A digitalizált biztonság

A biztonsági irányítástechnikai rendszerek korszerűsítése a Paksi Atomerőműben

A Paksi Atomerőmű négy reaktora eredetileg szovjet szállítású, analóg rendszerű reaktorvédelmi rendszerekkel rendelkeztek. E rendszerek megbízhatóságának kiemelkedő szerepe van a nukleáris biztonság szempontjából, ezért már 1992-ban felmerült e rendszerek kiváltásának az igénye. A Siemens céggel való együttműködésben az 1999 – 2002 években üzembe helyezésre kerültek az új, számítógép-alapú digitális reaktorvédelmi rendszerek. E fejlesztés izgalmas történetét ismerteti az alábbi visszatekintés.

1. Előzmények

A Paksi Atomerőmű (PAE) blokkjainak folyamatirányító rendszerei, rendszerelemei az eredeti szállításmegosztás szerint, teljes egészében a szovjet szállítási terjedelem részét képezték. Az alkalmazott készülék technika – mérő, vezérlő és szabályozási körök - nagyobbrészt már a telepítés idején sem voltak korszerűek, a minőséggel is adódtak problémák. Ennek ellensúlyozására az üzemeltető több tízezer készüléken egyedi funkció vizsgálatokat (null-revíziót) végzett a beépítést megelőzően. Említést érdemel, hogy a folyamatellenőrző számítógépek korszerűsítése és bizonyos készülék kiváltások már a 3. és 4. számú blokk létesítése (1984-87) során megkezdődtek, továbbá az üzemeltetés első 20 évében az irányítástechnika „gyenge pontjainak felszámolása” a karbantartási folyamat részét képezte.

A Csernobili balesetet követően a szovjet export-reaktorblokkok biztonsága is a figyelem a középpontjába került. A 90-es évek kezdetén a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) és a német GRS[1] átfogó biztonságtechnikai értékelésnek vetette alá a szovjettervezésű atomerőmű blokk típusokat, így a Pakson létesült V-213 reaktorral épült VVER 440 blokktípust is.

Az erőműben szakmai, üzemeltetői körökben már ekkor felmerült a védelmi funkciókat ellátó irányító rendszerek korszerűsítésének gondolata. A Műszaki Egyetemen az MVM megbízásából tanulmányi szinten vizsgálták a számítógépes folyamatirányítás atomerőművi alkalmazását. Hasonló együttműködésben születtek meg az első tanulmányok az erőművi blokk-szimulátorokkal kapcsolatban is. A későbbi projekt szempontjából meghatározónak bizonyult, hogy a tartós üzemeltetés második évtizedében a PAE elsőszámú vezetőjének kezdeményezésével (1991-

[1] GRS: Geselschaft für Reaktor Sicherheit

1994), a szakmai vezetők és a hazai tudományos intézmények támogatásával egyaránt, elsődleges kérdésnek tekintették az erőmű biztonsági képességeinek[2] megismerését, fejlesztését és a tartós, gazdaságos üzemeltethetőség feltételeinek biztosítását. A reaktor védelmét ellátó irányítástechnikai rendszerek célzott, átfogó biztonságtechnikai felülvizsgálatát, a Siemens Erlangen szakemberei végezték el, 1991 évben. A Tanulmány egyértelműen bemutatta az eredeti, funkciócsoportokra tagolt rendszerek heterogén redundancia struktúráját és javaslatot tett az új rendszer megvalósítására.

2. A biztonsági irányítástechnika rekonstrukciójának előkészítése

A PAE szakemberei számára nyilvánvaló volt, hogy a biztonsági irányítástechnika kiváltása igen gondos és alapos előkészítést igényel mind a funkcionalitás, mind az azt megvalósító HW és SW eszközökre irányulóan.

A digitális ipari-rendszerek ez óidő tájt óriási ütemben fejlődtek és alkalmazásuk kezdett általánossá válni a konvencionális technológiák felügyeletén túlmenően a biztonsági automatikai feladatok területén is. A PAE előrelátóan már 1992-ben kezdeményezte a programozható eszközök atomerőműben való felhasználásra vonatkozó hatósági szabályozás kidolgozását. 1993-ban állásfoglalás céljából benyújtotta „*A reaktorvédelemi rendszer rekonstrukciójának biztonsági és műszaki-gazdasági megalapozása*” dokumentumot, a rekonstrukció megvalósításáról. Az illetékes hatóság (NBF) nem engedélyben, hanem egy állásfoglalásában támogatóan nyilatkozott.

