



Tutkintaselostus

1/1993

Räjähdysonnettomuus Oy Forcit Ab:n tehtaalla Hangossa 7.6.1993

Tämä tutkintaselostus on tehty turvallisuuden parantamiseksi ja uusien onnettomuuksien ennalta ehkäisemiseksi. Tässä ei käsitellä onnettomuudesta mahdollisesti johtuvaa vastuuta tai vahingonkorvausvelvollisuutta. Tutkintaselostuksen käyttämistä muuhun tarkoitukseen kuin turvallisuuden parantamiseen on vältettävä.

ISBN 951-53-1807-6
ISSN 1239-5315

Oy Edita Ab, Helsinki 1998



SISÄLLYSLUETTELO

1	ONNETTOMUUDEN YLEISKUVAUS	5
2	ONNETTOMUUDEN TUTKINTA.....	7
2.1	Tutkintalautakunnan asettaminen.....	7
2.2	Tutkintalautakunnan toiminta.....	8
3	TAPAHTUMAYMPÄRISTÖ	9
3.1	Oy Forcit Ab:n organisaatio	9
3.2	Oy Forcit Ab:n tehdas	9
3.2.1	Alueen yleiskuvaus.....	9
3.2.2	FPX-yksikkö	10
3.3	FPX-yksikön organisaatio	19
3.4	Laatuorganisaatio.....	19
3.5	Työsuojeluorganisaatio	20
3.6	Pelastusorganisaatio.....	20
3.7	Tehtaan viranomaisvalvonta	21
3.7.1	Teknillinen tarkastuskeskus	21
3.7.2	Työsuojeluviranomaiset	22
4	MUOVISIDOSTEISESTA RÄJÄHTEESTÄ MERIMIINAAN	23
4.1	Muovisidosteiset räjähdysaineet.....	23
4.2	Epäherkät räjähdystarvikkeet	24
4.3	FPX-räjähdysaineen kehittäminen.....	24
4.4	FPX-tuotekehityshankkeen osapuolet ja niiden tehtävät.....	27
4.5	FPX-räjähdysaine.....	28
4.5.1	FPX-räjähdysaineen koostumuksen kehitys.....	28
4.5.2	Valmistuksen kulku	32
4.5.3	Laadunvalvonta	33
4.6	Merimiina.....	33
5	ONNETTOMUUS.....	37
5.1	Tapahtumat ennen onnettomuutta.....	37
5.2	Onnettomuus.....	40
5.2.1	Tapahtumat FPX-yksikössä	40
5.2.2	Havainnot onnettomuudesta	42
5.3	Havainnot onnettomuuden jälkeen	43
5.3.1	Havainnot tuhoutuneesta jälkikäsitteilylaitoksesta.....	43
5.3.2	Heitteet	43



5.3.3	Paineaallon vaikutukset	49
5.3.4	Ilmaräjähdykset	49
5.4	Vaaratilanteet	50
6	VAHINGOT	59
6.1	Henkilövahingot	59
6.1.1	Loukkaantumiset ja loukkaantumisen aiheuttajat	59
6.1.2	Ihmisten psyykinen tila	59
6.2	Aineelliset vahingot	60
6.2.1	Tehtaan vauriot	60
6.2.2	Tehtaan toimintakatkos	60
6.2.3	Yksityisen omaisuuden vahingot tehdasalueella	61
6.2.4	Omaisuuksien vahingot tehdasalueen ulkopuolella	61
6.3	Pelastustoiminnan yhteydessä syntyneet vahingot	61
7	PELASTUSTOIMET	63
7.1	Oy Forcit Ab:n toimet onnettomuustilanteessa	63
7.1.1	Ohjeet onnettomuustilanteiden varalle	63
7.1.2	Onnettomuusilmoitukset ja hälytys Oy Forcit Ab:ssä	63
7.1.3	Toiminta onnettomuustilanteen alkuvaiheissa	64
7.2	Palo- ja pelastusviranomaisten toiminta	65
7.2.1	Hätäilmoitus	65
7.2.2	Hälytykset	66
7.2.3	Pelastuspalvelun toiminta onnettomuustilanteessa	66
7.2.4	Palo- ja pelastustoiminnan johtaminen	67
7.2.5	Ilmoitukset onnettomuudesta	68
7.2.6	Tiedottaminen	68
7.3	Poliisin toiminta	68
8	ANALYYSI	71
8.1	Tutkintalautakunnan tilaamat tutkimukset	71
8.1.1	Räjähdyksentutkimukset	71
8.1.1.1	Raaka-aineiden tutkiminen	71
8.1.1.2	Massanäytteiden tutkiminen	71
8.1.1.3	Hankausherkeyden tutkiminen	72
8.1.1.4	Lämmönkehitys simulointisekoituksessa	72
8.1.2	Räjähdyksentutkimukset	73
8.1.3	Painekokeet	73



8.1.4	FPX-massan kemiasta	79
8.1.5	Räjähdyksen voimakkuuden arviointi.....	80
8.2	Onnettomuuteen johtanut tapahtumaketju	83
8.3	Tapahtumat onnettomuudessa	85
9	ORGANISAATIOIDEN TOIMINTA	87
9.1	Idea muovisidosteisen räjähteen kehittämistä	87
9.2	FPX-01-räjähteen kehittäminen	87
9.3	Merimiinan räjähdysaineen kehittämishankkeen lähtökohdat ja käynnistyminen	88
9.3.1	Ensimmäinen tuotekehityssopimus.....	88
9.3.2	Lähtökohdat tuotekehityshankkeelle.....	88
9.3.3	Tuotekehityksessä mukana olleet ja sitä seuranneet	89
9.4	FPX-tuotekehitysprojektin vaiheet	90
9.4.1	Vaihe 1: Räjähdykseen saavuttaminen	91
9.4.2	Vaihe 2: Hygroskooppisuuden vähentäminen	91
9.4.3	Vaihe 3: Epäherkkyyssominaisuuksien parantaminen	91
9.4.4	Vaihe 4: FPX-4:n viimeistely ja testaus.....	92
9.5	FPX-4:n valinta merimiinan räjähdysaineeksi.....	93
9.6	FPX-yksikön rakentaminen ja käyttöönotto	94
9.6.1	FPX-projektiryhmän perustaminen ja tehtävät.....	94
9.6.2	Päätökset Oy Forcit Ab:ssä.....	95
9.6.3	Turvallisuusanalyysien laatiminen	96
9.6.4	Työsuojeluorganisaation toiminta	96
9.6.5	Viranomaistarkastukset.....	97
9.7	FPX-4:n valmistuksen aloittaminen	98
9.7.1	Raaka-ainespesifikaatiot ja vastaanottotarkastukset.....	98
9.7.2	FPX-yksikön koekäyttö.....	99
9.7.3	Päätös uudelleensekoittamisesta	99
9.8	Johtopäätökset.....	101
10	SUOSITUKSET.....	103
10.1	Tuotekehitystoiminta	103
10.2	Pelastustoimet.....	105

Liite A **Reinikka Erkki:** Räjätyskokeet Pokassa 6 – 8.9.93. Kommentit tuloksista.

LÄHDELUETTELO

1 ONNETTOMUUDEN YLEISKUVAUS

Maanantaina 7.6.1993 klo 08.17 tapahtui Hangossa Oy Forcit Ab:n tehtaalla räjähdysonnettomuus. Kaksi tehtaan työntekijää oli tehtaan FPX-yksikön jälkikäsitteilylaitoksessa tarkastamassa siellä olleita, FPX-räjähdyssaineella täytettyjä merimiinoja. Yhden miinan kannen todettiin pullistuneen voimakkaasti jälkikäsitteilyn aikana ja kannen alta pursunneen ulos noin 0,5 kg räjähdysainetta. Tämän miinan kantta varovasti avattaessa kuultiin miinan sisältä FPX-räjähdyssaineen palamisääntä muistuttava ääni. Paikalla olleet aavistivat, että tilanne on vakava ja lähtivät juoksemaan kohti FPX-yksikön ohjaamorakennusta. Heihin liittyi myös sekoittamorakennuksessa ollut työntekijä.

Pian työntekijäin päästyä suojaan ohjaamorakennukseen, tapahtui jälkikäsitteilylaitoksessa voimakas räjähdys, jolloin rakennus kaikkine laitteineen sekä siellä olleet miinat tuhoutuivat täydellisesti ja sekoittamo kärsi pahoja vaurioita. Paineaalto rikkoi runsaasti ikkunoita räjähdysainetehtaan alueella sekä noin 600 metrin päässä onnettomuuspaikasta olevalla dispersiotehtaalla. Heitteitä lensi tehdasalueelle ja sen aidan ulkopuolelle noin 70 hehtaarin suuruiselle alueelle noin 500 metrin säteelle räjähdyspaikasta. Ne rikkoivat tehdasalueella olevia rakennuksia ja sytyttivät niissä muutamia palonalkuja. Onnettomuus aiheutti lieviä vammoja tehtaan 15 työntekijälle. Aineellisten vahinkojen arvo oli kaikkiaan noin seitsemän miljoonaa markkaa ja lisäksi tehtaan toiminnan keskeytyminen aiheutti noin 2,5 miljoonan markan vahingon.

Tutkinnassa on todettu, että ensiksi räjähti jälkikäsitteilylaitoksessa ns. kuumalla linjalla ollut miina, jota oltiin avaamassa. Räjähdys välittyi sen molemmilla puolilla rivissä olleisiin yhteensä viiteen miinaan sekä etuhuoneessa olleeseen miinaan, jotka myös räjähtivät. Sen sijaan räjähdys ei välittynyt laitoksen ns. kylmällä linjalla olleisiin miinoihin eivätkä ne räjähtäneet.

FPX-räjähdyssaineen valmistus tehdasmittakaavaisella laitteistolla ja merimiinojen koeerän täyttäminen sillä oli alkanut tehtaalla helmikuussa 1993. Täysikokoisten miinalatausten valmistukseen siirryttiin suoraan pienmittakaavassa tehdyn kehitystyön jälkeen ilman pilot-mittakaavaista kokeilua. Tuotannon alkuvaiheessa suurimpana ongelmana pidettiin räjähdysaineen lämpökäsittelyvaiheen jälkeistä kutistumista. Päähuomio kiinnitettiin aluksi tämän ongelman ratkaisuun. Ongelma oli tiedossa jo pienmittakaavassa suoritettujen kehittämisvaiheen kokemusten perusteella.

Uutena ilmiönä todettiin toukokuun puolivälin jälkeen massan olevan täyttövaiheessa aiempaa löysempää. Räjähdysaineen pinnalla havaittiin erottunutta nestettä 31.5.1993 valmistuneessa miinassa heti täytön jälkeen. Kun tällöin tutkittiin edellisiä, löysällä massana täytettyjä miinoja, havaittiin yhtä lukuun ottamatta myös niiden räjähdysaineen pinnalla nestettä ja itse räjähdysaineessa todettiin huokoisuutta. Neste todettiin 1.6.1993 litiumperkloraatin ja glyserolin seokseksi.

Käytyjen keskustelujen perusteella päätettiin uudelleensekoittaa räjähdysaine miinoista, joissa nesteen erottumista oli havaittu. Päätös perustui lähinnä uudelleensekoituksen

yleiseen käyttöön perinteisten räjähdysaineiden valmistuksessa. Sen soveltuvuutta valmistettavana olleen tyyppiselle räjähdysaineelle ei varmistettu.

Onnettomuudelle ei ole voitu osoittaa yhtä yksiselitteistä syytä. On kuitenkin voitu todeta, että ensin räjähtäneen miinan räjähdysaine jäi uudelleensekoituksessa ja sitä seuranneessa täytössä yli kymmenen astetta kuuman linjan lämpötilaa kylmemmäksi. Lisäksi uudelleen sekoittaminen on häirinnyt jo käynnissä ollutta muovimatriisin verkkoutumisreaktiota. Uudelleen sekoituksen jälkeen massassa on voinut käynnistyä aikaisemmasta poikkeava lämpöä kehittävä reaktio. Näistä syistä räjähdysaine jälkikäsitteilylaitoksen kuumalle linjalle vietynä lämpeni ja lämmitessään laajeni aiheuttaen miinan tiiveyden pettämisen. Räjähdysainetta kulkeutui ulos ja kohtaan, jossa se kannen kiinnitysruuveja avattaessa todennäköisesti syttyi hankauksesta. Syttymiskohtaa ei varmuudella pystytä sanomaan, mutta se oli joko kannen ja kiinnitysrenkaan välissä tai kannen kiinnitysrenkaan kierteessä.

Myöskään ensiksi syttyneen seoksen koostumusta ei varmuudella pystytä sanomaan. Todennäköisimmät vaihtoehdot ovat joko uudelleenerottunut litiumperkloraatin ja glyserolin seos tai kiteytynyt litiumperkloraatti, joka on hyvin hankausherkkää. Räjähdysaineessa on lisäksi useista vaihtoehtoisista syistä voinut kehittyä vetyä, joka niinkään syttyy erittäin herkästi ja reagoi esimerkiksi litiumperkloraatin kanssa räjähdysmäisesti. Vetyä ei kuitenkaan voida pitää yhtä todennäköisenä onnettomuuden aiheuttajana kuin edellä mainittujen aineiden syttymistä.

Onnettomuushetkellä jälkikäsitteilylaitoksessa oli hieman yli 4 000 kg räjähdysainetta, josta onnettomuuden jälkeen kerättiin ympäristöstä heitteinä talteen 600 kg. Pääosa räjähdysaineesta tuhoutui joko ensimmäisessä räjähdyksessä, sitä seuranneissa ilmaräjähdyksissä, paloi onnettomuuden jälkeen ympäristössä tai jäi sinne pienikokoisilla paloilla ja hienojakoisena jauheena. Tarkkaa arviota räjähtäneen räjähdysaineen määrästä ei pystytä esittämään.



2 ONNETTOMUUDEN TUTKINTA

2.1 Tutkintalautakunnan asettaminen

Saatuaan 7.6.1993 klo 09.10 tiedon onnettomuudesta suuronnettomuustutkinnan suunnittelukunnan puheenjohtaja Kari **Lehtola** lähti onnettomuuspaikalle Hankoon. Neuvoteltuaan eri viranomaisten kanssa hän päätti samana päivänä klo 15.30, että suuronnettomuustutkinnan suunnittelukunta käynnistää asiassa alustavat tutkimukset ja ehdottaa oikeusministeri Hannele **Pokalle**, että hän tekisi valtioneuvostolle esityksen tapahtuman tutkimisesta suuronnettomuuksien tutkinnasta annetun lain (373/85) 2 §:n mukaisena suuronnettomuuden vaaratilanteena sekä mainitun lain mukaisen tutkintalautakunnan asettamisesta.

Valtioneuvosto asetti 10.6.1993 tutkintalautakunnan onnettomuuden kulun, syiden ja seurausten sekä muiden edellä mainitun lain 4 §:ssä tarkoitettujen seikkojen selvittämiseksi. Lautakunnan tehtäväksi annettiin myös vaaratilanteen aikaisten riskien selvittäminen sekä riskien ja niihin varautumisen selvittäminen yleisesti räjähdysaineiden tuotekehittelyn yhteydessä.

Tutkintalautakunnan kokoonpanoksi määrättiin:

<i>Puheenjohtaja:</i>	suuronnettomuustutkinnan suunnittelukunnan puheenjohtaja, varatuomari Kari Lehtola
<i>Varapuheenjohtaja:</i>	professori Simo-Pekka Hannula , Valtion teknillinen tutkimuskeskus
<i>Jäsenet</i>	diplomi-insinööri Kari Kykylä , Pääesikunta
	yli-insinööri Erkki Reinikka , työministeriö
	va. poliisimestari Ari Sarjanen , Hangon poliisilaitos
	tarkastaja Tom Strang , Teknillinen tarkastuskeskus

Hangon poliisilaitoksen va. poliisimestari, nykyinen Tampereen kihlakunnan poliisilaitoksen apulaispoliisipäällikkö Ari Sarjanen on ollut estynyt osallistumasta tutkintalautakunnan työhön 1.1.1994 lukien siirryttyään toiseen tehtävään.

Tutkintalautakunta kutsui sihteerikseen suuronnettomuustutkinnan suunnittelukunnan sihteerin Pirjo **Valkama-Joutsenen**.

Tutkintalautakunta kutsui työnsä aikana pysyviksi asiantuntijoikseen tekniikan lisensiaatti Jukka **Lepistön** Valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta, rikosylikonstaapeli Heikki **Seppäsen** keskusrikospoliisista ja ylikonstaapeli Juha-Pekka **Vuorisen** Hangon poliisilaitokselta.

Tutkintalautakunnan polymeerikemian erityisasiantuntijana on toiminut Helsingin yliopiston polymeerikemian professori Franciska **Sundholm**.

2.2 Tutkintalautakunnan toiminta

Tutkintalautakunta on pitänyt 50 kokousta. Osa kokouksista on ollut kaksipäiväisiä.

Tutkintalautakunnan erityisasiantuntija, professori Franciska Sundholm on antanut tutkintalautakunnalle kirjallisen asiantuntijalausannon, johon liittyy raportti Helsingin yliopiston polymeerikemian laitoksella tehdystä erillistutkimuksesta.

Tutkintalautakunta on tehnyt yhteistyössä Puolustusvoimien kanssa Kittilässä 8.9.1993 räjähdysvälityskokeita hävitettävillä, FPX-räjähdysaineella täytetyillä miinoilla. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustulokset näistä kokeista on julkaistu asiakirjassa **FPX4-täytteisten merimiinojen ja kosketusmiina 55:n välityskokeet** (Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus n:o 1309/Hill/ 7.10.1993). Merivoimien Esikunta on julkaissut kokeista raportin **FPX-4-latausten räjähdysvälityskokeet** (N:o 478/Dca/24.09.1993). Tutkintalautakunnan jäsen Erkki Reinikka on laatinut näistä kokeista erillisen muistion, joka on tämän tutkintaselostuksen lopussa liitteessä A.

Puolustusvoimien Tutkimuskeskus on tehnyt tutkintalautakunnalle erilaisten raaka-aine- ja räjähdysainenäytteiden tutkimuksia. Tutkimusten tulokset on julkaistu raportissa **Hangon räjähdysonnettomuus** (Loppuraportti 1636/Hill/23.9.1994).

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen ydinvoimatekniikan laboratorio on tehnyt tutkintalautakunnalle tutkimuksen **Oy Forcit Ab:n räjähdysvoimakkuuden arviointi** (Tutkimusselostus N:o YDI60/93).

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen valmistustekniikan yksikkö on järjestänyt tutkintalautakunnan toimeksiannosta merimiinan kuoren paineistuskokeen. Kokeen tulokset on esitetty VTT Valmistustekniikan tutkimusselostuksessa N:o 48302/22.4.1994.

Edellä mainitut tutkimusraportit on julkaistu yhtenä niteenä nimellä **Tutkintalautakunnan tilaamat tutkimukset Oy Forcit Ab:n tehtaalla Hangossa 7.6.1993 tapahtuneesta räjähdysonnettomuudesta**.

Hangon poliisilaitos on antanut tutkintalautakunnalle virka-apua kuulustelemalla onnettomuuden silminnäkijöitä, onnettomuudessa vahinkoa kärsineitä sekä FPX-räjähdysaineen kehittämiseen ja tuotantoon osallistuneita. Tutkijana on toiminut tutkintalautakunnan pysyvä asiantuntija, ylikonstaapeli Juha-Pekka Vuorinen.

Pysyvä asiantuntija, tekniikan lisensiaatti Jukka Lepistö on huolehtinut organisaatioiden toimintaa koskevista tutkimuksista.

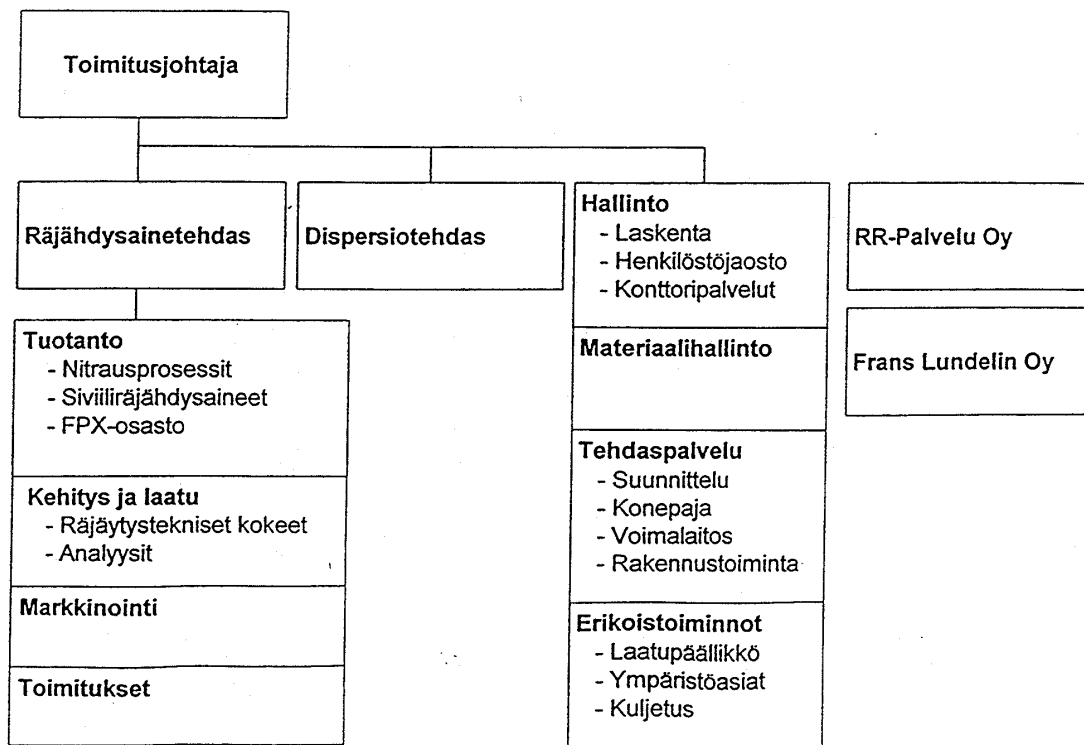
Pysyvä asiantuntija, rikosylikonstaapeli Heikki Seppänen on johtanut onnettomuuspaikan tutkintaa ja toiminut tämän tutkintaselostuksen kuvatoimittajana.

