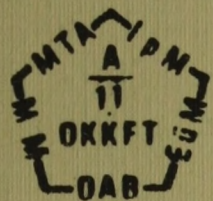


ORSZÁGOS KÖZÉPTÁVÚ KUTATÁSI-FEJLESZTÉSI TERV



AZ ATOMERŐMŰVEK BIZTONSÁGOS ÜZEMELTETÉSÉT
SZOLGÁLÓ KUTATÁSI-FEJLESZTÉSI FELADATOK

PK-007

2.1.1

A PMK-NVH BERENDEZÉS

KFKI

1981.



KFKI-1982-14

SZABADOS L.
MARÓTI L.
TÓTH I.
TROSZTEL I.
BABOTH P.
CSOM V.
PERNECZKY L.
WINDBERG P.

A PMK-NVH BERENDEZÉS

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

2017

11-10-17

A PMK-NVH BERENDEZÉS

SZABADOS L., MARÓTI L., TÓTH I., TROSZTEL I.,
BABÓTH P., CSOM V., PERNECZKY L., WINDBERG P.

Központi Fizikai Kutató Intézet
1525 Budapest 114, Pf. 49

KIVONAT

A riportban a PMK-NVH berendezés létesítésével kapcsolatos elméleti előkészítő kutatások, a berendezés fő méretei, a kiviteli tervekhez szükséges műszaki adatok és a tervezett tudományos program található. A berendezés a Paksi Atomerőmű primer körének 1:2070 térfogatviszonyu modellje.

1. Bevezetés

A 2. alprogram döntően számítógépi programok létrehozását és alkalmazását irányozza elő. A "Tanulmány a rendelkezésre álló programokról" című jelentésben olvasható, hogy jelenleg 28 kódot tartunk nyilván, amelyeket a különböző feladatok megoldása során felhasználhatunk.

A számítógépi programok kísérletekkel történő igazolására azonban felhasználjuk az alprogram keretein kívül végrehajtott kísérleteket is. A hazai kísérletek közül ilyenek a VEIKI által korábban végzett kondenzációs és újrantedvesítéses kísérletek, valamint a KFKI-ban végzett reaktorfizikai és termohidraulikai kísérletek. Fontos adatbázist jelent majd a Paksi Atomerőmű üzemi adatainak gyűjtése.

Az 1. projekthez tartozó feladatok kísérleti vizsgálata a valóságot megközelítő körülmények között csak néhány kutatóhelyen folyt napjainkig. Az OKB Hidropressznél, a VVER típusért felelős intézménynél létezik egy kísérleti berendezés, melyen blowdown kísérletek végezhetőek. Az ugyancsak szovjet VTI-ben elsősorban a méretezési baleset során kiáramló gőz kondenzálásának problémáit vizsgálták. Folytak és folynak kísérletek Finnországban annak megállapítására, hogy kétfázisú természetes cirkuláció esetén a primerköri hidegágban lévő "vizzár" milyen módon befolyásolja az áramlást /bizonyos körülmények között az áramlás le is állhat/. A szovjet kísérleti adatokhoz közvetlenül nem lehet hozzáférni és azoknak egy részét a Műszaki Terv tartalmazza. A finn kísérletek eredményei felhasználhatók, de a szobahőmérsékleten végzett kísérletek csak bizonyos kérdésekre adnak választ.

Jelenleg a világban számos helyen építenek, illetve építettek olyan kísérleti berendezéseket, amelyeken rendszer-kísérleteket lehet végezni. Ezek a berendezések az adott atomerőmű típusra specifikusak, általában az erőmű primer körét modellezik. A fontosabb kísérleti berendezésekről készült összeállítást mutatjuk az 1. Táblázatban és sorba beillesztettük a létesítendő PMK-NVH berendezést. A Táblázatban PWR és BWR típusú erőművek

modelljei láthatók. A kicsinyítés 1:1-től 1:3000-ig változik. A két utolsó esetben nem kísérletről van szó, csak az erőmű egy-egy egységét vizsgálják. [4.÷6., 9.÷19.]

A kutatási célokat tekintve a LOBI berendezés áll legközelebb a létesítendő PMK berendezéshez. Építését és a kutatások finanszírozását döntően nyugatnémet cégek végzik, noha az Isprában működő berendezés hivatalosan a nyugat-európai országok tulajdona /EURATOM/.

A LOFT berendezés egyedülálló a világon: 1000 MW-os atomerőmű 1:60 kicsinyítésű modellje, aktiv zónával. Az eredményeket - anyagi hozzájárulás ellenében - az OECD országok használhatják, de számos részeredmény publikálása az évek során megtörtént.

A létesítendő PMK-NVH berendezés a zóna üzemzavari hűtés kísérleti vizsgálatát teszi lehetővé, alkalmas lesz üzemviteli tranziensek szimulációjára és korróziós-kémiai vizsgálatokra.

A PMK /Paksi Modell Kísérlet/ berendezés a Paksi Atomerőmű primer körének modellje, de a gőzfejlesztőn keresztül szekunder oldali zavarok vizsgálatára is alkalmas.

A PMK berendezés csak az NVH berendezéssel együtt üzemeltethető. Az NVH berendezés a PMK szekunder köre, továbbá a PMK-hoz felhasználjuk az NVH berendezés épületeit, több mint 2 MW teljesítményű villamos tápegységeit, erősáramú berendezéseit, irányító és adatgyűjtő rendszerét, stb. Fontosnak tartjuk az elmúlt 6-8 évben megszerzett üzemviteli-kísérleti tapasztalatokat.

A létesítés tehát az NVH berendezés kiegészítését jelenti. Az NVH beruházási költségfolyó áron legalább 80 mft. A tervezett beruházás viszonylag alacsony költsége azzal magyarázható, hogy a PMK az NVH-hoz egyszerű módon adaptálható és a meglévő "infrastruktúra" csak kismértékben bővül.

A 2. alprogramban felmerülő feladatokon túlmenően a berendezésen kísérletek végezhetőek a 3. és 5. alprogram számára is.

A berendezés üzemi nyomása primer oldalon 130 bar, hőmérséklete $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, a keringtetett hűtőközeg névleges értéke max. $30\text{ m}^3/\text{óra}$, szekunder oldalon a nyomás 50 bar, a hőmérséklet $280\text{ }^{\circ}\text{C}$, a

maximális gőzmennyiség 80 m³/ó.

A térfogatviszony, Paks/PMK=1/2070.

A berendezés az ERBE és PAV egyetértésével a Paksi Atomerőmű megfelelő méretű csővezetékeinek felhasználásával készül.

2. A létesítés célja

Ismeretes, hogy a méretezési balesetnél feltételezik a primer-köri \varnothing 500 mm csővezeték hidegági törését. Noha az ilyen baleset valószínűsége nagyon kicsiny, a következmények azonban olyan súlyosak lehetnek, hogy az üzemzavari hűtőrendszereknek alkalmasnak kell lenniök ilyen típusú balesetek "kivédésére" is. A szovjet terminológia szerinti "nagy folyások" kísérleti vizsgálta rendkívül költséges berendezést igényel, a kísérletek műszaki feltételei magasak és a kísérleti munka nagyon időigényes. Ennek ellenére az elmúlt 10 évben - különösen az erőmű fejlesztő-gyártó országokban - nagyszámú kísérleteket végeztek. Ezzel egyidőben világszerte jelentős számítógépi programfejlesztési és alkalmazási munka folyt és jelenleg is folyik. Napjainkra az amerikai fejlesztésű RELAP4 programcsalád MOD6 jelű tagja az engedélyezési kód a világnak számos országában. Ezeket a kódokat a VVER-től eltérő atomerőművekre alkalmazzák és tesztelték széleskörűen, tehát felmerül a kérdés, hogy alkalmazhatóak-e a VVER típusra? Finnországban a Loviisa Atomerőműre széleskörű összehasonlító számításokat végeztek a szovjet LEAK-12 /TECS-12/ és a RELAP4/MOD6 között. Az eredmények kis eltéréssel megegyeztek.

Összehasonlító számítások hazánkban is folytak /VEIKI, KFKI/ és ezek eredménye lényegében ugyanaz. Különböző atomerőművi rendszerekre elsősorban a OECD országokban folynak összehasonlító számítások speciálisan ilyen célra végzett kísérletek adatainak felhasználásával, döntően a LOFT kísérlet esetében. A tapasztalatok szerint a Blowdown folyamat első és második fázisa jól leírható. Nagyobb eltérések a folyamat végén, különösen az új-ranedvesítés szakaszában vannak. [7, 8]

A szovjet terminológia szerinti "kis folyások" üzemzavari állapotokban a folyamatok erősen rendszer és geometria függők. Az ilyen üzemzavari állapotban fellépő instacionárius kétfázisú természetes cirkulációs hűtés erősen rendszerspecifikus és megbízható adatok csak megfelelő modellben nyerhetők. Hasonló a helyzet a stacionárius kétfázisú áramlás esetében is. A Paksi Atomerőműben ennek különös jelentőséget ad az a tény, hogy a primerkörü meleg ágban igen jelentős "vizzsák" van és vizzsák van a hideg ágban is. A vizzsák a természetes áramlást fékezi és bizonyos esetekben le is állítja.

Hasonlóan specifikus az újranedvesítés is, mivel a hidraulikai adatok más rendszertől különböznek. Különösen fontos effektust jelentenek a távolságtartó rácsok, mivel a nyugati típusoktól eltérően szokatlanul sűrűn vannak elhelyezve a fűtőelemek hossza mentén.

Erősen rendszerfüggő az erőmű dinamikai viselkedése is, különösen erős szekunder oldali perturbációk esetében, mivel a VVER egyedülálló a nagy vízterű, vízszintes elrendeződésű gőzfejlesztője miatt. Különbséget jelent a más típusokhoz képest a szivattyú kifutása is.

A konstrukciótól, geometriától függ a korróziós termékek lerakódása is, ezért a korróziós kémiai vizsgálatokhoz egy megfelelő modellen végzett kísérlet értékes adatokat adhat.

A fentiek alapján a PMK-NVH berendezés létesítése a következő fő célkitűzéseket szolgálja:

- stacionárius és tranziens kétfázisú természetes cirkuláció, különös tekintettel a primerkörben lévi vizzsákokra;
- hőcsere az újranedvesítés során, a reális eseteket megközelítő reaktor modell alkalmazásával;
- primerkör dinamikai mérések az A/11-5 alprogram egyes feladatainak kísérleti megválaszolásához;
- korróziós kémiai mérések az A/11-3 alprogramban megfogalmazott feladatok megoldásához.

A berendezés alkalmas, illetve egyszerűen alkalmassá tehető kis és közepes folyások kísérleti vizsgálatára, illetve az atomerőműben esetleg lejátszódó "bármilyen" üzemzavar szimulációjára, utólagos értékelésére.

3. A létesítendő berendezés főbb jellemzői

A létesítendő PMK-NVH berendezés üzemi paramétereit az anyagi korlátok figyelembe vételével a létesítés tudományos célkitűzése, a tervezett kísérleti-kutatási program határozza meg.

A célkitűzésben megfogalmazott természetes cirkulációs vizsgálatok és dinamikai mérések megfelelő végrehajtásához minimálisan szükség van a Paksi Atomerőmű primerkörü modelljére az atomerőmű üzemi paramétereinek mellett. Mivel a primerkör dinamika szekunder oldali zavarok nélkül csak korlátozott lehet, célszerű a gőzfejlesztő szekunder oldali modellezése is. A természetes cirkulációs vizsgálatok számára a modell egyik alapkövetelménye, hogy a magassági méretek azonosak legyenek az erőmű primerkörének magassági méreteivel és azonos legyen a főberendezések diszpozíciója.

A Paksi Atomerőmű primerköre és a PMK térfogata közötti viszony anyagi-gazdaságossági megfontolásoktól, a kísérletek célkitűzésétől, az NVH-hoz való illesztés lehetőségétől, stb. függ. Az 1. Táblázatban látható 1:2070 térfogatviszony a vizsgálatok alapján minden szempontból optimálisnak tekinthető kompromisszum.

A "kis folyások" üzemzavari állapot a rendszer bármely pontján felléphet. Az 1. rajzon pl. a gyűrükamra belépésénél és a felső keverőkamrán kialakított elfolyási helyen a kísérlet céljának megfelelő méretű folyás biztosítható. Ilyen folyás modellezése a térfogatkompenzátor csatlakozó vezetékében is lehetőség van, stb.

Az 1. rajzon a Paksi Atomerőmű primerkörének vázlatos rajza látható, míg a 2. rajzon a fenti elveknek megfelelő modellt mutatjuk be. Az utóbbi rajzon láthatók a berendezés főbb méretei.

A kísérleti céloknak megfelelően a választott üzemi paraméterek: $P=130$ bar, $T=350$ C⁰ és $Q=30$ m³/ó.

A modellezési elvek részletei a következő fejezetben találhatóak. Említettük már, hogy a PMK szekunder köre az NVH berendezés. A PMK-NVH berendezés kapcsolatának leírása az 5. fejezetben.

4. Modellezési elvek, méretek

Az előzőek alapján a magassági méretek viszonya 1:1. Az egyes hurkokra vonatkozó térfogatviszony 1:345, a teljes rendszerre vonatkozó térfogatviszony 1:2070. A kicsinyítés mértéke abból adódik, hogy a reaktorban 39312 db fűtőelem van, a modellben 19 db és a kettő viszonya 2070. Ez a teljesítmény-viszony érvényes a térfogat-viszonyra is.

4.1. A reaktormodell

Látható a 2. rajzon, hogy a reaktor, illetve reaktortartály modell a következő egységekből áll:

- gyűrűcsatorna,
- alsó keverő kamra,
- zóna,
- felső keverő kamra.

Célszerűségi okokból és a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően a gyűrűkamra modellezése különálló gyűrűcsatornával történik. Hidraulikai ellenállása megegyezik a reaktor gyűrűkamrájának hidraulikai ellenállásával. A számítások adatai a 2. és 3. Táblázatban.

Az alsó keverő kamra modellezésénél csak a térfogatviszonyt tartottuk meg, mivel ennek a térnek a magassági mérete a folyamat szempontjából lényegtelen. Az elliptikus kosár hidraulikai ellenállását megfelelően modellezzük.

A zónamodell 19 rúdból álló villamosan fűtött köteg /1. ábra/:

- a hossz méret /fűtött hossz/ 2500 mm,
- hidraulikai ellenállás azonos,
- távolságtartók azonosak,
- hőfluxus azonos,
- teljesítmény/térfogatviszony azonos,
- axiális teljesítmény-eloszlás állandó,
- radiális teljesítmény-eloszlás állandó,
- az indirekt fűtésű fűtőelemek hőkapacitása a ténylegeset megközelítő, amely az újranedvesítéssel kísérleteknél fontos,
- más kísérleteknél a fűtőelemek direkt villamos fűtésű csövek.

A zónamodellrel by-pass vezetékkel kerüljük meg abból a célból, hogy a kazetták közötti áramlást is modellezni tudjuk.

A felső keverő kamra esetében a hossz azonossága is fontos. Térfogata a kicsinyítési viszonyoknak megfelelő.

4.2. A gőzfejlesztő modellben a csőfelület a térfogatviszonynak megfelelő, vázlatos rajza a 2. ábrán látható. A gőzfejlesztő kollektorában a térfogatviszonyt tartjuk. A hőátadó csövek felületeloszlása axiális irányban a Paksi Atomerőmű gőzfejlesztőjével azonos, a csövek kiosztása tehát nem egyenletes. A csövek átmérőjét, számát és hosszát úgy határoztuk meg, hogy a hőátvezetési tényező ugyanaz legyen. A csősorok magassága, mérete a paksival azonos, azonos hőátadó felület elosztás és a magasság mentén. A gőzfejlesztő keresztmetszeti sematikus csőelrendezése rajza a 3. ábrán látható. A gőzfejlesztő szekunder oldalán a vízszintet ugyanolyan magasságban tartjuk. A gőztér térfogata a kicsinyítési viszonyoknak megfelelő. A be- és kilépő hőmérsékletet /nyomást/ megtartjuk, a gőzelvétel mennyisége a kicsinyítésnek megfelelő.

A méretek a 2. és 3. Táblázatban.

4.3. Nyomástartó- és térfogatkompenzátor modell

A nyomástartó esetében a térfogatviszony azonos, tartjuk a gőz/viz térfogatviszonyt és a szint ennek megfelelő.

A nyomástartó bekötése a rendszerbe a valóságosnak megfelelő pontokon történik: a felső keverő kamra után a meleg ágba és a gyűrükamra előtt a hidegágba.

A nyomástartóban szintet tartunk. A kívánt nyomást a hideg ágból történő befecskendezéssel, illetve "fűtő patronokkal" tartjuk. A nyomástartó vázlatos rajza a 4. ábrán látható.

A PMK-NVH berendezésen alkalmazott szabályozókról az 5.4. fejezetben írunk.

Méretek a 2. és 3. Táblázatban.

4.4. Hidroakkumulátor modell

A hidroakkumulátorokat két edény modllezi: az egyik a gyűrükamrába, a másik a felső keverő kamrába van kötve, a paksi állapotnak megfelelően.

A bekötő vezetékbe viaszacsapószelep van beépítve, amely a megadott nyomáson nyit.

4.5. A szivattyúk modellezése

A szivattyú műszaki megfontolásokból nem építhető a hideg ágnak abba a pontjába, ahol az a valóságban van /1.rajz/, ezért a szivattyú bekötését a 2.rajzon látható módon oldjuk meg. Ennek az eltérésnek elsősorban a természetes cirkulációs üzemmódban van jelentősége. Ebben az esetben a kísérletnél a szivattyú indítja el az áramlást, majd a rendszerből kizárjuk és a kizárt szivattyút hidraulikai ellenállással modellezzük, a hidegág megfelelő pontján. Kizárjuk a szivattyút a kis folyás üzemzavari állapotban is.

4.6. Csővezeték modell, rendszermodell

A hideg- és melegági csővezetékek alakja megegyezik az erőmű csővezetékeinek alakjával. A magassági méretek azonosak. Modellezési kritérium, hogy a hurokágak hidraulikai ellenállásai /nyomásesés/ az eredetivel azonosak legyenek. Ennek alapján, valamint a választott csőátmérő alapján, a magassági méretek megtartása mellett, a csővezetékek rövidebbek, mint az erőműben.

Adatok a 2. és 3. Táblázatban.

Az egyes komponensekből összeállított modell névleges paraméterek mellett és a különböző üzemzavari állapotokban hasonlóan működik, mint az erőmű primerköre, a hűtőközeg paramétereit tekintve azzal azonos. Következésképpen a Paksi Atomerőműben lejátszódó, vagy feltételezett üzemzavari, illetve baleseti állapotok kísérleti vizsgálata, szimulációja lehetséges.

A 2. és 3. Táblázatban összefoglalt adatok a kiviteli tervezés alapját képezik.

5./ A PMK - NVH berendezés leírása

A bevezetésben már leirtuk, hogy a PMK az NVH szerves része. Ez a kapcsolat az 5. ábrán bemutatott blokkvázlaton jól látható. Az első hűtőkör a létesítendő primerkörü modell, a második az NVH primer köre, a harmadik a szekunder köre.

A reaktor modellbe táplált hőt a gőzfejlesztő szekunder oldalán vonjuk el. A gőzfejlesztőben fejlesztett $50 - 80 \text{ m}^3/\text{ó}$ gőzt az NVH kondenzátor hőcserélő egységein keresztül kondenzáljuk, majd ismét visszajuttatjuk a gőzfejlesztőbe. Ez a mennyiség azonban az NVH primerkörében keringetett mennyiség 10-15 %-a. A terciér hűtőkör megfelelő beállításával, az NVH primerkörü előmelegítővel, valamint a kondenzátum előmelegítővel szekunder oldalon megfelelő rugalmasság biztosítható. A PMK - NVH berendezés diszpozíciója a 2., 3. és 4. rajzokon látható.

A PMK - NVH berendezés primerkörében az aktiv zónába bevitt hőteljesítmény $700 - 1000 \text{ kW}$. A belépő hőmérséklet pontos értéken tartása miatt a szivattu után előmelegítőt használunk.

A nyomástartó és térfogatkompenzátorban a szintet az NVH utántöltő szivattyújával, ill. a víz szabadba engedésével biztosítjuk. Ugyancsak az utántöltő szivattyú látja el a nagynyomású üzembavari hűtőrendszer szerepkörét is ilyen típusú üzembavar szimulációja esetén.

A hidroakkumulátorokból a vizet adott nyomásértéken gáznyomás segítségével juttatjuk a rendszerbe.

A zónamodell megkerülésére by-pass vezetékét építünk be. A zóna by-pass a fűtőelemek hűtőcsatornái mellett elfolyó hűtőközeg mennyiségének megfelelő, értéke kb. 5 %.

Az NVH erősáramu villamos berendezései közül a zóna modell fűtésére az egyik 1.05 MW -os tirisztoros egyenirányítót használjuk. A primerkörü előmelegítő tápegysége a 150 kW-os villamos generátor. A kondenzátum előmelegítő fűtésére az 50 kW -os villamos generátort használjuk. A szekunderkörü előmelegítő az NVH másik 1.05 MW -os tirisztoros egyenirányítója.

Közvetlenül - kis bővitéssel - használható az NVH 0.4 kV-os hálózata is.

Az irányító- és biztonságvédelmi rendszer az NVH hasonló rendszerének kibővítését jelenti néhány új irányító funkcióval, ill. biztonságvédelmi csatornával.

Az üzemviteli műszerezés mintegy 42 távadó beépítését, ill. a jelek megjelenítését jelenti.

A berendezésen alkalmazandó szabályozók az erőműben alkalmazottakhoz hasonló funkciókat látnak el.

Az adatgyűjtő berendezés az NVH adatgyűjtő rendszere, kiegészítésekkel.

5.1. Gépészeti leírás

A berendezés gépészeti szempontból a következő részekre tagolódik:

1. zóna modell
2. primerkörü edények modelljei
3. primerkörü csővezetékek modelljei
4. gőzfejlesztő modellje
5. előmelegítő
6. szivattyu
7. szabályozó, és mérőrendszerek szerelvényei
8. tartószerkezet
9. hőszigetelő burkolat.

A berendezés a vonatkozó szabványok kötelező alkalmazásával kerül tervezésre, gyártásra és műszaki átvételre. Vonakozik ez a felhasznált anyagok, szerelvények, részegységek gyártó által történő vagy a felhasználó által elvégeztetett vizsgálatok segítségével történő bizonylatolásra, a rendszerben kialakítandó nyomástartó edények /fűtött és nem fűtött egyaránt/ kialakítására, gyártására, az alkalmazott technológiák vizsgálatára /pl. hegesztett kötések vizsgálata/ és a rendszer műszaki - biztonságtechnikai átvételére. A PMK -t tartó állványzat a mindenkori gépészeti, építészeti szabványoknak felel meg.

5.1.1. A részegységek rövid ismertetése

A zónamodell

A zónamodell a PAV közreműködésével az ERBE által biztosított $\varnothing 133 \times 11 \times 2600$ korrozióálló acélból készült csővezeték-ből kerül kialakításra. A hozzá csatlakozó alsó és felső keverőtér modell a PAV által biztosított $\varnothing 89 \times 8$ és $\varnothing 133 \times 11$ csővekből készül. A zóna elemek egymáshoz, ill. a csatlakozó vezetékek a zónához MSz 2929 szerint kialakított, MSz 4360 KO 36 anyagu hegeszthető toldatos karimával csatlakoznak. A zóna modellben helyezkedik el a vizsgálatához szükséges 19 fűtött rudat tartalmazó mérőszakasz. A 19 rud hatszögletű csatornáját a zónában elhelyezett kerámia betét alakítja ki, biztosítva ezzel az elektromosan fűtött fűtőelem rudak szigetelését a zónát burkoló fém csővezetékháztól. Itt jegyezzük meg, hogy a PMK teljes primerkört modellező része korrozióálló acélból készül, és ilyen anyagu szerelvények kerülnek beépítésre is. A zónához tartozik a gyűrű csatorna, amely funkcióját a PMK-ban a PAV által biztosított $\varnothing 89 \times 8 \times 4270$ csőben elhelyezett $\varnothing 43$ -as cső között kialakuló gyűrű keresztmetszetű csatorna veszi át. Ezen speciális vezeték /gyűrű csatorna modell/ is MSz 4360 KO 36 anyagu MSz 2929 kialakításu hegeszthető toldatos karimával csat-

lakozik részben a hidegágához, részben az alsó keverőtér be-
kötő csővezetékéhez. A zóna modell felső keverőterében ill.
a gyűrűkarimán helyezkedik el egy-egy szelep a kisfolyások
modellezésére. A reaktor modellel párhuzamosan halad egy
by-pass vezeték, amelynek anyaga $\varnothing 14 \times 2$ korrozióálló acél-
cső.

