# Mérési útmutató

# APROS laboratóriumi gyakorlatok 2.

# Az AMDA tartály modellezése az APROS6 kóddal

*Mottó: Those who cannot remember the past are condemned to repeat it.*

## A gyakorlat célja:

A gyakorlat célja a 2003 áprilisában a Paksi Atomerőmű 2. blokki 1. számú aknájában üzemzavart szenvedett AMDA tartály egyszerűsített APROS modelljének elkészítése, és az AMDA tartály hűtési viszonyainak vizsgálata.

Bár a gyakorlatnak nem célja a 2003. április 10-én történt események rekonstrukciója, az útmutatóban leírt feladatok sikeres elvégzése során a hallgatók megismerik az AMDA tartály és hűtőrendszere alapvető tervezési hibáját, és azt, hogy milyen termohidraulikai modellel lehetett volna ezt a hibát a tervezés során felismerni.

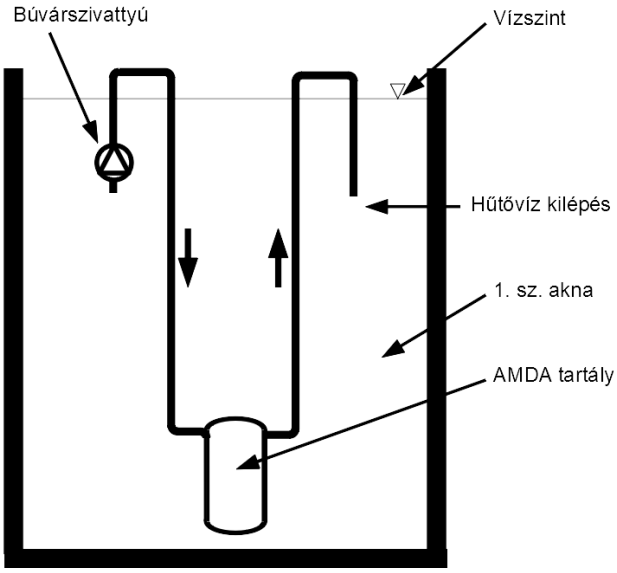
A mérésleírás feltételezi, hogy a hallgatók elvégezték az "Ismerkedés az APROS kóddal" című gyakorlatot, és tisztában vannak a nyomottvizes reaktorral szerelt atomerőművek felépítésének alapjaival, a VVER-440 üzemanyagkazetták felépítésével, valamint a remanens hő fogalmával.

## Bevezető

A Paksi Atomerőmű 1., 2. és 3. blokkjában a 2000-es évek elején üzemviteli problémákat okozott a primer kör felületeire lerakódott magnetit szennyeződés. A lerakódások kiváltó oka a gőzfejlesztők hőátadó csöveinek primer oldali vegyszeres mosatási technológiájának hibája volt. A dekontamináció célja a gőzfejlesztők köpenyterében dolgozó karbantartók dózisterhelésének csökkentése volt.

Az üzemanyagpálcák felületére lerakódott magnetit rontotta a kazetták hűtési viszonyait, ezért döntés született a részlegesen kiégetett kazetták vegyszeres tisztításáról. A tisztításhoz először egy 7 kazetta befogadására alkalmas tisztítótartály készült, amivel hosszabb ideig pihentetett kazettákat tisztítottak meg. A lerakódással terhelt kazetták nagy száma miatt döntés született egy nagyobb kapacitású (30 kazetta befogadására képes) tisztítótartály beszerzéséről és használatáról, amelyben rövid idővel a reaktorblokk leállítása után az aktív zónából kirakott nagy remanens hőtermelésű kazetták is tisztíthatóak. A tisztítótartályból és a hozzá kapcsolódó, vegyi tisztítást végző berendezésekből (szivattyúk, szűrők, hőcserélők, ioncserélők stb.) álló rendszer az AMDA (Automatische Mobile Dekontaminationsanlage – automatikus hordozható dekontamináló berendezés) nevet kapta. Magát a tisztítási technológiát és annak számos elemét korábban nyugati atomerőművekben többször sikerrel alkalmazták a reaktorok hűtőkörében lévő beredezések (szivattyúk, szelepek, csőszakaszok) dekontaminálására, de Pakson kívül sosem használták jelentős remanens hővel terhelt besugárzott üzemanyag kazetták tisztítására. Az AMDA tartályt 2003 márciusában telepítették a 2. blokk pihentető medencéjéhez kapcsolódó 1. számú szervízaknába.

