

Loviisan ydinvoimalaitoksen laitossuojausautomaation vanhenemistutkimus

Kaisa Simola, Matti Maskuniitty

VTT Automaatio

Teollisuusautomaatio

Tutkimuksen johto Säteilyturvakeskuksessa

Samuel Koivula

Tutkimus on tehty Säteilyturvakeskuksen tilauksesta.

SÄTEILYTURVAKESKUS

PL 14, 00881 HELSINKI

(90) 759 881

ISBN 951-712-051-6
ISSN 0785-9325

Painatuskeskus Oy
Helsinki 1995

SIMOLA, Kaisa, MASKUNIITTY, Matti (VTT Automaatio). Loviisan ydinvoimalaitoksen laitossuojausautomaation vanhenemistutkimus. STUK-YTO-TR 86. Helsinki 1995. 39 s + liitteet 20 s.

ISBN 951-712-051-6

ISSN 0785-9325

Avainsanat: Vanheneminen, vikaantuminen, laitossuojausjärjestelmä, automaatio

TIIVISTELMÄ

Työ käsitti Loviisan ydinvoimalaitoksen laitossuojausjärjestelmän (YZ) vanhenemistutkimuksen. Suojausautomaation laitteiden käyttökokemukset mittauslähettimiltä toimilaitteiden ohjaukshortteihin tutkittiin laitoksen käyttöhistorian ajalta. Järjestelmän eri osien turvallisuusmerkitystä tarkasteltiin yhdelle suojaustoiminnalle tehdyn vikapuumallin avulla. Käyttökokemusten ja vikapuuanalyysin perusteella valittiin kohteet tarkempia vikaantumisselvityksiä varten.

Käyttökokemusten mukaan laitossuojausjärjestelmässä on ollut varsin vähän vikoja, eikä vikojen määrän ajallisessa kehityksessä ole vielä havaittavissa nousevaa trendiä. Vain muutama vika oli estänyt suojaussignaalin etenemisen, pääasiassa viat ovat aiheuttaneet turhan hälytyksen. Vikailmoituksia on tehty eniten raja-arvovahdeista, lähettimistä ja etuoikeuskorteista. Yhdelle suojaussignaalille tehdyn vikapuuanalyysin mukaan suojaustoiminnan onnistumisen kannalta kyseisen järjestelmän osan tärkeimpiä kortteja ovat yksittäisohjaukshortit ja päätemuunnin. Etuoikeus- ja yksittäisohjaukshorteille, raja-arvovahdille ja vertailijalle sekä päätemuuntimelle tehtiin vika- ja vaikutusanalyysit, joiden avulla tunnistettiin suojaustoiminnan onnistumisen kannalta kriittiset vikamuodot.

SIMOLA, Kaisa, MASKUNIITY, Matti (VTT Automation). Ageing study of the engineered safety features actuation system of the Loviisa NPP. STUK-YTO-TR 86. Helsinki 1995. 39 pp + Apps. 20 pp.

ISBN 951-712-051-6

ISSN 0785-9325

Keywords: Ageing, failure, ESFAS, engineered safety features actuation system, automation

ABSTRACT

An ageing study of the engineered safety features actuation system of the Loviisa nuclear power plant has been performed. The operating experience, including failure and maintenance histories of analog measuring devices, logics for safety signal formation and individual control electronics of pumps and valves, has been collected and analysed. The safety importance of system components has been studied with a fault tree analysis of a selected safety function. Based on the results of the analysis of operating experiences and the fault tree analysis, some components were selected for deeper analyses.

According to the operating experience, the amount of failures in the Loviisa plant safety system has been low and no increasing trend in the failure history can yet be observed. Only a few failures had prohibited the propagation of the safety signal, mostly the failures have caused a false alarm. The failures reported have concerned mainly limit signal units, transmitters, and priority units. According to the fault tree analysis of one safety function, the most important components of this subsystem are individual control units and pulse/DC converters. Failure modes and effect analyses were performed for priority and individual control unit, limit signal unit and comparator and pulse/DC converter in order to identify the critical failure modes of these devices.

ALKUSANAT

Säteilyturvakeskus on tilannut VTT Automaatiolta Loviisan ydinvoimalaitoksen laitossuojajärjestelmän vanhenemistutkimuksen. Säteilyturvakeskuksen yhteyshenkilönä tutkimuksessa oli Samuel Koivula. Tutkimukseen osallistuivat lisäksi Tapani Eurasto Säteilyturvakeskuksesta, Reijo Vauhkonen Loviisan voimalaitokselta ja Jaakko Tuuri Teollisuuden Voima Oy:stä. Tekijät kiittävät edellä mainittujen henkilöiden lisäksi Loviisan laitoksen instrumenttikunnossapidon henkilökuntaa sekä Imatran Voima Oy:n Arto Feliniä, Matti Sunialaa ja Erik Lönnqvistiä avusta tutkimuksessa tarvittujen tietojen keruussa.

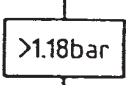



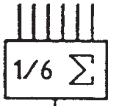

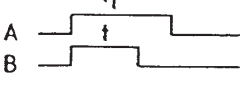
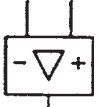

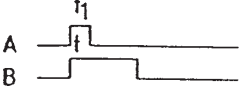


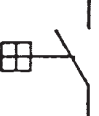




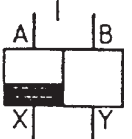


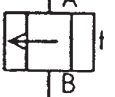
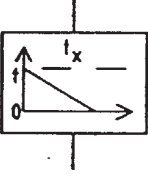
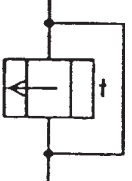
SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	Sivu
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
KÄYTETYT TERMIT JA SYMBOLIT	7
SIGNAALILOGIIKKAKUVISSA KÄYTETYT PIIRROSSYMBOLIT	8
1 JOHDANTO	9
2 SUOJAUSAUTOMAATION VANHENEMISEN TUTKIMUSMENETELMÄ	10
3 LAITOSSUOJAUSJÄRJESTELMÄN KUVAUS	12
3.1 Analogiaosa	17
3.2 Logiikkaosa	17
3.3 Yksittäisohjausosa	17
3.4 Pulssijärjestelmä	17
4 SUOJAUSJÄRJESTELMÄN KUNNOSSAPITO JA YMPÄRISTÖOLOSUHTEET	18
4.1 Kunnossapito-ohjeisto	18
4.2 Määräaikaistarkastukset	18
4.3 Ympäristövaatimukset	19
4.4 Ympäristövaatimusten toteutuminen	20
5 TULOKSET	21
5.1 Käyttökokemusten analysointi	21
5.1.1 Käytönaikaiset ja määräaikaistarkastuksissa havaitut viat	21
5.1.2 Määräaikaistarkastuksissa tehdyt viritykset	26
5.2 Suojausketjun luotettavuustarkastelu	26
5.3 Laitteiden vikaantumismuodot	29
5.3.1 Etuoikeuskortti E22B	30
5.3.2 Yksittäisohjauskortti	32
5.3.3 Raja-arvovyksikkö/vertailija ryhmä	34
5.3.4 Pulssi/tasasähkömuunnin (päätemuunnin)	35
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	37
VIITTEET	39
LIITE 1 Suojausketjun YZ51-toimintakaavio	40
LIITE 2 Ketjun YZ51-yhden kanavan vikapuumalli	41
LIITE 3 Esimerkkejä ketjun YZ51-minimikatkosjoukoista	45
LIITE 4 Vika- ja vaikutusanalyysitaulukot	46
LIITE 5 Vika- ja vaikutusanalyysissä tarkasteltujen korttien kaaviot	53

KÄYTETYT TERMIT JA SYMBOLIT

B21, B22, B32	Yksittäisohjaukortti
E22	Etuoikeuskortti
ESFAS	Engineered Safety Features Actuation System, turvajärjestelmien käynnistysjärjestelmä
FSAR	Final Safety Analysis Report, lopullinen turvallisuusseloste
JK-kaappi	Laitossuojauksen elektroniikkakaappi
Kipper	Raja-arvoyksikkö
KuIn	71, 248 Laitossuojauksen kunnossapito-ohje
Kz-tunnus	Kennzeichnung-koodi, laitetunnus
Lol, Lo2	Loviisan ydinvoimalaitosyksiköt
LOTI	Loviisan kunnossapidon tietojärjestelmä
Trenneri	U/U-muunnin, jota käytetään laitossuojausjärjestelmän kanavien väliseen galvaaniseen erotukseen
SIMATIC P	Siemensin elektroniikkakorttiperhe, positiivinen logiikka
SIMATIC N	Siemensin elektroniikkakorttiperhe, negatiivinen logiikka
Suojausketju	Suojaussignaalin muodostamiseen osallistuvat laitteet
Suojaussignaali	Ohjaukortille saapuva signaali, joka käynnistää suojaustoiminnon
Suojaustoiminto	Turvallisuustoiminto joka tarvitaan prosessin turvallisuusparametrien tilan siirtyessä normaalin toiminta-alueen (raja-arvon ylitys) ulkopuolelle
SUZ	Reaktorisuojausjärjestelmän tunnus
VVA	Vika- ja vaikutusanalyysi
YZ	Loviisan laitossuojauksen järjestelmätunnus, suojaussignaalin tunnus

SIGNAALILOGIikkAKUVISSA KÄYTETYT PIIRROSSYMBOLIT

 <p>Raja-arvon muodostus</p>	<table border="1" data-bbox="673 346 820 514"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>EDELISESTÄ TILASTA RIIPPUEN</p>	A	B	X	Y	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	 <p>Osoitinkoje</p>
A	B	X	Y																							
0	0	1	0																							
0	0	0	1																							
0	1	0	1																							
1	1	1	0																							
1	0	1	0																							
 <p>Kaksi kolmesta -valinta</p>	 <p>$(t_1 < t_2)$</p>	 <p>Keskiarvon muodostus</p>																								
 <p>Viive</p>	 <p>$(t_1 \geq t_2)$</p>	 <p>Summaus</p>																								
 <p>Negaatio</p>	 <p>$(t_1 < t_2)$</p>	 <p>Lähetin</p>																								
 <p>Looginen JA</p>	 <p>Avainkytkin, ei palautuva</p>	 <p>Vertailija</p>																								
 <p>Looginen TAI</p>	 <p>Avainkytkin, palautuva nuolen suuntaan</p>	 <p>Raja-arvo-yksikkö</p>																								
 <p>Muistielin</p>	 <p>Integraattori: Vähentää valitun paineen laskunopeuden osuutta kiinteästä paine-arvosta</p>	 <p>Pulssi-generaattori</p>																								
 <p>Rajoitin</p>	 <p>Integraattori: laskee ajan kulumista valitusta aika-varasta f_x</p>																									
 <p>Pito tulo-signaalin pituudesta riippumatta</p>																										

1 JOHDANTO

Loviisan laitoksen suojausautomaatio käsittää kaksi toisistaan riippumatonta osaa, jotka ovat reaktorinsuojausautomaatio ja turvajärjestelmien käynnistysjärjestelmä eli laitossuojausjärjestelmä. Reaktorinsuojausautomaation tehtävänä on toteuttaa reaktorin pikasulku laitoksen parametrien tilan sitä edellyttäessä. Prosessin tilasta riippuen aktivoituu turvallisuustoiminnot käynnistävä järjestelmä, ESFAS (Engineered Safety Features Actuation System).

Laitossuojausjärjestelmän tehtävänä on käynnistää automaattisesti tilanteen edellyttämät turvallisuustoiminnot, kun laitoksen turvallisuudelle tärkeät prosessiparametrit ylittävät niille suunnitellussa asetetut rajat. Laitossuojausjärjestelmän käynnistämät turvallisuustoiminnot, muut suunnittelukriteerit ja tekninen toteutus on esitetty asiakirjassa LO 1&2 FSAR luku 7.3.

VTT teki Olkiluodon ydinvoimalaitoksen suojausautomaation vanhenemista koskevan tutkimuksen (Simola & Hänninen 1993), jossa kehitettiin menetelmä suojausautomaation laiteketjun vanhenemisen ja sen vaikutusten arvioimiseksi. Tässä tutkimuksessa on sovellettu kyseistä menetelmää Loviisan laitossuojausjärjestelmään.

Loviisan laitossuojausjärjestelmä on nelikanavainen ja kaksiredundanttinen 70-luvun elektronikkakorttitekniikalla toteutettu järjestelmä,

jonka on toimittanut Siemens AG. Järjestelmän signaalit on merkitty tunnuksella YZ. Myöhemmin toteutetun laajennusosan on toimittanut BBC (signaalitunnukset YZ70 ja YZ90). Työ määriteltiin siten, että v. 1986-87 tehty laajennus rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimuksen tavoitteena on arvioida järjestelmän eri osien vanhenemista ja turvallisuusmerkitystä. Komponenttien vikautumishistoriasta tehtyjen yhteenvetojen sekä luotettavuusmallin ja vikaantumistarkastelujen perusteella on mahdollista vetää johtopäätöksiä järjestelmän toimintakyvystä.

Raportin alussa kuvataan tutkimuksessa käytetty menetelmä ja työn eri vaiheet lyhyesti. Seuraavissa luvuissa kuvataan tiivistetysti laitossuojausjärjestelmän rakenne, kunnossapito ja laitteiden ympäristöolosuhteet. Käyttökokemusanalyysin tulokset, järjestelmän turvallisuustoiminnolle (YZ51, hätäsyöttövesipumppujen käynnistyminen höyrystimen pinnasta) tehty vika-puuanalyysi ja valituille komponenteille tehdyt tarkemmat vanhenemis- ja vikaantumistarkastelut esitetään luvussa 5. Viimeisessä luvussa on esitetty johtopäätökset tutkimuksen tuloksista.

2 SUOJAUSAUTOMAATION VANHENEMISEN TUTKIMUSMENETELMÄ

Ydinvoimalaitosten laitteiden, rakenteiden ja järjestelmien vanhenemistutkimuksissa pyritään tunnistamaan vanhenemismekanismeja ja varmistamaan, että laitteiden käyttö, kunnossapito ja ympäristöolosuhteet mahdollistavat vaaditun turvallisuustason säilyttämisen läpi laitoksen käyttöään. Yksittäisten laitteiden vanhenemista voidaan tutkia esim. kiihdytetyillä testeillä. Vertaamalla keskenään käytössä olleiden ja uusien laitteiden kiihdytetyjen testien tuloksia, voidaan saada jonkinlaisia arvioita käytössä olevien laitteiden jäljellä olevasta käyttöiästä. Tällaisia testejä tehdään mm. kaapeleille.

Jos tutkitaan yksittäisen laitetyypin sijasta kokonaisen järjestelmän vanhenemista, lähestymistapa on erilainen. Järjestelmästä pyritään tunnistamaan osat, joiden vanhenemisen aiheuttamat vikaantumiset tai toimintakyvyn heikkenemiset ovat järjestelmän turvallisuuden ja käytettävyyden kannalta olennaisimpia. Järjestelmän eri osilla saattaa olla toisistaan poikkeavat ympäristöolosuhteet, kunnossapitotoimet ja käyttötavat, jotka vaikuttavat vanhenemiseen eri tavoin. Kun vanhenemisen kannalta kriittiset järjestelmän osat on tunnistettu, näille voidaan tehdä yksityiskohtaisempia analyyskejä.

Suojausautomaation laitteiden vikaantumiseen on varauduttu suunnitteluvaiheessa varmennusrakenteilla ja sillä, että laitteet vikaantuessaan toimivat turvalliseen suuntaan - yleensä asettaen kanavan lauenneeseen tilaan. Tällaisen ”fail safe” -periaatteen toteuttaminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista. Esimerkiksi suojaus toimintoihin liittyvien toimilaitteiden ohjaus-elektroniikkaa ei toteuteta vastaavalla periaatteella. Ydinvoimalaitosten automaatiojärjestelmien laitteet ovat pääasiassa elektroniikkakortteja. Laitteille on tyypillistä pienet vikataajuudet

ja laitteiden helppo vaihdettavuus. Laitteet pystytään myös pääasiassa sijoittamaan suotuihin ympäristöolosuhteisiin.

Suojausautomaatioon ja sen laitteisiin kohdistuvista julkisista vanhenemistutkimuksista esitettiin yhteenvedo Olkiluodon suojausautomaation vanhenemistutkimuksen yhteydessä (Simola & Hänninen 1993). Kirjallisuusselvityksen mukaan ulkomaiset vanhenemistutkimukset keskittyivät pääasiassa yhden laiteryhmän, kuten painelähtimien, lämpötila-anturien, kaapelien tai releiden vanhenemisen selvittämiseen. Yhdysvalloissa on julkaistu kaksi kokonaisen järjestelmän kattavaa vanhenemistutkimusta: reaktorisuojausjärjestelmien vanhenemistutkimus (Meyer 1988) ja uudempi reaktorin instrumentointi- ja suojausjärjestelmien komponenttien vanhenemistutkimus (Gehl & Hagen 1992).

VTT teki vuonna 1993 Olkiluodon ydinvoimalaitoksen suojausautomaation laiteketjun vanhenemistutkimuksen (Simola & Hänninen 1993), jossa tarkastelun kohteena oli koko reaktorisuojausjärjestelmä mittauslähettimiltä toimilaitteiden ohjaukseen. Vanhenemisen vaikutuksia tarkasteltiin sekä koko järjestelmän rakenteen kannalta, että yksityiskohtaisesti laitetasolla. Kyseisessä tutkimuksessa kehitettyä menetelmää on pääpiirteissään noudatettu tässä Loviisan laitossuojausjärjestelmän vanhenemistutkimuksessa. Loviisan laitoksen laitossuojausjärjestelmää koskien on kerätty tutkimuksessa tarvittavat tiedot, joita ovat järjestelmän rakenne sekä laitteiden käyttökokemukset, ympäristöolosuhteet ja kunnossapitotiedot. Näiden tietojen perusteella on pyritty kartoittamaan laitossuojausjärjestelmän tekninen kunto ja tunnistamaan vanhenemisen kannalta kriittiset komponentit.

Taulukko I. Tutkimuksen vaiheet ja niissä käytetyt menetelmät.

TUTKIMUKSEN VAIHE	KÄYTETTY MENETELMÄ
1. laitteiden vikaantumishistorioiden selvitys	käyttökokemusanalyysi (LOTI, työmääräimet, korjauspöytäkirjat, ma-tarkastuspöytäkirjat)
2. laitteiden turvallisuusmerkityksen selvitys	vikapuuanalyysi - kohteeksi YZ51
3. laitteiden valinta tarkempiin tutkimuksiin	valinta vaiheiden 1 ja 2 tulosten perusteella
4. vanhenemis- ja vikaantumismuotojen selvittäminen valituille laitteille	vika- ja vaikutusanalyysi

Tutkimuskohteen rajaamisen ja laitossuojauksen toimintaan tutustumisen jälkeen ensimmäinen varsinainen työvaihe on käyttökokemusten analysointi. Vikatilastojen perusteella tunnustetaan järjestelmän osat, joissa on esiintynyt eniten vikoja. Vikojen luokittelu vanhenemisesta riippuviin ja riippumattomiin olisi periaatteessa ihanteellista, mutta käytännössä tällainen on harvoin mahdollista. Sen sijaan pyritään havaitsemaan toistuvat, saman tyyppiset viat ja tutkimaan niiden ajallista kehitystä. Tutkimuksen toisessa vaiheessa selvitetään järjestelmän eri osien turvallisuusmerkitystä tekemällä luotettavuusanalyysi osalle järjestelmää.

Käyttökokemusselvityksen ja järjestelmän yhdelle osalle tehdyn vikapuuanalyysin perusteella on valittu täydentävien vanhenemistutkimusten kohteet. Valintakriteereinä ovat olleet toisaalta käyttökokemuksissa havaittujen vikojen määrä, toisaalta kohteen turvallisuusmerkitys. Täyden-

tävissä vanhenemistutkimuksissa kartoitetaan valittujen kohteiden mahdollisia vanhenemis- ja vikaantumismuotoja. Taulukossa I on havainnollistettu tämän tutkimuksen eri vaiheita.

Käyttökokemuksiin perustuvan vanhenemisselvityksen yhtenä tavoitteena on myös arvioida vika- ja kunnossapitojärjestelmien soveltuvuutta laitteiden vanhenemisen seurantaan. Näitä järjestelmiä ei yleensä alunperin ole suunniteltu nimenomaan vanhenemistutkimuksia ajatellen. Käytössä olevia tiedonkeruujärjestelmiä olisi kuitenkin hyvä kehittää niin, että niitä voidaan hyödyntää helposti myös vanhenemistutkimuksissa. Esimerkki tällaisesta vanhenemistutkimusten vikatietokannalta vaatimasta ominaisuudesta on hyvä tapahtumien trendiseuranta. Vanhenemistutkimusten tiedonkeruutarpeista ja tiedon tallentamisesta on julkaistu IAEA:n raportti (IAEA 1991).

3 LAITOSSUOJAUSJÄRJESTELMÄN KUVAUS

Loviisa 1 ja 2 ydinvoimalaitosyksiköiden suojausjärjestelmä jakaantuu kahteen erilliseen järjestelmään: reaktorisuojausjärjestelmä ja turvajärjestelmien käynnistysjärjestelmä, ESFAS (Engineered Safety Features Actuation System). Tässä raportissa käsitellään jälkimmäistä järjestelmää, jota jatkossa kutsutaan nimellä laitossuojausjärjestelmä. Järjestelmän tehtävänä on käynnistää automaattisesti tilanteen edellyttämät turvallisuustoiminnot, kun mitattavat prosessiparametrit poikkeavat sallituilta alueilta. Laitossuojauksen käynnistämät turvallisuustoiminnot on esitetty viitteessä (FSAR). Kuvassa 1 on esitetty laitossuojausjärjestelmän toimintakaavio.

Laitossuojausjärjestelmä on luokiteltu turvallisuusluokkaan 2. Järjestelmään kuuluu myös ns. 0-redundanttisia suojaussignaaleja, jotka on luokiteltu turvallisuusluokkaan 3. Laitossuojausjärjestelmän yhteydet informaatio- ja valvontajärjestelmiin on luokiteltu turvallisuusluokkaan EYT. Rajapinta turvallisuusluokan 2 ja muiden luokkien välillä kulkee laitossuojauksen elektroniikkakaappien (nk. JK-kaapit) ulostulo liittimissä. Suunnitteluperusteena on käytetty IEEE:n standardia 279-1971 (IEEE 1971) ja suunnittelukriteerit on esitetty turvallisuusselosteen (FSAR) luvussa 7.3.1.