Primerköri edények modelljei

a./ Hidroakkumulátorok

A rendszerben két hidroakkumulátor van, melyet a PAV
által biztosított $\varnothing 245 \times 19$ csőből készítünk. A két edény
hossza darabonként 2010 mm, mindkét végén sík hegesztett
fenékkal lezárva. Az akkumulátorok tetején a szükséges
nyomású gázpárna $/N_2/$ kialakításához két szelep van.
Egy-egy edény viztere egy visszacsapó szelepen keresz-
tül a modell hidegágához, ill. melegágához csatlakozik,
az egyik a gyűrű csatornába, a másik a felső keverőtér-
be, $\varnothing 32 \times 2.5$ méretű vezetékkel.

b./ Nyomástartó és térfogatkompenzátor edény

A rendszer nyomástartó és térfogatkompenzátor edénye a
PAV által biztosított $\varnothing 133 \times 11$ csőből kialakított alul-
felül MSz 4360 KO 36 anyagu hegeszthető toldatos kari-
mákkal és síkfedelekkkel lezárt edény. Teljes hossza
2200 mm. Az edény alsó felében a min. vízszint síkja
alatt helyezkedik el a fűtőbetét, az edény oldalán szint-
mérő egység. A nyomástartó edény felső $/gőz/$ tere a hi-
degággal, az alsó viztere a melegággal van összekötte-
tésben. A felső síkfedélhez csatlakozik a szükséges biz-
tonsági, valamint a légtelenítő szelep. A hidegágba csat-
lakozó vezeték tartalmazza a szabályozó szelepet. Az e-
dény melegági csatlakozó vezetéke $\varnothing 32 \times 2,5$ korrozióálló
acélcső, a hidegági pedig $\varnothing 12 \times 1.5$ mm méretű.

Primerköri csővezetékek modellje

A modell hideg és melegága egyaránt a PAV által biztosított $\varnothing 57 \times 5,5$ csőből kerül kialakításra a modellezésből következő sajátos geometria szerint. A hidegág és a melegág csatlakozásai a gőzfejlesztő kollektoraihoz, valamint a gyürü csatornához és a felső keverőtérhez MSz 4360 KO 36 anyagu MSz 2929 szerint készült hegeszthető toldatos karimák segítségével történik. Mindkét ágban a szükséges áramlási ellenállások beállításához szabályozó szelepek helyezkednek el. A hidegágban lévő szelepek teszik lehetővé a különböző üzemmódoktól függően a PMK rendszerben az előmelegítő-szivattyu egység be- és kiiktatását.

Gőzfejlesztő

A gőzfejlesztő tartályát $\varnothing 500$ -as acélcsőből alakítjuk ki, hegeszthető toldatos karimákkal és síkfedelekkkel. A primerköri kollektorok $\varnothing 89 \times 8 \times 2800$ korrózióálló acélcsövek, melyek összeköttetését, a forrcsöveket $\varnothing 9,1 \times 1 \times 3536$ korrózióálló acélcsövekből alakítjuk ki. A kollektorok között összesen 72 db ilyen forrcső helyezkedik el. Karimás csatlakozó csomokon keresztül történik a tápvíz bevezetése és a gőz elvezetése. A felső síkfedélre szereltük a szükséges biztonsági szelepet, az edény oldalára a szintmérő egységet.

Előmelegítő

A paraméterek beállításához és fenntartásához használjuk a max. 170 kW fűtőteljesítményű előmelegítőt. Az előmelegítő lényegében az adott forgalomhoz /lehetséges forgalomhoz/ és fűtőteljesítményhez választott csővezeték, amely falában a Joule effektus révén keletkező hőmennyiséget használjuk fűtésre.

A szivattyu

A szivattyu a Hermetic cég CKH 6/2 típusjelü gyártmánya.

Üzemi paraméterek:

| | |
|--|-------------------------|
| max. üzemi hőmérséklet | 340°C |
| emelőmagasság | 150 m |
| szívó- nyomó csomak nyomáskülönbség | 10-11 bar |
| szükséges hozzáfolyási magasság | 2,5 m |
| szállított mennyiség /reaktor tisztaságú víz/ | 10-30 m ³ /h |
| szívó- nyomó csomak mérete | 80/50 mm |
| üzemi nyomás | 200 bar |
| próbanyomás | 300 bar /20°C/ |
| a motor típusa | CKPxx 75 y-2 |
| a motor teljesítménye | 56 kW |
| üzemi feszültség | 380 V |
| hálózati frekvencia | 50 Hz |
| fordulatszám | 2870 l/min. |

5.1.2. Szabályozó és mérőrendszerek szerelvényei

a./ szelepek

b./ távadók /lásd 4. Táblázat/.

a./ Szelepek

1. Biztonsági szelepek

- a nyomástartó és térfogatkompenzátor edényen elhelyezett szelep vagy hasadó tárcsa;
- a gőzfejlesztőn elhelyezett szelep vagy hasadó tárcsa.

2. Szabályozó, feltöltő, légtelenítő, visszacsapó szelepek

- a hidroakkumulátorok gáz feltöltő szelepei
2 db, NA10, NNY250;

- a nyomástartó és térfogatkompenzátor edény szabályzó szelepe 1 db, NA10, NNY250;
- a hideg és melegágban elhelyezett szabályzó szelepek 2 db, NA50, NNY250;
- a szivattyu-előmelegítő vezeték a rendszerbe beiktató szabályzó szeleprendszer 2 db, NA50, NNY250, 1 db, NA80, NNY250;
- a hidroakkumulátorok visszacsapó szelepei 2 db, NA25, NNY250;
- a by-pass vezeték szabályzó szelepe 1 db, NA10, NNY250;
- a kisfolyásokat imitáló szelepek 2 db, NA20, NNY250.

5.1.3. Tartószerkezet

A PMK berendezés edényeit és csővezeték rendszerét az NVH csarnokban elhelyezett és beépített állványzat hordozza. Ennek konstrukciója és elhelyezése szervesen illeszkedik az épületben már meglévő idomacél tartószerkezethez. A tartószerkezet a PMK mechanikai hordozásán kívül biztosítja a berendezés mindenkor szerelhetőségét, mérő- és szabályzó rendszerek fel- és leszerelését, a funkcióknak megfelelő elhelyezését. A tartószerkezetet U180 profilu szembefordított csomólemezekkel összehegesztett oszlopokból alakítjuk ki. Merevítésre L80x80 méretű idomacélt használunk hegesztett, ill. csavaros kötésekkel, majd megfelelő alátámasztással a szerkezetet az aljatbetonhoz rögzítjük. A kezelőelemek, mérőhelyek, mérőátalakítók megközelítésére, valamint a szerelés megkönnyítésére Dexion-Salgó elemekből kialakított lépcsők és kezelőpultok szolgálnak. Az állványzat korrózióvédelmét festéssel biztosítjuk. A tartószerkezetet és a berendezést úgy alakítjuk ki, hogy mindenben megfeleljen az MSz 6380 előírásainak.

5.1.4. Hőszigetelő burkolat

A szükséges hőszigetelés MSz 4679-54 szabvány szerinti TERMALIT idomdarabokkal és MSz 4675-61 szerinti műszaki hőszigetelő üvegszálakkal valósítjuk meg. A PMK-n folytatandó mérések megkövetelik, hogy a minimális hővesztés érdekében a hőszigetelés minősége a szabványosnál lényegesen hatékonyabb legyen.

5.2. A PMK erőáramu berendezéseinek leírása

A PMK kísérleti berendezés villamos energiával történő ellátásánál figyelembe kellett venni, hogy új villamos tápegységek telepítésére nincs reális lehetőség. Ezért a már meglévő NVH kísérleti nagyberendezés villamos egységeit kell felhasználni, a kiépített erőáramu sinezés és kábelezés szükség szerű és minimális átalakításával.

5.2.1. Szükséges villamos teljesítmények megválasztása

Megfelelő elektromos teljesítménnyel kell ellátni a reaktor modellbe beépítendő 19-rudköteg mérőszakaszt, illetve rudkötegbe belépő hűtőközeg hőmérsékletét állandó értéken tartó villamos előmelegítőt. Ezen kívül meg kell táplálni a szekunder kör és a kondenzátum-gőz előmelegítőit is. A modell megválasztása és az előzetes kísérleti program ismeretében meghatároztuk a 19-rudköteg maximális villamos energia igényét és a primer hűtőközeg belépő hőmérsékletének tartására szükséges teljesítményt. Ugyancsak megállapítottuk a kondenzátum-gőz kör és a szekunder kör hűtőközeg hőmérséklet beállításához tartozó maximális teljesítményeket. Figyelembe vettük, hogy a kísérleti programban nem csak stacioner, hanem időben gyorsan lejátszódó folyamatok is szerepelnek.

A fent leírtak figyelembe vételével az alábbi elosztást tartjuk optimálisnak:

| | Tápegység | Szükséges teljesítmény |
|---------------------------------|-----------|------------------------|
| 19-rudköteg mérőszakasz | EIR. 1. | 1.05 MW |
| Primerköri előmelegítő | GEN. 1. | 170 kW |
| Kondenzátum-gőz kör előmelegítő | GEN. 2. | 50 kW |
| Szekunderköri előmelegítő | EIR. 2. | 500 kW |

A villamos tápegységek elosztását ismerve, a 19-rudköteg mérőszakasz maximális árama 7.000 A, a primerköri előmelegítőé 2.400 A, a kondenzátum-gőz kör előmelegítőé 700 A, a szekunderköri előmelegítőé pedig 4.000 A lesz. Biztosítani kell tehát ezen nagy áramerősségek biztonságos vezetését a fogyasztási helyre.

5.2.2. Betáplálás, transzformátorok

Az Intézet fejállomásáról a 10 kV-os betáplálás földkábelben érkezik az NVH csarnokban elhelyezett megszakítókhöz. A megszakítók motoros felhúzásuak és rugóerő tárolós oldalhajtással vannak ellátva. Működtetésük a vezénylőpultról történik, természetesen az egyenirányítók üzeméhez reteszelve.

A transzformátorok a Csepeli Transzformátor Gyár termékei. Az 1,05 MW-os egyenirányítót egy 1825 kVA -es transzformátor táplálja. Az egyenáram simasága érdekében az egyik transzformátor primer tekercse csillag, a másiké delta kapcsolású. Az egyenirányító és a transzformátor között szivó-

fojtók a negatív sinben pedig simító fojtók vannak beépítve. A transzformátorok el vannak látva túláram relével és gázvédelemmel.

5.2.3. Egyenirányítók

A 19-rudköteg mérőszakasz direkt fűtésére az EIR. 1. jelű 1,05 MW teljesítményű tirisztoros egyenirányító szolgál, míg a szekunder hűtőközeg belépő hőmérsékletének beállítására az EIR. 2. jelű egyenirányító. A felhasználás helyét és funkcióját tekintve a két alállomás csak egyedi üzemmódban járatható.

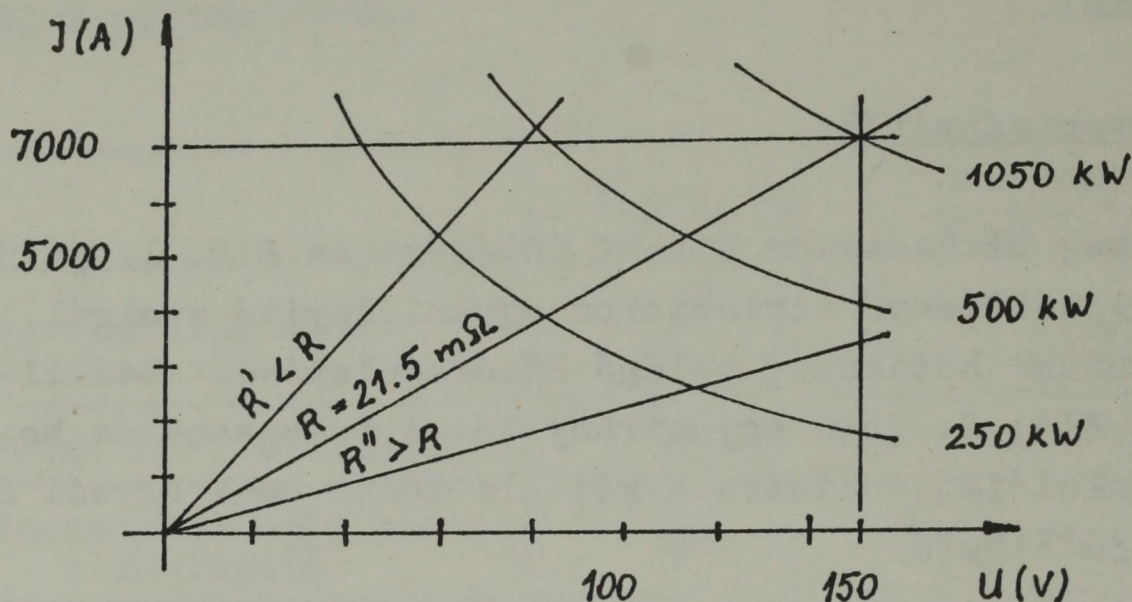
Az egyenirányítók főbb jellemzői:

| | | |
|------------------------|---|--|
| Gyártó cég | : | VBKM - ANÓD Gyáregység |
| Kimenő egyenfeszültség | : | 0 - 150 V |
| Kimenő egyenáram | : | 0 - 7.000 A |
| Kapcsolás | : | 2x3 fázisu 6 utas, szivó-fojtós |
| Kimenő jel | : | DC + 300 Hz-es alapfrekvenciájú hullámosság. |

Az egyenirányítók egyenáramu ágában egy-egy kb. 80 mikrohenry induktivitású fojtótekerics van beépítve, szűrés céljára. Ugyanitt helyezkednek el a 10.000 A/60 mV -os shuntok is, melyek az árammérést szolgálják.

Megvizsgálva az egyenirányítók üzemi tartományát, a kihasználási tartománynak a 150 V és 7.000 A által határolt területre kell esnie.

Ezt mutatja a tuloldali ábra.



Egy egyenirányító terhelési diagramja.

Az ábrába berajzoltunk három állandó teljesítményt ábrázoló görbét, valamint néhány terhelő ellenállást reprezentáló egyenest. Egyértelműen megállapítható, hogy 1,05 MW teljesítmény leadásához $21,5 \text{ m}\Omega$ -as terhelés szükséges. Ettől az ellenállás értéktől eltérve, a maximális teljesítmény nem érhető el, hiszen vagy a feszültség, vagy az áram jelent korlátot.

Megfelelő szabályozók segítségével az egyenirányítók kimenő jellemzőit stabilizáljuk. Lehetséges feszültség szabályozott, vagy áram szabályozott üzemmód. Mind a két esetben a szabályozott paraméter 0-tól a teljes tartományt átfogja, és folyamatosan változtatható.

Az egyenirányítók működtetésére két lehetőség van. Az egyik a saját előlapjukon, míg a másik a vezénylőpulttól távvezérléssel. A hibás beavatkozás elkerülésére, a feszültség és áram állítási lehetősége csak a vezénylőpultba van beépítve.

A transzformátorok és egyenirányítók önálló védelmi rendszerrel épültek és hálózattól független 24 V-os akumulátortelepről üzemelnek.

5.2.4. Egyenáramu generátorok

A primerköri villamos előmelegítőt tápláló 170 kW-os generátor meghajtó motorja 3 fázisú, csuszógyűrűs, asszinkron motor, a forgórész körébe iktatott indító ellenállással. A generátor elindítása után a csuszógyűrűk rövidre vannak zárva. Az egyenáramu generátort, külső gerjesztésű generátorként használjuk. 400 V-os betáplálása független az NVH-tól.

A generátor főbb jellemzői /GEN. 1./:

| | | |
|----------------------|---|--------------|
| Kapocsfeszültség | : | max. 70 V |
| Terhelő áram | : | max. 2.400 A |
| Gerjesztő feszültség | : | max. 70 V |
| Gerjesztő áram | : | max. 25 A |

A generátor kapocsfeszültségét egy tirisztoros szaggató áramkörrel tesszük változtathatóvá, és a gerjesztésen keresztül stabilizáljuk. A szaggató, egy egyenfeszültségű tápegység feszültségét kapcsolja a gerjesztő tekercsre. A gerjesztő tekercs átlagáramának változását, a ki- és bekapcsolás ütemének változtatásával lehet elérni. A kapcsolási ütemet a generátor kapocsfeszültségének és egy beállítható alapjelnek a különbségével vezéreljük.

A generátor gerjesztő áramkörének be- és kikapcsolása a vezénylőpultról történik, természetesen a megfelelő biztonságvédelmi reteszfeltételek betartásával. A kimenő kapocsfeszültség beállítása szintén a vezénylőpulton levő kezelőszervekkel történik.

A generátor el van látva túláram védelemmel és földzárlat esetére egy zárlatvédő áramkörrel.

A kondenzátum-gőz kör előmelegítőjét tápláló 50 kW-os generátor meghajtó motorja 3 fázisu, rövidre zárt forgórészű asszinkron motor. Indítása csillag - delta átkapcsolással történik. A generátor betáplálása független az NVH 400 V-os hálózatától.

A generátor főbb jellemzői /GEN. 2./:

| | |
|----------------------|--------------|
| Kapocsfeszültség | : 70 V |
| Terhelő áram | : max. 700 A |
| Gerjesztő feszültség | : max. 110 V |
| Gerjesztő áram | : max. 8 A |

A generátort külső gerjesztésű generátorként használjuk. A gerjesztést, a kapocsfeszültségről visszavezérelve stabilizáljuk, így a hálózati feszültség, ill. a terhelés megváltozása nem befolyásolja a kimenő kapocsfeszültséget.

A generátor szabályozása, védelmi rendszere és kezelő szerveinek elhelyezése, megegyezik a már előzőekben leírt GEN.1. generátoréval.

5.2.5. Egyenáramu sinezés

A feladatnak megfelelően a villamos berendezések sinezéssel és kábelezéssel csatlakoznak a mérőszakaszhoz, ill. a villamos előmelegítőhöz. A nagyáramerősségű sinezés, pólusonként 2 db 200 x 20 mm méretű, élére állított alumínium sinekből készül, míg az előmelegítők 100 x 10 mm méretű vörösréz sinnel csatlakoznak.

Az ujonan kiépítendő sinezés, az NVH csarnokban csatlakozik az EIR. 1. jelű egyenirányító már meglévő sinrendszerére, a + 2 m-es magasságban. Innen megfelelő tartószerkezeten,

és védő tokozatban jut el a mérőszakaszig. Az erősáramu villamosberendezések csatlakoztatását az 5.sz. rajz mutatja. A mérőszakaszra flexibilis vörösréz sodratokkal történik a csatlakoztatás.

A primerkörü és a kondenzátum-gőz kör előmelegítői egy másik nyomvonalon, a már meglévő elosztó sinrendszerrel csatlakoztatva megfelelő védő burkolattal.

A villamos berendezéseket az MSz 172 -nek megfelelő védőföldeléssel kell ellátni. A földelés kialakításánál gondosan szét kell választani a mérőberendezések földelőhálózatát.

Az egyenáramú sinezés védőhálóit és burkolatait minden szétszerelhető szakasznál bontható földeléssel kell ellátni. Az új berendezés földelőrendszerét a meglévő földelésekkel egyesíteni kell és erre kell csatlakoztatni az új vasszerkezetek földelését is.

5.3. Műszerezés, irányítás, adatgyűjtés

5.3.1. A műszerezés, irányítás és adatgyűjtés feladatának megoldásánál abból indulunk ki, hogy a két hurokág az NVH és a PMK szerves egységet képez, mind a technológiai körfolyamatokat tekintve, mind topológiaiailag. Ebből adódóan a következő elvi megfontolások alapján oldjuk meg a fenti feladatot:

- A műszerezés egymástól két független, egy "üzemviteli" és egy "mérésőelu" mérőrendszert tartalmaz. Azok a mérőkörök, melyek üzemviteli szabályzókört vagy biztonságvédelmet működtetnek külön távadóról, vagy galvanikus leválasztóról működjenek.
- A folyamat irányítás - lehetőség szerint - egy közös vezénylő helyről elvégezhető legyen.

- A biztonságvédelem és figyelmeztető rendszer mindkét hurokág esetében azonos elvekre és azonos rendszer-technikai elemekre épül.
- Az ujonnan beépülő szabályzó, irányító elemek szervesen illeszkedjenek az NVH hasonló berendezéseihez.
- A két rendszernek egy közös technológiai sémája legyen.
- A legfontosabb rendszerparamétereket, melyek úgy az üzemvitel, mint a mérés paramétereinek pontos beállításánál elengedhetetlenek iróműszeren meg kell jeleníteni!

5.3.2. Műszerezés

A PMK mérőérzékelőinek elvi elrendezése az 5.sz. ábrán látható. Az egyes mérőkörök jeleinek funkció szerinti szétosztását és az érzékelők típusát a 4. sz. Táblázat tartalmazza. A teljes műszerezés nem tartalmazza a mérőszakaszok speciális műszerezését, melyet mindig az aktuális mérési feladat határoz meg. A műszerezés ilyen kiépítése minimálisan 42 csatornát igényel. Ez az alap kiépítés magában foglalja a legfontosabb, állandóan használt "mérési célú" mérőköröket is.

Az üzemviteli műszerezés 3 funkciót lát el:

- Az operátor számára jelzi az egyes üzemi paraméterek értékeit. Ezek közül a legfontosabbak, melyek az üzemi paraméterek pontos beállítására szolgálnak, regisztrálóra kerülnek.
- A mérőkörök egy csoportja védelmi feladatot lát el, mivel értéküknek egy bizonyos előre meghatározott értéken túli növekedése a rendszer és a környezet biztonságát veszélyeztetné. Ezek a jelek biztonságvédelem bementére kerülnek és működésük valamelyik fűtőegység kikapcsolását eredményezi.

- A mérőkörök egy másik csoportja egyes szabályzókörök érzékelőjéül szolgál.

Azoknál a mérőhelyeknél, melyeknek csak megjelenítési funkciójuk van az üzemvitel számára és ugyanakkor a mérési célú adatgyűjtés részére is szolgáltatnak jelet, közös távadóról működnek, mindkét feladatra külön mérőlezáró ellenállással. Azokat a mérőköröket, melyek a biztonságvédelembe vannak be- kötve, vagy szabályzó kör érzékelőjeként működnek üzemzavari okok elhárítása céljából - külön távadóról működtetjük, vagy a jelet a távadóról galvanikusan elválasztjuk.

A műszerezést az "ANALCONT" folyamatszabályozási rendszer elemeiből építjük fel. Távadóként 4-20 mA kimenetű áramtá- vadókat használunk, minden mérőkört külön szigetelt tápegy- ségről működtetjük. A megjelenítésre a vezénylőpulton, ill. a sémán analóg műszert, regisztrálóként ANALCONT kétcsator- nás regisztrálót alkalmazunk.

A kijelző műszerek egy csoportja a vezénylőpulton lesz el- helyezve, másik része a rendszer sémáján. A regisztráló mű- szerek egy külön keretben kapnak elhelyezést.

A méréscélú műszerezést a csatornák nagy száma miatt, mely egy egyszerűbb mérési összeállítás esetében is kb. 60 csa- torna, /42 alap/ a Termohidraulikai Osztály ICC adatgyűjtő- rendszerével oldjuk meg. Az ICC rendszer minden csatornája külön mV-frekvencia átalakítókat tartalmaz mérőátalakítóként és ezeket kell csatlakoztatni a távadók mérő-lezáró ellen- állásához, vagy a "méréscélú" érzékelőkhöz.

A gépi adatgyűjtés látja el a mérőszakasz fűtőelemeinek ki- égésvédelmét. Ez a feladat minimálisan 19 csatornát vesz i- génybe és bármelyik csatornán a hőmérséklet az előre mega- dott értéket túllépi, a gép működteti a biztonságvédelmet.

5.3.3. Biztonságvédelem, reteszelések

A biztonságvédelmi rendszer az egyes üzemi jellemzők nem kívánatos mértékű változásánál megvédi a berendezést, ill. a környezetet a károsodástól.

A PMK hurokágban az alábbi jellemzők változása vált ki biztonságvédelmi funkciót:

1. A szekunder körí fogalom minimális értéke lekapcsolja a szekunderkörü előmelegítő fűtőberendezését.
2. A primerkörü forgalom minimális értéke lekapcsolja a mérőszakasz és a primerkörü előmelegítő fűtőberendezését.
3. A mérőszakasz szint minimális értéke lekapcsolja a mérőszakasz teljesítményét.
4. A nyomástartó maximális nyomása lekapcsolja a primerkörü összes fűtőtelijsítményét.
5. A nyomástartó szint minimális értéke lekapcsolja a nyomástartó fűtését.
6. A mérőszakasz kiegészvédő termóelemei bármelyikének maximális értéke csökkenti - előre megadott értékkel - a mérőszakasz teljesítményét.

A biztonságvédelmi rendszert az NVH-ban jelenleg alkalmazott biztonságvédelmi áramkörökből építjük fel. Az NVH biztonságvédelmi logikai felépítését úgy kell módosítani, hogy a működtetés a fűtőegységeket az 1. - 6. pontnak megfelelően szelektíven kapcsolja le. A biztonságvédelem működését a vezénylőpult biztonságvédelmi kijelző mátrixára visszük fel. Az operátor a biztonságvédelem működését kiváltó ok megszűnése után a tiltásokat oldja és a fűtőberendezéseket újra indíthatja.

A PMK egyes egységeinek védelmét reteszelések is biztosítják, melyek bizonyos feltételek hiánya esetén nem engedik bekapcsolni a fűtőberendezéseket. Ezek a reteszelések a következők:

1. A szekunder forgalom hiánya esetén a szekunderköri előmelegítőt nem lehet bekapcsolni.
2. A primerköri forgalom hiánya esetén a primerköri előmelegítő és a mérőszakasz fűtőegységét nem lehet bekapcsolni.
3. A nyomástartó minimális szintjének hiánya tiltja a nyomástartó fűtésének bekapcsolását.

