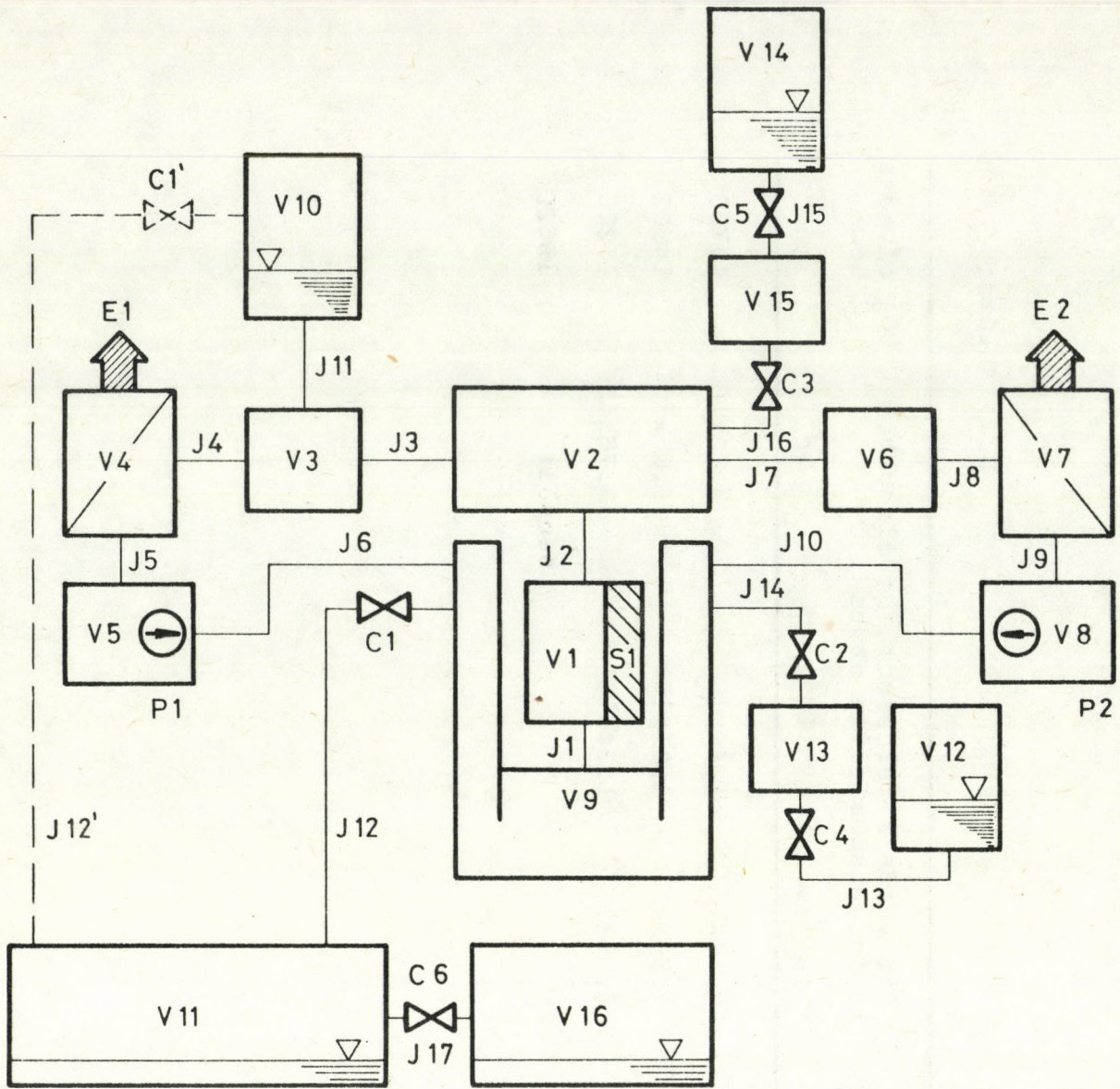
4.1 Táblázat

Érintett fűtő elemek %-os aránya	Burkolat felhasadás	Aktivitás a felhasadt fűtőelemekben a felhasadás pillanatában, C <sub>i</sub>			UO <sub>2</sub> olvadás sec
		Teljes	I <sup>131</sup>	Sr <sup>90</sup>	
0.49	1634	9.1 x10 <sup>6</sup>	1.52x10 <sup>5</sup>	3.92x10 <sup>3</sup>	3030
1.25	1782	2.25x10 <sup>7</sup>	3.88x10 <sup>5</sup>	1.0 x10 <sup>4</sup>	3934
48.30	1982	8.47x10 <sup>8</sup>	1.05x10 <sup>7</sup>	3.76x10 <sup>5</sup>	4530



5.1 Táblázat

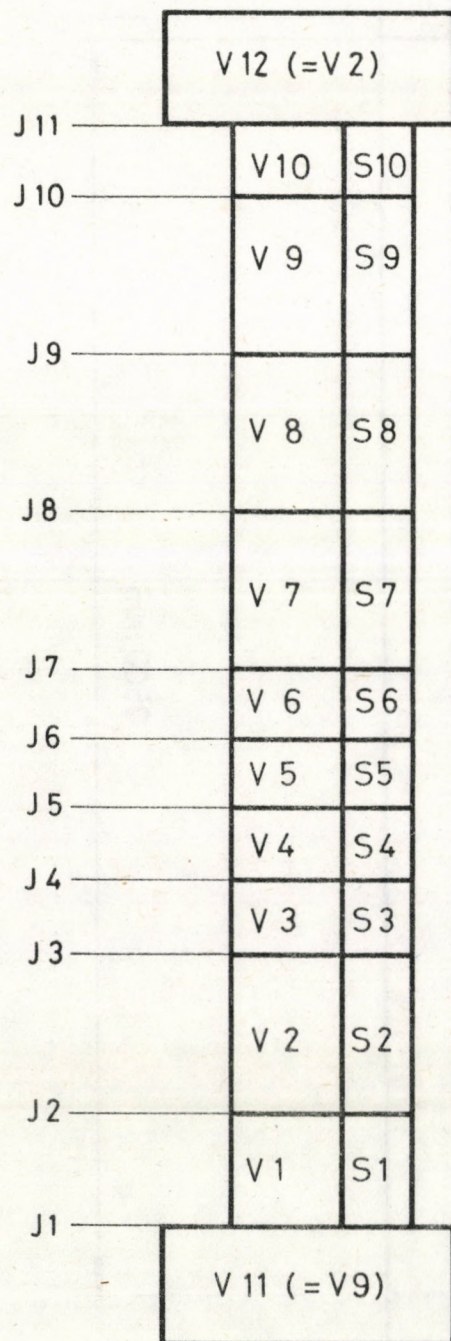
Érintett fűtő elemek %-os aránya	Burkolat felhasadás	Aktivitás a felhasadt fűtőelemekben a felhasadás pillanatában, $C_i$			$UO_2$ olvadás sec
		Teljes	$I^{131}$	$Sr^{90}$	
0.49	12335	$6.14 \times 10^6$	$1.49 \times 10^5$	$3.92 \times 10^3$	13730
1.25	12485	$1.56 \times 10^7$	$3.81 \times 10^7$	$1.0 \times 10^4$	14537
48.3	12681	$5.86 \times 10^8$	$1.34 \times 10^7$	$3.76 \times 10^5$	16200
100.0				becsült	19620



VOLUME = 16  
JUNCTION = 17  
PUMP = 2  
CHECK VALVE = 6  
HEAT SLAB = 1  
HEAT EXCHANGER = 2

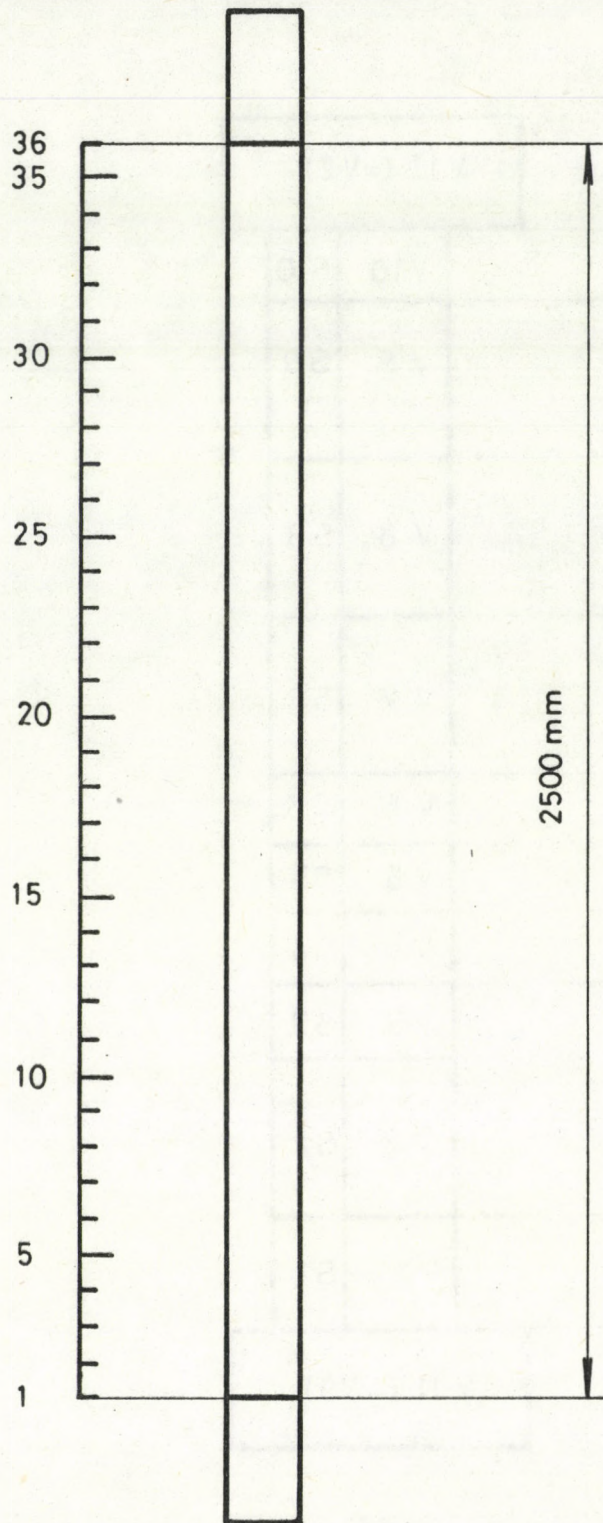
1.1. ábra

A VVER-440 közepes csőtörésének számítási modellje  
RELAP4-MOD3



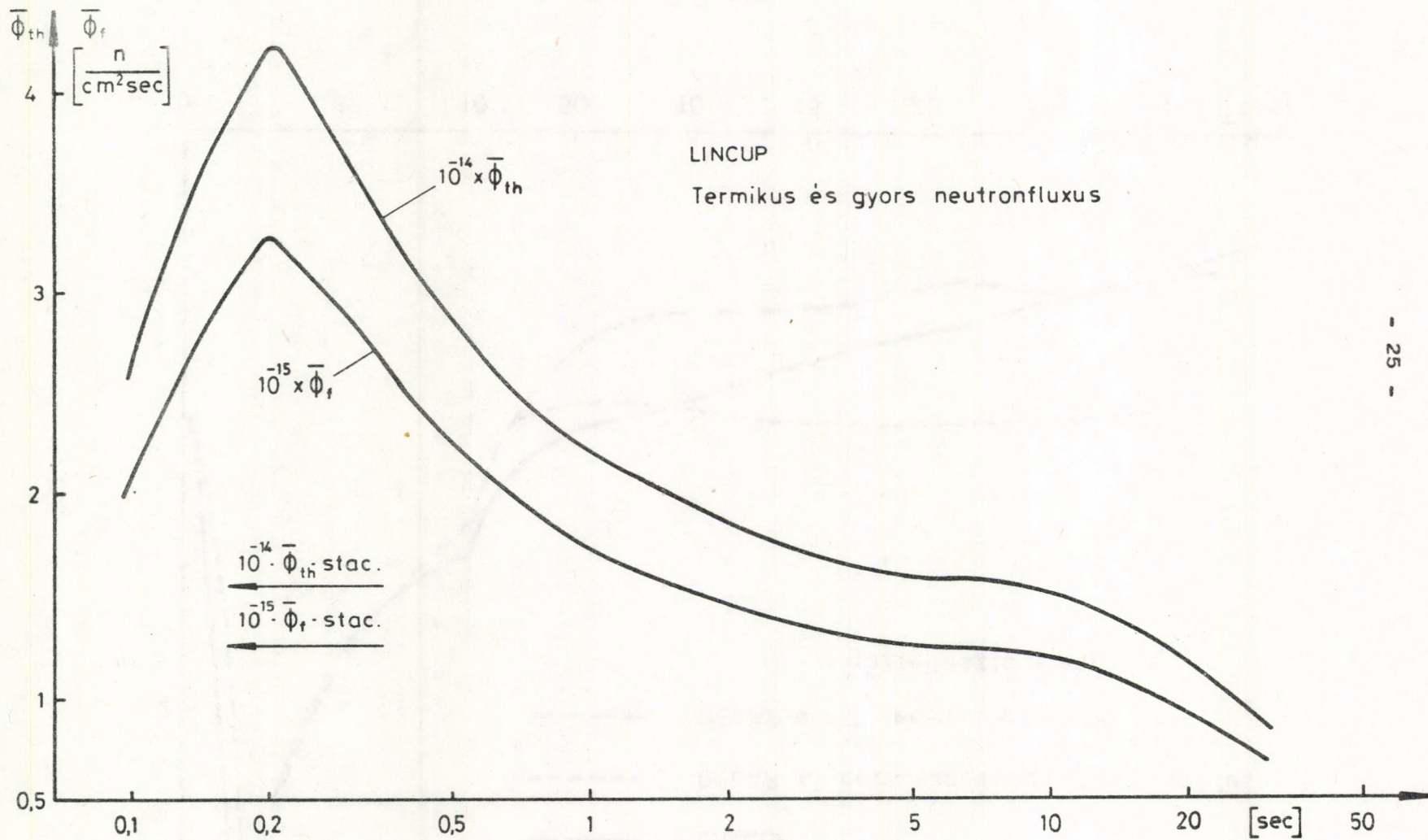
Forró csatorna számítási modellje  
RELAP4-MOD3

1.2. ábra

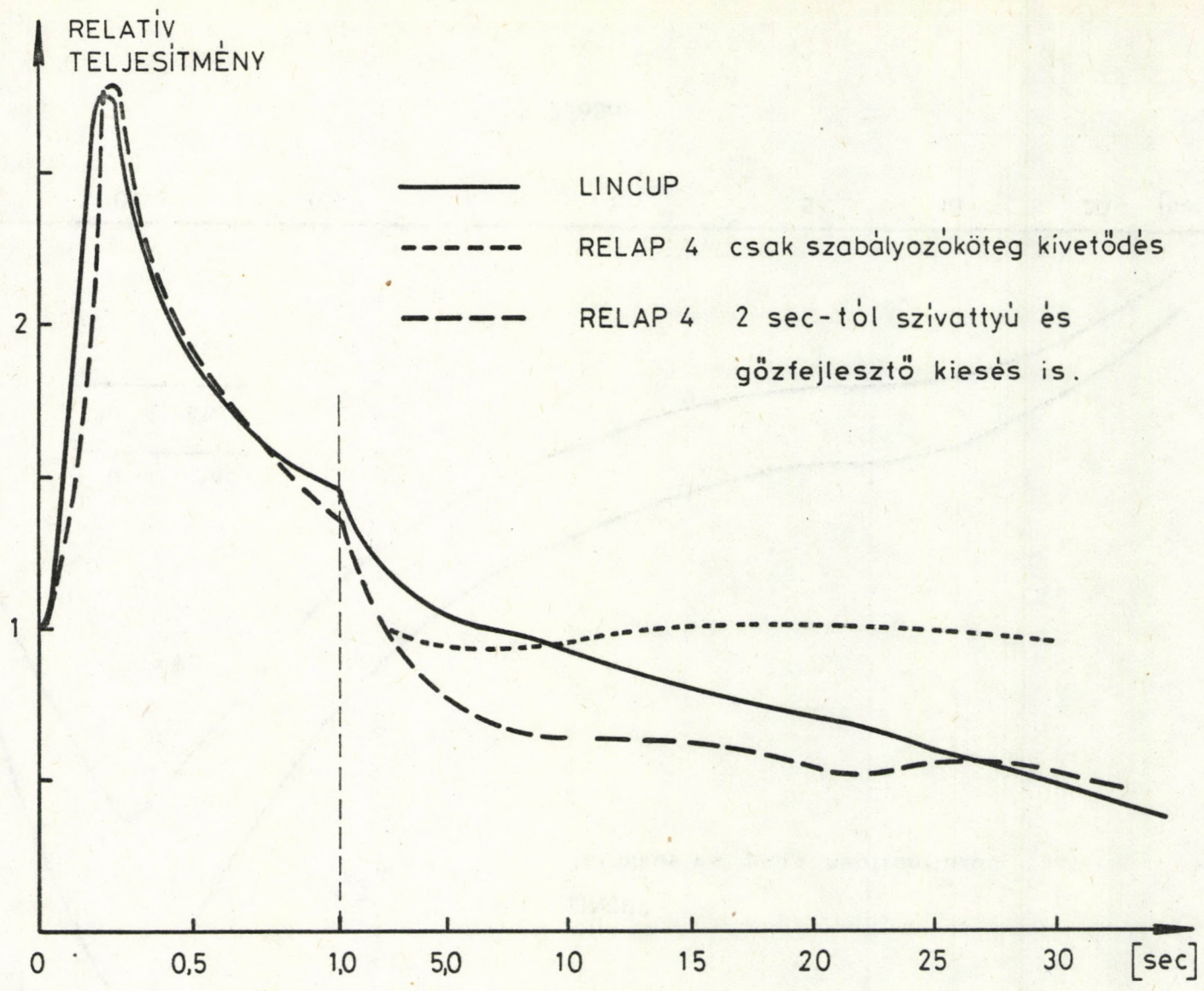


Az aktív hossz pozíciókiosztása  
a LINCUP kódban.

