

Reaktorvédelmi rendszerrel kapcsolatos feladatok vizsgálata a további üzemidő-hosszabbítás lehetősége kapcsán

Vidakovics Ármin, Beréti Menyhért Máté

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.,
Karbantartási Igazgatóság, Üzemfenntartási Főosztály, Biztonsági Rendszer Osztály,
Reaktorvédelmi Rendszer csoport
7031 Paks, Pf. 71.

A tanulmány célja bemutatni a Reaktorvédelmi Rendszer jelenlegi állapotát a Paksi Atomerőműben. Továbbá, rámutatni a védelmi rendszer azon elemeire, melyek rekonstrukcióra szorulnak, tekintettel a további üzemidő-hosszabbítás lehetőségére. A fő téma, a 2. generációs Teleperm XS hardverelemek alkalmazhatósága. Munkánk eredményeként igazolást nyert az új eszközök beépíthetősége, emellett hasznos tapasztalatokra tettünk szert a szükséges hardver- és szoftvermódosítások terén.

Bevezetés

2022. június 24-én a technológiai és ipari miniszter az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. vezérigazgatójával folytatott egyeztetés után az atomerőműben tartott sajtótájékoztatón kijelentette, hogy meggyőződtek arról, hogy az üzemidő-hosszabbításnak minden feltétele adott.

A további üzemidő-hosszabbítás megvalósíthatósága igen részletes vizsgálatot igényel az erőmű biztonsági rendszereit illetően. Jelen tanulmány a Reaktorvédelmi Rendszer állapotát, problémás területeit és rekonstrukciós lehetőségeit vizsgálja, eltérő mélységben és részletességgel.

A Reaktorvédelmi Rendszer jelenlegi állapota

A Reaktorvédelmi Rendszert (továbbiakban: RVR) alkotó Teleperm XS (továbbiakban: TXS) 1. generációs hardverelemei több mint 20 éve üzemelnek a Paksi Atomerőmű blokkjain nagy megbízhatósággal, arányaiiban kevés, de növekvő tendenciájú meghibásodással. Ezeknek az eszközöknek a gyártása és gyártói javítása megszűnt. A közelmúltban készültek elemzések a rendszert alkotó eszközök és a tartalékalkatrész mennyiségének kockázati csoportokba való sorolásáról, melynek hatására több beszerzés történt a szlovákiai Bohunice-i, leszerelés alatt álló atomerőműből. Ez a beszerzési forrás korlátozott mennyiségben és ideig még rendelkezésre áll, innen azonban nem minden típusú alkatrész szerezhető be. Ezenkívül megjegyzendő, hogy ezek közel azonos korú eszközök, mint a nálunk használtak.

A rendelkezésre álló tartalékalkatrész-mennyiséggel, illetve az alkatrészek rendszeres karbantartásával, esetleges helyi (erőművön belüli) javításával az RVR viszonylag alacsony kockázattal üzemeltethető a 2032-37-ig tartó üzemidő végéig. Kritikus pontok: a BER-panel, az S470 típusú analóg kimeneti kártya, a NER analóg modul.

A BER-panel

Az RVR megjelenítő felületét és az operátori beavatkozás lehetőségét biztosító BER-panelt felépítő mozaik elemek, 7-szegmenses kijelzők, analóg megjelenítő műszerek, kapcsolók már nem beszerezhetők, a tartalékeszközök mennyisége kevés.

A jelen állapotban rendelkezésre álló tartalékeszköz-mennyiséggel a 2032-37-ig tartó üzemeltetés is igen magas kockázatú, de egy 10 esetleg 20 éves üzemidő-hosszabbítás esetén kijelenthető, hogy nem megvalósítható a BER (Biztonsági Ellenőrző Rendszer) folyamatos üzemben tartása. És mivel a BER egy ABOS2 besorolású, biztonsági funkciót ellátó berendezés, így nem megengedhető, hogy ilyen jelentős kockázat mellett üzemeljen.

A BER-panel rekonstrukciója részletes vizsgálatot igényel, érdemes a nemzetközi tapasztalatokat, a helyi operatív személyzet igényeit, az EIK (Erőmű Irányító Központ) képernyős megjelenítéssel kapcsolatos véleményeket és természetesen a vonatkozó előírásokat és követelményeket figyelembe venni, hogy egy korszerű, megbízható HMI koncepció jöhessen létre. Már javaslat született egy megvalósíthatósági tanulmány készítésére.