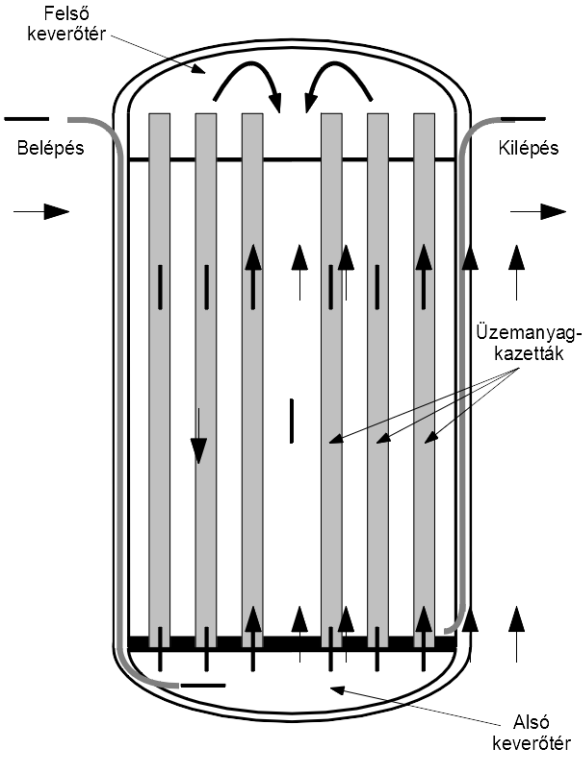
*<u>1. feladat:</u> Határozza meg, hogy minimum mekkora vízforgalomra van szükség az AMDA tartályba berakott, részben kiégetett üzemanyag hűtéséhez!*



1. ábra: Az AMDA tartály az 1. sz. aknában

Az AMDA tartály tervezési alapja szerint a belerakott kazetták remanens hőteljesítménye maximum összesen 500 kW lehetett. A vegyi tisztítás után a pihentető medence – 1. sz. akna kapcsolt rendszer maximum 50 °C-os vizét egy kis teljesítményű búvárszivattyúval keringették át a tartályon. Határozza meg egy egyszerű pontmodellel, hogy állandósult állapotban mekkora vízforgalomra van szükség a hő elviteléhez! A víz fajhője 4,2 kJ/kgK, a hűtőközeg forrása nem megengedett!

*<u>2. feladat:</u> Határozza meg a tartály APROS modelljének megépítéséhez szükséges paramétereket, és töltse ki az APROS modulok adatait tartalmazó táblázatokat!*