Suunnittelukriteerien täyttämiseksi järjestelmä on toteutettu nelikanavaisena ja kaksiredundanttisena. Perusosa on toteutettu Siemens AG:n ja myöhemmin toteutettu laajennusosa BBC:n valmistamalla puolijohteisiin perustuvalla laitetekniikalla. Tämä raportti käsittelee Siemensin toimittamaa osuutta järjestelmästä. Siemensin järjestelmä rakentuu pääasiassa Simatic N- ja dynaamisen Simatic-reaktorisuojausjärjestelmän kortsityypeistä. Järjestelmän

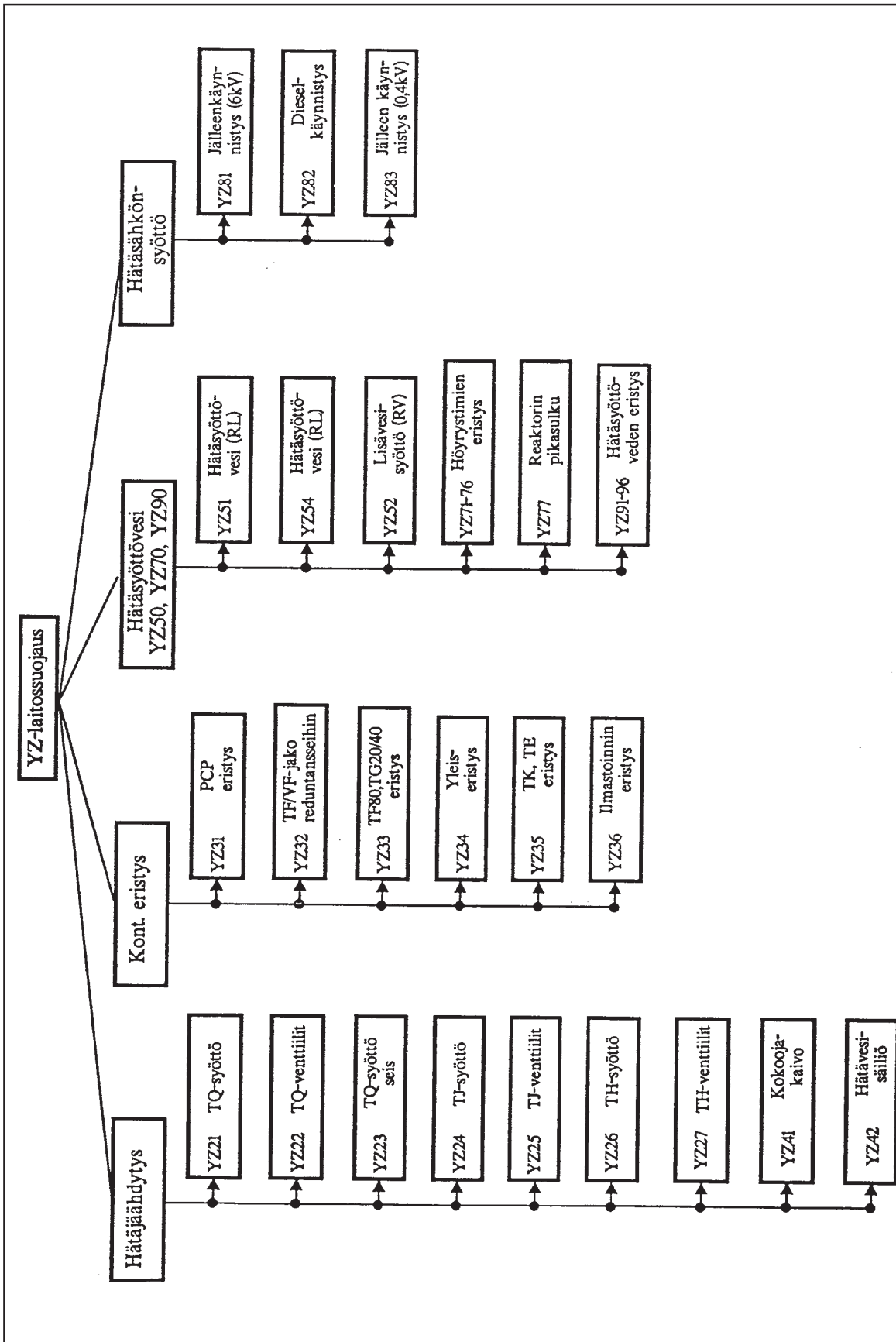
kanavat muodostavat suojaussignaalit 2/3-logiikalla mittaussignaaleista. Poikkeuksena on tunnuksella YZ51 merkitty suojaussignaali, joka muodostetaan höyrystimien pintamittauksista 1/6-logiikalla (ks. luvun 5.2 malliesimerkki). Järjestelmä on suunniteltu täyttämään yksittäisvikakriteeri turvatoimintojen käynnistykseen suhteen. Käytettävyyden kannalta kriittiset toiminnot on toteutettu kaksinkertaisella logiikalla.

Järjestelmä voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan seuraavasti:

1. Analogiaosassa mitataan valvottavia parametreja ja muunnetaan vastaavat mittaustulokset sopivaan muotoon raja-arvon muodostukselle.
2. Logiikkaosassa valvotaan prosessimuuttujien haluttuja raja-arvoja ja muunnetaan valvonnan tulos dynaamisella järjestelmällä toteutetun suojauslogiikan vaatimaan muotoon (pulsseja/ei pulsseja).
3. Yksittäisohjausosassa muodostetaan ohjaussignaali laitossuojauksen toimilaitteille. Yksittäisohjaustasoon kuuluu myös etuoikeuskortti, jolla annetaan suojaussignaalille prioriteetti muihin ohjauksiin nähden. Yksittäisohjauskortti suorittaa toimilaitteen ohjauksen sekä valvoo sen tilaa.

Laitossuojausjärjestelmän periaatekaavio on esitetty kuvassa 2.

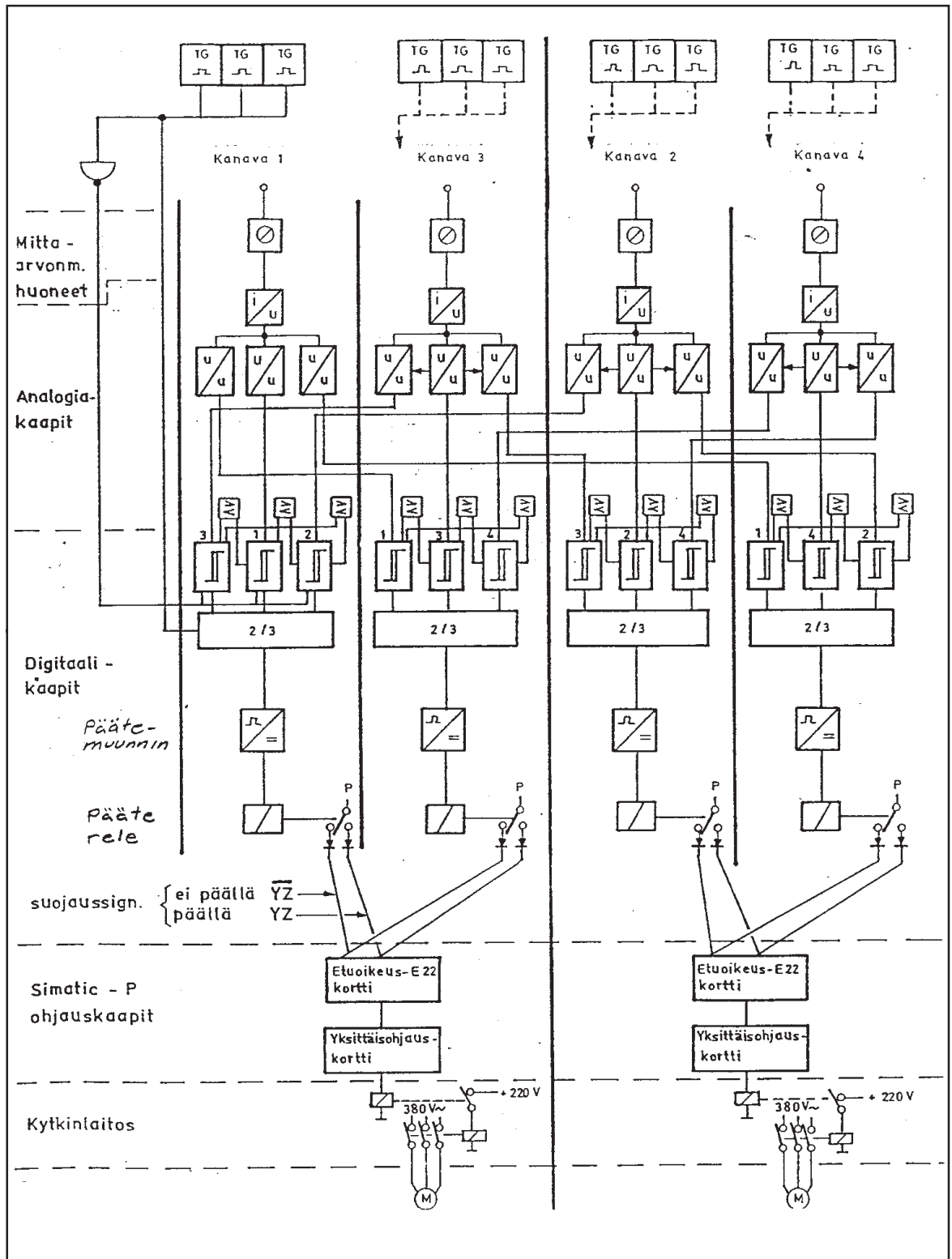
Järjestelmä on suunniteltu siten, että suurinta osaa siitä voidaan jatkuvasti valvoa. Analogiamittauksia vertaillaan jatkuvasti keskenään. Logiikkaosan testaus on toteutettu valvomalla kutakin signaaliketjua pulssinestojärjestelmällä (katkos 1 ms). Logiikkaosan jälkeen sijaitsevaa yksittäisohjausosaa voidaan koestaa manuaalisesti.



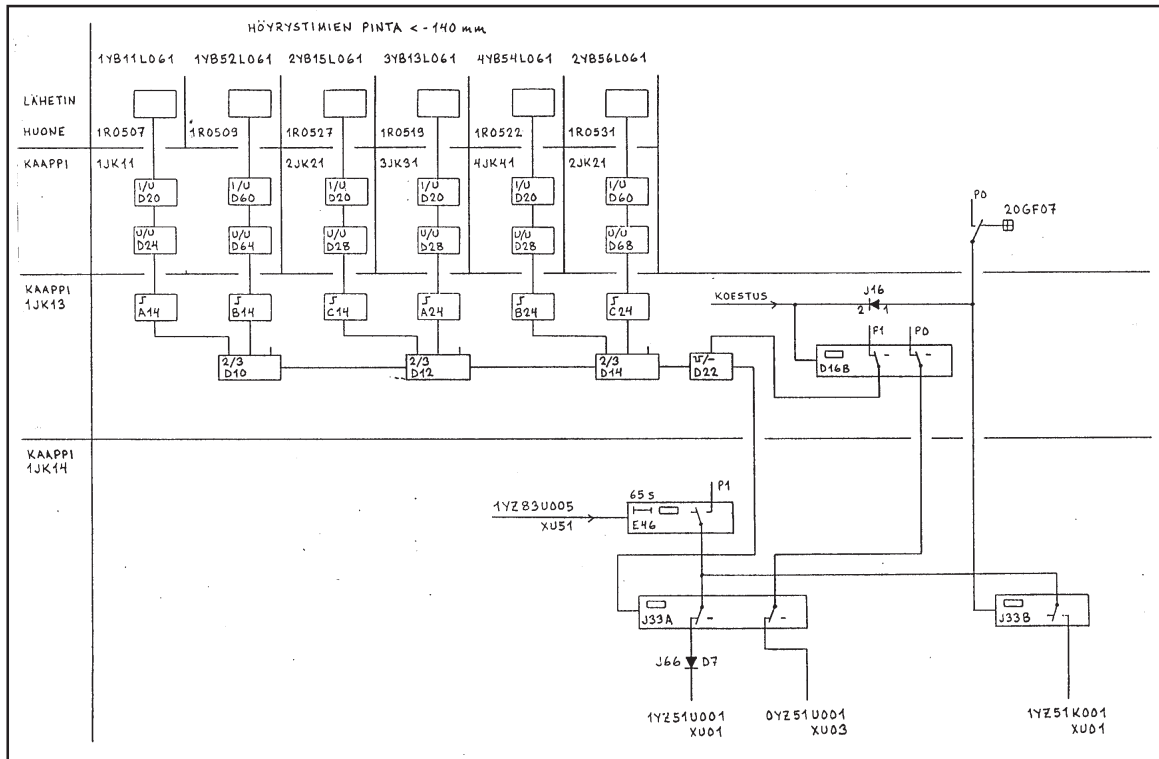
Kuva 1. Laitossuojausjärjestelmän toimintakaavio.

Järjestelmän elektronikka on sijoitettu redundanssi- ja kanavakohtaisesti eri huonetiloihin ryhmiteltyihin elektronikkakaappeihin. Tätä jakoa havainnollistavat kuvat 3 ja 4.

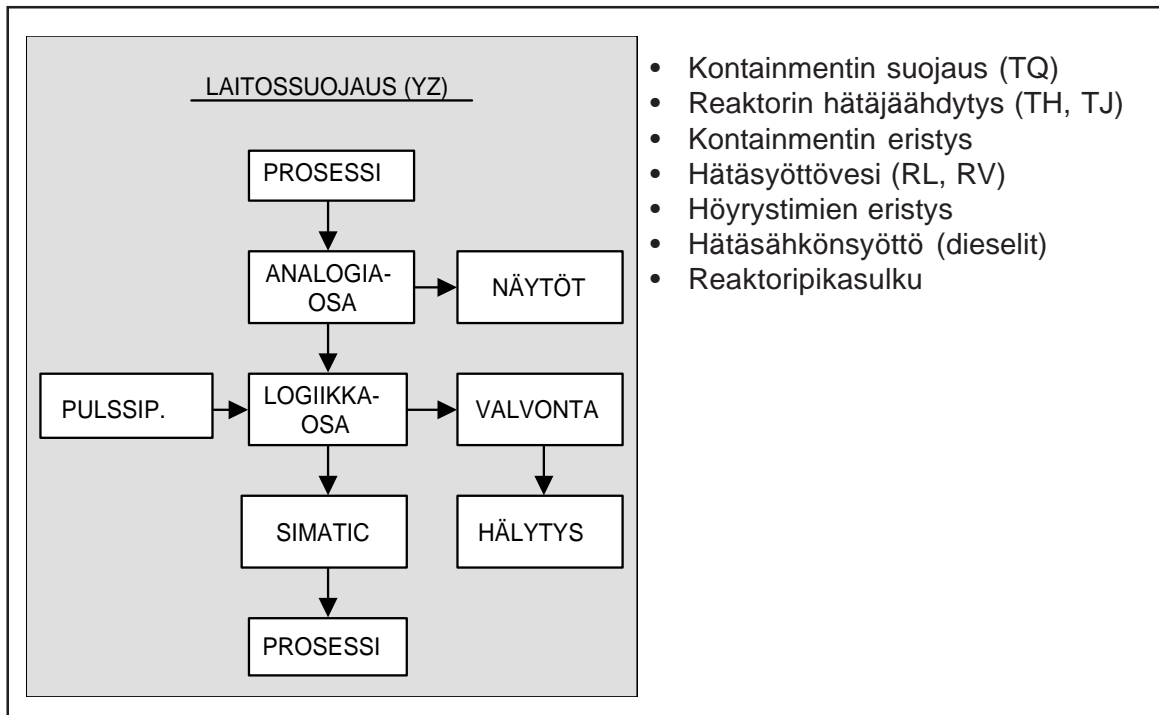
Laitossuojausjärjestelmän liitännät muihin järjestelmiin on esitetty kuvassa 5.



Kuva 2. Laitossuojausjärjestelmän periaatekaavio, tekninen toteutus



Kuva 4. Laitossuojajärjestelmän jako kaappeihin.



Kuva 5. Laitossuojajärjestelmän liitännät muihin järjestelmiin.

3.1 Analogiaosa

Analogiaosa käsittää mittausketjuun liittyvät laitteet mittauslähettimiltä raja-arvoyksikön sisäänmenoon. Lähettimet ovat paine- ja paineromittauksissa Teleperm D-, DU- tai F- tyyppiä.

Lähettilmiltä tuleva milliampeeriviesti (0-20mA) muunnetaan I/U-muuntimella jänniteviestiksi ja monistetaan U/U-muuntimen avulla syklistä muihin kanaviin. U/U-muunnin toimii samalla kanavien välisenä erottimena.

Signaalien ja laitteiden kuntoa valvotaan vertailijoiden avulla siten, että raja-arvoyksikössä muodostettua mittausviestin ja raja-arvon asetusarvon erotusta verrataan saman kanavan toisen raja-arvoyksikön muodostamaan arvoon.

3.2 Logiikkaosa

Logiikkaosa käsittää laitteet raja-arvon muodostuksesta päätemuuntimeen. Järjestelmän toiminta raja-arvoyksiköistä päätemuuntimeen perustuu pulsseihin eli järjestelmä toimii dynaamisella periaatteella, jolloin suojaustila vastaa suojausketjussa pulssiton tilaa.

Raja-arvoyksikköjen ulostuloja valvoo 2/3-elin, jonka ulostulo on pulssiton, kun vähintään kahdesta sisääntulosta puuttuu pulssit. Tällöin päätemuuntimen ulostulosta häviää lähtöreleen pitojännite ja YZ-signaali tulee voimaan. Dynaamisen järjestelmäosan logiikkakorttien toiminta perustuu ferriittirengasmuisteihin.

3.3 Yksittäisohjausosa

Kun YZ-signaali tulee voimaan niin samanaikaisesti YZ-signaalin negaatio häviää ja estää etuoikeuskortilla kaikki muut mahdolliset Sigmatic P-yksittäisohjauskortille tulevat ohjauskäskyksignaalit. YZ-signaalin ohjaamana yksittäisohjauskortilta lähtee ohjauskäsky lähtöyksikölle, joka kytkee tarvittavan ohjausjännitteen toimilaitteelle saaden aikaan halutun suojaustoiminnon.

3.4 Pulssijärjestelmä

Pulssijärjestelmä muodostuu kolmesta pulssigeneraattorista, jotka on synkronoitu keskenään sekä pulssinmuokkaus- ja valvontaosasta. Yhden pulssigeneraattorin pysähtyminen ei aiheuta suojaustoimintaa (poikkeuksena YZ51, jota ei ole rakennettu yksittäisvikaa sietäväksi). Signaaliketjuun liittyvien korttien laukaisu ja asetelupulssit varmistetaan kahden pulssigeneraattorin TAI-kytkennällä. Raja-arvoyksikön asetelupulssit syötetään omalta pulssigeneraattorilta.

Valvontaosan pulssinestolaitteen tehtävänä on ilmaista dynaamisen logiikan virheet. Estolaite jättää yhden pulssin pois tietyn rytmin mukaan periodisesti kunkin 2/3-osan sisäänmenoja syötäviltä kippereiltä. Jos jokin muu sisäänmenoista on samalla pulssittomassa tilassa, ei 2/3-ulostulossa esiinny pulssia. Tilanne on niin nopea, ettei pääterele reagoi, mutta päätereleen tasajännitepuolelle kytketty hälytysyksikkö rekisteröi tapahtuneen (1 ms).

4 SUOJAUSJÄRJESTELMÄN KUNNOSSAPITO JA YMPÄRISTÖOLOSUHTEET

4.1 Kunnossapito-ohjeisto

Tässä yhteenvedossa kuvataan laitossuojausjärjestelmän kunnossapito-ohjeita niiden laitteiden osalta, jotka kuuluvat tutkimuksen piiriin. Laitossuojausjärjestelmän kunnossapito-ohjeet ovat Loviisa 1 KuIn 71 ja Loviisa 2 KuIn248. Ohjeissa annetaan toimintaohjeet määräaikaiskoestuksia varten. Ohjeista vastaa kunnossapitoryhmän instrumentti-insinööri.

Koestuksia varten tarvitaan hyväksytty työmääräin. Yksi kanava kerrallaan erotetaan koestuksen ajaksi. Erotuksessa estetään redundanttisten ja 0-redundanttisten YZ-suojaussignaalien pääsy JK-kaapeilta toimilaitteiden ohjauksiin. Koestusten jälkeen kanava kytketään takaisin päälle, kun ensin on varmistuttu sen toimintavalmiudesta:

- estokytkenät ovat päällä
- yhtään suojaussignaalia ei ole voimassa
- mittaukset ovat toiminnassa eikä hälytyksiä ole voimassa
- JK-kaappien hälytysyksiköt eivät hälytä.

Estokytkenät purkautuvat automaattisesti prosessiparametrien ylitettyä tietyn raja-arvon laitoksen ylösajossa.

Järjestelmän toimintakunto varmistetaan ennen primääripiiriin tiiveyskokeen jälkeisen lämmityksen aloittamista erillisen tarkastuslistan avulla. Listan mukaan tarkastetaan, että kaikki kanavat ovat toiminnassa ja simuloinnit poistettu.

4.2 Määräaikaistarkastukset

Analogiaosan määräaikaistarkastuksia ovat lähettimien viritysten tarkastukset ja analogia-

laskinkorttien mittaukset ja koestukset. Lähettimet viritetään vuositarkastuksessa uudelleen, jos virhe on enemmän kuin 0,5 %. Analogialaskinkortit tarkastetaan kuukausittain, ja lisäksi niille tehdään vuosittain staattiset toimintakokeet. Gradienttikorttia voidaan säätää, mutta keskiarvonmuodostuskortti ja paine-eron laskentakortit on vikatapauksessa vaihdettava. I/U- ja U/U-muuntimille ei tehdä erillisiä tarkastuksia. Muuntimien toiminta on käyttökoemuksien mukaan ollut varsin tarkkaa ja luotettavaa, ja niitä valvotaan vertailijoilla.

Pulssisyöttöjärjestelmä koestetaan vuosittain. Generaattoripulssien samanvaiheisuus tarkastetaan vertaamalla ulostuloja keskenään. Lisäksi tarkastetaan pulssinestojärjestelmän pysäytyspainikkeet ja tehdään generaattorien pysäytyskokeet.

Siemens-järjestelmän logiikkaosa koestetaan vuosittain logiikkakaavion mukaisesti. Koestuksessa saatetaan yksittäiset raja-arvoyksiköt toimineeksi kukin vuorollaan ja todetaan hälytysyksikköjen toiminta. Tämän jälkeen saatetaan kaksi raja-arvoyksikköä yhdessä toimimaan, jolloin YZ-suojauksien pitäisi tulla voimaan.

Raja-arvoyksiköiden ja vertailijoiden viritykset tarkastetaan kerran vuodessa. Raja-arvoyksiköt viritetään uudelleen, jos raja-arvo poikkeaa enemmän kuin 20 mV.

Laitossuojausjärjestelmän releosa tarkastetaan mittaamalla jännitehäviöt erotusdioidien yli ja koestamalla estosuunta 30 V:lla.

Muita järjestelmän koestuksia ovat hälytysten, tasavirtasyöttöjen ja lamppujen koestukset. Mää-

Taulukko II. Määräaikaistarkastukset ja -koestukset (KuIn71).