A reteszelések érzékelőjéül a biztonságvédelem megfelelő távadója szolgáltat jelet és a biztonságvédelmi áramkörök egyben biztosítják a reteszelések is.

5.4. Folyamatirányítási rendszer

A PMK hurokág az NVH vezénylőpultjáról irányítható. A vezénylőpultba új kezelőszervként be kell építeni a hurokágba beépítésre kerülő szivattyú indító nyomógombját, valamint a 6 db. elektro pneumatikus szelep kezelő szerveit. A PMK hurokág szabályzó köreit szintén a vezénylőpulttról lehet élesíteni.

Az új hurokág legfontosabb jellemzőit regisztráló műszereken jelenítjük meg, melyek egy, a vezénylőpult mellett elhelyezett keretben helyezkednek el úgy, hogy az operátornak jó áttekintése legyen a teljes folyamatról. Ugyanebben a keretben foglal helyet a PMK szabályzó köreinek kezelő szervei is.

A PMK és az NVH huroknak új közös technológiai sémáját kell készíteni, melyen a technológiai helynek megfelelően analóg műszereken a folyamat jellemzőinek értéke is leolvasható.

A regisztráló műszerek "ANALCONT" kétcsatornás regisztrálók, az analóg műszerek a 4-20 mA-es rendszernek megfelelő eltolt nullás megjelenítők.

5.4.1. Szabályozókörök

A PMK - NVH berendezésnek 5 autonóm szabályozó köre van:

- A gőzgenerátor szekunder oldali belépő vízhőmérsékletét az NVH hurokág /szekunder kör/ hőmérsékletétől függetlenül a PMK üzemi körülményeinek megfelelő hőmérsékleten kell tartani. A hőmérséklettartást megvalósító szabályozó kör elvi sémája a 6.sz. ábrán látható. A szabályozó kör ellenőrző jele "ANALCONT" ellenállásköréről működő áramtávadó. A szabályzó jelet, valamint az alapjel állítását "ANALCONT" folytonos kimenetű PID szabályozó biztosítja. A beavatkozó szerv egyenáramú külsőgerjesztéses generátor. A szabályzó jel a generátor autonóm feszültségszabályzó körének alapjelét módosítja.
- A gőzgenerátor szekunder oldalán a nyomást a PMK üzemi körülményeinek megfelelő értéken kell tartani. A nyomástartást megvalósító szabályzó kör elvi sémája a 7.sz. ábrán található. Az ellenőrző jelet "ANALCONT" nyomás - áram távadó biztosítja. A végrehajtó gőzelvételi elektropneumatikus szelep szabályzójelét szintén "ANALCONT" folyamatos PID szabályzó biztosítja.
- A gőzgenerátor szekunder oldalán a szint tartását is biztosítani kell különböző üzemi körülmények között. A szintszabályozó kör elvi sémája a 8.sz. ábrán látható. A szabályzó kör a nyomószabályzással teljesen analóg és ugyanolyan elemekből épül fel, csupán a beavatkozás a betáplálási oldalon történik.

- A primer körben a nyomástartó és térfogatkompenzátor rendelkezik önálló szabályzó körrel. A tartályban független szabályzó körrel tartjuk a kívánt értéken a nyomást és egy másik szabályzó kör biztosítja a nyomástartó szintjét.

A nyomástartás elvi sémája a 9.sz. ábrán látható. A folyamat ellenőrző jelét "ANALCONT" nyomás - áram távadó biztosítja. A távadó jelét két "ANALCONT" folyamatos PID szabályzó fogadja és hasonlítja össze a mindkét szabályzón azonosra állított alapjellel. Az egyik szabályzó kimenő jele az edény fűtését, a másik a hurok hidegágából vett víz befecskendezését működtető elektro-pneumatikus szelepet működteti. A két kimeneti oldalon független szabályzó biztosítja a beavatkozó szervek dinamikai tulajdonságainak egymástól független beállítását.

A nyomástartó szintszabályzásánál a szinttávadó jele "ANALCONT" kétcsatornás szélsőérték-kapcsolót működtet. Az egyik csatorna kapcsolója a szint csökkenésekor bekapcsolja a dugattyus adagolót és egy felső állásban kikapcsolja. A másik csatorna a szint emelkedésekor kinyit egy mágnesszelepet, mely vizet enged le és egy alsó állásnál lezárja. A szabályzás vázlatos sémája a 10.sz. ábrán található.

6./ Üzemviteli feltételrendszer

A szükséges minőségű vizet az NVH berendezés vizelőkészítő rendszere biztosítja, amelynek kapacitása $1.5 \text{ m}^3/\text{ó}$.

A vizelőkészítő rendszer anion kation és kevertágyas szűrőből áll, az elérhető vezetőképesség jobb mint $1/\mu\text{S}$. Az előkészített víz tárolására 800 literes tartály áll rendelkezésre.

zésre. Ez a vízmennyiség a PMK - NVH egyszeri feltöltésére elegendő.

A viznek a berendezésbe való juttatása, a rendszer feltöltése ugyancsak az NVH tápvizrendszerével biztosítható. Az NVH egy másik segédberendezése használható a szennyezett, vagy elfolyó víz csatornába emelésére.

Az NVH nagynyomású, 152 l/ó kapacitású utántöltő rendszere a PMK - NVH berendezésnél a következő feladatokat látja el:

- biztosítja a kémiai kísérleteknél különösen fontos vízminőséget a primer körben;
- ellátja a vízvesztés pótlását a szekunder körben;
- hűtőközeg elfolyásos kísérleteknél ellátja a nagy nyomású ZÜHR rendszer szerepkörét.

A berendezés indítása a primer kör indításával kezdődik. Az üzemi nyomást és hőmérsékletet - megfelelő aláhűtés biztosításával - egyidejűleg visszük fel az előírt üzemi-kísérleti szintre.

A primerköri nyomás kívánt értéke a nyomástartó edénybe épített "fűtőpatronokkal" érhető el. Paramétereken a primerkör nyomásra ± 1 bar pontossággal tartható.

A rendszer felfűtése a modellre adott teljesítménnyel történik, normál üzemi körülmények között $60\text{ C}^\circ/\text{ó}$ sebességgel, amely NVH tapasztalatok szerint megfelelő érték. Tápegység az NVH Eir-1 jelű 1.05 MW-os egyenirányítója.

A primerköri előmelegítő 150 kW-os teljesítményével a belépő hőmérséklet pontos értékentartására szolgál. Tápegység az NVH 150 kW-os villamos generátora. Ez különösen akkor fontos, ha az üzemi belépő hőmérséklet értékénél kisebb,

vagy nagyobb hőmérsékletre van szükség. Névleges forgalom mellett az előmelegítő 6 C° -ot képes emelni a hűtőközeg hőmérsékletén. Ennél nagyobb érték a forgalom csökkentésével érhető el.

A nyomástartó edényben a szint az utántöltő rendszerrel biztosítható. Mivel a primer kör zárt rendszer, ezért víz gyakorlatilag nem fogy. A vízminőség tartása érdekében $100\text{ l}/\text{ó}$ víznek $/0.5\ \%/$ a rendszerből történő kiengedésével, ill. azonos mennyiség utántöltésével biztosítható a szükséges szint. A primerkörből elengedett víz a kisebb nyomású szekunder körbe kerül, ahol a veszteségek pótlására van szükség.

Hűtőközeg elvesztéssel /kis folyás/ baleseti állapot szimulációja esetén, mint fent írtuk, ugyanez a rendszer ellátja a nagynyomású ZÜHR rendszer feladatait. A primerkör térfogata a kicsinyítésnek megfelelően $\sim 100\text{ lit}$. Ugyancsak a kicsinyítésnek megfelelően a nagynyomású ZÜHR modellben mintegy $30 \div 80\text{ l}/\text{ó}$ forgalmat kell biztosítani.

Ugyancsak folyással járó üzemzavari szimulációnál lépnek működésbe a hidroakkumulátorok. A működtetés visszacsapó szelep segítségével könnyen biztosítható, de más távműködtetésű szelep használata is lehetséges.

A szekunder kör indítása a primerkör indítása után kezdődik. Hőmérséklete a primerköri hőmérsékletnél $\sim 30\text{ C}^{\circ}$ -kal alacsonyabb. Az 1.sz. ábrán látható, hogy a szekunder oldal tulajdonképpen három körből áll:

- A kondenzátum-gőz körben a szivattyúval szállított mennyiség névleges értéke $1.5\text{ m}^3/\text{ó}$, amely névleges gőzfejlesztő nyomáson $55\text{ m}^3/\text{ó}$ telített gőznek felel meg. A gőzfejlesztő vízszintjét a kondenzvíz mennyiség szabályozóval állítjuk be. A gőznyomás beállítá-

sa, ill. értéken tartása ± 0.5 bar pontossággal a gőzmennyiség szabályozóval történik.

A kondenzviz belépő hőmérsékletét ugyancsak szabályozóval állítjuk be, ill. tartjuk. Ehhez használható a kondenzviz előmelegítő. Az előmelegítő tápegysége az NVH 50 kW-os villamos generátora. Ez a teljesítmény a kondenzviznek ~ 30 C⁰-kal történő előmelegítését lehetővé teszi és így igen nagy rugalmasságot biztosít.

- A szekunder kör vízkörében $20 \text{ m}^3/\text{ó}$ vizet keringetünk. A kondenzátum keringetett névleges mennyisége ennek az értéknek 7,5 %-a. A kondenzátum előmelegítővel és a terciár körrel együtt ez a viszony nagy szekunder oldali rugalmasságot biztosít. Az 1.sz. ábrán ez a vízkör jól látható. Az NVH egyik edénye úgy van kötve hogy tápviz tartályként legyen használható. Ebben a tartályban van a szekunderkörben a második szint. Megjegyezzük, hogy a gőzfejlesztő minimális vízszintje is mindig nagyobb, mint a táptartály szintje.

A szekunder kör előmelegítő a kör adott hőmérsékleten tartását biztosítja. Tápegysége az NVH Eir-2 jelű 1.05 MW-os egyenirányítója. Az előmelegítő teljesítménye 500 kW.

- A rendszerből a hőt a terciárkörrel visszük el. Ez a hűtőkör nem eléggé rugalmas, ezért adott értékű hőmennyiség elvonására állítjuk be.

A berendezés működtetéséhez szükséges irányító rendszerről, szabályozókról, üzemviteli műszerezésről az 5.3. és 5.4. fejezetekben írtunk.

7./ Kisérleti munka

Ebben a fejezetben a kísérleti munka műszaki- és mérés-technikai előkészítését, az elvégzett technológiai fejlesztő munkát, a megépített mérés-technikai összeállítást és a modellezendő folyamatok várható értékeit foglaljuk össze. Ezek azok a kísérleti szempontból alapvető információk, amelyekre a tervezésnél, majd gyártásnál támaszkodni kell.

7.1. Műszaki- és mérés-technikai előkészítés

A modellezési elveknek megfelelően a kísérletekhez kötegekre, mérőszakaszokra van szükség. Az elvégzendő mérések szerint a mérőszakaszok két típusra oszthatók:

- A dinamikai méréseknél a természetes cirkulációs vizsgálatoknál, a folyással járó üzemzavari állapotoknál és a kémiai kísérleteknél direkt villamos fűtésű mérőszakaszok alkalmazása célszerű, gazdaságossági megfontolások alapján. A kémiai kísérleteket kivéve a helyes modellezés megkívánja, hogy a rudköteg 19 rudból álljon.
- Az ujrancedvesítéses kísérleteknél a modellhűségnek nem kritériuma a rudszám, ezért 7 vagy 19 rudból álló kötegek alkalmazását tervezzük. A megfelelő modellezés viszont megkívánja, hogy a fűtőelemek indirekt fűtésűek legyenek és hőkapacitásuk a lehető legközelebb legyen a reaktor fűtőelemek hőkapacitásához. Ez utóbbi feltételek miatt számos technológiai problémát kell megoldani.

Az előkészítés során főleg az indirekt fűtésű esettel foglalkoztunk, mivel a direkt fűtésű változatra korábbi gyakorlatunkból sok tapasztalat adódott. Az alábbi rövid összefoglalást csak a teljesség kedvéért adjuk.

7.1.1. Direkt fűtési mérőszakasz

A teljesítmény viszonyának megfelelően a modellre adandó teljesítmény mintegy 700 kW névleges esetben. Forrócsatorna modellezése esetén ez az érték 1.000 kW-ra nő fel, ezért a tervezéshez ezt a magasabb értéket kell használni.

A fűtőelemek $\varnothing 9.1 \times 1$ mm méretű saválló, varratnélküli acélcsövek, amelyek felső végükön vörösréz cső, alsó végükön vörösréz rud áramhozzávezetőekben végződnek.[20]

Az NVH gyakorlatnak megfelelően [20] ezeket a fűtőelemeket a felső végükön kupos árambevezetővel fogjuk kötegbe. A belépő keresztmetszet felőli alsó végükön - a hőtágulás miatt - az áramhozzávezető rudak flexibilis kábelben folytatódnak. Az alsó árambevezető ugyancsak kupos.

A ki- és belépő rácsok, valamint a távolságtartók hidraulikai ellenállása az erőművi zóna hasonló adatainak felel meg.

A szükséges méretű, hatszögkeresztmetszetű hűtőcsatorna alumíniumoxid kerámiából készül.

A termóelemeket és jelvezetékeket a felső árambevezető karimán keresztül vezetjük ki a nyomás alatti térből.

7.1.2. Indirekt fűtési mérőszakasz

Az indirekt fűtési mérőszakasz fűtőelemeinek tervezéséhez számos technológiai fejlesztést és kísérletet végeztünk.

A 12.sz. ábrán az eddigi vizsgálatok alapján várhatóan megfelelő és elkészíthető fűtőelem hossz- és keresztmetszeti vázlatos rajzát mutatjuk be.

A fűtőelem közepén \varnothing 3 mm molibden fűtőszál található. A fűtőszál körül Al_2O_3 cementből készült és utólag megmunkált szigetelő réteg helyezkedik el, amely a Ni áram-visszavezetőt szigeteli el. A Ni áram-visszavezető cső külső felületén kb. 0.1 mm vastag - plazmaszórással felvitt - szigetelő réteg helyezkedik el. Ez veszi körül egy saválló acélból /esetleg inconelből/ készült köpeny, melynek hornyaiban laposra hengerelt termoelemek helyezkednek el. A fűtőelem burkolat 0.3 mm vastag saválló acélcső.

A fűtőelem adatai:

- lineáris teljesítmény 10 - 40 Watt/cm,
- felületi hőmérséklet 1000 C° , amely azt jelenti, hogy a fűtőszál $\sim 1600\text{ C}^\circ$ hőmérsékletű,
- a fűtőelem hossza mentén 4 - 8 termoelem,
- a hőkapacitás a valóságos fűtőelem hőkapacitásához közeli.

Az eddigiek során a következő technológiai fejlesztési, ill. kísérleti munkát végeztük el:

- A magas hőmérsékletek miatt palládium alapú forraszanyagot állítottunk elő.
A forrasz-anyaggal egyik próbarudat a később ismertetendő kísérleti berendezésen, üzemi körülmények között kipróbáltuk.
- A 12.sz. ábrán látható, hogy a termoelemeket igen kis helyen és viszonylag nagy számban kell elhelyezni. A jó helykihasználás miatt lapos termoelemek használata célszerű.

Kidolgoztuk a lapos termoelemek készítésének technológiáját és a gyártáshoz szükséges eszközöket.

A lapos típusu termoelem üzemi hőmérsékleten történő tesztelése megtörtént.

- A plazmaszórással jelenleg folynak sikeresnek ígérkező kísérletek az ELTE -n.

Az ilyen fűtőelemekből készítendő köteg, megfelelő ki- és belépő rácsokkal és távolságtartókkal viszonylag egyszerűen elkészíthető.

7.1.3. Mérőberendezés technológiai és méréstechnikai kísérletekre

A szükséges technológiai és méréstechnikai próbák és kísérletek végrehajtásához egyszerű mérőberendezést építettünk. A berendezésen újranedvesítéssel kísérletek végezhetők, ill. az ahhoz tartozó paraméterek, mérési körülmények állíthatók elő.

A berendezés sémáját a 13.sz. ábrán mutatjuk be. Az ábrán látható, hogy a szükséges mennyiségű vizet szelepeken és speciális mérőperemen keresztül az NVH-ból juttatjuk az alsó keverőteret modellező edénybe. Az edényen túlfolyó és szelep van, így a vízszint a kísérlet kezdetéig közvetlenül a mérőszakasz belépő keresztmetszete előtt áll. A kísérlet indításakor a túlfolyó szelepet bezárjuk, a nedvesítési front végighalad a mérőszakaszon, majd gőzszeperatorral is ellátott felső keverő tér modellbe jut. Innen a vízcseppeket mérő edénybe, a gőzt pedig a hermetikus teret és a buborékoltató kondenzátort modellező 1.5 m^3 térfogatú tartályba vezetjük.

7.2. A modellezendő folyamatok főbb jellemzői

A modellezési elvek érvényesítéséből következik, hogy az erőmű primer körének és a PMK - NVH berendezésnek a termohidraulikai paraméterei stacionárius üzemállapotban megegyeznek, vagy azonossá tehetők. Azonos a két berendezésen:

a nyomás, a nyomáskülönbségek, a hőmérsékletek, hőmérséklet különbségek, forgalom, szintek, stb.

Primerköri dinamikai mérésekhez a dinamikai jellemzőknek is meg kell egyezniük. A zónamodell esetében a hasonló dinamikai viselkedés biztosítható, mivel a fűtő tápegység olyan módon vezérelhető, hogy a hőfluxus változása az időben a kívánt függvény legyen.

A gőzfejlesztő hasonló dinamikai viselkedése a modellezés alapján várható, mivel mind a primer, mind a szekunder oldalon a hőcsere folyamatok közel azonosak, mivel azonosra választottuk a hőátbocsátási tényezőt befolyásoló geometriai méreteket. Két főberendezés esetében a hasonló dinamika nem teljesül.

A szivattyú jelleggörbéje és kifutási görbéje biztosan más lesz, ezért a forgalmat a szivattyúkieséses üzemzavarnál szeleppel kell a szükséges időfüggvény szerint változtatni.

A nyomástartó edénynél a gőztér/folyadéktér azonossága mellett a szabályozás és a beavatkozó szervek /fűtés, hűtőközeg befecskendezés/ dinamikája is fontos. A pontos modellezés ilyen méret-arányok mellett nem valósítható. Ismerni kell az erőművi Paks-i rendszer átviteli függvényét és ennek alapján bonyolult és költséges szabályozással várhatóan rá lehet "kényszeríteni" a hasonló dinamikai viselkedést.

A hűtőközeg elfolyásával járó üzemzavar vizsgálata során az irodalmi tapasztalatokra és az elvégzett számítások eredményeire támaszkodunk. Ezekről az alábbiakban lesz szó.

Az újranedvesítési folyamat főbb jellemzői az irodalomból és az előkísérletekből ismertek. A kísérletek a VVER geometriára specifikus adatokat szolgáltatnak.

A természetes cirkulációs méréseknél, mivel a geometria és méretek kialakításánál erre különös gondot fordítottunk, a hasonlóág várhatóan teljesül. Ehhez azonban még további elméleti vizsgálatok szükségesek, pl. a vékony csővezetékekben a gőzseparáció valószínűleg nem tud kialakulni olyan módon, ahogyan az a valóságban van.

7.3. A matematikai modellezés szerepe

A PMK-NVH berendezésen vizsgálandó tranziensek és üzemi zavari folyamatok mérési programjainak részletes kidolgozása feltételezi előzetes elemzések eredményeinek ismeretét. A legjellemzőbb folyamatokra tehát a rendelkezésre álló számítógépi programokkal /igy a RELAP4, HOTRAN és NYSI kódokkal/ számításokat kell végeznünk. A kísérleti eredmények interpretálása ugyancsak megkívánja az összehasonlító számítások elvégzését mind a kísérleti berendezés, mind a modellezett paksi primerkör matematikai modelljével.

E számításoknak - az előző fejezetben leírtak értelmében - különös jelentősége van azoknál a főberendezéseknél, amelyeknél a modellhűség a kívánt mértékben nem valósítható meg.

Igy tehát külön kell foglalkozni a főkeringető szivattyú modellezésének kérdésével. A RELAP4 számításokhoz a végleges input adatokat csak a leendő szivattyú ún. négykvadránsos jelleggörbéje ismeretében lehet elkészíteni. Ugyancsak szükséges a szivattyú kifutási görbéjének ismerete. A Paksi Atomerőmű szivattyúkiesési számításaihoz a 14. ábrán látható kifutási görbét használtuk. Az ábrán a felületi hőteljesítmény változása is látható / Q/Q_0 /, valamint a HOTRAN-nal számított forró köteg átlagos kilépési hőmérséklete. A modellhűség igazolásához hasonló eredményt kell a kísérleti berendezéssel is kapni, ha mind a hőteljesítmény, mind a szivattyú által szállított vízmennyiség időbeli változását a megadott szerint biztosítjuk.

A nyomástartó és térfogatkompenzátor matematikai modelljének, a NYSI-2 programnak tesztelési eredményeit illusztrálják a 15. és 16. ábrák. A 15. ábrán az 1 jelű görbe mutatja a szovjet kísérlet mérési eredményét. A 2-4. görbéket a kóddal számítottuk. Ezek az edényben levő folyadék kezdeti hőállapotának fontosságára hívják fel

a figyelmet. /A legjobb egyezést adó 3 jelű görbe esetén a folyadék 50 %-át 15 C° aláhűtéssel adtuk meg, a 4 jelű görbén ugyanez az aláhűtés 15 C° volt, míg a 2 jelűnél 0 C°, azaz a teljes vízmennyiség telítési hőmérsékleten volt./A 16. ábra 1 jelű görbéje a VVER-440 reaktor nyomástartójából kifolyt vízmennyiség függvényében mutatja a nyomás változását, a 2-5 görbék a számítási eredmények a folyadék 50 %-ának különböző aláhűtése /0, 4, 8, 12 C°/ mellett. [21]

A bemutatott két példához hasonló, továbbá a fűtéssel és a hidegvíz befecskendezéssel kiegészített vizsgálatok kísérleti és számítási eredményeinek egybevetése a Paksi Atomerőmű I. blokkja indítási mérései során nyert jelleggörbékkel ad majd információt a PMK nyomástartó szabályozó rendszere paramétereinek beállítására, végleges kialakítására.

Komplett üzemzavari folyamatok, így például kis folyások szimulálásának értékelhetőségét és a mérési eredményeknek a paksi berendezésre való transzponálását a RELAP4 kóddal mindkét berendezésre elvégzendő számítások teszik reálissá.

A RELAP4 program alkalmazásához ki kellett alakítani és néhány egyszerű folyamattal majd le kell tesztelni a vizsgálandó rendszerek modelljét. A 17. ábrán látható a Paksi Atomerőmű primerkörének az a modellje, amelyet a biztonsági elemzésekhez eddig felhasználtunk. Ez a modell elsődlegesen a folyamatok globális megismerésére alkalmas és elhanyagolja a primerkör néhány olyan speciális részletét, amelyek a kis folyásoknál természetes cirkulációs, illetve az újranevesítési folyamatoknál nem elhanyagolható befolyással lehetnek a legfontosabb paraméterekre.

A PMK-berendezéshez igazított új számítási modellt a 18. ábrán láthatjuk. A hozzá tartozó legfontosabb RELAP4 input adatokat az 5. táblázat foglalja össze.

A két ábra összevetéséből a következő lényeges eltérések állapíthatók meg:

- az új sémában a térfogatokra való felosztás lehetővé teszi mind a melegági, mind a hidegági vizzsák modellezését;
- az új modell tartalmazza a zónát /mérőszakaszt/ megkerülő by-pass vezetékét;
- az új sémában a gőzfejlesztő szekunder oldalának leírásához a hővezetési modellt alkalmazzuk;
- elsősorban finn tapasztalatok alapján az alsó keverőtér külön leválasztott térfogat elemként szerepel.

Megjegyezzük, hogy a 18. ábra nem tartalmazza a hidrokumulátorok modelljét, ezek azonban a J17 és J18 csatlakozásokhoz illesztve a 17. ábra szerinti megoldásban átvehetők.

7.4. Kémiai kísérletek

A kémiai kísérletek elsődleges célja a primérgör szerkezeti anyagainak felületén bekövetkező kémiai átalakulások vizsgálata, lemosódási és lerakódási folyamatok kvantitatív meghatározása. Kihasnálva a PMK-NVH huroknak az erőművel azonos hőmérsékleti és áramlástanai viszonyait az erőmű szerkezeti anyagaiból alkalmasan kialakított próbatesteket kívánunk a hurok termikus és reológiai szempontból nevezetes pontjaira elhelyezni, majd tartós üzem után kémiai és felületanalitikai módszerekkel kívánjuk a próbatestek felületén végbement változásokat vizsgálni. Fontos módszerként kívánjuk alkalmazni a radioaktív nyomjelzést, előzetesen felaktivált próbatestek aktivitásának csökkenését, esetleg az aktivitás megjelenését a cirkuláló közegben meghatározva következtetni lehet a lerakódás és leoldás sebességére.

Az erőműben alkalmazott hűtőközeg összetételét szimulálva megvizsgáljuk egy kampány során fellépő koncentráció-

változások hatását a felületi folyamatokra. Eredményeinket elsősorban az aktivitás terjedés szempontjából kívánjuk diszkutálni.