S470 típusú analóg kimeneti kártya

Az RVR állapotértékelése alapján az S470 típusú kártya kritikus kockázati eszköznek lett minősítve. Ebből a típusból a szlovákiai beszerzés sem lehetséges. Egyszerűbb hibák helyben javíthatók, de további üzemidő-hosszabbítás esetén ez problémás eset.

Az RVR szoftver verzióváltás (TXS 2.38-ról TXS 3.6.7-re) eredményeképpen lehetőség nyílt a 2. generációs TXS hardverelemek alkalmazhatóságára. A projekt lezártakor beszerzésre kerültek 2. generációs I/O kártyák (köztük az S470 kiváltó típusa is), SVE2 típusú processorkártyák és SL22 típusú L2 kommunikációs kártyák. Az új kártyák alkalmazásához támogató dokumentum formájában segítségünkre van a Framatome GmbH.

NER analóg modul

Az RVR állapotértékelése alapján kritikus kockázati eszköznek minősül az RVR részét képező, energetikai tartományban üzemelő, neutronfluxus mérőláncot alkotó KNK-3 típusú detektor (eredeti orosz) és a hozzá tartozó analóg modul (KFKI Regtron). A detektor meghibásodásának lehetősége igen alacsony, eddig még nem volt rá példa, így a rendelkezésre álló tartalék elegendő lehet. Az analóg modul esetében a gyártó támogatása rendelkezésre áll, gyártása, javítása elviekben megoldott.

Ezzel szemben a neutronfluxus ellenőrző rendszer (NER) szélessávú mérőlánc már problémás. Itt a CFUL-08 típusú detektorral nincs gond, elérhető a gyártónál. Azonban a Hartmann&Braun által gyártott szélessávú analóg modul komponensei már nem beszerezhetők, gyártói javításuk megszűnt, helyben javítása korlátozottan megoldható és a már említett szlovák beszerzés sem volt maradéktalanul sikeres ezen eszközök tekintetében. A probléma megoldása bonyolult és sok tervezést és munkát igényel, de viszonylag kézenfekvő. A közelmúltban lezárult ANEREM projekt által használt eszközök, és megoldások jó kiindulási alapul szolgálnak. Az itt alkalmazott mérőláncot az RVR neutronfluxus mérőrendszerben is használt CFUL-08 típusú detektor, az RNL-04.04D előerősítő (KFKI Regtron) és az NFL-04.04D illesztő egység alkotja. Ennek a mérőláncnak az alkalmazása előnyös lenne az RVR-ben, mivel a mérőlánc alkalmas a jelenlegi funkciók kiváltására (még többre is), ezen felül van hozzá üzemeltetési, megbízhatósági, karbantarthatósági tapasztalat.

2. generációs TXS hardverelemek alkalmazhatósága

A továbbiakban a 2. generációs hardverelemek alkalmazhatóságával foglalkozunk részleteiben, a fentiekben említett két másik téma a közeljövőben fog feldolgozásra kerülni.

A munkánk célja, hogy a rendelkezésünkre álló 2. generációs kártyákat a lehető leghasznosabb módon használjuk fel. Az RVR Reprezentatív Konfigurációjában (továbbiakban RC) tervezzük alkalmazni az új kártyákat. A munka befejeztével a következő előnyökre tehetünk szert:

- Hasznos tapasztalatszerzés a kiváltó kártyák megbízhatóságával, működésével kapcsolatban, tekintettel a további üzemidő-hosszabbítás következtében szükségessé válható blokki hardverrekonstrukcióra.
- Tapasztalatszerzés a szükséges szoftver módosítások, hardveres átalakítások terén.
- A kiváltandó kártyák az üzemi tartalék részévé válhatnak, ezáltal nő a tartalékalkatrész-készlet.

A koncepcióterv

Amikor felmerült a lehetőség, hogy van egy korlátozott keret 2. generációs kártyákat rendelni, akkor úgy határoztuk meg a mennyiséget, hogy legyen lehetőség tesztelni mind a 4 fajta I/O kártyát és az új processzorkártyát, de gondolva az S470-es analóg kimeneti kártya kritikusságára, ebből lett nagyobb mennyiség beszerezve. A beszerezett és a hozzájuk tartozó 1. generációs (kiváltandó) kártyákat az 1. táblázat ismerteti.