KOESTUSKOHDE	KOESTUSEHTO	AIKA	HUOM!
Päivittäinen seuranta	-	1 pv	
Laitossuojaustaulun GF10...14 lamppukoestus	-	1 vko	
Laitossuojauskaappien lamppukoestus	-	1 kk	
Analogialaskinkortit - dp, keskiarvo, dp/dt	-	1 kk	RA-mittaukset
Tasavirtasyötöt	-	6 kk	
Pulssigeneraattorit	kanavan erotus	1 v	kanava kerrallaan, latausseinokki
Logiikkaosan koestus	kanavan erotus	1 v	kanava kerrallaan, latausseinokki
Raja-arvovyksiköiden ja vertailijoiden tarkastus	kanavan erotus	1 v	kanava kerrallaan, latausseinokki
YZ-ulostulosignaalien erotusdiodit	kanavan erotus	1 v	kanava kerrallaan, latausseinokki
Häilytykset	kanavan erotus	1 v	kanava kerrallaan, latausseinokki
Tasavirtasyöttöjen	kanavan erotus	1 v	kanava kerrallaan, latausseinokki
erotusdioidit	kanavan erotus	1 v	kanava kerrallaan, latausseinokki
Mittauslähettimet	yksi lähetin kerrallaan	1 v	YB-mittaukset, YZ51/54 estettävä
Jännitemittaukset	yksi lähetin kerrallaan	1 v	

räaikaistarkastusten lisäksi käyttö- ja kunnossapitohenkilöstö valvoo päivittäin järjestelmän toimintaa.

Yhteenvedo Loviisa 1:n laitosuojajärjestelmän eri osien määräaikaistarkastusten ja -koestusten aikaväleistä on esitetty taulukossa II (KuIn71). Loviisa 2:n tarkastukset ovat näitä vastaavat.

Etuoikeus- ja yksittäisohjaukorttien toiminta tarkastetaan toimilaitteiden määräaikaistarkastusten yhteydessä.

4.3 Ympäristövaatimukset

Laitoksen turvallisuusselosteessa (FSAR) laitosuojajärjestelmän elektroniikkakorteille on määritelty sallitut ympäristöolosuhteet. Alla on lueteltu sallittuja vaihteluvälejä eri suureille:

- syöttöjännite: 20 - 30 V DC ($U_{NORM.}$ 27...28 V), $U_{NIM.}$ 24 V DC
- ympäristön lämpötila käytönaikana 0 - 65 °C
- ilman suhteellinen kosteus ≤ 95 % 20 °C:ssa

Turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa on määritelty tiukemmat rajat elektroniikkakaappitilojen lämpötiloille: 17 - 28 °C.

4.4 Ympäristövaatimusten toteutuminen

Laitossuojajärjestelmän laitteet mittauslähetimiä lukuun ottamatta sijaitsevat elektroniikkakaapeissa. Analogia- ja logiikkaosan laitteet sijaitsevat JK-kaapeissa ja yksittäisohjausosan kortit Simatic-kaapeissa. Lähetimet sijaitsevat reaktorirakennuksessa suoja-kuoren ulkopuolella ja turpiinihallissa. Lähetti-

miltä mA-mittaussignaalit on kaapeloitu kanavakohtaisilla kaapeleilla elektroniikkakaapeille (kuva 3).

Elektroniikkatilojen lämpötiloja mitattiin v. -91 reaktorisuojajärjestelmän releiden vanhenemistutkimuksen (Simola 1991) yhteydessä. Tällöin huonetilojen lämpötilat olivat n. 23 °C. Vanhenemisen hidastamiseksi elektroniikkatilojen lämpötiloja laskettiin v. -93 n. 3 °C ja ne ovat nykyään n. 20 °C.

5 TULOKSET

5.1 Käyttökokemusten analysointi

Suojausautomaation laitteiden käyttökokemustiedot koostuvat pääasiassa määräaikaistarkastuksissa tehdyistä havainnoista ja käytön-aikaisista vioista. Havaituista vioista tehdään työmääräimet, jotka arkistoidaan laitoksella. Vuodesta 1989 lähtien tietoja on syötetty Loviisan laitosten tiedonkeruujärjestelmään, LOTI:in. LOTI:in on tallennettu myös takautuvasti jonkin verran vanhempia vikailmoituksia. Määräaikaistarkastusten pöytäkirjoista selviävät laitteille tehdyt uudelleenviiritykset ja tarkastusten yhteydessä tehdyt laitevaihdot.

Työmääräinten ja tarkastuspöytäkirjojen lisäksi laitteiden vioittumisista saadaan tietoja korjauspöytäkirjojen ja testitulosten perusteella. Vuodesta 1989 lähtien on kerätty tiedot Loviisan instrumenttikorjaamolla korjatuista laitteista. Tutkimuksen piiriin kuuluvista laitteista Loviisassa korjataan yksittäisohjaustason elektroniikkakortit sekä lähettimet. Suojausjärjestelmän elektroniikkakortteja on korjattu myös Imatran Voiman mittaustekniikan laboratoriossa. Näistä lähteistä saa usein tarkempaa tietoa viasta, mutta korjauspöytäkirjaa vastaavaa laitoksella tehtyä vikailmoitusta ei aina voida raporttien perusteella jäljittää. Mittaustekniikan laboratorion tarkastuspöytäkirjoja ja raportteja oli käytössä vuosilta 1982 - 1992.

5.1.1 Käytönaikaiset ja määräaikaistarkastuksissa havaitut viat

Vikaraporttien haku perustuu laitetunnukseen eli nk. Kennzeichnung-koodiin (kz-tunnus), josta ilmenee mm. laitosyksikkö, kanava, järjestelmä ja mahdollisesti laitetyyppi. Kz-tunnus voi olla laitepaikkakohtainen tai joskus kokonaisen lai-

teketjun tunnus. Laitossuojausjärjestelmän laitteiden kohdalla vian havaitsemistapa on vaikuttanut yleensä siihen, mille kz-tunnukselle vika on kirjattu. Laitossuojausjärjestelmän laitteiden vikatiedot löytyvät seuraavasti:

- 1) mittauksen tunnuksen mukaan: esim. 11YA13P061. Mittauksen tunnuksen mukaan on koodattu pääasiassa lähetinvikoja, mutta myös jotain vertailija- ja raja-arvovyksikkövikoja.
- 2) suojaustoiminnon tunnuksen mukaan: esim. 10YZ20, 21YZ32. Logiikkaosan viat löytyvät pääsääntöisesti tämän koodin mukaan. Lisäksi lähettämiin sekä ohjaus- ja etuoikeuskortteihin liittyviä vikoja saattaa olla koodattu YZ-tunnuksen mukaan.
- 3) suojaussignaalien käynnistämien toimilaitteiden tunnusten mukaan (pumpput, venttiilit): esim. 22TQ52D001. Tällaisen tunnuksen mukaan on kirjattu valtaosa etuoikeus- ja yksittäisohjauskorttivioista, jotka yleensä paljastuvat määräaikaistesteissä.

Tutkimuksessa käytiin läpi LOTI:sta kaikki YZ-järjestelmään liittyvien mittausten ja suojausketjujen tunnuksien. Näiden tunnusten mukaan pitäisi löytyä kaikki YZ-järjestelmän analogia- ja logiikkaosiin liittyvät vikaraportit. Lisäksi LOTI:sta käytiin läpi hätäsyöttöön (YZ20), suojakuoren eristykseen (YZ30) ja hätäsyöttöveiteen (YZ50) liittyvien suojaussignaalien käynnistämien toimilaitteiden tunnuksien 0-redundanttisia ohjauksia lukuun ottamatta. Näitä läpikäytyjä tunnuksia on laitosyksikköä kohti 63 kpl (YZ20), 147 kpl (YZ30) ja 60 kpl (YZ50).

Arkistosta etsittiin YZ-tunnusten mukaan koodatut käytönaikaiset viat ajalta ennen LOTIa. Samalla otettiin ylös myös joitain mittauksen tunnusten mukaan luokiteltuja vikoja, mutta näitä ei käyty systemaattisesti läpi. Muiden tunnusten mukaan (esim. pumppujen ja ventti-

Taulukko III. Tietojen keruun kattavuus.

	ANALOGIAOSA	LOGIIKKAOSA	YKSITTÄISOHJAUSOSA
Työ- määräimet (1977 - 1990)	YZ-alkuisiksi kirjatut viat käyty läpi, osittain myös mittaustunnusten mukaan	kaikki YZ-alkuiset työmääräimet käyty läpi	ei käyty läpi
LOTI	kaikki YZ-alkuiset ja mittaustunnusten mukaan kirjatut poimittu (analogiaosan viat kirjattu pääasiassa mittaustunnusten mukaan)	kaikki YZ-alkuiset ja mittaustunnusten mukaan kirjatut poimittu (logiikkaosan vikoja kirjattu sekä mittauspaikan että YZ-tunnuksen mukaan)	kaikki YZ20-, YZ30- ja YZ50- suojaustoimintoihin liittyvät poimittu Huom! LOTI:in tallennettu takautuvasti useita ennen v. -89 tehtyjä työmääräimiä
määräaikais- tarkastus- pöytäkirjat	käyty läpi vuodesta 1985 eteenpäin (vain revision aikaiset tarkastukset)	käyty läpi vuodesta 1985 eteenpäin	ei käyty läpi (vikoja saattaisi löytyä pumppujen ja venttiilien ma-koestustiedoista)
muut lähteet	lähettimien korjaustietoja: instrumenttikunnossapidon arkisto; analogialaskinkortti- ja muunninvikoja: instr.kp:n oma tilasto ja IVO:n mittaustekniikan laboratorion koestuspöytäkirjat	instrumenttikunnossapidon oma tilasto, IVO:n mittaustekniikan laboratorion koestuspöytäkirja	korttien korjaustietoja instrumenttikunnossapidon arkistosta

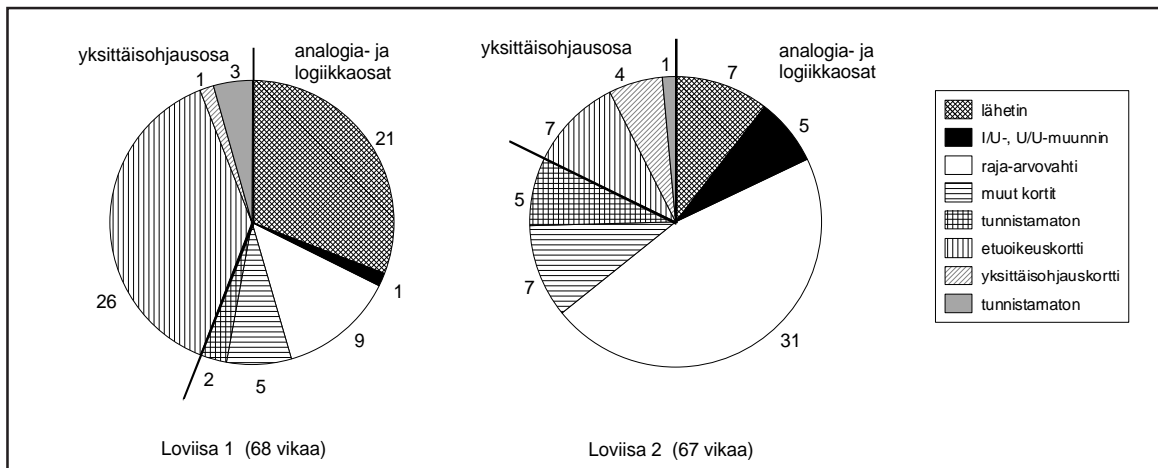
lien koodit, muut kuin Y-alkuiset mittaukset) vikoja ei haettu, sillä tähän olisi kulunut erittäin suuri työmäärä.

Kerran vuodessa tehtävien määräaikaistarkastusten pöytäkirjat käytiin läpi vuosilta 1985 - 1993. Kuukausittain tarkastettavien analogialaskinkorttien määräaikaistarkastuspöytäkirjoja ei käyty systemaattisesti läpi, sillä havaituista vioista on tehty työmääräimet, jotka löytyvät edellä mainitusta käytönaikaisten vikojen arkistosta.

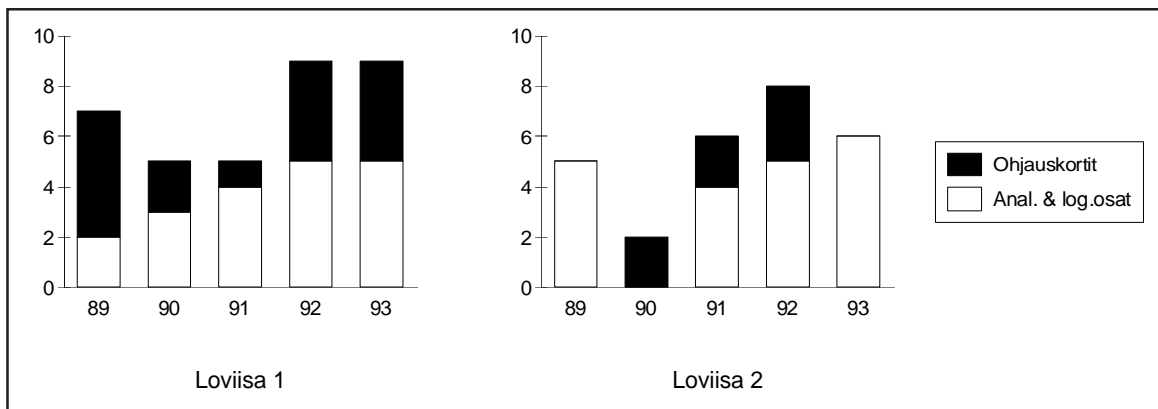
Laitteiden korjaus- ja koestuspöytäkirjoista saadut tiedot täydentävät edellä mainittuja raportteja. Lisäksi instrumenttikunnossapito on kerännyt korttien vikaantumisista oman tilastonsa, josta saatiin lisätietoja. Taulukko III havainnollistaa tietojen keruun kattavuutta.

Mittauksen ja suojaustoiminnon tunnuksen mukaan kirjattuja, tutkimuksen piiriin kuuluvia analogia- ja logiikkaosiin liittyviä vikoja kertyi Loviisa 1- yksiköltä 38 ja 2- yksiköltä 55 kpl. Pääasiassa toimilaitteiden tunnusten mukaan LOTI:in kirjattuja yksittäisohjausosaan liittyviä vikoja löytyi vastaavasti 30 (Lo1) ja 12 (Lo2). Kuvassa 6 on esitetty käytön aikana havaittujen vikojen jakautuminen eri laitteille erikseen molemmille laitousyksiköille. On muistettava, että kuva ei välttämättä anna oikeata kuvaa eri laitteiden vikamäärien todellisesta jakaumasta, sillä kerätty aineisto ei ole täysin kattava.

Läpikäydyissä määräaikaistarkastuspöytäkirjoissa oli kirjattuna yhteensä 14 vioittuneen laitteen vaihtoa. Nämä ovat pääasiassa raja-arvoyksiköitä, vertailijoita ja lähettämiä.



Kuva 6. Käytön aikana havaittujen vikojen jakautuminen.



Kuva 7. LOTI:in kirjattujen vikojen ajallinen kehitys vuosina 1989 - 1993.

Vikamäärien aikariippuvuutta ei voida kovin luotettavasti analysoida kerätyn aineiston nojalla, sillä vikatietojen keruun kattavuudessa on ajasta riippuvaa vaihtelua. Verrattaessa laitossyksiköiden vikatilastoja keskenään, on muistettava, että Loviisa 1 on otettu käyttöön noin neljä vuotta aikaisemmin kuin Loviisa 2. Kuvassa 7 on esitetty LOTI:in kirjattujen vikojen lukumäärän kehitys vuosina 1989 - 1993. Näiltä vuosilta tiedot ovat periaatteessa keskenään vertailukelpoisia. Kuvista nähdään, että vikojen lukumäärät ovat varsin pieniä eikä kyseisten viiden vuoden aikana ole havaittavissa selvää trendiä vikojen lukumäärän kehityksessä.

Yhteenvedona vikaraporteista voidaan todeta, että eniten vikailmoituksia on tehty lähettimistä, raja-arvovyksiköistä ja etuoikeuskorteista. Sen sijaan vertailijoissa ja ohjauskorteissa on havaittu hyvin vähän vikoja, vaikka näiden korttien lukumäärät tutkimuksessa ovat samaa suuruus-

luokkaa (400 - 500) kuin raja-arvovyksiköiden ja etuoikeuskorttien. Pulssijärjestelmää ja logiikkakortteja koskevia ilmoituksia ei aineistossa ollut yhtään. Selviä toiminnan estäviä vikoja on kirjattu vain muutama: kaksi ohjauskorttivikaa ja yksi aikakorttivika.

Vikaraporteista on esitetty yhteenveto viitteessä (Maskuniitty & Simola 1994). Vikaraporttien lukumäärä on hieman pienempi kuin edellä mainittu vikojen lukumäärä, sillä yhdessä raportissa saattaa olla kuvaus useasta, samanaikaisesti havaitusta viasta. Seuraavaksi käydään tarkemmin läpi kerättyjä vikatietoja.

Analogiaosan viat

Analogiaosan laitteita ovat mittauslähettimet, analogialaskinkortit sekä I/U- ja U/U-muuntimet. Lähettimiä on YZ-järjestelmässä laitosyksikköä kohti 90, joista 24 on jännitelähettimeä,

18 pintalähettimeä ja 48 painelähettimeä. Jokais-ta pinta- ja painelähetintä kohden on yksi I/U-muunnin, U/U-muuntimia on tutkimuksen piirissä 204.

Kerätystä aineistosta löytyi kaksi I/U-muuntimia koskevaa ja neljä U/U-muuntimia koskevaa työmääräintä. Määräaikaistarkastuspöytäkirjoihin oli raportoitu lisäksi yksi U/U-muuntimen vaihto. Instrumenttikunnossapidon omassa tilastossa muunninvikoja oli kirjattu 12 kpl ja mittaustekniikan laboratorion testeissä oli tutkittu viittä korttia. Kun otetaan huomioon eri tietolähteiden osittaiset päällekkäisyydet, saadaan kerätyksi aineistoksi 15 vikaa. Yleensä ulostulojännite on liian suuri tai huojuu. Mittaustekniikan laboratoriossa tutkituista I/U-muunninkorteista neljässä syyksi todettiin vahvistinvika ja yhdessä diodivika.

Määräaikaistarkastusten ulkopuolella havaittuja lähettimeiden vikoja löydettiin 21 (Lo1) ja 7 (Lo2) kpl. Lähetinvikoja koskevia työmääräimiä on todennäköisesti enemmän, sillä LOTI:in kirjaimattomia vanhoja työmääräimiä ei käyty järjestelmällisesti läpi mittaustunnusten mukaan. Lähetinviat ovat pääsääntöisesti nollapisteen ryökimisiä. Vikaraporteissa oli viisi tapausta, joissa lähetin oli jouduttu kokonaan vaihtamaan. Lisäksi määräaikaistarkastuksissa on vaihdettu kolme lähetintä (Lo1 v.-85, -86 ja -87). Lähetinvikojen tarkempia syitä on selvitetty Loviisan instrumenttikorjaamolla. Vuosien 1990 - 1993 korjauspöytäkirjoista löytyi kolme suurten paineiden mittauksissa käytetyistä M56157-E -tyypin lähettimeistä ja neljä M56157-C -tyypin (pienet paineet ja pintamittaukset) tehtyä raporttia. Mitään yhteistä vikatyyppejä näissä ei ollut, vaan vaihdot koskivat eri elektroniikkaosia. Määräaikaistarkastusten yhteydessä tehdyistä lähettimeiden uudelleenvirityksistä on yhteenveto erikseen raportin luvussa 5.1.2.

LOTI:in oli kirjattu kolme gradienttikorttivikaa (kaikki Lo2). Yhdessä tapauksessa integraattori ei toiminut, toisessa ulostulojännite oli ääriarvossaan ja kolmannessa vikailmoituksessa todettiin ulostulojännitteen putoavan.

Aineistossa oli yksi summausvahvistinvian työmääräin, josta ei vian syy kuitenkaan selviä. Mittaustekniikan laboratorion pöytäkirjoissa oli yksi vanhempi summausvahvistimen vika, jonka syynä oli viallinen referenssidiodi. Instrumenttikunnossapidon tilastossa oli lisäksi yksi vika, josta ei ollut tapahtuma-aikaa tiedossa.

Logiikkaosan viat

Logiikkaosan laitteiksi luetaan tässä raja-arvoyksiköt, vertailijat, dynaamisen järjestelmän logiikkakortit, päätemuuntimet ja releet.

Kuten kuvasta 6 nähdään, käytönaikaisia raja-arvoyksiköistä tehtyjä työmääräimiä oli aineistossa yhteensä 40 kpl. LOTI:sta ja työmääräimistä kerätyt viat oli korjattu pääsääntöisesti vaihtamalla raja-arvoyksikkö. Määräaikaistarkastuksissa vuosina -85 — -93 on vaihdettu molemmilla laitoksilla kaksi raja-arvoyksikköä. Kunnossapito henkilöstön omista tilastoista on lisäksi poimittu vikatiedot, joita ei ollut edellä mainituissa työmääräimissä ja määräaikaistarkastuspöytäkirjoissa. Tällaisia vikoja oli kahdeksan. Raja-arvoyksiköitä on testattu ja korjattu mittaustekniikan laboratoriossa seitsemänä vuonna vuosien 1982 ja 1992 välillä yhteensä 49 kpl. Ottaen huomioon, että nämä pöytäkirjat ja laitokselta kerätyt vikatiedot ovat osittain päällekkäisiä, vikojen lukumääräksi arvioidaan n. 60—70. Tutkimuksen piiriin kuuluu 204 raja-arvoyksikköä laitossyksikköä kohden.

Raja-arvoyksiköiden tyypillisimmät viat ovat referenssijännitteen ryökimiset, huojumiset ja katkokset. Tyypillinen vikailmoitus on myös, että impulssit puuttuvat. Laboratoriossa tehdyissä tutkimuksissa vikaa ei löydetty n. 60 % tapauksista ja syyksi on epäilty korttiliittimien mahdollisia kontaktivikoja. Säätevastusvikoja oli korteissa yhteensä n. 10 kpl.

Määräaikaistarkastusten yhteydessä tehdyistä uudelleenvirityksistä, joita on ollut vuosina 1985 - 1993 yhteensä 18, on esitetty erikseen yhteenveto luvussa 5.1.2.

Taulukko IV. Ohjauskorttien korjaukset Loviisassa vuosina 1990—1993.

	E22A	E22B	B21B	B22A	B22B	B22C	B32A	B32B
1990	0	0	1	1	1	0	1	0
1991	1	1	1	1	2	0	0	0
1992	2	2	0	1	1	0	1	1
1993	1	1	1	1	1	1	0	0
yht.	4	4	3	4	5	1	2	1

Vertailijoissa on ollut huomattavasti vähemmän vikoja kuin raja-arvoyksiköissä. Työmääräimistä ja LOTI:sta kerätyssä aineistossa oli kolme vikaraporttia ja määräaikaistarkastuksissa on vaihdettu yhteensä neljä vertailijaa. Vertailijoita on ollut mittaustekniikan laboratorion tutkittavana 12 kpl. Vertailijavikojen lukumäärä aineistossa on 12—16. Epävarmuus johtuu siitä, ettei kaikkia päällekkäisyyksiä ole voitu varmuudella selvittää. Vertailijoita kuuluu tutkimuksen piiriin 200 laitossyksikköä kohden.