Amennyiben mód nyílik Zr cső beszerzésére, célszerűnek tartanánk a Zr és hűtőközeg között lejátszódó folyamatok vizsgálatát magas hőmérsékleten baleseti körülmények között.

Köszönetnyilvánítás

Szerzők köszönetet mondanak Baranyai Gábor, Ézsöl György, Katona Tamás, Maetz Ervin, Vigassy József és Sági Kis Károlyné kollégáknak a hasznos diszkussziókért, illetve technikai segítségért.

Balogi Jenő /PAV és Vöröses Lajos /VEIKI/ közvetlen segítségnyújtással, illetve hasznos észrevételekkel segítették a munkát.

Köszönetet mondunk Schiller Róbertnek és Róder Magdának a kémiai problémák megfogalmazásáért.

8. Irodalom

1. L.S.Tong: Highlights of WRSR Achievements in FY 80 and Status of LOCA Safety Evaluation.
8th WRSR Information Meeting, Gaithersburg
1980. október 27-31.
2. L.S.Tong: USNRC LOCA Research Program.
International Conference on Current Nuclear Power Plant Safety Issues, Stockholm
1980. október 20-24. IAEA-CN-39/99.
3. W.Frisch, K.Hofmann: Analyse kleiner Lecks.
3.GRS-Fachgespräch, München
1979. november 29-30. GRS-16. p.48-57.
4. E.M.Feldman, D.J.Olson: Semiscale Mod-1 Program and System Description for the Blowdown Heat Transfer Tests.
NRC Report ANCR-1230. NTIS 1975.
5. Semiscale Mod-1 Program and System Description for Reflood Heat Transfer Tests.
ANCR-NUREG-1305.
1976. május.
6. G.W.Johnsen: Results of Semiscale Pump On/off Experiments.
8th WRSR Information Meeting, Gaithersburg
1980. október 27-31.
7. H.Schweikert: Refilling Tests with Consideration of the Primary Loops, PKL.
KWU Report N^o RS36/2
1975. március
8. R.Mandl: Reflood Test with a Consideration of the Primary Loops and Instrumentation of the Test Facility.
KWU Report N^o 343/75 1975. október

9. F.Mayinger, D.Hein, F.Winkler: Wirksamkeit von kombinierter Heiss- und Kalteinspeisung.
23 Annual ANS-Meeting, New York
1977. június 12-16.
10. Yi-Shung Chen, W.S.Haigh, L.H.Sullivan, S.R.Fischer:
Test Prediction for the German PKL Test K5A Using
RELAP4/MOD6.
Nuclear Technology 46, 1979 december, p.199-204.
11. D.Hein, H.Watzinger: Small break Locas Analysis, Control
and Experimental Results.
International Conference on Current Nuclear Power
Plant Safety Issues, Stockholm
1980. október 20-24. IAEA-CN-39/30.
12. G.D.McPherson: The LOFT Facility.
3.GRS-Fachgespräch, München
1979. november 29-30. GRS-16. p.17-19.
13. W.W.Bixby: LOFT Instrumentation.
3.GRS-Fachgespräch, München
1979. november 29-30. GRS-16. p.20-29.
14. H.L.Coplen, L.J.Ybarrondo: The Loss of Fluid Test
Integral Test Facility and Program.
Nuclear Safety, 15 /6/, 1974. november-december
p.676-690.
15. H.C.Robinson: Quick Look Report on LOFT Nonnuclear
Experiment L1-4.
NRC. 1977.
16. J.Dugone, D.E.Solberg, D.H.Walter: LOFT, Integral Test
Program
IDO-17258 K, 1969. április.

17. M.Mazzini, F.D'Auria, P.Vigni: PIPER-ONE: An Experimental Apparatus to Evaluate Thermal-hydraulic Transients in BWRs after small Breaks.
Istituto di Impianti Nucleari, Università degli Studi di Pisa, RP 462 /81/. 1981. augusztus.
18. ROSA-II.: Japanese Integral Test Program for PWR Blowdown and Reflood.
JAERI-M 6247 /1975/, 8287 /1978/
19. Anoda et al.: ROSA-III. System Description. JAERI-M 9243 /1980/, 9363 /1981/
20. Szabados L. és mások: Az NVH termohidraulikai kísérleti berendezés.
I., II. és III. rész. KFKI-77-108, -109, -110.
21. А.М. Букринский, Б.К. Мальцев, Л.П. Максимов: Паровая система компенсации объема теплоносителя для АЭС с водо-водным реактором. СЭВ, Совещание специалистов, 1976.

1. Táblázat

| Kísérleti berendezés | Ország | BWR | PWR | Modell térfogati aránya | Teljesítmény MW | Nyomás MPa |
|----------------------|--------------|-----|-----|-------------------------|-----------------|------------|
| PIPER-ONE | Olaszország | X | | 1:3000 | 1,0 | 8,0 |
| PMK-NVH | Magyarország | | X | 1:2070 | 1,0 | 13,0 |
| Semiscale | USA | | X | 1:1750 | 2,0 | 15,5 |
| Fix II. | Svédország | X | | 1:800 | | |
| LOBI | EURATOM | | X | 1:712 | 5,3 | 15,5 |
| TLTA | USA | X | | 1:600 | | |
| ROSA II. | Japán | | X | 1:500 | | |
| ROSA III. | Japán | X | | 1:437 | 4,45 | 7,3 |
| PKL | NSzK | | X | 1:134 | 1,4 | 3,5 |
| LOFT | USA | | X | 1:60 | 50,0 | 15,5 |
| HDR | NSzK | | X | 1:5 | 0 | 11,0 |
| MARVIKEN | Svédország | X | | 1:1 | | |

2. Táblázat

| | Paks VVER-440 | Modell | VVER-440 Modell |
|---|-----------------------|-------------------------|--------------------|
| Fűtőelemek hossza | 2.5 m | 2.5 m | 1.0 |
| Fűtőelemek száma | 39312 | 19 | 2069.1 |
| Felső keverőtér térfogata | 45.0 m ³ | 0.021749 m ³ | 2069.1 |
| Alsó keverőtér térfogata | 27.0 m ³ | 0.011119 m ³ | 2428.3 |
| Gyűrükamra tér- fogata | 20.14 m ³ | 0.011663 m ³ | 1726.7 |
| 1 db melegág térfogata | 2.69 m ³ | 0.007811 m ³ | 344.4 |
| 1 db hidegág térfogata | 4.018 m ³ | 0.011633 m ³ | 354.4 |
| 1 db kollektor térfogata | 2.1614 m ³ | 0.011719 m ³ | 184.4 |
| Hőátadó csövek felülete | 2510 m ² | 7.2784 m ² | 344.86 |
| Hőátadó csövek- ben víztérf. | 6.8335 m ³ | 0.01008 m ³ | 677.93 |
| Gőzfejlesztő pri- meroldali véztérf. összesen | 11.156 m ³ | 0.033518 m ³ | 332.85 |
| Gőzfejlesztő sze- kunderoldali gőz- térfogat | 25.0 m ³ | 0.072497 m ³ | 344.86 |
| Térfogatkompenzátor össztérfogat | 44.0 m ³ | 0.021265 m ³ | 2069.1 |
| Fűtőpatronok telje- sítőmánya | 1620 kW | 0.783 kW | 2069.1 |
| 1 db hidroakkumulá- tor ösztérf. | 2x70 m ³ | 0.067662 m ³ | 2069.1 |
| 1 db hidroakkumulá- tor víztérfogat | 2x40 m ³ | 0.038664 m ³ | 2069.1 |

3. Táblázat

Edény és csővezeték méretek a modellben armatúrák nélkül

| | hossz mm | belső átmérő mm | hajlítási sugár mm |
|--|-------------|-----------------------|--------------------------|
| <u>Reaktortartály részei:</u> | | | |
| gyűrükamra | 4267 | Ø73/Ø43 | - |
| alsó keverő tér | 1100 | Ø73 | - |
| | 700 | Ø111 | - |
| zóna modell | 2600 | Ø111 | - |
| fűtőelem | 2500 | Ø9.1 | - |
| zóna by-pass | 3200 | Ø10 | - |
| felső keverő tér | 5196 | Ø73 | - |
| <u>Melegág:</u> | 4700 | Ø46 | - |
| egyenes szakaszok | 3910 | Ø46 | - |
| 30°-os iv | 121.4 | Ø46 | 232 |
| 90°-os iv | 94.7 | Ø46 | 60 |
| <u>Gőzfejlesztő részei:</u> | | | |
| kollektor | 2800 | Ø73 | - |
| hőátadó cső /n=72 db/ szekunder oldal | 3536 | Ø9.1x1 | /lásd 3.ábra/ |
| | 3200 | Ø500 | - |
| <u>Hidegág:</u> | 7000 | Ø46 | - |
| egyenes szakaszok | 5315 | Ø46 | - |
| 90°-os iv | 94.7 | Ø46 | 60 |
| 70°-os iv | 75.1 | Ø46 | 61.5 |
| 30°-os iv | 121.4 | Ø46 | 232 |
| <u>Térfogatkompenzátor</u> | 2198 | Ø111 | - |
| névleges szint | 1299 | | |
| megengedett szintcsökkenés | 565 | | |
| <u>Hidroakkumulátor I., II.</u> | 2011 | Ø207 | |
| vizmagasság | 1149 | | |

| N ^o | Megnevezés | Jelölés | Érzékelő | Távadó | Jelfeldolgozás | | | | |
|----------------|---|----------|-----------------|--------------|----------------|-------------|-----------------------|-----------------|----------------------|
| | | | | | Üzemvitel | | Biztonság- védelem | Szabály- zás | Mérésadat gyűjtés |
| | | | | | műszer | regisztráló | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1. | Gőzfejlesztő szekunder belépő forg. | GF.Q2 | venturi- cső | dp/i dp/i | + | | + | | + |
| 2. | Gőzfejlesztő szekunder belépő hőm. | GF.TBE2. | Pt100ohm | T/i T/i | | + | | + | + |
| 3. | Gőzfejlesztő szekunder kilépő hőm. | GF.TKI2. | Pt100ohm | T/i | + | | | | + |
| 4. | Gőzfejlesztő szekunder kilépő nyom. | GF.P2. | P | P/i P/i | | + | | + | + |
| 5. | Gőzfejlesztő szekunder szint | GF.H2. | dP | dP/i dP/i | + | | | + | + |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|----------------------------------|---------|-------------|--------------|---|---|---|---|----|
| 6. | Gőzfejlesztő primer nyomásesés | GF.DP1 | dP | dp/i | | | | | + |
| 7. | Primer szivattyú nyomáskülönbség | Szl.DP. | dP | dp/i | + | | | | + |
| 8. | Primer forgalom | Q1. | venturi cső | dP/i dP/i | | + | | + | + |
| 9. | Gyűrükamra belépő hőmérséklet | KA.TBE | Pt100ohm | T/i | | | | | + |
| 10. | Mérőszakasz belépő hőmérséklet | MSz.TBE | Pt100ohm | T/i | | + | | | + |
| 11. | Mérőszakasz kilépő hőmérséklet | MSz.TKI | Pt100ohm | T/i | | | | | + |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|-------------------------------------|---------|----|--------------|---|---|---|---|----|
| 12. | Mérőszakasz kilépő nyo- más | MSz.P. | P | P/i | | | | | + |
| 13. | Mérőszakasz nyomásesés | MSz.DP. | dP | dP/i | | | | | + |
| 14. | Mérőszakasz vízszint | MSz.H. | dP | dP/i dP/i | + | | + | | + |
| 15. | Hidroakumu- látor 1. vízszint | HA1.H. | dP | dP/i | + | | | | + |
| 16. | Hidroakumu- látor 2. vízszint | HA2.H. | dP | dP/i | + | | | | + |
| 17. | Hidroakumu- látor 1. nyomás | HA1.P. | P | P/i | + | | | | + |

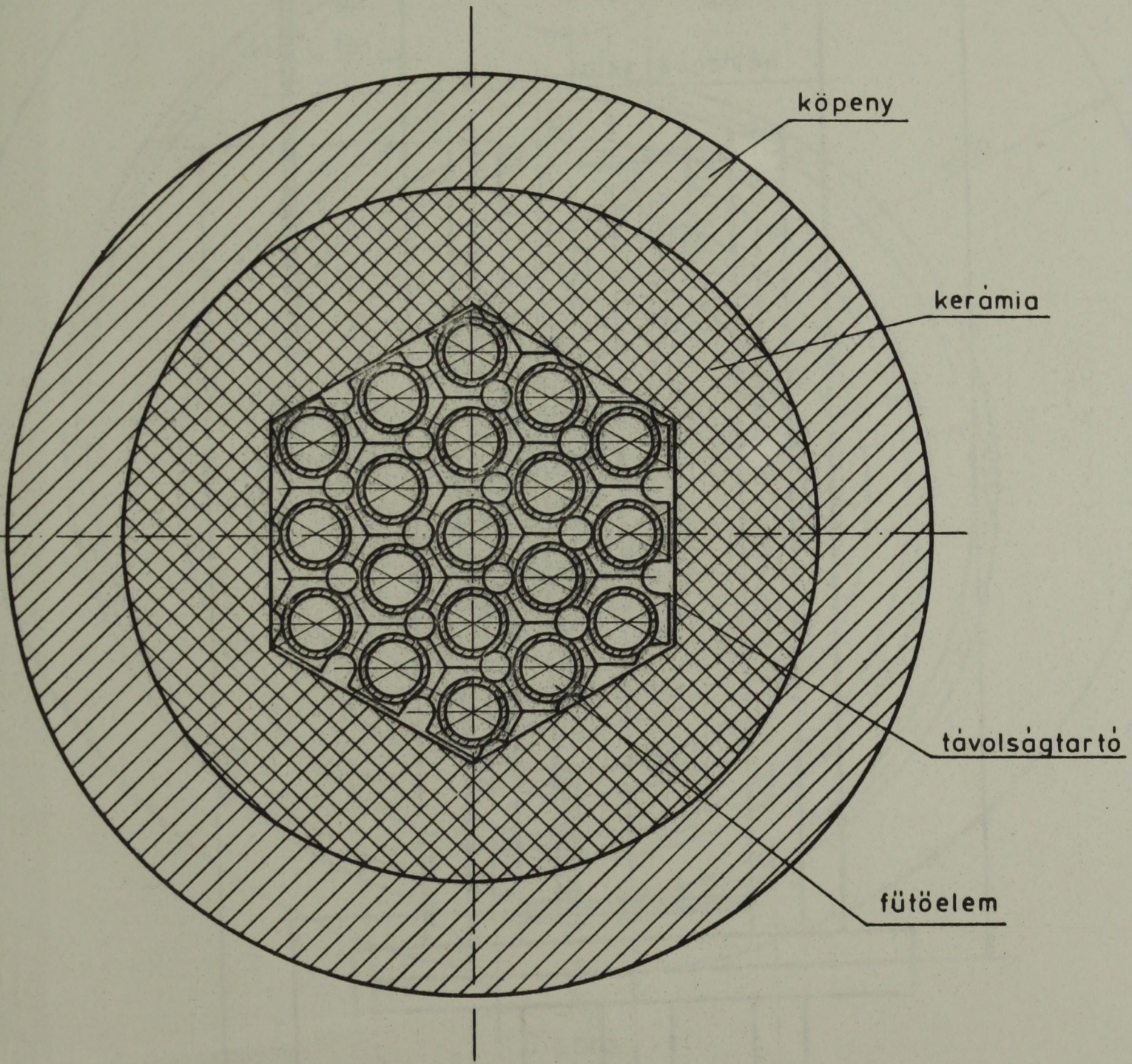
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|--|--------|----------|--------------|---|---|---|---|----|
| 18. | Hidroakumu- látor 2. nyomás | HA2.P. | P | P/i | + | | | | + |
| 19. | Hidroakumu- látor 1. hőmérséklet | HA1.T. | Pt100ohm | T/i | + | | | | + |
| 20. | Hidroakumu- látor 2. hőmérséklet | HA2.T. | Pt100ohm | T/i | + | | | | + |
| 21. | Primer nyo- mástartó nyomás | NYTLP. | P | P/i P/i | | + | | + | + |
| 22. | Primer nyo- mástartó hőmérséklet | NYTLT. | Pt100ohm | | | | | | + |
| 23. | Primer nyo- mástartó vízszint | NYTLH. | dP | dP/i dP/i | | + | | + | + |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------|-----|---|---|---|---|----|
| 24. : : 42. | Fűtőelem ki- égésvédő /19 db/ | TK1 : TK19 | Crommel Alumel termoelem | T/U | | | + | | + |

4. Táblázat folytatás

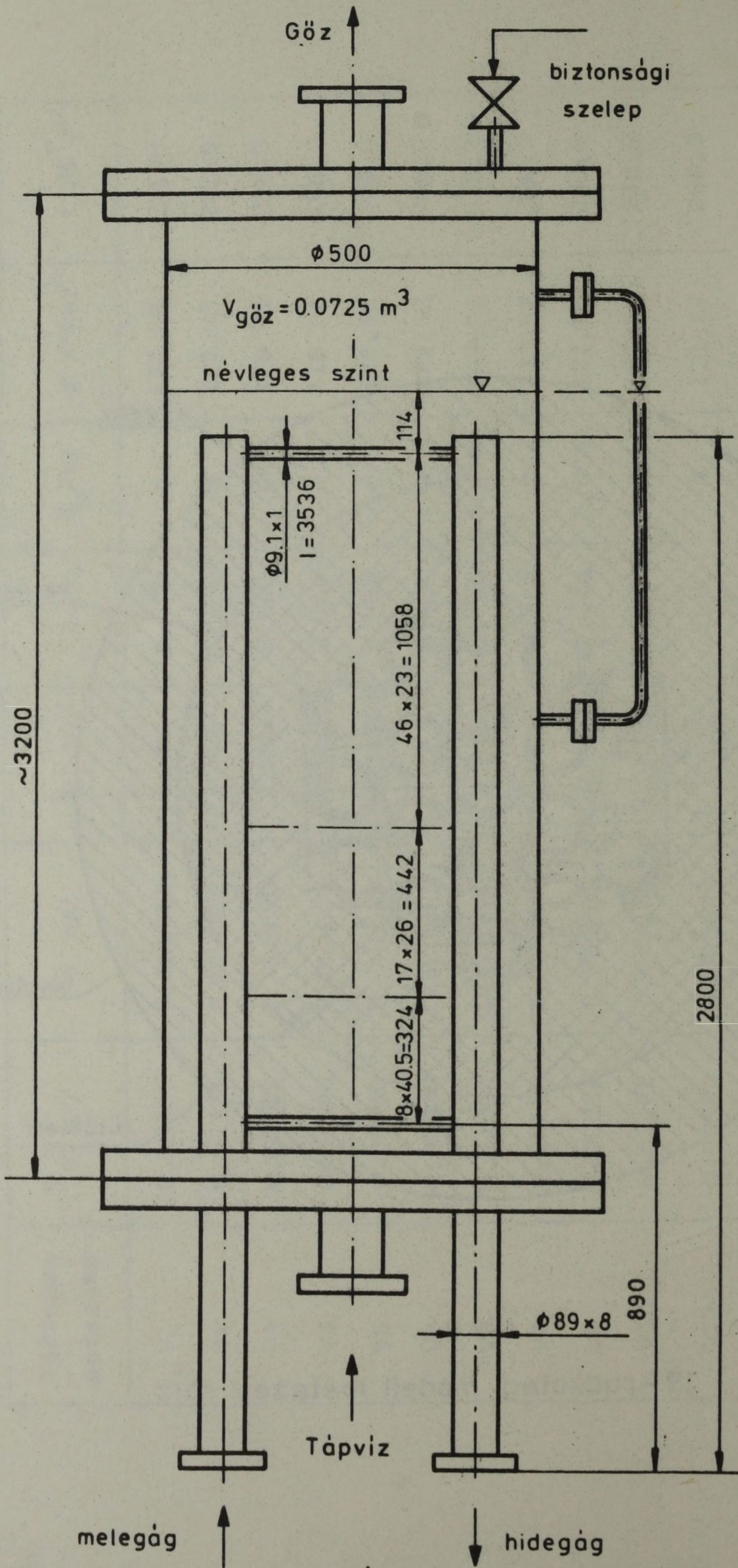
5. Táblázat

| Térfogat sorszám | V /m ³ / | F /m ² / | h /m/ | H /m/ | d _e /m/ | p /MPa/* | t /C ^o /* |
|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|-------|--------------------|-----------------|----------------------|
| V1 | 0.00582 | 0.001662 | 1.400 | 5.450 | 0 | 121.66 | 296.9 |
| V2 | 0.01371 | 0.001662 | 4.200 | 5.450 | 0 | 121.33 | 296.9 |
| V3 | 0.01008 | 0.002850 | 1.824 | 6.990 | 0 | 119.90 | 282.8 |
| V4 | 0.01546 | 0.001662 | 5.800 | 3.850 | 0 | 118.64 | 268.0 |
| V5 | 0.00500 | 0.001662 | 1.600 | 3.850 | 0 | 120.90 | 268.0 |
| V6 | 0.00300 | 0.001662 | 0 | 5.450 | 0 | 123.13 | 268.0 |
| V7 | 0.01630 | 0.002730 | 4.970 | 0.750 | 0.030 | 122.95 | 268.3 |
| V8 | 0.00650 | 0.009680 | 0.700 | 0.750 | 0 | 123.07 | 268.3 |
| V9 | 0.00328 | 0.001280 | 2.600 | 1.450 | 0.008 | 122.56 | 283.0 |
| V10 | 0.02175 | 0.004185 | 5.196 | 4.050 | 0 | 121.98 | 296.9 |
| V11 | 0.02130 | 0.009680 | { 2.198 1.300 | 9.060 | 0 | 121.67 | 296.9 |
| V12 | 0.60000 | 0.196000 | { 3.200 2.200 | 6.800 | 0 | * STESTA / KFKI | |
| V13 | 0.00024 | 0.000079 | 3.000 | 1.250 | 0 | eredmény | |