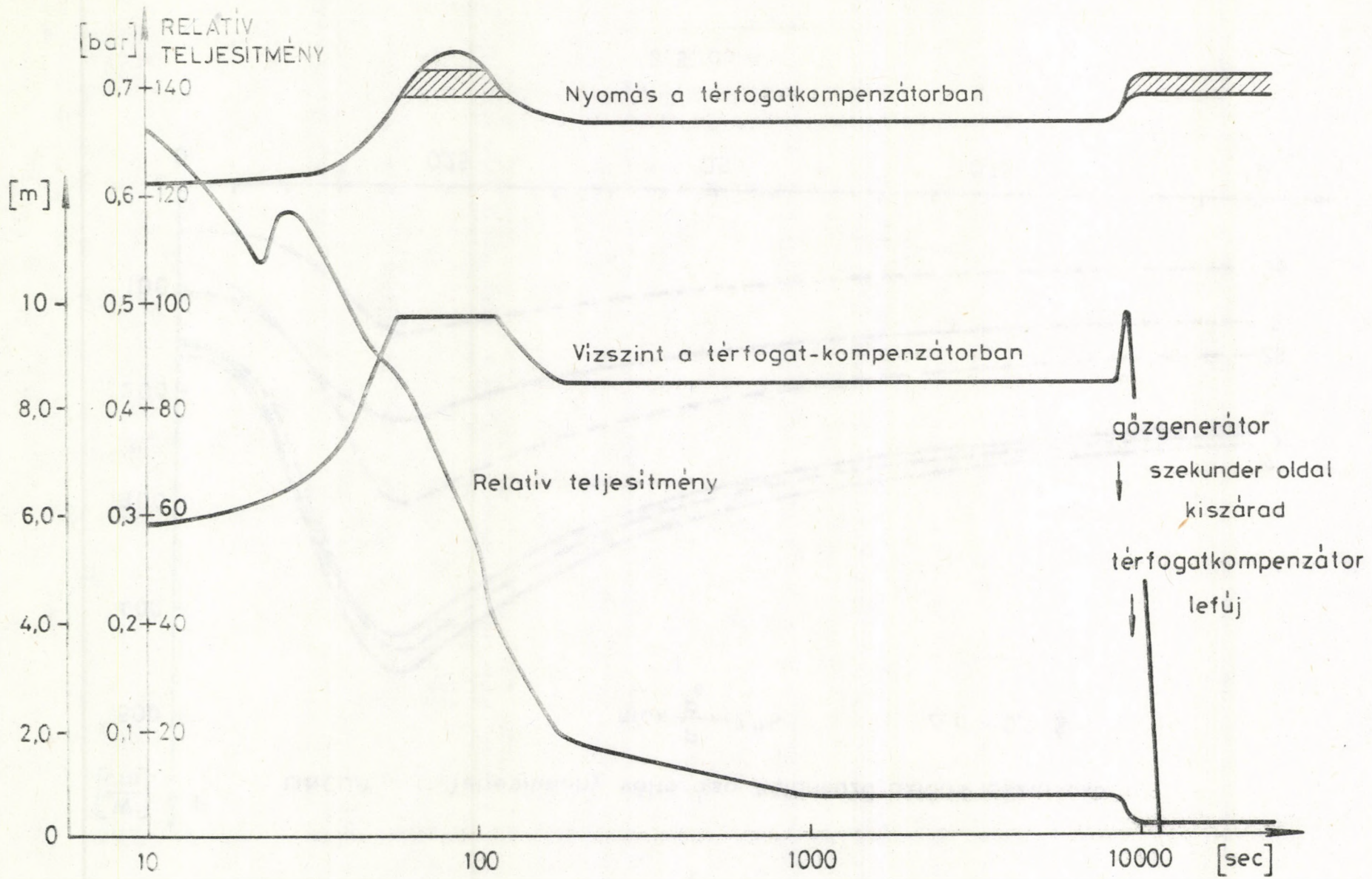
3.1. ábra



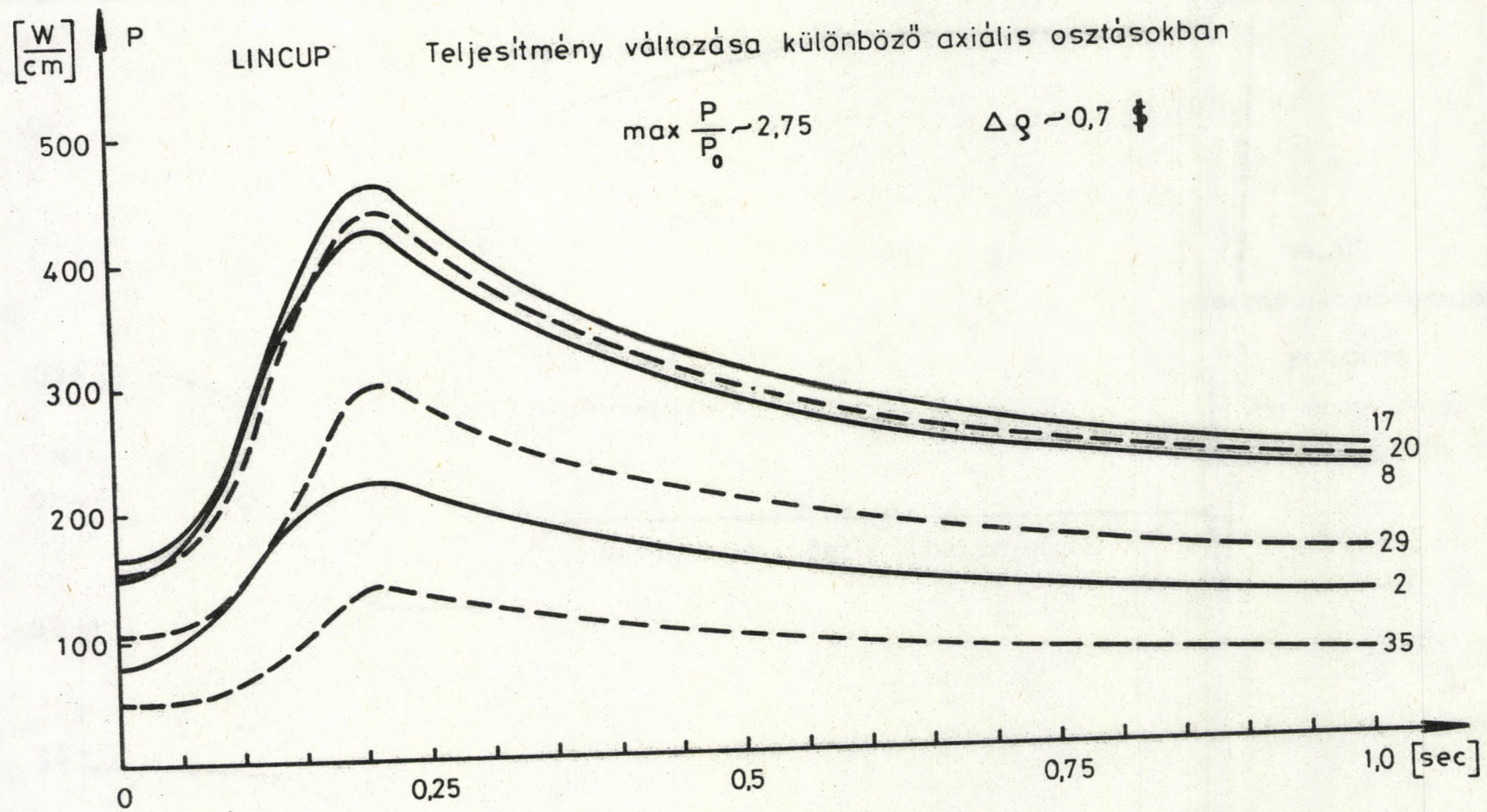
3. 2. ábra



3. 3. ábra

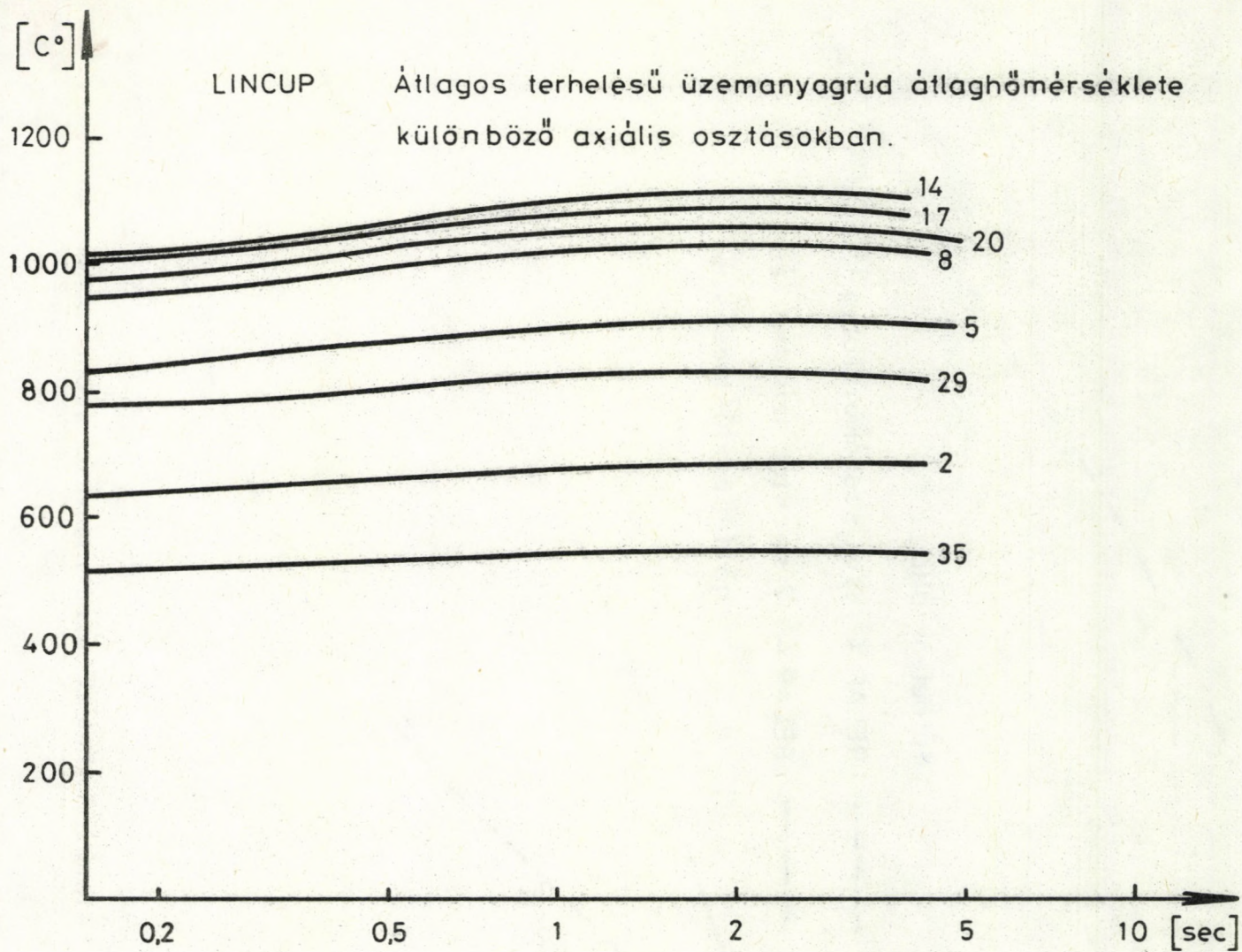


3.4. ábra

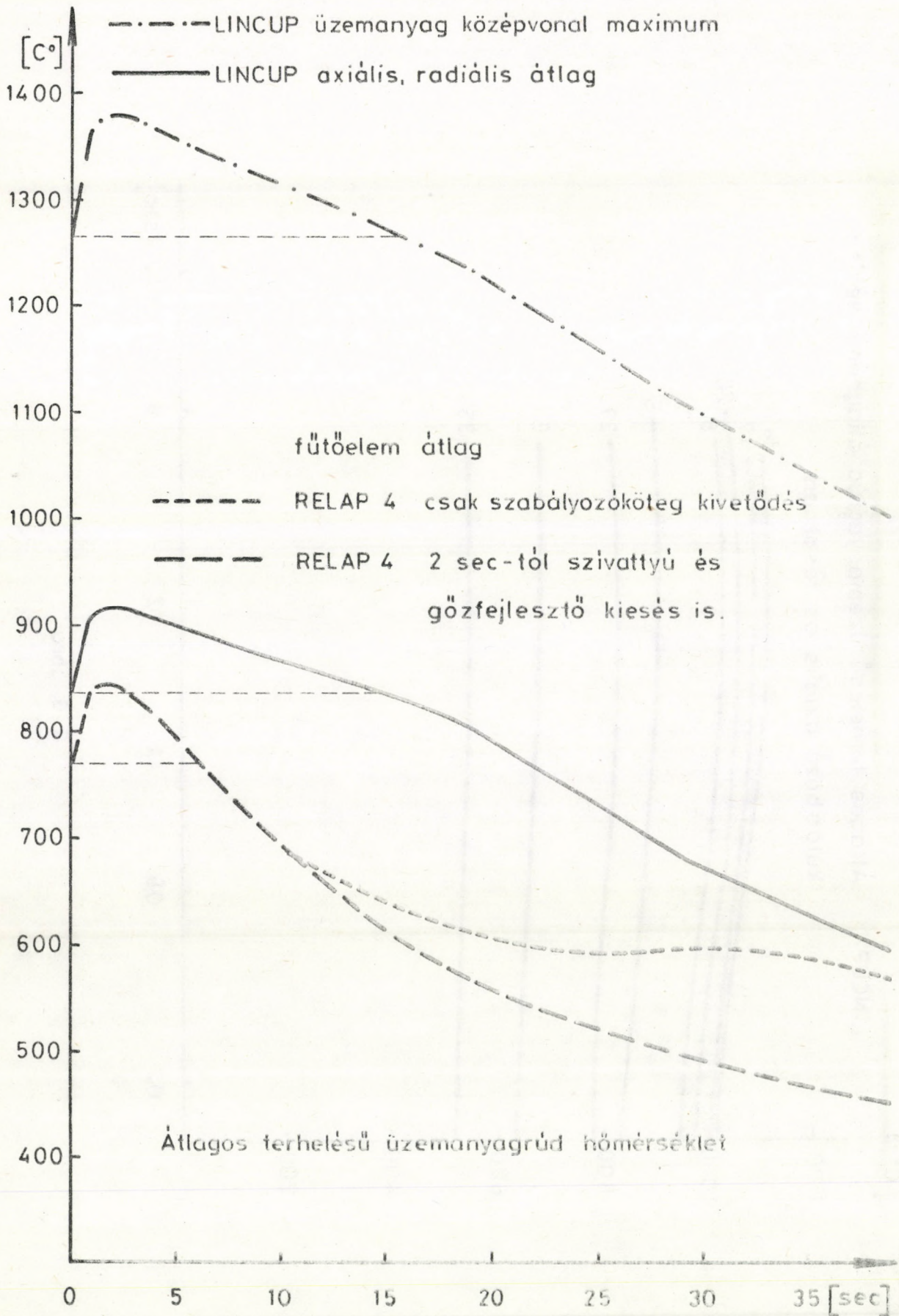


3.5. ábra

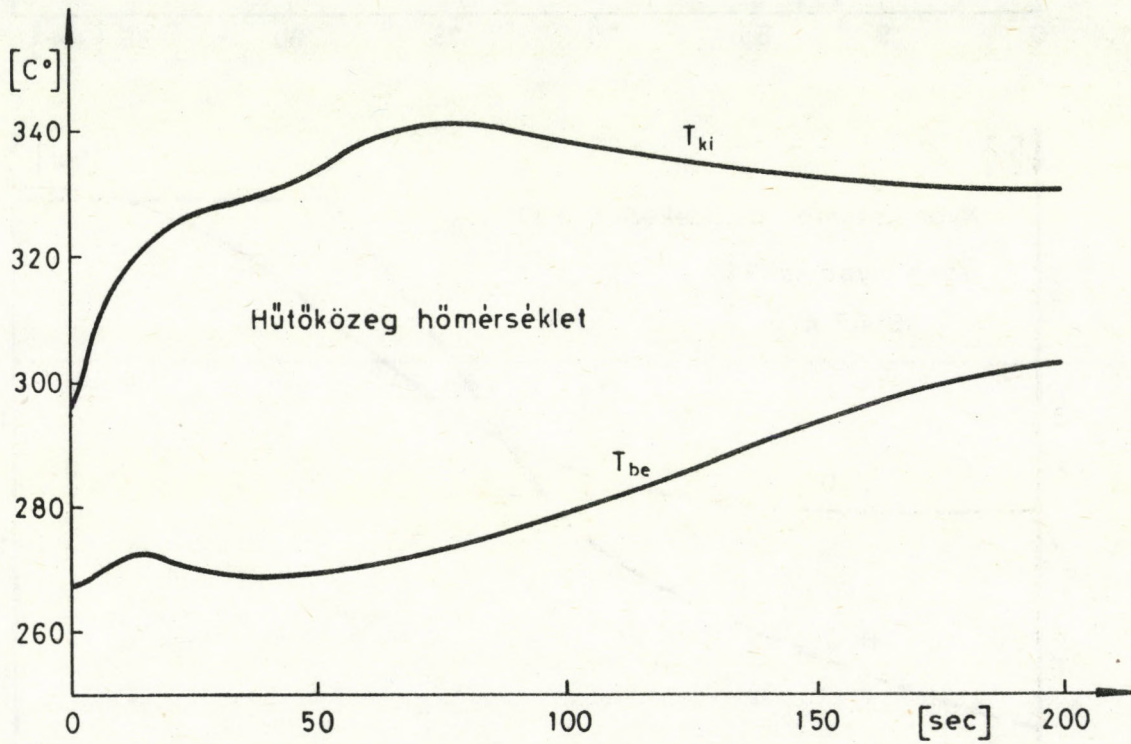
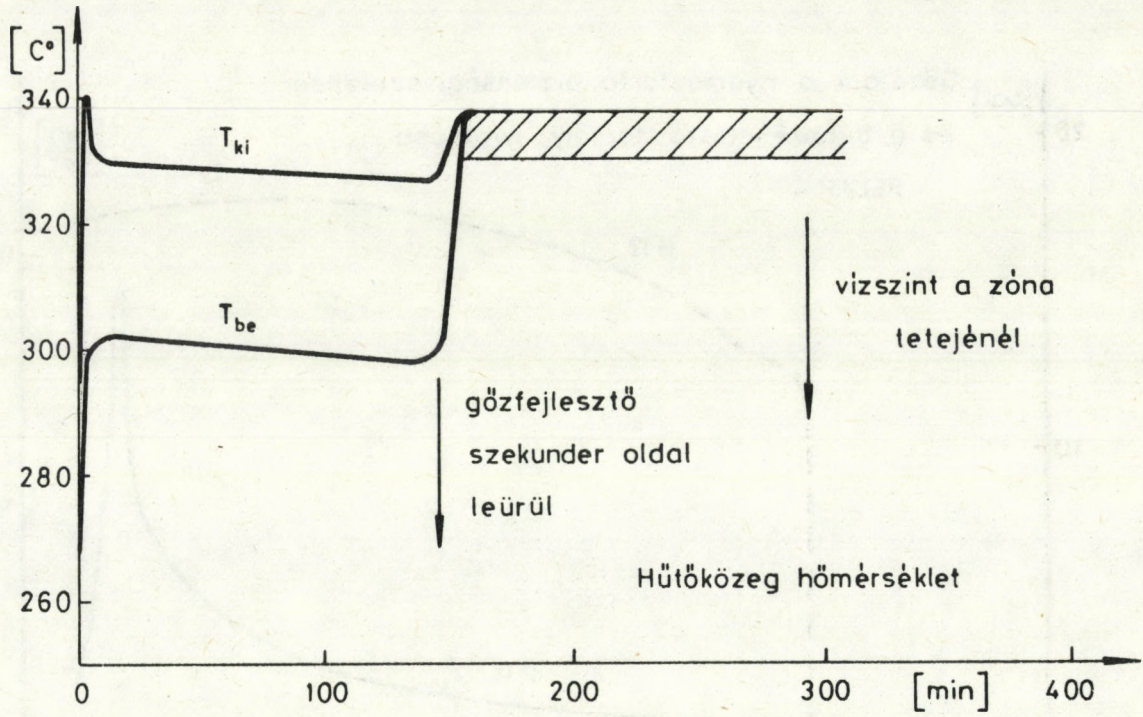