Useimmissa tapauksissa vertailija hälyttää turhaan, mutta joissain tapauksissa vertailija on esim. toiminut vain toiseen suuntaan. Vertailijakorttivikojen tarkemmissa selvityksissä mittaustekniikan laboratoriossa on todettu vikojen syiksi usein jonkin piirin vioittuminen.

Aikakorttivioista tehtyjä työmääräimiä oli kolme. Kunnossapidon omassa tilastossa oli neljä vikatapahtumaa ja korjauspöytäkirjoja oli viidestä kortista. Yhteensä näistä lähteistä kertyy n. kymmenen eri vikaa. Kahdessa kortissa on vaihdettu rele, muista ei tiedetä tarkemmin vikaa. Ainakin yhdessä tapauksessa aikakortin vika oli estänyt pumpun käynnistymisen.

Relevikoja koskevia raportteja on aineistossa kaksi. Ensimmäisessä näistä (Loviisa 1, 1980) havaittiin releitten päästöajasta johtuva tilanne, josta saattaa seurata venttiilin tarkoitukseton kiinniohjautuminen. Toisessa tapauksessa automaattisulake laukesi releen vetäessä. Kyseisestä releestä on korjauspöytäkirja, jonka mukaan kortilla oli viallinen diodi.

Kerätyssä aineistossa ei ollut yhtään ja-, tai- tai 2/3-korttien vikatietao. Kunnossapitohenkilökunnan mukaan yksi 2/3-kortti on jouduttu vaihtamaan.

Yksittäisohjausosan viat

Etuoikeus- ja yksittäisohjauskorttien vikatietoja on kerätty LOTI:sta toimilaitetunnusten mukaan (270 Kz-tunnusta / laitos). Etuoikeuskorttien (E22) vikoja oli Loviisa 1- yksiköllä 26 ja Loviisa 2- yksiköllä 7 kpl. Tyypillisin vika on E22A-kortin vioittuminen - yleensä sulakkeen palaminen, jonka johdosta tilatieto ei ole tulosunut prosessitietokoneelle. Yksi kirjattu E22B-kortin vika on estänyt pumpun käynnistyskäskyn läpimenon. Selviä yksittäisohjauskorttien vikoja oli LOTI:ssa viisi. Näistä ainakin kaksi on estänyt pumpun käynnistykseen.

Viallisia ohjauskortteja korjataan laitoksella ja niiden korjaustiedoista saa yksityiskohtaisempaa tietoa korttien vioittuneista komponenteista. Vuosina 1990—1993 on kortteja korjattu taulukon IV mukaisesti.

Korjauspöytäkirjojen mukaan E22-korttien useimmin vioittuneet osat ovat sulakkeita ja optoeristimiä. E22-kortin vikaantuminen ei estä turvallisuustoiminnon käynnistymistä. Yksittäisohjauskorteilla vika on useimmiten releissä. Joitain diodi- ja transistorivikojakin on havaittu. Etuoikeus- ja yksittäisohjauskorteissa havaituista vioista on tarkemmat kuvaukset luvussa 5.3, jossa on selvitetty korttien mahdollisia vioittumistapoja.

Pulssijärjestelmän viat

Pulssijärjestelmää koskevia käytönaikaisia vika-ilmoituksia ei ollut kerättyssä aineistossa. Määräaikaistarkastuksissa on toisinaan jouduttu virittämään pulssigeneraattoreita. Yksi Loviisa 2:n pulssigeneraattori on vaihdettu vuonna 1990.

5.1.2 Määräaikaistarkastuksissa tehdyt vuritykset

Määräaikaistarkastusten yhteydessä tarkastetaan kalibroinnit, ja mikäli mitattu arvo poikkeaa yli sallitun määrän, laite viritetään uudelleen. Tällaisia kalibroituja laitteita ovat lähettimet, raja-arvoyksiköt, vertailijat, pulssigeneraattorit ja gradienttikortit. Tässä luvussa tarkastellaan lähettimien sekä raja-arvoyksiköiden ja vertailijoiden vurityksiä, joista kerättiin tiedot yhdeksän vuoden ajalta, 1985—1993.

Lähettimet

Lähetin viritetään uudelleen, mikäli vuositarkastuksessa havaittu virhe ylittää 0,5 % (0,1 mA). Kuvassa 8 on esitetty lähettimien uudelleenvirityksien lukumäärät vuosina 1985 - 1993 erikseen molemmille laitosyksiköille. Lähettimet on jaoteltu sen mukaan, onko kyseessä paineen, pinnan vai jännitteen mittausta. Kuvasta nähdään, että uudelleenvirityksiä on tehty huomattavasti enemmän Loviisa 1- yksiköllä (281 kpl) kuin Loviisa 2- yksiköllä (196 kpl).

Määräaikaistarkastuksissa ja niiden ulkopuolella tehtyjen vuritysten ja vaihtojen lukumääriä voidaan suhteellisen luotettavasti vertailla LOTI:n käytön ajalta eli n. vuodesta 1989 lähtien. Vuosien -89 — -93 aikana määräaikaistarkastuksissa tehtiin yhteensä 253 uudelleenviritystä, kun tarkastusten ulkopuolella lähettimistä oli tehty 15 vikailmoitusta.

Lähettimien koestuspöytäkirjoista tutkittiin myös, onko joitain tiettyjä lähettimiä jouduttu virittämään uudelleen erityisen usein. Kuvassa 9 on yhteenvedo lähettimien uudelleenviritystarpeista tarkasteltujen yhdeksän vuoden aikana. Kuvasta nähdään, että 28 lähetintä on

jouduttu virittämään uudelleen useammin kuin joka toinen vuosi, yksi lähetin (24RL50L062) peräti kahdeksan kertaa yhdeksän vuoden aikana. Kaikkia hätäsyöttövesipumppujen imupainetta mittaavia lähettimiä (mittaukset RL10 ja RL50) oli jouduttu virittämään varsin usein. Toinen selvä ryhmä usein viritettyjä lähettimiä olivat syöttövesisäiliön pintamittausten (RL92 ja RL93) lähettimet.

Vertailijat ja raja-arvoyksiköt

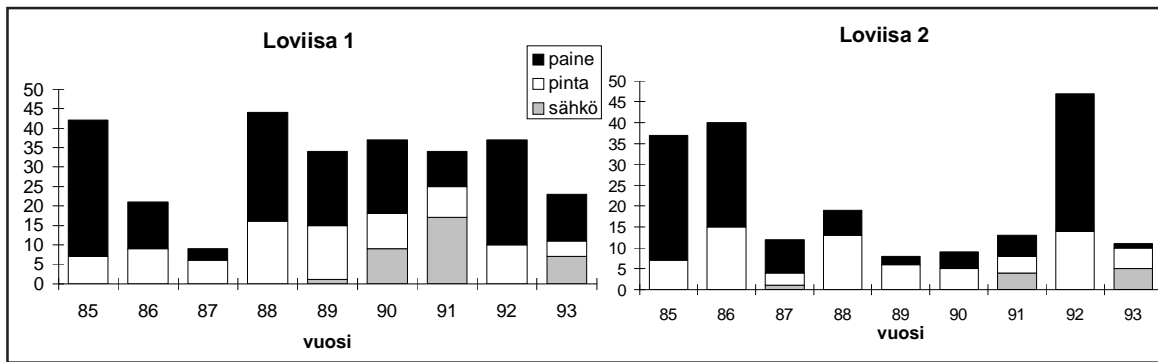
Siemensin vertailijoilla ja raja-arvoyksiköillä uudelleenvirityksäraja on 20 mV. Yhdeksän vuoden aikana uudelleenvirityksiä on tehty varsin vähän: raja-arvoyksiköillä 18 ja vertailijoilla vain kuusi kertaa, kun ko. korttien määrät ovat vastaavasti 408 ja 400. Yhteenvedo tehdyistä uudelleenvirityksistä on esitetty kuvassa 10.

Määräaikaistarkastusten yhteydessä tehtyjen vuritysten ja vaihtojen määrän suhde vastaavan ajanjakson käytönaikaisten vikailmoitusten määrään on raja-arvoyksiköillä 0,7, kun vastaava luku lähettimillä oli 17. Pulssijärjestelmä paljastaa herkästi raja-arvoyksiköiden vikaantumisen, mikä selittää käytönaikaisten vikojen yli kymmenkertaisen määrän määräaikaistarkastuksessa havaittuihin tapahtumiin verrattuna.

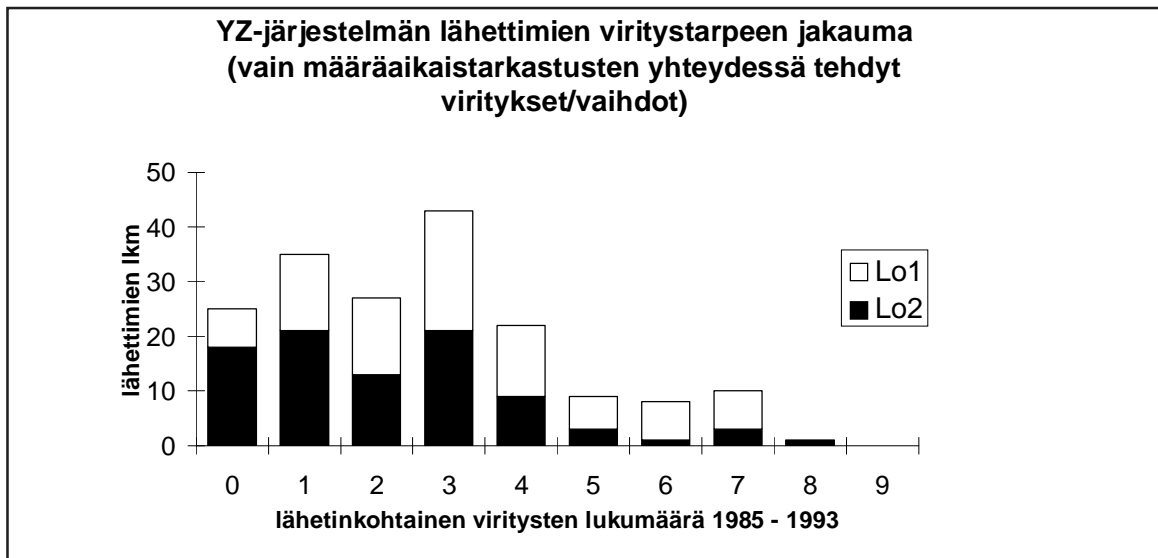
5.2 Suojausketjun luotettavuustarkastelu

Suojausjärjestelmän eri osien turvallisuusmerkitystä voidaan tarkastella luotettavuusmallin avulla. Tässä tutkimuksessa rajoitutaan tarkastelemaan yhden esimerkkiketjun laitteiden merkittävyyttä vikapuuanalyysin avulla. Vikapuumallin avulla selvitetään, mitkä järjestelmän osien samanaikaiset vioittumiset estävät herkimmin turvallisuustoiminnan toteutumisen.

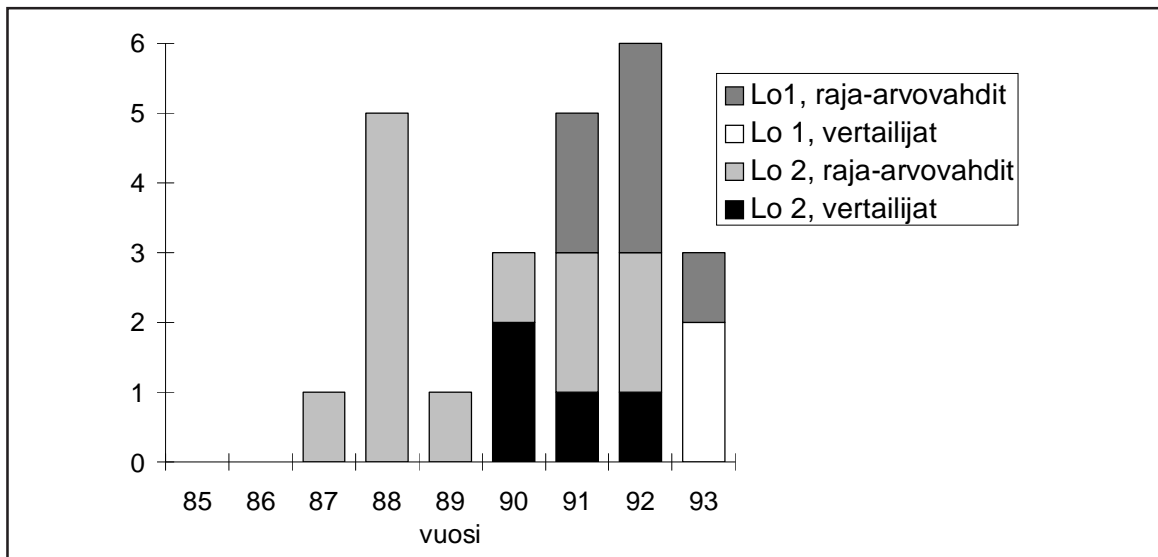
Esimerkkinä suojausketjusta tässä käsitellään signaalia YZ51, joka käynnistää hätäsyöttövesipumput RL92/93 D01, jos jonkin höyrystimen pinnankorkeus laskee alle -140 mm. Tätä signaalia ei ole rakennettu yksittäisvian kestäväksi vaarattomuutensa vuoksi. Pinnankorkeut-



Kuva 8. Lähettimien uudelleenviritykset vuosina 1985–1993.



Kuva 9. Yksittäisten lähettimien uudelleenviritysten lukumäärät yhdeksän vuoden aikana.



Kuva 10. Vertailijoiden ja raja-arvovyksiköiden viritykset 1985–1993.

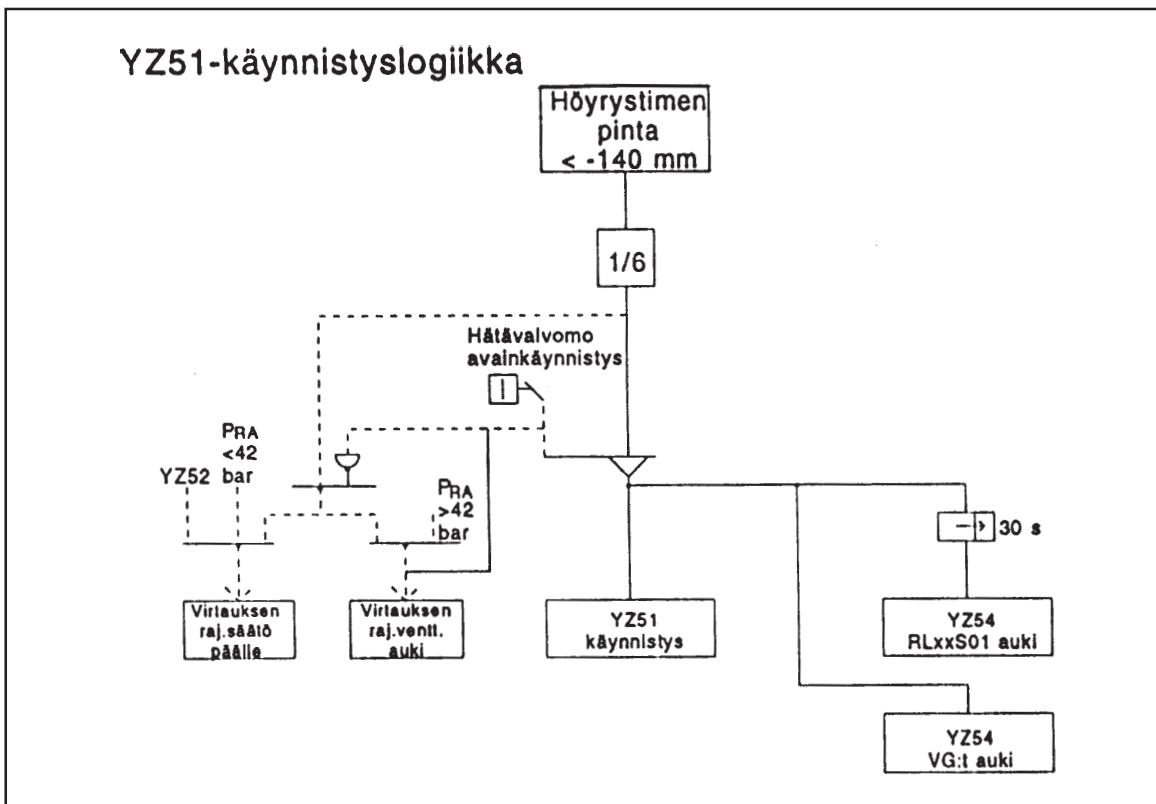
ta mitataan yhdellä mittauksella jokaisesta höyryrystimestä. Lähettimiltä 0-20 mA viesti viedään I/U-muuntimille siten, että 1- ja 2-kanavan analogiakaappeihin (JK 11, JK 21) tuodaan kaksi mittausviestiä kumpaankin sekä 3- ja 4-kanavan analogiakaappeihin (JK 31, JK 41) yksi mittausviesti kumpaankin. U/U-erotusmuuntimien (trennerien) avulla 0-10 V mittausviestit jaetaan kanaville 1, 2, 3 ja 4 (JK 13, 23, 33, 43).

Analogiasignaaleista muodostetaan raja-arvoyksiköiden avulla liipaisusignaalit ja ne johdetaan 2/3-yksiköille siten, että kaksi raja-arvoviestiä tuodaan yhdelle 2/3 yksikölle ja yksi sisäänmeno on vakiotilassa. 2/3-yksiköt on kytketty sarjaan siten, että pulssin puuttuminen yhdestäkin kanavasta aiheuttaa signaalin läpimenon. 2/3-yksiköiltä signaali johdetaan päätemuuntimille (pulssi/tasasähkö-muunnin), jossa pulssisäännöno muutetaan tasasähkösignaaliksi joka ohjaa käynnistyslogiikan pääterelettä. Päätereleltä lähtee käynnistyskäsky etuoikeuskortin kautta yksittäisohjauskortille, joka ohjaa kutakin yksittäistä toimilaitetta.

Kuvassa 11 on esitetty yksinkertaistettu toimintakaavio signaalista YZ51. Täydellinen kaavio ko. suojausketjusta on esitetty liitteessä 1.

Luotettavuusmallin tekemisessä on käytetty RELCON AB:n ohjelmaa nimeltään RISKSPECTRUM. Mallin tekemisessä on pohjana käytetty IVO:n lohkokaavioita YZ 51-signaalin laitetoteutuksesta (Suniala 1994). Kaapelointi on otettu huomioon vain pitkissä vedoissa lähetinhuoneiden ja elektroniikkatilojen välillä, analogia- ja logiikkaosan välillä sekä lisäksi logiikkaosan ja yksittäisohjausosan välillä.

Luotettavuusmallin huipputapahtumana (nk. TOP-tapahtuma) on turvatoiminnon toteutumatta jääminen, eli kumpikaan hätäsyöttövesipumput RL 92/93 ei käynnisty. Vikapuumallissa edetään kytkinlaitokselta lähettimiin päin, ja malli on rakennettu siten, että kutakin tapahtumaa seuraa alemman tason korttivika sekä tapahtuma, jossa signaalia ei tule kyseiselle kortille. Vikapuu koostuu nk. perustapahtumista, joita ovat korttiviati, ja loogisista porteista (AND, OR).



Kuva 11. YZ51 signaalin toimintakaavio.

Luotettavuusmallista nähdään rakenteen perusteella miten eri tasoilla kulkevien signaalien epäonnistuminen korttivikojen seurauksena vaikuttaa turvatoiminnon toteutumiseen ja mitkä järjestelmän osat muodostavat tärkeimmät lenkit signaalin etenemisessä.

Malliin ei ole sovellettu komponenttien luotettavuuslukuja vaan analyysi on kvalitatiivinen. Mallissa esiintyvät lukuarvot on sijoitettu ainoastaan ohjelman toiminnan kannalta käytön helpottamiseksi. Vikaantumistodennäköisyytenä on kaikille komponenteille käytetty samaa arvoa.

Suojausketjun vikapuumalli yhden kanavan osalta on esitetty liitteessä 2. TOP tapahtuma löytyy vikapuumallin sivulta 'Page: TOP YZ'. Sivutuksessa on pyritty noudattamaan elektroniikkakorttien todellista kaappijakoa. Kussakin loogista porttia kuvaavassa lohossa on ylimpänä selväkielinen selitys tapahtumasta lyhyesti. Alemmassa osassa on kortin tunnus ja sen perässä oleva numero ilmaisee redundanssin tai kanavan tunnuksen (esim. B21B1=redundanssin 1 yksittäisohjauskortti B21B tai E22B24=kanavilta 2 ja 4 signaalin saava etuoikeuskortti E22B). Etuoikeustason jälkeen käytetään tunnuksena korttipaikan tunnusta ja perässä komponenttunnusta, mikäli sellainen on annettu. Tunnuksen perässä oleva merkintä # tarkoittaa tulevan signaalin puuttumista. Siirtyminen sivulta toiselle tapahtuu ns. transfer-toiminnon avulla (merkintä T). Symbolin T vieressä on viittaus sivulle, johon siirrytään.

Mallin perusteella on suojaustoiminnolle (YZ51) laskettu minimikatkosjoukot (perustapahtumakombinaatio, joka aiheuttaa turvallisuustoiminnon menetyksen), joiden järjestys kuvastaa komponenttien tärkeyttä turvatoiminnon toteutumisen kannalta. Kaikki kahden mittaiset ja joitain kolmen mittaisia minimikatkosjoukkoja on esitetty liitteessä 3. Minimikatkosjoukkojen perusteella on tehty valinnat korttien lähempää tarkastelua varten.

5.3 Laitteiden vikaantumismuodot

Käyttökokemusten ja vikapuuanalyysin perusteella valittiin joitain kortteja tarkempia vioittumistarkasteluja varten. Vikapuuanalyysin avulla selvitettiin korttien merkitystä suojaussignaalin etenemisen kannalta. Tulosten perusteella valittiin tarkasteltavaksi etuoikeuskortti E22B, yksittäisohjauskortti B21B ja pulssi/tasasähkömuunnin (päätemuunnin). Käyttökokemusanalyysissä tunnistettiin kohteet, joissa on ollut vikoja poikkeuksellinen määrä suhteessa muiden korttien vikoihin. Vikojen määrän ei voida sanoa kuitenkaan olleen absoluuttisesti erityisen suuri. Käyttökokemusten perusteella tarkasteluun valittiin raja-arvoyksikkö ja etuoikeuskortti.

Tässä luvussa käydään läpi korjauspöytäkirjoihin ja työmääräimiin kirjattuja, valituissa korttityypeissä esiintyneitä vikoja sekä vika- ja vaikutusanalyysin avulla tunnistettuja muita mahdollisia vioittumistapoja. Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) on tehty täydellisenä pulssi/tasasähkömuuntimelle. Muille korteille on tehty analyysi vain YZ- signaalin kulkureitin osalta (sisältävät turvatoiminnon toteutumisen kannalta epäoleellisiakin toimintoja). Raja-arvoyksikköä on käsitelty vahvistinpiiritasolla. Yksikön tarkempi analyysi vaatisi varmuuden saavuttamiseksi empiiristä tutkimista (testipenkki). Etuoikeus- ja yksittäisohjauskortit on analysoitu sekä logiikkakaavioiden, että komponenttitason kaavioiden perusteella.