A PAE a Reaktor Védelmi Rendszerek (RVR) rekonstrukciójára irányulóan ajánlatkéréssel fordult a nukleáris technológiában, irányítástechnikai berendezések tervezése és gyártásában élenjáró szállítókhoz[3], melyhez csatolta a terjedelmet bemutató feladattervet. Az eltérő színvonalon kidolgozott javaslatok értékelése során született meg az a döntés, hogy a két legjobb ajánlattevővel együttműködve, közös engineering munka keretében (mely az EK Fázis, PPP[4] nevet kapja) célszerű kimunkálni a rekonstrukció teljes körű műszaki specifikációját, architektúráját és rendszertervét.

[2] AGNES Projekt
[3] Merlen Gerin, Siemens, Westinghouse, Cegelec
[4] Project Preparation Phase (PPP), EKF (Projekt Előkészítés Fázisa)

A legjobbra pontozott, konkurens szakmai szállítók[5] megbízást kaptak, hogy egymástól függetlenül tegyenek javaslatokat az integrált[6] Reaktor Védelmi Rendszer (RVR) architektúrájára, mely az 1. biztonsági osztályba sorolt védelmi funkciókat teljes körben lefedi. Ugyanakkor a rendszer feleljen meg a saját nemzeti, nemzetközi biztonsági normáknak, legyen engedélyezhető a vállalkozó országában is.

A megbízott szállítók az RVR projektre vonatkozó rekonstrukció-feladatterv javaslataikat 1993-94 évben dolgozták ki. Az élenjáró szállítók rendszerterv javaslatai megerősítik a Paksi Atomerőmű által igényelt koncepciót, hogy az új, integrált biztonsági rendszert szoftver alapú digitális eszközökre lehet alapozni. Már ekkor felmérhető volt, hogy a hatósági engedélyek beszerzése nem egy átlagos létesítés/átalakítás engedélyezési feladatát jelenti, mind az engedélyező, mind kérelmező számára.

Érzékelhetők voltak az engedélyezési folyamat a kulcskérdései:

- a programozható eszközök atomerőművi alkalmazhatósága,
- a szoftverek megbízhatósága, minősítése[7],
- a hagyományos háttér (back up) rendszer szükségessége,
- a sw alapú rendszerek hibatűrő képessége, megbízhatósága.

A projekt több szempontú, mélységi megalapozása, a terjedelem véglegesítése tekintetében fontos szerepe volt a PPP fázisban elvégzett munkáknak. Ez a szakasz felkészítette és alkalmassá tette a PAE projekt szervezetét az „éles” verseny ajánlat elkészítésére és a tender folyamat irányítására.

3. A rekonstrukció célkitűzései

Az eredeti, analóg határértékképzőkből és relés logikai és szekvenciális hálózatokból, többszörös redundanciával felépülő védelmi rendszerek megbízható üzemeltetése igen karbantartás igényesnek mutatkozott. Ugyanakkor a robosztus felépítés ellenére egyes készülékek zavar-érzékenynek bizonyultak. A folyamatos

[5] Siemens, Merlen Gerin (Groupe Schneider)

[6] Az integrált rendszer, önmagában megvalósítja az eredeti VVER-440 213-as típusú blokk következő rendszereinek feladatait:

- a reaktor technológiai jelek szerinti védelmi rendszere,
- a neutron fluxus ellenőrző rendszer,
- a reaktorzóna üzemzavari hűtő rendszere,
- biztonsági fogyasztók lépcsőzetes indító program (LIP)
- a teljes feszültség kimaradás automatika a gőzfejlesztő védelem (részben)
- a reaktorvédelmi központi szekrények (PAZ), a reaktorteljesítmény korlátozó rendszere (RTK),

[7] A szabadon programozható eszközök (néhány kivételtől eltekintve) ekkor még nem rendelkeztek AE-i minősítéssel, a SW-k minősítése NRC szinten is nyitott biztonsági kérdés volt.

üzemmenet részét képezték az egyes védelmi csatornákon kötött ciklusidővel végrehajtott védelmi rendszerpróbák (manuális határérték szimuláció, logikai hálózat működésének ellenőrzése). A ciklikus tesztelések ellenére az alacsony szintű hibatűrő- és a korlátozott önellenőrző-képesség következtében az 1990-es években az indokolatlan (védelmi rendszer belső hibáiból eredő) reaktor leállások éves gyakorisága 1-1,5 körül alakult reaktorblokkonként. Az ilyen jellegű blokk leállások (meghibásodások) tényleges okainak feltárása általában nehézségekbe ütközött. A biztonsági irányító rendszer korszerűsítését alapvetően a biztonsági követelmények szigorodása, az Európai Unióhoz való csatlakozási feltételek teljesítése és üzembiztonsági, karbantartási szempontok is motiválták.