3 TAPAHTUMAYMPÄRISTÖ

3.1 Oy Forcit Ab:n organisaatio

Oy Forcit Ab (jäljempänä Forcit) on kemian perusteellisuudessa toimiva konserni (kuva 1). Konserniin kuuluu räjähdysainetehtas (perustettu 1893) ja dispersiotehtas (perustettu 1967), joilla on omat tuotantolaitoksensa Hangossa noin kilometrin etäisyydellä toisistaan. Tehtailla on yhteistä hallintohenkilökuntaa. Vuoden 1992 lopussa konsernissa työskenteli 157 henkilöä, joista emoyhtiössä 133 (83 työntekijää ja 50 toimihenkilöä).

Konsernilla on lisäksi kaksi tytäryhtiötä: RR-Palvelu Oy (kotipaikka Tuusula) ja Frans Lundelin Oy (kotipaikka Turku). Tytäryhtiöiden pääasiallinen toimiala on räjähdysainesten kauppa, kuljetus ja varastointi.



Kuva 1. Oy Forcit Ab. Konserniorganisaatio

3.2 Oy Forcit Ab:n tehdas

3.2.1 Alueen yleiskuvaus

Tehdas sijaitsee noin kahdeksan kilometrin päässä Hangon keskustasta kantatie 53:n varrella. Sen sijainti käy ilmi sivuilla 11 - 12 olevista kartoista.

Sivulla 13 on tehdasalueen yleiskuva. Sivulla 14 on tehdasalueen kartta. Siinä on numeroitu ne rakennukset, joilla on merkitystä onnettomuuden kulun ja sen aiheuttamien vaurioiden kannalta.

Vuonna 1992 tehdas jakautui nitraus-, nitroglyseriini-rajähdyssaine-, varmuusrajähdyssaine- ja sytytysvälineosastoihin. Tehtaan alueella varastoidaan valmiita tuotteita.

Räjähdyssainetehtaan alue on kooltaan 43 hehtaaria. Se on kauttaaltaan aidattu. Tehdasalueelle johtaa pistoraide Karjaa - Hanko rautatieltä.

3.2.2 FPX-yksikkö

FPX-valmistusyksikön suunnittelu alkoi syksyllä 1991. Teknilliselle tarkastuskeskukselle lähetettiin 10.12.1991 perustamislupahakemus, joka uusittiin ja täydennettiin 2.3.1992 lähetetyllä lisäselvityksellä. Teknillinen tarkastuskeskus antoi päätöksensä 4.9.1992. Sen mukaan rakennuksiin 91, 92 ja 93 saatiin perustaa FPX:n tuotantolinja hakemuksessa ja sen liitteissä esitetyllä tavalla.

FPX-yksikköä koskeva rakennuslupahakemus Hangon rakennuslautakunnalle tehtiin 20.2.1992 ja lupa myönnettiin 2.3.1992. Terveysviranomaiset olivat antaneet 21.2.1992 puoltavan lausunnon. Rakennustyöt alkoivat huhtikuussa 1992 ja rakennukset valmistuivat alkuvuonna 1993. Rakennustekniset työt olivat itse asiassa valmiit lokakuussa 1992, mutta yksikön käyttöönottoa hidasti laitetoimitusten viivästyminen.

Rakennuksessa n:o 91 oli FPX-yksikön ohjaamo, rakennuksessa n:o 92 sekoittamo ja rakennuksessa n:o 93 jälkikäsitteilylaitos. Rakennusten 91 - 93 pohjapiirrokset ovat sivuilla 15 - 17.

Ohjaamorakennus on maapeitteinen betonirakennus, jonne on sijoitettu prosessien ohjauksessa käytettävät tietokoneet ja TV-valvontalaitteet.

Sekoittamo on maapeitteinen rakennus, jonka kevytrakenteinen etuseinä mahdollistaa räjähdysten sattuessa paineen purkautumisen vaarattomaksi katsottuun suuntaan. Tässä rakennuksessa tapahtui FPX-rajähdyssaineen raaka-aineiden punnitus, sekoitus ja täyttö miinojen kuoriin, pääosin kauko-ohjausta käyttäen. Sekoittamorakennuksen leikkauskuva on sivulla 18.

Täysin tuhoutunut jälkikäsitteilylaitos käsitti etuhuoneen ja miinojen lämpökäsittelyyn tarkoitettut tilat. Rakennus oli suunniteltu tavanomaisia rakennekuormituksia silmällä pitäen. Lattiat olivat hiekkakerroksen päällä olevia 10 cm:n paksuisia verkkoraudoitettuja betonilaattoja.

Toisessa päässä rakennusta olivat rinnakkain miinojen lämpökäsittelyyn tarkoitettut tilat, ns. "kuuma linja" ja kylmä linja".

FPX-tuotantoyksikkö vihittiin käyttöön 10.3.1993.

Kartta Hankoniemen alueelta

1 0 1 2 3 4 5 km
1 : 50 000

1. Forcitin tehdasalue
2. Kantatie 53 (nykyisin valtatie 25)
3. Tvärminnen tie
4. Kirkkotie
5. Hangon lentokenttä
6. Paineaallon rikkomia ikkunoita

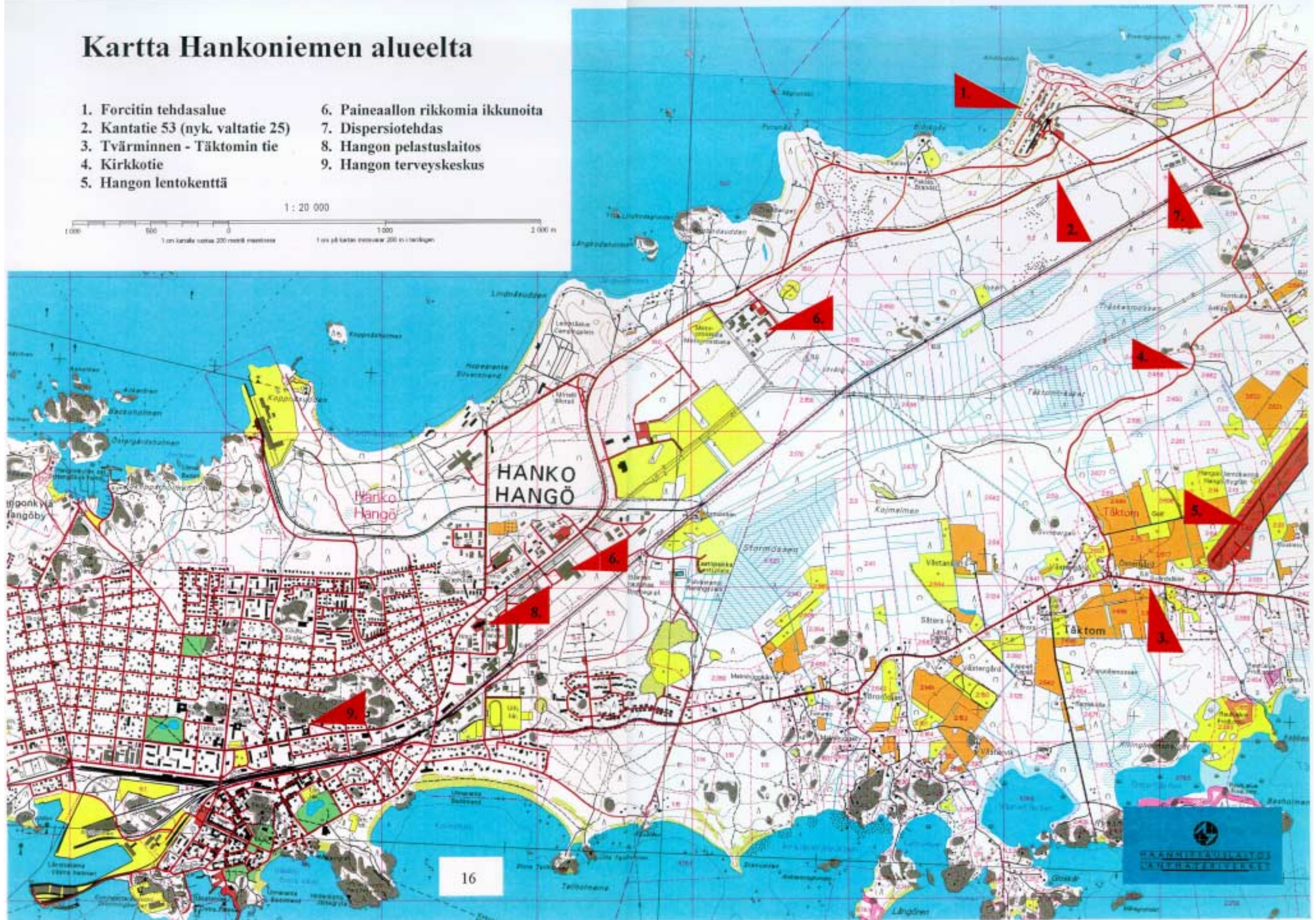


Kartta Hankoniemen alueelta

1. Forcitin tehdasalue
2. Kantatie 53 (nyk. valtatie 25)
3. Tvärminnen - Täktomin tie
4. Kirkkotie
5. Hangon lentokenttä
6. Paineaallon rikkomia ikkunoita
7. Dispersiotehdas
8. Hangon pelastuslaitos
9. Hangon terveyskeskus

1 : 20 000

1 cm kartalla vastaa 200 metristä matkaa 1 cm på kartan motsvarar 200 m i verkligheten



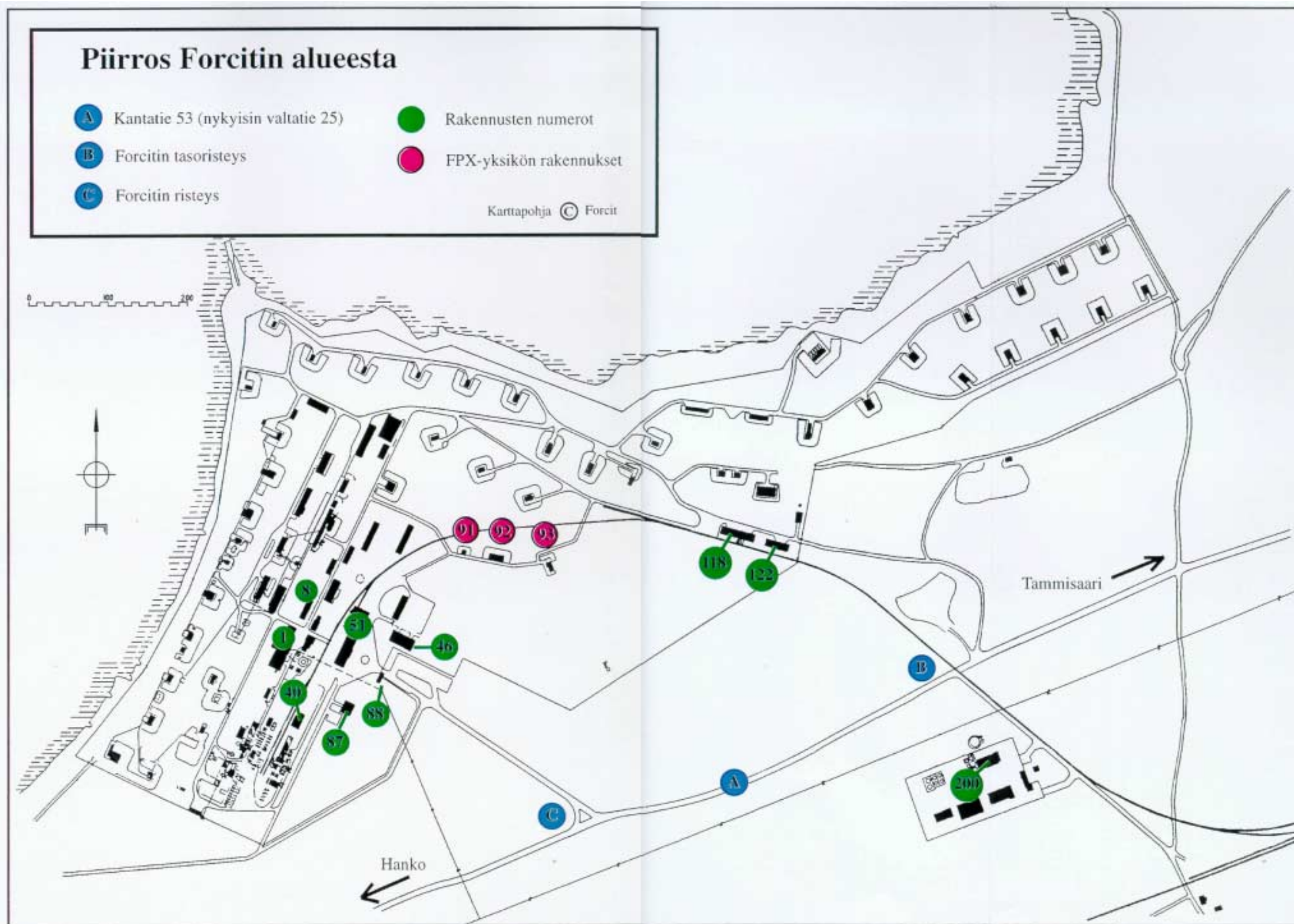


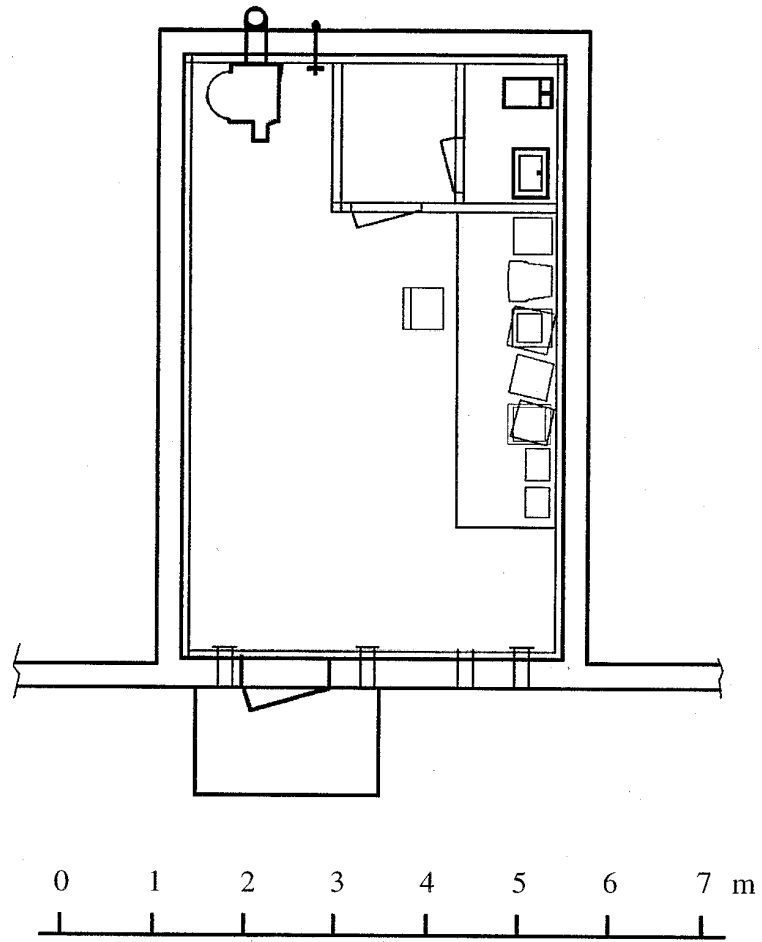
Forcitiin tehdasalue. Nro 1 Dispersiotehdas, nro 2 Kantatie 53, nro 3 Päärakennus, nro 4 Räjähdyksipaikka (rakennus 93).

Piirros Forcitin alueesta

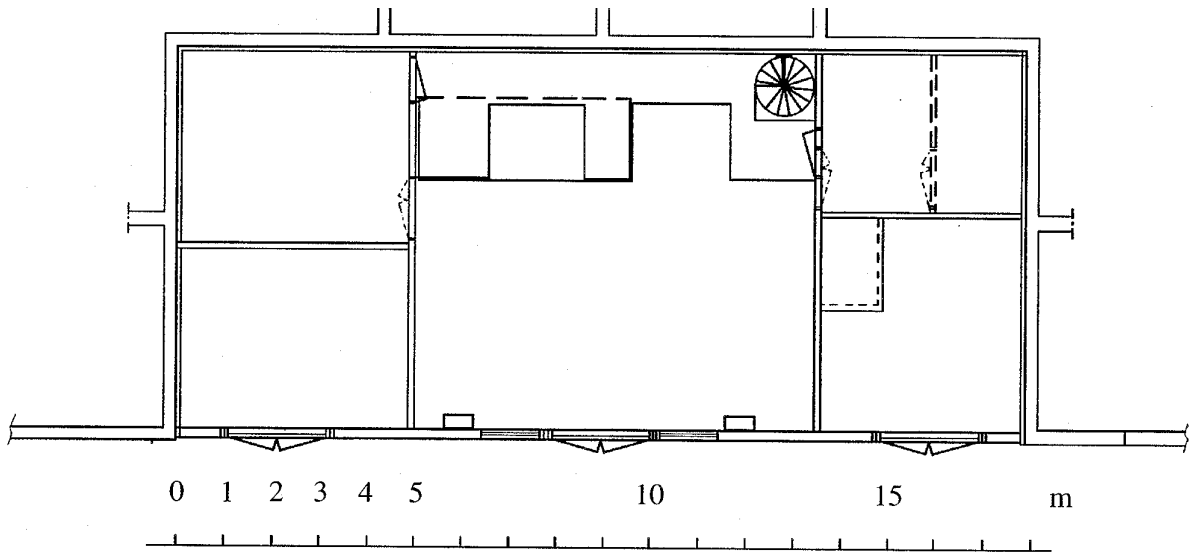
- A Kantatie 53 (nykyisin valtatie 25)
- B Forcitin tasoristeys
- C Forcitin risteys
- Rakennusten numerot
- FPX-yksikön rakennukset

Karttapohja © Forcit

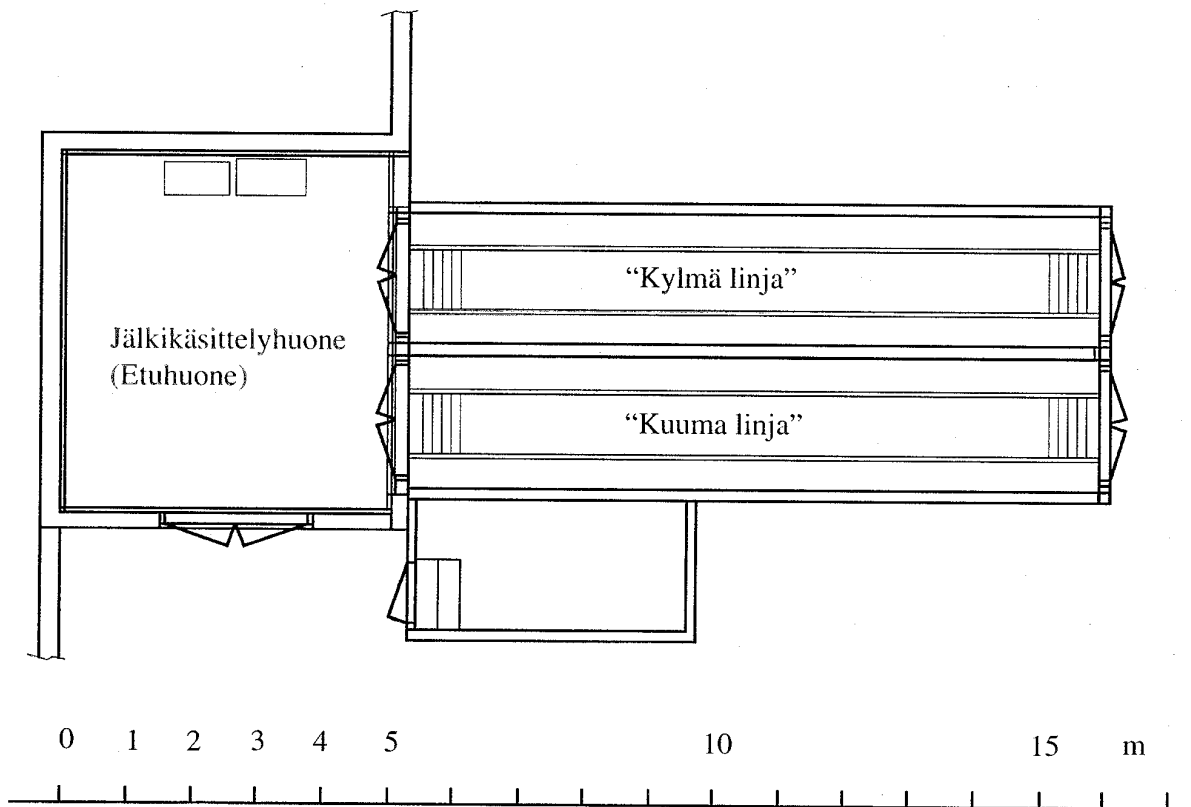




Rakennus nro 91. FPX-yksikön ohjaamo.

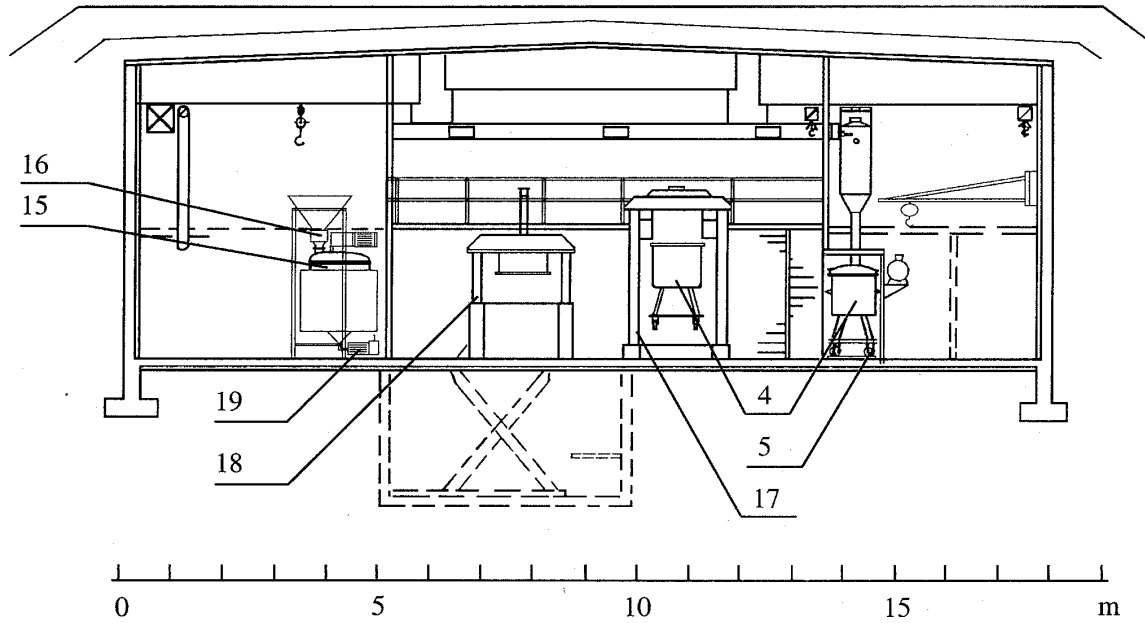


Rakennus nro 92. FPX-yksikön sekoittamo. Kuvattu korjauksen jälkeen.