VTT:n luotettavuusryhmän muistiossa 6/77, Loviisa 2- ydinvoimalaitosyksikön jälkilämmönpoistojärjestelmän luotettavuusanalyysi (Hossi 1977) on esitetty vikautumisanalyysi laitossuojausjärjestelmän erälle funktioille. Analyysin tekemistä varten on kerätty mahdollisia vikautumistapoja kaikille suojausketjun toimintaan osallistuville järjestelmän komponenteille. Vikautumistavat ovat jokseenkin yleisellä tasol-

Taulukko V. Ennakoidut viat (Hossi 1977).

KOMPONENTTI/ VIKATIETO	TOIMINTO	VIKAANTUNUT KOMPONENTTI TAI VIAN SYY
Kaapelit	Signaalin välitys	1. Katkos. 2. Oikosulku.
Lähettimet	Mitattavan suureen muunto sähköiseksi signaaliksi ja vahvistus.	1. Lähettimen ulostulo ei muutu tai ei noudata mitattavan suureen oikeaa arvoa. 2. Ryömintävika.
I/U- ja U/U- muuntimet	Signaalin muunto 0-10V tasolle, galvaaninen erotus.	1. Ryömintävika.
Raja-arvoelin	Raja-arvoelin muodostaa raja-arvon (binäärisignaalin) analogiaviestistä. Raja-arvon ylitys/alitus aiheuttaa pulssin puuttumisen ulostulosta.	1. Ei anna laukausignaalia.
2/3-yksikkö	2/3-äänestys mittauskanavien kesken.	1. Ei anna ulostulossa laukausignaalia kanavaan.
Pulssi/tasasähkö- muunnin (päätemuunnin)	Muuttaa pulssitulon tasajännitteeksi. Tasajännite häviää ulostulosta (tapahtuu laukaisu), kun kaksi kolmesta pulssista puuttuu.	1. Tasavirta ei katkea ulostulosta.
Lähtörele	Laukaisuignaalin muodostus (fail safe).	1. Ei päästä. *)
Diodi	Erotusdiodi	1. Katkos. 2. Oikosulku.
Etuoikeuskortti E22	Ohjaussignaalien priorisointi.	1. Ohjausten sisääntulopiirit vialla. 2. Katkos. Signaali ei pääse läpi
Yksittäisohjauskortti B21	Hätäsyöttövesipumpun RL 92/93 D01 ohjaus	1. Ei toimi. Käynnistysignaali ei pääse läpi.

*) Koskettimet juuttuneet tai jousi viallinen

la ja varhaisesta ajankohdasta johtuen ei käytännön kokemuksia järjestelmän toiminnasta vielä ollut. Järjestelmän käyttöönotto vaiheessa tehdyn luotettavuusanalyysin vikautumistavat käyvät ilmi taulukosta V.

Yleishuomioksi sekä luotettavuusmallin, että VVA taulukoiden perusteella tulee, että analogia- ja logiikkaosien suunnittelussa on toteutettu fail safe periaatetta siten, että järjestelmä on herkkä antamaan käynnistysignaalin vikatapauksissa. Sen sijaan yksittäisohjaustasolla on paremminkin pyritty varmistamaan turhien suojaustoimintojen estäminen (vaaditaan komponenttien aktiivinen toiminta). Verrattaessa liitteen 4 VVA-tilukkoa todettuihin vikoihin voidaan kuitenkin todeta, että E22B ja B21B kortit ovat toimineet suhteellisen luotettavasti verrattuna esim. raja-arvovyksiköihin ja lähettiin. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään yksi-

tyiskohtaisesti valittujen korttien mahdollisia vikaantumistapoja. Korteille on esitetty korjauspöytäkirjoihin perustuvat taulukot järjestelmässä todetuista ja korjatuista vioista. Tarkempi luettelo vioista niiden alkuperäisine kirjauksineen on esitetty viitteessä (Maskuniitty & Simola 1994). VVA-tilukot on esitetty liitteessä 4 ja tarkasteltujen korttien kaaviot liitteessä 5.

5.3.1 Etuoikeuskortti E22B

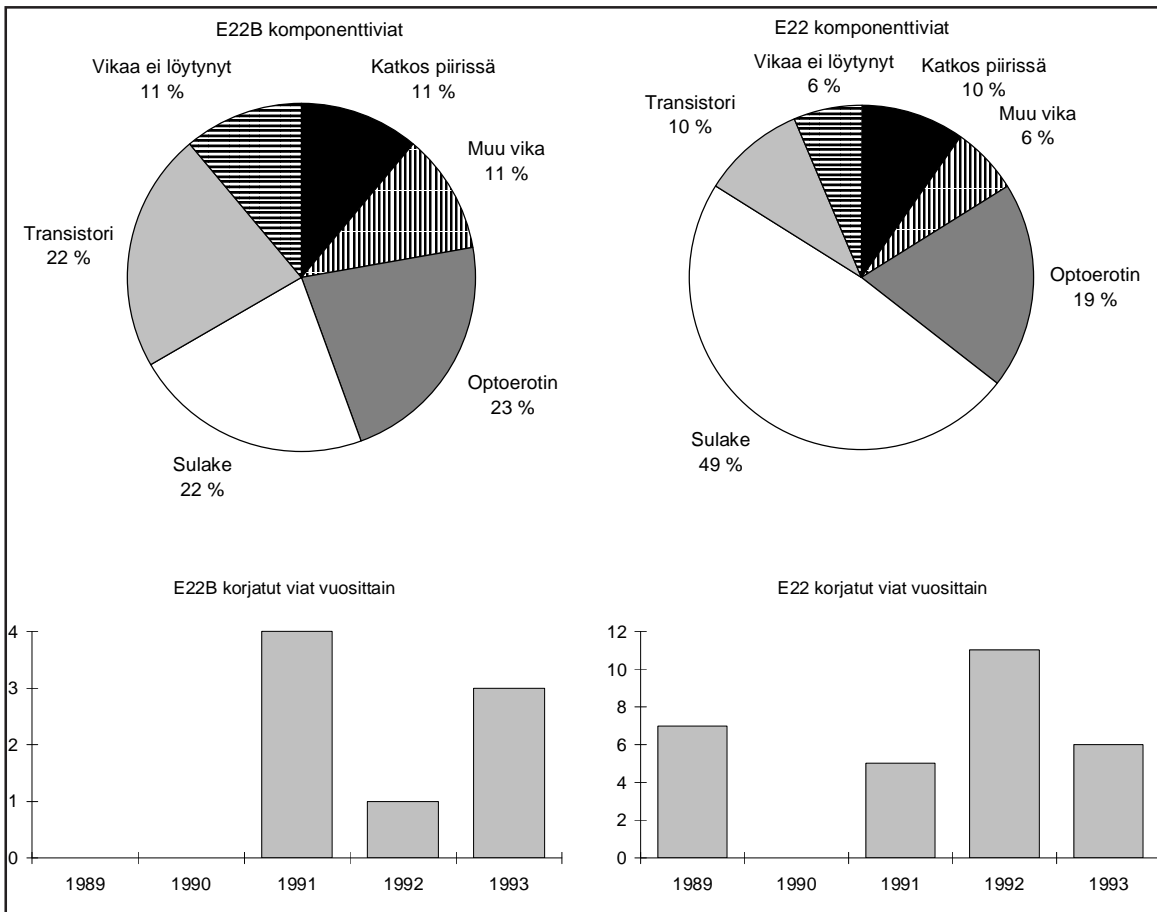
Vika- ja vaikutusanalyysissä (liite 4) on käsitelty etuoikeuskortin E22B vikautumistapoja, jotka saattavat vaikuttaa suojaussignaalin etenemiseen. Verrattaessa kirjattuja vikautumistapoja kortilla esiintyneisiin vikoihin ei suoralta kädel-tä voida sanoa minkään niistä olleen kriittinen (epävarmuutta tuo vikojen epätarkka kirjaaminen esim. komponentin tunnus tai katkoksen kohta puuttuu). Vikautumistavoissa on käsitelty

Taulukko VI. Etuoikeuskortin viat.

KORTTI E22B					Kaikki korjatut viat	
Viat vuosittain	VUOSI	KPL	Viat tyypeittäin	KPL	VUOSI	KPL
Katkos piirissä	1993	1	Katkos piirissä	1	1989	0
Muu vika	1993	1	Muu vika	1	1990	0
Optoerotin	1991	1	Optoerotin	2	1991	4
Optoerotin	1992	1	Sulake	2	1992	1
Sulake	1991	1	Transistori	2	1993	3
Sulake	1993	1	Vikaa ei löytynyt	1		
Transistori	1991	2				
Vikaa ei löytynyt	1989	1				
KORTTI E22 A ja B					Kaikki korjatut viat	
Viat vuosittain	VUOSI	KPL	Viat tyypeittäin	KPL	VUOSI	KPL
Katkos piirissä	1993	3	Katkos piirissä	3	1989	7
Muu vika	1989	1	Muu vika	2	1990	0
Muu vika	1993	1	Optoerotin	6	1991	5
Optoerotin	1991	1	Sulake	15	1992	11
Optoerotin	1992	5	Transistori	3	1993	6
Sulake	1989	6	Vikaa ei löytynyt	2		
Sulake	1991	2				
Sulake	1992	5				
Sulake	1993	2				
Transistori	1991	2				
Transistori	1992	1				
Vikaa ei löytynyt	1989	2				
KORJAUSPAIKKA Loviisan laitos 1989-1993						

paitsi yksittäisiä vikoja myös muutamia vikakombinaatioita, jotka voivat johtaa signaalin menetykseen yhdeltä kanavalta mutta ovat huomattavasti epätodennäköisempiä. Ainoa yksittäinen vika, joka saattaisi olla kriittinen, on ollut katkos välillä 57—14. Mikäli katkos on ollut piirissä lähellä nastaa 14 (esim. diodin palaminen YZ-signaalin ulostulopiireissä), on saattanut seurauksena olla suojaussignaalin menetys. Muuten viat ovat sellaisia, että ne eivät vaikuta suojaussignaaliin.

Yllä olevassa taulukossa VI on esitetty etuoikeuskortin E22B korjaustiedot siten, kuin ne korjauspöytäkirjoista ilmenevät. Etuoikeuskortit korjataan paikan päällä Loviisan laitoksella. Korjauspöytäkirjat ovat vuodelta 1989 alkaen, jolloin on otettu käyttöön uusi menettely prosessista irrotettujen laitteiden korjauksessa. Informaation lisäämiseksi korttityypin korjaustarpeesta on esitetty myös yhdistetty taulukko E22A- ja B-tyypin korttien korjauksista vuosilta 1989—1993.



Kuva 12. Etuoikeuskortin vikojen jakautumat.

Graafisesti on esitetty myös korttityypin korjatut viat vuosittain ja eri komponenttien prosentuaalinen osuus vioista. Komponenttien vikaantumisessa on esiintynyt lievää nousua vuosina 1991 ja 1992, mutta selvää trendiä ei ole havaittavissa. YZ-signaalin kulkuun suoraan vaikuttavia vikoja ovat lähinnä katkokset, joiden prosentuaalinen osuus on pieni, sekä diodiviati, joita ei ole havaittu lainkaan. Etuoikeuskorteilla on ollut myös paljon sulakkeiden palamisia. Sulakkeet eivät sijaitse YZ-signaalin kulkureitillä, eikä niiden palaminen vaikuta suojaussignaalin esiintymiseen.

5.3.2 Yksittäisohjaukset

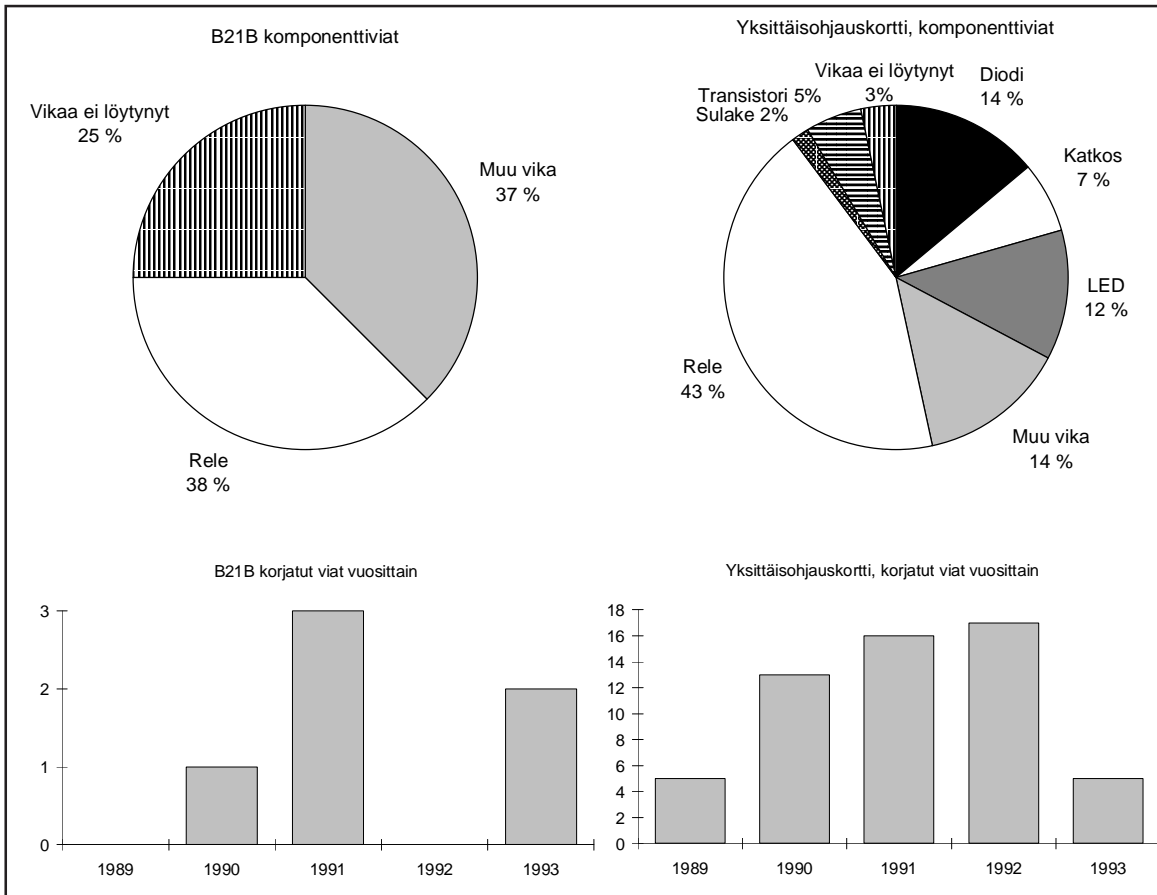
Kuten etuoikeuskortin kohdalla, vika- ja vaikutusanalysissä (liite 4) on käsitelty niitä yksittäisohjaukset B21B vikautumistapoja, jotka saattavat estää suojaussignaalin etenemisen. Verrattaessa vika- ja vaikutusanalysissä kirjattuja vikautumistapoja kortilla esiintyneisiin vi-

koihin huomataan, että releviat (esim. d2 tai d3 kortilla B21B) ovat sellaisia, jotka estävät suojaussignaalin etenemisen kyseisellä kanavalla. Vikautumistavoissa on käsitelty paitsi yksittäisiä vikoja myös muutamia vikakombinaatioita, jotka voivat johtaa signaalin menetykseen yhdeltä kanavalla, mutta ovat huomattavasti epätodennäköisempiä. Muuna huomiona voisi todeta, että vikojen kirjaamisessa korjauspöytäkirjaan on toivomisen varaa.

Taulukossa VII on esitetty yksittäisohjaukset B21B korjaustiedot siten, kuin se korjauspöytäkirjoista ilmenee. Yksittäisohjaukset korjataan paikan päällä Loviisan laitoksella. Korjauspöytäkirjat ovat vuodelta 1989 alkaen, jolloin on otettu käyttöön uusi menettely prosessista irrotettujen laitteiden korjauksessa. Informaation lisäämiseksi korttityypin korjaustarpeesta on esitetty myös yhdistetty taulukko kaikista yksittäisohjauksettyyppien korjauksista vuosilta 1989—1993.

Taulukko VII. Yksittäisohjaukskortin viat.

KORTTI B21B					Kaikki korjatut viat	
Viat vuosittain	VUOSI	KPL	Viat tyypeittäin	KPL	VUOSI	KPL
Muu vika	1991	1	Muu vika	3	1989	0
Muu vika	1993	2	Rele	3	1990	1
Rele	1990	1	Vikaa ei löytynyt	2	1991	3
Rele	1991	2			1992	0
Vikaa ei löytynyt	1989	1			1993	2
Vikaa ei löytynyt	1991	1				
KORTTI Yksittäisohj. kortti					Kaikki korjatut viat	
Viat vuosittain	VUOSI	KPL	Viat tyypeittäin	KPL	VUOSI	KPL
Diodi	1992	2	Diodi	8	1989	5
Diodi	1989	3	Katkos	4	1990	13
Diodi	1990	2	LED	7	1991	16
Diodi	1991	1	Muu vika	8	1992	17
Katkos	1990	1	Rele	25	1993	5
Katkos	1991	2	Sulake	1		
Katkos	1989	1	Transistori	3		
LED	1990	2	Vikaa ei löytynyt	2		
LED	1992	5				
Muu vika	1991	5				
Muu vika	1993	3				
Rele	1990	7				
Rele	1991	7				
Rele	1992	2				
Rele	1992	6				
Rele	1989	1				
Rele	1993	2				
Sulake	1991	1				
Transistori	1992	2				
Transistori	1990	1				
Vikaa ei löytynyt	1989	1				
Vikaa ei löytynyt	1991	1				
KORJAUSPAIKKA Loviisan laitos 1989-1993						



Kuva 13. Yksittäisohjauk kortin vikojen jakautumat.

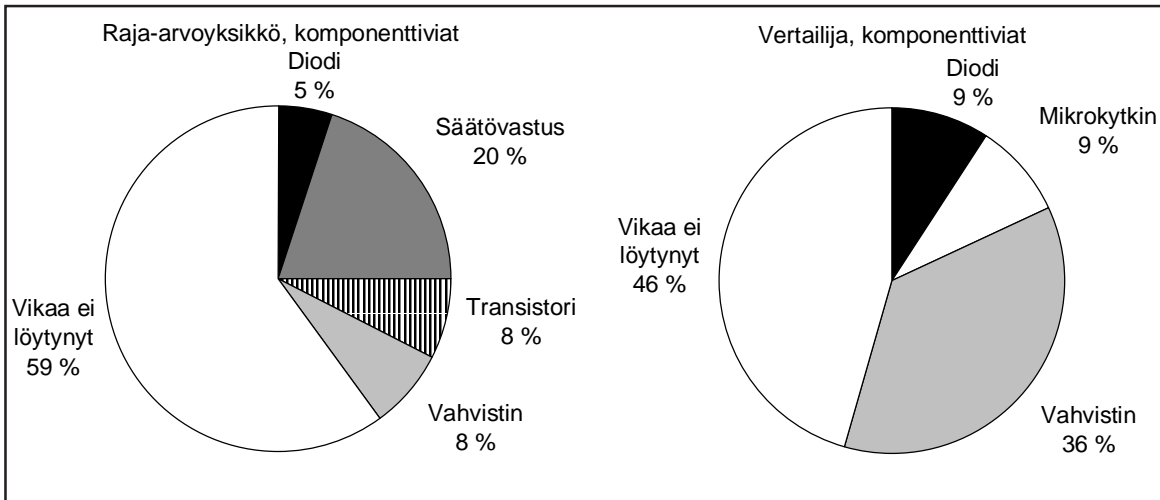
Graafisesti on esitetty myös korttityypin korjatut viat vuosittain ja eri komponenttien prosentuaalinen osuus vioista. Komponenttien vikaantumisessa selvää trendiä ei ole havaittavissa. YZ-signaalin kulkuun suoraan vaikuttavia vikoja ovat lähinnä releiviati, joiden prosentuaalinen osuus on suuri. Muihin kuin releisiin kohdistuneita korjaustoimenpiteitä ei ole kirjattu lainkaan kortin B21B kohdalla. Kortilla sijaitsevien releiden vikaantumista on huomattu ehkäisevän sammutusdioidien lisääminen kortin jälkeen kytkinlaitoksella oleviin välireleisiin.

5.3.3 Raja-arvovyksikkö/vertailija ryhmä

Raja-arvovyksikkö ja vertailija on käsitelty vika- ja vaikutusanalyyssissä (liite 4) piiratasolla, koska raja-arvokortti on monimutkaisempi kuin muut käsitellyt kortit. Tämä vastaa hyvin korjauspöytäkirjoja, joihin on kirjattu vikojen korjaukset samalla tasolla (esim. vahvistinpiirit).

Vertailijassa ei esiinny kriittisiä vikoja, koska se ei osallistu suoraan suojausketjuun. Epäsuorasti sen viat voivat ajan mittaan aiheuttaa sen, että viat analogiaosassa jäävät havaitsematta.

Raja-arvovyksikössä vahvistinpiirien vikaantuminen saattaa vaikuttaa suojaussignaalin puuttumiseen tai turhan suojaussignaalin esiintymiseen, kuten vika- ja vaikutusanalyyssissä on todettu. Komponenteista ongelmallisia ovat olleet säätövastukset (Uref- huojuminen), jotka on järjestelmällisesti vaihdettu kaikkiin korjattaviksi lähetettyihin kortteihin vuonna 1987. Synä ongelmiin on potentiometreissä käytetty rasva. Toinen raja-arvovyksikössä esiintynyt vika on lähtötransistorin (T14) ajoittainen vikaantuminen, joka aiheuttaa pulssin puuttumisen lähdestä ja turhan suojaustoiminnan. Henkilökunnan haastattelussa kävi ilmi, että lähtötransistorin toimintaa on vaikea päästä mittaamaan käytön aikana.



Kuva 14. Raja-arvoyksikön ja vertailijan vikojen jakautumat.

Raja-arvoyksiköt ja vertailijat korjataan toisin kuin edellä käsitellyt korttityypit IVO:n Myyrmäen korjaamossa ”worst case” testausmahdollisuuden takia. Tulevaisuudessa tällainen mahdollisuus on myös Loviisan laitoksella. Kortteja kerätään Loviisassa sopiviksi ’annoksiksi’ ennen lähettämistä korjaamolle. Tämä vaikuttaa jonkin verran tilastoihin, jossa arvioidaan vuosittain korjattujen korttien määrää. Toinen seikka, joka näkyy tilastoissa suurena korjattavaksi toimitettujen korttien määränä on se, että ns. haamusojaussignaalin tapauksessa on korjaamolle lähetetty kaikki kyseisen signaalin muodostukseen vaikuttavat raja-arvoyksiköt, jolloin mukana on ollut suuri osa kortteja, joissa ei ole ollut vikaa.