3.1. A rekonstrukció biztonsági indokai

- *Az indokolt* működés-elmaradás valószínűségének csökkentése, a megbízhatóság lényeges javítása
- Az egyszeres meghibásodás kritériumának teljes körű teljesítése
- A funkcionális diverzitás, közös okú hiba-védettség megvalósítása
- Minősített készüléktechnika alkalmazása (földrengés, környezet állékonyság)
- A bekövetkező működések utólagos értékelhetősége
- NAÜ, EU biztonsági követelmények maradéktalan teljesítése (közelgő EU csatlakozás)
- A kor technikai színvonalán álló (State of the art) rendszer- és készülék technika, minősített készülékek alkalmazása

3.2. A rekonstrukció gazdasági indokai

- A blokkok biztonságos rendelkezésre állásának növelése
- Az eredeti gyártó, szállítói háttér gyors leépülése (Szovjetunió és az eredeti gyártók megszűnése)
- Üzemeltetési, karbantartási költségek csökkentése
- Technikai elavultság (az analóg technológia kiváltás SW alapú digitális technológiával)
- A téves működések – indokolatlan reaktor leállítások, termelés kiesések - gyakoriságának csökkentése

4. A rekonstrukció megvalósítása

4.1 Szállítók versenyeztetése

Az átlagosnál hosszabb mérnöki előkészítő szakaszban letisztult az RVR struktúrája, a készletek térbeli független elrendezése. A nemzetközi biztonságtechnikai

sztenderdek, a hatósági és üzemeltetői elvárások és a PPP fázis szállítói feladattervek szintézise alapján, külső konzulensek bevonásával véglegesítették a PAE szakemberei a második tenderkiírás követelmény és specifikáció csomagját, mely később a szállítói szerződés műszaki mellékletévé lépett elő.

A szállítói versenykiírás kiküldését megelőzően az abban támasztott követelmény rendszert a PAE ismét benyújtotta a nukleáris hatóságnak észrevételezés és állásfoglalás céljából.

Három vállalkozás nyújtott be érvényes ajánlatot, a PPP előkészítési fázisban résztvevő 2 cég, valamint az angliai Sizewell B erőműben mindkét referenciával rendelkező gyártó-szállító.[8] Az ajánlatok műszaki-technikai és kereskedelmi szempontok szerinti értékelését a PAE saját szakértőiből létrehozott bizottságok[9] (MÉB, KÉB) végezték. A Műszaki Értékelő Bizottság munkáját a felkért, független hazai és külföldi konzulensek[10] szakértői is támogatták. A kétkörös szállítói verseny és az ajánlatok bírálata előre kidolgozott – a követelményeket is rögzítő – szabály és értékelési rend[11] szerint került lefolytatásra.

A nyertes pályázat kiválasztását, a tenderek komplex (műszaki, kereskedelmi, pénzügyi) értékelését a tulajdonos által vezetett főbizottság (ÉFB-ben a PAE-t 2 fő képviselte), látta el. A versenyt végül a Siemens által benyújtott ajánlat nyerte. Utólag elmondható, hogy bizonyára a gondos előkészítés és a körültekintő versenyeztetés eredményeként, kellően motivált és a feladat elvégzésére alkalmas szállító[12] került kiválasztásra. A szállítói szerződést a cégek ünnepélyes körülmények között 1996 októberében írták alá.

A nyertes pályázat erősségei

A tender idején és azt megelőzően a Siemens AG a hagyományos erőművek és az atomerőművek konvencionális irányítástechnikai rendszereinek nagy múltú, versenyképes tervezője, gyártója és szállítója. Az ipari automatizálás biztonsági, programozható kontrollerek elismert fejlesztő, gyártója. Az 1990-es években a nukleáris divízió minősített, biztonsági alkalmazási célra tovább fejlesztette a Siemens Teleperm rendszert. A Teleperm XS (TXS) programozható rendszer

[8] Groupe Schneider, Siemens, Westinghouse

[9] MÉB: Műszaki Értékelő Bizottság; KÉB: Kereskedelmi Értékelő Bizottság; ÉFB: Értékelő Főbizottság

[10] AECL (Atomic Energy of Canada Limited, Colenco Power Cusulting Ltd.), IVO Intenational Ltd., SZTAKI (Számítástechnikai Automatizálási Kutató Intézet)

[11] A műszaki és kereskedelmi szempontok bírálat a kizáró és a súlyozott követelmények alapján.

[12] "The bitterness of poor quality remains long after the sweetness of the low price and meeting the schedule has been forgotten."(Sokáig megmarad a silány minőség okán érzett keserűség az alacsony ár és a határidők betartása okán érzett öröm után.) *Dick Crane, Atomic Energy of Canada*

modulkészletét kimondottan atomerőművi felhasználásra fejlesztették és minősítették. A TXS rendszer nem alkalmazott speciális kommunikációs eszközt, viszont megvalósította a processzorok koordinált működését, így a feladat végrehajtás idő szükséglete lecsökkent a szokásos szinkron eljárással szemben.
A modulok fejlesztésével párhozamosan létrehozták az ekkor még egyedülálló SPACE[13] nevű fejlesztő, tervező környezetet. A Space segítségével a teljes technológiai rendszer funkcionális leírásából kiindulva igen nagymértékben automatizált és automatikusan ellenőrzött módon állítható elő a hardware konfiguráció, a futtató program és az érvényes rendszerdokumentáció. Mérnöki munka az architektúra tervezésére és a feladatok particionálására „korlátozódik".