Rakennus nro 93. FPX-yksikön jälkikäsittelylaitos.

Leikkauskuva sekoittamorakennuksesta nro 92.



Numerointi viittaa kohdassa 4.5.2 esitettyyn valmistuksen kulkuun.

- 4. Sekoitusastia
- 5. Vaaka
- 15. Reaktoriastia
- 16. Sulkusyötin
- 17. Sekoitusasema
- 18. Täyttöasema
- 19. Premix-pumppu

3.3 FPX-yksikön organisaatio

Suunnitellussa tuotanto-organisaatiossa FPX-yksikön työnjohtajana toimi oman toimensa ohella siviiliräjähdyssaineyksikön dynamiittiosaston työnjohtaja. Ennen onnettomuutta ko. työnjohtaja oli ollut vain muutamia kymmeniä tunteja tutustumassa yksikön toimintaan, mutta ei ollut työskennellyt siellä itsenäisesti eikä toiminut vielä lainkaan yksikössä työskentelevän prosessimiehen esimiehenä. Yksikössä työskenteli koekäyttövaiheen aikana yksi tuotantotyöntekijä - prosessimies, joka työskenteli lähinnä sekoittamossa. Hän avusti myös jälkikäsittelylaitoksella, mutta ei työskennellyt siellä itsenäisesti. Koekäytöstä vastasivat ja jälkikäsittelylaitoksessa työskentelivät oman toimen ohella lähinnä kehitys- ja laatu-yksikön vetäjänä toimiva laboratorioinsinööri ja siviiliräjähdyssaineyksikön vetäjänä toimiva käyttöinsinööri. Viimeksi mainittu toimi yksikössä työskentelevän prosessimiehen esimiehenä. Laboratorioinsinööri ja käyttöinsinööri raportoivat säännöllisesti Forcitin toimitusjohtajalle ja räjähdyssainelainsäädännön mukaiselle vastaavalle johtajalle, jona toimi nitrausosaston tuotantopäällikkö (jäljempänä vastaava johtaja), FPX-yksikön käyttöönoton vaiheista.

Yksikön muotoutuminen oli onnettomuuden sattuessa vielä kesken ja koekäyttövaiheen organisaatio oli siten väliaikainen.

3.4 Laatuorganisaatio

Onnettomuuden tapahtuma-aikana Forcitilla oli konsultoiva laatu-päällikkö, joka oli konsernin tytäryhtiön RR-Palvelu Oy:n toimitusjohtaja. Laatu-päällikön varamiehenä toimi edellä mainittu laboratorioinsinööri. Räjähdyssainetehtaan laatu-työryhmään kuuluivat toimitusjohtaja (puheenjohtajana), vastaava johtaja, teknisen palvelun päällikkö, laboratorioinsinööri, laboratorioteknikko, osastoinsinööri, työnjohtaja, myyntipäällikkö sekä laatu-päällikkö (sihteerinä).

Vuonna 1986 Pääesikunta myönsi Forcitin trotyylituotannolle AQAP-4-sertifikaatin (vastaa laatu-standardia ISO 9002). Hyväksyntä laajeni vuonna 1992 kattamaan koko räjähdyssainetuotannon.

Forcitin laadunvarmennusjärjestelmä on laadittu standardin SFS 9001. **Laatujärjestelmät. Malli suunnittelussa tai tuotekehityksessä, tuotannossa, asennuksessa ja toimituksen jälkeisissä palveluissa toteutettavalle laadunvarmistukselle** mukaisesti. Det norske Veritas auditoi konsernin laatujärjestelmän syyskuussa 1992 ja yritys sai ISO 9001 sertifikaatin.

FPX-tuotekehitysprojekti aloitettiin ennen laatu-käsikirjan laatimista. Laadunvarmennusjärjestelmä ei vielä koskenut FPX:n tuotekehitysprojektia, mutta FPX-yksikön liittäminen siihen oli suunnitteilla. Esimerkiksi FPX-tuotannon raaka-aineiden laadunvalvonta oli pyritty järjestämään ja työohjeet (mm. FPXYLA93.RTY, FPXA93.RTY) laatimaan laadunvalvontajärjestelmän mukaisesti.

Vuonna 1992 Forcit liittyi **Responsible Care - Vastuu Huomisesta** -nimiseen kemianteollisuuden vapaaehtoiseen ympäristö-, terveys- ja turvallisuusohjelmaan.

3.5 Työsuojeluorganisaatio

Forcitin työsuojeluorganisaatioon kuuluivat työsuojelupäällikkö ja -teknikko sekä työntekijöiden, toimihenkilöiden ja teknisten toimihenkilöiden työsuojeluvaltuutetut ja heidän varamiehensä sekä työsuojeluasiamiehiä. Räjähdyssainetehtaan työsuojelupäällikkönä oli vuodesta 1992 toiminut oman toimensa ohella konsernin hallinto-osaston henkilöstöjaoston päällikkö. Edellisenä työsuojelupäällikkönä toimi yli 20 vuotta räjähdyssainetehtaan kunnossapitopäällikkö.

Yrityksen työsuojelutoimikuntaan kuului kaksi työnantajan, kaksi toimihenkilöiden ja neljä työntekijöiden edustajaa eli yhteensä kahdeksan henkilöä.

FPX-projektin avainhenkilöt, aikaisemmin mainitut laboratorioinsinööri ja käyttöinsinööri oli nimetty työsuojeluorganisaatioon. Laboratorioinsinööri totesi kuitenkin FPX-yksikköön liittyneiden kiireiden vuoksi joutuneensa usein olemaan poissa esimerkiksi työsuojelutoimikunnan kokouksista. Käyttöinsinööri taas oli II varavaltuutettu, joka ei joutunut osallistumaan kokouksiin.

3.6 Pelastusorganisaatio

Pelastautumisohjeen mukaan Forcitin pelastusorganisaatiota johdettiin johtokeskuksesta. Johtokeskuksessa työskentelivät tekninen johtaja, tehdaspalvelupäällikkö, dispersiotehtaan yhteyshenkilö, sihteeri ja kolme "kuriiria". Onnettomuushetkellä kuriirit olivat tehtaan ja sen tuotteet erittäin hyvin tuntevia henkilöitä (muun muassa FPX-projektissa työskennelleet tuotekehittäjä ja suunnittelija oli nimetty kuriireiksi). Jokaiselle jäsenelle oli nimetty 1 - 2 sijaista.

Johtokeskuksen alaisina toimivat tehdaspalokunta, valvontaryhmä, ensiapuryhmä, sekä neljä teknistä ryhmää (kaksi raivausryhmää, energiahuoltoryhmä ja sähköryhmä).

Sekä sisäistä että ulkoista informaatiota varten oli nimetty vastuuryhmät. Sisäinen tiedottaminen oli suunniteltu tapahtuvaksi huomattavalta osin keskusradion välityksellä. Ulkoista tiedottamista johti Forcitin toimitusjohtaja.

Erikseen oli nimetty vastuuhenkilöt asuinalueen hälytystä varten sekä yhteyshenkilöt dynamiitti- ja varmuusräjähdyssaineosastoon, trotyyliyksikköön (TNT-yksikkö) sekä nitroglyseriini (NG)- ja happoyksikköön.

Organisaation suunniteltu toiminta onnettomuustilanteissa hälytyksen antamisen jälkeen oli:

- **Johtokeskus** perustetaan konttorin toiseen kerrokseen sille varattuun tilaan. Johtokeskukseen siirtyvät siellä työskentelevien em. henkilöiden lisäksi myös osastoinsinööri, tuotanto-osastojen työnjohtajat sekä raivausryhmien johtajat sekä ryhmän koontumisen jälkeen myös ensiapuryhmän johtaja.
- **Puhelinkeskuksen** miehitystä vahvistetaan yhdellä henkilöllä.

- **Tehtaspalokunta** kokoontuu paloauton luo. Radio haetaan johtokeskuksesta.
- **Ensiapuryhmä** kokoontuu varusteidensa luo konttorirakennuksen arkistokäytävään. Ryhmän johtaja siirtyy johtokeskukseen.
- **Valvontaryhmän** tehtävänä on mahdollisimman nopeasti ja luotettavasti tarkistaa räjähdysainetehtaan alueella tapahtumahetkellä olevien henkilöiden sijainti. Apuna käytetään tuntikortteja, portin vieraslistaa sekä työnjohdon ja muun henkilöstön haastatteluja. Ryhmä raportoi johtoryhmälle.
- Mikäli välitön ja ilmeinen vaara ei uhkaa **TNT-yksikköä**, henkilöstö pysyy työpaikallaan ja ajaa prosessin alas osastoinsoörin ja/tai työnjohtajan johdolla.
- **NG-yksikön** prosessi ajetaan alas ja henkilöstö pysyy yksikön ohjaamossa, kunnes "vaara ohi"-ilmoitus annetaan. Työnjohto on yhteydessä yksikköön.
- **Happojen käsittelystä** huolehtiva henkilöstö siirtyy välittömästi osaston sosiaalitoimien pukuhuoneeseen. Työnjohto antaa toimintaohjeet.

Pelastautumissuunnitelmassa ei mainittu FPX-yksikköä.

3.7 Tehtaan viranomaisvalvonta

3.7.1 Teknillinen tarkastuskeskus

Räjähdyksineiden valmistukseen oli haettava teknillisen tarkastuskeskuksen (jäljempänä TTK) lupa. Hakemuksesta, sen sisällöstä sekä tarvittavista liitteistä säädettiin onnettomuuden tapahtuma-aikaan vuonna 1980 annetun räjähdystarvikeasetuksen (85/80) 13 §:ssä. Nytemmin asetus on uudistettu. Nykyisin luvat myöntää Turvatekniikan keskus.

Hakemuksen saavuttua TTK:lle, se käytiin alustavasti läpi ja hakijalta pyydettiin mahdollisesti tarvittavat lisäselvitykset. Tämän jälkeen siitä pyydettiin lausunnot paikallisilta pelastus- ja poliisiviranomaisilla sekä työsuojelupiiriltä. Lisäksi hakemuksesta kuulutettiin laitoksen sijaintikunnassa.

Lausuntokierroksen jälkeen alkoi perustamisluvan käsittely. Siinä yhteydessä tarkistettiin, täyttikö laitos sekä valmisteltavaksi aiottu räjähdysaine kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä (130/80) määritellyt vaatimukset. Tässä yhteydessä selvitettiin:

- olivatko rakennukset käyttötarkoitukseen sopivat
- olivatko sisäiset ja ulkoiset suojaetäisyydet riittävät
- olivatko koneet ja prosessilaitteet käyttötarkoituksiin sopivat
- olivatko valmistettavien räjähdysaineiden sekä raaka-aineiden ja puolivalmisteiden ominaisuudet vaatimusten mukaiset,
- ja olivatko muut valmistuksen edellytykset olemassa.

Tämän jälkeen annettiin ns. perustamislupa, jossa määriteltiin mahdolliset lisävaatimukset.

Kun perustamislupa oli myönnetty ja tuotantolaitos oli valmistunut, hakijan oli pyydettyä käyttöönottotarkastusta. Sen teki TTK yhdessä paikallisten pelastus- ja poliisiviranomaisten kanssa. Tarkastustilaisuuteen kutsuttiin myös työsuojeluviranomaisten edustaja sekä työntekijöiden edustajat.

Tarkastuksen jälkeen voitiin myöntää käyttölupa, jos tarkastuksen tulos sen salli. Ennen käyttöönottotarkastusta ja käyttöluvan myöntämistä voitiin myöntää väliaikainen käyttölupa määräajaksi. Tämä edellytti, että yrityksellä oli hyväksytty vastaava johtaja toimintaa varten, koska tällöin valmistus tapahtui hänen vastuullaan.

Varsinaisen virallisen yhteydenpidon lisäksi räjähddealalle on ominaista myös säännöllinen epävirallinen yhteydenpito.

3.7.2 Työsuojeluviranomaiset

Laki työsuojelun valvonnasta ja muutoksenhausta työsuojeluasioissa (131/73) edellyttää, että tarkastuksia tehdään työpaikoilla niin usein kuin valvonnan kannalta on tarkoituksenmukaista. Asetus työsuojelun valvonnasta (954/73) lisää tähän veloitteen valvoa erityisen tehokkaasti työpaikkoja, joilla on olennaisia hengen ja terveyden menettämisen vaaroja. Työsuojelun alalla tapahtuvaa yhteistoimintaa varten tulee työpaikalle nimetä työsuojelupäällikkö sekä valita työsuojeluvaltuutettu ja työsuojelutoimikunta, milloin työntekijöitä on yli 20.

Työsuojelun valvontaa varten maa on jaettu lääneittäin työsuojelupiireiksi. Forcit kuuluu Uudenmaan työsuojelupiiriin.

Työturvallisuuslain 9 §:n (muutetussa muodossaan laissa 27/87) mukaan työnantajan on tarkoin otettava varteen kaikki, mikä työn laatuun, työolosuhteisiin, työntekijän ikään, sukupuoleen, ammattitaitoon ja hänen muihin edellytyksiinsä katsoen kohtuudella on tarpeellista työntekijän suojelemiseksi joutumasta työssä alttiiksi tapaturmille tai saamasta työn johdosta haittaa terveydelleen.

Työturvallisuuslain (299/58) säännösten ohella on noudatettava myös tiettyä työtä varten annettuja erityissäännöksiä, kuten räjähdysaineiden valmistusta koskevia erityissäännöksiä. Vastaava säännös sisältyy myös tuolloin voimassa olleeseen räjähdystarvikkeasetukseen.

Valtioneuvosto on päätöksellään (280/78) määrännyt räjähdysaineita valvovien viranomaisten yhteistoiminnasta.



4 MUOVISIDOSTEISESTA RÄJÄHTEESTÄ MERIMIINAAN

4.1 Muovisidosteiset räjähdysaineet

Räjähdystarviketiedosto määrittelee muovisidosteisen räjähdysaineen (**PBX, Plastic-Bonded Explosive**) seokseksi, joka sisältää yhtä tai useampaa korkeaenergistä räjähdysainekomponenttia ja sideaineena toimivaa polymeeriä (**ns. polymeerimatriisi**) sekä seoksen ominaisuuksiin vaikuttavia lisä- ja apuaineita.

Polymeeri tarkoittaa suurimolekyylistä ainetta, jonka molekyylit muodostuvat samanlaisista tai samankaltaisista molekyyleistä polymeroitumalla (toisiinsa liittymällä).

Polymeerimatriisi on polymeerin ja silloittuneen polymeerin muodostama kiinteä, viskoelastinen (ajan ja/tai rasituksen funktiona muotoaan muuttava) runkorakenne, johon räjähdys- ja paloaineet ovat dispergoituneina.

Muovisidosteisten räjähdysaineiden kehitystyö aloitettiin heti toisen maailmansodan jälkeen USA:ssa. Silloin katsottiin tarpeelliseksi kehittää uusi räjähdysaine, jolle voidaan saada useita erilaisia ominaisuuksia riippuen käytettävistä komponenteista. Ominaisuuksia, joihin voidaan vaikuttaa, ovat:

- energiatiheys
- detonaationopeus
- detonaatiopaine
- mekaaniset ominaisuudet
- herkkyys
- kemiallinen stabiliteetti
- dimensiostabiliteetti
- panoksen muoto
- homogeenisuus yhdisteessä

Detonaatio tarkoittaa iskuaallon synnyttävää räjähdysaineen kemiallista reaktiota.

Kemiallinen stabiliteetti tarkoittaa aineen pysyvyyttä kemiallisesti muuttumattomana ajan kuluessa.

Dimensiostabiliteetti (mittapysyvyys) tarkoittaa aineen pysyvyyttä alkuperäisessä muodossaan ja tilavuudessaan ympäristöolosuhteiden muuttuessa.

Homogeenisuus (yhtenäisyys, yhtenäisistä osista koostuva) tarkoittaa tässä yhteydessä lähinnä mahdollisimman yhtenäisestä massasta koostuvaa materiaalia.

Tällä hetkellä suoritetaan muovisidosteisten räjähdysaineiden tuotekehitystä ja tutkimusta useassa eri maassa (esimerkiksi USA, Ranska ja Englanti) nimenomaisena tavoitteena erilaiset sotilaalliset sovellutukset.

Muovisidosteisten räjähdysaineiden tyypillisiä etuja ovat:

- iskuherkkyttä vähentävät elastiset ominaisuudet,
- terminen stabiliteetti,
- minimaalinen tai mitätön kutistuminen valun jälkeen (valettaessa ei synny onkaloita ja korkeissa lämpötiloissa ei tapahdu valumista eikä uudelleenjärjestymistä),
- kiinnittyminen valettaessa hyvin kuoren seinämiin,
- epäherkempi shokki-iskulle kuin perinteiset räjähdysaineet,
- taipumus mieluummin palaa kuin detonoida räjähdysaineen joutuessa avoimeen liekkiin
- kemiallinen stabiliteetti

Terminen stabiliteetti tarkoittaa, ettei lämpötilan muutos aiheuta muutoksia räjähdysaineessa.

4.2 Epäherkät räjähdystarvikkeet

Käsitteet epäherkkä räjähdystarvike (**IM, Insensitive Munition**) ja epäherkkä räjähdysaine (**IHE, Insensitive High Explosive**) ovat peräisin USA:sta, jossa laivasto julkaisi 1984 epäherkkiä räjähdystarvikkeita koskevan ohjelman, jossa edellytettiin, että kaikki laivaston uudet räjähdystarvikkeet vuoteen 1995 mennessä ovat epäherkkiä ja täyttävät suorituskyyvaatimukset.

Syynä ohjelman käynnistämiseen olivat monet laivoilla sattuneet onnettomuudet, joissa tulipalo tai yksittäisen tarvikkeen räjähdys aiheutti läheisyydessä olleiden muiden tarvikkeiden räjähtämisen ja vahinkojen moninkertaistumisen.

Arviointiperusteena räjähdystarvikkeen epäherkkyydelle on yleisesti käytetty vuonna 1988 luonnoksella julkaistussa MIL-STD 2105A (NAVY):ssa esitettyjä kriteerejä.

Tavoitteena on ollut, ettei mikään ulkopuolinen ärsyke aiheuttaisi tarvikkeen räjähtämistä.

4.3 FPX-räjähdysaineen kehittäminen

FPX-räjähdysaineen kehittämiseen myöhemmin keskeisesti vaikuttanut suomalainen räjähdysainekemisti (jäljempänä tässä tutkintaselostuksessa hänestä käytetään nimi-

tystä **FPX:n keksijä**) oli 1970-luvulla useita vuosia Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen palveluksessa. Ollessaan Raikka Oy:n (suomalainen räjähdysaineteollisuutta harjoittava yhtiö; jäljempänä Raikka) palveluksessa hän työskenteli vuosina 1982 - 83 Yhdysvalloissa tutkien lisähapettimen käyttöä räjähdysaineissa. Tällöin hän tutustui niiden valmistuksessa käytettävään litiumperkloraattiin, jolloin hänellä kehittyi ajatus sen käytämisestä räjähdysaineena tai sen komponenttina. Perusteina olivat havainnot aineen ominaisuuksista ja tehokkuudesta perinteisempiin hapettimiin kuten kaliumperkloraattiin verrattuna.

Palattuaan Suomeen hän otti vuonna 1984 yhteyttä Forcitiin yhteisen muovisidosteista räjähdysainetta koskevan tuotekehityshankkeen käynnistämiseksi. Raikka ja Forcit tekivät sopimuksen heksogeenipohjaisen muovisidosteisen lisähapettimella varustetun räjähdysaineen kehittämisestä. Yhteistyö tämän sopimuksen perusteella tapahtui 1985 - 86. Käytännössä tuotekehityksestä vastasi FPX:n keksijä. Vuonna 1985 hän perusti konsulttiyrityksen, joka teki Raikan ja Forcitin kanssa sopimuksen tuotekehitystyöstä.

Heksogeeni on erityisesti sotilaallisiin tarkoituksiin käytetty voimakas räjähdysaine.

Samanaikaisesti Pääesikunnan aseteknillinen osasto oli kiinnostunut ontelopanoksen räjähdysaineen kehittämisestä. Puolustusvoimat ei osallistunut sen tuotekehityskustannuksiin, mutta Raikka ja Forcit saivat tehdä kehittämällään räjähdysaineella kokeita Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen koekentällä. Niissä ei saatu tyydyttäviä tuloksia ja Raikka vetäytyi hankkeesta.

Forcitilla uskottiin edelleen ideaan muovisidosteisesta räjähdysaineesta ja tuotekehitystä yhdessä FPX:n keksijän kanssa päätettiin jatkaa. Tuotekehitystyön tuloksena oli muovisidosteinen räjähdysaine FPX-01. Sitä kokeiltiin helmikuussa 1988 Pioneerivarikolla Keuruulla, mutta sen teho ei ylittänyt Puolustusvoimissa jo käytössä olevalla räjähdysaineella ladattujen välineiden tehoa. Näihin kokeisiin Puolustusvoimat antoi Forcitin käytettäväksi kylkimiinat, joihin räjähdysaine ladattiin.

Toukokuussa 1988 Forcit tarjosi FPX-01:tä Puolustusvoimien sotilasräjähdysaineeksi ja elokuussa sovittiin sen testaamisesta Lakialassa. Tulokset saatiin huhtikuussa 1989, mutta räjähdysainetta ei otettu käyttöön, koska Puolustusvoimilla ei tuossa vaiheessa ollut tällaisen räjähdysaineen tarvetta.