1. táblázat: Az 1. generációs és azokat kiváltandó 2. generációs kártyák

Kártya típusa	Kiváltandó kártya 1. generációs TXS	Kiváltó kártya 2. generációs TXS	Mennyiség (beszerelt + pótalkatrész)
Processzor	SVE1	SVE2	1+1
Profibus	SL21	SL22	1+1
Digital IN (DI)	S430	SDI1-24	1
Digital OUT (DO)	S451	SDO1-24	1
Analog IN (AI)	S466	SAI1	1
Analog OUT (AO)	S470	SAO1	8+1

Az I/O kártyák esetében az átalakítás fizikai megvalósításának bonyolultságát az okozza, hogy bár a 2. generációs modulok alkalmasak az eredeti funkciók ellátására, de a front csatlakozókábelek más típusúak. Ezek a kábelek szintén beszerzésre kerültek, de a szerelés gondos odafigyelést és előzetes tervezést igényel.

Az SVE2 típusú processzorkártya esetében a helyzet szintén bonyolult, de itt a problémát nem az eltérő kialakítású csatlakozó okozza, hanem az, hogy a kiváltó típus 2 helyet foglal el a rack-ben. Ez az egész RVR kialakítását tekintve csak az MSI MCR (Blokkevezénylői MSI számítógép-HQ02) és az MSI-MCRé (Blokkevezénylői tartalék MSI számítógép-HQ03) esetében okozhat majd problémát (nincs szabad hely a rackben), de ez orvosolható többféle megoldás

alkalmazásával is. (pl.: az összes kétállapotú kimeneti kártya áthelyezése az alsó rack-be vagy egy elképzelt RVR BER rekonstrukció esetén a BER-en a jelenlegi megjelenítő funkciókat ellátó analóg műszereket és táblókat meghajtó analóg és digitális kimeneti kártyák megszűnnek, így hely szabadul fel).

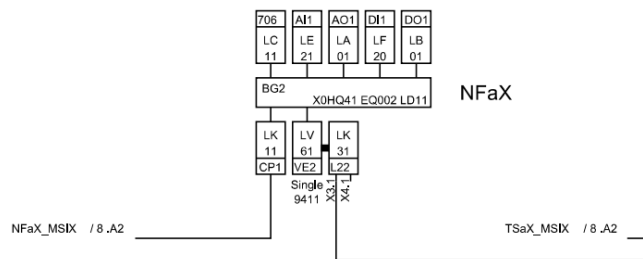
A kiváltandó kártyák pozícióját az alapján határoztuk meg, hogy minél kevesebb TXS szekrényben kelljen szerelni, átalakítani. Ezek alapján az X0HQ41 NFaX számítógép részét képező 4 db I/O kártyát (mind a 4 típus) és az SVE2 processzorkártyát valamint a hozzá tartozó SL22 L2 Profibus kártyát, és az X0HQ02 MSI MCR számítógép részét képező 7 db analóg kimeneti kártyát váltjuk ki.

Szükséges szoftvermódosítások

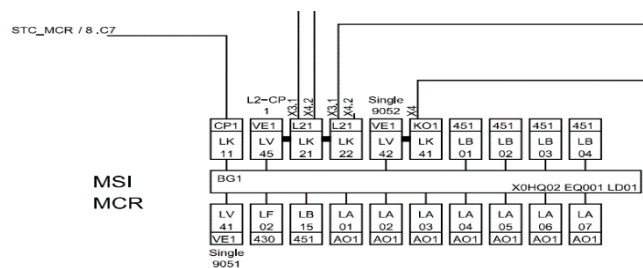
Első lépésben az RC hálózati diagramját kell megmódosítani. A hálózati diagram egy null adatbázis, mely kizárólag a rendszer topológiáját tartalmazza. Null adatbázisból 5 darab létezik (1-4 blokk, RC), ezek az adatbázisok az RVR-es kódgenerálás kiinduló adatai, melyek blokkfüggők. Amennyiben egy hálózati diagram (null adatbázis) módosul, az érinti a Profisim-SPACE konverziós eljárást, mely már egy befejező lépése egy mérnöki munkának, mely a ProfiSim fejlesztői környezetben hajtódik végre.

A hálózati diagram szükséges módosításának lépései:

- A Funkció Diagram Editor (FDE) segítségével meg kell nyitni az *ur_null SPACE* adatbázist szerkesztésre LINUX környezetben az Engineering Unit-on.
- El kell végezni a lecserélni kívánt kártyákat szimbolizáló blokkok törlését és az új típusok beillesztését és beállítását a támogatói dokumentum által leírtak figyelembevételével.