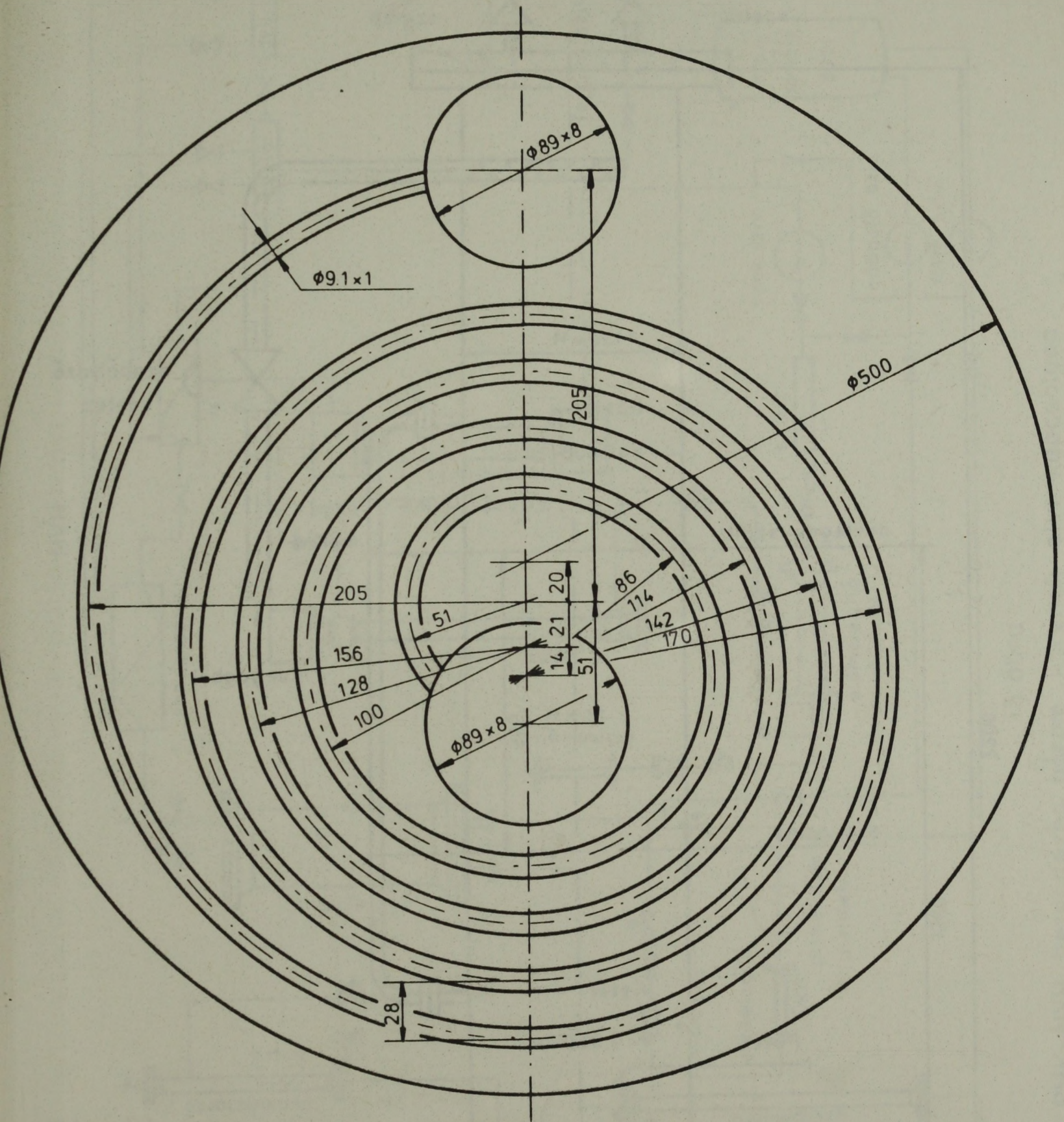
1. ábra

19 - rudkötég modell metszeti rajz



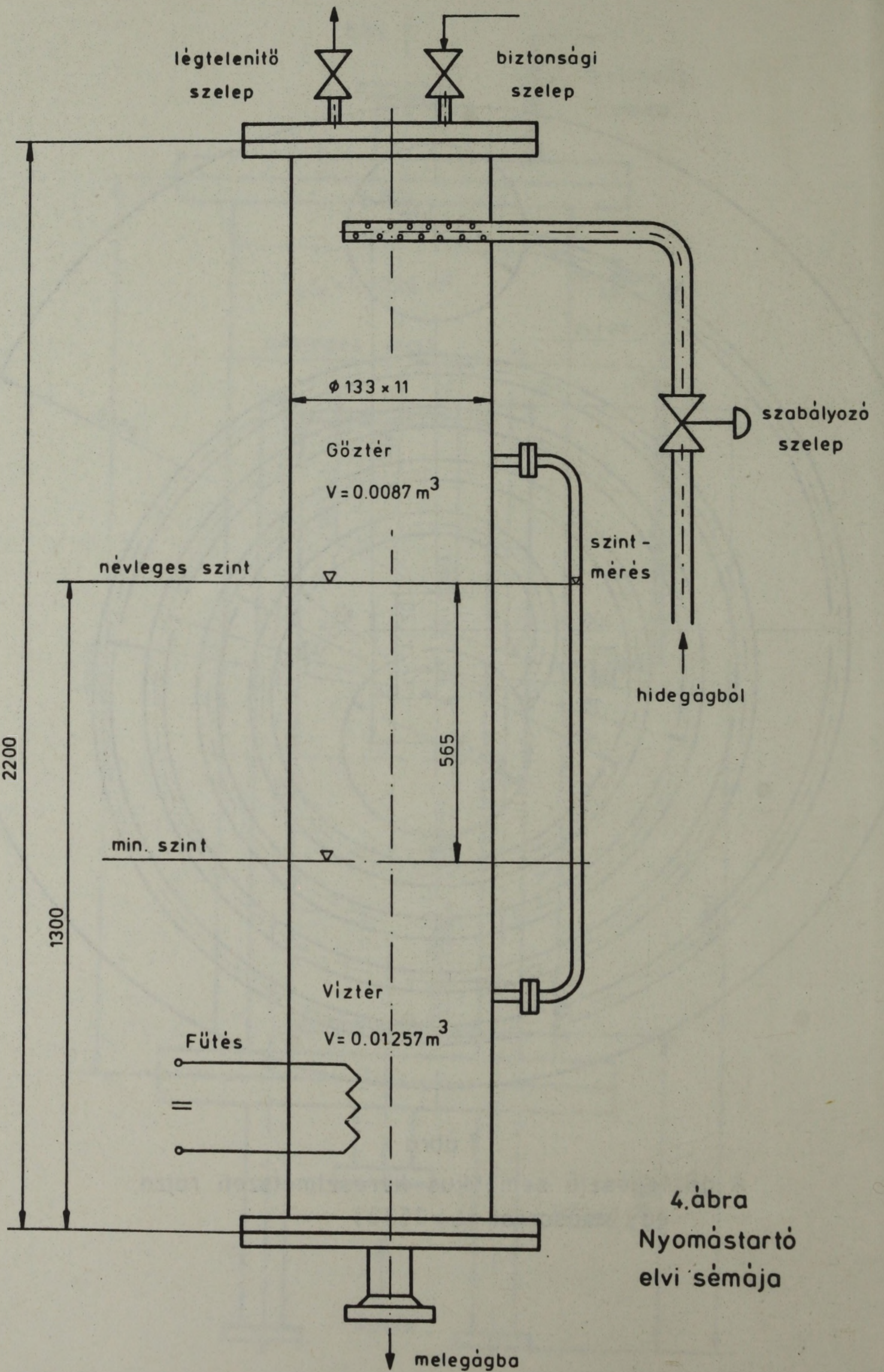
2. ábra

Gőzfejlesztő elvi sémája

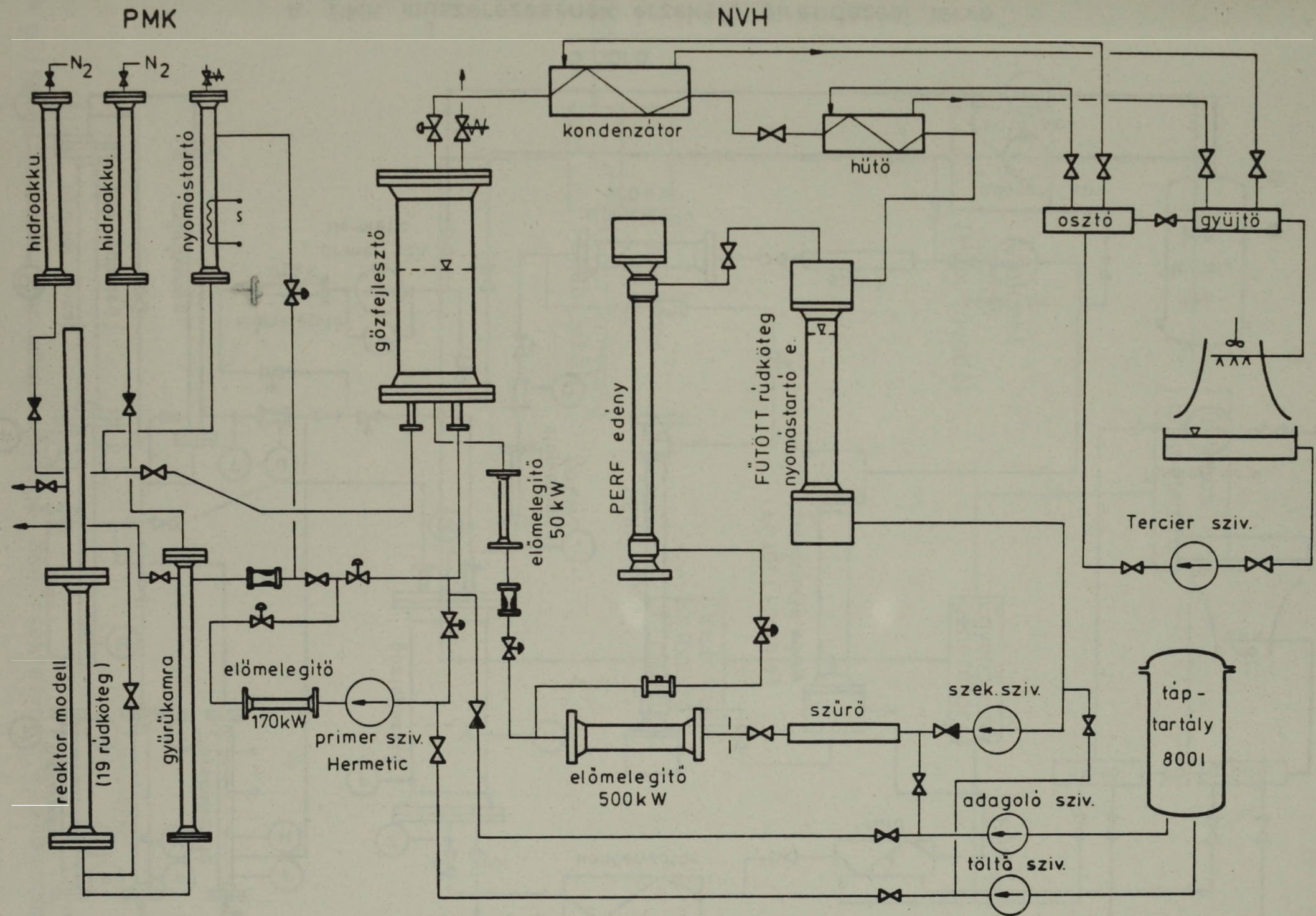


3. ábra

A gőzfejlesztő sematikus keresztmetszeti rajza,
egy csőszorral ($L = 3536$)

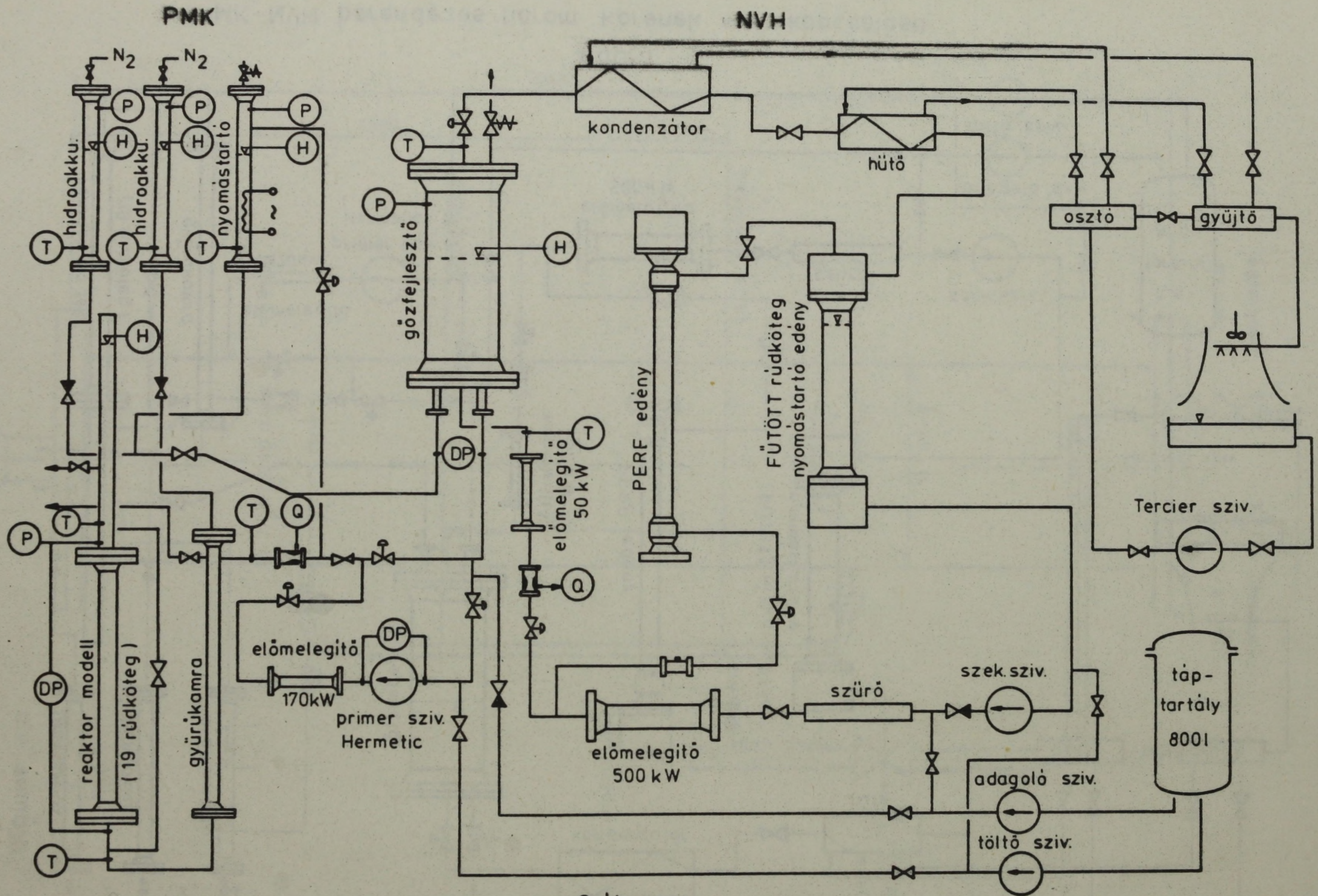


4. ábra
Nyomástartó
elvi sémája



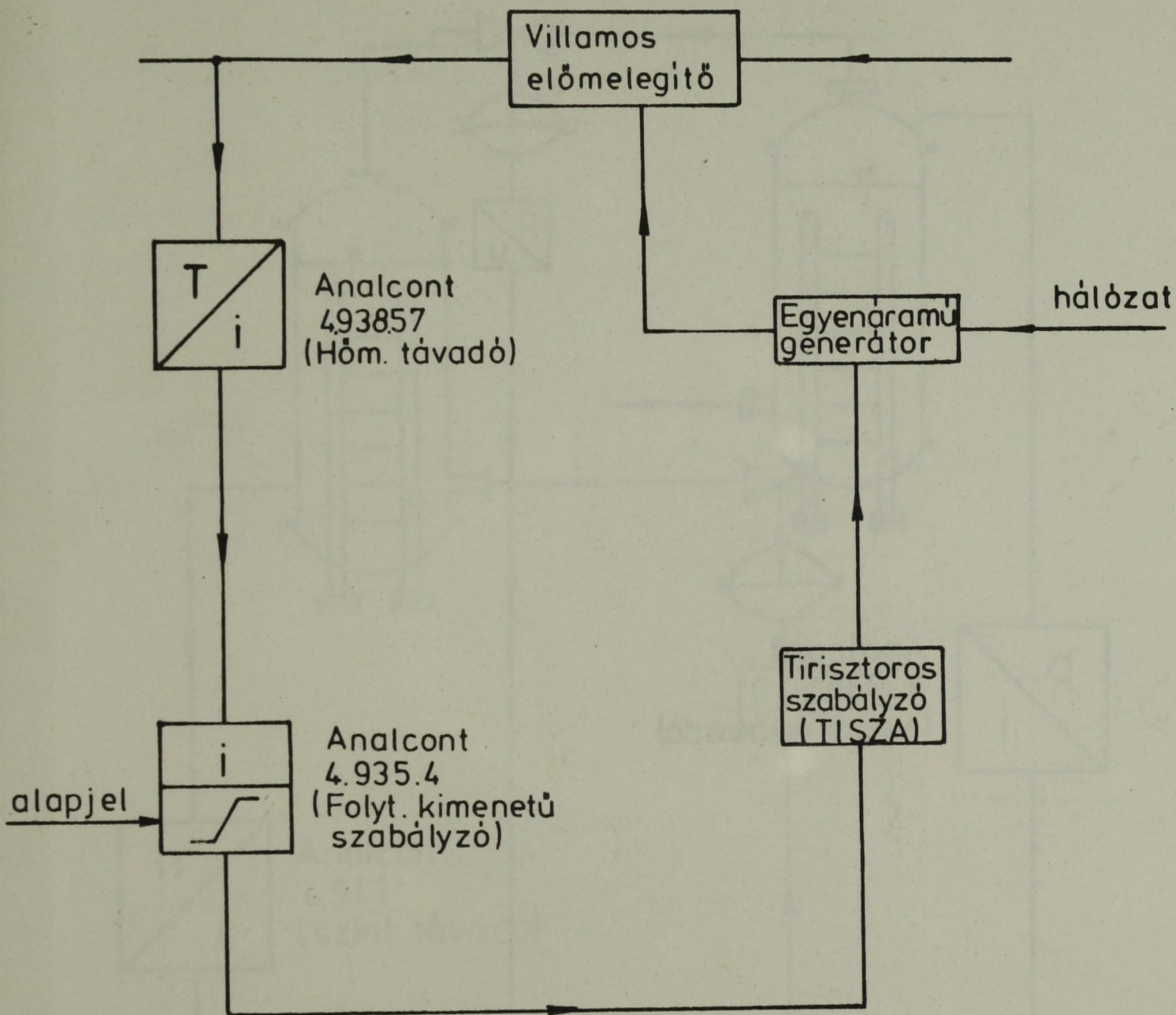
5. ábra

A PMK-NVH berendezés három körének elvi kapcsolása



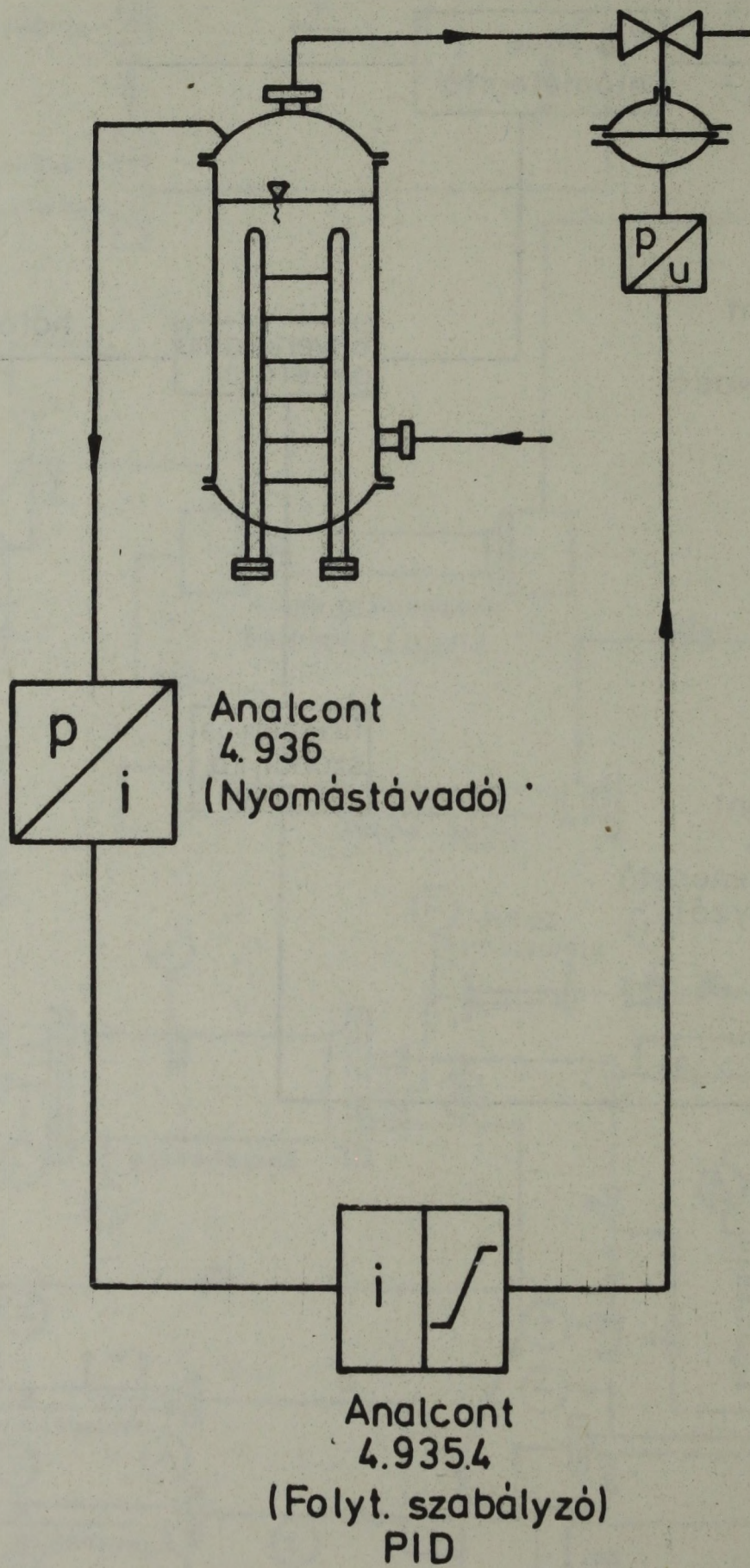
6. ábra

A PMK műszerezésének érzékelő elrendezési terve



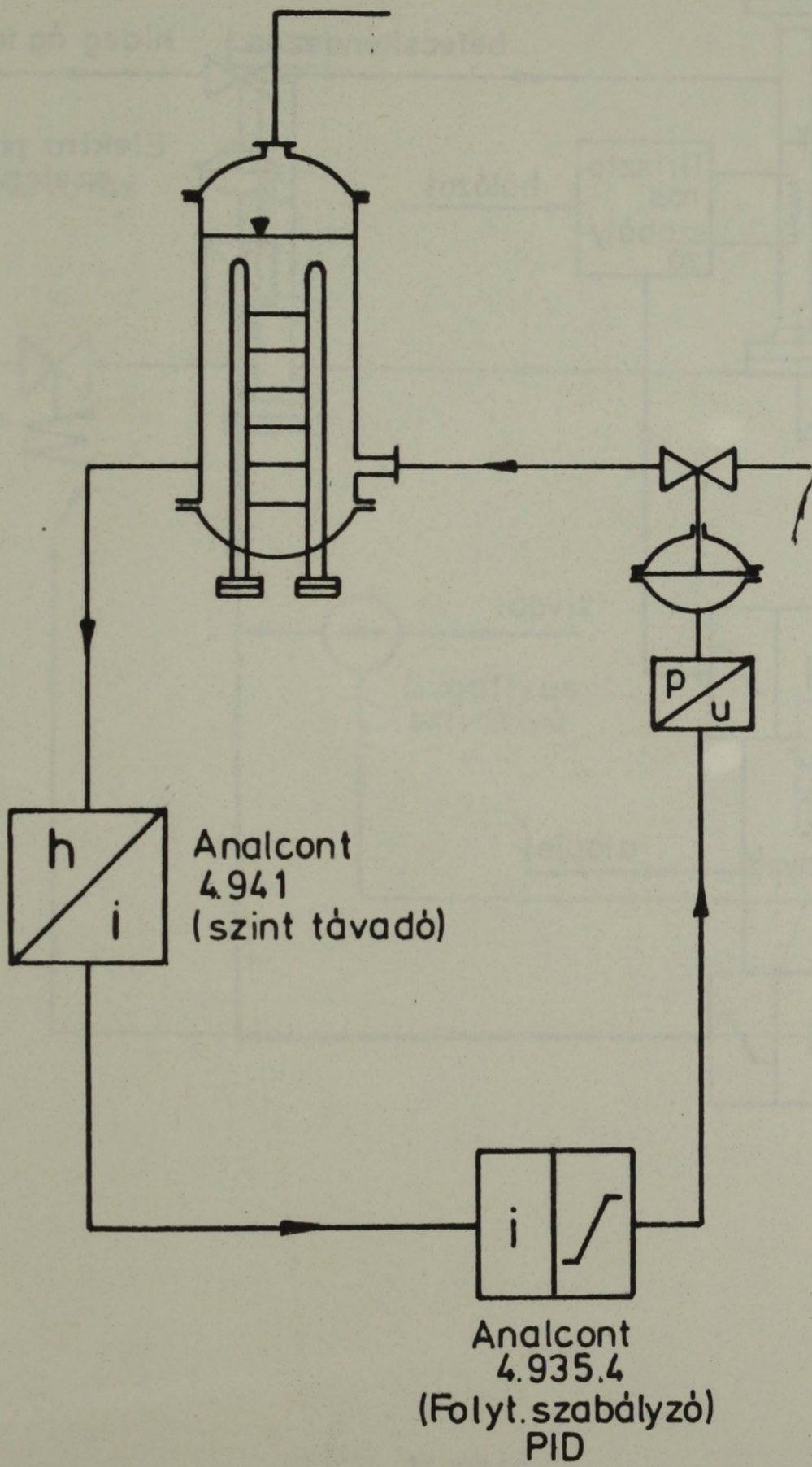
7.ábra

A gőzfejlesztő szekunder oldali belépő hőmérsékletének szabályozása.