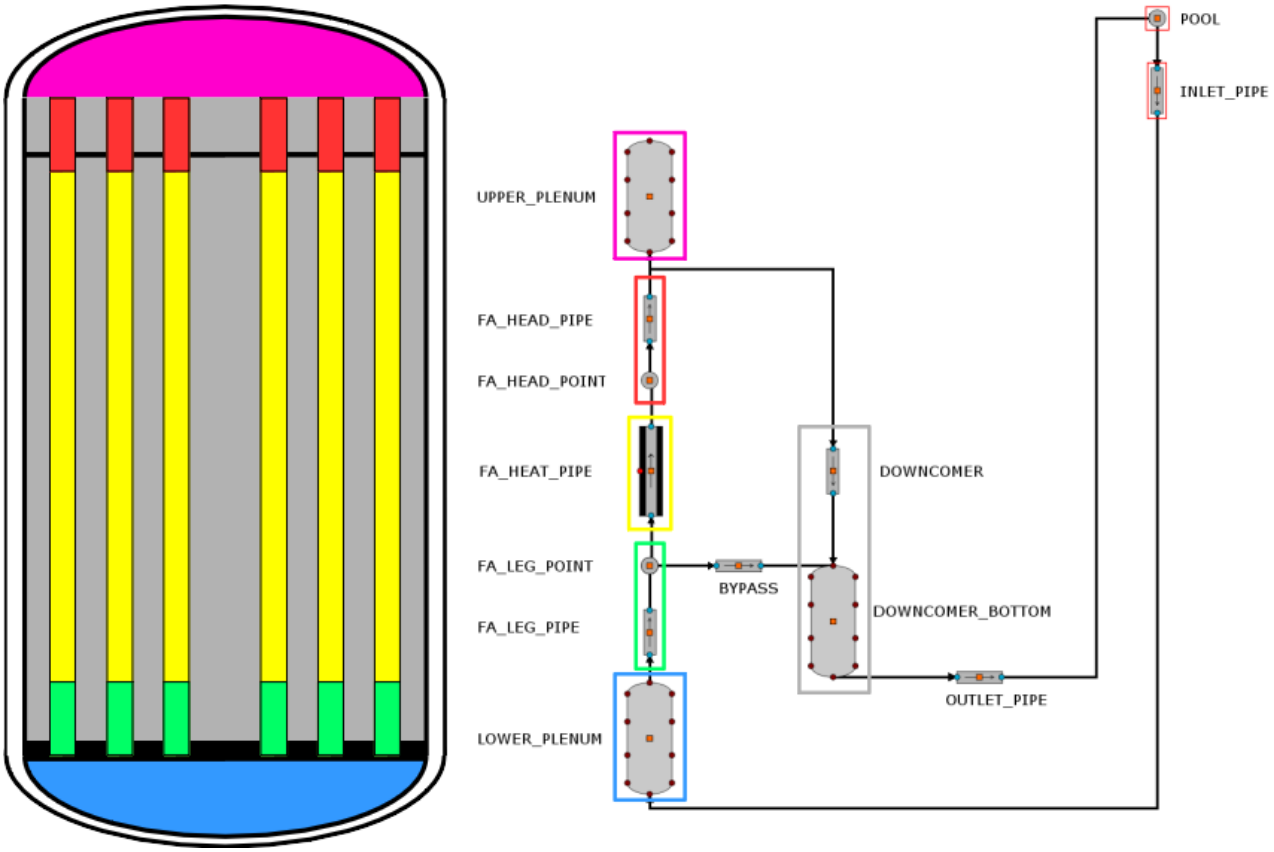
2. ábra: az AMDA tartály sematikus rajza

A 2. ábrán az AMDA tartály sematikus rajza látható a hűtőközeg (víz) áramlási irányával. A víz a tartály oldalán lép be. A vizet szállító cső a kettős falú tartály két fala között lemegy a tartály aljáig, ahol belép az alsó keverőtérbe. Az alsó keverőtér tetejét képző fémlemezben kialakított fészkekbe vannak behelyezve az üzemanyag-kazetták.

A tartályban egyszerre 30 db. üzemanyag-kazetta tisztítható. A kazetták alján található, üzemanyagot nem tartalmazó lábrész ül be az alsó keverőtér tetején kialakított fészkekbe. A kazettákban a láb fölött található a háromszögrácsba rendezett 126 db. üzemanyag-pálcából és a pálcaköteget körbezáró hatszögletű cirkónium palástból álló aktív rész, majd a kazettafej.

Az üzemanyag-kazettákon lentről felfelé átáramló víz a felső keverőtérbe jut, ahol megfordul, és a kazetták közötti térben leáramlik, majd a tartály alján a kilépő vezetékbe kerül.

A 3. ábra azt mutatja be, hogyan feleltethetőek meg APROS moduloknak az AMDA tartály részei:




3. ábra: Az AMDA tartály APROS modellje

A modulok felparaméterezéséhez szükséges adatok és információk:

- Az egész AMDA tartály egy 13 m mély, 35 °C-os vízzel feltöltött medencében foglal helyet. A tartályban lévő szerkezeti elemek hőkapacitását hanyagolja el, a hidraulikai egyenérték átmérők meghatározásához a 4F/K képletet alkalmazza! A számításokhoz az APROS 6 egyenletes modelljét kell használni.