Merivoimat olivat jo vuonna 1986 osoittaneet kiinnostusta muovisidosteisen räjähdysaineen käyttöön merimiinassa ja 10.10.1988 Merivoimat ja Forcit tekivät sopimuksen 273/Meri -88. Tavoitteena oli kehittää shokkienergiapainotteinen merimiinan räjähdysaine, jonka teho olisi 1,5-kertainen valettuun trotyyliin verrattuna. Myös tähän tuotekehityshankkeeseen muovisidosteisten räjähdysaineiden asiantuntemus ostettiin FPX:n keksijältä. Merivoimien mukaantulo merkitsi käytännössä kehitystyön alkamista lähes alusta.

Syksyyn 1989 mennessä oli käynyt ilmi, että uuden räjähdysaineen ongelmana oli hygroskooppisuus. Tämän vuoksi tehtiin 18.9.1989 uusi sopimus 269/Meri-89. Tuotekehityshankkeen tavoitteeksi asetettiin räjähdysaineen hygroskooppisuuden vähentäminen,

vaikka tämä tapahtuisikin räjähdysenergian pienen vähenemisen kustannuksella. Tavoitetta ei saavutettu. Räjähdysaine jäi edelleen hygroskooppiseksi.

Hygroskooppisuus tarkoittaa aineen taipumusta absorboida vettä.

Tuotekehityshankkeen I ja II vaiheista vuosina 1988-89 on laadittu loppuraportti **Polymeerisidosteisen räjähdysaineen kehittäminen, PBX - FPX - FPX-AI** (OyForcit Ab, 22.12.1989).

Kehitystyö sai uuden suunnan, kun Merivoimat ja Forcit solmivat 23.4.1990 sopimuksen 144/Meri-90, jossa tavoitteeksi asetettiin tuote, joka täyttää MIL-STD 2105A (NAVY) standardiluonnoksen vaatimukset.

Kesäkuussa 1990 ja lokakuussa 1990 FPXAI-räjähdysainetta testattiin alumiinikuorissa. Kummallakaan testauskerralla räjähdysaine ei täyttänyt sille asetettuja epäherkkyysvaatimuksia. Merivoimat lievensi niitä 9.11.1990 siten, että lopullisen tuotteen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- 1) Fast Cook-Off (nopea kuumentaminen, MIL-STD 2105A (NAVY) mukainen testi).
- 2) Slow Cook-Off (hidas kuumentaminen, YK:n julkaiseman, vaarallisten aineiden kuljetuksiin liittyvän testaus- ja arviointikäsikirjan mukainen SCB-testi).
- 3) Bullet Impact (ammuntakoe, MIL-STD 2105A (NAVY) mukainen testi).
- 4) Paineiskuheerkyttä tutkiva GAP-testi, jossa räjähdysaineen tuli osoittautua vähintään yhtä epäherkäksi kuin vaihtoehtoinen ranskalainen tuote B2211 ja mielellään epäherkemäksi kuin valettu trotyyli.

Kokeiden yhteydessä tutkittiin myös räjähdysten välittymistä.

FPXAI-räjähdysaineen ohella kokeiltiin muitakin räjähdysaineseoksia.

Tutkimusedellytykset paranivat merkittävästi syys-lokakuun vaihteessa 1990, kun Forcit sai käyttöönsä tyhjötyöskentelyyn suunnitellun viiden litran sekoittimen. Uudella laitteella tehdyssä koesarjassa räjähdysaineen koostumusta muutettiin huomattavasti. Koesarjan tuloksena kehitettiin uusi FPX-4-räjähdysaine, jonka koostumus on jatkossa pysynyt lähes muuttumattomana.

Marraskuussa 1990 tehtiin vedenalaisia kokeita. Alumiinikuorissa räjäytetyllä FPX-4:llä saatiin räjähdystehon osalta hyviä tuloksia: shokkienergia oli 1,59-kertainen valettuun trotyyliin verrattuna.

Eri osapuolten 1.3.1990 jälkeen suorittamasta kehitystyöstä on laadittu loppuraportti **Polymeerisidosteisen räjähdysaineen kehittäminen, FPX, III-vaihe** (Oy Forcit Ab, 31.1.1991).

Helmikuussa 1991 Niinialossa tehdyissä kokeissa FPX-4:n todettiin täyttävän epäherkkyysvaatimukset ampumiskokeen osalta. SCB-testin ja polttokokeen vaatimuksia se ei täysin täyttänyt. Samaan aikaan oli esillä Plastilon Oy:n (jäljempänä **Plastilon**) kehittämän uuden polyesterimuovisen miinankuoren käyttöönotto.

FPX-4 oli edelleenkin hygroskooppista. Merivoimat päätti hyväksyä tämän ominaisuuden merimiinan räjähdysaineessa asettaen tavoitteeksi, että täyttö tapahtuisi tyhjässä ja kuori olisi täysin tiivis.

Merivoimien komentaja päätti 26.6.1991, että FPX-4 otetaan merimiinan räjähdysaineeksi.

Heinäkuussa 1991 päätettiin vielä tehdä epäherkkyystestit 13 kappaleella muovikuoria 13 kg:n FPX-4-latauksia (Tilaus 223/Meri-91). Kokeet suoritettiin lokakuussa 1991. Polttokokeessa ne olivat epäherkempiä kuin vastaavat alumiinikuoriset lataukset, mutta eivät aivan täyttäneet epäherkkyysvaatimuksia.

Epäherkkyystestejä suoritettiin vielä syyskuussa 1992. Käytetyt kappaleet olivat edellisissä testeissä käytettyjä pienempiä noin 3 kg räjähdysaineita sisältäviä, mutta ne sisälsivät aiemmasta poiketen myös räjäyttimen. Poltto- ja välityskokeiden tuloksia on eri yhteyksissä tulkittu eri lailla.

Marraskuussa 1991 alkoi merimiinan räjäyttimen kehittäminen yhteistyönä Forcitiin ja Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen kesken.

Kaikki kokeet räjähdysaineen kehittämisessä tehtiin korkeintaan 13 kg latauksilla.

4.4 FPX-tuotekehityshankkeen osapuolet ja niiden tehtävät

Merimiinaan soveltuvan muovisidosteisen räjähdysaineen tuotekehitysprojekti käynnistyi Merivoimien tilauksella 1988. FPX:n tuotekehitys tehtiin pääosin FPX:n keksijän konsulttiyrityksen ja Forcitiin yhteistyönä. Tuotekehityshankkeeseen olennaisesti liittyvät räjähdysainetestit suunniteltiin pääasiassa Merivoimien ja Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen yhteistyönä. Ne toteutti pääasiallisesti Puolustusvoimien Tutkimuskeskus.

Tuotekehitysprojektin edistymistä seurattiin FPX-projektineuvotteluissa, joihin osallistui Forcitiin, Merivoimien, Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen sekä myöhemmässä vaiheessa myös kuoren valmistajan Plastilonin edustajat. Projektineuvotteluja pidettiin 2.8.1990 - 9.9.1992 välisenä aikana kahdeksan kertaa. Puheenjohtajana kokouksissa toimi yleensä kokouksen järjestäjän edustaja ja sihteerinä Merivoimien edustaja.

FPX:n keksijä siirtyi Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen palvelukseen vuoden 1991 alussa ja jatkoi siellä räjähdysaineen kehittämistä.

Forcitiilla tuotekehitysprojektin edistymistä seurattiin ja toimintaa suunniteltiin vakiintuneissa jokapäiväisissä aamupalavereissa sekä tehtaalle 12.8.1991 perustetussa FPX-projektiryhmässä. Aamupalavereihin osallistuivat kaikki työpaikalla olevat, hankkeen kannalta keskeiset toimihenkilöt, myös yhtiön toimitusjohtaja.

FPX-projektiryhmän kokouksissa käsiteltiin valmistusyksikön suunnitteluun ja rakentamiseen sekä tuotantotekniikan kehittämiseen liittyviä asioita. Näihin kokouksiin osallistuivat ryhmän varsinaisten jäsenten lisäksi aina myös toimitusjohtaja räjähdetehtaan tehtaanjohtajan ominaisuudessa ja vastaava johtaja, joita informoitiin lisäksi suullisesti päivittäin. Rakennusprojektin aikana kokouksiin osallistui myös yhtiön tehdaspalvelupäällikkö. Kokouksista pidettiin pöytäkirjaa. Sen paremmin aamupalaverieissa kuin projektiryhmän kokouksissakaan ei kuitenkaan käsitelty räjähdysaineen reseptiin liittyviä asioita.

Kokouksia pidettiin 10.1.1992 - 3.5.1993 välisenä aikana 12 kertaa eli lähes kerran kuukaudessa.

4.5 FPX-räjähdyaine

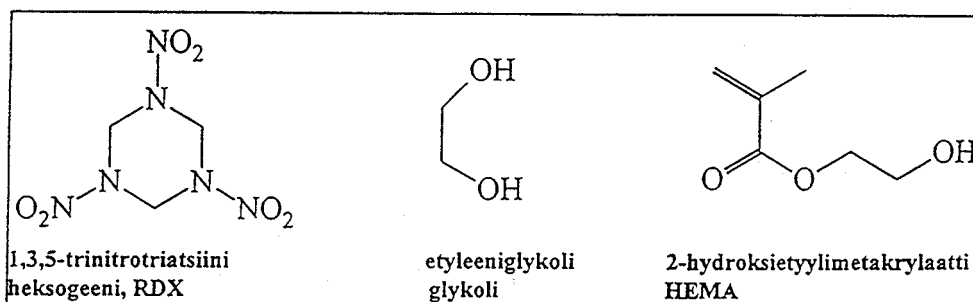
4.5.1 FPX-räjähdyaineen koostumuksen kehitys

Alkuperäinen idea räjähdysaineen kehittämistä aloitettaessa oli hyödyntää epäorgaanista lisähapetinta detonaatio-ominaisuuksien parantamiseen heksogeenipohjaisissa muovisidosteisissa räjähdysaineissa. Tältä pohjalta päädyttiin vuonna 1988 kokeiltuun FPX 01 -räjähdysaineeseen, joka sisälsi heksogeenia 67,3 % ja jossa sideaineena käytettiin glykoli/hydroksietyylimetakrylaattia, johon epäorgaaninen hapetin oli liuotettuna.

Merivoimien tultua hankkeeseen mukaan seokseen otettiin myös hienojakoinen alumiini. Ensimmäiset vedenalaiset kokeet tehtiin FPX Al:llä, jonka koostumus oli:

Heksogeenia (RDX)	31,5%
Alumiinia	25,0%
Litiumperklooraattia	25,0%
Glykolia	9,0%
Hydroksietyylimetakrylaattia (HEMA)	9,5%

jossa HEMA polymeroitumisen jälkeen muodosti polymeerimatriisin.

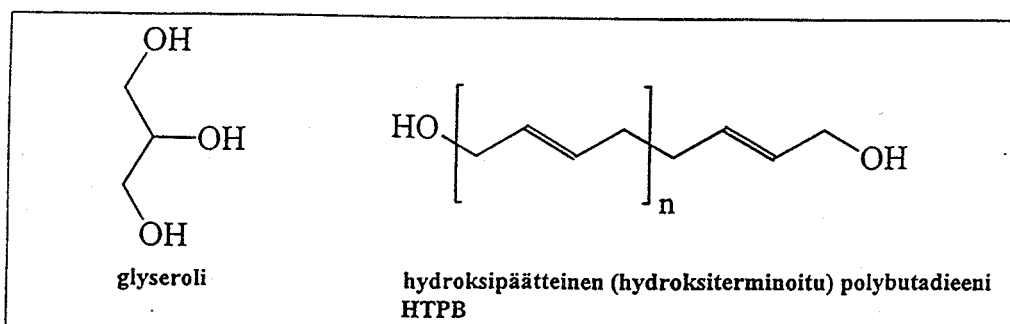


Koska alumiinikuoreen ladattuna räjähdysaine ei kesäkuussa 1990 suoritetuissa kokeissa läpäissyt MIL-STD 2105 (NAVY)-standardiluonnoksen vaatimuksia, koostumusta jouduttiin edelleen muuttamaan. Syksyllä 1990 seoksen todettiin säilyttävän detonaatio-ominaisuutensa, vaikka heksogeeni jätettiinkin pois. HEMA vaihdettiin hydroksiter-

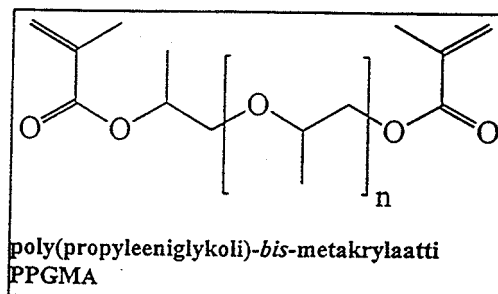
minoituun polybutadieeniin ja glykoli glyseroliin. Näin päädyttiin kolmannen vaiheen raportissa esitettyyn seokseen 4, josta sittemmin käytettiin tunnusta FPX-4. Seoksen koostumus oli aluksi:

Alumiinia	30%
Litiumperklooraattia	48%
Glyserolia	14%
Hydroksiterminoitua polybutadieenia (HTPB)	8%

Massan verkkoutumisen tehostamiseksi (kiinteyttämiseksi) kokeiltiin tässä vaiheessa useita akrylaatteja ja metakrylaatteja.

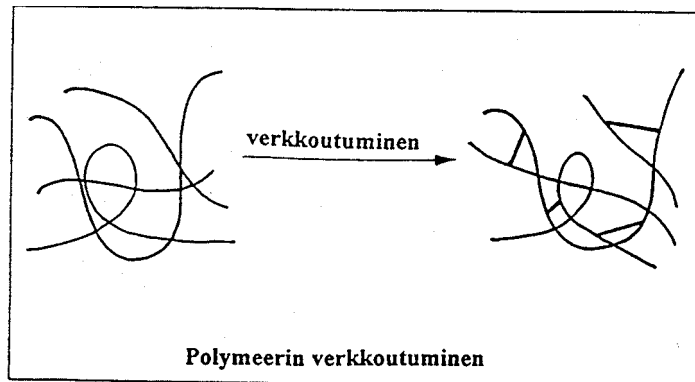


Poly(propyleeniglykoli)-bis-metakrylaatti, PPGMA, osoittautui tehokkaaksi, joten se valittiin verkkouttajaksi.



Projektin kolmannen vaiheen raportissa todettiin koostumuksen vaativan vielä optimointia lähinnä litiumperklooraatin ja glyserolin suhteen. Kesään 1991 mennessä päädyttiin sittemmin tuotannossa käytettyyn koostumukseen:

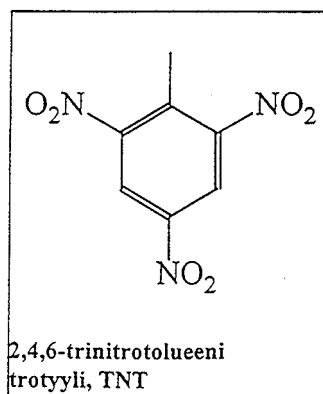
Alumiinia	30%
Litiumperklooraattia	36%
Ammoniumperklooraattia	12%
Glyserolia	12%
HTPB	9%
PPGMA	1%



Räjähdyksineen periaatteellinen muodostuminen on esitetty kotimaisessa patenttihakemuksessa n:o 930460. Sen mukaan oleellista valmistuksessa on polyoliin (=glyseroliin) ainakin osaksi liuenneen happipitoisen metallisuolan (litiumperkloratti + ammoniumperkloratti) dispergointi polymeerimatriisiin. Polymeerimatriisi muodostuu polybutadieeniesipolymeeristä verkkouttajana toimivan akrylaatin tai metakrylaatin verkkouttamana. Seoksessa voi lisäksi olla esimerkiksi alumiinia paloaineena.

Esipolymeerin ja verkkouttajan (HTPB:n ja PPGMA:n) välistä verkkoutumisreaktiota ei tunneta yksityiskohtaisesti, mutta sen oletetaan tapahtuvan litiumperkloratin käynnistämänä tai lämmön vaikutuksesta pääasiassa siten, että PPGMA liittyy HTPB:n kaksois-sidoksiin.

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 1 on esitetty FPX-4:n ja valetun trotyylin (2,4,6-trinitrotolueeni) herkkyysominaisuusvertailu sekä muita FPX-4:lle ilmoitettuja ominaisuuksia. On huomattava, että monet testit on tehty vuoden 1990 lopulla seokselle 4, eivätkä tulokset siten välttämättä vastaa lopullisen tuotteen ominaisuuksia.



testi	FPX-4	valettu trotyyli
iskuherkkyys (BAM) (2 kg vasara)	75 cm	80 cm
Iskuherkkyys (30 kg vasara)	3,7 m	> 3,7 m
hankausherakkyys (BAM)	> 36 kg	> 36 kg
humahduspiste (BAM)	276 °C	300 °C
GAP-testi (sisähalkaisija 37,1 mm)	13,4 mm	33,0 mm
GAP-testi (sisähalkaisija 75 mm)	48 mm	138 mm
Tiheys	1,85 g/cm ³	1,59 – 1,61 g/cm ³
detonaationopeus	6.200 m/s	6.900 m/s
Vakuumistabiliteetti (kaasunmuodostus 41 h/100 °C)	0	0,1 ml/g
ampumatesti (Nordtest)	800 m/s	379 m/s
Shokkienergia (vedenalainen)	1,48	1,00
kriittinen halkaisija (pleksiputkessa)	50 mm	

Taulukko 1. FPX-4:n ja valetun trotyylin (TNT) ominaisuuksien vertailu

4.5.2 Valmistuksen kulku

FPX-täytteisen merimiinan taistelulatauksen valmistus jaettiin seuraaviin vaiheisiin:

- raaka-aineiden annostus, esiseoksien 1 ja 2 valmistus
- FPX-massan sekoitus
- FPX-massan täyttö kuoreen
- jälkikäsittely

Valmistus oli ohjeistettu seuraavilla osastokohtaisilla ohjeilla:

- FPX-yksikön prosessikuvaus (FPX PR A 93.R, 13.5.1993)
- Työskentelyohjeet FPX-yksikön henkilökunnalle (FPX A 93.RTY, 13.5.1993)
- Työohjeet FPX-yksikössä työskenteleville (FPX YLA 93.RTY)
- Tuotanto-olosuhteiden seuranta/taistelulataus (FPX-yksikkö, 21.3.1993)
- FPX-yksikön laadunvalvontaohjeet (FPX A 93.RLO, 13.5.1993)

Esiseos 2:n (Premix) valmistus

Premix-erä valmistettiin tarpeen mukaan, noin kerran viikossa.

Operaattori valitsi halutun reseptin, jolloin laitteisto ensin annosteli tarvittavan HTPB-määrän ja sen jälkeen alumiininauheen punnituskennoilla olevaan reaktoriastiaan.

Punnitut määrät tulostuivat automaattisesti raporttikirjoittimelle.

Esiseos 1:n punnitus

Litiumperkloraaatti ja ammoniumperkloraaatti punnittiin omiin säiliöihinsä.

Operaattori valitsi halutun reseptin, jolloin glyseroli- ja PPGMA-pumput pumppasivat halutut määrät omiin välisäiliöihinsä.

FPX-massan sekoitus

Operaattori pumppasi ensin tarvittavan Premix-määrän sekoitusastiaan. Sen jälkeen siihen annosteltiin tarvittavat määrät litiumperkloraaattia, ammoniumperkloraaattia ja glyserolia.

Sekoitus tapahtui sekoitusasemassa ohjelmoitavan logiikan ohjaamana ja valvomana. Sen aikana siihen lisättiin välisäiliöön mitattu PPGMA.

Ennen sekoituksen päättymistä tulostettiin mittausarvot sekoitusolosuhteista.

Massan täyttö kuoreen

Massan täyttö kuoreen tapahtui täyttöasemassa.

Esilämmitetty miinan kuori tuotiin täyttöasemaan ja kytkettiin sekoitusastiaan.

Täyttö tapahtui puristusmännällä automaattiohjauksella.

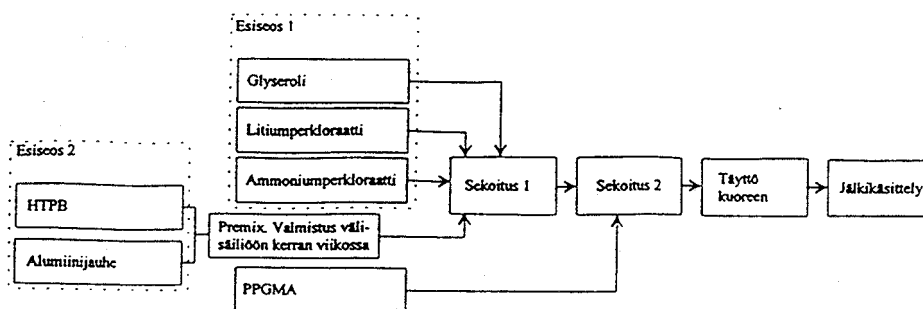
Jälkikäsitely

Täytön jälkeen miinan kuori vietiin jälkikäsitelyosastoon, jossa sitä säilytettiin valitut ajat ensin kuumalla linjalla + 70 °C:ssa ja sen jälkeen kylmällä linjalla + 20 °C:ssa.

Jälkikäsitelyosastosta poistamisen jälkeen räjähdysaineen pinta työstettiin oikealle korkeudelle ja siihen porattuun reikään sijoitettiin räjäytin.

Räjähdyksaineen pinta peitettiin silikonilla, jonka jälkeen suoritettiin miinan loppukoonpano ja miina kiinnitettiin kuormalavalle varastoon vietäväksi.

Yhteenveto valmistusprosessista esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Miinan raaka-aineet ja valmistusprosessin päävaiheet.

4.5.3 Laadunvalvonta

Laadunvalvonta voitiin jakaa kahteen alueeseen

- raaka-aineiden ja massojen analysointi ja
- vaakojen ja mittareiden tarkastukset.

Laboratorio vastasi raaka-aineiden analysoinnista merkittäviksi katsottujen ominaisuuksien osalta laitekannan asettamin rajoituksin.