4.2 A technológiai funkciók felülvizsgálata

Az új RVR megalapozási, tervezési fázisaival párhuzamosan a működést kiváltó esemény halmaz (PIE), a technológiai funkciók és az indítójelek által kiváltott beavatkozások a PAE technológusai és a hazai műszaki tudományos intézetek[14] bevonásával szisztematikus felülvizsgálaton estek át. A működési algoritmust érintő valamennyi változtatást egyedi funkcionális biztonsági elemzések támasztották alá, és bevezetésük független engedélyezési eljárás tárgyát képezte. A módosított és az technológiai funkciók alkalmasság-igazolása a blokk- szimulátoron végzett különféle vizsgálatok segítségével is alátámasztásra került.

4.3 Együttműködés a szállítóval, hibamentes (rendszerváltás) átállás az új védelmi rendszerre

A szerződéskötést követően a versenyt felváltotta a megbízó és a szállító közötti együttműködés (kényszere), különösen fontos ez az összetett, magas minőség és határidő tartás követelményével szembesülő projektek esetében. Az RVR - rekonstrukció esetében mindezeken felül elsődleges elvárás volt a hibamentes átállás megvalósítása.
A normál projektek esetében is az eredményes megvalósítás alapfeltétel a megfelelő személyzet és projekt szervezet felállítása, a transzparens, auditálható, munkafolyamat biztosítása az EPC[15] vállalkozói és megrendelői oldalon egyaránt. A szakszerű, hatékony projektirányítási és megbízó többszintű dokumentált kapcsolattartás sokszereplős nemzetközi projekt esetén létkérdés.

[13] Space engineering system: SPecification And Coding Environment
[14] KFKI AEKI, VEIKI, SZTAKI
[15] Engineering Procurement Construction

Az RVR - rekonstrukció kivitelezési munkálatait illeszteni kellett az éves főjavítások programjába. A technológiai bemenő jelelek minősített készülékeinek, HW train-ek[16] előszerelési és telepítési munkálatok, komoly előkészítést, kooperációt, organizációt, igényeltek minden szereplőtől, melyeknek irányítója természetesen a PAE volt.
A megvalósítás kritikus szakaszát, az átállást az eredeti védelmi rendszerről az új digitális rendszerre a 4 éves gyakoriságú hosszú főjavításokkal volt célszerű összekapcsolni. Az új biztonsági rendszerek telepítése és üzembe helyezése a TXS platformon, sikeresen megvalósult az egymást követő 1999., 2000., 2001. és a 2002. évi főjavításai során az 1., 2., 3. és a 4. blokkon. A reaktorblokkok energetikai üzeme – rektor fizikai indítása, felterhelése, generátorok párhuzamos kapcsolása - rendszer implementációt követően további nyílthurkú vizsgálatok nélkül volt biztosítható. A kimerítő gyártóműi tesztelésnek köszönhetően a telephelyi üzembe helyezés idején már begyakorolt profi, projekt teamek működtek együtt.

A hibamentes átállás műszaki feltételeinek biztosítása:

A szerződéskötést követően már a tervezés időszakában felállításra került egy komplett Space fejlesztő környezet Pakson. Ennek segítségével az üzemeltető-megrendelő szakemberei is elkészítették (függetlenül a szállítótól) az RVR formális leírását. A szállító, Siemens felhasználta a formális leírást (mely tervezési munkáját segítette) és ugyanakkor közvetlen visszacsatolást kapott a Space tervező rendszer gyakorlati alkalmazásának tapasztalatairól. Ugyancsak a Siemens szállítási terjedelem részét képezte egy Reprezentatív Konfiguráció (RC)[17] és az erőmű blokk-szimulátorának vezénylőtermébe beépülő - a valóssal 100%-ban megegyező - megjelenítő és kezelő felület (ember-gép kapcsolat). A blokk-szimulátor összekapcsolása az RC rendszerrel (5. blokk) – jóval az első valós rendszer leszállítását megelőzően biztosította a lehetőséget az éles üzemet megelőző szimulátoros vizsgálatok elvégzéséhez. Ez a technikai környezet nélkülözhetetlen a funkcionális specifikációk zárt hurkú (SW -in the loop, HW -in the loop)[18] ellenőrzése, és a személyzet képzése szempontjából. A formalizált funkcionális specifikáció szimulációs ellenőrzés eredményeként kijelenthető, hogy a valós blokkon futó algoritmusokban nincs tervezési szoftver hiba.