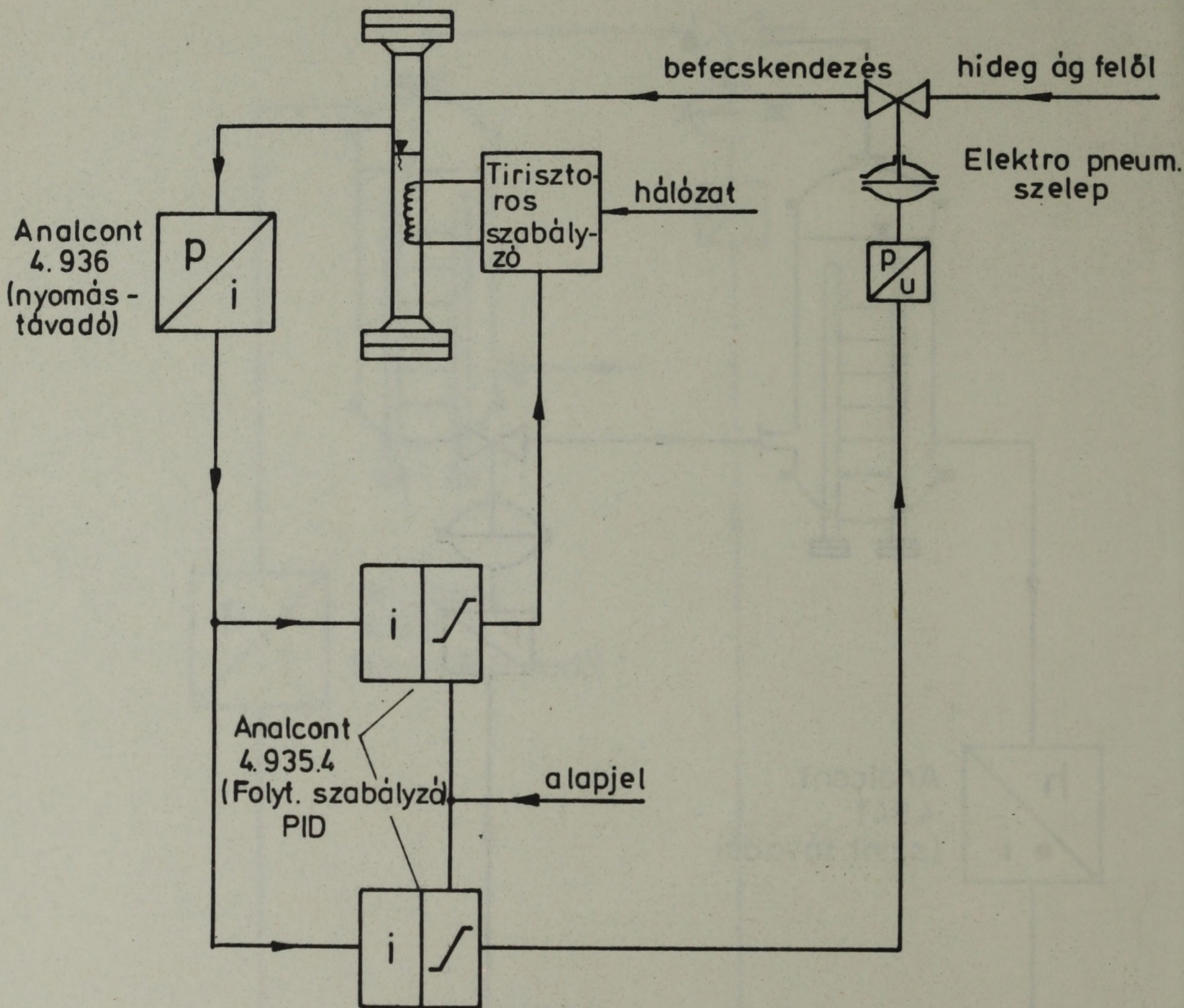
8. ábra

Nyomásszabályzás a gőzfejlesztő szekunder oldalán



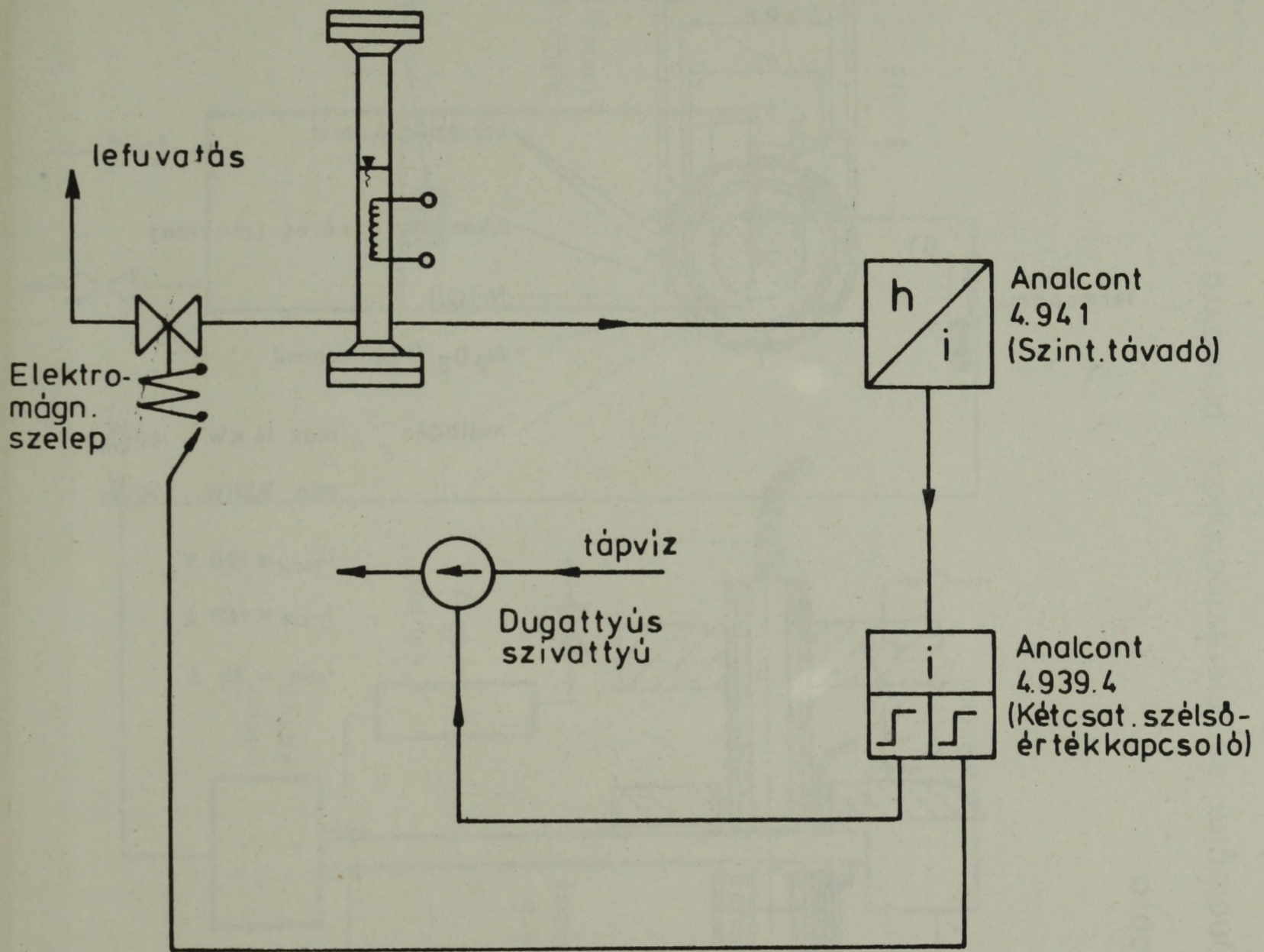
9. ábra

Szintszabályozás a gőzfejlesztő szekunder oldalán



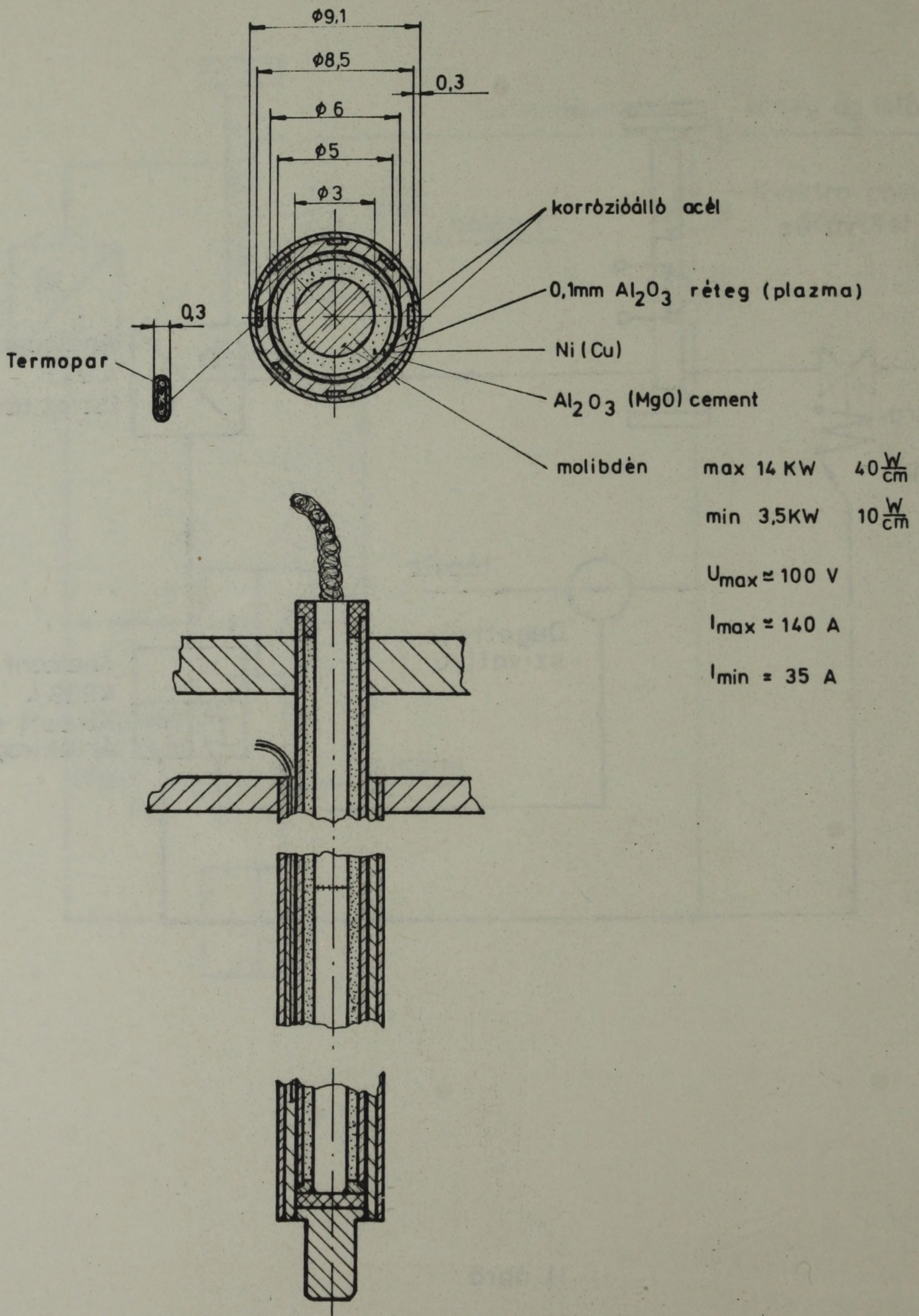
10. ábra

Nyomásszabályozás a térfogatkompenzátorban

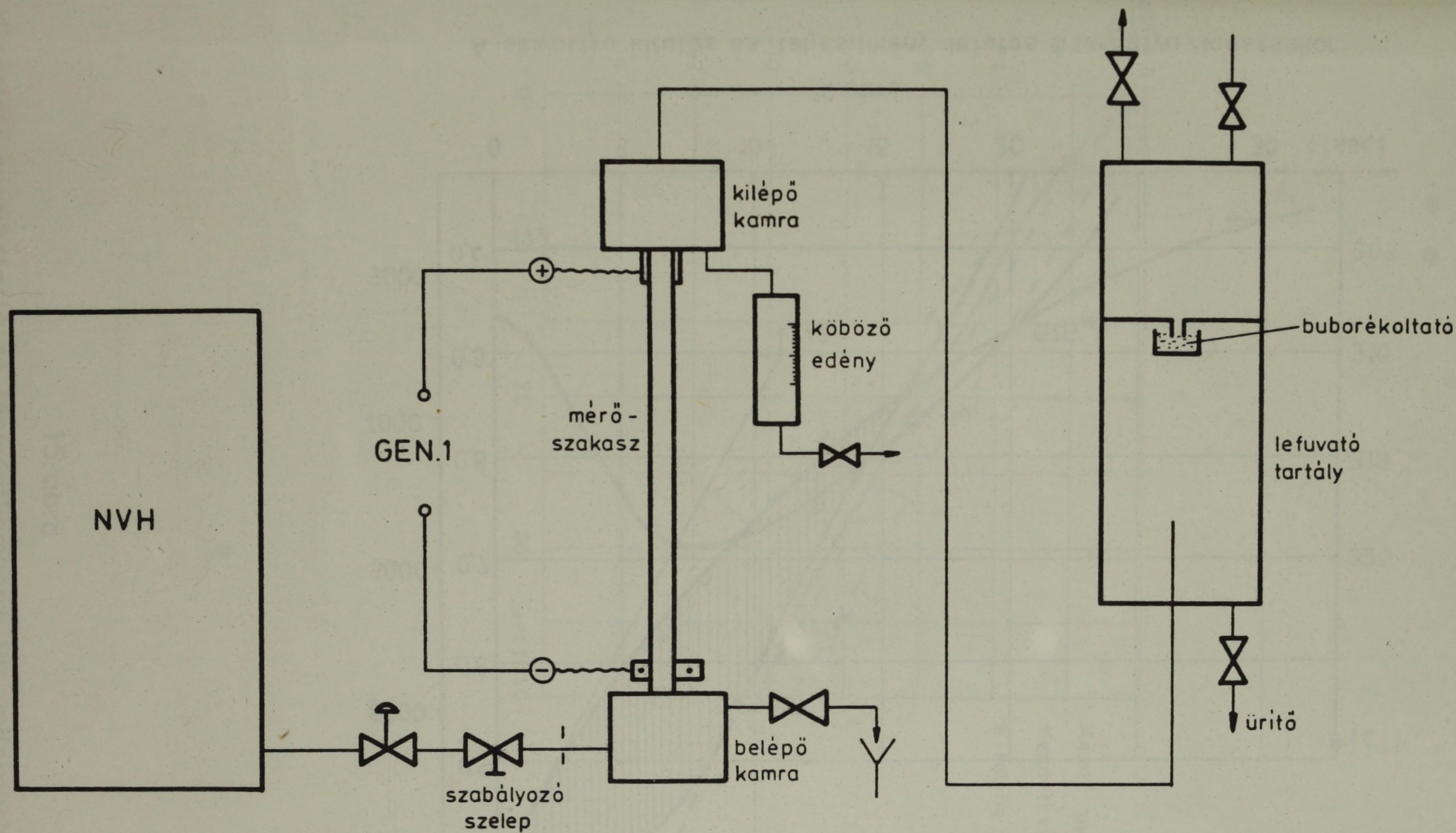


11. ábra

Szintszabályozás a nyomástartó edényben

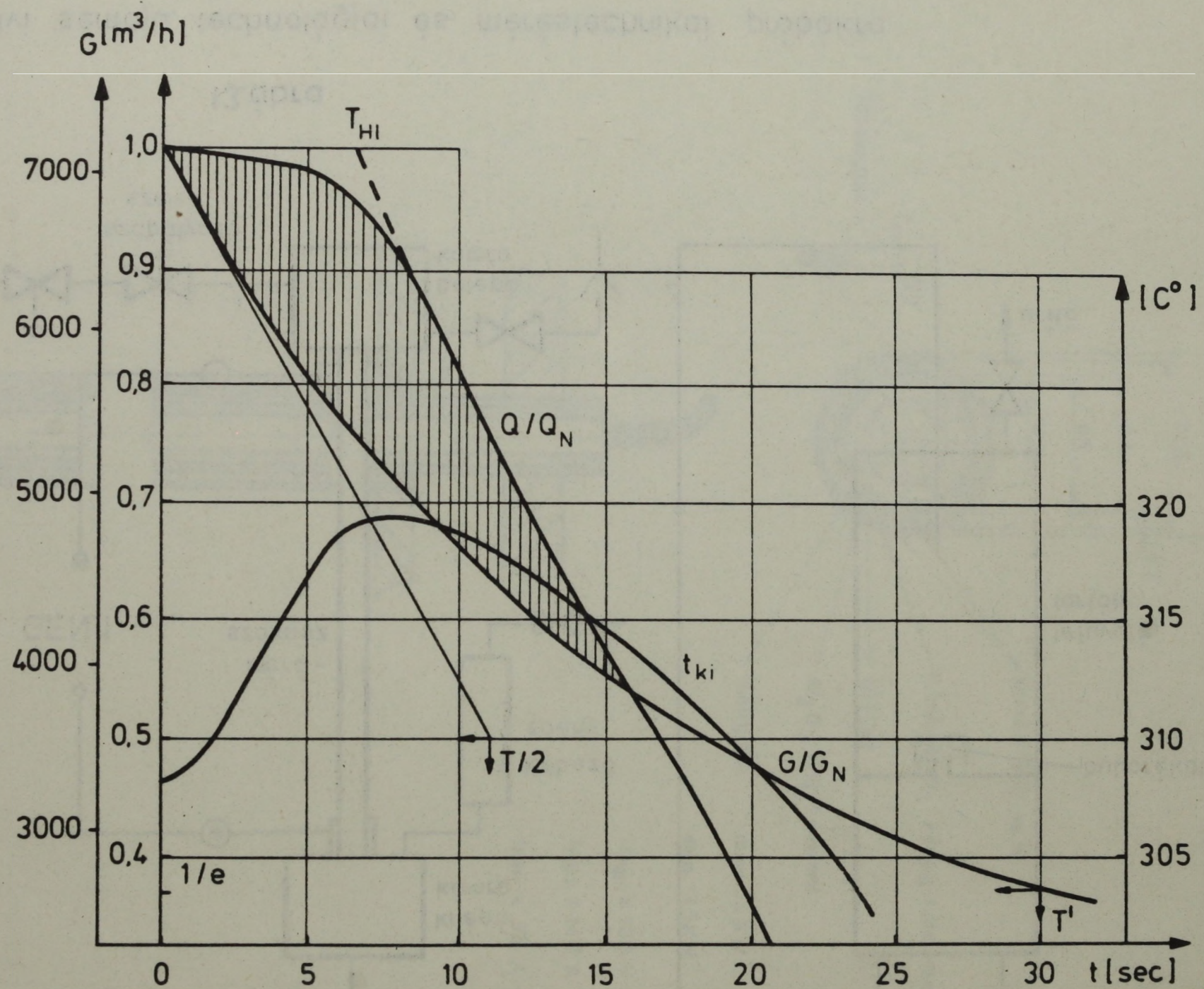


12. ábra
Indirekt fűtésű fűtőelem kialakítása.



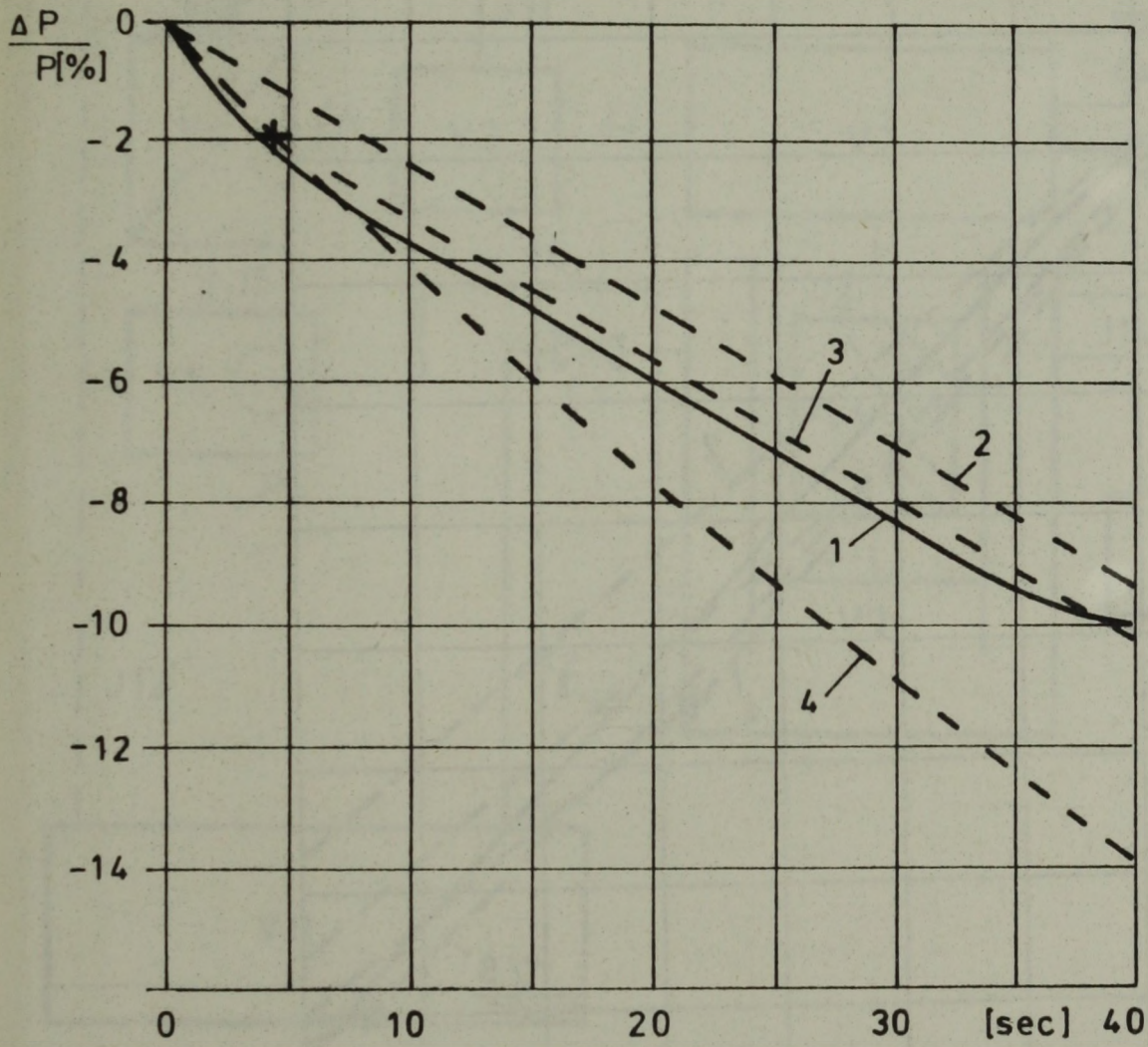
13. ábra

Mérőberendezés elvi sémája, technológiai és mérés technikai próbákra



14. ábra

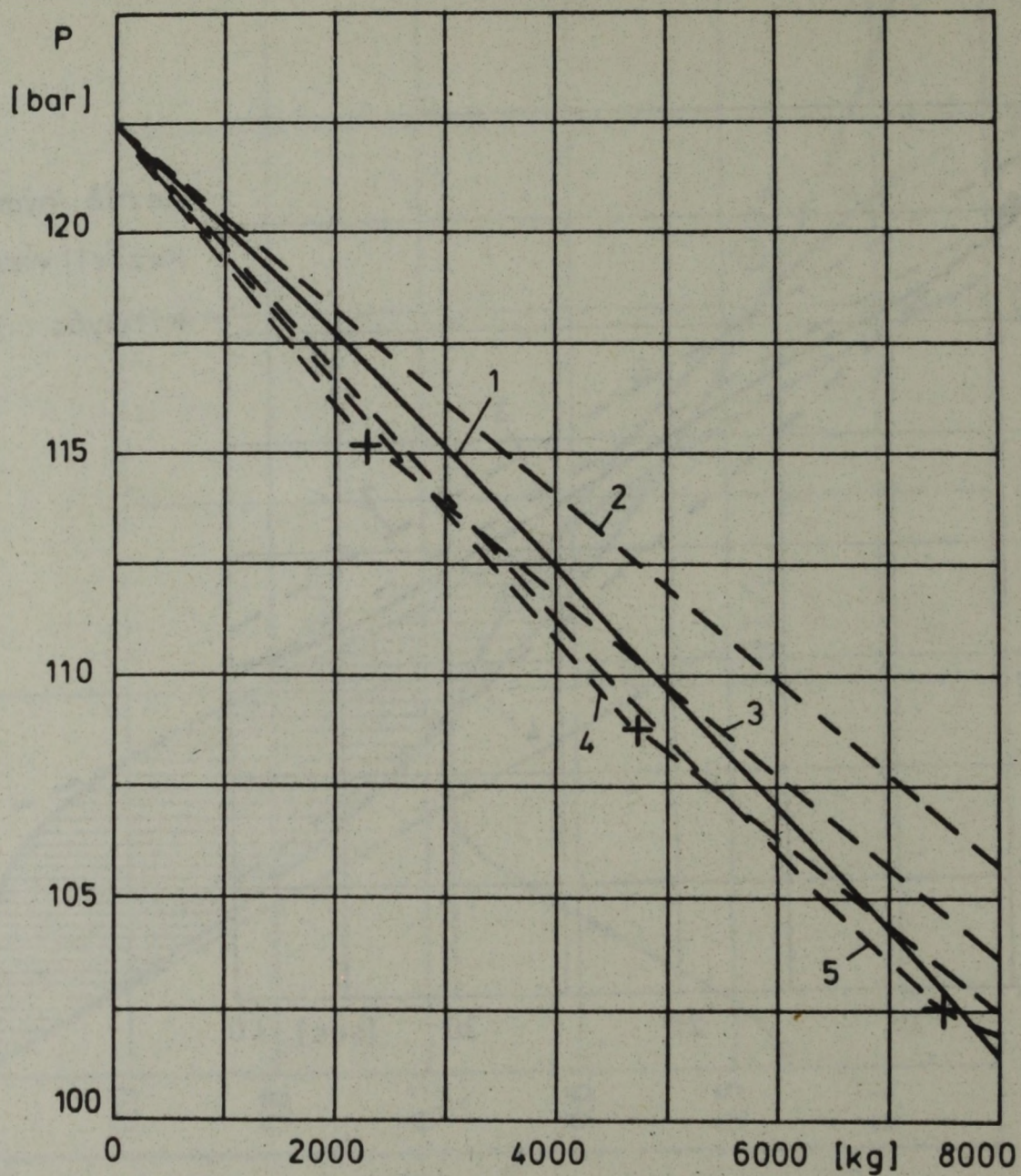
A szivattyú kifutás és teljesítmény lefutás 6 szivattyú kiesésekor