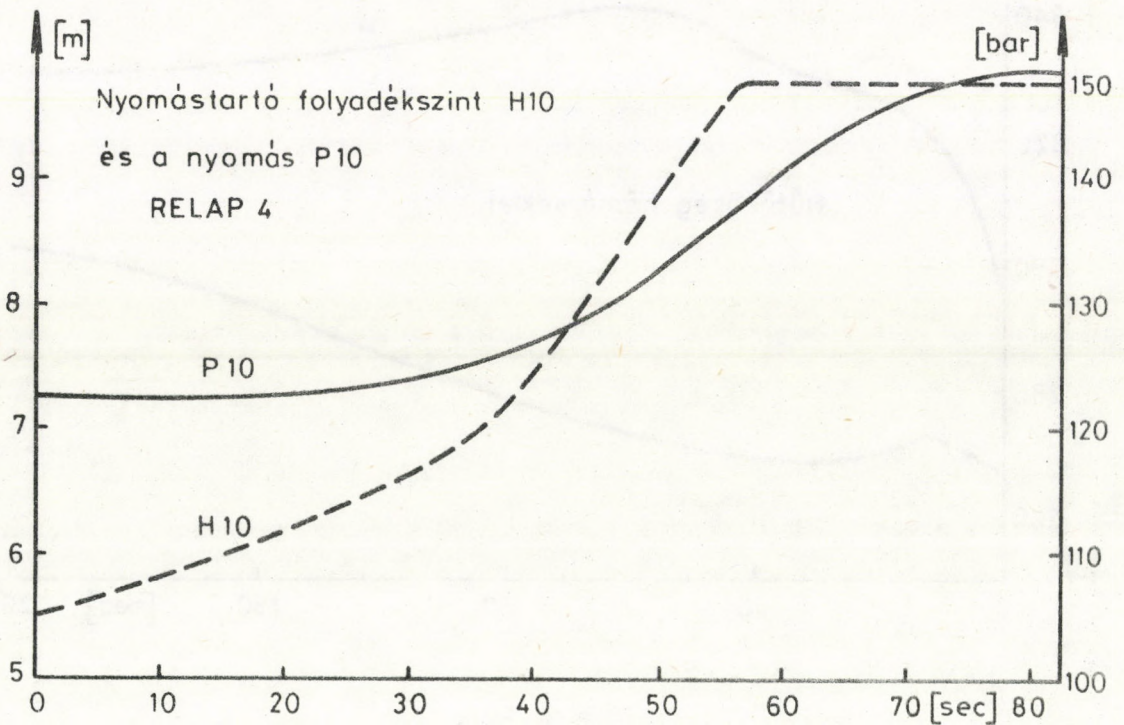
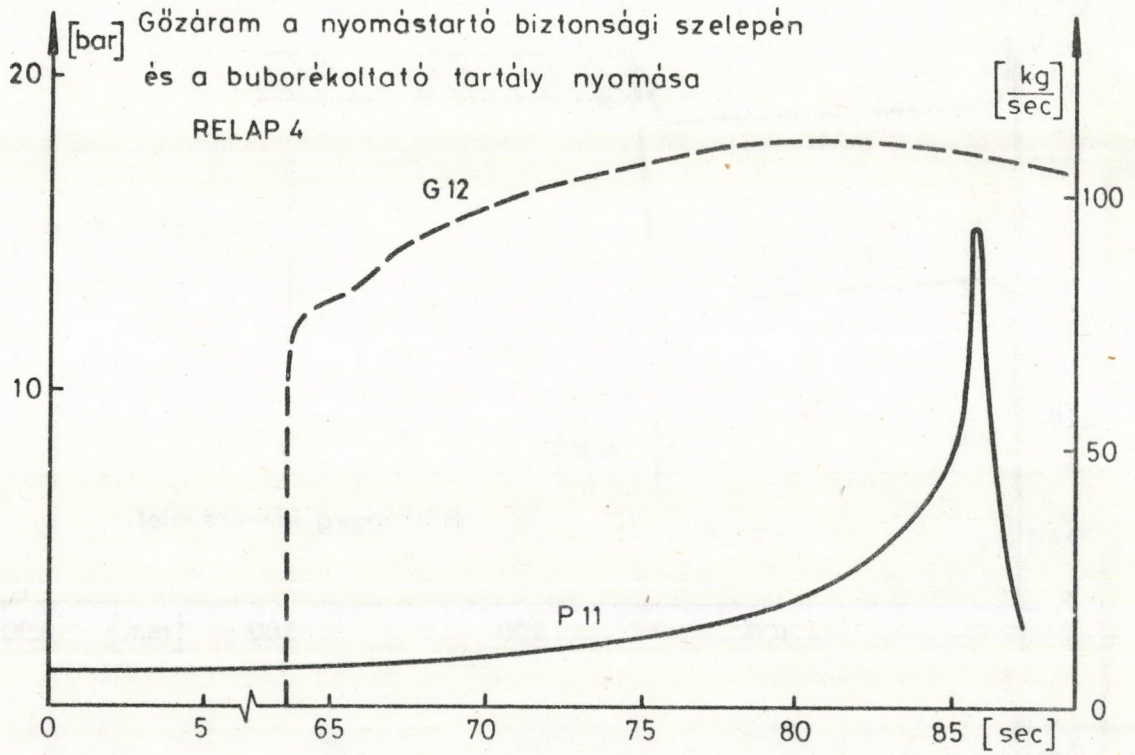
3. 6. ábra