Taulukossa VIII (s. 36) on esitetty yksiköiden vikautumistilastot korjauspöytäkirjojen mukaisesti vuosilta 1982—1993. Graafisesti on esitetty eri komponenttien osuus vikautumisista. Vuosittaisista korjauksista ei ole tehty graafista esitystä, koska korttien korjausajankohta vastaa huonosti itse vikaantumisajankohtaa.

5.3.4 Pulssi/tasasähkömuunnin (päätemuunnin)

Pulssi/tasasähkömuuntimen osalta on arvioitu testaustoiminnan vaikutusta kortin vikaantumiseen. Vika- ja vaikutusanalyysissä muunnin on käsitelty komponenttitasolla ja mukaan on otettu kaikkien komponenttien yksittäiset vikamuodot. Vika- ja vaikutusanalyysi on esitetty liitteessä 4.

VVA:n perusteella voidaan todeta, ettei löydy sellaista realistista vikamuotoa, jossa testausjärjestelmänmenossa esiintyvä vika voisi aiheuttaa signaalin puuttumisen. Myöskään minkään yksittäisen komponentin vika ei ole kriittinen.

Korjauspöytäkirjoista tai muista vikatilastoista ei löydy tälle komponentille yhtään vikaa, joten se on toiminut toistaiseksi erittäin luotettavasti.

Taulukko VIII. Raja-arvoyksikön ja vertailijan viat.

KORTTI Raja-arvoelin					Kaikki korjatut viat	
Viat vuosittain	VUOSI	KPL	Viat tyypeittäin	KPL	VUOSI	KPL
Diodi	1983	1	Diodi	2	1982	2
Diodi	1991	1	Säätövastus	8	1983	2
Säätövastus	1987	8	Transistori	3	1984	0
Transistori	1983	1	Vahvistin	3	1985	0
Transistori	1987	2	Vikaa ei löytynyt	24	1986	0
Vahvistin	1982	2			1987	11
Vahvistin	1987	1			1988	0
Vikaa ei löytynyt	1982	2			1989	0
Vikaa ei löytynyt	1982	2			1990	0
Vikaa ei löytynyt	1983	1			1991	1
Vikaa ei löytynyt	1984	3			1992	0
Vikaa ei löytynyt	1986	7			1993	0
Vikaa ei löytynyt	1987	1				
Vikaa ei löytynyt	1991	6				
Vikaa ei löytynyt	1992	2				
KORTTI Vertailija					Kaikki korjatut viat	
Viat vuosittain	VUOSI	KPL	Viat tyypeittäin	KPL	VUOSI	KPL
Diodi	1984	1	Diodi	1	1982	3
Mikrokytkin	1984	1	Mikrokytkin	1	1983	0
Vahvistin	1982	3	Vahvistin	4	1984	3
Vahvistin	1984	1	Vikaa ei löytynyt	5	1985	0
Vikaa ei löytynyt	1984	3			1986	0
Vikaa ei löytynyt	1992	2			1987	0
					1988	0
					1989	0
					1990	0
					1991	0
					1992	0
					1993	0
KORJAUSPAIKKA IVO:n Myyrmäen korjaamo 1982-1993						

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kerätyn vika-aineiston perusteella voidaan todeta, että vikoja on ollut varsin vähän ja ne ovat olleet varsin satunnaisia. Selviä nousevia trendejä ei aineistossa myöskään ole vielä havaittavissa. Vikoja on kerätyn aineiston mukaan esiintynyt eniten raja-arvoyksiköissä, etuoikeuskorteissa ja lähettimissä. Lähetinvi-oista suuri osa on ollut asetusarvon ryömimisiä. Pumpun käynnistymisen tai venttiilin ohjaamisen estäviä vikoja on ollut vain muutama. Erityisesti yksittäisohjauskortin vioittuminen saattaa johtaa tällaiseen halutun suojaustoiminnon estymiseen.

Määräaikaistarkastusten yhteydessä viritetään vuosittain uudelleen keskimäärin 30 % lähettimistä. Muuten tarkastuksissa on tehty hyvin vähän havaintoja laitteiden vioittumisesta tai kunnan heikkenemisestä. Lähettimien suuri viritystarve johtuu varsin tiukoista sallituista virherajoista. Toisaalta lähettimissä havaittiin huomattavia yksilöllisiä eroja viritystarpeen mukaan.

Järjestelmän yhden turvallisuustoiminnon toteutumiselle laadittiin vikapuumalli korttitasolla. Mallista voidaan todeta, miten perustapahtumat (signaalin kulun estävät korttiviaat) vaikuttavat kyseisen signaalin (YZ51) käynnistämään turvallisuustoimintoon. Mallin perusteella laskettiin minimikatkosjoukot järjestelmän komponenteista, jotka kuuluvat signaalin muodostusketjuun. Vikojen kombinaatio, joka voi aiheuttaa turvallisuustoiminnon menetyksen, on luonnollisesti vähintään kahden mittainen joukko, koska suunnittelussa on noudatettu yksittäisvikakriteeriä.

Yksittäisohjauskortti ja päätemuunnin otettiin tarkasteltaviksi näiden turvallisuusmerkityksen vuoksi (ks. kuva 2). Yksittäisohjauskortin luotettavuus on hyvin tärkeä, sillä sen vikaantuminen saattaa estää kyseisen kanavan toiminnon käynnistymisen. Etuoikeuskortti E22 ja raja-arvoyksikkö valittiin käyttökokemustutkimuksessa havaittujen vikamäärien perusteella (E22 myös turvallisuusmerkityksensä vuoksi). Tarkemmat analyysit tehtiin VVA-lomakkeelle.

Analyysi tehtiin etuoikeus- ja yksittäisohjauskorteille yksittäisten komponenttien tarkkuudella, mutta etsittiin vain sellaisia vikoja, jotka estävät kyseisen signaalin etenemisen suojausketjussa. Raja-arvoyksikkö/vertailija-ryhmä analysoitiin piiritasolla raja-arvoyksikön monimutkaisuuden takia ja mukaan otettiin vain mahdolliset signaalin etenemisen estävät viat. Sen sijaan päätemuunnin analysoitiin komponentin tarkkuudella ja kaikki mahdolliset vikaantumistavat pyrittiin tarkastamaan. Päätemuuntimen osalta arvioitiin myös testaustoiminnan vaikutusta toimintaan.

Tämän jälkeen verrattiin analyysin tuloksia korteilla todella esiintyneisiin vikoihin. Tuloksena oli, että kyseisen kanavan suojaussignaalin etenemisen estäviä vikoja oli eniten yksittäisohjauskortilla (relemaat) ja raja-arvoyksiköllä (referenssiäännyttimen säätövastukset). Havaittiin myös, ettei päätemuuntimella esiinny sellaisia realistisia vikoja testauksen kautta, jotka estäisivät suojaustoiminnan läpimenoa.

Tämän jälkeen tehtiin tilasto kunkin korttityypin esiintyneistä vikaantumistavoista prosentuaalisesti sekä kaikkien korjattujen vikojen lukumäärästä ajan funktiona. Havaittiin, että yksittäisohjauskortilla em. releviat muodostavat suurimman vikaantumismuodon, etuoikeuskortilla sulakkeet sekä raja-arvovyksiköllä jo mainitut säätövastukset. Muiden vikojen jakaantuminen on tasaisempaa. Selviä trendejä vanhenemisesta ei löytynyt, tosin yksittäisohjauskortilla ja etuoikeuskortilla on ollut komponenttien korjaustiheyden kasvua 1991-92, mutta tarkasteltava aineisto on käytettävissä varsin lyhyeltä ajalta ja tilastoihin saattaa vaikuttaa 1989 käyttöön otettu uusi korjattujen vikojen kirjauskäytäntö. Johtopäätöksenä voidaan sanoa, etteivät järjestelmän korttien vikaantumistrendit osoita selvästi teknisen kunnan heikentymistä. Huomiota tulisi kuitenkin kiinnittää joidenkin lähettimien viritystarpeeseen (ks. kuva 9), raja-arvovyksiköihin ja yksittäisohjauskortteihin. Myös etuoikeuskorttien sulakkeiden palamisia tulisi analysoida tarkemmin, vaikkakin em. sulakkeet eivät sijaitse suojaussignaalin kulkureitillä. Järjestelmän logiikkaosasta voidaan sanoa, että se on toiminut moitteettomasti.

Tutkimus antaa lähinnä kuvan järjestelmän nykytilasta. Vikamäärät ovat toistaiseksi pysyneet varsin pieninä, mutta jokin vanhenemisilmiö saattaa ilmaantua varsin lyhyen ajan kuluessa. Käyttökokemuksia keräämällä ja näitä tietoja analysoimalla voidaan hyvin seurata vika- ja kunnossapitohistorioiden kehitystä, mutta tarkemmat ennusteet edellyttäisivät vanhentamiskokeita. Laitteiden kuntoa voitaisiin tutkia esimerkiksi vertaamalla käytössä olleiden laitteiden vanhentamistestien tuloksia uusille laitteille tehtyihin vastaaviin kokeisiin.

Yksi vanhenemistutkimuksen tavoite oli selvittää, ovatko nykyiset tiedonkeruu- ja käsittelyjärjestelmät riittäviä ja sopivia vanhenemisen

seurannan kannalta. Vika- ja kunnossapitohistorioiden keruusta pitäisi olla hyötyä laitoksen kunnan seurannassa. Loviisan laitoksella laitteiden vikatiedot kerätään LOTI-järjestelmään. Mikäli järjestelmää aiotaan kehittää eteenpäin tai korvata uudella, vanhenemistutkimusten ja muiden käyttökokemusanalyyysien kannalta järjestelmän tulisi sisältää graafinen esitystapa esim. trendien seurantaan. Perustiedot laitteiden lukumääristä auttaisivat suhteuttamaan löydettyjen vikojen lukumäärän koko laitekantaan. Lisäksi järjestelmään voisi sisällyttää jonkin yksinkertaisen trendianalyyysmallin.

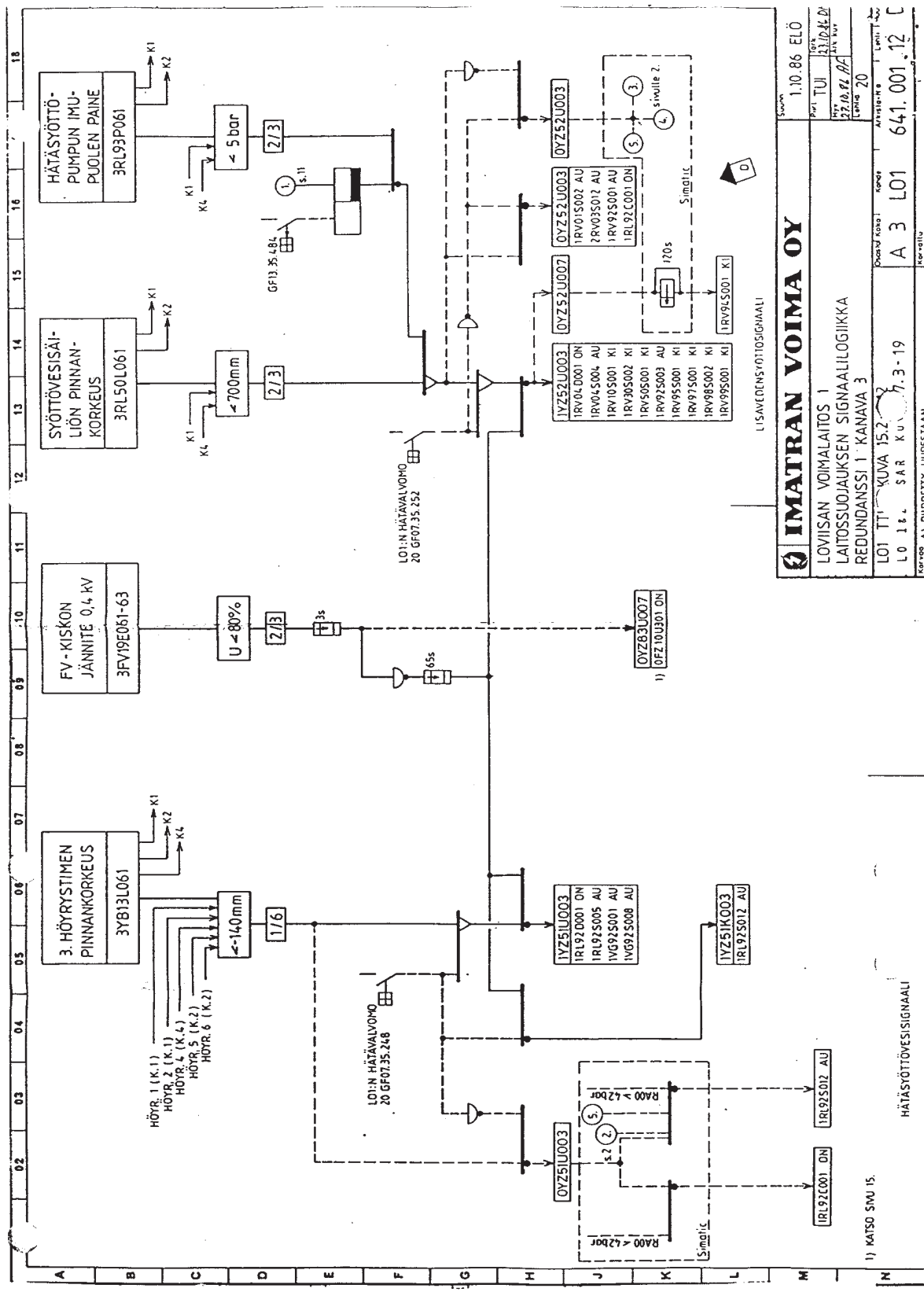
Kirjatuista korttivioista n. kolmasosaa ei voitu analysoida tarkemmin johtuen siitä, että vikojen kuvauksen taso vikaraporteissa vaihteli suuresti. Loviisan laitoksella vikojen kirjaukseen korjauspöytäkirjoihin v. 1989 otettu uusi käytäntö on ollut omiaan parantamaan vikojen analysointia jälkikäteen, mutta yleisesti em. kirjauksiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Lisäksi oman epävarmuutensa trendeihin tuo se seikka, että vikaantuneen kortin vaihdon ja sen korjaamisen välillä on saattanut kulua aikaa parikin vuotta syystä, että osa korteista toimitetaan Loviisasta korjattavaksi konsernin Myyrmäen korjaamolle. Em. korjaamon resurssit korttien tutkimiseen saattavat olla paremmat, mutta samalla korjaustiedon yhdistäminen vikaraportteihin hankaloituu etäisyyden ja kuluneen ajan vuoksi. Näinollen em. korjauspöytäkirjoihin perustuviin trendeihin saattaa tulla epätarkkuutta.

Suojausjärjestelmän vanhenemistutkimus oli rajattu siten, että sen ulkopuolelle jäivät mm. sähkönsyötöt ja kytkinlaitos. Näiden luotettava toiminta on suojaustoimintojen onnistumisen kannalta varsin oleellista. Sen lisäksi, mitä edellä on esitetty on syytä jatkossa kohdistaa tutkimusta laitossuojausautomaation sähkönsyötöosuuteen.

VIITTEET

- Gehl AC, Hagen EW. Aging assessment of reactor instrumentation and protection systems components, phase I. Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-12038, NUREG/CR-5700. 1992.
- Hossi H. Muistio 6/77, Loviisan 2. ydinvoimalaitoksen jälkilämmönpoistojärjestelmän luotettavuusanalyysi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, luotettavuusryhmä.
- IAEA 1991. Data collection and record keeping for the management of nuclear power plant ageing. A safety practice. IAEA Safety Series No. 50-P-3. 1991: 1—47.
- IEEE 1971. Criteria for Protection Systems for Nuclear Power Generating Stations, ANSI/IEEE Std 279-1971. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.. 1971:1—11.
- Kraftwerk Union Aktiengesellschaft, Kraftwerks-Leittechnik, Steuerungssystem SIMA
- TIC P - Energieerzeugung. Katalog 1977.
- KuIn 71. Loviisa 1 laitossuojajärjestelmä, kunnossapito-ohje.
- KuIn 248. Loviisa 2 laitossuojajärjestelmä, kunnossapito-ohje.
- LO 1 & 2 FSAR.
- Maskuniitty M., Simola K. Muistio 1/94, Loviisan laitossuojajärjestelmän kunnossapitotilastot 1984-1993. VTT Automaatio, Teollisuusautomaatio, 1994.
- Meyer LC. Nuclear plant aging research on reactor protection systems. Washington, D.C., U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-4740. 1988: 1—76 + liitt.
- Siemens AG. Bausteinunterlagen, Reaktor-schutzsystem.
- Siemens AG. Schaltkreissystem SIMATIC N, Preisliste ST 17, Oktober 1971
- Simola K. Sähkö- ja automaatiolaitteiden vanheneminen. Esitutkimus. Helsinki, Säteilyturvakeskus, STUK-YTO-TR 33. 1991: 1—53.
- Simola K, Hänninen S. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen suojausautomaation laiteketjun vanhenemistutkimus. Helsinki, Säteilyturvakeskus, STUK-YTO-TR 58. 1993: 1—42.
- Suniala M. YZ suojaussignaalien luotettavuuslohkokaaviot, Imatran Voima OY, 1987

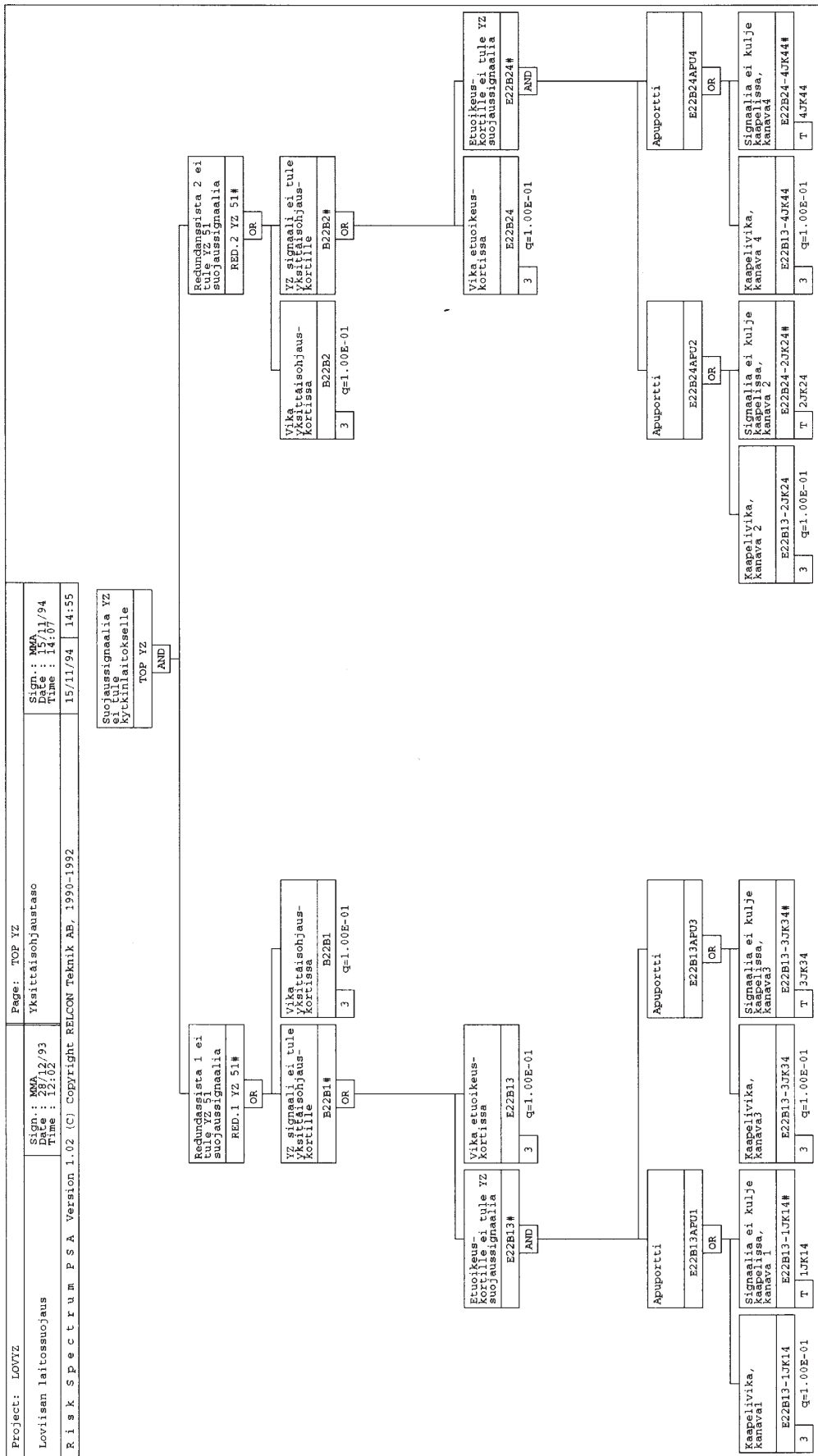
LIITE 1



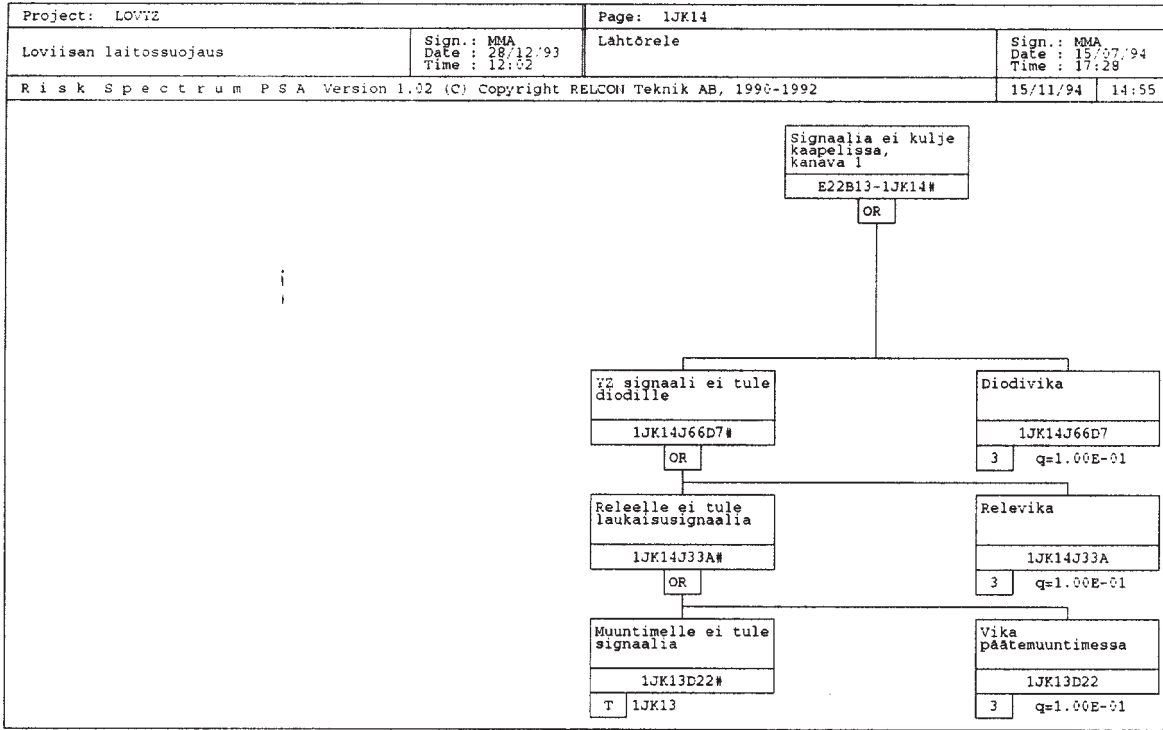
IMATRAN VOIMA OY		1.10.86 ELO
LOVIISAN VOIMALAITOS 1	LOI TT1	23.10.86
LAITOSSUOJAUKSEN SIGNAALILOGIIKKA	LOI TT1 KUVAN 15.2	22.10.86
REDUNDANSSI 1 KANAVA 3	LOI TT1 SAR KUVAN 7.3-19	20
LOI TT1 KUVAN 15.2	A 3 L01	641.001.12
LOI TT1 SAR KUVAN 7.3-19		