- Az alsó keverőteret (*LOWER_PLENUM*) 40 cm magas, 1 $m^2$ alapterületű hengeres tartályként (PRO Tanks / Tank) modellezze! A tartály 9-es számú csatlakozási pontja a tartály modul tetejével legyen egy szintben, ide fog becsatlakozni a kazetta lábrészeket modellező cső.

- A 30 darab kazetta lábrészt (*FA_LEG_PIPE*) egyetlen függőleges csővel (PRO Pipes / Pipe) modellezze! Egy kazetta lábrész 45 cm hosszú, 9,6 cm átmérőjű függőleges hengerrel közelíthető. A lábrészeket modellező cső belépő oldala az alsó keverőtér tetejéhez, kilépő oldala a lábrészt és az aktív hosszot összekötő ponthoz kapcsolódik. A modulhoz 1 számítási szintű nódus legyen rendelve, és az alaki ellenállás tényező legyen 0.

- Egy pont (*FA_LEG_POINT*, PRO Point and Node / Point) szükséges a lábrészt és az aktív hosszot modellező elemek összekapcsolásához.

- A 30 darab kazetta üzemanyagot tartalmazó fűtött szakaszát (*FA_HEAT_PIPE*) egyetlen függőleges fűtött csővel (PRO Pipes / Pipe with Heat Structure) modellezze! Az aktív hossz 2,42 m, az áramlási keresztmetszet 30 kazetta összes áramlási keresztmetszete. A kazetták szabályos hatszög keresztmetszetűek, 144 mm külső kulcsmérettel, 2 mm falvastagsággal. Minden kazetta 126 db., 9,15 mm külső átmérőjű üzemanyagpálcát tartalmaz. A modul által modellezett párhuzamos csövek számát állítsa be a kazetták számának megfelelően. A modulhoz 1 számítási szintű nódus legyen rendelve, és a kapcsolódó pontokhoz rendelt hőtermelés legyen kikapcsolva. Az alaki ellenállás tényező értéke 6.

- Egy pont (*FA_HEAD_POINT,* PRO Point and Node / Point) szükséges a fejrészt és az aktív hosszot modellező elemek összekapcsolásához.

- A 30 darab kazetta fejrészt (*FA_HEAD_PIPE*) egyetlen függőleges csővel (PRO Pipes / Pipe) modellezze! Egy kazetta fejrész 30 cm hosszú, 9,5 cm átmérőjű függőleges hengerrel közelíthető. A fejrészeket modellező cső belépő oldala az aktív hosszot és a fejrészt összekötő ponthoz, kilépő oldala a felső keverőtér aljához kapcsolódik. A modulhoz 1 számítási szintű nódus legyen rendelve, és az alaki ellenállás tényező legyen 0.

- A felső keverőteret (*UPPER_PLENUM*) 40 cm magas, 1 $m^2$ alapterületű hengeres tartályként (PRO Tanks / Tank) modellezze!

- A kazetták közötti tér felső részét (*DOWNCOMER*) egyetlen függőleges csővel (PRO Pipes / Pipe) modellezze! A cső hossza a felső keverőtér alsó síkja, és az *RK_LEG_POINT* elem magasságkülönbsége. Az áramlási keresztmetszet egy 1,5 m átmérőjű körlap, amiből le kell vonni a 30 darab üzemanyag-kazetta által elfoglalt felületet. A cső belépő oldala a felső keverőtér aljához, kilépő oldala a kazetták közötti tér alsó részét modellező tartály tetejéhez kapcsolódik. A modulhoz 1 számítási szintű nódus legyen rendelve, az alaki ellenállás tényező értéke 0.