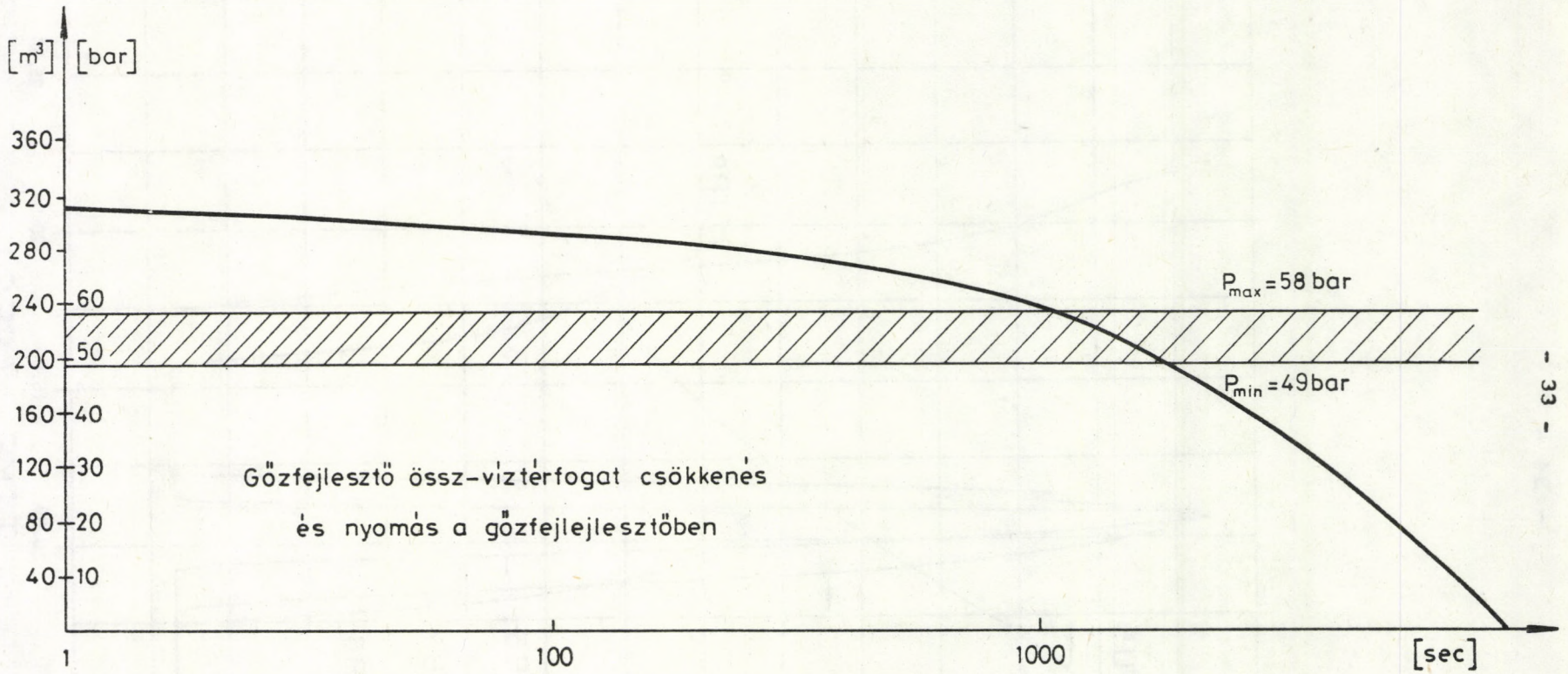
3. 7. ábra



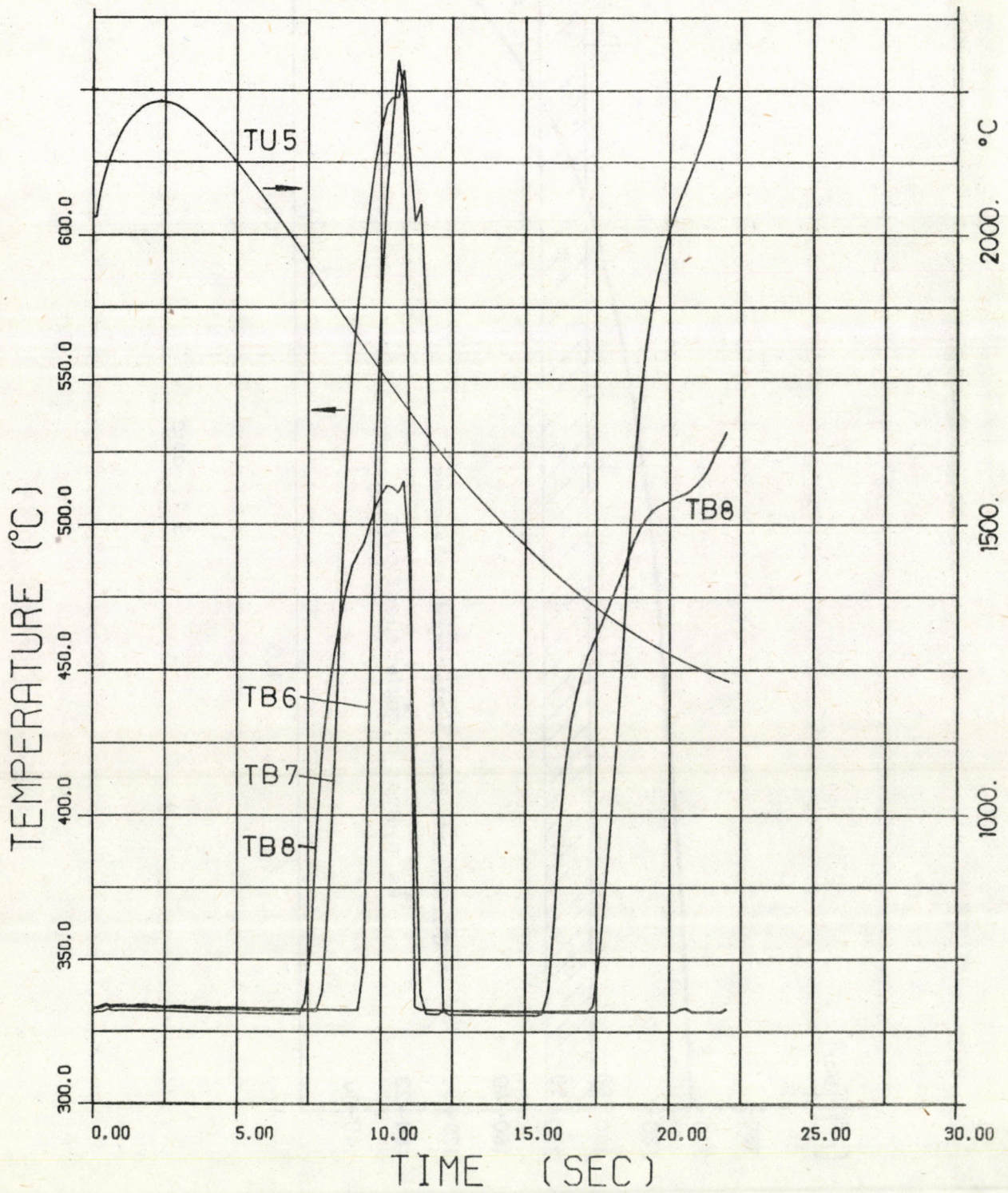
3. 8. ábra



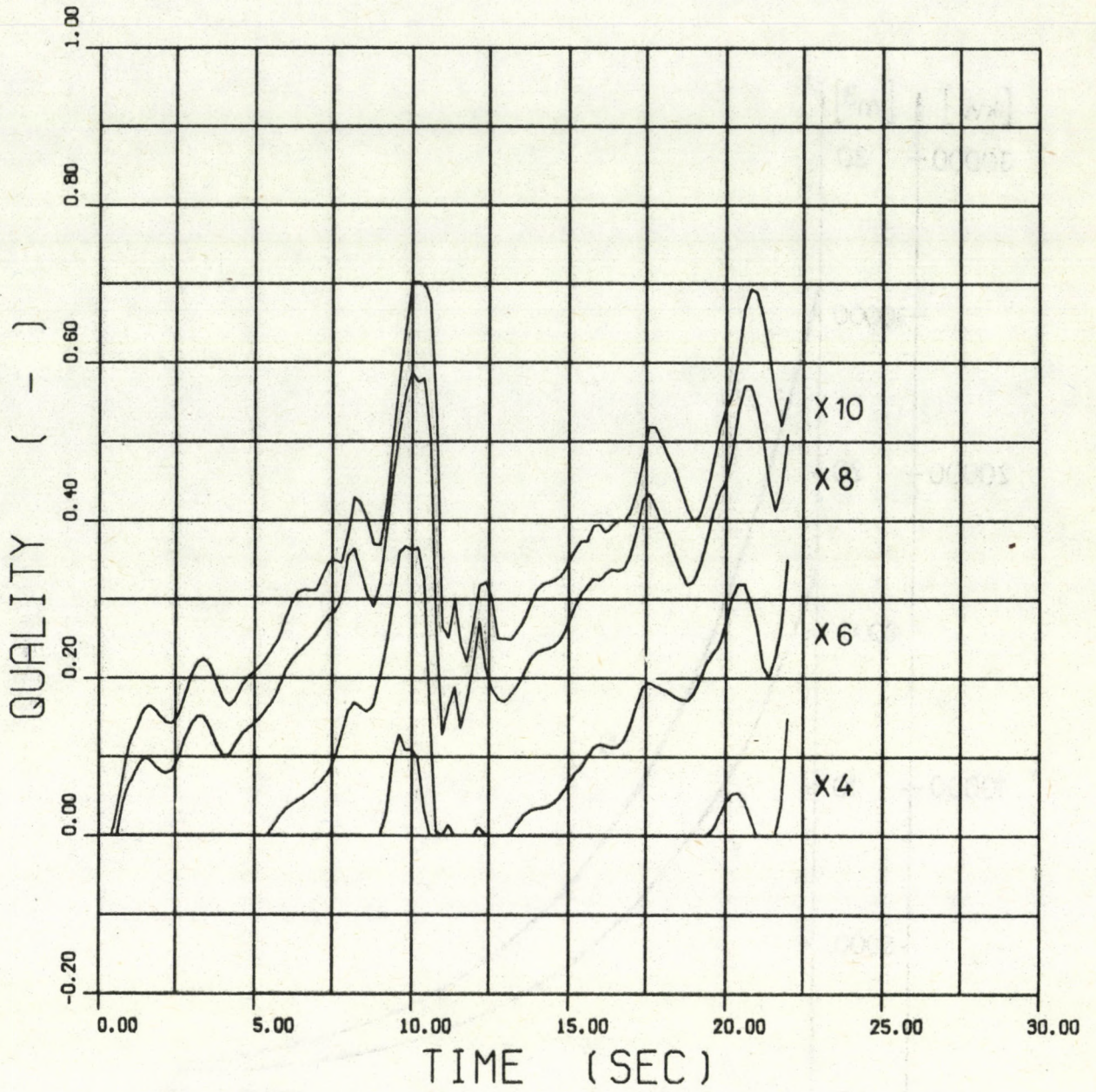
3. 9. ábra



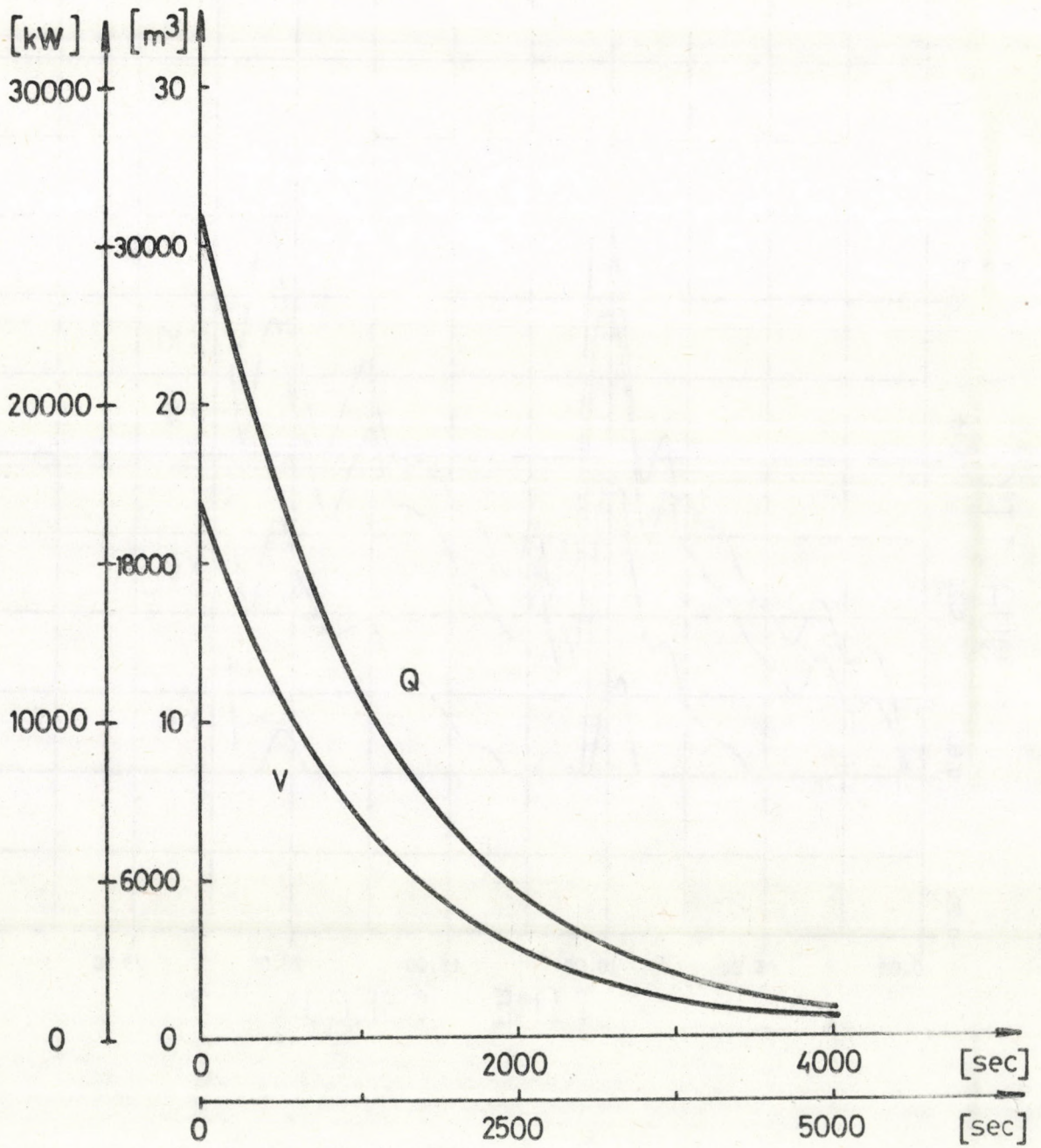
3. 10. ábra



3.11. ábra

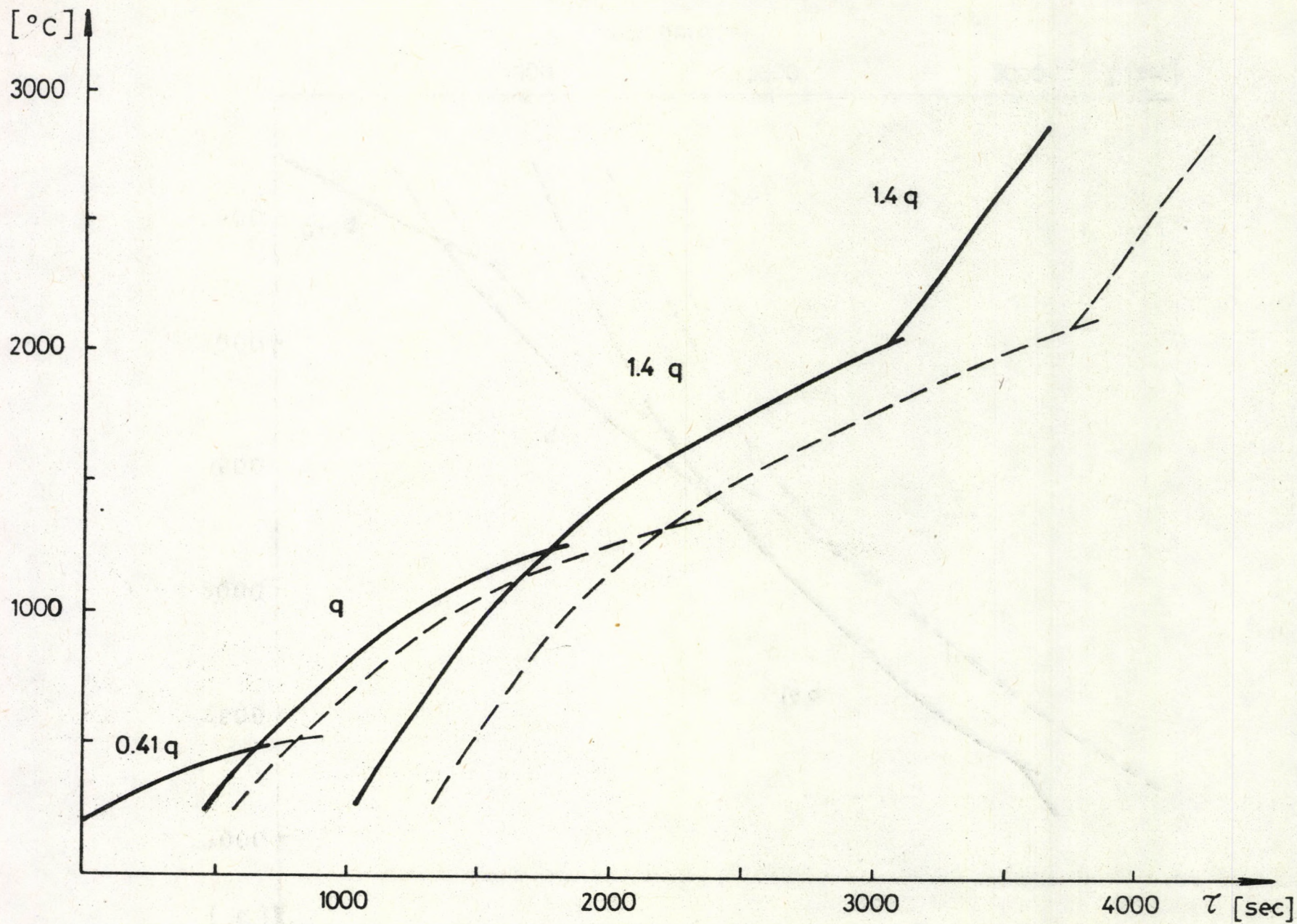


3.12. ábra

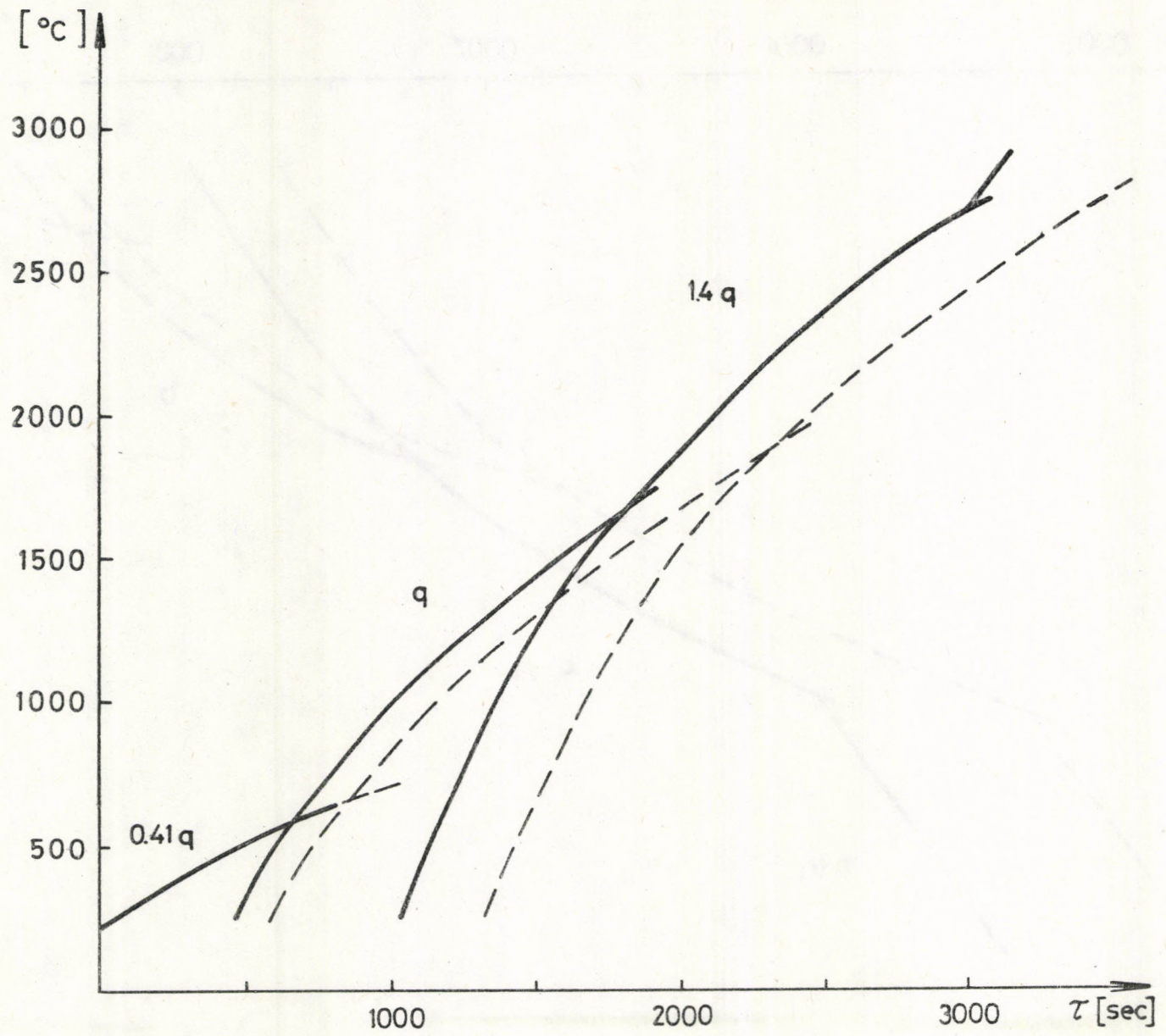


3.13. ábra

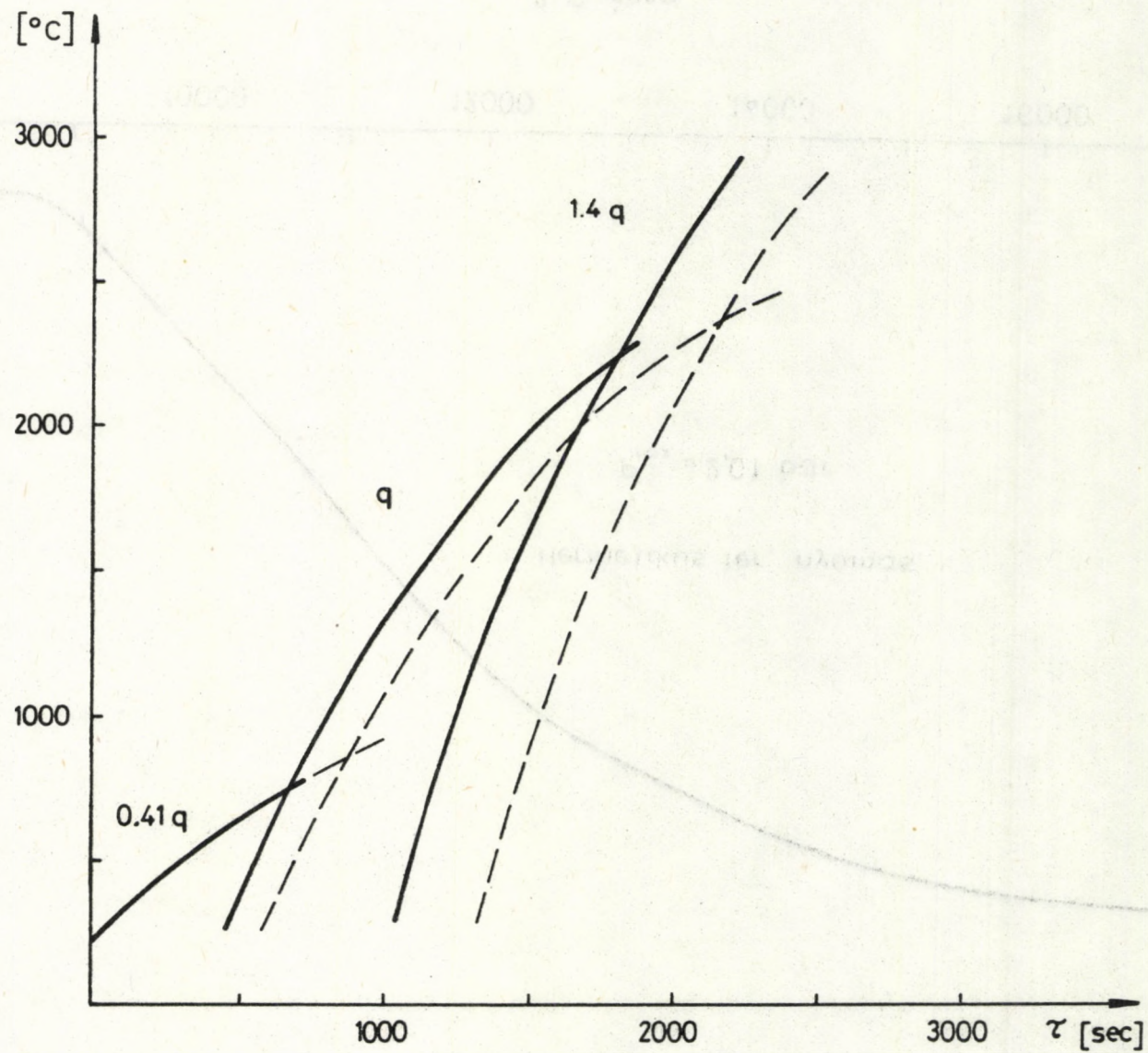




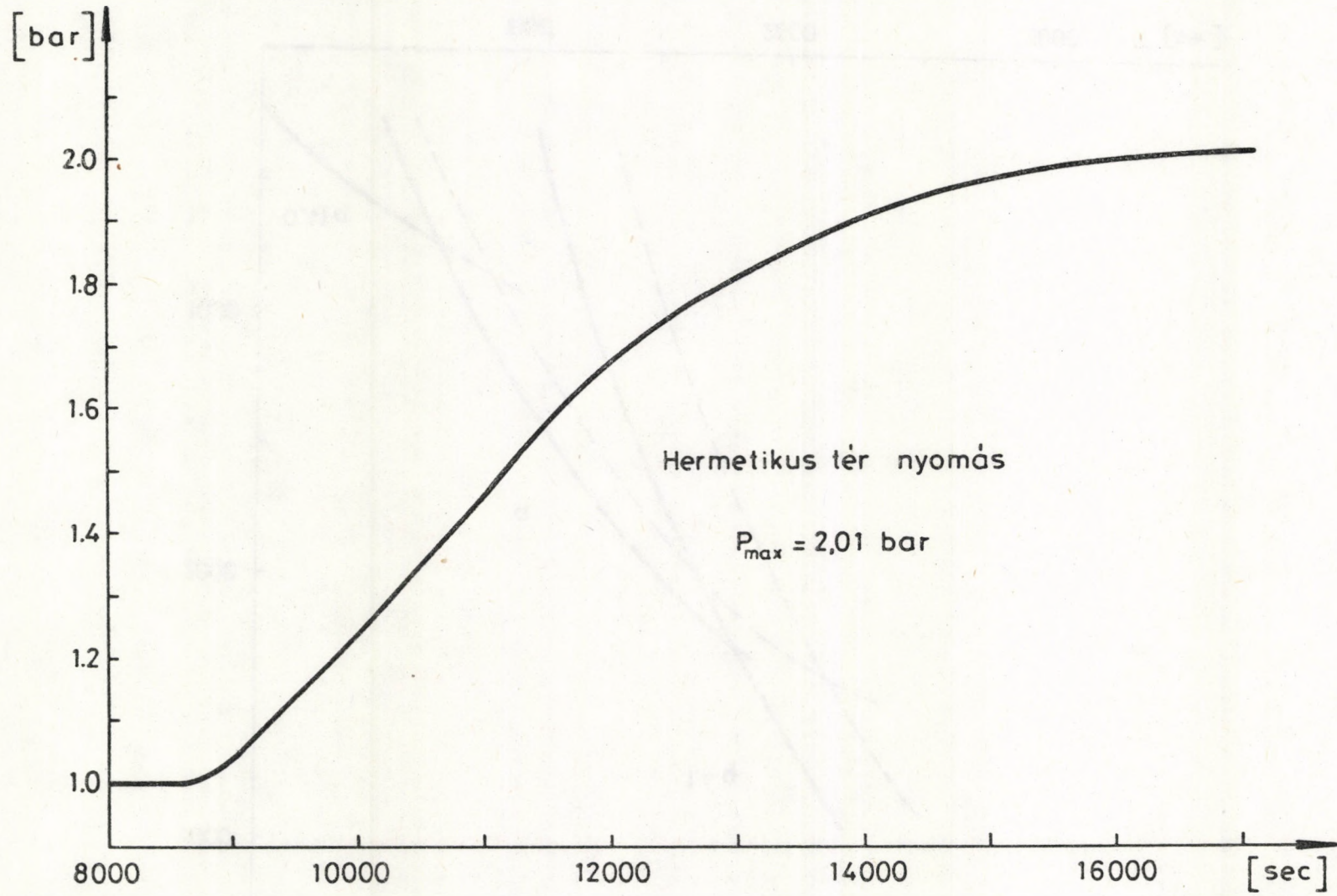