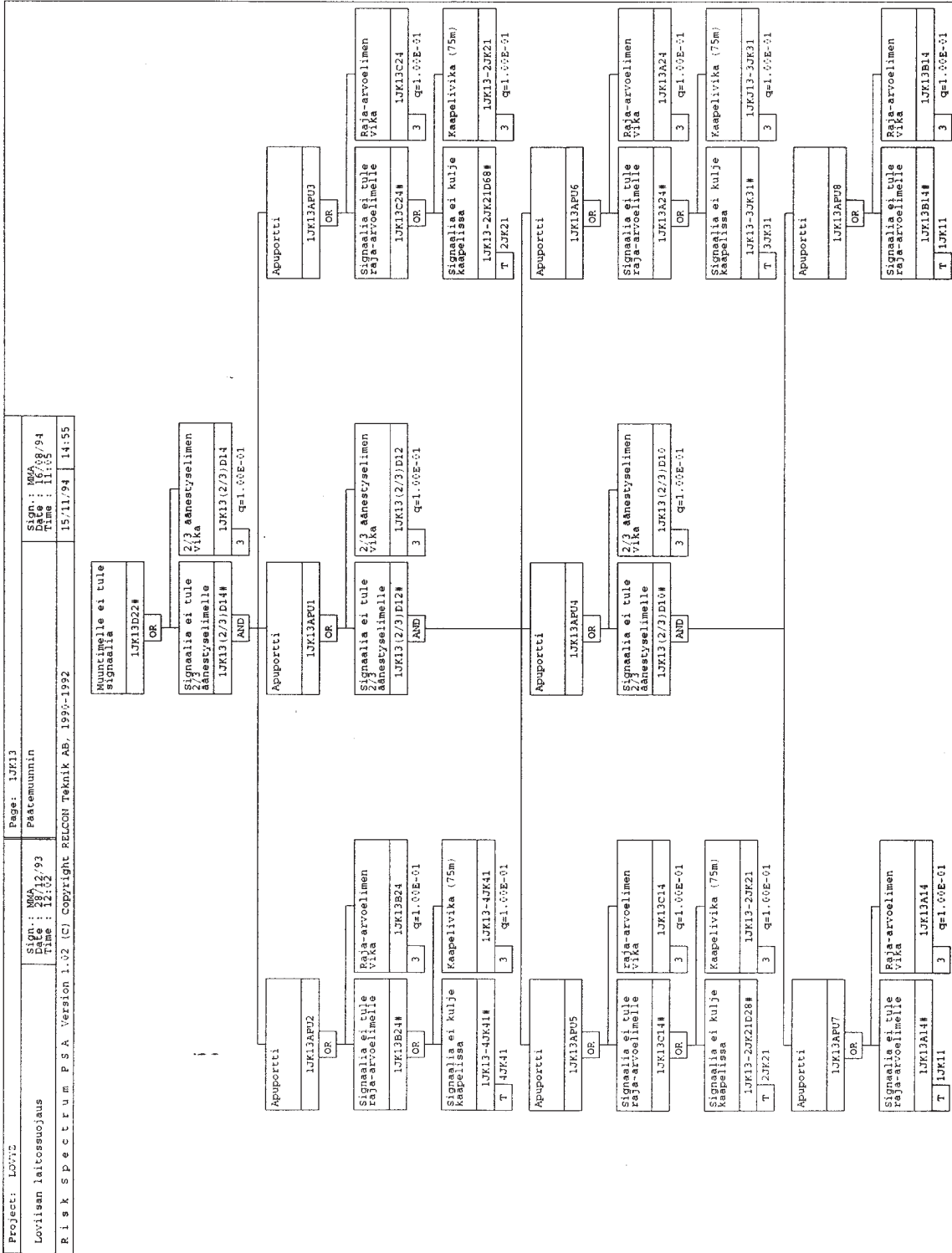
Laitossuojauksen signaalilogiikka, redundanssi 1, kanava 3.

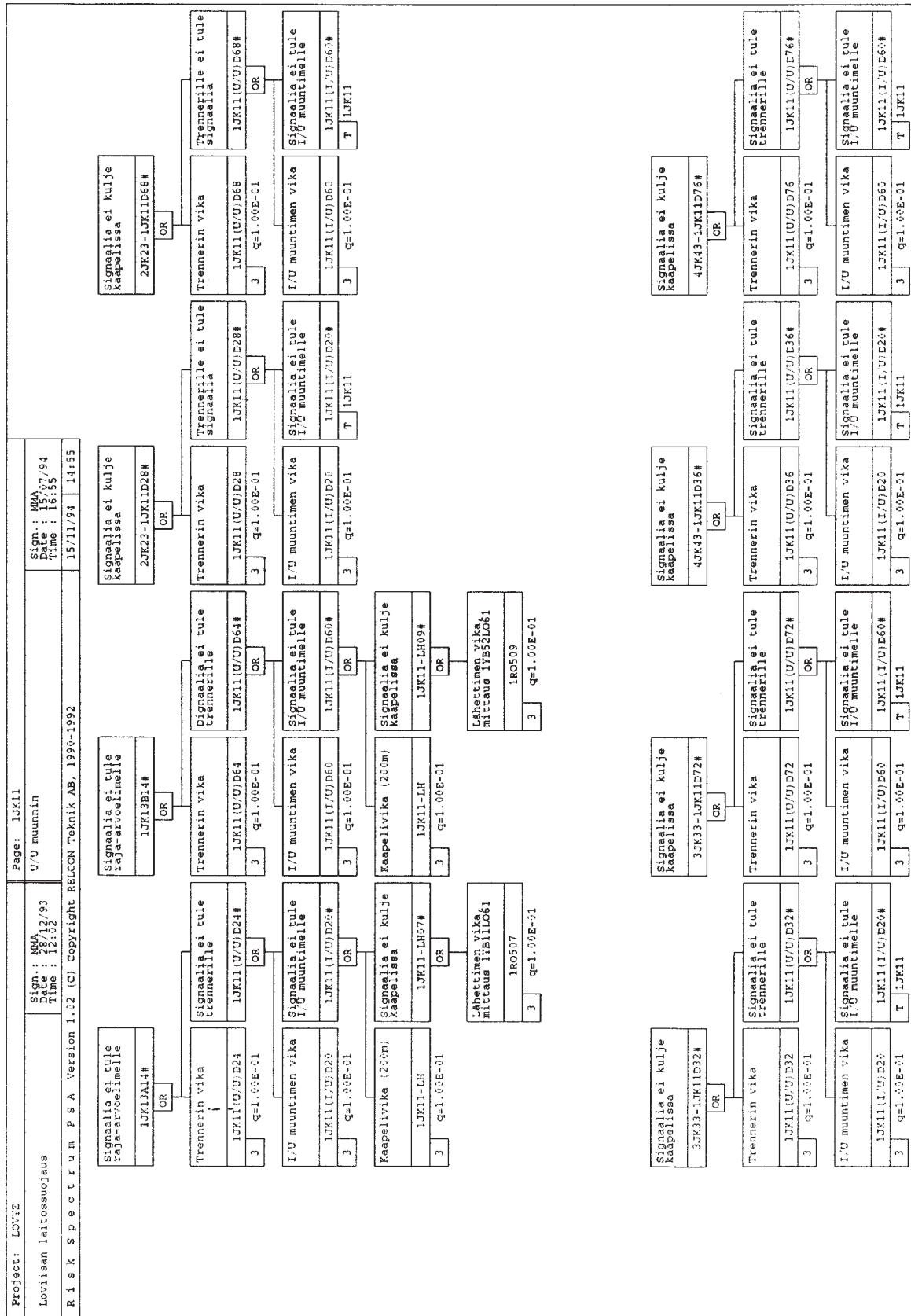
LIITE 2



LIITE 2







LIITE 3

15/11/94 14:09

Page

==== Risk Spectrum MCS+ Version 1.02 =====

Top event : TOP YZ

Description : YZ signaali ei käynnistä toimilaitetta

=====

Mean unavailability = 1.57E-01

No	Unavail.	%	Minimal Cutset Events	
1.	1.00E-02	6.38	E22B24 E22B13	Vika etuoikeus- kortissa Vika etuoikeus- kortissa
2.	1.00E-02	6.38	B22B2 E22B13	Vika yksittäisohjaus- kortissa Vika etuoikeus- kortissa
3.	1.00E-02	6.38	E22B24 B22B1	Vika etuoikeus- kortissa Vika yksittäisohjaus- kortissa
4.	1.00E-02	6.38	B22B2 B22B1	Vika yksittäisohjaus- kortissa Vika yksittäisohjaus- kortissa
5.	1.00E-03	.64	4JK44J66D7 2JK24J66D2 E22B13	Diodivika Diodivika Vika etuoikeus- kortissa
6.	1.00E-03	.64	4JK44J33A 2JK24J66D2 E22B13	Relevika Diodivika Vika etuoikeus- kortissa
7.	1.00E-03	.64	4JK43D22 2JK24J66D2 E22B13	Vika päätemuuntimessa Diodivika Vika etuoikeus- kortissa
8.	1.00E-03	.64	4JK43 (2/3) D14 2JK24J66D2 E22B13	2/3 äänestyselimen vika Diodivika Vika etuoikeus- kortissa
9.	1.00E-03	.64	E22B13-4JK44 2JK24J66D2 E22B13	Kaapelivika, kanava 4 Diodivika Vika etuoikeus- kortissa
10.	1.00E-03	.64	4JK44J66D7 2JK24J33A E22B13	Diodivika Relevika Vika etuoikeus- kortissa

LIITE 4

KORTTI	TOIMINTO	VIKAUTUMISTAPA	VIAN SYY	VIAN SEURAUUS	HUOM !
Etuoikeus-kortti E22	Antaa YZ signaalille prioriteetin. Estää muutohjaukset, kun laitossuojaus on voimassa.	1. YZ signaali ei pääse pääse läpi, sisääntulopiirit vialla.	Jokin YZ signaalin sisääntulonastan jälkeisistä diodeista vialla, katkos.	Käynnistyssignaali YZ ei etene yksittäisohjauskortille. Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty	Käsitelty YZ signaalin kulkureittiin vaikuttavat viat. Katkos diodeissa n28, n29 tai n30 (E22B).
			Katkos YZ signaalin johtimessa. Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty.	Käynnistyssignaali YZ ei etene yksittäisohjauskortille.	E22B nasta 7.
		2. Jokin muu signaali saa saman prioriteetin kuin YZ ja antaa päinvastaisen ohjauksen.	Oikosulku YZ signaalin negatiivipiirissä siten, että negatio on virheellisesti voimassa. Samanaikaisesti jokin pysäytyskäsky voimassa.	Yksittäisohjauskortti saa molemmat signaalit. Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty.	E22B kortin sisäänmenoon tulee virheellisesti YZ negatio.
			JA portti vialla YZ signaalin negatiivipiirin sisäänmenossa siten, että ulostulo on virheellisesti ylhäällä. Samanaikaisesti jokin pysäytyskäsky voimassa.	Yksittäisohjauskortti saa molemmat signaalit. Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty.	Transistori p5 kortilla E22A oikosulussa (C-E).
		3. YZ signaali turhaan etuoikeuskortin lähdössä.	YZ seis ja YZ käyntiin signaalien välinen diodi oikosulussa siten, että YZ seis on virheellisesti voimassa.	Yksittäisohjauskortti saa molemmat signaalit. Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty.	Kortin E22B diodi n 25 oikosulussa
			Kortin E22B nastoihin 14(AUT), 6(EIN) ja 11 (FREIG.EIN) tulevat signaalit virheellisesti samanaikaisesti voimassa.	Yksittäisohjauskortti saa YZ käynnistys-signaalin.	Vikaantumisen edellyttää, että YZ negatio on virheellisesti voimassa sekä transistorit p6, p8 ja p9 ovat samanaikaisesti oikosulussa (C-E). Epätodennäköinen vika.
	Vapautussignaali nasta 11 (FREIG.EIN) voimassa sekä samanaikaisesti nastan 11 ja YZ signaalin välinen diodi oikosulussa.		Diodi n 30 oikosulussa.		

LIITE 4

KORTTI	TOIMINTO	VIKAUTUMISTAPA	VIAN SYY	VIAN SEURAUUS	HUOM !
Yksittäis-ohjauskortti B21	Hätäsyöttö-vesipumpun RL 92/93 D01 ohjaus	1. Käynnistyssignaali ei pääse läpi	Katkos ohjauspiirissä. Nastat 17, 23 tai 27.	Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty tarvittaessa.	Käsitelty YZ signaalin kulkureittiin vaikuttavat viat.
			Jompi kumpi tai molemmat TAI -portit, johon YZ käynnistys-signaalit tulevat nastoilta 23 ja 27 (kortin nastat 22 ja 8) ovat vialla siten, että ulostulo on virheellisesti 0.	Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty tarvittaessa.	Katkos diodissa n12 tai n22. Käsikäynnistys toimii mikäli n13 ja n21 ovat ehjät.
			JA-EI (NAND) portti johon tulee vapautus-signaali, nasta 17 (kortin nasta 23) on vialla siten, että ulostulo on virheellisesti 1.	Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty tarvittaessa.	Katkos vastuksessa r19 tai r20. Katkos transistorissa p3 (C-E).
			JA portti, johon tulee käyntiin käsky ja seis käskyjen negaatio on vialla siten, että ulostulo on 0.	Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty tarvittaessa.	Oikosulku (C-E) transistorissa p2.
			Kortin lähtörele vialla.	Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty tarvittaessa	Rele d3, kela vialla tai kosketin juuttunut.
		2. Käynnistyssignaali turhaan yksittäisohjauskortin lähdössä.	JA-EI (NAND) portti johon tulee vapautus-signaali, nasta 17 (kortin nasta 23) on vialla siten, että ulostulo on virheellisesti 1. Käynnistyssignaalin ulostulo on 0.	Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy tarpeettomasti.	Transistori p3 oikosulussa (B-C) ja samalla vapautus-signaali voimassa sekä Diodi n21 oikosulussa.
Raja-arvoelin & vertailija ryhmä.	Raja-arvoelin muodostaa raja- arvon (binääri-signaalin) analogia-viestistä. Raja-arvon ylitys/alitus aiheuttaa pulssin puuttumisen ulostulosta. Vertailija valvoo mittauksen oloarvoa ja referenssijännitettä U(ref) =(asetusarvo).	1. Vertailija hälyyttää.	Raja-arvoelimen asetusarvo ryöminyt. U(ref) ei vastaa raja-arvoa. Mittauksen oloarvo ryöminyt.	Raja-arvoelin viritettävä. U(ref) Lähetin viritettävä. Poikkeama < 0,5%.	Käsitelty YZ signaalin kulkureitillä olevat piirit sekä vertailija-hälytykset.

LIITE 4

KORTTI	TOIMINTO	VIKAUTUMISTAPA	VIAN SYY	VIAN SEURAUUS	HUOM !
		2. Vertailija ei hälyytä, vaikka mittausta tai U (ref) poikkeaa yli 4%.	Vertailija vialla.	Vertailijan vikautuminen ei estä YZ signaalinkulkua. Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty tarvittaessa, jos samanaikaisesti analogiosa on vialla.	Voi aiheuttaa sen, että piilevät viat analogiosassa jäävät havaitsematta U(ref) > 4 x U(v).
		3. Vertailija hälyyttää vaikka analogiosa ja U(ref) on kunnossa	Vertailija vialla.	Vertailijan vikautuminen ei estä YZ signaalinkulkua.	
Raja-arvo-yksikkö- lkortin piirit.	Referenssi-jännitteen muodostus, differentiaalivahvistin, raja-arvonilmaisimien, impulssilähtö.	Virheellinen signaali raja-arvoelimen ulostulossa. Signaali YZ 51, alaraja.	Seuraavien yksiköiden vikaantuminen voi aiheuttaa virheellisen signaalintulossa: Referenssijännitteen muodostuspiiri, differentiaalivahvistinpiiri, raja-arvonilmaisimipiiri, impulssilähtöpiiri.	Raja-arvoyksikkö ei anna laukaisu-signaalia. Pulssit eivät häviä yksikön ulostulosta.	Seuraavilla riveillä käsitellään viat, jotka estävät YZ signaalintulen etenemisen yhdellä kanavalla.
Referenssi-jännitteen muodostuspiiri	Muodostaa vertailujännitteen U(ref) differentiaalivahvistinta varten.	1. Vahvistimen V2 ulostulo on liian alhainen. 2. Vahvistimen V2 ulostulo on liian ylhäällä.	Katkos tai oikosulku piirissä. Vika jännitteen-syötössä 24/15 V tai 15/10 V, vahvistimessa V2, vastuksissa, trimmereissä tai potentiometrissä. Katkos tai oikosulku piirissä. Vika vahvistimessa V2, vastuksissa, trimmereissä tai potentiometrissä.	U(ref) sisäänmeno differentiaalivahvistimelle liian alhainen. Ei laukaisua. U(ref) sisäänmeno differentiaalivahvistimelle liian ylhäällä. Saadaan laukaisu ennen todellista rajaa.	Komponenttien osalta ks. todetut viat. Komponenttien osalta ks. todetut viat.
Differentiaalivahvistinpiiri	Muodostaa referenssijännitteen ja mittaussignaalin erotuksen.	1. Signaalien erotus ei tule nolllaksi. 2. Signaalien erotus tulee nolllaksi ennen laukaisurajaa.	Katkos tai oikosulku piirissä. Koestuskytkin S juuttunut väliasentoon. Vika vahvistimessa V1, vastuksissa, trimmerissä, potentiometrissä tai kondensaattorissa. Katkos tai oikosulku piirissä. Koestuskytkin S juuttunut kiinni asentoon. Vika vahvistimessa V1, vastuksissa, trimmerissä, potentiometrissä tai kondensaattorissa.	Ei anna ulostulosignaalia raja-arvonilmaisimelle. Ei laukaisua. Antaa ulostulosignaalin liian aikaisin, jolloin seurauksena laukaisu.	Komponenttien osalta ks. todetut viat. Komponenttien osalta ks. todetut viat.

LIITE 4

KORTTI	TOIMINTO	VIKAUTUMISTAPA	VIAN SYY	VIAN SEURAUUS	HUOM !
Raja-arvon ilmaisinpiiri	Antaa ulostulosignaalin, kun mittausjännitteen ja referenssjännitteen erotus tulee nolllaksi	1. Ei anna liipaisu-signaalia, kun mittausjännitteen ja referenssjännitteen erotus sisäänmenossa on nolla. 2. Antaa liipaisu-signaalin, vaikka mittausjännitteen ja referenssjännitteen erotus sisäänmenossa ei ole nolla.	Katkos tai oikosulku piirissä. Vika vahvistimessa V3 tai piirin vastuksissa. Katkos tai oikosulku piirissä. Vika vahvistimessa V3 tai piirin vastuksissa.	Vahvistin V3 ei anna liipaisu-signaalia pulssipiirille. Ei laukaisua. Vahvistin V3 antaa liipaisu-signaalin pulssipiirille vaikka rajaa ei ole ylitetty.	Komponenttien osalta ks. todetut viat. Komponenttien osalta ks. todetut viat.
Impulssi-lähtöpiiri	Muuttaa pulssipiirin antaman signaalin nolllaksi (fail safe), kun raja-arvonilmaisin antaa signaalin.	Pulssi ei häviä ulostulosta. Pulssi häviää ilman syytä ulostulosta	Katkos tai oikosulku piirissä. Vika transistoreissa, vastuksissa, trimmerissä, potentio-metrissä tai kondensaattorissa. Katkos tai oikosulku piirissä. Vika transistoreissa, vastuksissa, trimmerissä, potentio-metrissä tai kondensaattorissa.	Ei laukaisusignaalia, pulssit eivät häviä raja-arvoyksikön ulostulosta. Turha laukaisu signaali, pulssit häviävät raja-arvoyksikön ulostulosta.	Komponenttien osalta ks. todetut viat. Pulssien häviäminen aiheuttaa aukaisun (fail safe). Todennäköisesti lähtötransistorin T14 (BSV10/16) vikautumisen vuoksi pulssit hävinneet joskus ulostulosta. Vikaa ei aina saada testattavaksi esiin. Käytön aikainen testaus vaikeaa.
Pulssi/tasasähkömuunnin	Muuttaa pulssitulon tasajännitteeksi. Tasajännite häviää ulostulosta (tapahtuu laukaisu), kun kaksi kolmesta pulssista puuttuu.	Tasajännite ei muutu nolllaksi ulostulossa.	Katkos tai oikosulku piirissä. Vika transistoreissa, vastuksissa, kondensaattoreissa, diodeissa tai muuntajissa.	Toimii "fail safe". Vikautuminen ei estä laukaisua. Sen sijaan turhia laukaisuja saattaa esiintyä vikojen seurauksena.	Käsitelty komponenttasolla.
Testaus-sisään-meno (nasta 2).	Aiheuttaa laukaisun muuntimen ulostulossa, kun painetaan impulssikytkintä S1 kortilla K 64. Impulssikytkin saa suojausjännitteen P1 koestusvapautusreleiltä kortilta K60. Jännite P1 pääsee läpi, kun prosessin tilasta johtuva koestusvapautus on voimassa.	Tasajännite ei muutu nolllaksi ulostulossa.	Nastaa 2 tulee virheellisesti vaihtojännite, jolloin muuntajan Ü1 jälkeen jännite pysyy ylhäällä.	Toinen pumpuista RL 92/93 ei käynnisty tarvittaessa.	Vaihtojännitteen kytkeytyminen nastaa 2 on erittäin epä-todennäköistä.