[16] A független (X, Y, W) biztonsági rendszerek
[17] RC: A reprezentatív konfiguráció egy olyan környezet ahol a Megrendelő szabadon tesztelhet, gyakorolhat hardver és szoftvermódosításokat egyaránt, a teljes életciklus alatt
[18] Bonyolult rendszerek esetében ma már mindenki így csinálja

5. A Pakson megvalósult RVR tulajdonságai, a projekt sikertényezők

Az új biztonsági rendszert felépítésében és elrendezésében egységes, a technológiához illeszkedő, egyenszilárdságú architektúra[19] és redundancia-struktúra jellemzi, továbbá magas fokú funkcionális diverzitással és e mellett bizonyos hardver diverzitással is rendelkezik.

A fontosabb sikertényezők:

- A PPP fázis lehetőséget biztosított az ajánlatokból a legjobb műszaki megoldások kiválogatására majd ezek rendszerbe integrálására (RVR 2. generációs feladatterv),
- Kétfordulós EPC versenyeztetés,
- Követelmény alapú szerződés, illetve műszaki specifikációk alkalmazása
- Motivált, kooperatív szállító. A szállító számára azért is komoly szakmai kihívást jelentett a feladat, mivel egy működő atomerőmű reaktorvédelmi rendszereit kellett kiváltani és az új szoftver alapú digitális platformra áthelyezni[20], a tervezett karbantartási időszakban, villamos energiatermelés kiesés elkerülésével.
- Diverz funkcionális specifikáció. Diverz, mert két független szervezet (PA Rt. és megbízottjai, Siemens) készítette, majd a két modell az RC környezetben összehasonlításra került.
- Hierarchikus projektirányítási módszerek alkalmazása.
- A Szállító és Megbízó között többszintű kapcsolattartása és szisztematikus, dokumentált eltérés (ütközés) kezelés alkalmazása
- Reprezentatív konfiguráció létesítése és összekapcsolása blokk-szimulátorral, teljes léptékű teszt (validációs) környezet kiépítése az éles üzemet megelőző szimulátoros vizsgálatok elvégzése és a személyzet képzése érdekében.
- Az Engedélyező Hatóság (NBF) folyamatos tájékoztatása, „képben tartása; up front licencing”
- Független V&V[21] tevékenység és független gyártóműi átvételi vizsgálatok (FAT)[22] lefolytatása. Ez azt jelenti, hogy a FAT környezetben a sikeres Szállítói alkalmasság igazolást követően a Megrendelő (vagy megbízott

[19] Szabadalmaztatott architektúra (No 221210), mely jelentő költség megtakarítást eredményezett a létesítés során.

[20] 1999-ben Pakson lép elsőként üzembe energetikai reaktor melynek biztonsági funkcióit programozható digitális rendszerek valósítják meg.

[21] Verifikáció és Validáció

[22] Factory Acceptance Test, Gyártóművi Átvételi Tesztek

képviselője) független vizsgálati programot[23] készített és hajtott végre. Ezzel a módszerrel korai rendszerismeretre lehetett szert tenni és számos eltérést, hibát fel lehetett tárni, mert a Tervező és a Megrendelő gondolatvilága merőben különböző lehet.

Összefoglalva:

Az 1990-es évek végén és a 2000-es évek elején a Siemens AG (Framatome ANP) és a Paksi Atomerőmű együttműködése keretében sikeres fejlesztés valósult meg a biztonsági irányítástechnikai rendszerek korszerűsítése által. Korábban épített, működő atomerőművek közül - tudomásunk szerint - a világon elsőként Pakson vették át a nagy megbízhatóságú, digitális, programozható rendszerek a reaktorok automatikus, embertől független, gyors leállításának és a biztonsági hűtésének irányítását.

A projekt 2001 évben Magyarországon Innovációs Különdíjban részesült.

A fejlesztés előzőekben kifejtett sajátosságai vezettek a projekt sikeres megvalósításához. A korszerűsítés hozzájárult az üzemeltető által az elmúlt tíz évben mutatott elismert színvonalú, megbízható, biztonságos üzemmenet fenntartásához, a kiváló villamos energiatermelési és gazdasági mutatók teljesítéséhez.

Készítették: Hetzmann Albert, Dr. Petz Ernő

Készült: 2016. augusztus.