Kezdő nyomás: 100 ata
Kezdeti vízszint: 85 %
Kifolyás : 0,75% / sec

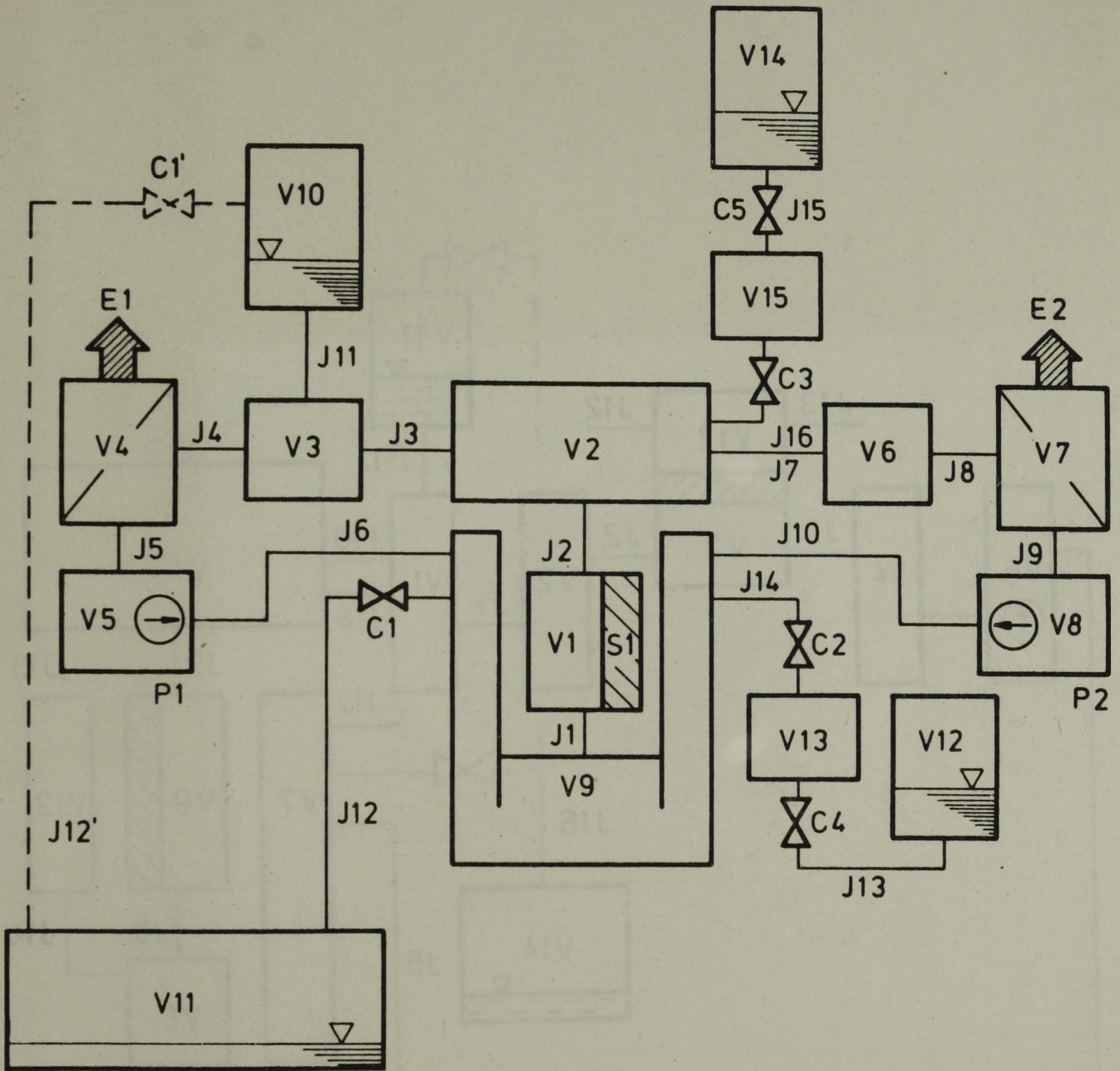
15. ábra

Kísérleti nyomástartó és térfogatkompenzátor jelleggörbéje



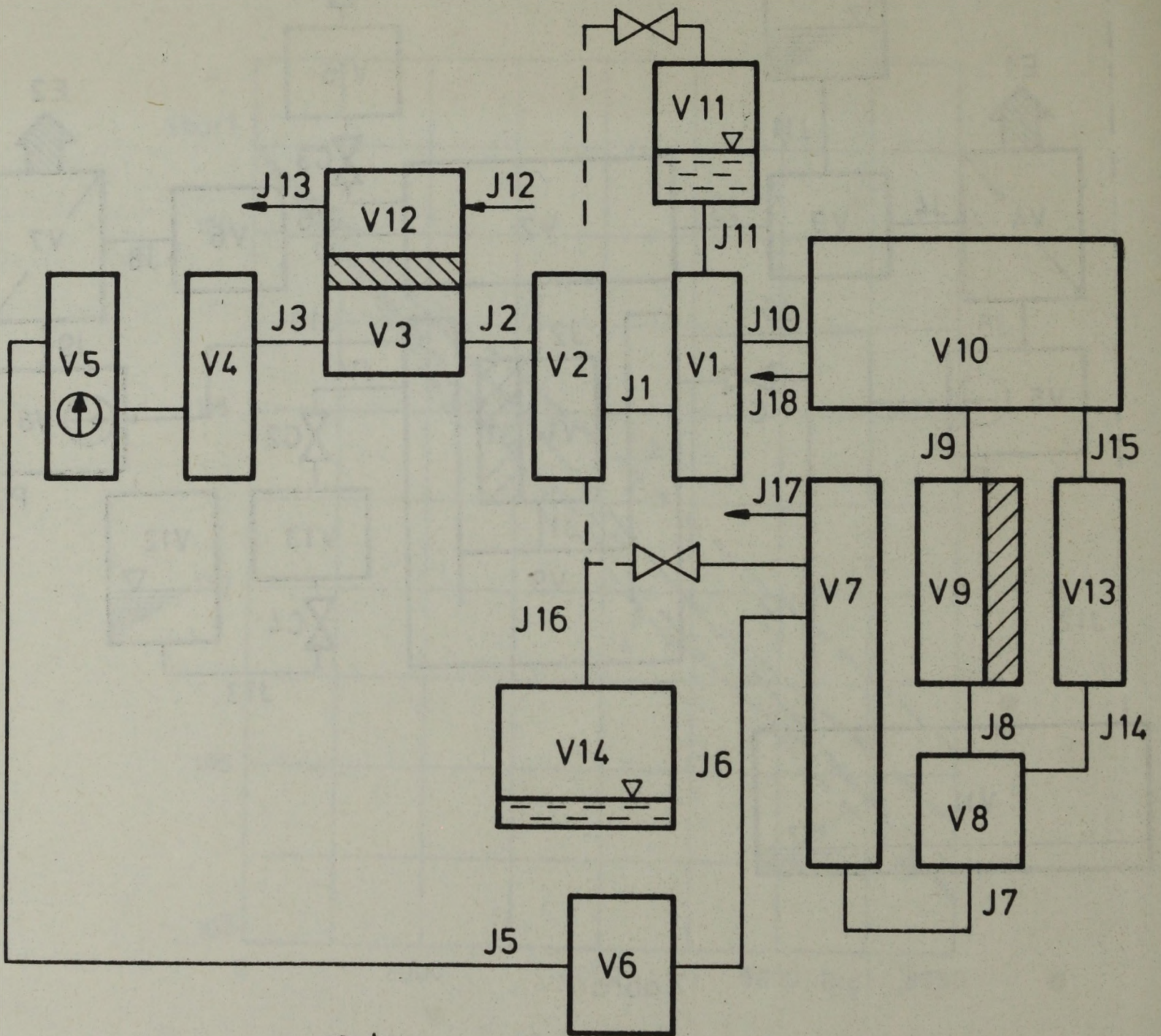
16. ábra

A VVER-440 tip. reaktor nyomástartó és
térfogatkompenzátorának jelleggörbéje



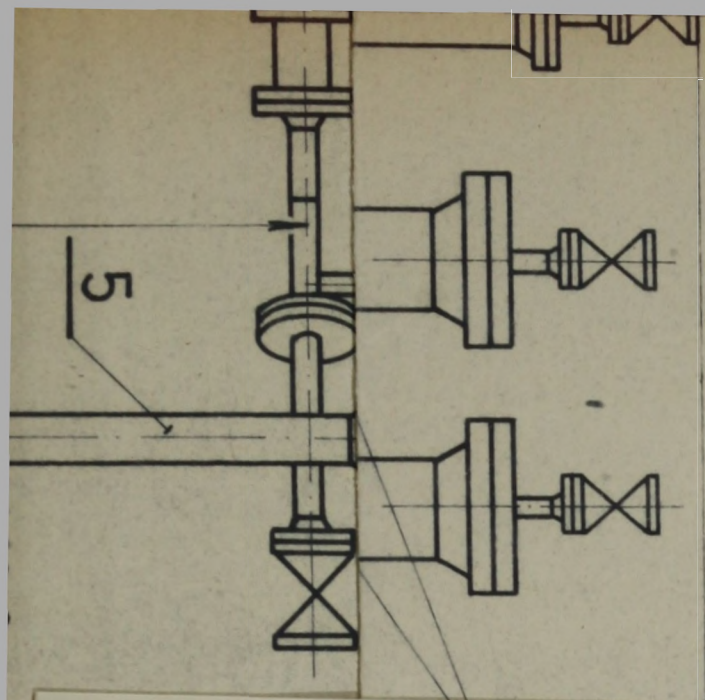
17. ábra

A PAKSI ATOMERŐMŰ primerkörének számítási modellje a RELAP programhoz

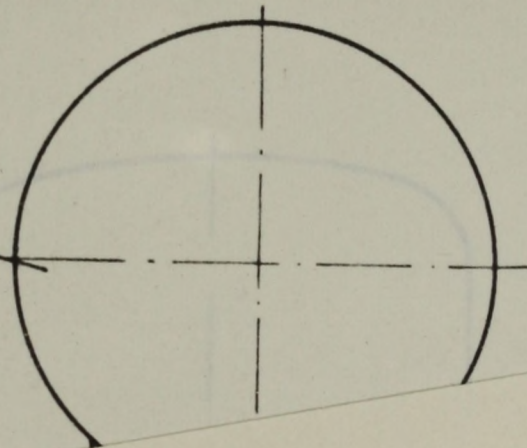


18. ábra

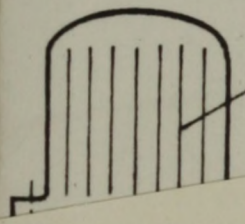
A PMK-NVH berendezés számítási modellje a RELAP programhoz

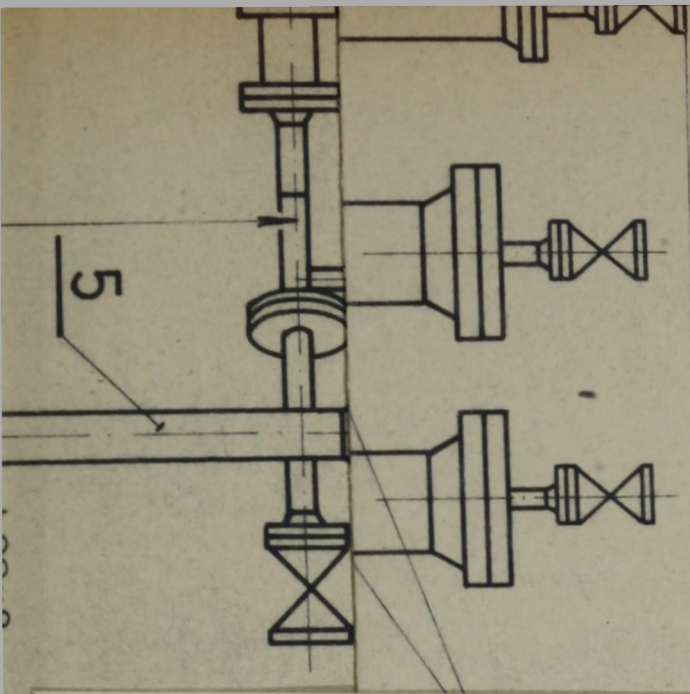


Gőzfejlesztő

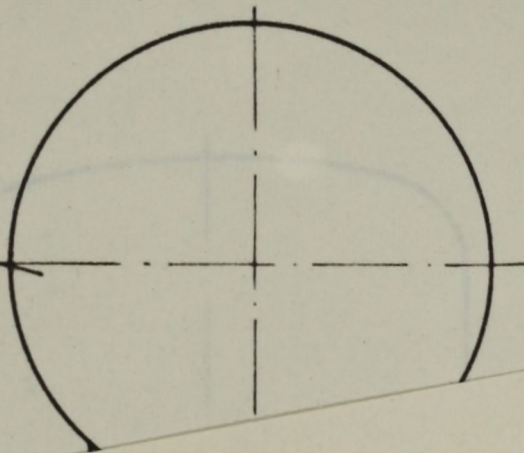


Szivattyú

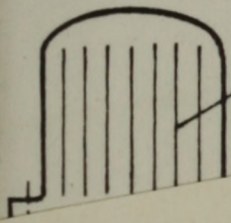




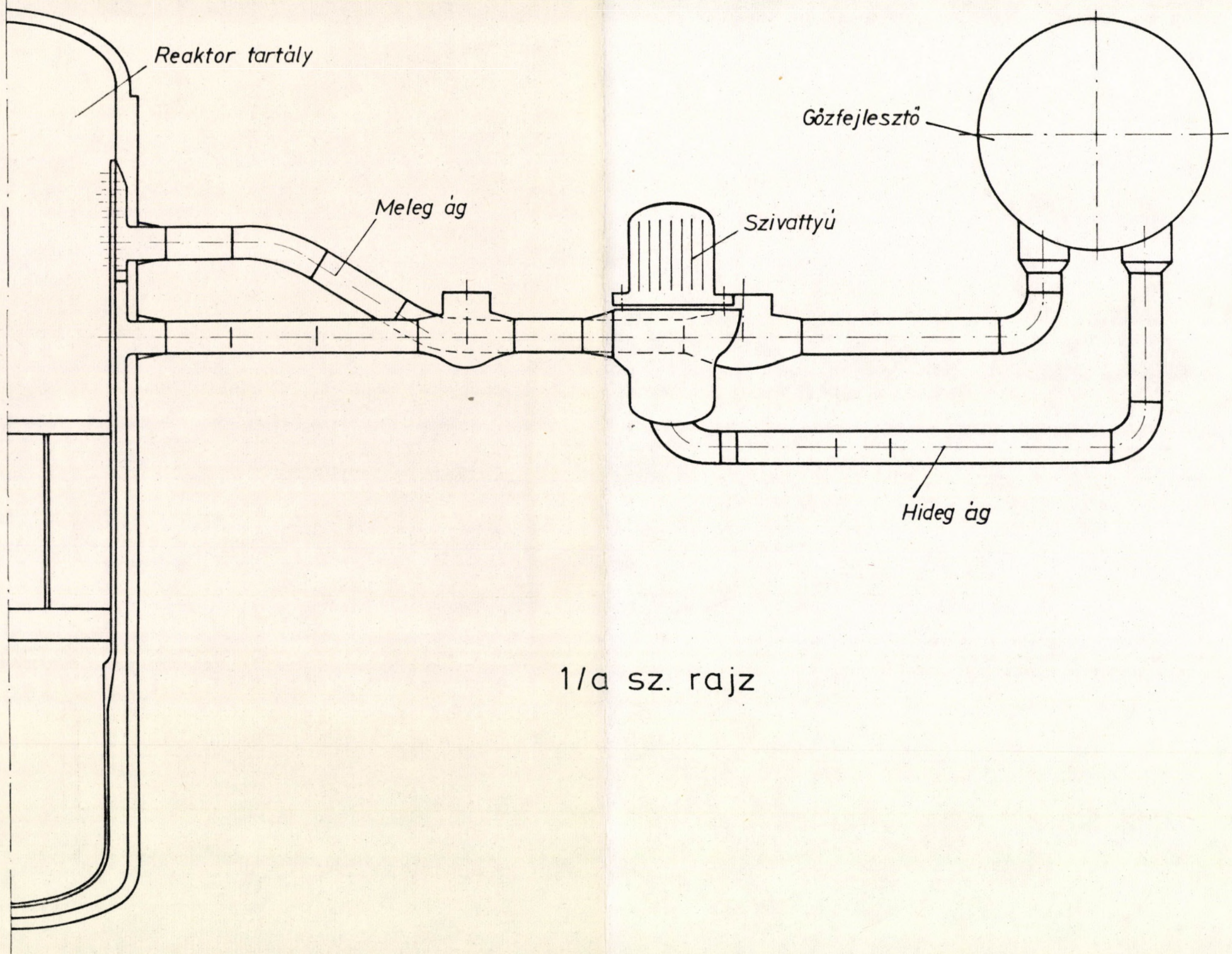
Gőzfejlesztő



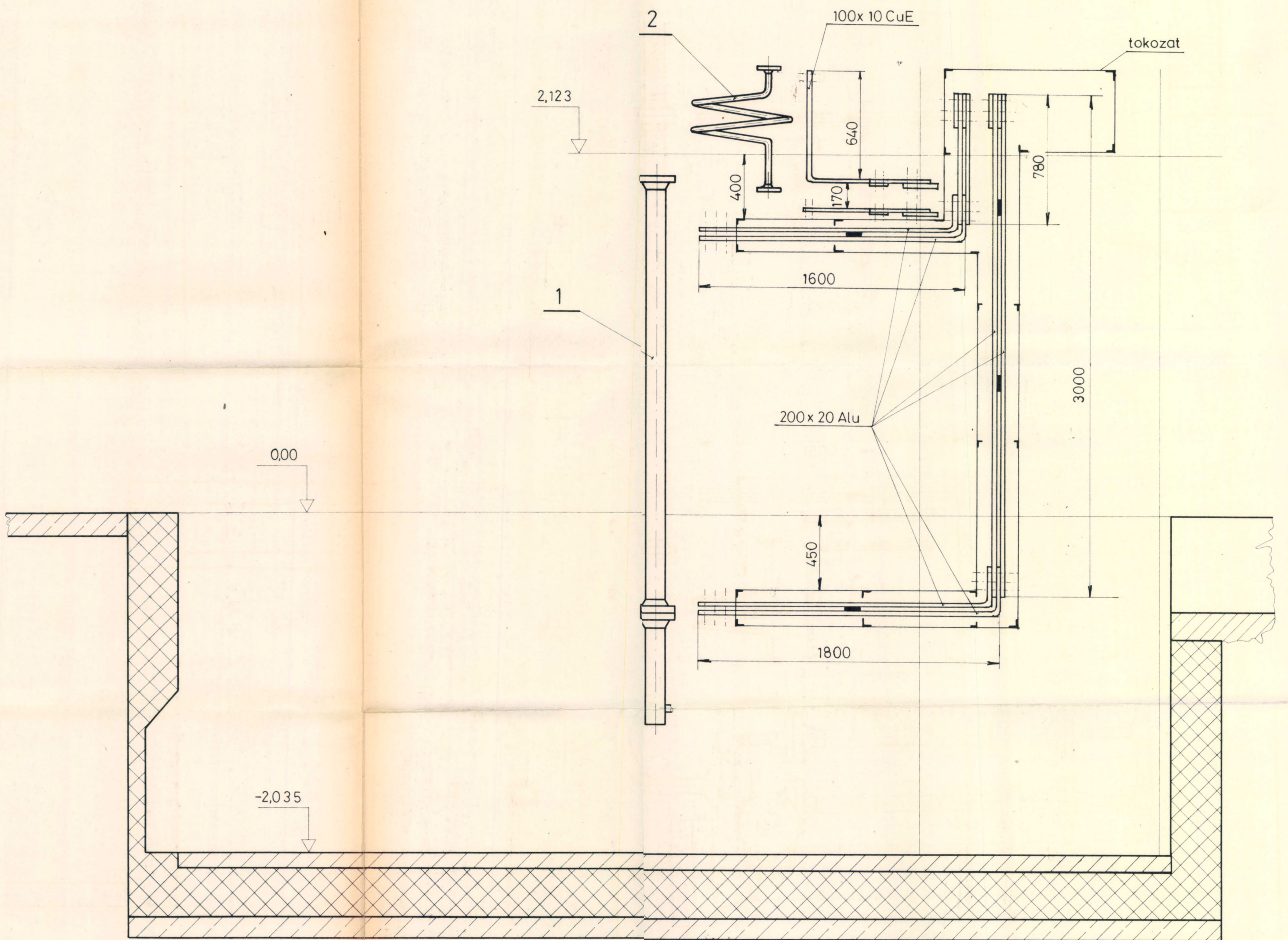
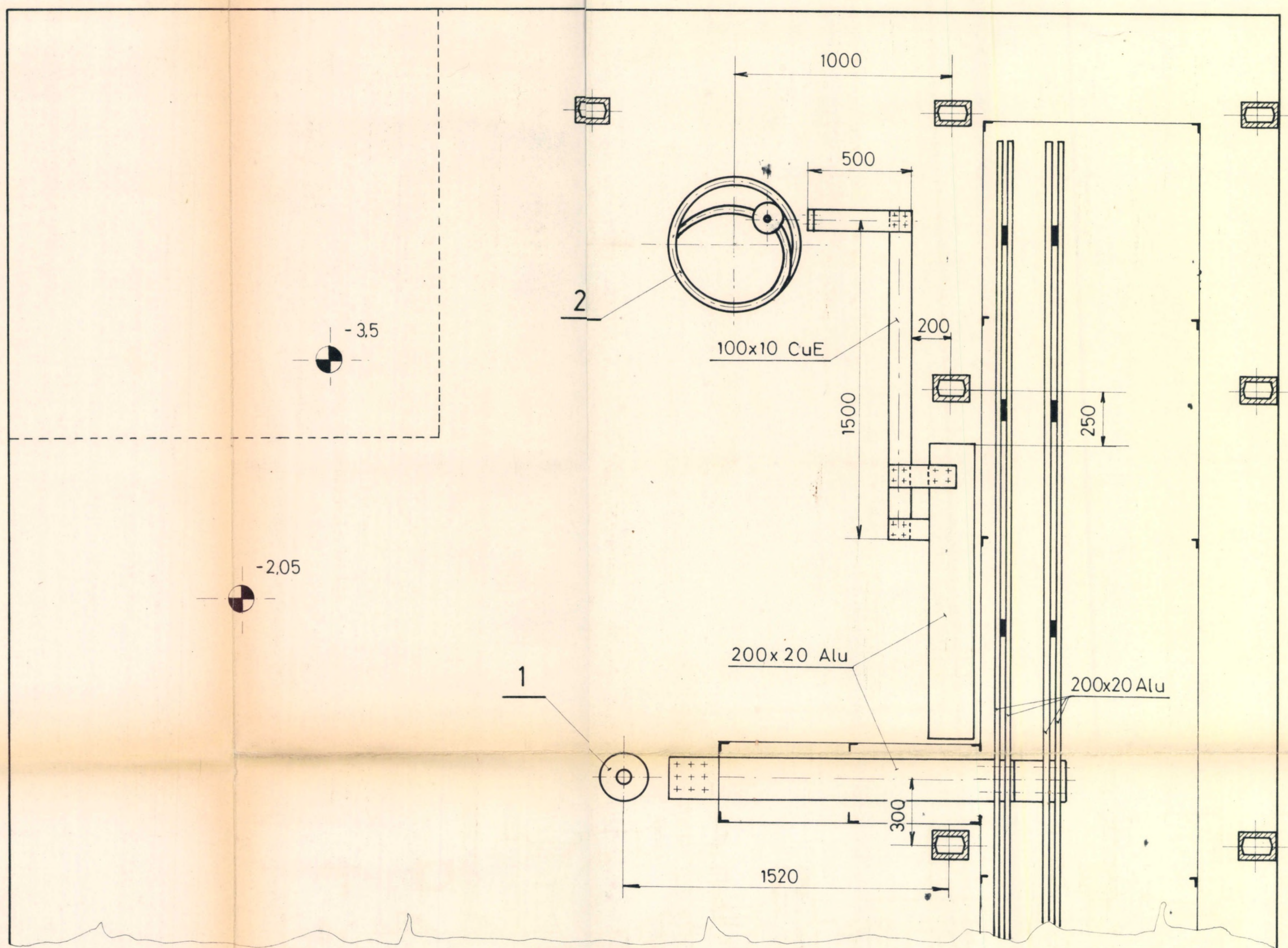
Szivattyú