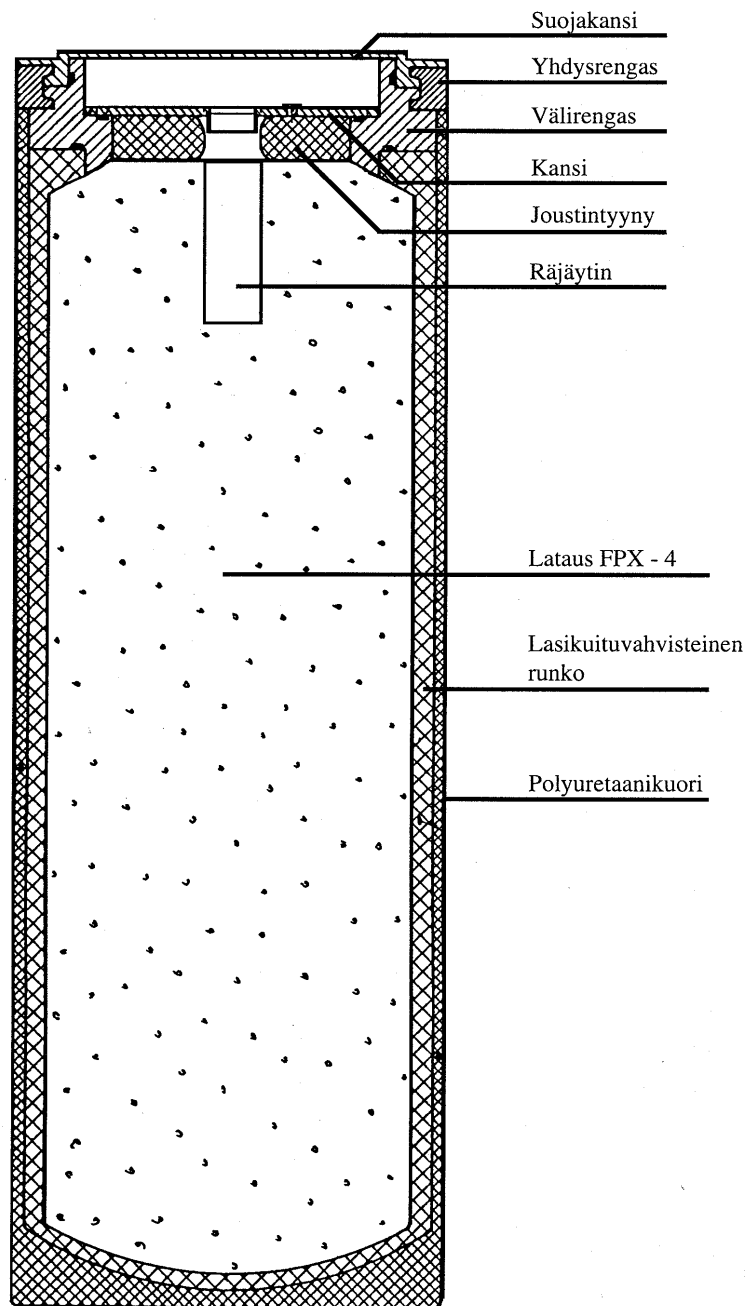
4.6 Merimiina

FPX-yksikössä valmistettiin Merivoimien tilaamaa merimiinalatausten koe-erää. Forcitin osuutena miinojen valmistusprosessissa oli räjähdysaineen valmistus, kuoren täyttö, räjäyttimen valmistus ja kiinnitys sekä latauksen sulkeminen ja lähettäminen Merivoimille jatkokäsittelyä varten.

Sivulla 34 on kokoonpanokuva valmiista latauksesta ja sivulla 35 valokuva valmiista miinasta.

Koska massa kutistui voimakkaasti jäähtyessään, suoritettiin räjähdysainetäyttö käyttäen sivun 36 kuvassa olevaa lisärenkasta. Lisärenkaalla mahdollistettiin täyttö siten, että pinta jäähtymisen aiheuttaman kutistumisen jälkeenkin jäi riittävän korkealle. Jälkikäsitelylaitoksella ollessaan miinojen kannet olivat kiinni neljällä ruuvilla. Viimeistelyvaiheessa välirengas poistettiin ja miinan kansi kiinnitettiin paikalleen kaikilla kahdeksalla ruuvilla.

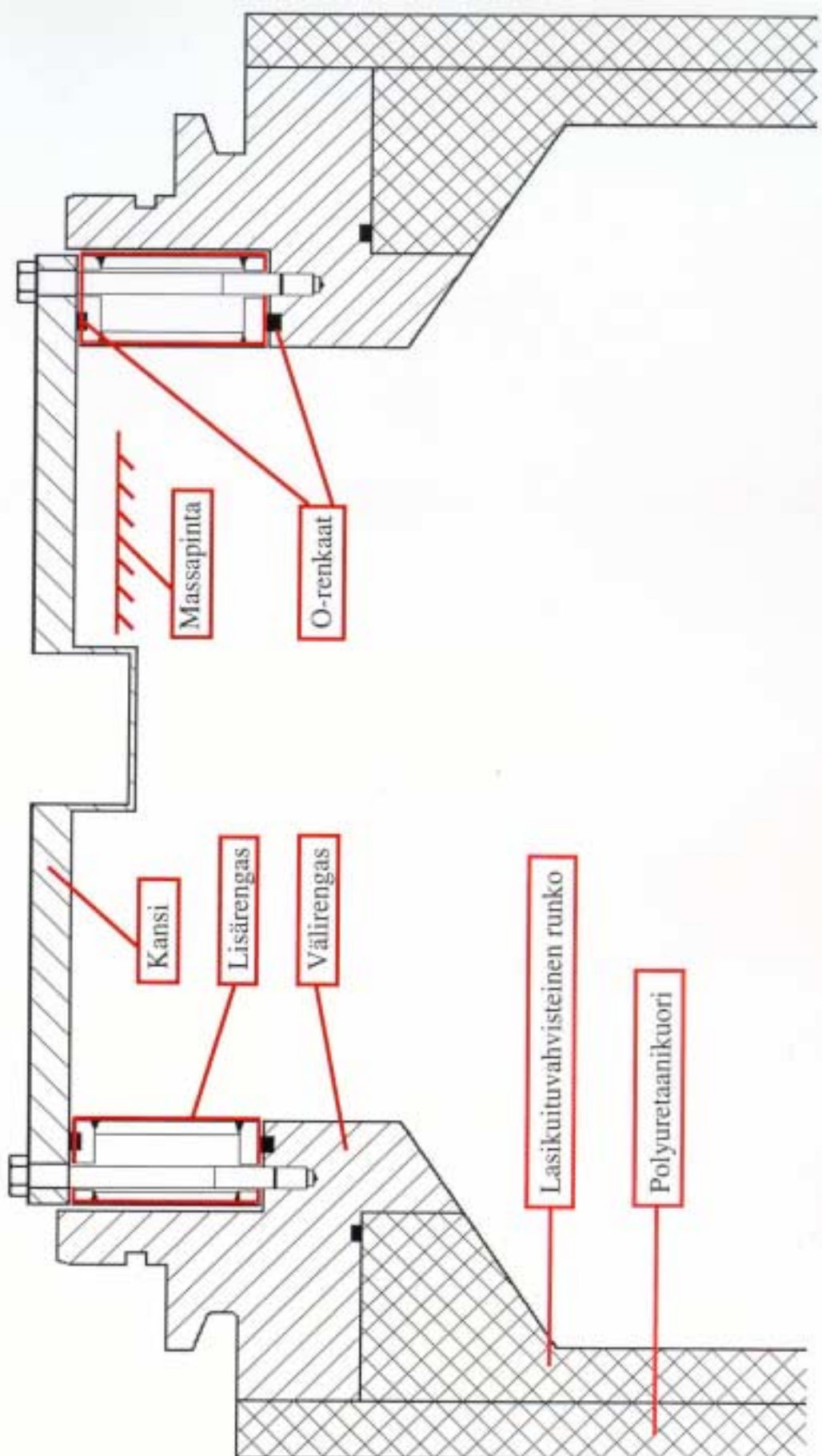
Leikkauskuva merimiinan latauksesta





Miina valmistuksen aikaisella kuljetusalustalla

Leikkauskuva miinan kauluksen rakenteista täyttövaiheen aikana.



5 ONNETTOMUUS

5.1 Tapahtumat ennen onnettomuutta

FPX-räjähdyksineen tehdasmittakaavainen tuotanto alkoi helmikuussa 1993. Ensimmäiset tällä räjähdysaineella täytetyt miinat, joiden numerot olivat 1 ja 2, valmistuivat 18.2.1993. Miinojen räjähdysaine vaikutti hyvälaatuiselta. Jälkikäsitteilyn päätyttyä todettiin kuitenkin, että räjähdysaine oli kutistunut. Miinoja säilytettiin ensin Forcitin ulkovarastossa, mutta sittemmin ne siirrettiin takaisin jälkikäsitteilyosaston kylmälle linjalle. Miinat tuhoutuivat onnettomuudessa.

Seuraavien miinojen kuoret oli varustettu juoksevalla numeroinnilla, joka alkoi numerosta 5001. Miina 5001 valmistui 18.3.1993. Se luovutettiin myöhemmin Merivoimille. Miina jäi eräässä harjoituksessa meren pohjaan. Se nostettiin kuitenkin pinnalle ja räjäytettiin Kittilässä 8.9.1993 järjestettyjen räjäytyskokeiden yhteydessä.

Miina 5002 valmistui 25.3.1993. Sen valmistuksen yhteydessä räjähdysaineen kutistumisilmiö pyrittiin saamaan hallintaan. Miinan kuoren sisäpinnalle liimattiin noin metrin korkuinen, 3 mm:n paksuinen kankaalla vahvistetusta kumista tehty vyö. FPX-projektiryhmässä työskennellyt käyttöinsinööri epäili tässä vaiheessa, että aika, minkä miina oli jälkikäsitteilylaitoksessa, ei ollut riittävä räjähdysaineen sideaineen polymeroitumiseksi. Siihen asti miinat olivat seisseet 10 päivää kuumalla linjalla ja toiset 10 päivää kylmällä linjalla. Säilytysaika kylmällä linjalla pidennettiin nyt 20 päivään.

Miinalle 5002 tehtiin kuumalla linjalla räjähdysaineen lämpötilaseurantaa lämpöanturin avulla tilan lämpötilaa vaihdellen. Tällöin havaittiin, että joissakin tapauksissa mitattu lämpötila saattoi laskea jopa alle huoneen alimman lämpötilan.

Miinan 5002 valmistuksen aikana ohjausjärjestelmään tuli vika. Sekoittamon konehuoneen lämpötila nousi liian korkeaksi ja ohjelmointilogiikan kortti vioittui. Saksalaisen laitetoimittajan edustaja oli korjaamassa vikaa 19 - 23.4.1993. Korjauksen yhteydessä ohjelmiston toimintaa säädettiin. Korjaustyö jäi valmistajan edustajan lähtiessä hieman kesken, mutta hän saapui Hankoon uudelleen 9.5.1993, teki ohjelmistoon joitakin muutoksia ja ajoi automatiikkaohjelman sisään.

Vian takia miinojen valmistus oli keskeytyksissä. Vika ei kuitenkaan estänyt kymmenen harjoitusmiinan valmistamista Puolustusvoimille 24.4 - 6.5.1993 välisenä aikana. Näissä räjähdysaine oli korvattu täyteaineella. Harjoitusmiinojen numerot olivat 5003 - 5012.

Kun laitteisto oli saatu kuntoon valmistettiin 10.5.1993 miina 5013. Räjähdysaineen sekoituksessa ei kuitenkaan käytetty juuri kuntoon saatua automatiikkaa, koska haluttiin tarkkailla eräitä valmistusprosessiin kuluvia aikoja. Sen sijaan seuraavat miinat 5014, 5016 ja 5017 valmistettiin automaattista prosessinohjausjärjestelmää käyttäen. Nämä miinat valmistuivat päivän välein 11 - 13.5.1993. Niiden räjähdysaineessa ei havaittu mitään erikoista. Ne jäivät Forcitin varastoon ja räjäytettiin Kittilässä 8.9.1993.

Miinaa 5015 ei koskaan valmistettu, koska Forcitille ei toimitettu tällä numerolla varustettua miinan kuorta.

Seuraavaa viiden miinan erää (miinat 5018 - 5022) varten valmistettiin 13.5.1993 uusi Premix-erä. Valmistuksessa käytettiin HTPB:tä, joka oli uudesta hankintaerästä. Sen sijaan alumiini oli samasta hankintaerästä kuin aikaisemmin.

Seuraavana päivänä eli 14.5.1993 valmistuneen miinan 5018 räjähdysaine todettiin huomattavasti juoksevammaksi kuin aikaisempien miinojen räjähdysaineet. Miina oli kylmällä linjalla koeluonteisesti tyhjöimussa eikä siinä havaittu yhtä voimakasta räjähdysaineen kutistumista kuin miinoissa 1 ja 2. Sittemmin miinaa säilytettiin Forcitin varastossa ja se räjäytettiin Kittilässä 8.9.1993.

Miinojen 5018 ja 5019 välissä vaihtui glyserolierä. Miina 5019 valmistui 17.5.1993. Myös sen räjähdysaine todettiin juoksevaksi. Räjähdysaineen juoksevuuutta osoittaa se, että aine saatiin sekoittimesta miinan kuoreen pääosin miinaan synnytetyn imun avulla. Vasta täytön loppuvaiheessa jouduttiin käyttämään puristusta. Miina 5019 oli onnettomuuden tapahtuessa jälkikäsitteilylaitoksen etuhuoneessa vaakasuorassa asennossa punnitusvaunun päällä. Miinasta oli poistettu 83 kg räjähdysainetta 4.6.1993 sekä onnettomuuspäivän 7.6.1993 aamuna vielä 80 kg. Ensimmäisellä kerralla poistettu räjähdysaine sekoitettiin miinan 5026 räjähdysaineeseen. Onnettomuuspäivän aamuna poistettu räjähdysaine oli tarkoitus sekoittaa miinan 5027 räjähdysaineeseen, mutta sekoittamista ei ehditty tehdä ennen onnettomuutta. Miina 5019 tuhoutui onnettomuudessa.

Miinat 5020 ja 5021 valmistuivat 18.5 ja 19.5.1993. Myös niiden räjähdysaine todettiin juoksevaksi. Onnettomuuden tapahtuessa nämä miinat olivat jälkikäsitteilylaitoksen kuumalla linjalla ja tuhoutuivat.

Miinat 5019 - 5021 siirrettiin 31.5.1993 aamulla jälkikäsitteilylaitoksen kuumalta linjalta kylmälle linjalle. Ne tarkastettiin samana päivänä, koska silloin valmistuneen miinan 5025 räjähdysaineen pinnalla todettiin heti täytön jälkeen nestettä. Tarkastettaessa miinat 5019 - 5021 havaittiin myös niiden pinnalla noin 3 - 5 litraa nestettä. Neste todettiin 1.6.1993 litiumperkloraatin ja glyserolin seokseksi. Nesteen poistamisen jälkeen näiden miinojen räjähdysaine todettiin huokoiseksi. Massaa on kuvattu sienimäiseksi. Siinä oli huokosia, jotka olivat silmin havaittavissa, halkaisija noin 0,5 - 1 mm.

Miina 5022 valmistui 24.5.1993. Sen räjähdysaine oli kiinteämpää kuin miinoissa 5019 - 5021 ja sen täytössä jouduttiin käyttämään puristusta. Miinassa ei havaittu samanlaista nesteen muodostumista kuin miinoissa 5019 - 5021. Onnettomuuden tapahtuessa miina oli tyhjöimussa jälkikäsitteilylaitoksen kylmällä linjalla. Se tuhoutui räjähdyksessä.

Seuraava Premix-erä valmistettiin 24.5.1993 illalla. Erään käytettiin HTPB:tä uudesta hankintaerästä. Mainittu Premix-erä oli viimeinen ennen onnettomuutta käyttöön otettu. Premix-erästä valmistettiin räjähdysainetta miinoin 5023 - 5026. Miina 5023 valmistui 25.5.1993, miina 5024 26.5.1993, miina 5025 31.5.1993 ja miina 5026 4.6.1993. Miinojen 5023 - 5025 räjähdysaineet olivat täyttöhetyksellä juoksevia. Miinojen 5024 ja 5025

täytössä puristusta jouduttiin käyttämään ainoastaan täytön loppuvaiheissa. Sen sijaan miinan 5023 täytössä puristus jouduttiin aloittamaan jo täytön puolivälissä, koska massa oli jälleen jäykempää.

Miinan 5025 ollessa vielä sekoittamossa havaittiin, että räjähdysaineen pinnalle oli erottunut nestettä. Kuten jo aikaisemmin todettiin, samanlaista nesteen erottumista havaittiin myös samana päivänä kylmälle linjalle siirrettyissä miinoissa 5019 – 5021, mutta ei niiden kanssa samaa Premix-erää olevassa miinassa 5022. Nestettä havaittiin myös kuumalla linjalla olleissa miinoissa 5023 ja 5024. Niissä nestettä oli kuitenkin vähemmän kuin kylmän linjan miinoissa, eikä sitä poistettu.

Käyttöinsinööri totesi ajopäiväkirjoista, että massan juoksevuuteen sekä nesteen erottumiseen liittyvät ongelmat alkoivat miinasta 5018 (valmistettu 14.5.1993). Se oli ensimmäinen, jonka Premix-erän valmistukseen oli käytetty uudesta hankintaerästä olevaa HTPB:tä.

Forcitin edustajat olivat 31.5.1993 yhteydessä FPX:n keksijään. Keskustelussa oltiin yhtä mieltä siitä, että HTPB-hankintaerän vaihtuminen oli aiheuttanut sen, ettei massan polymeroituminen ollut alkanut. Yhteisesti päädyttiin myös ratkaisuun, että uudelleensekoitettaisiin niiden miinojen räjähdysaineet, joissa oli todettu nesteen erottumista ja jotka eivät vielä olleet olleet kylmällä linjalla. Uudelleensekoittaminen on perinteisessä räjähdysaineteollisuudessa normaali käytäntö.

Seuraavana päivänä (1.6.1993) uudelleensekoittamisen mahdollisuudesta keskusteltiin Forcitilla edelleen muun muassa aamupalaverissa. Kenelläkään ei ollut mitään suunnitelmaa vastaan ja miinan 5025 uudelleensekoittaminen suoritettiin samana päivänä. Sen aikana massan käyttäytymistä seurattiin erityisen tarkasti. Lopputuloksena oli normaalia jäykempi massa. Samana päivänä päätettiin siirtää myös kylmällä linjalla olleet miinat 5019 - 5021, joissa oli havaittu nesteen erottumista, takaisin kuumalle linjalle. Ajatuksena oli käyttää niiden räjähdysaine uudelleen. Lisäksi erottuneen litiumperklooraattiliuoksen pelättiin kylmällä linjalla kiteytyvän, jolloin räjähdysaineen käsittely olisi ollut vaarallista.

Seuraavana päivänä (2.6.1993) sekoitettiin uudelleen miinan 5024 räjähdysaine. Miinasta uudelleensekoitettavaksi otettu räjähdysaine osoittautui jäykemmäksi kuin edellisenä päivänä miinasta 5025 otettu. Myös uudelleensekoittamisen jälkeen massa oli selvästi jäykempää kuin edellisenä päivänä miinan 5025 uudelleensekoitettu massa.

Miinan 5023 räjähdysaine otettiin uudelleensekoitettavaksi 3.6.1993. Miina oli ollut tässä vaiheessa jo yhdeksän päivää kuumalla linjalla. Räjähdysaine oli jo niin jäykkää, että se irtosi tyhjennettäessä vain työkalujen avulla kimpaleina. Massa oli sekoitusasemassa klo 08.45 - 10.25. Sekoitustastian lämmitys oli päällä, mutta sekoittimen siipiä pyörytettiin vain seitsemän kertaa, koska jäykkä seos pyrki nousemaan sekoitusastiassa. Myös miinan uudelleentäyttäminen oli räjähdysaineen jäykkyyden takia vaikeaa. Täyttövaiheessa jouduttiin täyttöputken molemmat välilevyt poistamaan. Täytetty miinan kuori siirrettiin jälkikäsitteilylaitoksen kuumalle linjalle klo 15.30.

Yhdeksän päivää vanhan miinan 5023 räjähdysaine oli ollut ennen uudelleensekoittamista jo niin jäykkää, ettei sitä vielä kahdeksan päivää vanhemman miinan 5019 koko räjähdysainemäärän yhtäaikaista uudelleensekoittamista pidetty enää mahdollisena. Niinpä miinasta 5019 otettiin perjantaina 4.6.1993 83 kg räjähdysainetta, joka sekoitettiin osaksi samana päivänä valmistuneen miinan 5026 räjähdysainetta. Lopputuloksena oli kuitenkin jäykkä räjähdysaine.

Kaikki uudelleensekoittamiseen liittyneet miinat 5023 - 5026 vietiin sekoitusvaiheen päätyttyä kuumalle linjalle. Vajaaksi jäänyt miina 5019 vietiin viikonlopun ajaksi myös kuumalle linjalle, mutta se jätettiin vaakasuoraan asentoon punnitusvaunun päälle.

5.2 Onnettomuus

5.2.1 Tapahtumat FPX-yksikössä

Kun työt alkoivat tehtaalla maanantaina 7.6.1993 klo 07.00, FPX-yksikköön saapui ensimmäisenä siellä vakinaisesti työskennellyt prosessimies. Hän oli saanut tehtäväkseen ryhtyä poistamaan räjähdysainetta miinasta 5019. Tästä miinasta oli tarkoitus ottaa räjähdysaineita uudelleensekoittamista varten nyt toisen kerran. Käyttöinsinööri ja tuotekehittäjä olivat siirtäneet miinan jälkikäsitteilylaitoksen kuumalle linjalle 4.6.1993 sen jälkeen, kun siitä oli jo kertaalleen poistettu 83 kg FPX:ää.

Myös käyttöinsinööri tuli FPX-yksikköön pian prosessimiehen jälkeen, koska hän tiesi, että tämän olisi ollut vaikea yksin siirtää kuumalle linjalle vaakasuoraan asentoon jätettyä miinaa sekoittamoon. Miehet siirsivät yhdessä miinan kuljetusalustoineen sekoittamoon. Tässä vaiheessa kumpikaan ei havainnut jälkikäsitteilylaitoksessa mitään poikkeavaa.

Prosessimies ryhtyi sekoittamossa poistamaan räjähdysainetta puisella kaapimella. Käyttöinsinööri jäi hetkeksi paikalle, mutta lähti sitten vaihtamaan päälleen työvaatteita.

Ennen kello kahdeksaa tuotekehittäjä meni sekoittamoon. Prosessimies oli jo poistanut miinasta 5019 melko suuren määrän räjähdysainetta, mutta työ oli vaikeaa, koska räjähdysaine oli hyvin jäykkää. Myös hänen käyttämänsä puinen kaavin oli työhön sopimaton. Tuotekehittäjä hakikin varastosta sahan ja sahasi sekoittamon ulkopuolella kaapimen reunoista pienet palat pois. Uudelleen muotoillulla kaapimella työ kävi paremmin. Onnettomuuspäivän aamuna miinasta 5019 poistettiin räjähdysainetta noin 80 kg.