- A kazetták közötti tér alsó részét (*DOWNCOMER_BOTTOM*) egy hengeres tartály (PRO Tanks / Tank) modellezze, ami az alsó keverőteret felülről határoló, az üzemanyag-kazettákat tartó 5 cm vastag acéllemez felső síkjától az üzemanyag-kazetták lábrészében található pont (*RK_LEG_POINT*) magassági szintjéig tart. A tartály alapterülete egyezzen meg az előző elem áramlási keresztmetszetével, a tartály 9-es számú csatlakozási pontja a tartály tetejével legyen egy szintben.

- A kilépő vezeték (*OUTLET_PIPE*, PRO Pipes / Pipe) 10 cm átmérőjű, 15 m hosszú cső, ami a kazetták közötti tér legalsó pontját köti össze az 1. sz. aknát modellező ponttal.

- Az 1. sz. aknát modellező pont (*POOL,* PRO Point and Node / Point) a tartály aljától 12 m-rel magasabban legyen, 1 m-rel a vízfelszín alatt. A pontot definiálás után ki kell venni a szimulációból, hogy végtelen nyelőként (és forrásként) viselkedjen!

- A belépő vezeték (*INLET_PIPE*, PRO Pipes / Pipe) geometriai adatai megegyeznek a kilépő vezeték adataival. A modulhoz ne legyen számítási szintű nódus rendelve. A vezeték az 1. sz. aknát modellező pontot köti össze az alsó keverőtér legalsó pontjával. A csövet vegye ki a szimulációból, és állítsa be neki az 1. feladatban kiszámított tömegáramot. Az így beállított forgalom lesz az AMDA tartály belépő forgalma.

| Module name: | LOWER_PLENUM |
|---|---|
| Module type | TANK |
| Flow model | |
| Pressure | MPa |
| Temperature | °C |
| Liquid level | m |
| Height of tank | m |
| Cross-sectional free area of tank | $m^2$ |
| Elevation of tank bottom from reference level | m |
| Elevation of connection point from bottom[9] | m |

| Module name: | FA_LEG_PIPE |
|---|---|
| Module type | PIPE |
| Flow length of pipe | m |
| Flow area | $m^2$ |
| Hydraulic diameter | m |
| Form loss coefficient | |
| Number of calculation nodes inside the pipe | |

| Module name: | FA_LEG_POINT |
|---|---|
| Module type | POINT |
| Flow model | |
| Pressure | MPa |
| Temperature | °C |
| Elevation from reference level | m |

| Module name: | FA_HEAT_PIPE |
|---|---|
| Module type | HEAT_PIPE |
| Flow length of pipe | m |
| Flow area | $m^2$ |
| Hydraulic diameter | m |
| Number of parallel pipes | |
| Form loss coefficient | |
| Number of calculation nodes inside the pipe | |
| Is heat transferred to connection points | |

| Module name: | FA_HEAD_POINT |
|---|---|
| Module type | POINT |
| Flow model | |
| Pressure | MPa |
| Temperature | °C |
| Elevation from reference level | m |

| Module name: | FA_HEAD_PIPE |
|---|---|
| Module type | PIPE |
| Flow length of pipe | m |
| Flow area | $m^2$ |
| Hydraulic diameter | m |
| Form loss coefficient | |
| Number of calculation nodes inside the pipe | |

| Module name: | UPPER_PLENUM |
|---|---|
| Module type | TANK |
| Flow model | |
| Pressure | MPa |
| Temperature | °C |
| Liquid level | m |
| Height of tank | m |
| Cross-sectional free area of tank | $m^2$ |
| Elevation of tank bottom from reference level | m |

| Module name: | DOWNCOMER |
|---|---|
| Module type | PIPE |
| Flow length of pipe | m |
| Flow area | $m^2$ |
| Hydraulic diameter | m |
| Form loss coefficient | |
| Number of calculation nodes inside the pipe | |

| Module name: | DOWNCOMER_BOTTOM |
|---|---|
| Module type | TANK |
| Flow model | |
| Pressure | MPa |
| Temperature | °C |
| Liquid level | m |
| Height of tank | m |
| Cross-sectional free area of tank | $m^2$ |
| Elevation of tank bottom from reference level | m |
| Elevation of connection point from bottom[9] | m |

| Module name: | OUTLET_PIPE |
|---|---|
| Module type | PIPE |
| Flow length of pipe | m |
| Flow area | $m^2$ |
| Hydraulic diameter | m |

| Module name: | POOL |
|---|---|
| Module type | POINT |
| Flow model | |
| Pressure | MPa |
| Temperature | °C |
| Elevation from reference level | m |

| Module name: | INLET_PIPE |
|---|---|
| Module type | PIPE |
| Liquid mass flow | kg/s |
| Flow length of pipe | m |
| Flow area | $m^2$ |
| Hydraulic diameter | m |
| Number of calculation nodes inside the pipe | |