Referenciák, Forrásanyagok:

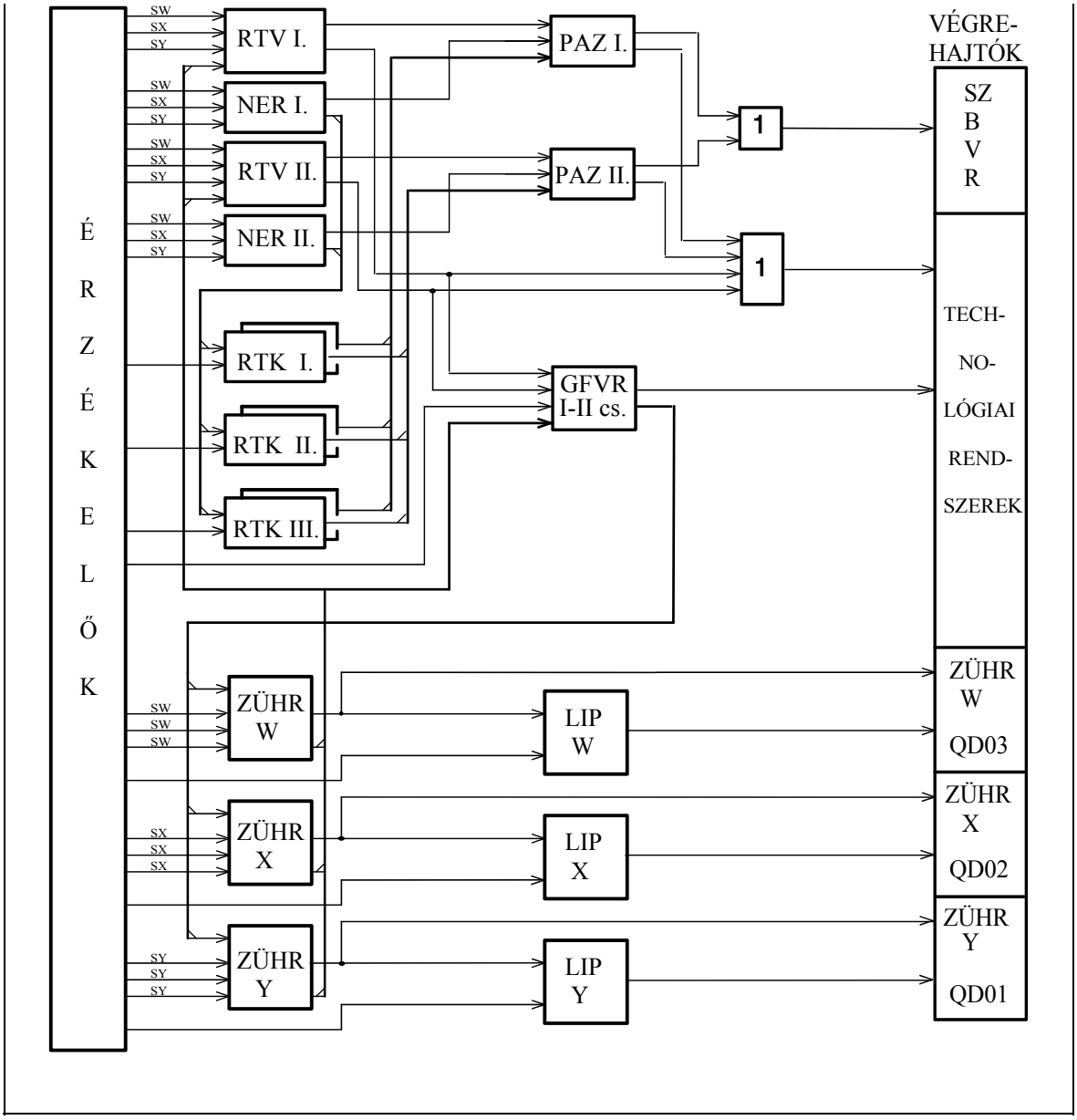
1. PA Rt.; 1993.: A reaktorvédelmi rendszer rekonstrukciójának biztonsági és műszaki megalapozása
2. PA Rt.; 1993.: RVR Feladatterv, Task Plan;
3. Hetzmann Albert, 1997: Az irányítástechnikai rendszerek korszerűsítése a Paksi Atomerőműben
4. Hetzmann A., Túri T.; Nuclear Engineering Internatinal, 1997.: Reactor Protection System Reforbishment at the Paks NPP.
5. Hetzmann Albert, IAEA Workshop 1999.: Safety I&C reforbishment on the Paks Units.
6. Hetzmann Albert, MVM Közleményei, 1999/1,2: A biztonsági irányítástechnikai rendszerek rekonstrukciója a Paksi Atomerőműben.
7. Siemens KWU: M. Köhler, PA Rt.: A. Hetzmann; Nuclear Europe Worldscan 3-4/1999 : Upgrading for safer plants West and East.
8. Hetzmann Albert, Katics Béla: A programozható digitális technológia alkalmazása a PAE folyamatirányító Rendszereiben. 2002.