Kun tuotekehittäjä oli tulossa varastosta sahan kanssa, käyttöinsinööri näki hänet ja sanoi, että heidän pitäisi mennä jälkikäsitteilyosastolle tarkistamaan kuumalla linjalla olevien miinojen kuntoa. Käyttöinsinööri on kertonut, että tarkoituksena oli erityisesti katsoa, oliko perjantaina 4.6.1993 vanhan ja uuden räjähdysaineen seoksella täytetyssä miinassa 5026 tapahtunut nesteiden erottumista.

Ennen tätä käyttöinsinööri ja tuotekehittäjä seurasivat kuitenkin prosessimiehen tekemän räjähdysaineen poistotyön loppuun asti ja sen päätyttyä siirsivät miinan 5019 punnitusvaunulla jälkikäsitteilylaitokseen. Se jäi laitoksen etuhuoneeseen punnitusvaunun

päälle kuljetusalustalleen vaakasuoraan asentoon. Räjähdyksineen poiston loppuvaiheissa sekoittamossa oli myös eräs korjausmies korjaamassa vuotavaa paineilmaletkua. Hän jäi sinne vielä käyttöinsinöörin ja tuotekehittäjän poistuttua jälkikäsitteilylaitokseen, mutta lähti pois pian tämän jälkeen.

Käyttöinsinööri ja tuotekehittäjä menivät kuumalle linjalle. Käyttöinsinööri kytki kuuman linjan puhaltimen pois päältä. Miehet havaitsivat pian, että miinan 5023 kansi oli poikkeuksellisen pullistunut. Kannen 0-renkaan ohi oli vuotanut kourallisen verran eli noin 0,5 kg räjähdysainetta. Tuotekehittäjä poisti ulos pursunneen massan käsin ja vei sen etuhuoneen pöydälle.

Tämän jälkeen ryhdyttiin tarkastelemaan miinaa 5026. Kansi ei ollut pullistunut. Miinan kansi avattiin, jolloin havaittiin räjähdysaineen reunoilla pieniä nestepisaraita. Kansi suljettiin.

Tuotekehittäjä ryhtyi avaamaan miinaa 5023. Hän havaitsi heti, että ruuvit olivat epätavallisen lujassa ja niiden auki kiertäminen vaati tavallista enemmän voimaa. Hän epäili, että syynä tähän oli miinan sisällä vallitseva suuri paine.

Varmuuden vuoksi tuotekehittäjä ryhtyi avaamaan ruuveja kierros kerrallaan. Ensimmäisen kierroksen jälkeen hän piti pienen tauon. Kun mitään erityistä ei tapahtunut, hän aloitti toisen kierroksen. Kierrettyään lenkkiavaimella kolmea ruuvia kierroksen verran auki, hän oli juuri siirtymässä neljänteen ruuviin, kun hän kuuli miinan sisältä voimakkaan sähköisen äänen. Myös käyttöinsinööri, joka oli sillä hetkellä selin tuotekehittäjään päin, kuuli saman äänen. Hän tunnisti sen palavan räjähdysaineen ääneksi. Jompikumpi huusi, että nyt mennään.

Kittilässä 8.9.1993 tehdyn räjäytyskokeen aikana FPX:ää poltettaessa tuotekehittäjä toteutti, että aineen palamisääni oli juuri sellainen ääni, jonka hän kuuli avatessaan miinaa onnettomuuspäivänä. FPX palaa siinä olevien alumiinihiukkasten vuoksi erittäin kirkkaalla liekillä ja sähköisten. Palaminen muistuttaa joulukoristeina käytettyjen tähtisadetikkujen palamista.

Käyttöinsinööri poistui juosten kuumalta linjalta maantien puoleisesta päätyovesta ja tuotekehittäjä etuhuoneen kautta. Juostessaan pois päin laitoksesta molemmat muistavat havainneensa, että ovista tuli harmaata savua, mutta liekkejä ei kumpikaan nähnyt.

Miehet juoksivat kohti ohjaamoja, joka oli FPX-yksikön turvallisin paikka räjähdysten tapahtuessa.

Prosessimies oli sillä välin sekoittamossa ryhtynyt valmistelemaan uuden massaerän valmistusta. Hän kuuli ulkoa juoksuaskeleita ja näki samalla ikkunasta työtovereidensa juoksevan pois jälkikäsitteilylaitokselta. Hän aavisti heidän ilmeistään, että jotakin vakavaa oli tapahtunut. Kun hän avasi oven, käyttöinsinööri käski hänen tulla heti suojaan.

Kun kaikki kolme olivat päässeet ohjaamobunkkeriin, käyttöinsinööri yritti soittaa vastavalle johtajalle, mutta tämän numero ei vastannut. Tämän jälkeen hän soitti toimitusjohtajalle ja ilmoitti, että 93:ssa palaa sekä pyysi tekemään hätäilmoituksen palokunnalle.

Välittömästi tämän jälkeen tapahtui räjähdys. Ohjaamon ovi oli jäänyt miesten sisään tullessa raolleen, mutta räjähdysten synnyttämä paineaalto ei aiheuttanut sisällä mainittavia vahinkoja. Ovi meni kiinni, mutta avautui heti uudelleen raolleen.

Miehet olivat sisällä noin minuutin ja menivät sitten ulos tarkastamaan tilannetta. Heitteet olivat jo pudonneet maahan. Jälkikäsitellylaitoksen ympäristö oli savun peitossa niin, että laitokselle ei voinut nähdä ohjaamon edestä.

5.2.2 Havainnot onnettomuudesta

Forcitiin tehdasalueella oli onnettomuushetkellä kaikkiaan 136 henkilöä. Yhtiön kesätyöntekijät olivat tulleet työhön samana aamuna ja siirtyneet juuri ennen onnettomuutta työpaikoilleen. Liikenne tehdasalueen sivuitse kulkevalla kantatie 53:lla oli vilkasta. Näin ollen lukuisilla ihmisillä on näkö- ja kuulohavaintoja onnettomuudesta.

Eri henkilöiden havainnot tapahtumista eroavat toisistaan erityisesti sen suhteen, montako räjähdystä havaittiin. Monet ovat havainneet vain yhden räjähdysäänen, mutta jopa kolmesta peräkkäisestä räjähdyksestä on kuulohavaintoja.

Forcitiin palveluksessa oleva sorvari oli onnettomuuden tapahtuessa autossaan tehtaan korjauspajan edessä noin 200 metrin päässä jälkikäsitellylaitoksesta. Auton keula oli kohden korjauspajan seinää ja perä suurin piirtein kohti FPX-yksikköä. Sammuttaessaan autonsa moottoria hän näki autonsa sivupeilistä voimakkaan leimahduksen ja kuuli räjähdysten. Auto heilahti paineaallon vaikutuksesta. Pian näiden havaintojen jälkeen, noin 1 - 2 sekunnin kuluttua hän näki toisen, oleellisesti heikomman räjähdysten FPX-jälkikäsitellylaitoksen suunnassa (ks. kuvaa sivulla 45). Ensimmäisen räjähdysten tarkkaa sijaintia hän ei havainnut, mutta toinen räjähdys tapahtui hänen arvionsa mukaan jälkikäsitellylaitoksen etuhuoneen puoleisessa päässä.

Toinen räjähdys synnytti sorvarin havainnon mukaan läpimitaltaan noin 2 - 3 metriä leveän, suoran, pilarimaisen, noin kaksi kertaa ympäröiviä puita korkeamman tulipatsaan, jonka huipulle muodostui musta, sienemuotoinen savupilvi.

Forcitiin traktorinkuljettaja oli tapahtumahetkellä traktorin ohjaamossa tehtaan korjauspajan ja traktorihallin pihassa noin 170 m päässä jälkikäsitellylaitoksesta. Yhtäkkiä hän kuuli voimakkaan räjähdysten takaansa ja paineaalto rikkoi ohjaamon vasemman sivuikkunan. Pian ensimmäisen räjähdysten jälkeen hän kuuli myös toisen räjähdysten. Näiden välistä aikaeroa hän ei pystynyt tarkemmin sanomaan, mutta se oli vain muutamia sekunteja.

Eräs hankolainen yrittäjä oli räjähdystenhetkellä matkalla autollaan Hangosta Tammisaa-reen. Noin sata metriä ennen Forcitiin risteystä hän kuuli räjähdyksestä aiheutuneen äänen. Räjähdys oli ikään kuin humaus, joka ravisteli autoa voimakkaasti. Yrittäjä pysäytti auton hetkeksi. Jatkaessaan matkaa hän havaitsi ns. "Dynamiitin taseisteyksessä" rekan, jonka perävaunun paloa oltiin sammuttamassa.

Muut havainnot on kirjattu liitteenä olevaan Hangon poliisilaitoksen tutkintapöytäkirjaan. Havainnot poikkeavat toisistaan riippuen mm. havainnoitsijan sijainnista räjähdysketkellä. Toisaalta räjähdysten, sitä seuraavan paineaallon ja ilmasta putoavien heitteiden yhteisvaikutus on usein sellainen, että täsmällisiä havaintoja on vaikea tehdä.

5.3 Havainnot onnettomuuden jälkeen

5.3.1 Havainnot tuhoutuneesta jälkikäsitteilylaitoksesta

Jälkikäsitteilylaitos tuhoutui räjähdyksessä kokonaan. Raunioiden raivaamisen jälkeen sen lattioiden jäljelle jääneet osat lakaistiin. Tällöin voitiin todeta, että kuuman linjan lattia oli käytännöllisesti katsoen kokonaan murskaantunut. Niissä kohdissa, missä räjähdysaineella täytetyt miinat olivat seisseet, oli selvästi havaittavat räjähdyskuopat. Betoni oli murskaantunut miinojen kohdalta ja niiden paikalla oli noin 30 cm:n syvyiset kuopat. Raunioista löytyi lisäksi jonkun verran miinoja kannattaneiden teräksisten liukuratojen osia.

Sivulla 46 on kuva tuhoutuneesta jälkikäsitteilylaitoksen raunioista onnettomuuden jälkeen.

Kuumalla linjalla olleen miinan 5027 tyhjän kuoren sijaintikohdassa lattian betoni oli säilynyt ehjänä. Kylmällä linjalla olleiden miinojen sijaintikohdissa betonissa oli pieniä koloja, mutta itse betonilaatta ei ollut murskaantunut samalla tavalla kuin kuumalla linjalla olleiden, räjähdysaineella täytettyjen miinojen alla.

Etuhuoneessa punnitusvaunun päällä makuuasennossa olleen miinan 5019 kohdalla lattiassa oli myös räjähdyskuoppa, josta löytyi miinan alla olleen vaunun osia.

Betonilattioissa oli runsaasti 5 - 50 cm:n pituisia raapaisujälkiä, jotka syntyvät, kun metallinen tai muu betonia kovempi esine iskeytyy suurella nopeudella betonia vasten. Selkeiden jälkien päälle pantiin värilliset muovitikut kuvaamaan niiden suuntaa ja pituutta. Miinojen paikkoja kuvaamaan pantiin miinan pohjan kokoiset lastulevyn kappaleet (pystyssä olleet miinat) tai miinan sivuprofiilin mittoihin sahattu levy (etuhuoneessa makuuasennossa ollut miina). Säteettäisiä jälkiä lähti kaikista kuumalla linjalla olleiden räjähdysainetta sisältävien miinojen sijaintikohdista. Jäljet näkyvät sivulla 47 olevasta kuvasta. Sivun 48 kuvassa on lähikuva iskemäjäljistä.

5.3.2 Heitteet

Räjähdyksen vaikutuksesta heitteitä lensi länsisuunnassa noin 500 metrin päähän lähelle tehdasalueen rajaa, itäsuunnassa noin 600 metrin päähän jälkikäsitteilylaitoksesta, eteläsuunnassa kantatie 53:n toiselle puolelle noin 400 metrin päähän jälkikäsitteilylaitoksesta ja pohjoissuunnassa mereen.

Suuret betonilohkareet lensivät noin 200 metrin säteelle jälkikäsitteilylaitoksesta. Noin 20 - 30 kg:n painoisia betonilohkareita lensi kuitenkin esimerkiksi päärakennuksen länsipuolelle noin 400 metrin päähän. Betonilohkareet olivat pääosin peräisin jälkikäsitteily-

laitoksen kuuman linjan perustuksista, kuuman ja kylmän linjan kaakonpuoleisesta päätyseinästä sekä kuuman ja kylmän linjan väliseinästä. Jälkikäsitteilylaitoksen muut betoniseinät kaatuivat, mutta jäivät ehjiksi.

Suurin heite oli 2,5 m pitkä, 1,0 m korkea betoniseinän kappale, jonka tilavuus oli noin 0,75 m³ ja paino noin 2 000 kg.

Jälkikäsitteilylaitoksen edessä olleet neljä tyhjää miinan kuorta lensivät länteen päin, pisimmälle lentänyt noin 500 metrin päähän. Kylmällä linjalla olleet miinat lensivät 100 - 200 metrin päähän jälkikäsitteilylaitoksen itäpuolelle. Useimpien kylmällä linjalla olleiden miinojen räjähdysaine on jatkanut palamistaan maahanputoamisen jälkeen.

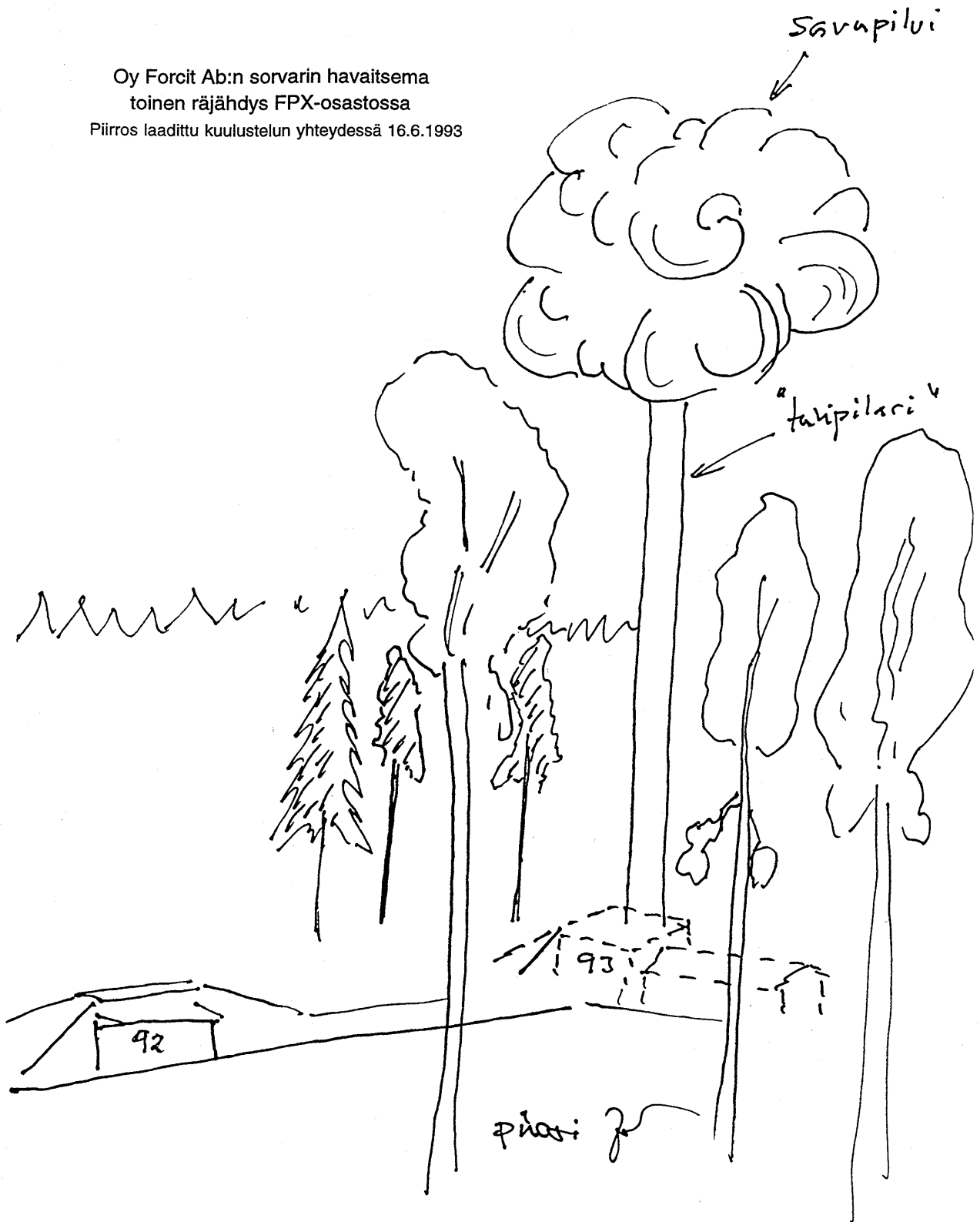
Kylmällä linjalla olleiden miinojen ja jälkikäsitteilylaitoksen edessä olleiden tyhjien miinan kuorien välirenkaat on löydetty niin, että ne on voitu koota palasista ja tunnistaa. Välirenkaat ovat yleensä lentäneet samaan suuntaan kuin miinan kuoret, mutta kauemmaksi.

Kuumalla linjalla olleet miinat ovat pirstoutuneet räjähtäessään niin pahoin, että jäännöksistä on voitu tunnistaa vain miinan 5019 välirenkaan pala.

Maastosta löytynyt räjähtämätön ja palamaton FPX-räjähdysaine oli kokonaisuudessaan jälkikäsitteilylinjan kylmän linjan puolella ja oli ilmeisesti peräisin kylmällä linjalla olleista miinoista. Räjähdysaine löytyi pääosin 100 - 200 metrin päästä jälkikäsitteilylaitoksesta idän ja kaakon välisestä sektorista.

Käsityksen heitteiden leviämisestä saa sivuilla 51 - 53 olevista kuvista.

Oy Forcit Ab:n sorvarin havaitsema
toinen räjähdys FPX-osastossa
Piirros laadittu kuulustelun yhteydessä 16.6.1993





Tuhoutunut jälkikäsitteilylaitos. Kuvan alaosassa nostolava-auton takaosa.



Tuhoutuneen jälkikäsittelylaitoksen lattia puhdistettuna. Valkoiset levyt osoittavat miinojen paikkoja onnettomuuden aikaan. Lattiassa olevat iskemäjäljet on merkitty keltaisilla tikuilla.



Lähikuva tuhoutuneen jälkikäsitteilylaitoksen lattiassa olevista iskemäjäljistä.

5.3.3 Paineaallon vaikutukset

FPX-yksikön ja meren välissä olleiden varistorakennusten seiniä rikkoutui paineaallon seurauksena. Vaurioita kärsineet rakennukset olivat pääasiassa kevytrakenteisia, puurunkoisia, laudoituksella tai peltilevyillä vuorattuja. Myös jotkut tiiliverhoillut rakennukset kärsivät vahinkoja. Sivulla 54 on kaksi kuvaa paineaallon rakennuksille aiheuttamista vahingoista.

Paineaallon leviäminen räjähdyskohdasta ympäristöön on voitu todeta lähinnä sen aiheuttamien vaurioiden perusteella sekä kuulustelujen yhteydessä saatujen todistajakertomusten perusteella. Tehdasalue on sivussa taajamasta ja lähellä merenrantaa. Paineaallon eteneminen eri ilmansuuntiin on voitu todentaa vain siellä, missä on ollut tuhoutuneita tai vaurioituneita rakenteita.

Vakavimmat paineaallon aiheuttamat vauriot ovat sattuneet noin 600 metrin säteellä räjähdyspisteestä. Tämän alueen rakennusten ikkunoita on rikkoutunut runsaasti. Tutkintalautakunta on teettänyt VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion tutkimuksen räjähdysvoimakkuuden arvioinnista ikkunoiden rikkoutumisen perusteella.

Paineaalto vaurioitti myös alueella olleita ajoneuvoja, kuten jaksossa 6.2.3 tarkemmin selostetaan.

Kaukaisimmat vauriot paineaalto on aiheuttanut noin 4,5 km:n päässä räjähdyspisteestä.

Paineaallon ei ole osoitettu aiheuttaneen välittömiä henkilövahinkoja.

5.3.4 Ilmaräjähdykset

Onnettomuuden jälkeen maastosta löytyi kolme kohtaa, joissa suurehko FPX-räjähdyksainekappale oli ilmeisesti räjähtänyt ilmassa. Näissä kohdissa metsässä oli ympyrän muotoinen palanut aukko, jossa puiden kyljet olivat hiiltyneet ympyrän sisäpuolelta ja rungot olivat kallistuneet ympyrästä poispäin.

Suurin "ilmaräjähdykskraateri" oli sekoittamon edessä (ks. kuva s. 64). Toinen suuri ilmaräjähdyks tapahtui tehdasalueen kantatie 53:n puoleisen aidan läheisyydessä noin 300 metrin päässä jälkikäsitteilylaitoksesta kaakkoon (ks. kuvia s. 65 ja 66). Lisäksi noin 400 metrin päässä jälkikäsitteilylaitoksesta itään tapahtui pieni ilmaräjähdyks.

Edellä jaksossa 5.2.2 mainittu Forcitin sorvari on mitä ilmeisimmin nähnyt autonsa peruutuspeilistä sekoittamon edessä tapahtuneen ilmaräjähdyksen ja sen aiheuttaman sienenmuotoisen pilven (ks. kuva s. 53). Ilmaräjähdykset tekevät myös ymmärrettäviksi eri henkilöiden kuulohavainnot useista räjähdyksistä.

5.4 Vaaratilanteet

Heitteet, joita oli runsaasti, eivät aiheuttaneet henkilövahinkoja, mutta muodostivat merkittävän vaaran.

Tehtaalle oli samana aamuna tullut nuoria kesätyöntekijöitä. Kokemattomuutensa vuoksi he eivät turvallisuusohjeista huolimatta osanneet aina toimia annettujen ohjeiden mukaisesti. Muun muassa kaksi maalaustöissä ollutta kesätyöntekijää jatkoi räjähdyspisteestä länteen olevan varastorakennuksen päädyn maalausta räjähdysen jälkeenkin.

Jälkikäsitellylaitoksen räjähdyksessä sinkoutui kylmällä linjalla olleista miinoista osittain palavaa FPX-4-räjähdysainetta itään rakennusten 118 ja 122 suuntaan.