3.14. ábra



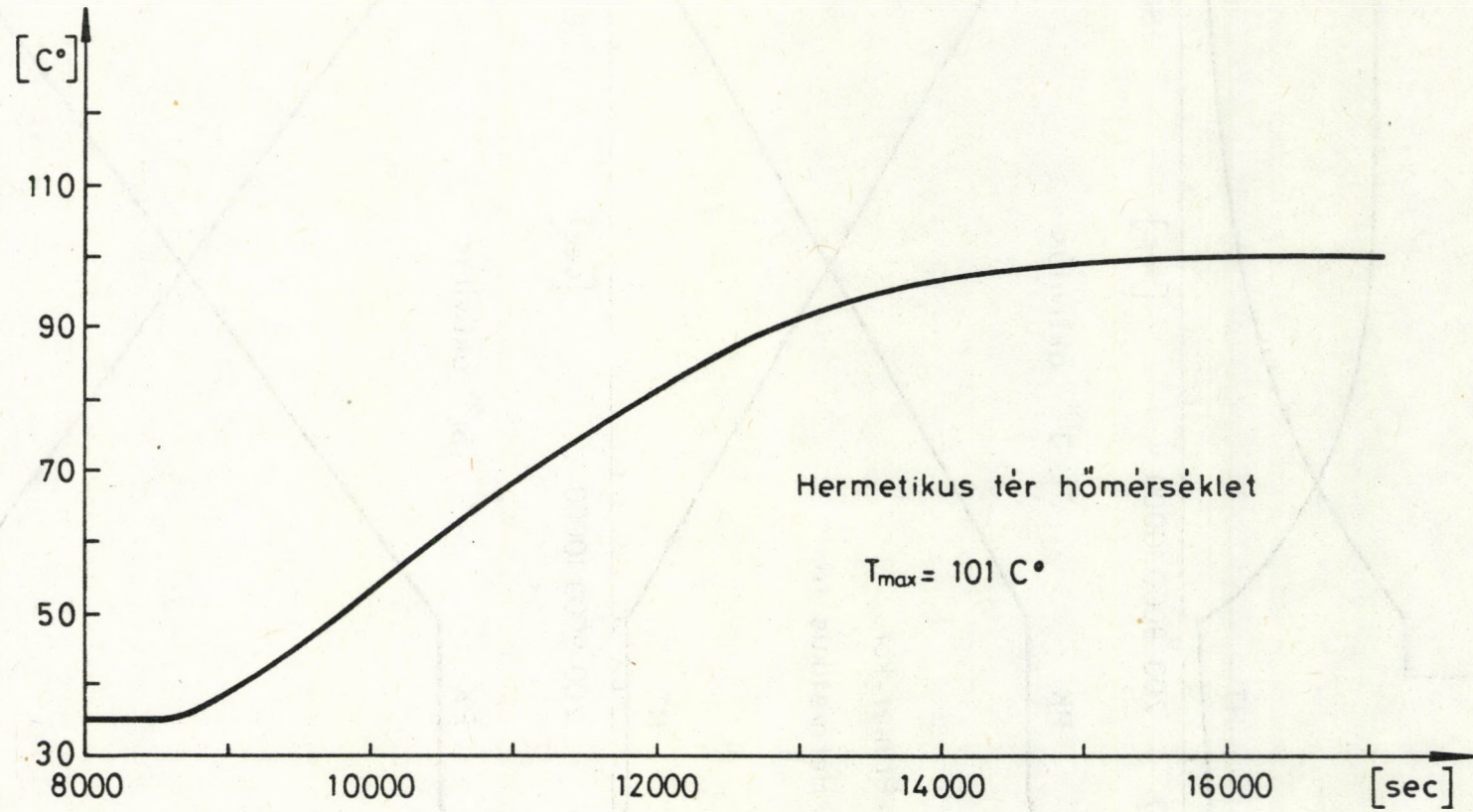
3.15. ábra



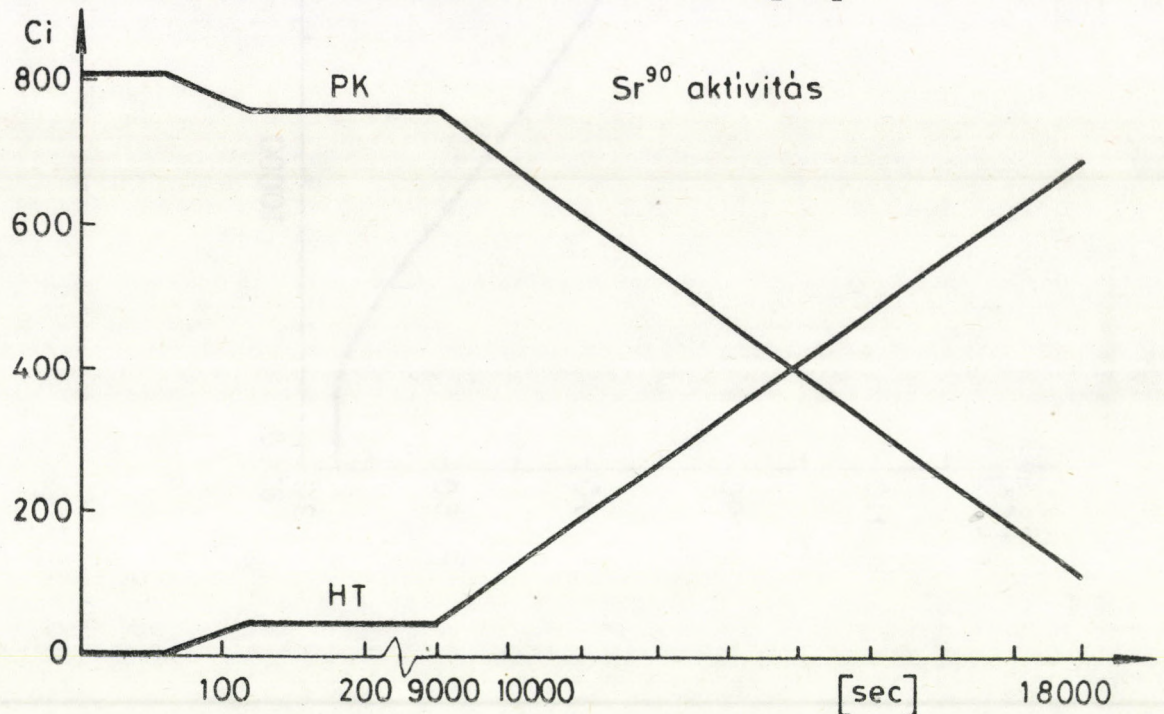
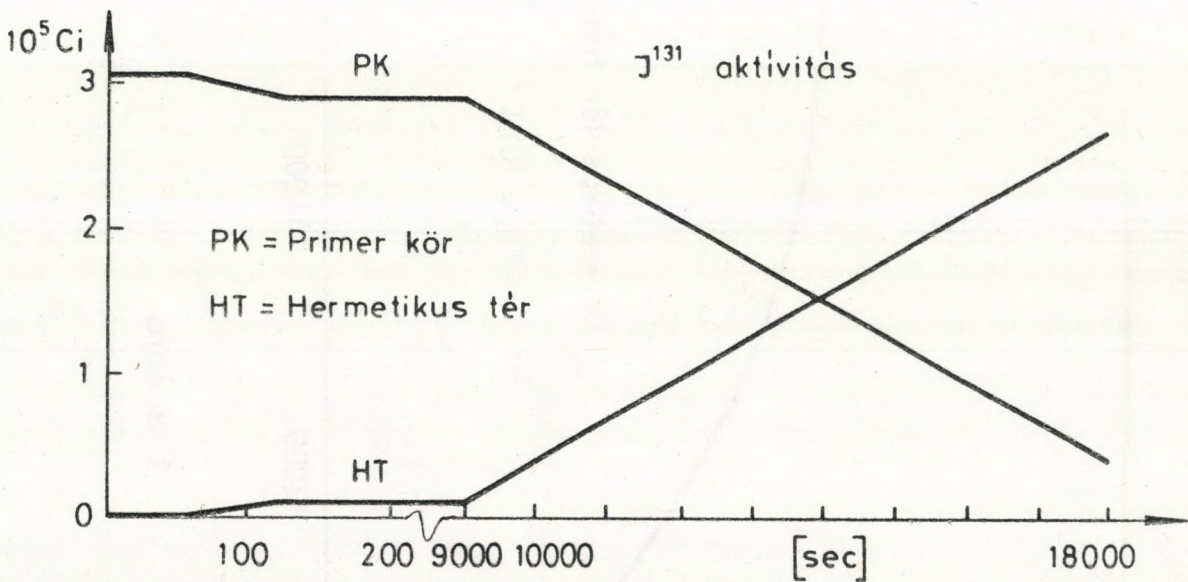
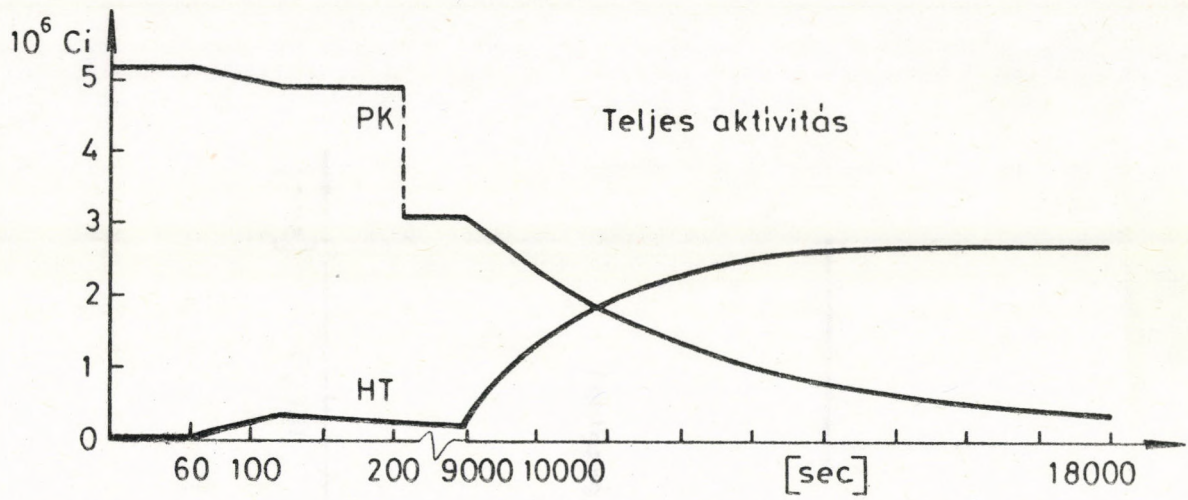
3.16. ábra



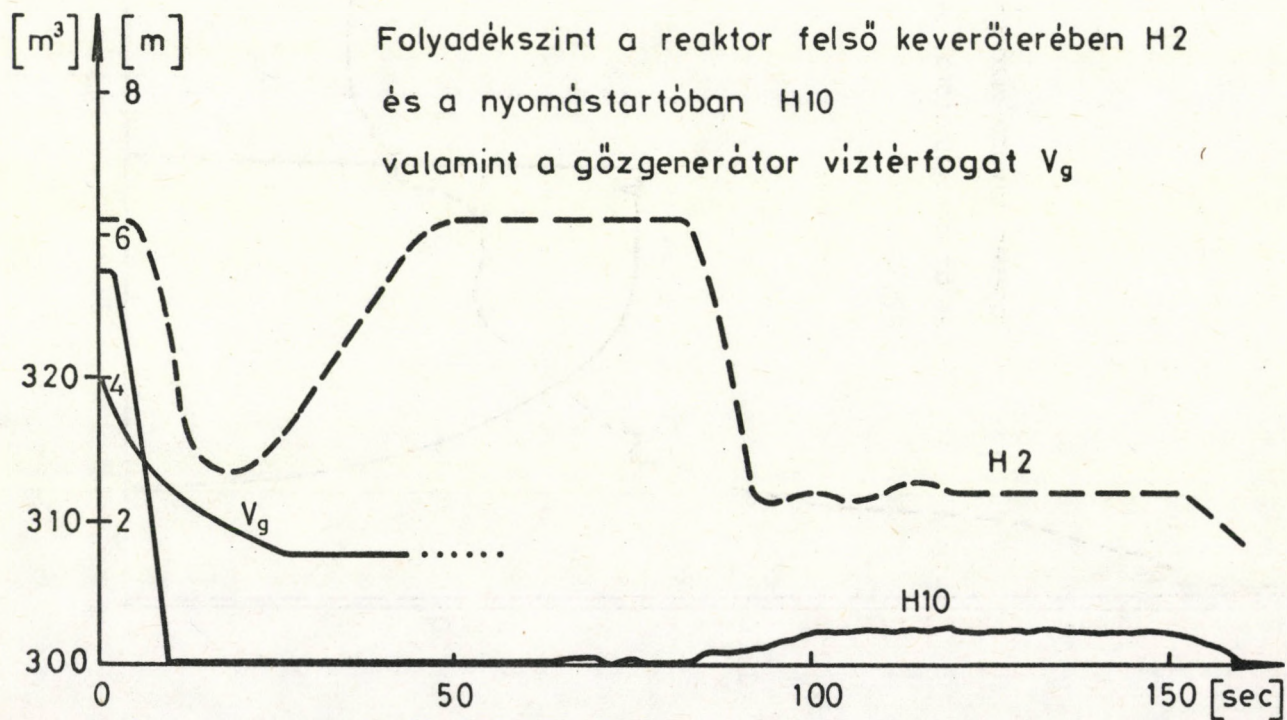
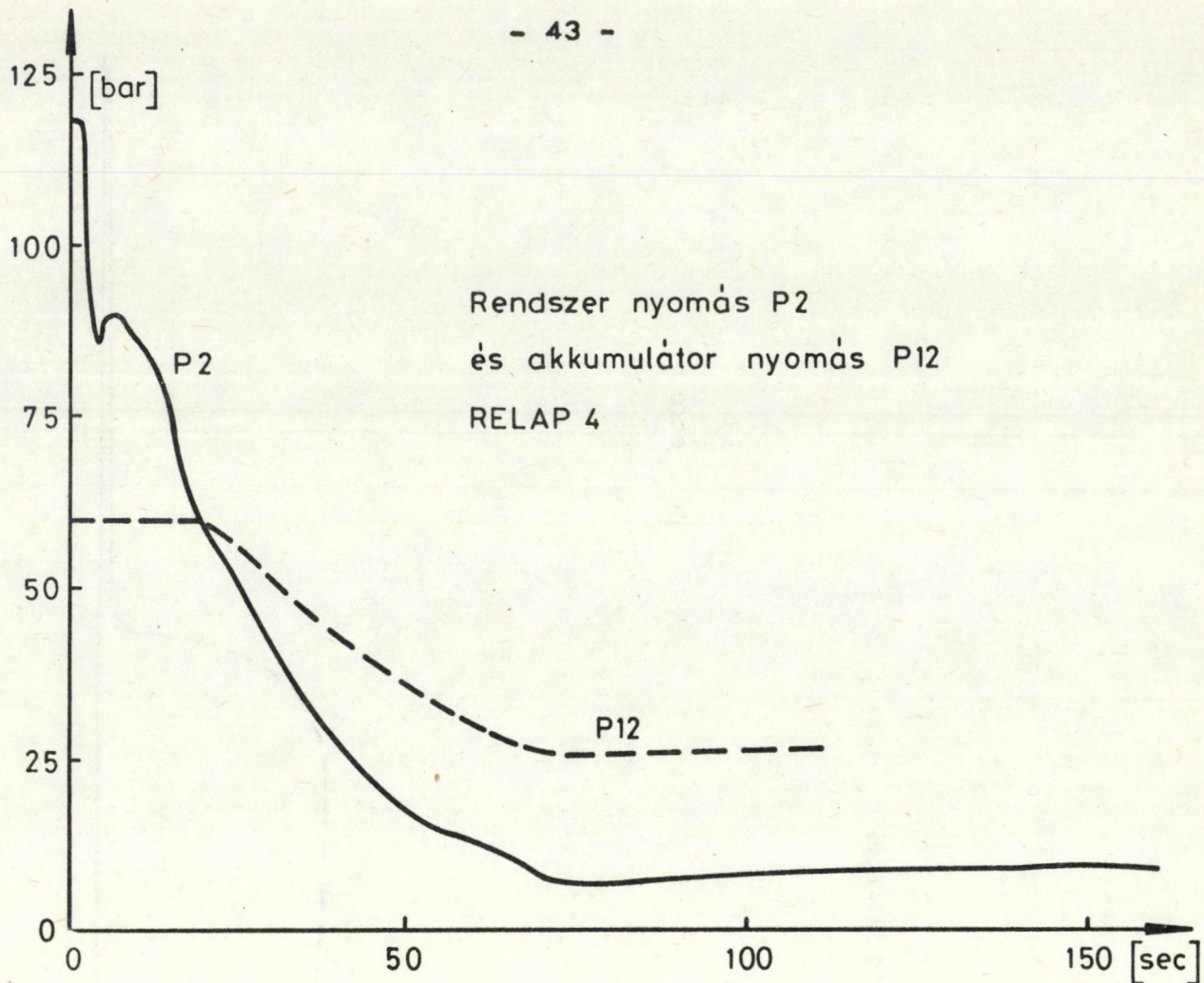
3.17. ábra



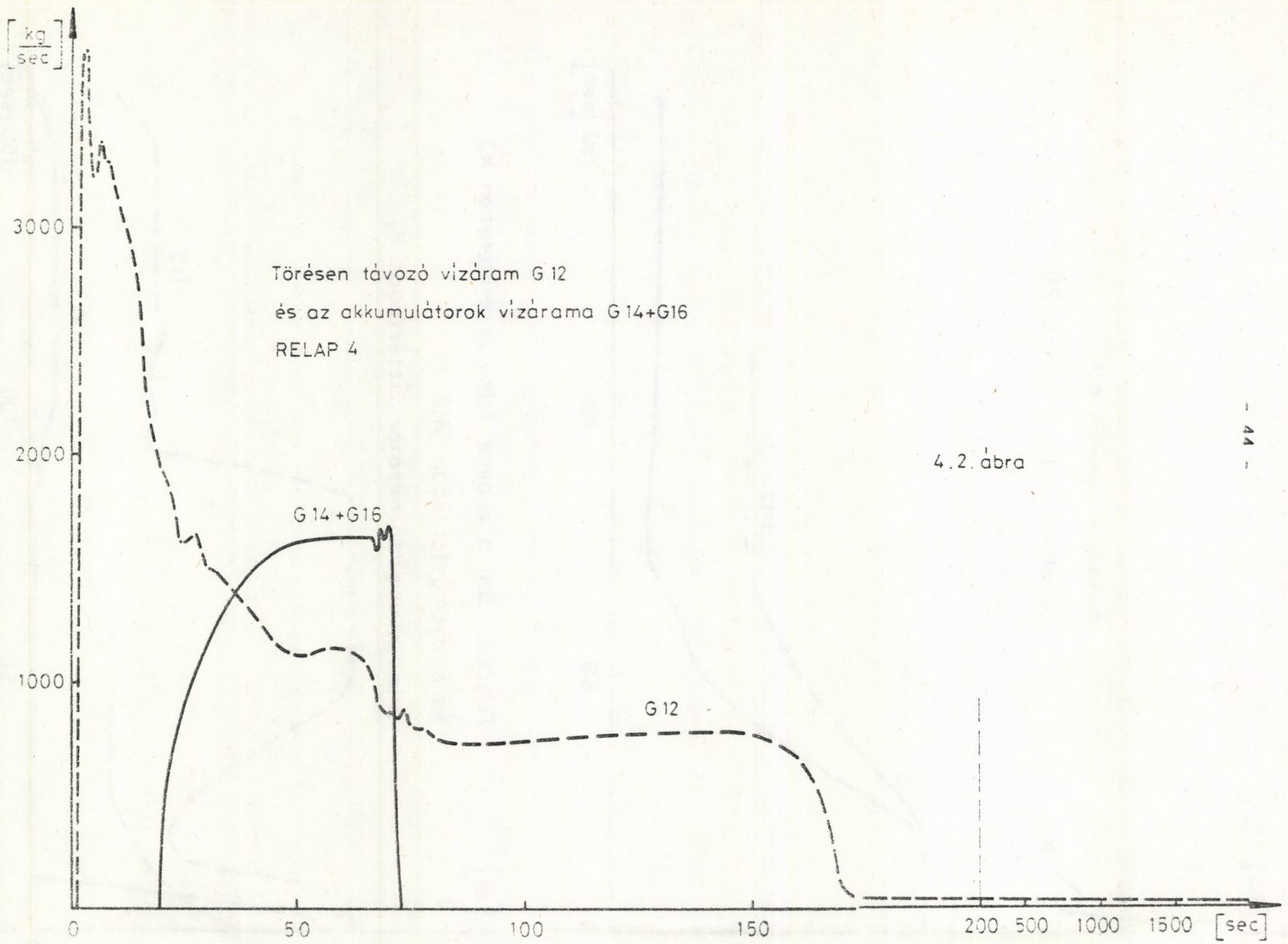
3. 18. ábra



3.19. ábra



4. 1. ábra



[ kg  
sec ]