1. ábra: X0HQ41 átalakítás után (forrás: Network Diagram)



2. ábra: X0HQ02 átalakítás után (forrás: Network Diagram)

Ha a hálózati diagramok bármelyike megváltozik, le kell futtatni a *READ_UX_UR_NULL.PY* programot és ennek eredményét át kell másolni a Win10-es környezetbe. Ez a program kiolvassa a hálózati diagramokat tartalmazó null adatbázisokból a CPU és I/O konfigurációs adatokat. A 2. generációs kártyák miatt ki kellett egészíteni ezt a programot az új típusokkal. A program futtatása után az aktuális dátummal és idővel keletkezett egy új *UX_UR_NULL_DATA.py* állomány, melyet a konverziós eljárás használ.

A következő lépésben a konverziós eljárásban (*CONVERT_SPACE_DB*) kellett elvégezni egy módosítást, mivel az első generálási próbálkozás hibára futott. A 2. generációs kétállapotú bemeneti kártya (SDI1) komponensazonosítójának LF20-39-ra kell végződnie, míg az eredeti S430 típusú kártya komponensazonosítója LF01-19-es tartományban van. Ezáltal nem lehetett az új digitális input (DI) kártyának ugyanazt az azonosítót adni, mint az eredetinek és ez problémát okozott. Abban az esetben, ha az RVR implementációjának összes létező DI

kártyáját cserélnék ki éppen az új típusra, azt viszonylag egyszerűen lehetne kezelni a blokkfüggetlen, közös FFS adatbázisban. De a mi esetünkben egyelőre csak az RC-ben, azon belül is csak az NFaX számítógép 1 db DI kártyájáról van szó. Ezért olyan megoldást kerestünk, ami már a konverziós eljárás része lehet (itt jönnek létre a blokkfüggő adatbázisok), és mivel az RC miatt több kivételkezelés alkalmazva van a konverzió során, így ez a művelet sem formabontó. Létrehoztunk egy új *RC_PROC_05.SQL* nevezetű SQL eljárást és ezt a *CONVERT_SPACE_DB* részévé tettük.

Ezzel a módosítással már sikeresen lefutott a konverziós eljárás (Win10-es környezet) és a *DB_BUILDER.PS_PY* script (LINUX környezet) mely létrehozza a konvertált adatbázist. A konvertált adatbázis további ellenőrzése, a kód fordítása a Framatome eszközeivel történt (*PAKS_GEN.sh*).

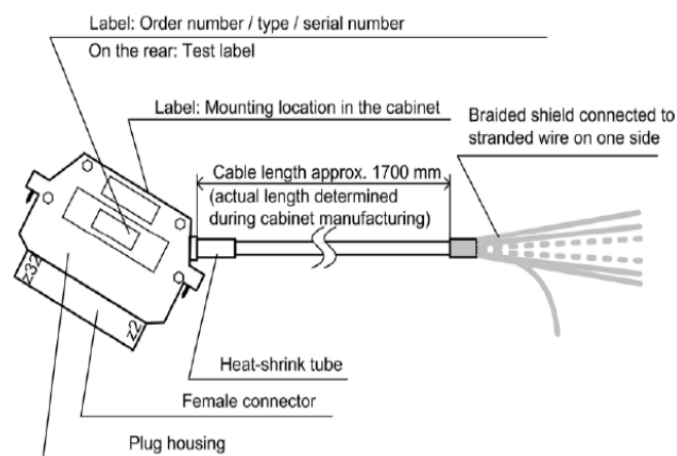
A *PAKS_GEN* program elvégzi az adatbázis ellenőrzését és a futtatható kód fordítását és egyéb dokumentációs célú műveletet. Ide tartozik többek között a *hwparams* nevű eljárás is, amely kilistázza az összes hardverelem beállítását. Ez alapján kell elvégezni az új, 2. generációs kártyák hardverbeállítását a beszerelés előtt.

A szükséges szerelési munkák

A TXS szekrényekben történő szerelési, huzalozási munkálatokat csak feszültségmentes állapotban szabad elvégezni, megfelelő szerszámok alkalmazásával.