*<u>3. feladat:</u> Építse meg és tesztelje az AMDA tartály APROS modelljét!*

Építse meg a 2. feladatban meghatározott paraméterek és a 3. ábra alapján az AMDA tartály APROS modelljét! A *Simulation control* fülön állítsa be a csúszkával a szimuláció sebességét maximálisra! A *Profiles* fülön kapcsolja be a főbb paraméterek kijelzését (*Simulated 1, Not in simulation*)!

Tesztelje az elkészült modellt!

- Végig tud haladni a közeg a modellen a belépéstől a kilépésig?
- Minden csővezetéken ugyanannyi a tömegáram?
- Minden pontban és tartályban ugyanannyi a hőmérséklet?
- A nyomások megfelelőek?

Amennyiben mind a 4 kérdésre igen a válasz, állítsa be a tervezési alapban szereplő hőteljesítményt, és ellenőrizze a felmelegedést!

*<u>4. feladat:</u> Modellezze az üzemanyagkazettákon található terheléskiegyenlítő furatokat és vizsgálja hatásukat a tartály hűtési viszonyaira!*

Az üzemanyag-kazetták hatszögletű burkolatán, a fej- és lábrészeinek találkozásának közelében oldalanként 2-2 darab, 9 mm átmérőjű furat található, amit egyetlen csővel (*BYPASS*, PRO Pipes / Pipe) modellezzen! A cső az FA_LEG_POINT pontot köti össze a DOWNCOMER_BOTTOM tartály tetejével, alaki ellenállás tényezője 2,7.

| Module name: | BYPASS |
|---|---|
| Module type | PIPE |
| Flow length of pipe | m |
| Flow area | $m^2$ |
| Hydraulic diameter | m |
| Form loss coefficient | |

Hogyan változik a bypass hatására a kazetták hűtéséhez szükséges minimális tömegáram?

*<u>5. feladat:</u> Végezzen érzékenységvizsgálatot a kazetták és a köztük lévő tér felosztására!*

1. Grafikonon jelenítse meg a modellben lévő TANK modulok hőmérsékleteit.
2. Futtassa a modellt 50 kg/s belépő forgalommal, 35 °C belépő hőmérséklettel az állandósult állapot eléréséig.
3. Állítsa át a belépő tömegáramot 5 kg/s-ra, majd a *Simulation control* fülön a *Reset time* feliratú gombbal állítsa a szimulációs időt 0-ra.
4. Mentse el az állandósult állapotot kezdeti feltételként a *Save initial condition* ikonnal.
5. Futtassa a modellt 2 óra szimulációs időig (vagy a forrás megindulásáig), majd a diagramot kiválasztva CTRL+C billentyűkombinációval tegye be a kijelzett értékeket a vágólapra.
6. A szövegbeolvasó varázsló segítségével tegye át egy Excel táblázatba a felső keverőtér (*UPPER_PLENUM*) hőmérsékletét.

A futtatás után töltse vissza a kezdeti állapotot a *Load Initial Condition from Active Model* ikonnal, majd duplázza meg a fűtött szakasz (*FA_HEAT_PIPE*) és a kazetták közötti tér felső részét modellező cső (*DOWNCOMER*) nódusszámát (maximum 64-ig), és végezzen el egy új tranziens számítást (5.-6. pont)!

Ábrázolja közös grafikonon a felső keverőtér hőmérsékletét az idő függvényében az összes futtatásra! Melyik nodalizációval érdemes modellezni a berendezést és miért?