3000

2000

1000

0

50

100

150

200

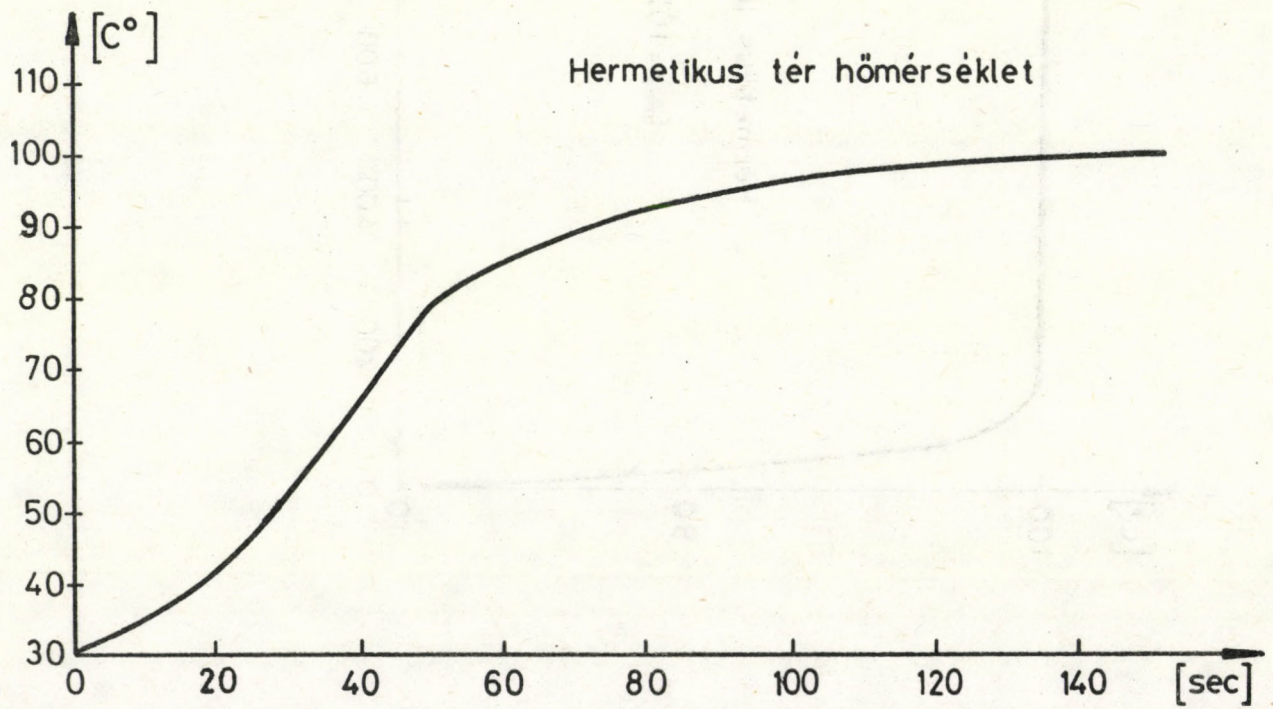
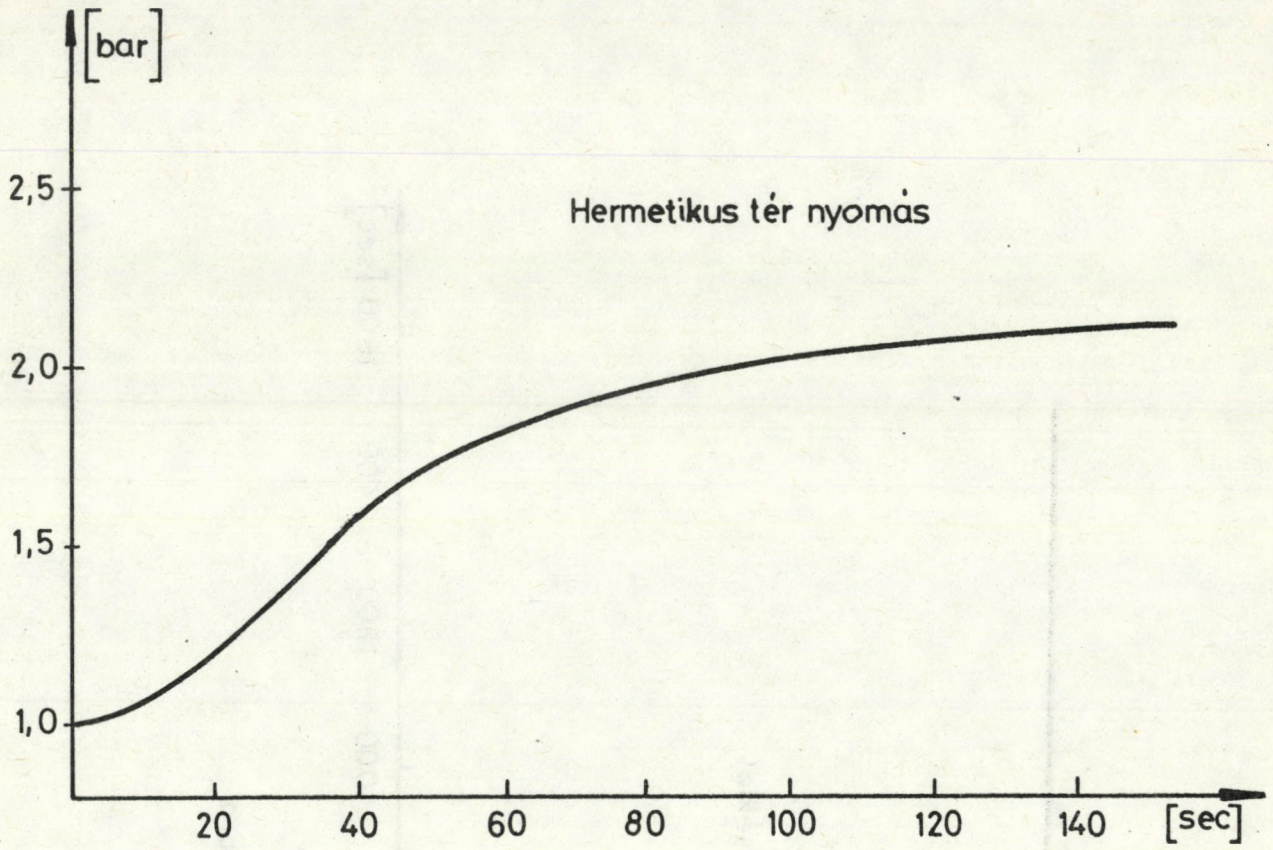
500

1000

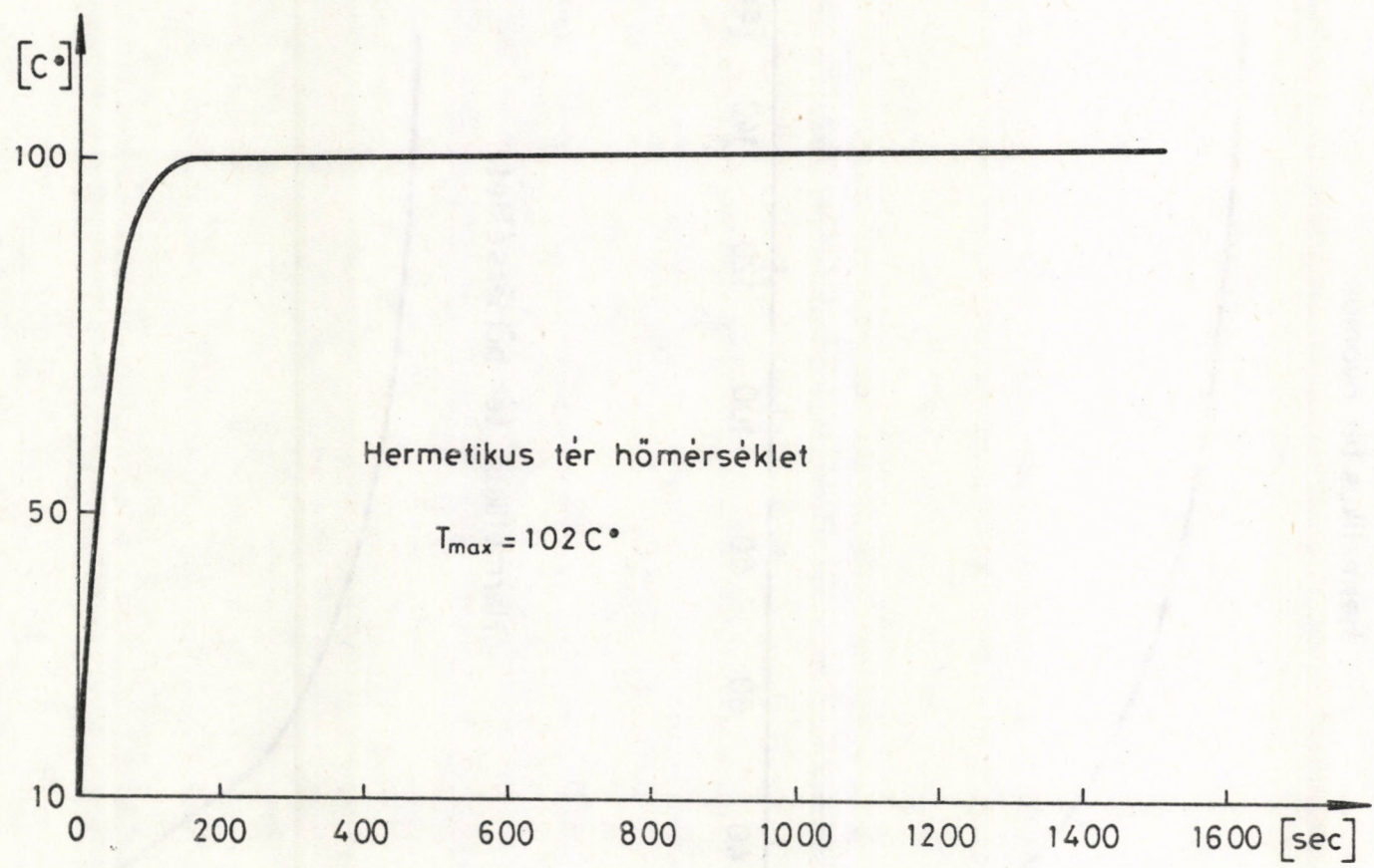
1500

[ sec ]