Az SVE2 típusú processorkártya és a hozzá tartozó SL22 típusú L2 kommunikációs kártya esetén a szerelési munka a *hwparams* és a Framatome támogató dokumentuma alapján egyszerűen elvégezhető. El kell végezni a kártyák beállításait a kártyákon található kapcsolók és jumperok segítségével. A kódgenerálás útján létrejött MIC fájlt és a rendszerszoftvert be kell tölteni a CPU-ba.

Az I/O kártyák cseréjét megnehezíti, hogy a kártya frontpanelje és a belső SAE csatlakozómodul között lévő kábel más típusú, mint az eredeti. Ez az új csatlakozókábel (típus: SPC-IO01) van alkalmazva az összes 2. generációs I/O kártyánál. Ezeknek a kábeleknak az előkészítése és csatlakoztatása/bekötése nagy odafigyelést és precizitást igényel.



3. ábra: SPC-IO01 kábel (forrás: TXS Upgrade Procedure for Representative Configuration)

Egy SAE modul 16 csatlakozó tükessort tartalmaz, melyek 1-16-ig vannak számozva, és minden sor tartalmaz további 8 oszlopot, melyek betűkóddal vannak jelölve A-tól H-ig.

A 4. ábrán látható egy I/O kártya bekötése (SDI1), a többi esetben is hasonló az eljárás. A táblázat bal oldalán láthatóak a jelnevek és a kártya frontján lévő csatlakozópontok nevei, a jobb oldalon pedig az adott SAE modul csatlakozótükse azonosítója és az eredetileg használt jelnév. Az eredeti kábel méretét, szekrényen belüli elhelyezkedését, rögzítését alapul véve kell méretre vágni az újat és elvégezni a régi kábel kikötését és az új kábel bekötését. A vezetékeket a SAE tüksekre az úgynevezett maxi-termi-point technikával kell csatlakoztatni a megfelelő eszközökkel és anyagokkal. Szerelés közben a kötések megfelelőségét és a kábelerek sérülésmentességét folyamatosan ellenőrizni kell.

Természetesen a támogatói dokumentumban lévő szerelési segédletek útmutatóként szolgáltak, de a szerelés az aktuális RC tervek alkalmazásával lett elvégezve. A tervek átalakítás miatti módosítását az éppen folyamatban lévő RC dokumentációfrissítő és tervaktualizáló munka részeként el kell végezni.

Erőforrás-szükséglet

A munka erőforrásigénye főként emberi, mivel a szükséges hardverelemek már rendelkezésre állnak, a szereléshez szükséges anyagszükséglet és eszközpark szintén. Emberi erőforrás tekintetében a hardver- és szoftvermódosítás megtervezése és végrehajtása villamosmérnöki, programozói és RVR szoftvermódosításban jártas szakértelmet igényel, mellyel a jelen dokumentum készítői rendelkeznek. Továbbá a fizikai kivitelezés is elvégezhető a készítők által, tekintettel a megfelelő tapasztalat rendelkezésre állására, illetve a munka még kezelhető mennyiségére. Természetesen egy nagyobb volumenű átalakítás, hardver kiváltás további emberi erőforrás bevonását igényelné. Ezen kívül a szükséges minőségbiztosítási feladatokat is el kell végezni az átalakítást végzőknek mely a munka közbeni, és -utáni validációs és verifikációs feladatokat foglalja magába.

Sikerességi igazolás

Az átalakítás után igazolni kell, hogy az RC, amely az RVR szoftverében alkalmazott módosítások előzetes tesztelésére hivatott, ugyanúgy ellátja funkcióit.

A processzorkártya és a hozzátartozó L2 Profibus kommunikációs kártya esetében, ha a ciklikus öntesztek sikeresen, hibamentesen lefutnak és a szerviz számítógépen a *txsstatus* nevezetű DIMAS kliensen keresztül vizsgálva hibamentes állapotban látjuk a processzort, akkor igazolható a sikeresség.

Az analóg és kétállapotú bemeneti kártyák esetében első lépésként tesztjeleket kell beadni egyenként az összes bemeneti csatormán és ellenőrizni kell a szerviz számítógép segítségével a beadott tesztjeleket a funkciódigramokon, ezzel igazolva a kártyák helyes működését.

A következő lépésben a kimeneti kártyák (analóg és kétállapotú) jeleit kell paraméterezés által egyenként vezérelni, és vizsgálni a helyes működést az RC illesztő számítógép OPC UA felületén. A sikeresség igazolását dokumentált formában kell elvégezni, melyről jegyzőkönyv készül.