Rakennuksen 118 eteen oli pysäköity puoliperävaunurekka sen lastina olleiden muovituotteiden purkamista varten. Perävaunun muovinen kate syttyi tuleen ja kuljettaja ajoi ajoneuvoyhdistelmän alkusammutustoimien jälkeen ulos tehdasalueelta kantatie 53:lle.

Rekan peräosan ja rakennuksen 118 luona olleet autonkuljettaja, varastomies ja neljä kesätyöntekijää joutuivat vaaraan. Palava räjähdysainekappale osui yhden kesätyöntekijän selkään ja poltti hänen päällään ollutta paitaa aiheuttamatta kuitenkaan muuta vahinkoa.

Ammoniumnitraattia sisältäneen varastorakennuksen 118 katto syttyi tuleen aiheuttaen vaaratilanteen. Paikalle saapuneet sammutusyksiköt keskittyivät ensimmäiseksi tämän kattopalon sammuttamiseen. Ammoniumnitraatti voi tietyissä epäsuotuisissa olosuhteissa räjähtää.

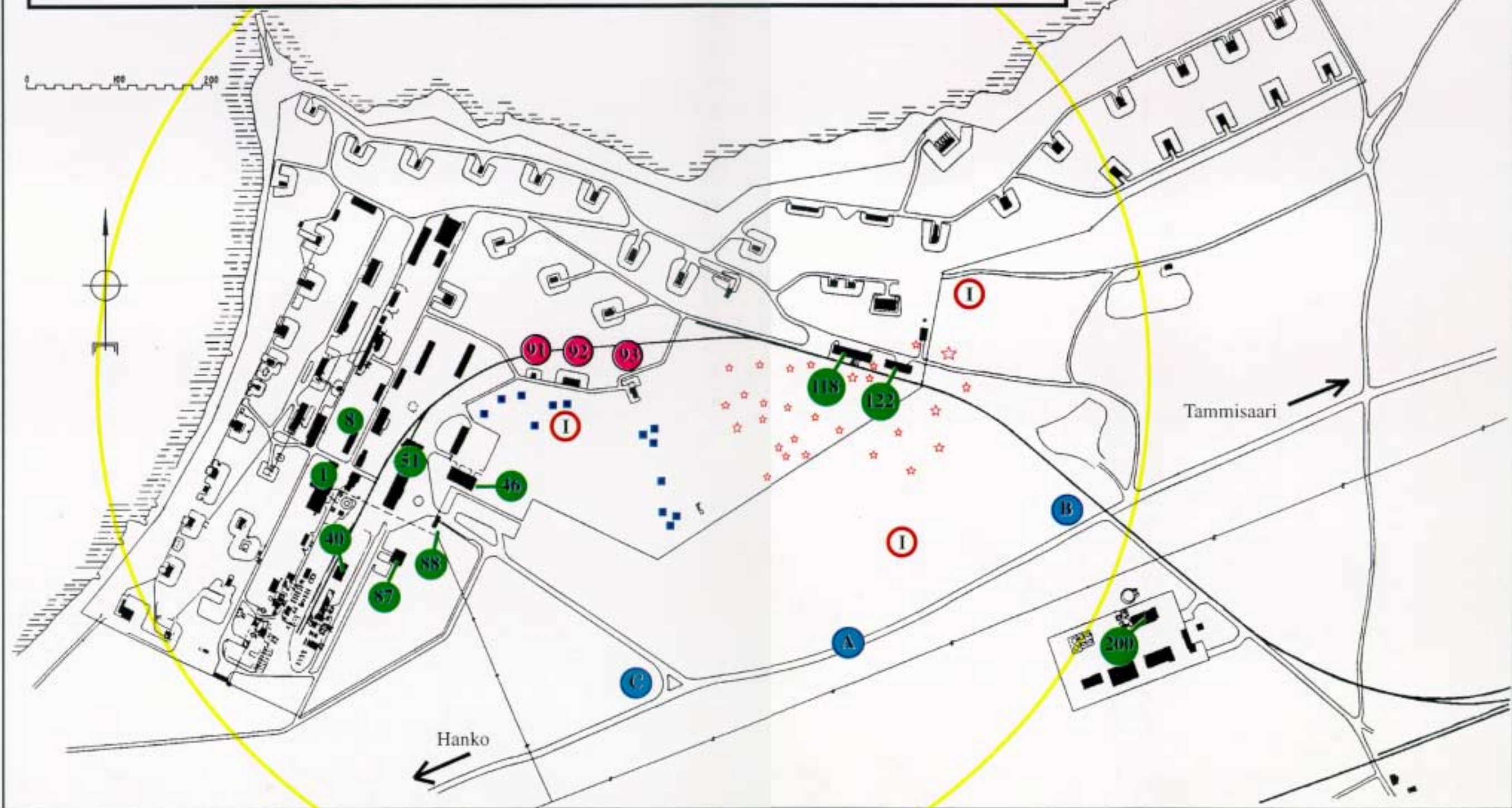
Tehtaan ratapihalla räjähdyspisteestä luoteeseen oli räjähdysaineilla lastattuja rautatievaunuja. Paineaalto vaurioitti vaunujen puisia seinärakenteita.

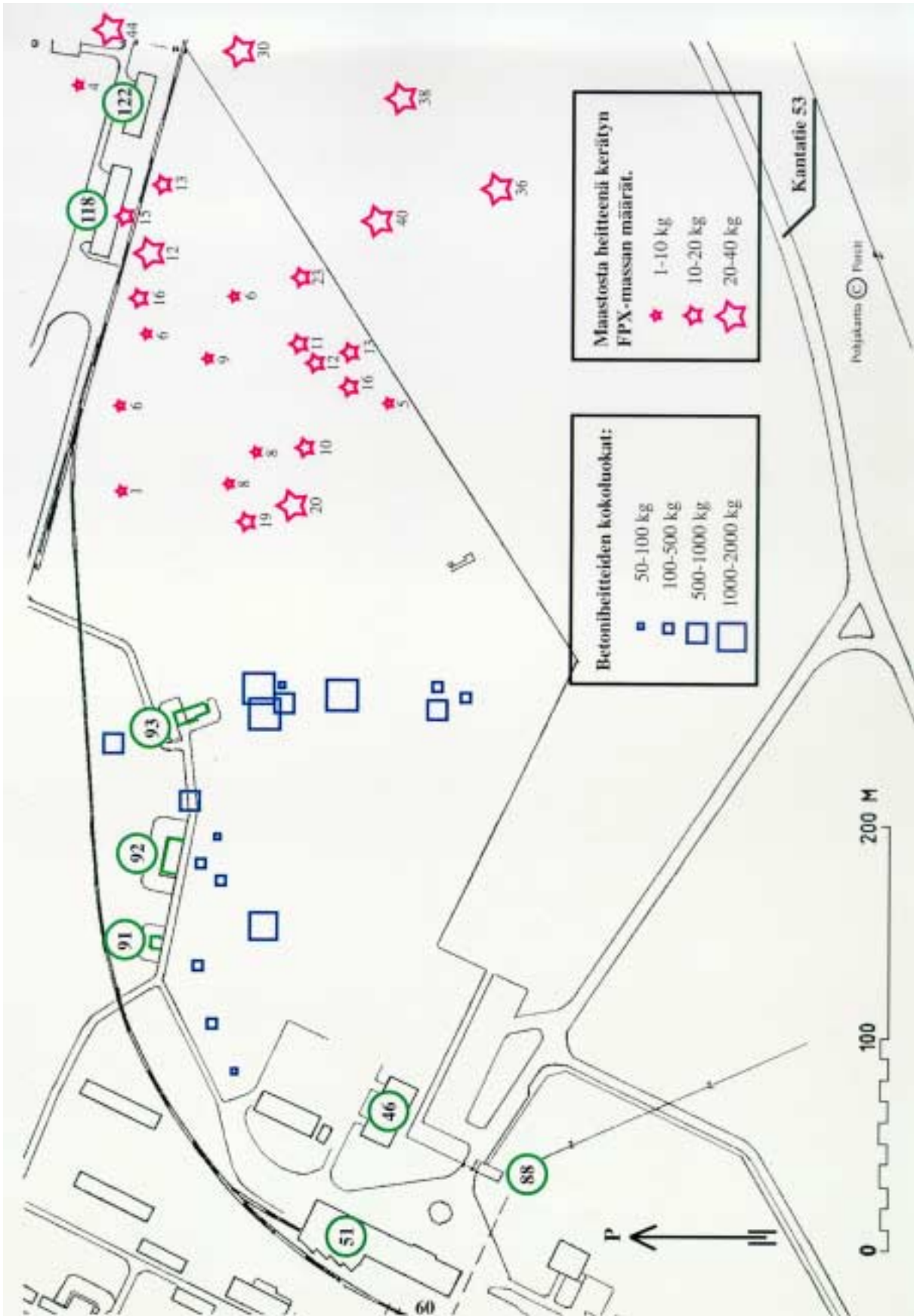
Paineaallon rikkomista ikkunoista sinkoutui runsaasti lasia eri huonetiloihin aiheuttamatta kuitenkaan suurempaa vahinkoa.

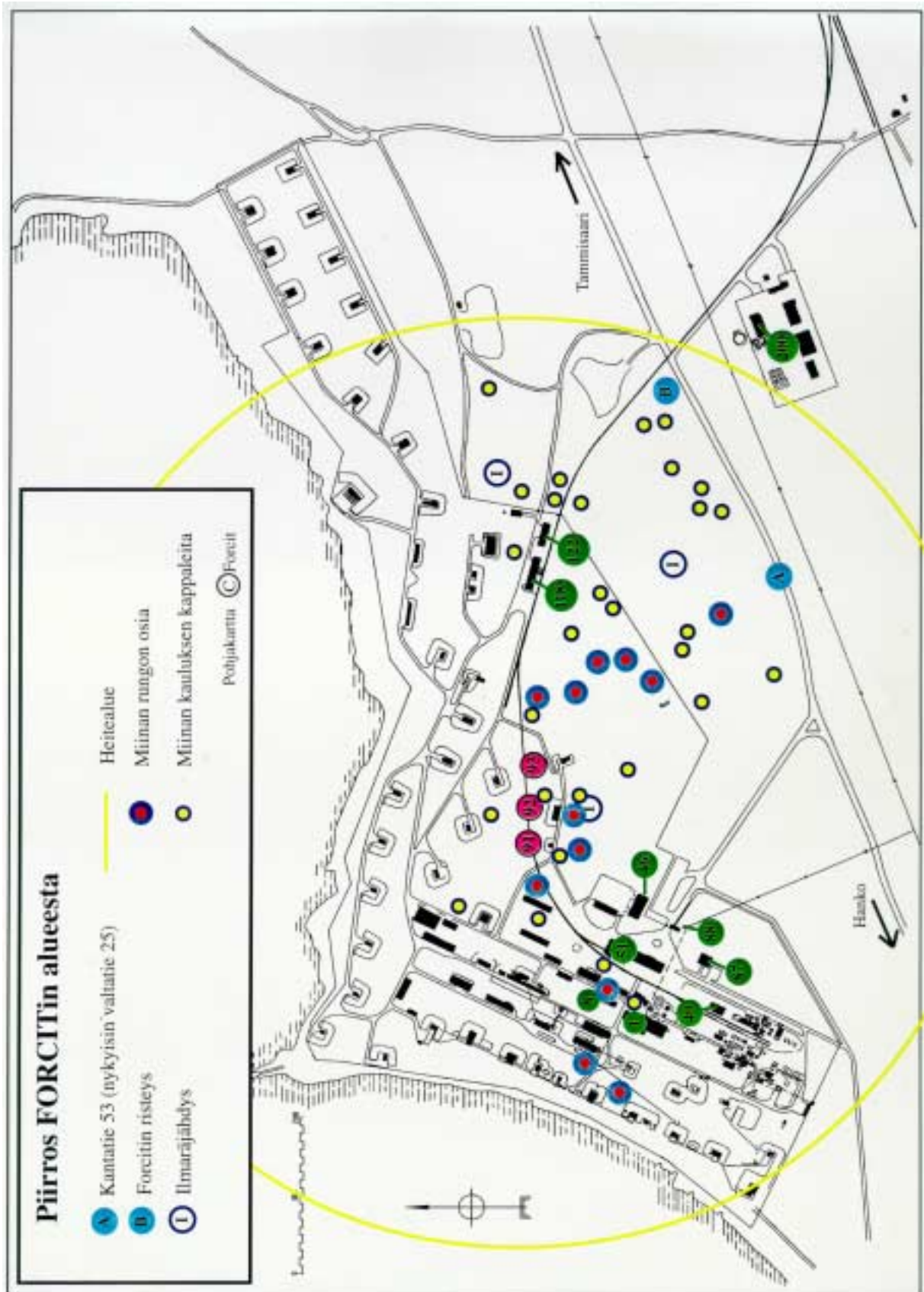
Piirros Forcitin alueesta

Karttapohja © Forcit

- | | | |
|---|----------------------------------|--------------------------------------|
| A Kantatie 53 (nykyisin valtatie 25) | ● Rakennusten numerot | ★ Maastosta kerätty FPX-massa |
| B Forcitin tasoristeys | ● FPX-yksikön rakennukset | □ Betoniheitteet |
| C Forcitin risteys | — Heitealue | Ⓛ Ilmaräjähdys |









Ikkunavaurioita päärakennuksessa



FPX-yksikön sekoittamo onnettomuuden jälkeen



Räjähdyksen aiheuttama palokuvio. Nro 1 osoittaa jälkikäsitteilylaitoksen paikan, nro 2 osoittaa sekoittamon maavallin. Kuvan alareunassa tehtaan pistoraide.



Tehdasalue dispersiotehtaan suunnasta kuvattuna. Vasemmassa reunassa kantatie 53.
Nro 1 Päärakennus, nro 2 Räjähdyspaikka, nro 3 Ilmaräjähdyksen paikka metsässä, nro 4 Varasto 118.



Ilmaräjähdyksen metsässä 400 m etäisyydellä tuhoutuneesta jälkikäsitellylaitoksesta.

6 VAHINGOT

6.1 Henkilövahingot

6.1.1 Loukkaantumiset ja loukkaantumisen aiheuttajat

Henkilövahingot olivat vähäiset räjähdysten voimakkuus ja sen seurauksena syntynyt heitteiden laaja leviäminen huomioon ottaen. Onnettomuudessa kukaan ei kuollut eikä saanut vakavia vammoja. Henkilövahingot rajoittuivat yhteen käsivarren murtumaan, yhteen shokkitapaukseen sekä pintanaarmuihin. Vammoja sai kaikkiaan 15 henkeä.

Mahdollisuus suuriin henkilövahinkoihin oli olemassa. Tehtaan henkilöstön määrä on suuri ja lisäksi tehtaalle kesätyöhön otetut nuoret olivat aloittaneet työnsä onnettomuuspäivän aamuna. Kello 08.30 alkaneen kahvitauon aikana alueen yhdysteillä olisi ollut runsaasti väkeä vailla mitään suojaa.

Kaikki vammoja saaneet olivat räjähdysten sattuessa yhtä kesätyöntekijää lukuunottamatta sisätiloissa, rakennuksissa tai ajoneuvoissa. Vammoja aiheuttivat useimmissa tapauksissa paineaallon rikkomista ikkunoista lentäneet lasinsirpaleet, jotka eivät kuitenkaan aiheuttaneet vakavia vammoja. Yhtään silmävauriota ei syntynyt ja vammat voitiin hoitaa pääasiassa pienin sitein. Vain yksi vamma vaati ompelua terveyskeskuksessa.

Yksi työntekijä kaatui sisätiloissa, jolloin hänen käsivartensa murtui. Tehtaan hoitohenkilöstö antoi potilaalle ensiavun ja sittemmin hänet siirrettiin terveyskeskukseen kuten myös shokkitilaan joutunut työntekijä.

Vaikka heitteitä lensi laajalle alueelle ja suurin niistä oli noin kahden tonnin painoinen, ne eivät kuitenkaan aiheuttaneet suoranaisia vammoja. Varaston 118 luona työskennellyt kesätyöntekijä sai palavaa FPX-räjähdettä selkäänsä. Hänen paitansa paloi, mutta palovammoja ei syntynyt.

6.1.2 Ihmisten psyykinen tila

Onnettomuus aiheutti vain yhden vakavamman shokkitapauksen, joka johti parin viikon sairaalomaan. Henkilöstö on kuulusteluissa kertonut olleensa huolestunut toisten työntekijöiden ja alueella olleiden turvallisuudesta ja kokeneensa räjähdysten järkyttävällä tapahtumana.

Tehtaan johto ja Hangon kriisiryhmä järjestivät 8.6.1993 informaatiotilaisuuden, jossa henkilökunnalle kerrottiin jälkipuinti- (*debriefing*)-mahdollisuudesta ja sen merkityksestä. Jälkipuinti käynnistettiin pikaisesti. Kriisiryhmän jäsenet keräsivät henkilöstöä pienryhmiin sekä yksityiskeskusteluihin, missä käytiin lävitse onnettomuustapahtuma tunneta-solla. Näissä keskusteluissa oli mukana 40 - 50 henkilöä.

Hangon terveyskeskuksen psykologin mukaan useat henkilöt olivat järkyttyneitä tapahtumasta, mutta hänellä ei ole tietoa tapahtuman pitkäaikaisvaikutuksista. Kukaan ei ole ottanut yhteyttä jatkohoitoa pyytäen. Tehtaan terveydenhoitajan ilmoituksen mukaan pitkäaikaisia haittavaikutuksia ei ole ollut tai niistä ei ole hänelle kerrottu.

Kohta onnettomuuden jälkeen alkoi vilkkain kesälomakausi ja sen päätyttyä kaikki työntekijät ovat olleet työssä normaalisti.

6.2 Aineelliset vahingot

6.2.1 Tehtaan vauriot

Aineelliset vahingot olivat huomattavat sekä FPX-yksikössä että tehdasalueen muissa rakennuksissa. Myös työntekijäin yksityistä omaisuutta vahingoittui runsaasti.

Forcitin ilmoituksen mukaan rakennusvauriot olivat suuruudeltaan 5 887 000 mk, mikä pitää sisällään uuden tuotantolaitoksen jälleenrakennuskustannukset. Vauriot aiheutuivat itse räjähdyksestä, tulipaloista, heitteistä sekä voimakkaasta paineaallosta, jonka vaikutus ulottui yli neljän kilometrin päähän tehdasalueen ulkopuolelle. Tuhoutuneiden miinojen arvo oli 861 000 mk.

FPX-yksikön suhteellisen kevytrakenteinen jälkikäsitteilylaitos (rakennus 93) tuhoutui täysin. Sekoittamo (rakennus 92) kärsi painevaurioita kevyen etuseinän murskautuessa, mutta laitteisto ei sanottavasti vaurioitunut. Ohjaamo (rakennus 91) ei vaurioitunut.

Useihin rakennuksiin syntyi eri asteisia vaurioita. Varastorakennuksien 118 ja 122 kattorakenteet vaurioituivat palossa. Heitteet yhdessä paineaallon kanssa rikkoivat lukuisia ikkunoita puitteineen eri rakennuksissa.

Jotkin kevytrakenteiset varastorakennukset kärsivät tuntuvia vaurioita verhoiluun käytettyjen peltien ja lautaseinien repeytyessä irti paikaltaan. Myös eräiden rakennusten tiiliverhoilut sortuivat maahan tai lohkeilivat. Useiden rakennusten katot vaurioituivat paineaallon repiessä peltejä ja heitteiden rikkoessa katemateriaalia.

Tehdasalueella vaurioituivat järjestelyveturi, traktori, kuorma-auto ja kaksi pakettiautoa.

FPX-yksikön välittömässä läheisyydessä ollut puusto tuhoutui räjähdysten vaikutuksesta. Vahingoittuneita puita on sittemmin jouduttu kaatamaan. Palava FPX sytytti myös metsäpaloja itse tehdasalueella sekä tehdasalueen ulkopuolella kantatie 53:n läheisyydessä.

6.2.2 Tehtaan toimintakatkos

Tuotanto-osastojen toiminta keskeytettiin välittömästi onnettomuuden jälkeen. Muiden tuotanto-osastojen kuin tuhoutuneen FPX-yksikön toiminta käynnistettiin asteittain seuraavana päivänä.

Vakuutusyhtiö on korvannut keskeytysvakuutuksen perusteella toimintakatkoksesta aiheutuneet vahingot 2 438 000 markalla.

6.2.3 Yksityisen omaisuuden vahingot tehdasalueella

Forcitin ilmoituksen mukaan tehdasalueella sattuneita yksityisomaisuuden vahinkoja on korvattu 311 000 markalla. Lisäksi on korvattu 34 000 markalla ulkopuolisille aiheutuneita vahinkoja.

Suurin kustannuserä on muodostunut kolmestakymmenestä vaurioituneesta henkilö- ja pakettiautosta sekä yhdestä moottoripyörästä. Pääosa näistä vaurioista syntyi heitteistä sekä paineaallosta, joka painoi muun muassa autojen kattoja lommoille. Myös muita pienempiä vaurioita sattui.

Tehdasalueella vaurioitui myös kolme Valtionrautateiden omistamaa tavaravaunua sekä rakennuksen 122 luona ollut yksityiselle kuulunut kuorma-auto perävaunuineen. Perävaunu syttyi tuleen siihen osuneesta palavasta räjähdysaineesta, jolloin auton kuljettaja siirsi ajoneuvoyhdistelmän kantatie 53:n varrelle. Siellä perävaunun katteena olleesta palavasta muovipeitteestä lensi pisaroita erään kantatiellä liikkuneen yksityisauton päälle aiheuttaen maalivaurioita.

6.2.4 Omaisuusvahingot tehdasalueen ulkopuolella

Voimakkaimman paineiskun otti vastaan Forcitin dispersiotehdas kantatie 53:n toisella puolella noin kuuden sadan metrin päässä tuhoutuneesta FPX-yksiköstä. Tehdasrakennuksesta särkyi runsaasti ikkunoita ja jotkin peltirakenteet vaurioituivat.

Tehtaan lähiympäristössä ei ole asutusta. Lähimmät asuinrakennuksen etelässä ja lounaassa ovat 1 - 1,5 km:n päässä Forcitin omistamalla Björknäsin asuinalueella, missä räjähdyspaine ravisteli rakennuksia, mutta rakennusvaurioita ei ole todettu. Pohjoisen ja koillisen suunnalla 1,5 km:n päässä Sandöströmin alueella rikkoutui muutama ikkuna.