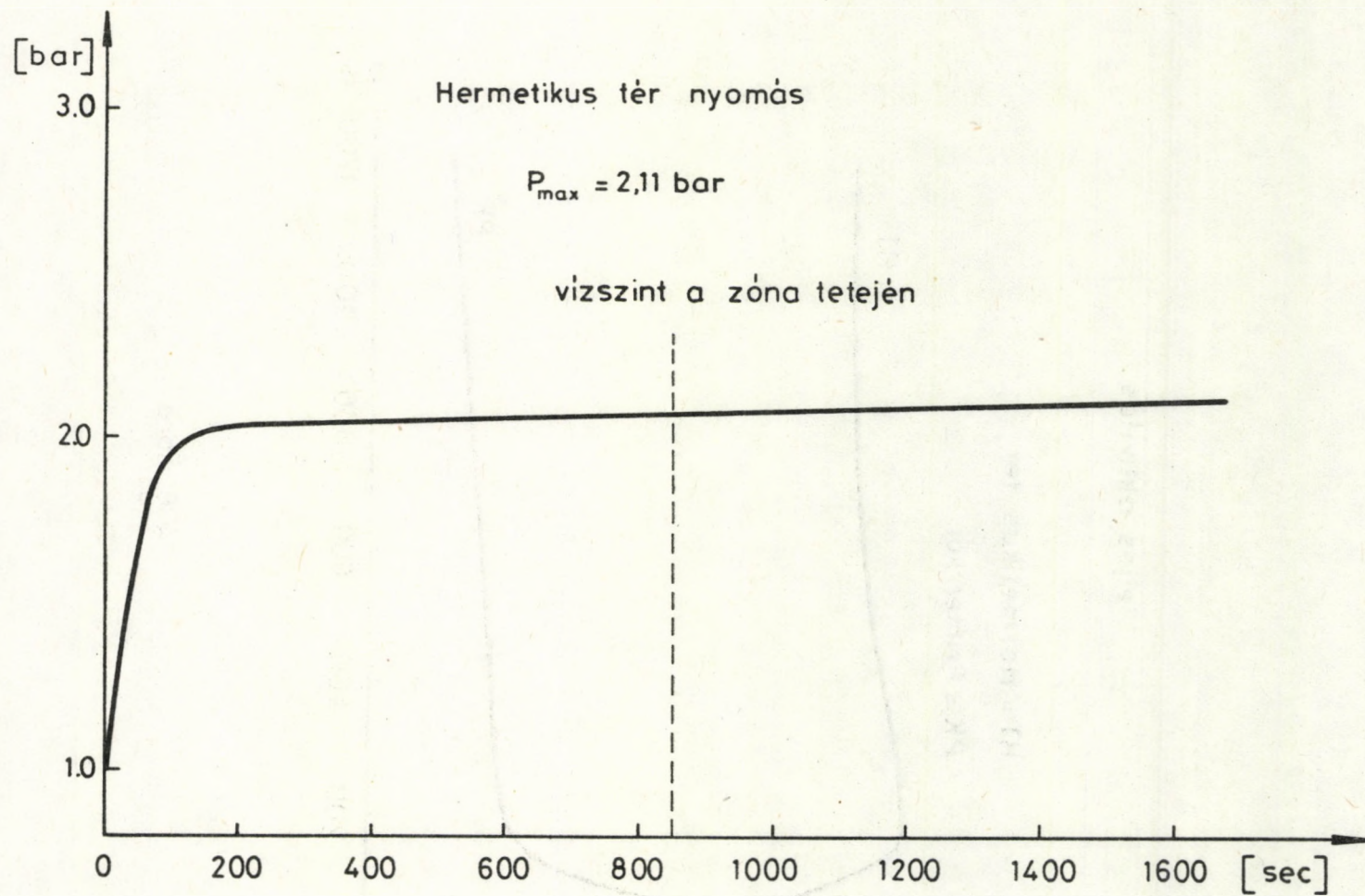




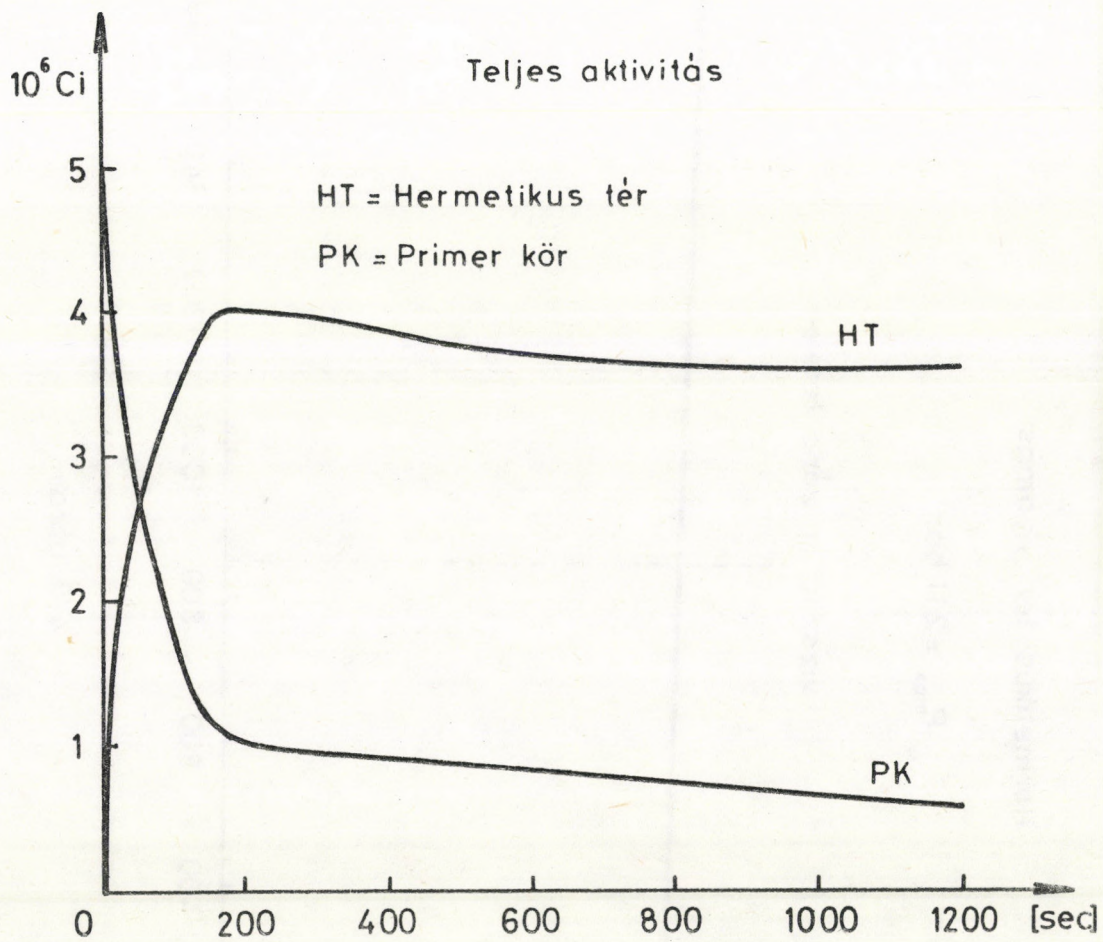
4.3 ábra



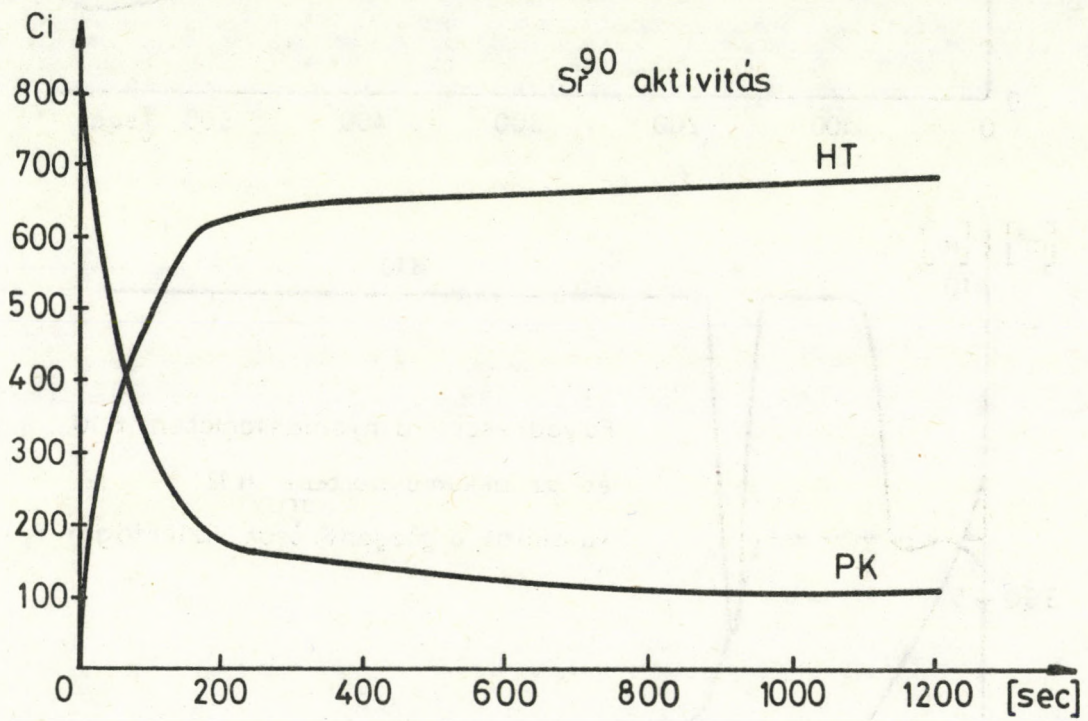
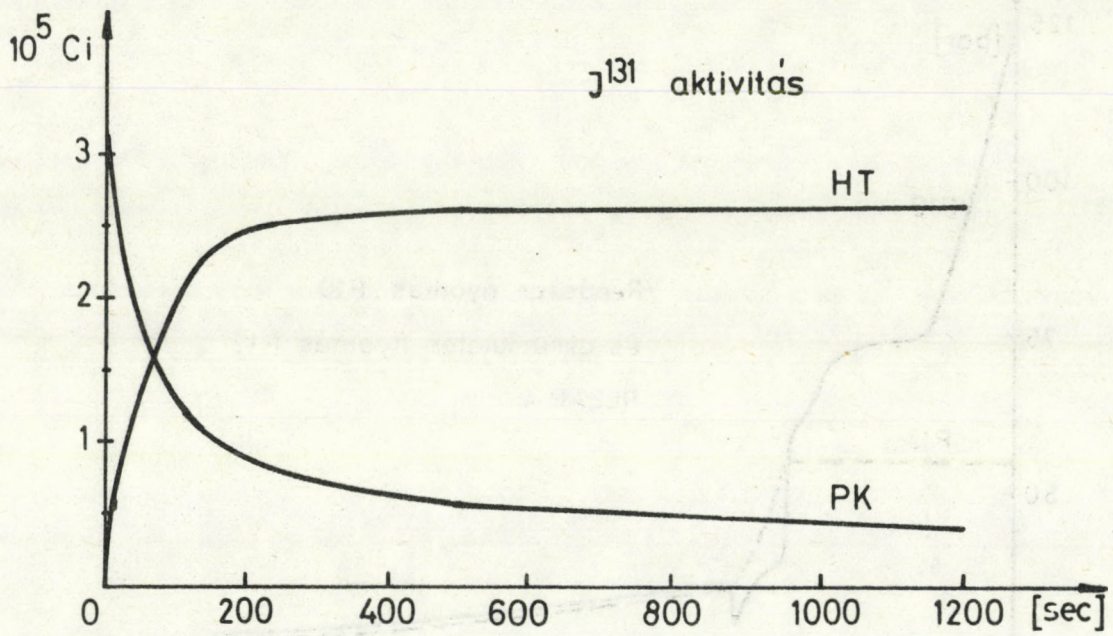
4.4. ábra



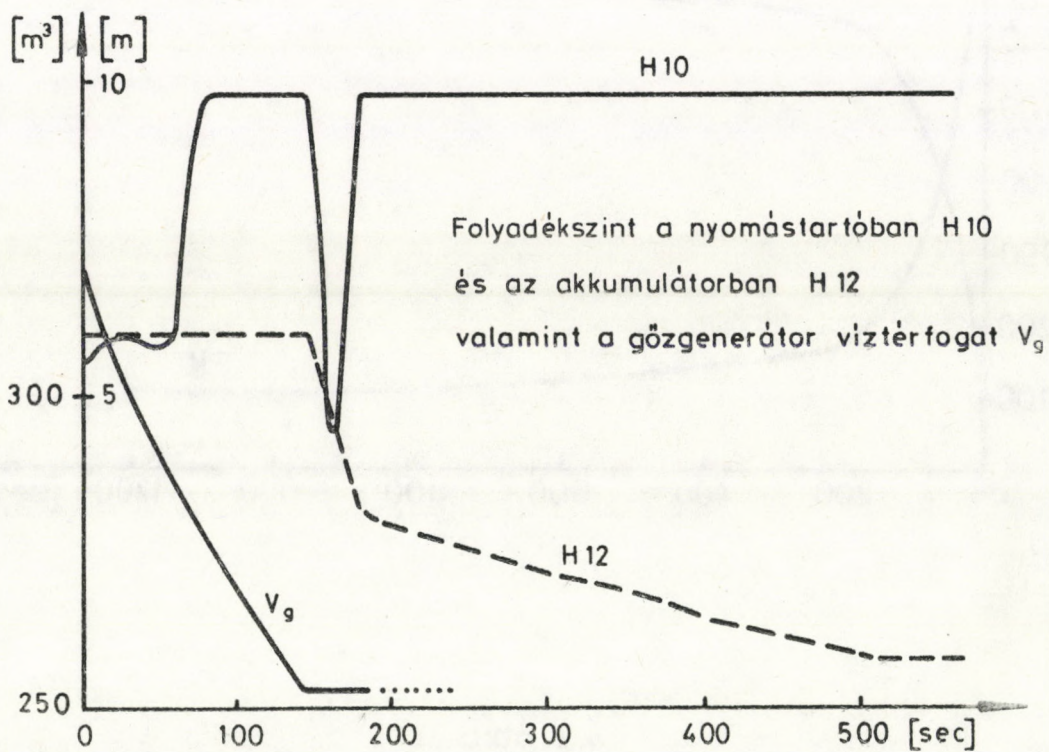
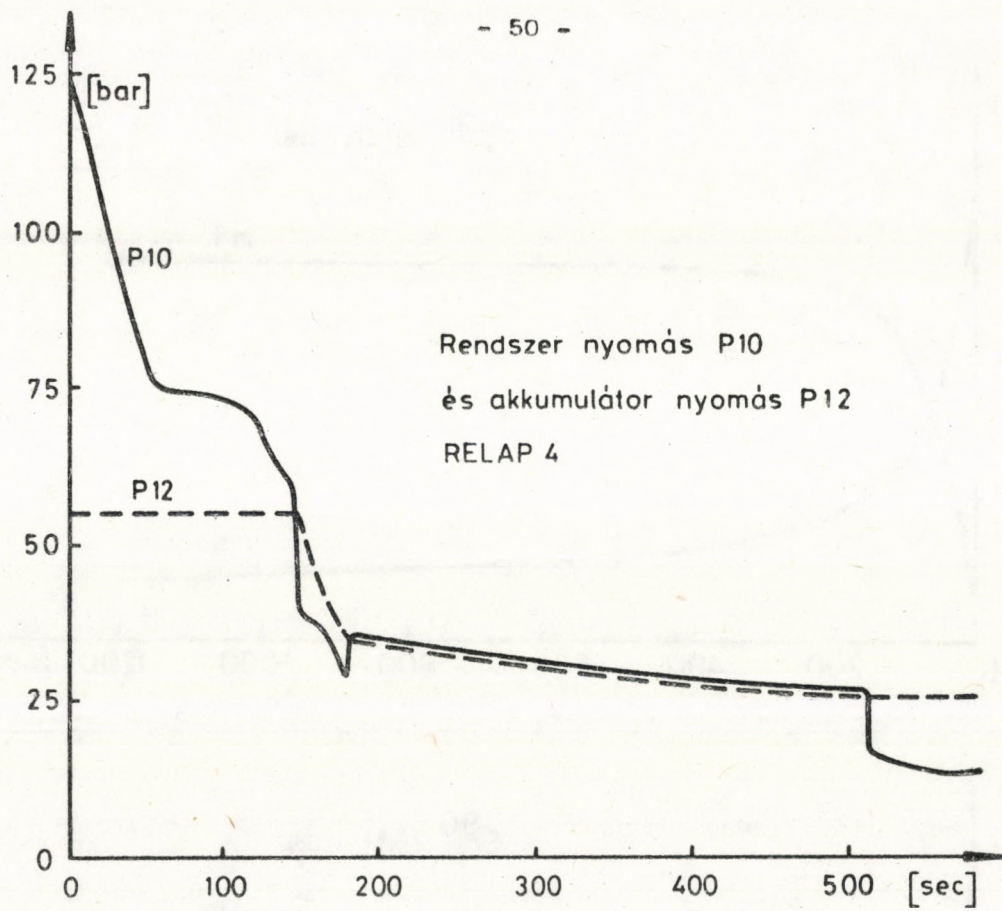
4.5. ábra



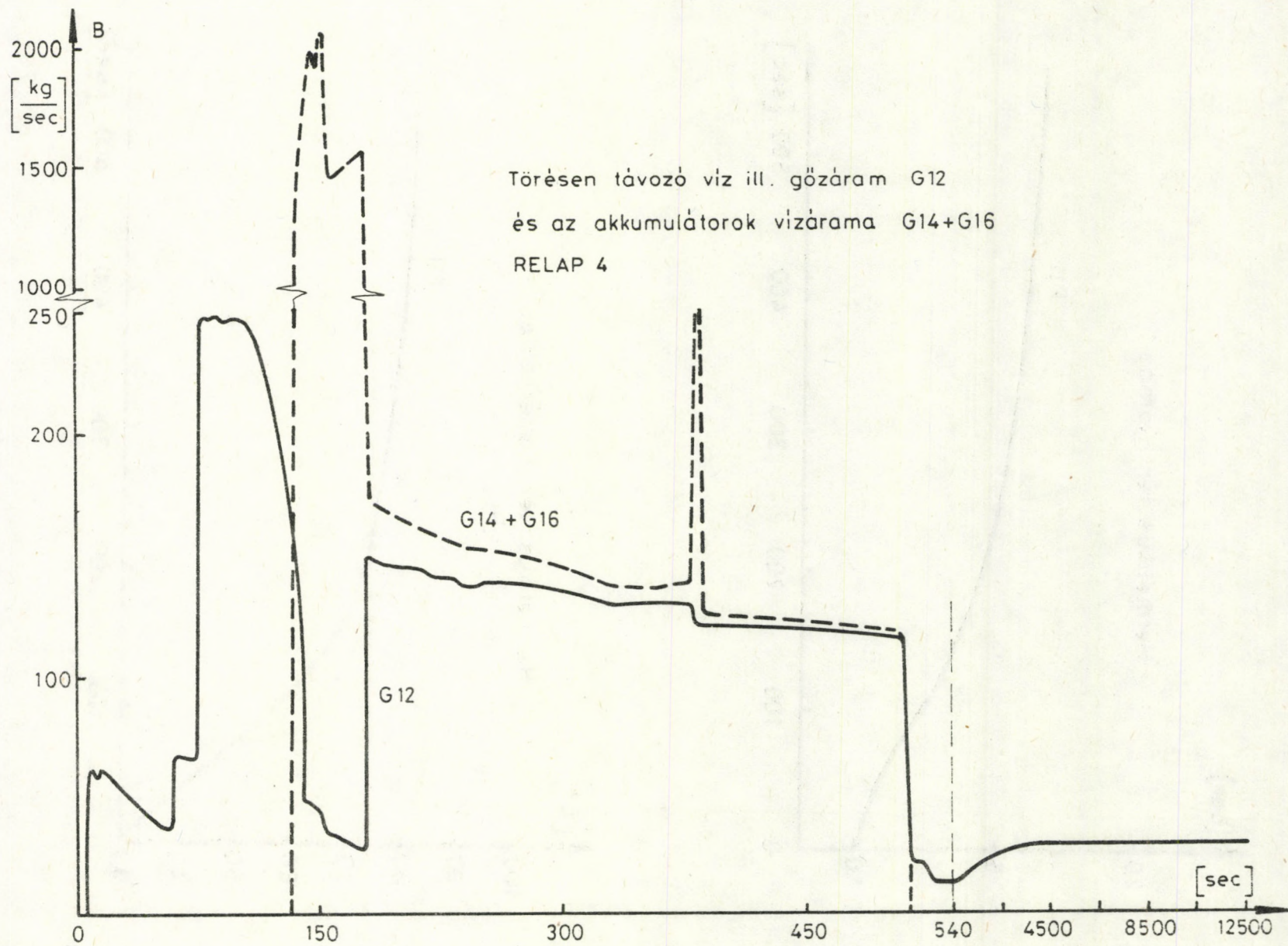
4.6. ábra



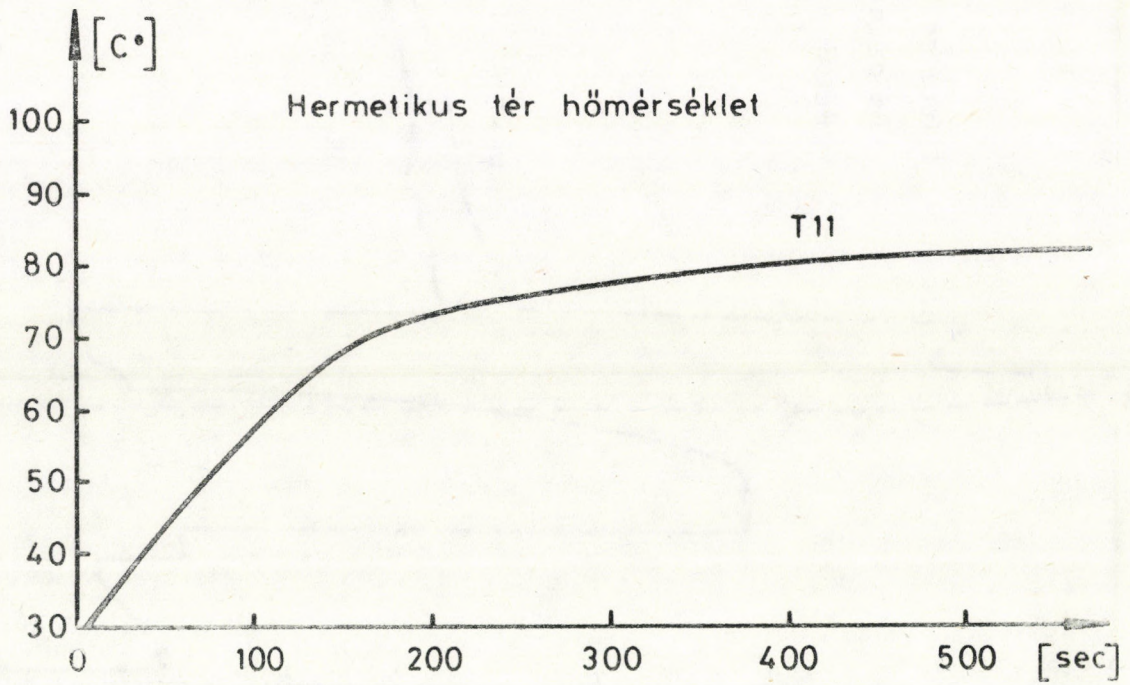
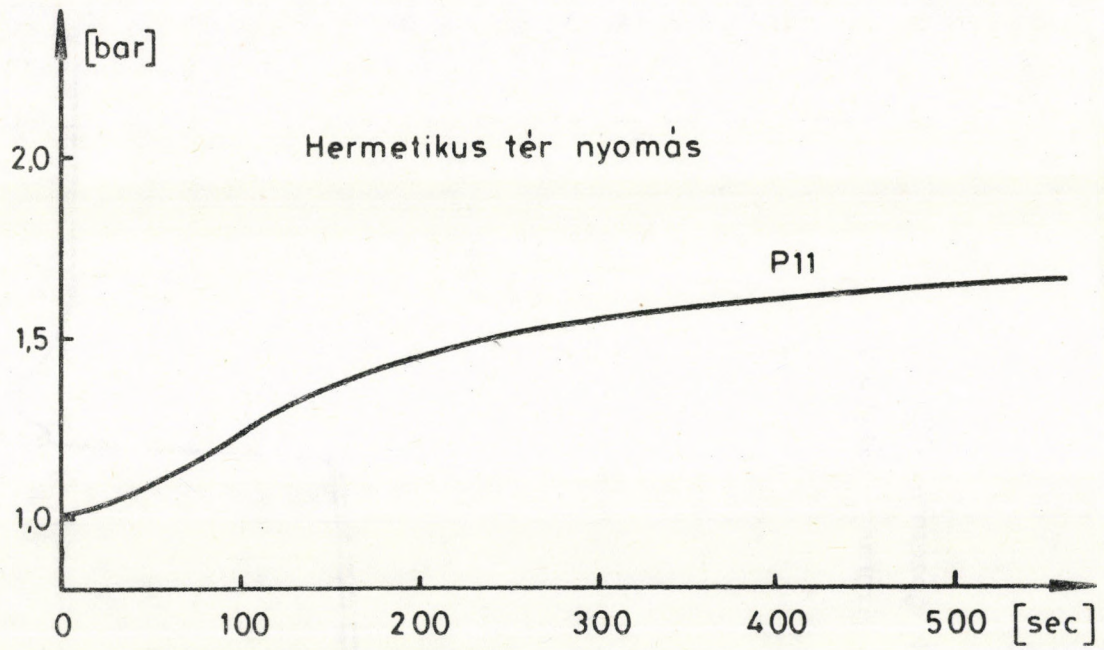
4.7 ábra