[23] Kimerítő (pseudo exhaustive) vizsgálatok

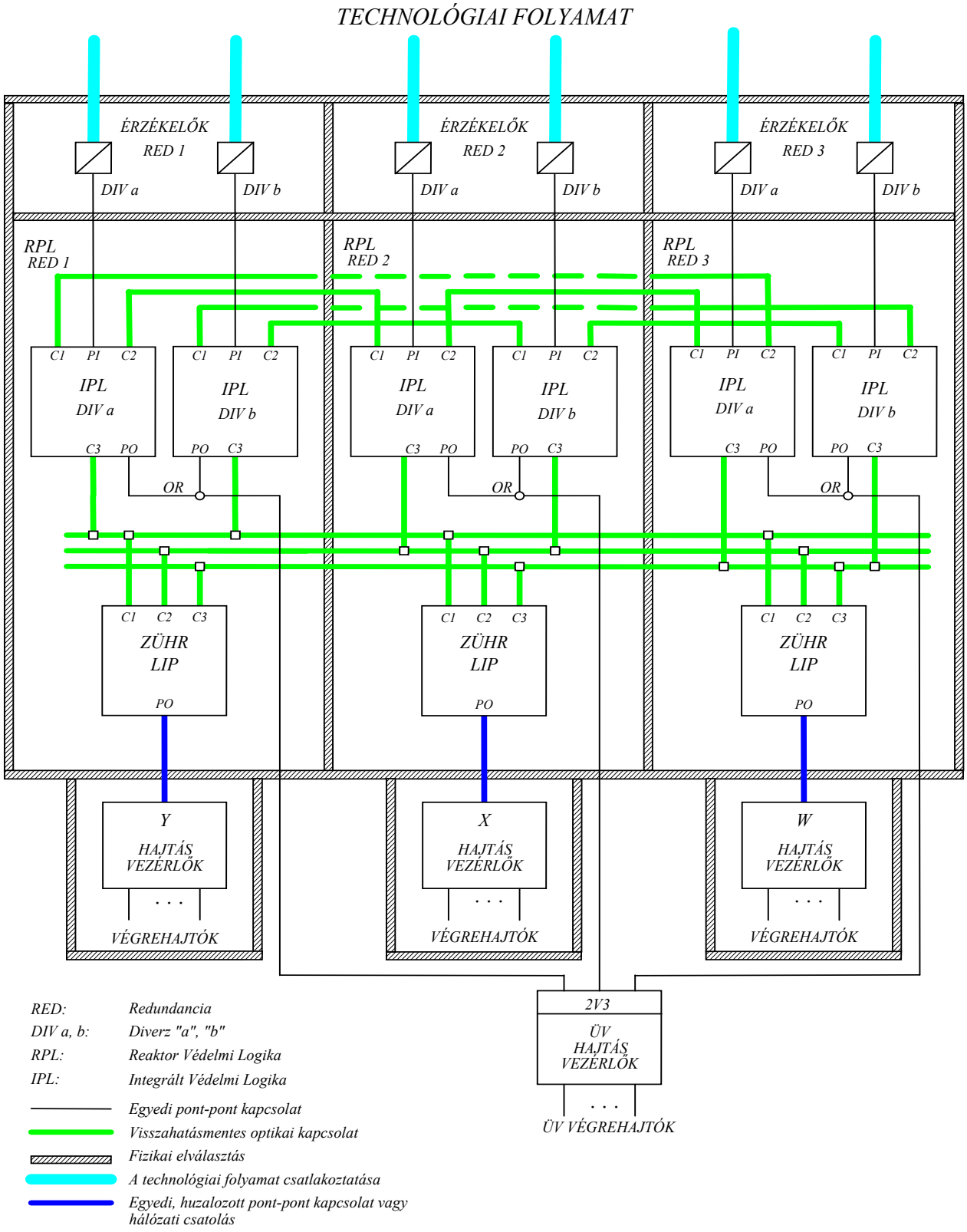
9. Túri Tamás, Dr Bokor József, Szabó Géza; 2004: Safety I&C system modernization in the Paks NPP 1993-2003.;
10. Framatome ANP (AREVA and Siemens Company): Effektiv Replacement of Reactor Protection Systems with TELEPERM XS in four VVER Units.; 2004.

A fenti beszámoló bevezető szakaszában szerényen utalás történik „a PAE elsőszámú vezetőjének" kezdeményező szerepére. Szükségesnek tartjuk őt megnevezni: Dr. Petz Ernő címzetes egyetemi tanárról van szó, akinek a Budapesti Műszaki Egyetem Hőerőművek Tanszékének oktatójaként jelentős szerepe volt Magyarországon az erőművi irányítástechnikai oktatás és kutatás tudományos megalapozásában, mindvégig az MVM Hőirányítástechnikai Osztályával való szoros együttműködésben. Számos feladat megoldása után ezáltal válhatott meggyőződésévé, hogy mindenképpen el kell végezni a PAE reaktorvédelmi rendszereinek a rekonstrukcióját. Egy Erlangeni látogatása alkalmából meggyőzte a Siemens illetékes vezetőit, hogy ki kell fejleszteniük a reaktorvédelmi rendszerük számítógépes digitalizált változatát. Ezt követően született meg a Siemens fejlesztési döntése.