63.22

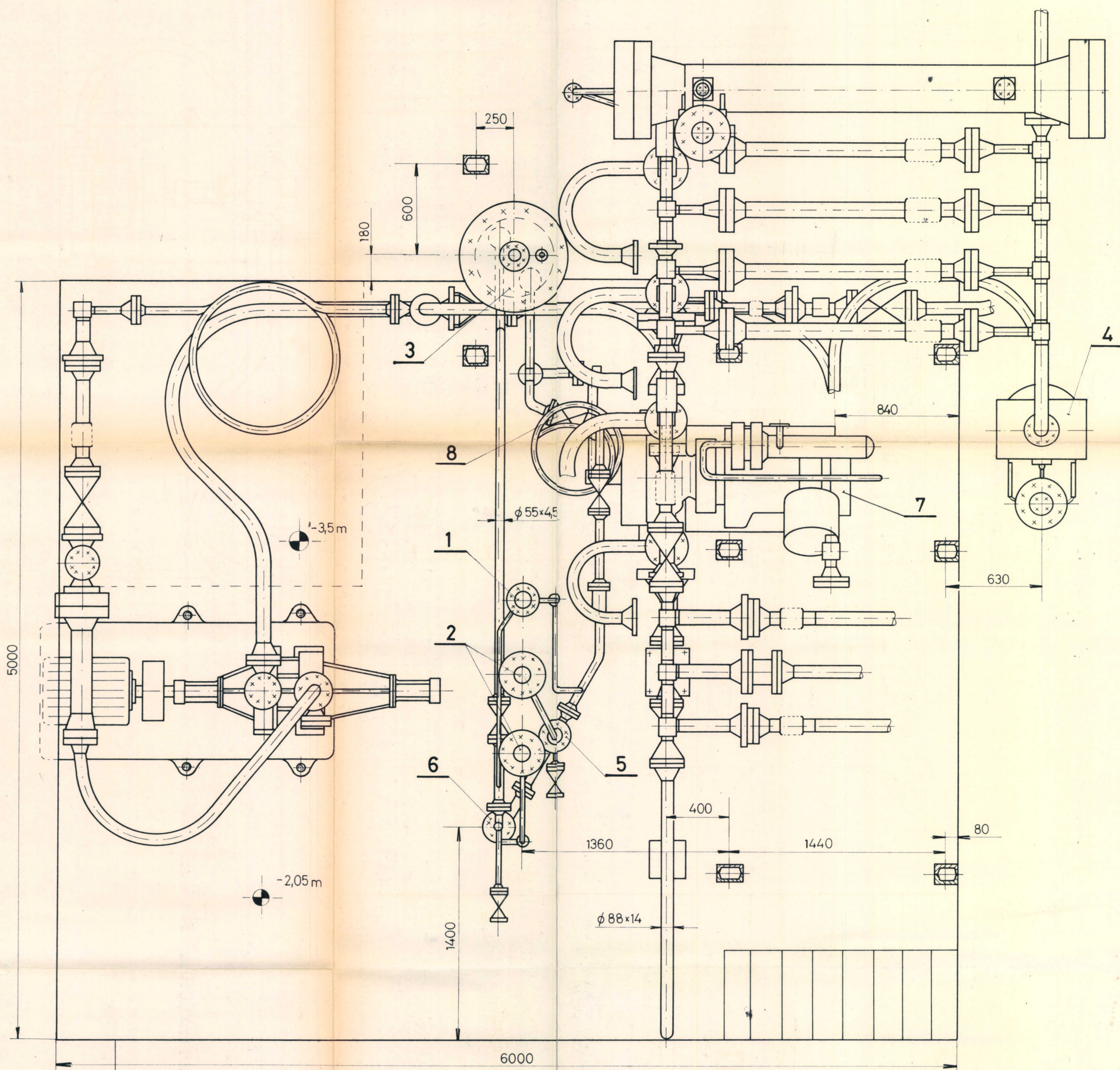


1/a sz. rajz



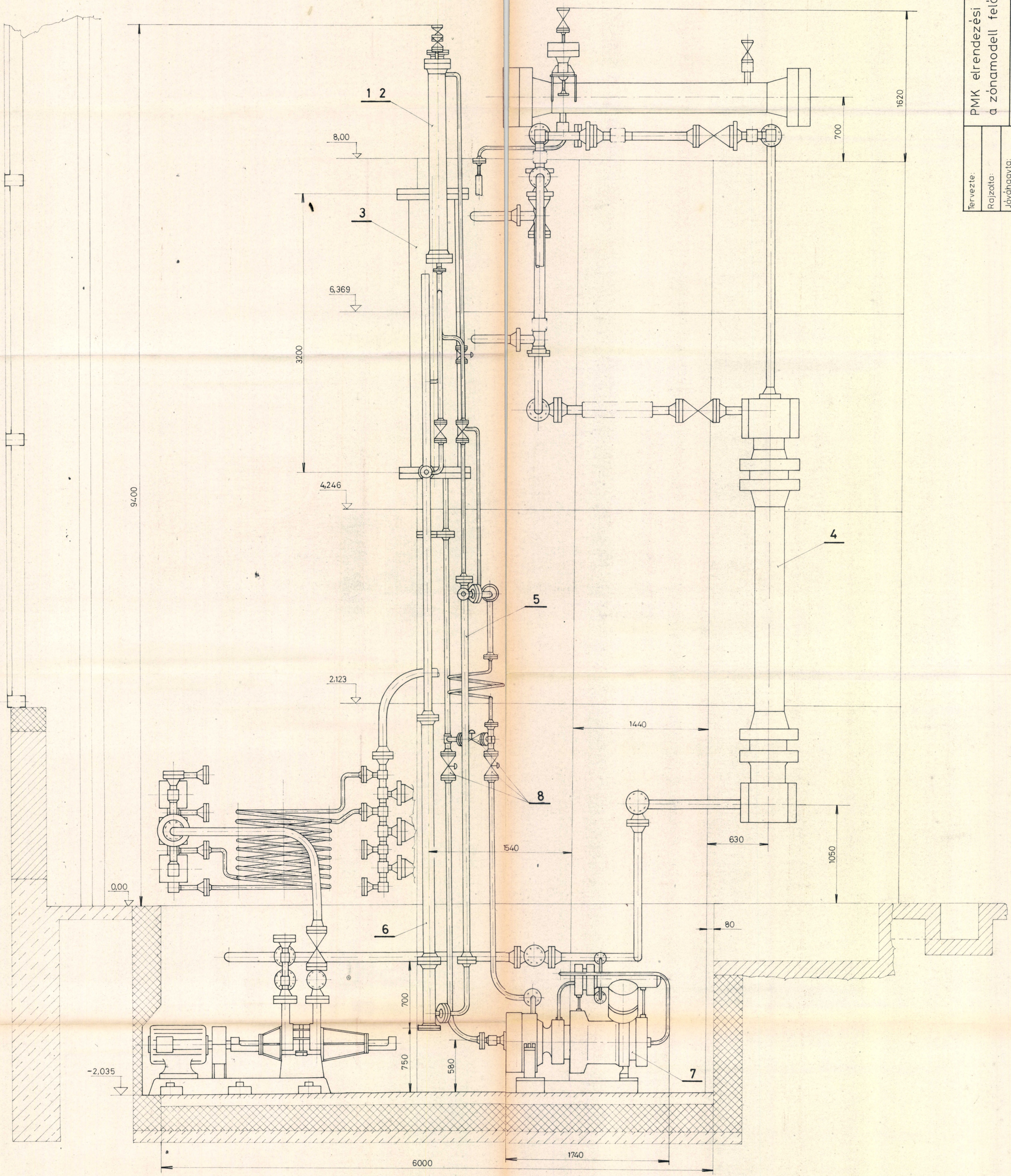
| | | | | |
|-----|---------------|------------|----------|------------|
| 2 | Előmelegítő | KO 36 | φ 40x4 | |
| 1 | Reaktormodell | KO 36 | φ 133x11 | |
| Jel | Db | Megnevezés | Anyag | Méret |
| | | | | Megjegyzés |

| | | | |
|------------------------------|---|------------------|------------------|
| Tervezte: <i>[Signature]</i> | Erősáramú villamos berendezések csatlakoztatása | | KFKI-AEKI |
| Rajzolta: <i>[Signature]</i> | | | Termohidraulika |
| Jóváhagyta: | Dátum: 1982.02.11. | Méretarány: 1:20 | Rajzszám: PMK-05 |

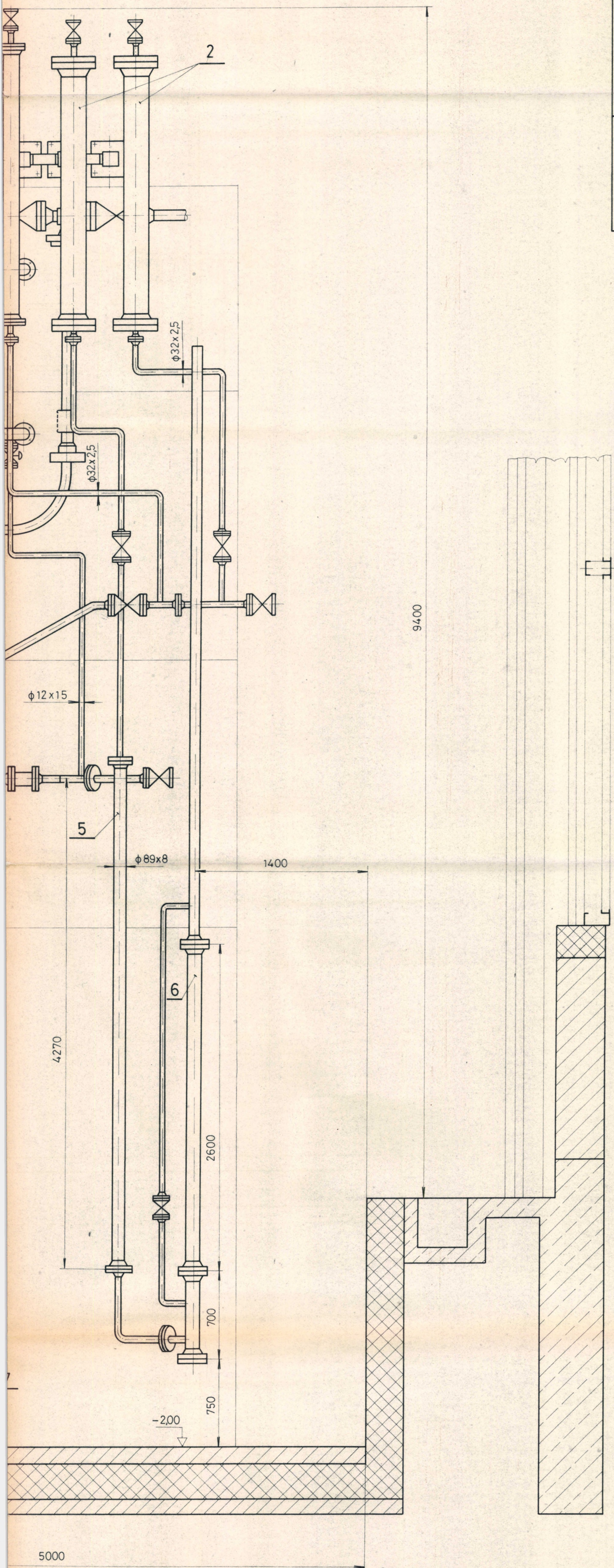


| | | | | |
|-----|----------------------------------|------------|---------------|--------------------|
| 8 | Távükkötetésű szelepek | | | |
| 7 | 1 Hermetik szivattyú | | 1000x900 | gyári specifikáció |
| 6 | 1 Reaktormodell | KO 36 | φ 133x11 | PAV |
| 5 | 1 Gyűrűkamra | KO 36 | φ 89x8 φ 43x4 | PAV |
| 4 | 1 Fűtött mérőszakasz nyomástartó | 12X1Mφ | φ 314x32 | NVH |
| 3 | 1 Gőzfejlesztő modell | | φ 564x32 | szénacél |
| 2 | 2 Hidroakumulátor | KO 36 | φ 245x19 | PAV |
| 1 | 1 Nyomástartó edény | KO 36 | φ 133x11 | PAV |
| Jel | Db | Megnevezés | Anyag | Méret |
| | | | | Megjegyzés |

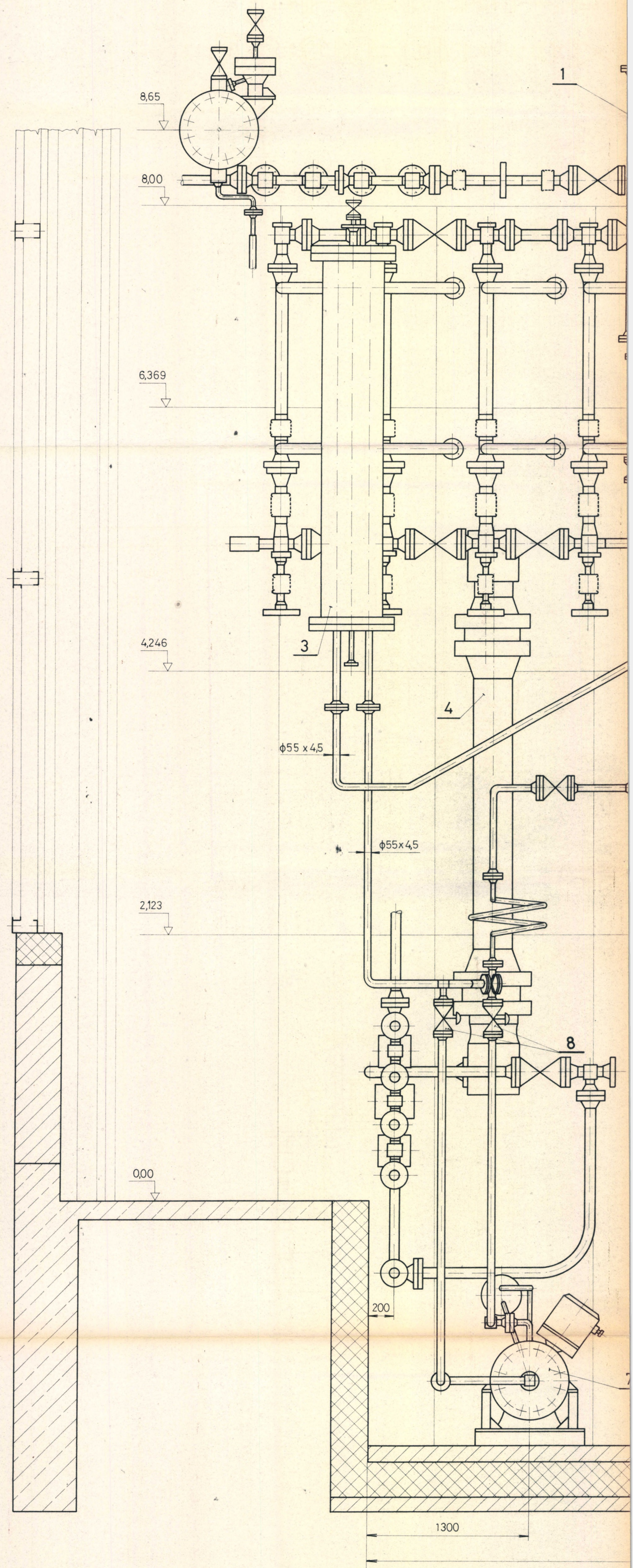
| | | | |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| tervezte: | PMK felülnézeti elrendezési rajza | KFKI-AEKI | |
| Rajzolta: | | Termohidraulika | |
| Jóváhagyta: | | Dátum: 1982. 02. 11. | Méretarány: 1:20 |



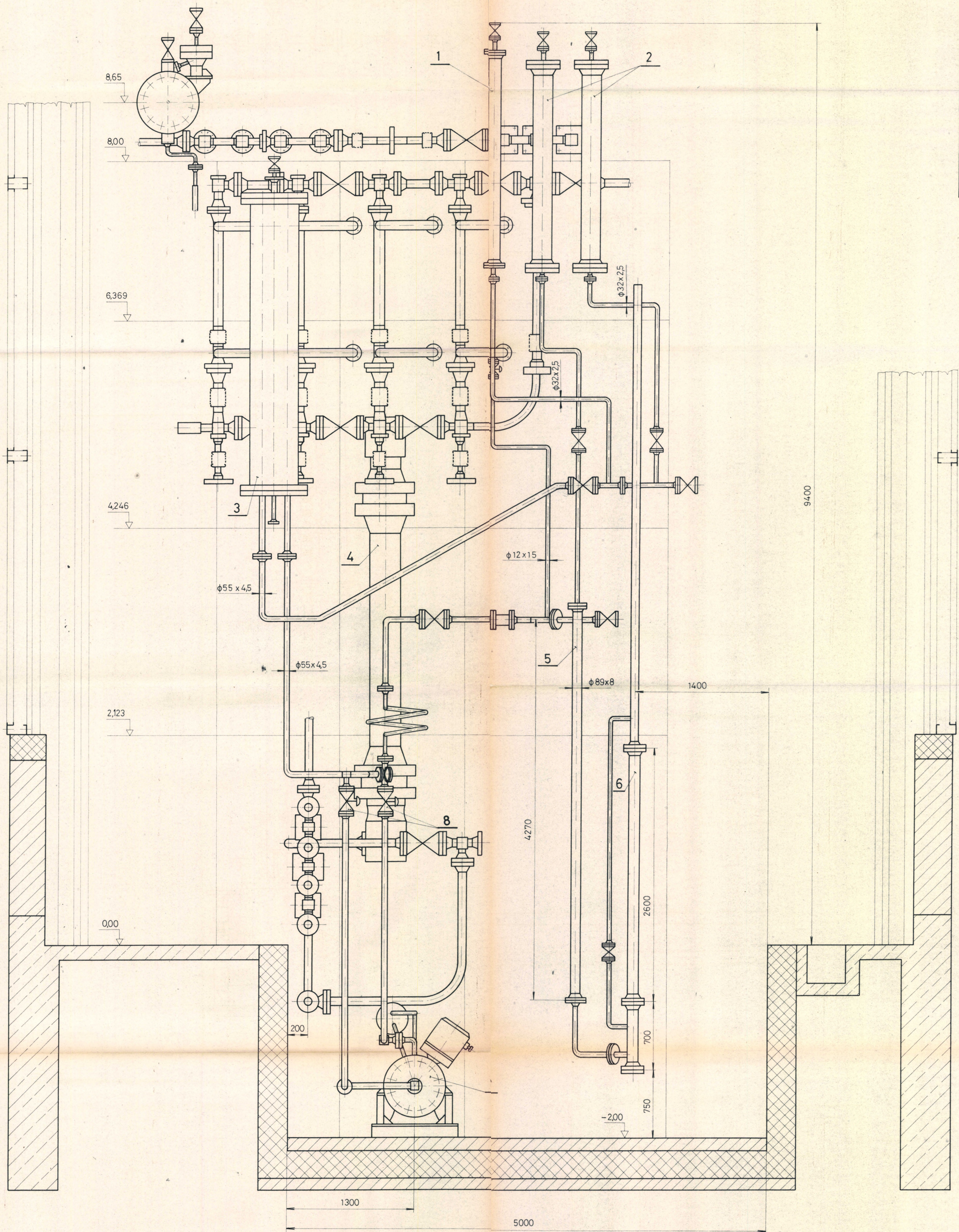
| Jel | Db | Megnevezés | Anyag | Méret | Megjegyzés |
|-----|----|------------------------|--------|---------------|--------------------|
| 8 | | Távükkötetésű szelepek | | | |
| 7 | 1 | Hermetik szivattyú | | 1000x900 | gyári specifikáció |
| 6 | 1 | Reaktormodell | KO 36 | φ 133 x 11 | PAV |
| 5 | 1 | Gyűrűkamra | KO 36 | φ 89x8 φ 43x4 | PAV |
| 4 | 1 | Fűtött mérőszakasz | 12X1Mφ | φ 314x32 | NVH |
| 3 | 1 | Gőzfejlesztő modell | | φ 564x32 | szénacél |
| 2 | 2 | Hidroakumulátor | KO 36 | φ 245x19 | PAV |
| 1 | 1 | Nyomástartó edény | KO 36 | φ 133x11 | PAV |



Tervezte:
 Rajzolta: Ték.
 Jóváhagyta:
 Dátum: 1982.02.09.
 Méretarány: 1:20
 Rajzszám: PMK-02
 KFKI - AEKI
 Termohidraulika

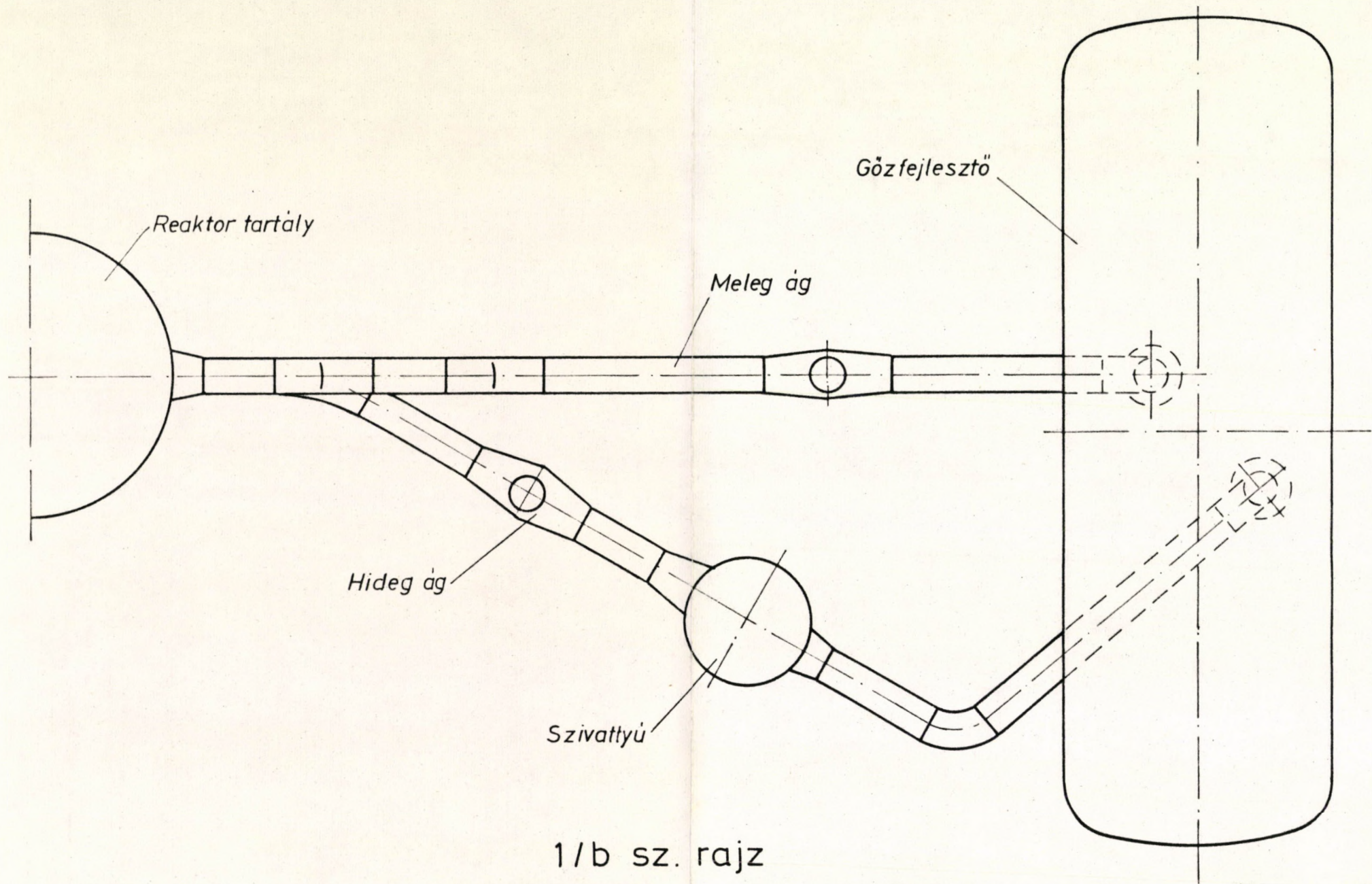


| Jel | Db | Megnevezés | Anyag | Méret | Megjegyzés |
|-----|----|--------------------------------|--------|------------|--------------------|
| 8 | | Távműködtetésű szelepek | | | |
| 7 | 1 | Hermetik szivattyú | | 1000x900 | gyári specifikáció |
| 6 | 1 | Reaktormodell | KO 36 | φ133x11 | PAV |
| 5 | 1 | Gyűrűkamra | KO 36 | φ89x8φ43x4 | PAV |
| 4 | 1 | Fűtött mérőszakasz nyomástartó | 12X1Mφ | φ314x32 | NVH |
| 3 | 1 | Gőzfejlesztő modell | | φ564x32 | szénacél |
| 2 | 2 | Hidroakumulátor | KO 36 | φ245x19 | PAV |
| 1 | 1 | Nyomástartó edény | KO 36 | φ133x11 | PAV |



Tervezte:
 Rajzolta:
 Jóváhagyta:
 PMK elrendezési rajz
 oldalnézet
 KFKI - AEKI
 Termohidraulika
 Méretarány: 1 : 20
 Rajzszám: PMK-02
 Dátum: 1982.02.09.

| | | | | |
|-----|----|--------------------------------|---|--------------------|
| 8 | | Távműködtetésű szelepek | | |
| 7 | 1 | Hermetik szivattyú | 1000x900 | gyári specifikáció |
| 6 | 1 | Reaktormodell | KO 36 $\phi 133 \times 11$ | PAV |
| 5 | 1 | Gyűrűkamra | KO 36 $\phi 89 \times 8 \phi 43 \times 4$ | PAV |
| 4 | 1 | Fűtött mérőszakasz nyomástartó | 12X1M ϕ $\phi 314 \times 32$ | NVH |
| 3 | 1 | Gőzfejlesztő modell | $\phi 564 \times 32$ | szénacél |
| 2 | 2 | Hidroakumulátor | KO 36 $\phi 245 \times 19$ | PAV |
| 1 | 1 | Nyomástartó edény | KO 36 $\phi 133 \times 11$ | PAV |
| Jel | Db | Megnevezés | Anyag | Méret |
| | | | | Megjegyzés |



1/b sz. rajz