Értékelés, összefoglalás

Az átalakítás közvetlen, azonnali eredményeképp könyvelhető el a kiváltott alkatrészek blokki tartalékalkatrészként való felhasználása. Ezáltal felszabadult 1db SVE1 típusú processzorkártya, 1db SL21 típusú L2 profibusz kártya, 1-1db S430, S451, S466 és 8db S470 típusú I/O kártya. Továbbá az RVR átalakítási folyamatokhoz kapcsolódó több szerepkörben is (RVR rendszermérnök, TXS karbantartó, ProfiSim fejlesztő, FFS tesztelő) fontos a kompetenciák fejlesztése, fenntartása.

Az átalakítás egy jó kiindulási alap a Reaktorvédelmi Rendszer hardveres szintű rekonstrukciójának, amely abban az esetben, ha az üzemidő-hosszabbítás engedélyezve lesz, valamilyen mélységben elengedhetetlenné válik a további megbízható üzemeltethetőség szempontjából. Ez esetben meg kell határozni, hogy a kártyák meghibásodási gyakoriságát és a rendelkezésre álló tartalékalkatrész mennyiséget alapul vevő kockázati prioritizálás szerint lépcsőzetesen kell a különböző típusú elemeket kiváltani, vagy egy komplett, egységes rekonstrukció végrehajtása a célravezetőbb hosszútávon.

Frontconnector SDI1-24		Lead color	internal SAE	
Signal	Pin		Pin (relative)	Signal (S430)
DI0.0	Z24	1bu	01D	DI0.0
DI0.1	Z22	1rd	01E	DI0.1
DI0.2	Z20	1gy	01F	DI0.2
DI0.3	Z18	1ye	01G	DI0.3
DI0.4	Z16	1gn	01H	DI0.4
DI0.5	Z14	1br	02A	DI0.5
DI0.6	Z12	1wh	02B	DI0.6
DI0.7	Z10	1bk	02C	DI0.7
DI1.0	Z08	2bu	02D	DI1.0
DI1.1	Z06	2rd	02E	DI1.1
DI1.2	Z04	2gy	02F	DI1.2
DI1.3	B24	2ye	02G	DI1.3
DI1.4	B22	2gn	02H	DI1.4
DI1.5	B20	2br	03A	DI1.5
DI1.6	B18	2wh	03B	DI1.6
DI1.7	B16	2bk	03C	DI1.7
DI2.0	B14	3bu	03H	DI2.0
DI2.1	B12	3rd	04A	DI2.1
DI2.2	B10	3gy	04B	DI2.2
DI2.3	B08	3ye	04C	DI2.3
DI2.4	B06	3gn	04D	DI2.4
DI2.5	B04	3br	04E	DI2.5
DI2.6	D24	3wh	04F	DI2.6
DI2.7	D22	3bk	04G	DI2.7
DI3.0	D20	4bu	04H	DI3.0
DI3.1	D18	4rd	05A	DI3.1
DI3.2	D16	4gy	05B	DI3.2
DI3.3	D14	4ye	05C	DI3.3
DI3.4	D12	4gn	05D	DI3.4
DI3.5	D10	4br	05E	DI3.5
DI3.6	D08	4wh	05F	DI3.6
DI3.7	D06	4bk	05G	DI3.7
1EN+	B32	5bu	01A	F+
EN-	B30	5rd	01B	F-
ERR+	B28	5gy	<see Note>	
ERR-	B26	5ye	<see Note>	
2EN+	B02	5gn	01A	F+
CLK+	D04	5br	-	-
CLK-	D02	5wh	-	-
SHD	Z02	5bk	-	-
L+	Z32	6bu	01C	L+
L-	Z30	6rd	03D	L-
(*)	Z28	6gy	-	-
(*)	Z26	6ye	-	-
L+GEB	D32	6gn	-	-
(*)	D30	6br	-	-
(*)	D28	6wh	-	-
(*)	D26	6bk	-	-

(*): No Function

4. ábra: SDI1 kábelezés (forrás: TXS Upgrade Procedure for Representative Configuration)

Irodalomjegyzék

- [1] A reaktorvédelmi rendszer módosításának rendje, UT_IMO_01
 [2] Paks RVR Állapotértékelése, 19-H3100-19008, 3. verzió
 [3] TXS Upgrade Procedure for Representative Configuration, Instruction Manual, Framatome