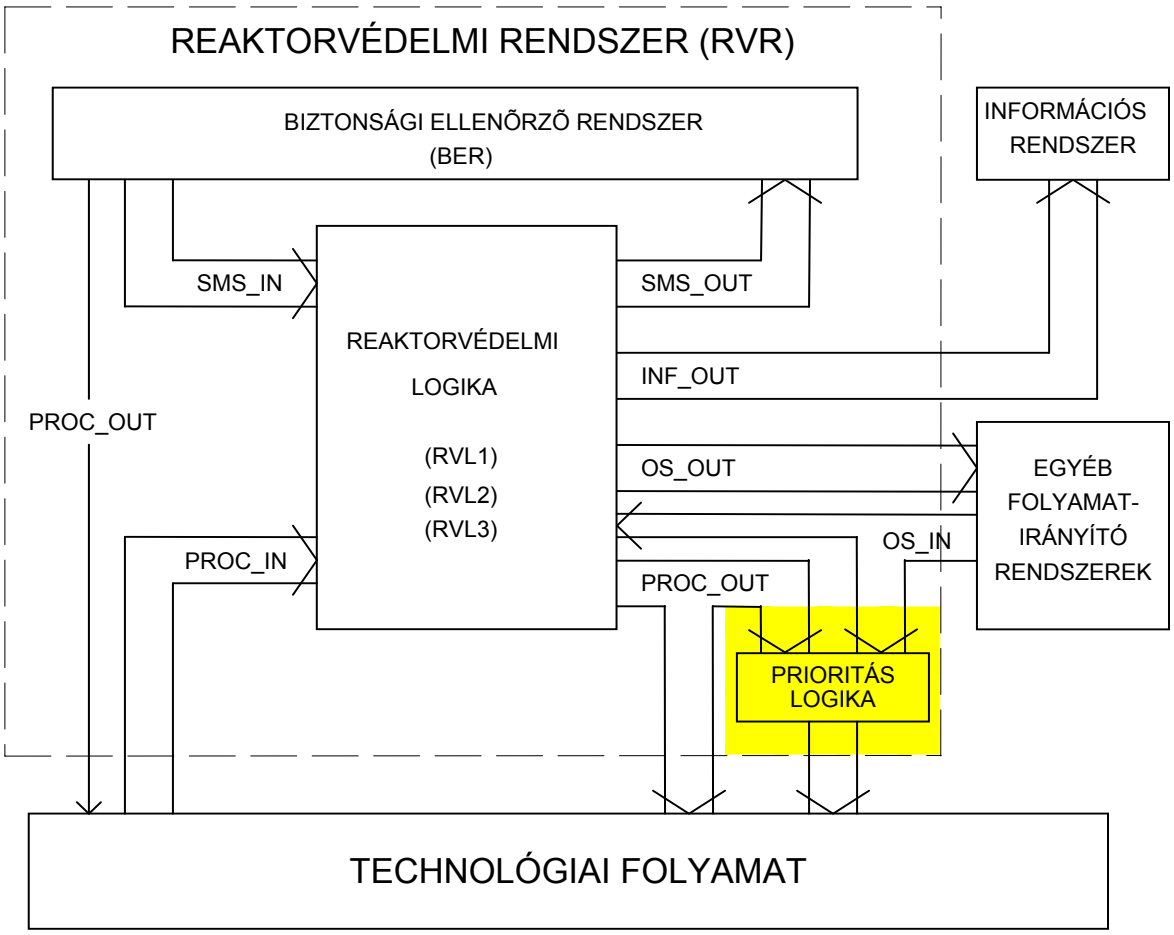
Juhos László
az MVM Hőirányítástechnikai Osztályának volt vezetője



1. sz. ábra
Az eredeti védelmi rendszer egyszerűsített felépítése



2. sz. ábra
Az új reaktorvédelmi rendszer (RVR) redundáns felépítése



3. sz. ábra
A Reaktorvédelmi rendszer kapcsolatinak egyszerűsített blokk vázlata



Az eredeti védelmi rendszer relé-táblái és határérték képző műszerei



Az eredeti védelmi rendszer relé-táblái és határérték képző műszerei



A védelmi rendszer eredeti távadói



Az új védelmi rendszer távadói



Gyártóművi tesz

Training simulator temporary installation