LIITE 4

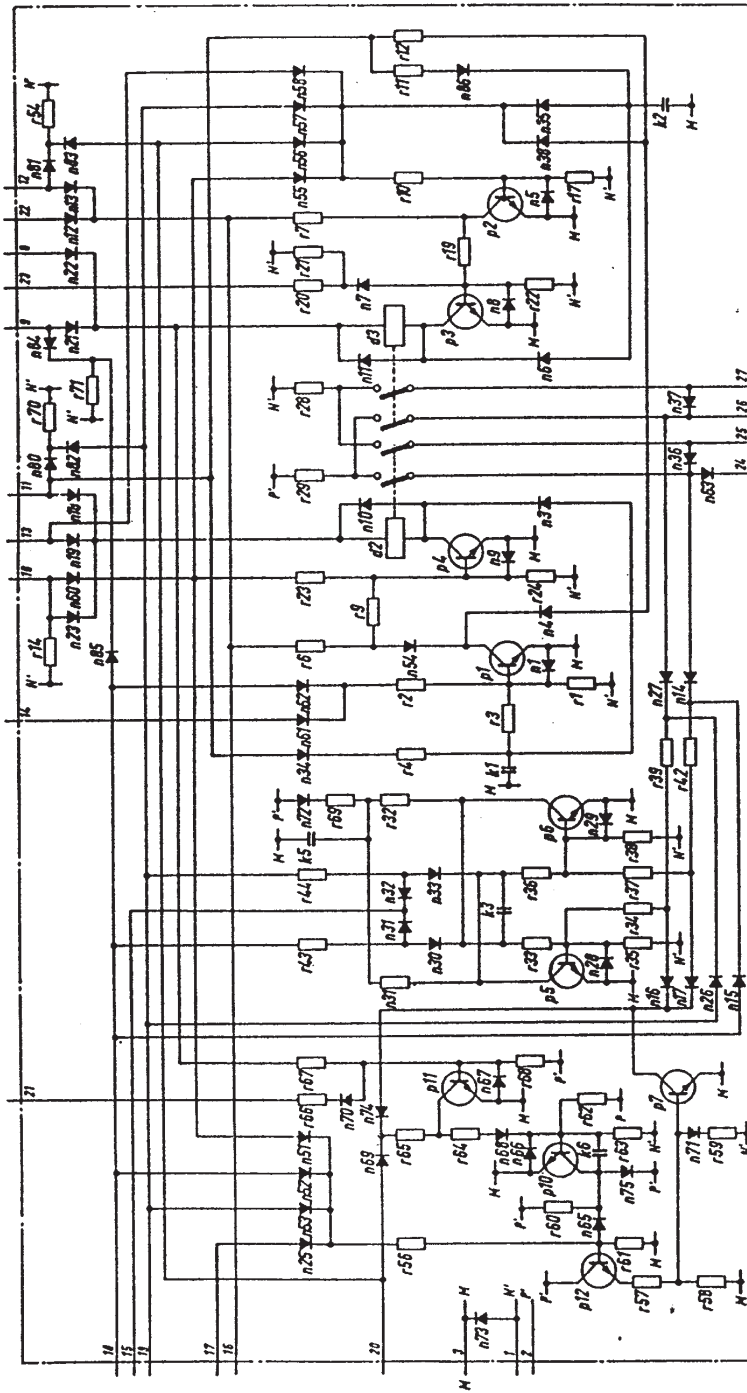
KORTTI	TOIMINTO	VIKAUTUMISTAPA	VIAN SYY	VIAN SEURAUUS	HUOM !
Piirin komponentit					
diodi D5	Erottaa testaus-sisäänmenon pulssitulosta.	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Pulssit pääsevät etenemään koestussisäänmenoon. Ei todennäköisesti vaikutusta toimintaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Testaussisäänmeno ei toimi.	
Vastus R17	Värähtelypiirin komponentti	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	24 V makaa päällä. Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Testaussisäänmeno ei toimi.	
Vastus R12 tai R13	Värähtelypiirin komponentti	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Ei vaikutusta toimintaan.	
Diodi D3 tai D4	Värähtelypiirin komponentti	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
Kondensaattori C3 tai C4	Värähtelypiirin komponentti	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista 92/93 käynnistyy turhaan.	
Vastus R4 tai R5	Värähtelypiirin komponentti	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite putoaa puoleen. Pulssinilmäisin ei ehkä toimi. Laukaisu riippuu päätereleen tarvitsemasta jännitteestä.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
Vastus R8 tai R9	Värähtelypiirin komponentti	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Piiri ei enää värähtele. Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	

LIITE 4

KORTTI	TOIMINTO	VIKAUTUMISTAPA	VIAN SYY	VIAN SEURAUUS	HUOM !
Vastus R10 tai R11	Värähtelypiirin komponentti	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ei vaikutusta toimintaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Piiri ei enää värähtele. Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
Vastus R6 tai R7	Värähtelypiirin komponentti	Katkos	Esim. vanheneminen.	Piiri ei enää värähtele. Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
Transistori T1 tai T2	Vahvistinasteen ohjaus	Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
Muuntaja Ü. Primääri- puoli	Vahvistinasteen ohjaus	Katkos	Esim. vanheneminen.	Piiri ei enää värähtele. Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
Muuntaja Ü2 Sekundääri- puoli	Vahvistinpiirin komponentti	Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostuloteho pienempi kuin 30 mW. Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	
		Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ei vaikutusta toimintaan.	
Vastus R2 tai R3	Vahvistinpiirin komponentti	Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostuloteho pienempi kuin 30 mW . Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	
		Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jänniteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
Konden- saattori C1 tai C2	Vahvistinpiirin komponentti	Katkos	Esim. vanheneminen.	Ei vaikutusta toimintaan.	
		Oikosulku B-E	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite pienempi kuin 3V. Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	

LIITE 4

KORTTI	TOIMINTO	VIKAUTUMISTAPA	VIAN SYY	VIAN SEURAUUS	HUOM !
Transistori T3 tai T4	Vahvistinpiirin komponentti	Oikosulku C-B	Esim. vanheneminen.	Maasulku. Ulostulo jännitteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Oikosulku C-E	Esim. vanheneminen.	Maasulku. Ulostulo jännitteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Katkos B	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite pienempi kuin 3V. Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	
		Katkos C	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite pienempi kuin 3V. Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	
		Katkos E	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite pienempi kuin 3V. Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	
Muuntaja Ü1 Primääri-puoli	Lähtömuuntaja	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite pienempi kuin 3V. Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite pienempi kuin 3V. Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	
Muuntaja Ü1 Sekundääri-piiri	Lähtömuuntaja	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jännitteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite putoaa puoleen. Pulssinilmaisin ei ehkä toimi. Laukaisu riippuu päätereleen tarvitsemasta jännitteestä.	
Muuntaja Ü1	Oikosulku	Esim. vanheneminen. primääri-sekundääri	Ei vaikutusta toimintaan.		
Diodi D1 tai D2	Tasasuuntaus	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite pienempi kuin 3V. Laukaisu riippuu ulostuloreleen ottamasta tehosta.	
	Tasasuuntaus	Katkos	Esim. vanheneminen.	Ulostulojännite putoaa puoleen. Pulssinilmaisin ei ehkä toimi. Laukaisu riippuu päätereleen tarvitsemasta jännitteestä.	
Vastus R1	Lähtövastus	Oikosulku	Esim. vanheneminen.	Ulostulo jännitteetön. Toinen pumpuista RL 92/93 käynnistyy turhaan.	
		Katkos	Esim. vanheneminen.	Ei vaikutusta toimintaan.	



3v TS 117 Kc 010547-2

Schaltplan Betätigungsstufe B21B

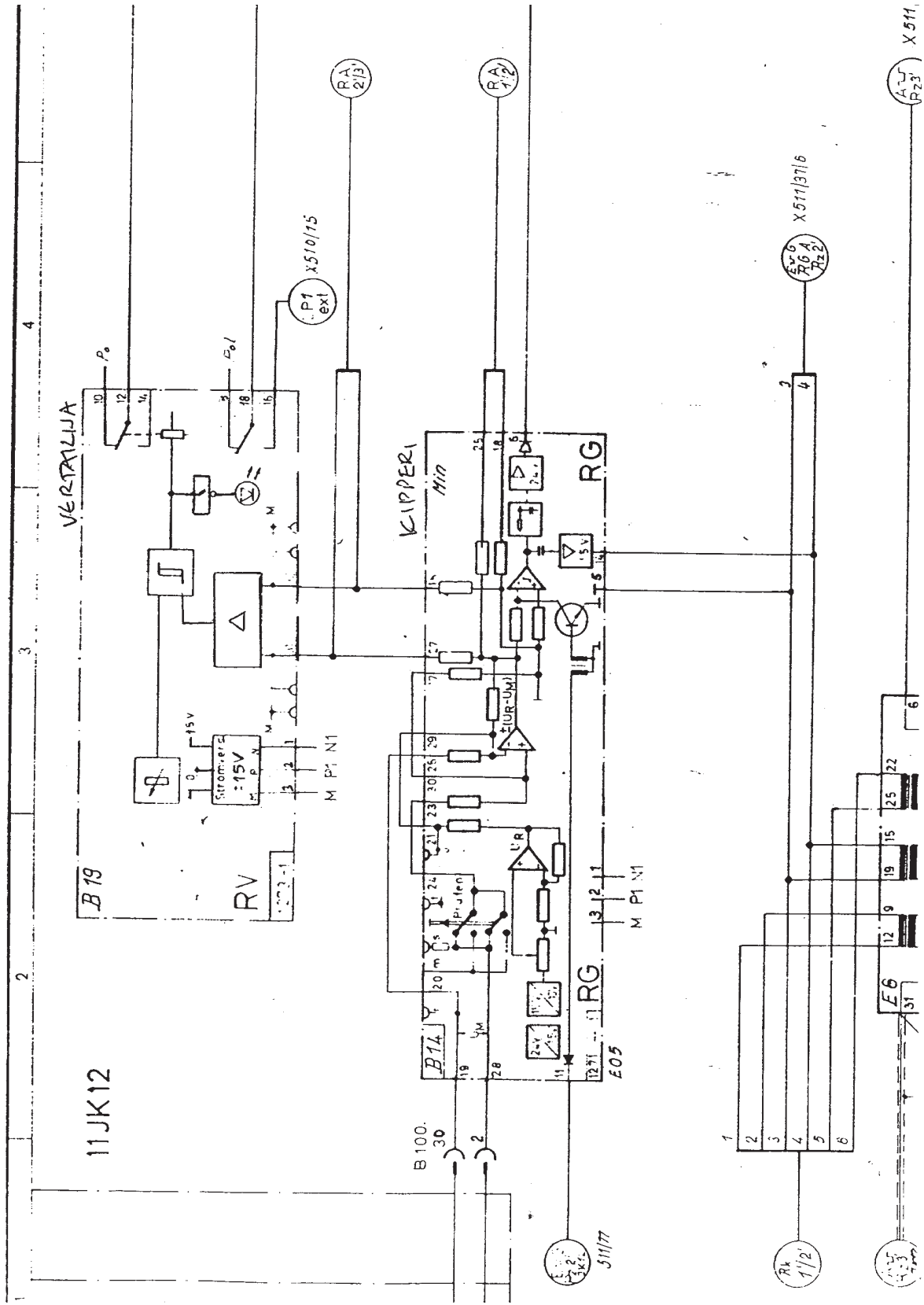
Eingänge

- 8 Automatikbefehl EIN
- 9 Handbefehl EIN
- 10 Schutz AUS
- 11 Handbefehl AUS
- 12 Handkontrollbefehl
- 13 Automatikbefehl AUS
- 14 Sperre AUS
- 16 zum Ausgang 16, B23A (Wiedereinschaltung)
- 17 zum Ausgang 17, B21A (Anregung Schalterfall)
- 18 zum Ausgang 18, B21A (Rückmeldung AUS)
- 19 zum Ausgang 19, B21A (Rückmeldung EIN)
- 20 zum Ausgang 20, B21A (Selbsthaltung Schalterfall)
- 21 Quittierung Schalterfall (durch N-Potential)
- 22 Automatikkontrollbefehl
- 23 Freigabe EIN

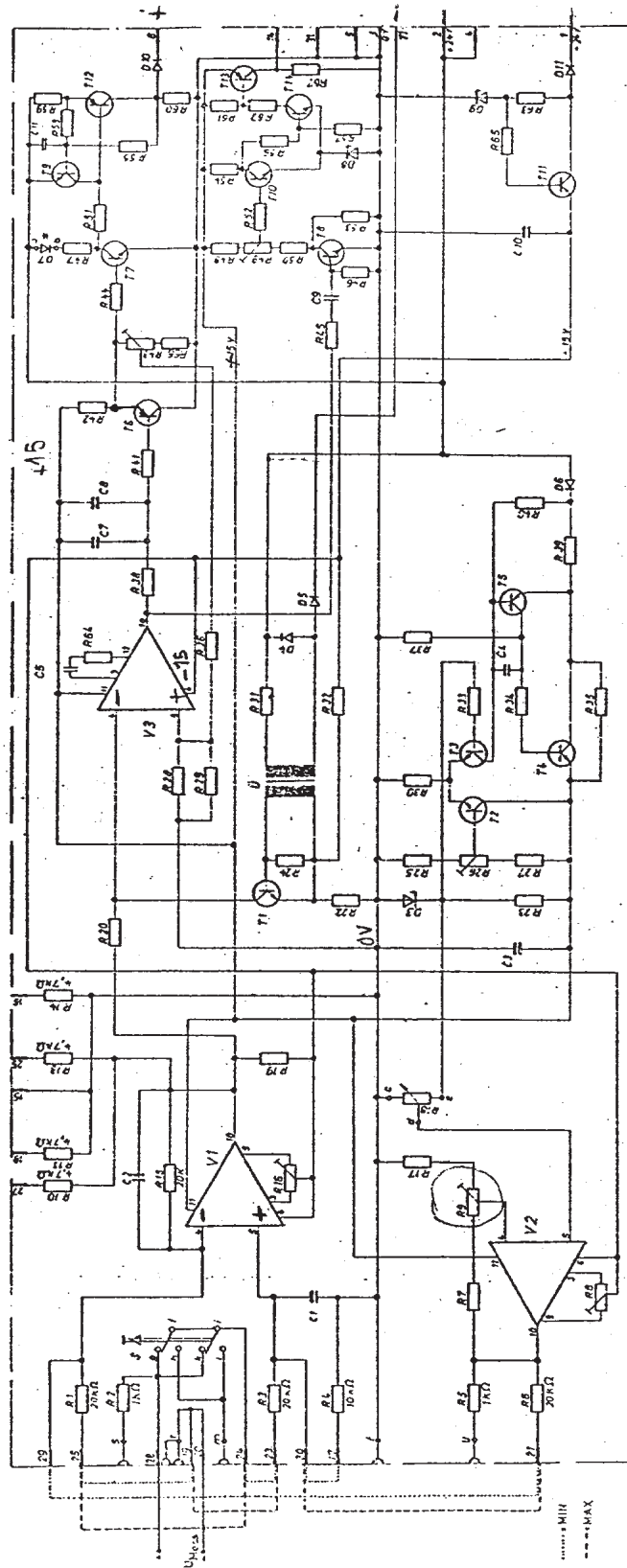
Ausgänge

- 15 zum Eingang 15, B21A
- 24, 25 Koppelschütz AUS
- 26, 27 Koppelschütz EIN

LIITE 5

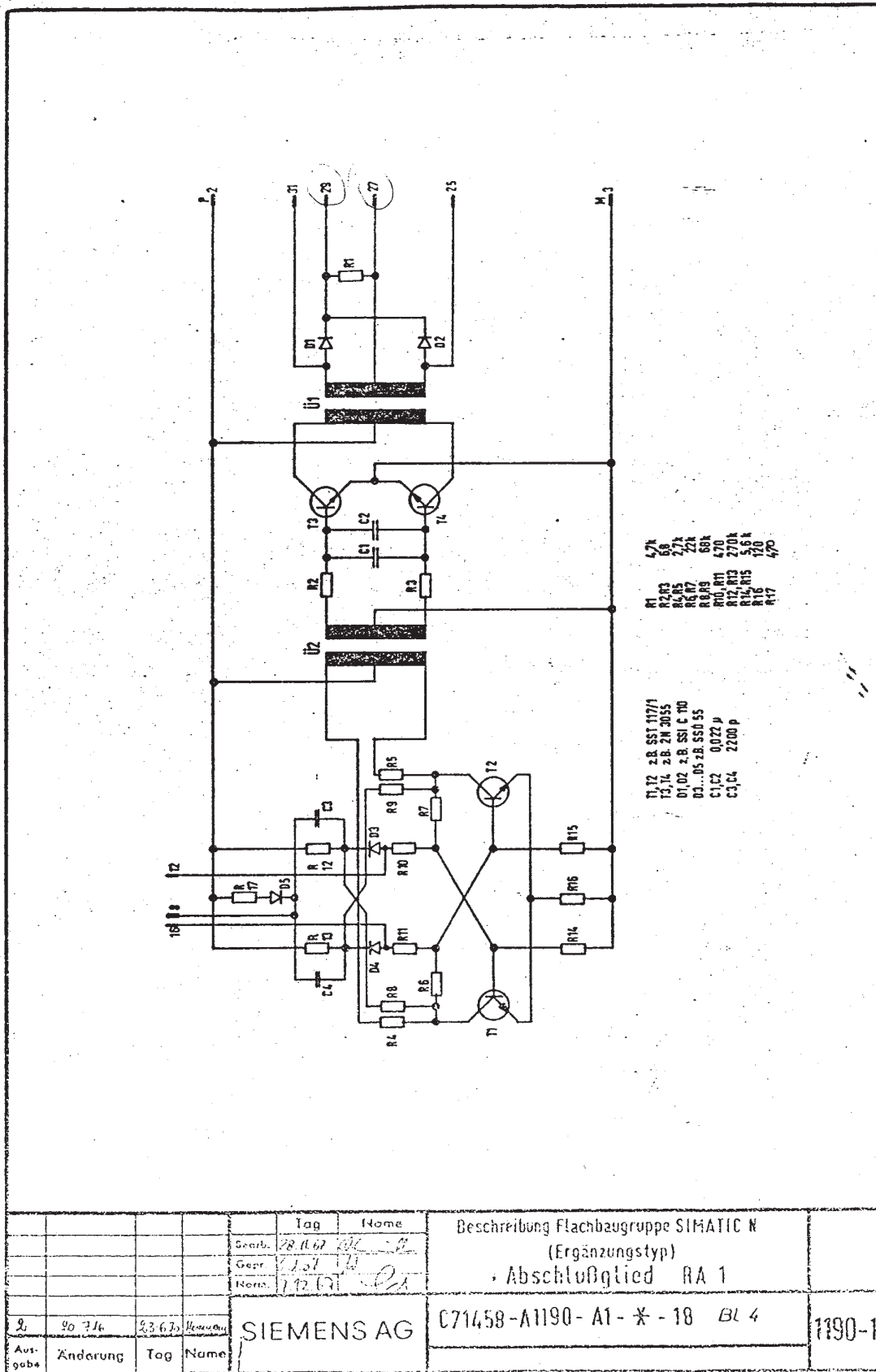


LIITE 5



- V1, V2
 - V3
 - T1, T2, T3, T7,
 - T8, T10, T14
 - T4
 - T5, T6, T9
 - T11, T12, T13
- | | |
|-------------|-------------|
| RC 741 D | D3 |
| LH 301 AD | D4, D5, D6, |
| | D10, D11 |
| | D7 |
| DCI 59 K | D8 |
| DSX 46/10 | DB |
| DCI 79 VIII | D9 |
| DSV 11/20 | |
- 1 N 930
- DAF 45
500R-4440
DSZ 53/CE V2
DSZ 53/CE V2

Bild 4 Grenzwertmelder C71458-A1271-A1 ... -A2, Stromlaufplan



				Tag	Name	Beschreibung Flachbaugruppe SIMATIC M (Ergänzungstyp) • Abschlußglied RA 1	
			Gezeichnet	28.11.67	OC		
			Geprüft	2.1.68	W		
			Norm.	112.01	la		
9	90 714	23.6.75	Handwritten	SIEMENS AG	C71458-A1190-A1- * - 18	BL 4	1190-1
Aut- gob4	Änderung	Tag	Name				

STUK-YTO-TR-sarjan julkaisuja

STUK-YTO-TR 85 Kaartinen J, Tarvainen M. Feasibility of VVER-440 type SFAT.

STUK-YTO-TR 84 Blomqvist R, Suksi J et al. The Palmottu natural analogue project. The behaviour of natural radionuclides in and around uranium deposits. Summary report 1992—1994.

STUK-YTO-TR 83 Ikonen K, Raiko H (VTT). Leak-before-break evaluation procedures for piping components. (tulossa)

STUK-YTO-TR 82 Tuomisaari M (VTT). Uudet sammutusmenetelmät.

STUK-YTO-TR 81 Okkonen T (OTO-Consulting). Development of a parametric containment event tree for a severe BWR accident.

STUK-YTO-TR 80 Tanner V, Rosenberg R (VTT). PWR-ydinvoimalaitoksen primääripiirin aktiivisuuskulkeutumismallit.

STUK-YTO-TR 79 Rosenberg R (VTT). Ydinvoimalaitosveden korroosiotuotteiden alkuaineanalytiikka.

STUK-YTO-TR 78 Lahdenperä K (VTT). Kaksi-metalliliitosten ja austeniittisten valujen testaus-tekniikoiden vertailu.

STUK-YTO-TR 77 Rautio M, Björk H, Häkkinen V, Kostianen O, Kuitunen M-L, Lehtonen P, Mesilaakso M, Södeström M (Verification Institute for the Chemical Weapons Convention). Application of CWC analytical procedures for Safeguards; Analysis of phosphorus-containing organic chemical signatures from environmental samples. Final report on Task FIN A844 on the Finnish Support Programme to IAEA Safeguards.

STUK-YTO-TR 76 Toivonen H, Honkamaa T, Kansanaho A, Pöllänen R (STUK), Aarnio P, Ala-Heikkilä J, Nikkinen M (HY). Development of in-field monitoring techniques. Report on Task FIN A845 on the Finnish Support Programme to IAEA Safeguards.

STUK-YTO-TR 75 Rantavaara A, Klemola S, Saxén R, Ikäheimonen TK, Moring M (STUK). Radionuclide analysis of environmental field trial samples at STUK. Report on Task FIN A 847 of the Finnish Support Programme to IAEA Safeguards.

STUK-YTO-TR 74 Haukkala A, Eränen L (HY). Katsaus ydinonnettomuuden psykologisiin seurauksiin sekä empiirinen tutkimus säteilysuojelutoimenpiteiden vaikutuksista käyttäytymiseen kuvitteellisessa tilanteessa.

STUK-YTO-TR 73 Hyvärinen J (STUK), Hongisto O (IVO). Metallic insulation transport and strainer clogging tests.

STUK-YTO-TR 72 Tarvainen M (STUK), Paakunainen M (Plustech Ltd), Tiitta A (VTT), Sarparanta K (TVO). BWR SWAT, gross-defect verification of spent BWR fuel. Final report on Task FINA563 on the Finnish Support Programme to IAEA Safeguards.

STUK-YTO-TR 71 Huhtanen R (VTT). Yksinkertaisen huonepalon simulointi PHOENICS-ohjelmalla.

STUK-YTO-TR 70 Särkiniemi P, Kauppinen P (VTT). Yhdistelmätekniikan käyttö pinnan läheisten vikojen ultraäänitestauksessa ulkopinnalta.

Täydellisen listan STUK-YTO-TR-sarjan julkaisuista saa ydinturvallisuusosastolta.