5.1. ábra

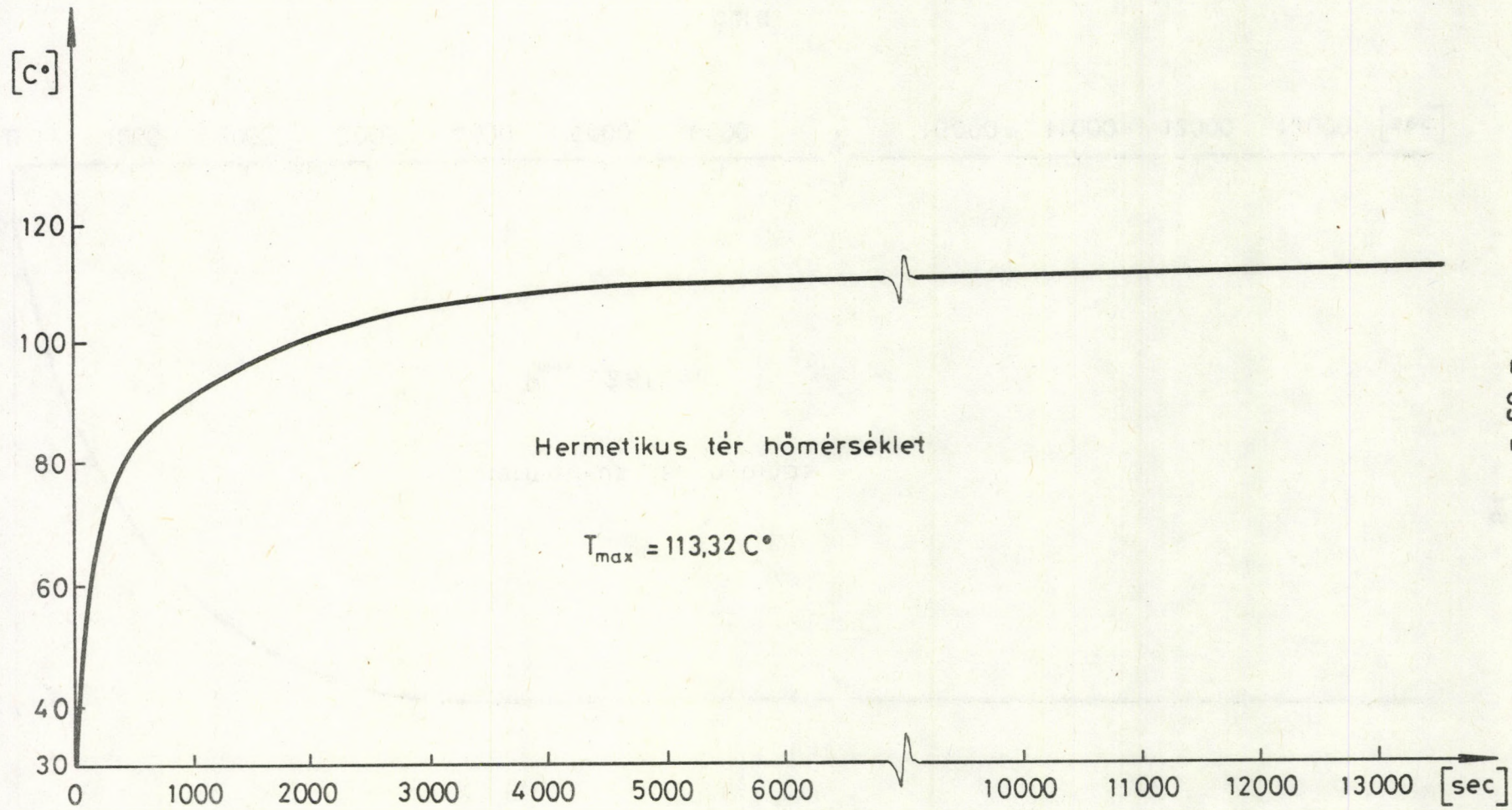


5. 2. ábra



5. 3. ábra

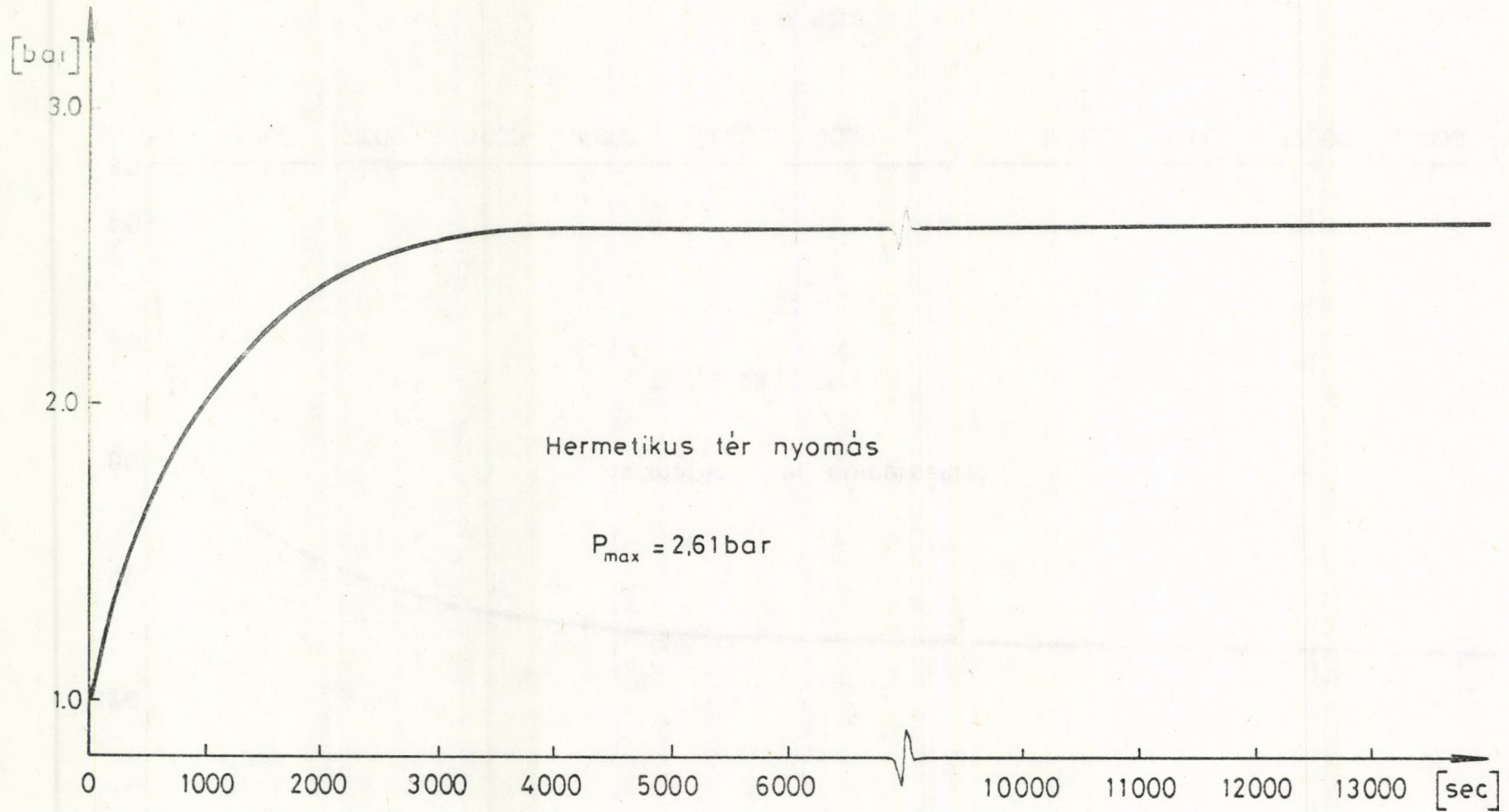




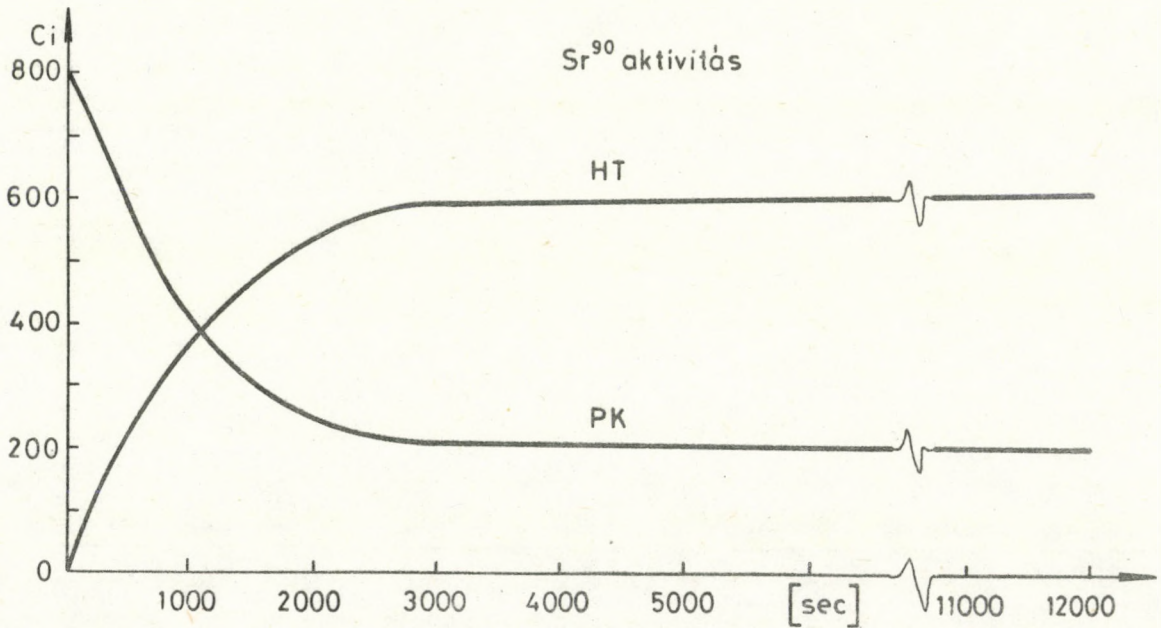
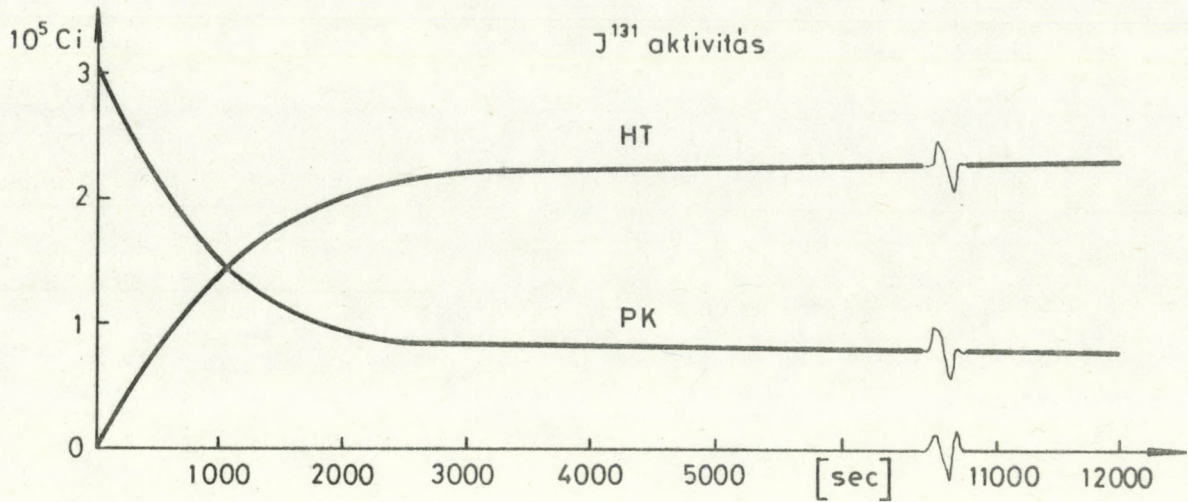
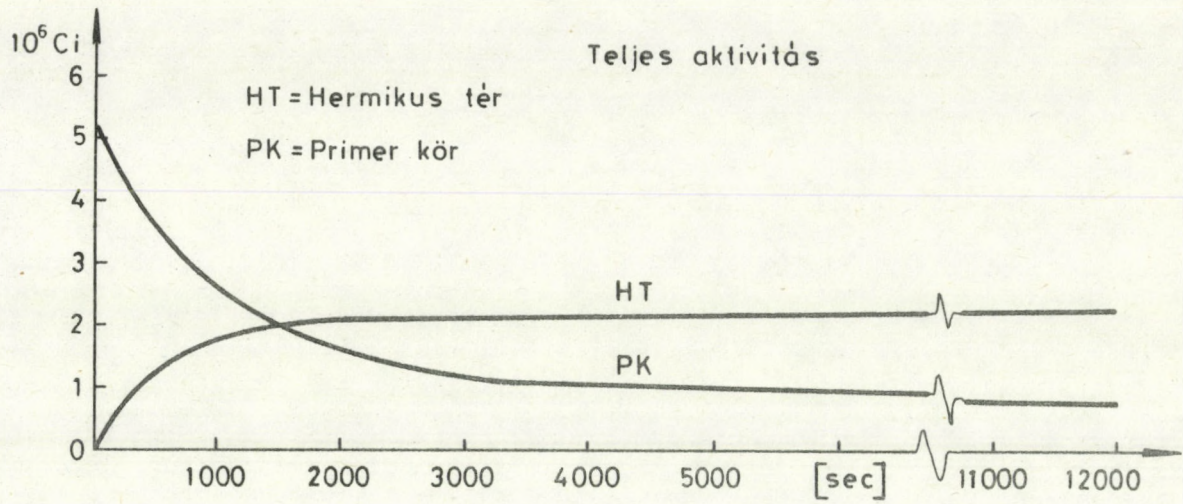
Hermetikus tér hőmérséklet

$$T_{max} = 113,32 C^{\circ}$$

5.4. ábra



5.5. ábra

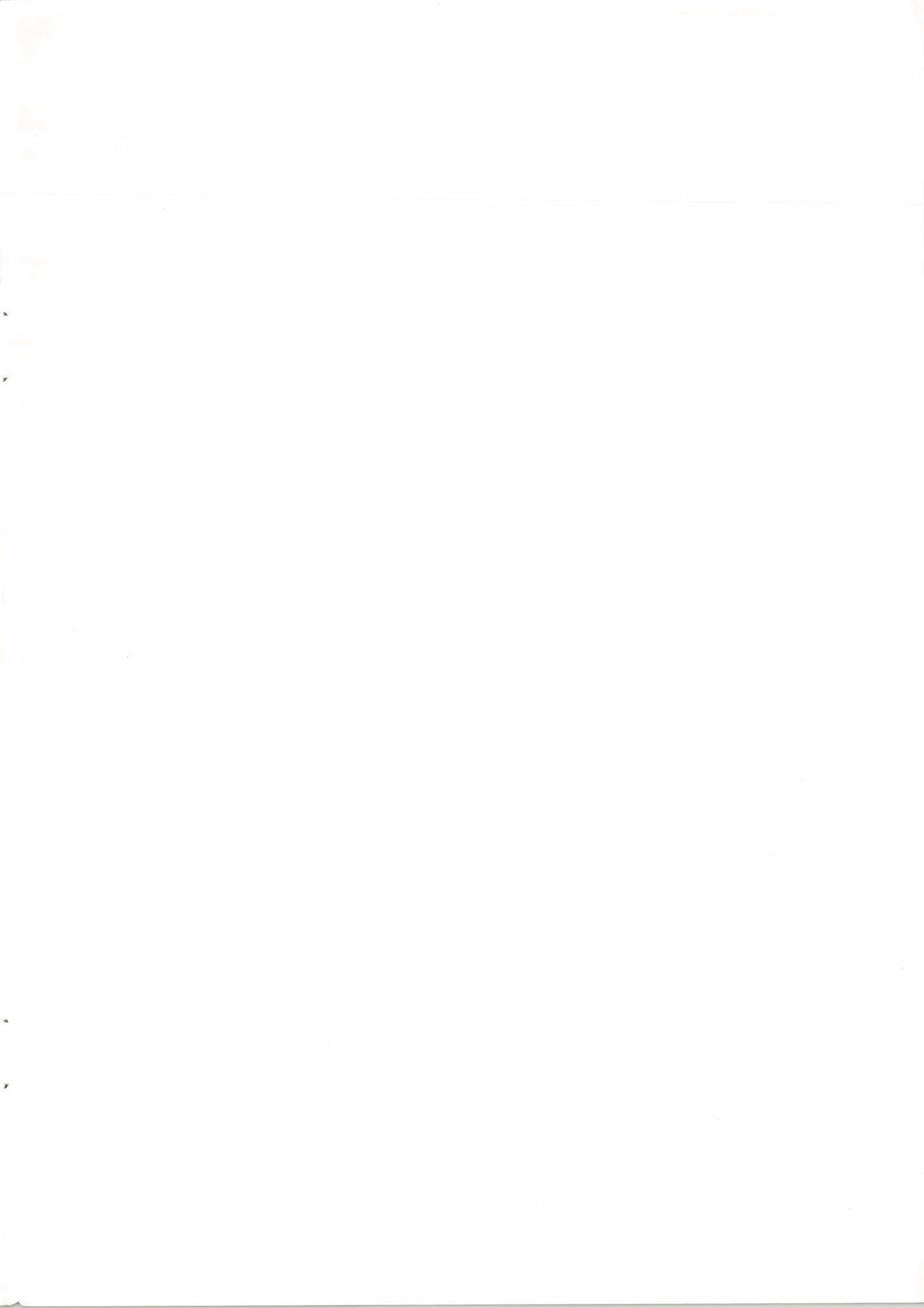


5. 6. ábra









65278



Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet  
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán  
Szakmai lektor: Gadó János  
Példányszám: 50 Törzsszám: 82-64  
Készült a KFKI sokszorosító üzemében  
Felelős vezető: Nagy Károly  
Budapest, 1982. január hó