Räjähdyspaine vaikutus rikkoi ikkunoita kaukana tapahtumapaikasta. Hangon kaupungin keskustan suunnassa painevaikutus ulottui pisimmillään 4,5 km:n päähän, missä erään tehtaan varastorakennuksen ikkuna rikkoutui. Tässä samassa suunnassa rikkoutui myös noin 2,5 km:n päässä olleen korkean tehdasrakennuksen yläikkuna.

6.3 Pelastustoiminnan yhteydessä syntyneet vahingot

Pelastustoimien yhteydessä ei syntynyt henkilövahinkoja. Toimintaan osallistuneilta työntekijöiltä turmeltui joitakin vaatekappaleita.

7 PELASTUSTOIMET

7.1 Oy Forcit Ab:n toimet onnettomuustilanteessa

7.1.1 Ohjeet onnettomuustilanteiden varalle

Forcitilla on yleiset turvallisuusohjeet sekä ohjeet pelastautumisesta räjähdysainetehtaan alueelta onnettomuus- ja vaaratilanteissa. Pelastautumisohjeiden mukaan ilmoitus vaaratilanteesta tehdään puhelimella portille numeroon 200 tai painetaan hälytyslaitteen painonappia. Viimeksimainitusakin tapauksessa on tehtävä ilmoitus portille, jolloin todetaan ilmoituksen tekijä, onnettomuuspaikka, onnettomuuden laatu sekä tieto mahdollisista loukkaantuneista. Hälytyksen jälkeen tiedotetaan tapahtuneesta keskusradiolla.

Hälytyksen kuuluessa tulee tehtaan henkilökunnan siirtyä kokoontumispaikkaan konttorirakennuksen kellaritiloihin joko vaara-alueen kiertäen tai, mikäli tilanne sallii, suorinta tietä. Mikäli kokoontumispaikkaan ei voida siirtyä turvallisesti, suojaudutaan lähimpään suojatilaan.

Hälytystilanteen aikaisissa erikoistehtävissä olevat henkilöt menettelevät etukäteen saamiensa ohjeiden mukaisesti. Pelastustöitä johdetaan päärakennuksessa sijaitsevasta johtokeskuksesta. Kun vaaratilanne on ohi, siitä ilmoitetaan keskusradiolla. Niissä suojatiloissa, joissa keskusradio ei kuulu, tulee pysyä, kunnes vaaratilanteen päättymisestä tullaan ilmoittamaan.

Pelastustoimintaa on harjoitettu vuosittain.

7.1.2 Onnettomuusilmoitukset ja hälytys Oy Forcit Ab:ssä

Ohjaamoon päästyään käyttöinsinööri soitti ensin vastaavalle johtajalle, jonka numero ei kuitenkaan vastannut ja heti perään toimitusjohtajalle ilmoittaen, että rakennuksessa 93 palaa. Toimitusjohtaja ei ehtinyt tehdä hälytystä ennenkuin ensimmäinen räjähdys tapahtui.

Portinvartija antoi yleishälytyksen painamalla hälytysnappia toisen kuulemansa räjähdysten jälkeen, jolloin tehtaan sireeni alkoi soida. Tämän jälkeen hän yritti saada yhteyden aluehälytyskeskukseen. Hän ei kuitenkaan saanut puhelinkeskuksen ulkolinjaa toimimaan ja lähti juosten päärakennuksen suuntaan etsimään henkilöä, jolla olisi matkapuhelin käytössään. Päärakennuksessa portinvartija pyysi erästä työntekijää soittamaan autostaan aluehälytyskeskukseen.

Tehdaspalvelupäällikkö juoksi räjähdysten jälkeen johtokeskukseen ja teki myös hälytyksen Tammisaaren aluehälytyskeskukseen radiopuhelimella.

Portille tehtiin vain yksi ilmoitus osastokohtaisista vaurioista.

7.1.3 Toiminta onnettomuustilanteen alkuvaiheissa

Räjähdyksen jälkeen hälytyksen tapahduttua useimmat työntekijät suojautuivat lähimpään suojatilaan. Eri puolilla tehdasaluetta oli juuri aloittaneita kesäharjoittelijoita, joista osa ei osannut hakeutua suojaan. Eräs työnjohtaja kiersi johtoryhmän määräyksestä alueen ja ohjasi kesäharjoittelijat suojaan. Hälytyksen jälkeen suojautumisesta ilmoitettiin keskusradiolla, mutta viesti ei ollut riittävän yksiselitteinen, koska joissakin tilapäis-suojissa viesti ymmärrettiin kehoitukseksi siirtyä päärakennuksen väestösuojaan. Tällöin työntekijät alkoivat vähitellen poistua suojista ilmoittamaan tapahtumasta omaisilleen. Ilmoitusten vuoksi puhelinliikenne ruuhkautui.

Pelastautumissuunnitelman mukaan dispersiotehtaan laboratoriapäällikkö tekee ilmoitukset tehtaan asuinalueille. Tämä ei kuitenkaan onnistunut, koska hänet määrättiin kantatielle ohjaamaan palokunnan tuloa. Laboratoriapäällikkö soitti palopaikalta vaimolleen ja pyysi häntä tiedottamaan asuinalueelle tapahtumasta.

Johtokeskus aloitti toimintansa välittömästi onnettomuuden jälkeen päärakennuksen toisen kerroksen käytävässä puhelinkeskuksen läheisyydessä. Keskukseen siirtyivät suunnitelman mukaisesti vastaava johtaja, toimitusjohtaja, tehdaspalvelupäällikkö, dispersiotehtaan laboratoriapäällikkö, suunnittelija, dispersiotehtaan markkinointipäällikkö, tehdaspalvelutoimen työnjohtaja (raivausryhmä 1:n vetäjä), toimistotyöntekijä ja sihteeri. Johtokeskuksen perusti vastaava johtaja, joka sovitusti lähti kentälle selvittämään tilannetta ja johtokeskukseen vetäjäksi jäi tehdaspalvelupäällikkö. Johtokeskuksella oli käytössään radiotukiasema. Kaksi muuta lähetintä annettiin tehdaspalopäällikölle ja vastavalle johtajalle.

Johtokeskus koordinoi onnettomuuden jälkeisiä toimenpiteitä ja mm.:

- hoiti yhteyttä aluehälytyskeskukseen ja Hangon palokuntaan,
- ohjasi tehdaspalokunnan toimintaa ennen Hangon palokunnan saapumista,
- huolehti onnettomuudesta tiedottamisesta (mm. TTK, asuinalueet),
- piti yhteyttä pelastussuunnitelman mukaisiin toimintaryhmiin ja ohjasi niiden toimintaa, ja
- hoiti tiedottamista tehdasalueella.

Toimenpiteissä korostui varsinainen toiminnan koordinointi. Sisäinen tiedottaminen jäi pelastussuunnitelmassa edellytetyjä toimenpiteitä vähäisemmäksi. Keskusradiotiedottamista oli ilmeisesti liian vähän, koska ihmiset ovat jälkeensä kritisoineet sitä, etteivät he tienneet tilanteesta ja että he joutuivat toimimaan oletusten mukaan.

Johtoryhmän yhteydenpito radiopuhelimella sujui alussa hyvin. Pelastuslaitoksen tultua toimintaan mukaan radioliikenne lisääntyi ja viestien lähettäminen yhteisellä kanavalla vaikeutui ajoittain.

Kello 9.00 tienoilla ylimääräistä huolta aiheuttivat alueen yläpuolella lentelevät helikopterit. Tällöin ei vielä ollut tiedossa, onko alueella turvallista lentää. Helikopterit ohjattiin varmuuden vuoksi pois alueelta niiden otettua yhteyttä laskeutumisluvan saamiseksi.

Ensiapuryhmän johtajana toiminut terveydenhoitaja oli vastaanottotiloissaan päärakennuksessa. Muut ryhmän jäsenet olivat ohjeiden mukaisesti päärakennuksen suojatiloissa. Ensiapua annettiin 10 -15 henkilölle ja shokkitilaan joutunut henkilö toimitettiin terveyskeskukseen.

Samaan aikaan kontrolliryhmä työsuojelupäällikön johdolla selvitti, että kaikki henkilöt löytyvät. Kontrolliryhmän toimintaa vaikeutti työntekijöiden liikkuminen pois suojista. Kaikkien toimihenkilöiden löytyminen varmistui klo 9.00 mennessä, kaikkien kesätyöntekijöiden klo 9.15 mennessä ja kaikkien työntekijöiden klo 9.45 mennessä. Tällöin voitiin todeta, ettei vakavasti loukkaantuneita ollut. Työsuojelupäällikkö ilmoitti tilanteen johtokeskukseen.

Raivausryhmän johtajana toiminut tehdaspalvelutoimen työnjohtaja meni pelastussuunnitelman mukaisesti johtokeskukseen. Raivausryhmä tarkasti alueen, avasi viottuneen pääportin ja ryhtyi alueen siivoustöihin. Koska FPX-yksikköä lukuun ottamatta muut rakennukset eivät saaneet vakavia vaurioita, ei raivausryhmää juurikaan tarvittu varsinaisiin raivaustehtäviin.

Tehdaspalopäällikkö nouti radion johtokeskuksesta ja siirtyi odottamaan ryhmänsä kanssa johtokeskuksen määräyksiä tehtaan sammutusauton luo. Tehdaspalokunta lähti vastaava johtaja mukanaan ilmoituksen saatuaan sammuttamaan varastorakennusta 118, jossa oli ammoniumnitraattia. Samoihin aikoihin tulivat Hangon pelastuslaitoksen yksiköt paikalle.

Energiahuoltoryhmä ja sähkötekniinen ryhmä siirtyivät pelastussuunnitelman mukaisesti tehtaan voimakeskukseen. Johtokeskuksesta tulleen puhelun jälkeen FPX-yksikön sähkönsyöttö katkaistiin.

Johtoryhmä totesi klo 10.10, että vaara on ohi ja väki voi palata työpaikoilleen. Tässä vaiheessa suuri osa työntekijöistä oli jo poistunut suojista. Ilmoitusta ei annettu keskusradion välityksellä, vaan se kulkeutui henkilöltä toiselle.

7.2 Palo- ja pelastusviranomaisten toiminta

7.2.1 Hätäilmoitus

Tammisaaren aluehälytyskeskus sai ilmoituksen räjähdyksestä 7.6.1993 klo 08.19. Sen teki eräs hankolainen yrittäjä autopuhelimella kantatie 53:lta Forcitin kohdalta. Soittaja ilmoitti, että Forcitin luona oli tapahtunut räjähdys ja metsä oli syttynyt palamaan.

Aluehälytyskeskus sai myös erään hankolaisen työnjohtajan ilmoituksen palavasta rekasta kantatie 53:lla Forcitin tasoristeyksen kohdalla. Lisäksi aluehälytyskeskus sai kaksi muuta ilmoitusta, toisen räjähdyksestä ja toisen palavasta rekasta. Ilmoitusten perusteella viranomaiset eivät saaneet selkeää kuvaa siitä mitä oli tapahtunut.

7.2.2 Hälytykset

Hätäilmoituksen saatuaan aluehälytyskeskus antoi hälytysohjeen mukaisesti seuraavat hälytykset:

Kello	Hälytetty yksikkö
08.19	Hangon palolaitos
08.19	Hangon palolaitoksen vapaavuorolaiset
08.22	Yleishälytys Hankoon (aiheuttaa, että palokunnan vapaavuorolaiset ja vapaaehtoinen pelastuspalvelu saavat hälytyksen)
08.24	Hangon poliisilaitos
08.27	Lappohjan ja Tvärminnen VPK:t
08.27	Terveyskeskus informoitiin
08.37	Hangon palolaitoksen virka-apupyyntö Hangon Rannikkopatteristolle
08.37	Skogbyn VPK
08.44	Karjaan VPK
08.50	Ilmoitus Uudenmaan lääninhallitukselle
09.32	Ilmoitus Valtionrautateille

7.2.3 Pelastuspalvelun toiminta onnettomuustilanteessa

Kun Hangon palolaitos oli saanut aluehälytyskeskuksesta hälytyksen klo 08.19, paikalle lähtivät rynnäkköauto (H11) ja tankkiauto (H 14) sekä kaksi ambulanssia (H 191 ja H 192). Lisäksi sinne lähti johtoautolla (H 1) vuorossa ollut apulaispalopäällikkö. Matkalla tuli aluehälytyskeskuksesta tieto, että kantatie 53:lla Forcitin ylikäytävällä palaa rekka.

Apulaispalopäällikkö saapui Forcitin alueelle klo 08.26. Palokunta ajoi Forcitin pääportin luona olevalle pysäköintipaikalle, jossa Forcitin dispersiotehtaan laboratoriopäällikkö liittyi palokunnan mukaan. Palokunta ajoi takaisin kantatie 53:lle palavan rekan luo. Rekka oli kuitenkin jo saatu osin sammuksiin jauhesammuttimella.

Rynnäkköauton miehistö lähti laboratoriopäällikkö mukanaan Forcitin alueelle varastojen 118 ja 122 luo, kun tankkiauto miehistöineen jäi hoitamaan rekan jälkisammutusta. Apulaispalopäällikkö pyysi paikalle sattumalta saapuneita sotilaspoliiseja ohjaamaan liikennettä.

Rynnäkköauto saapui palavien varastojen 118 ja 122 luo noin klo 08.28, jolloin apulaispalopäällikkö antoi käskyn varastojen sammuttamisesta. Apulaispalopäällikkö katsoi, että varastopalot oli saatava ensin hallintaan, koska varastossa 118 oli tietyissä olosuhteissa räjähdysaltista ammoniumnitraattia ja lähistöllä oli räjähdysaineilla lastattuja rautatievaunuja. Varastojen luo saapui samoihin aikoihin myös Forcitin oma tehdaspalokunta ja hieman myöhemmin tankkiauto H 14. Varaston 118 ilmiliekeissä ollut katto ja savuava varasto saatiin sammumaan nopeasti.

Apulaispalopäällikkö pyysi klo 08.37 Hangon Rannikopatteristolta virka-apua metsäpalojen sammuttamiseen. Virka-apuosastoa ei kuitenkaan räjähdysvaaran vuoksi käytetty tähän tehtävään.

Vapaapalokuntien saavuttua paikalle hän jakoi tehtäviä seuraavasti:

- Lappohjan VPK ja Tvärminnen VPK toimivat yhdessä ja sammuttivat FPX-yksikön länsi-pohjoispuolista metsää.
- Hangon vuorossa ollut palomestari (P3) hoiti alueen, johon kuuluivat varastorakennukset.
- Vapaavuorossa ollut palomestari (P 51) ryhmineen apunaan Österbyn VPK:n E 21 ja E 22 sammuttivat välittömässä läheisyydessä olevan metsän FPX-yksikön länsipuolella.
- Kaksi muuta vapaavuorossa ollutta palomestaria (P 61 ja P 62) ryhmineen apunaan Hangon VPK hoitivat varastoalueen takana olevan metsän.
- Tammisaaren paloauton (E 71) apulaispalopäällikkö määräsi varalle.

Apulaispalopäällikkö kutsui noin klo 10.00 ryhmien johtajat kokoon varaston luo, jolloin päätettiin vetää osa autoista pois. Rynnäkköauto (H 11) päätettiin lähettää tällöin varalle paloasemalle.

Apulaispalopäällikkö kävi klo 11.00 tilanteen läpi Forcitiin tehdaspalvelupäällikön kanssa. Sovittiin, että klo 14.00 jälkeen jälkiammutustyöstä vastaa tehdaspalokunta. Viimeiset pelastuslaitoksen autot palasivat takaisin paloasemalle klo 14.17.

Onnettomuuspaikalle saatiin alkuvaiheessa ajoneuvojen mukana yhteensä 9 000 litraa vettä sekä 200 litraa sammutusvaahtonestettä, jota ei kuitenkaan käytetty sekä jauhesammuttimia, joita ei myöskään käytetty. Sammutusvettä ei saatu palopaikalle apulaispalopäällikön arvion mukaan riittävän nopeasti putkien riittämättömän kapasiteetin vuoksi. Vesipostijärjestelmää ei ole suunniteltu laajaa sammutusta varten ja tehtaalla oletetaan, että vesi tulee palokunnan mukana. Lisäksi tehtaan sammutusjärjestelmä toimii sähköpumpuilla, joita ei voida käyttää, kun sähköt vaaratilanteessa joudutaan katkaisemaan koko alueelta. Pelastuslaitoksella oli kuitenkin oman käsityksensä mukaan liian vähän kalustoa veden kuljetukseen.

Alkusammutusteho riitti varastopalon sammutukseen. Vettä oli apulaispalopäällikön mukaan kuitenkin riittävästi käytössä vasta klo 08.58, kun Skogbyn tankkiauto (14 000 l) tuli paikalle. Karjaan VPK:n 14 000 litran auto tuli välittömästi tämän jälkeen eli klo 09.16. Metsäpalojen sammutukseen järjestettiin veden saanti dispersiotehtaalta. Vedenotto dispersiotehtaalta on huomioitu palolaitoksen suunnitelmissa ja sitä käytetään lähialueen kaikissa paloissa.

7.2.4 Palo- ja pelastustoiminnan johtaminen

Palo- ja pelastustoimesta annetun lain (559/75) mukaan pelastustoimien johtaminen kuuluu sen paikkakunnan pelastusviranomaiselle, jonka alueella onnettomuus on tapahtunut. Mikäli kysymyksessä on tavanomaista suurempi onnettomuus, johtovastuun

voi lain mukaan ottaa aluepalopäällikkö. Suuronnettomuustilanteessa myös lääninhallitus voi määrätä johtosuhteista.

Toimintaa onnettomuuspaikalla johti klo 08.26 alkaen Hangon pelastuslaitoksen vuorosa ollut apulaispalopäällikkö. Aluepalopäällikkö saapui paikalle klo 08.55 ja totesi tarkastuksen jälkeen, että apulaispalopäällikkö voi jatkaa johtovastuussa. Forcitin tehdaspalvelupäälliköltä oli juuri hetkistä aikaisemmin saatu arvio, ettei vakavasti loukkaantuneita ollut.

7.2.5 Ilmoitukset onnettomuudesta

Hangon terveyskeskusta informoitiin klo 08.28 ja sitä pyydettiin varautumaan potilaiden vastaanottoon. Hangon pelastuslaitos ilmoitti terveyskeskukselle noin klo 10.00, ettei vakavasti loukkaantuneita ollut.

Forcitin toimitusjohtaja teki noin klo 08.30 ilmoituksen onnettomuudesta TTK:lle.

Onnettomuudesta ilmoitettiin Uudenmaan lääninhallitukselle klo 08.50. Suuronnettomuustutkinnan suunnittelukunta sai onnettomuudesta tiedon klo 09.10 sekä keskusrikospoliisin teknisiltä tutkijoilta että Hangon poliisilaitokselta.

7.2.6 Tiedottaminen

Onnettomuuspäivänä klo 13.00 järjestettiin Forcitin ruokalassa tiedotustilaisuus tehtaan henkilöstölle ja tiedotusvälineille. Tiedottamiseen osallistuivat sekä Forcitin että pelastus- ja poliisitoimen johto.

7.3 Poliisin toiminta

Räjähdyistä ei havaittu Hangon poliisilaitoksen tiloissa. Ennen klo 08.28 annettua yleishälytystä poliisilaitokselle oli tullut ilmoitus Hangonkylän satamassa kuuluneesta räjähdyksestä, joka oli ravistellut veneen ikkunoita. Rikospoliisin partio lähti heti paikalle, koska muualla Hankoniemellä oli aikaisemmin tapahtunut suuri räjähdysainevarkaus.

Pian tämän jälkeen kuultiin yleishälytys. Samaan aikaan poliisin Tammissaaren yhteistoiminta-alueen päivystäjä ilmoitti Hangon poliisilaitokselle ja sen kenttätoimiston partiolle kantatie 53:lla Forcitin kohdalla tapahtuneesta onnettomuudesta. Ilmoituksen sisältö oli, että paikalla palaa rekka, joka on räjähtänyt ja sen ympäristössä on metsäpalaja.

Molemmat partiot ohjattiin paikalle. Paikalle lähtivät välittömästi myös Hangon poliisilaitoksen va. poliisimestari ja järjestyspoliisitoimesta vastaava komisario. Rikospoliisin partio meni tehdasalueelle selvittämään tapahtumatietoja. Kenttätoimiston partio meni palavan rekan luo. Palokunta oli saanut jo rekan sammuksiin, mutta rekka tukki liikenteen kantatie 53:lla. Paikalle sattumalta tullut Hangon Rannikkopatteriston sotilaspoliisiryhmä oli jo ryhtynyt ohjaamaan liikennettä. Poliisi siirretti rekan Täktomiin johtavalle ns. Kirkkotielle ja sotilaspoliisit ryhtyivät ohjaamaan liikennettä Kirkkotien kautta ohi oletetun vaara-alueen.

Komisario pyysi lisävoimia Tammisaaren yhteistoiminta-alueelta. Karjaalta saapunut partio sijoitettiin ohjaamaan liikennettä ns. Viskon risteykseen.

Palaneen rekan luo saapuneet poliisimiehet havaitsivat pian läheisessä metsässä oranssin ja lilan värisellä liekillä palavia palopesäkkeitä, jotka myöhemmin osoittautuivat palavaksi räjähdysaineksi. He ilmoittivat näistä pesäkkeistä aluehälytyskeskuksen kautta pelastustoimen johdolle.

Poliisimestari otti hoitaakseen liikenteen ohjauksen koordinoinnin ja komisario siirtyi pelastustoimen johtokeskukseen. Tässä vaiheessa kävi ilmi, että tapahtumien alkusyy oli ollut tehdasalueella sattunut räjähdys.

Rikospoliisi ryhtyi hankkimaan tietoja tapahtumasta ja dokumentoimaan vaurioita. Liikenteen ohjaukseen hankittiin edelleen lisävoimia poliisin yhteistoiminta-alueelta. Poliisimestari pyysi Hangon Rannikkopatteriston komentajalta virka-apuryhmää. Paikalle saapui yhden upseerin ja 14 varusmiehen muodostama osasto. Metsäpalojen sammuksen jälkeen se avusti poliisia heitteiden, erityisesti maastoon lentäneen räjähtämättömän FPX:n etsinnässä ja kokoamisessa.

Poliisi laati alueen eristysuunnitelman. Myöhemmin komisario otti vastuulleen eristysten ja liikenteen ohjauksen poliisimestarin ryhtyessä huolehtimaan yleisjohdosta.

Paikalle hälytettiin myös poliisin Länsi-Uudenmaan alueen tekninen tutkintaryhmä ja se hälytti paikalle edelleen keskusrikospoliisin tekniset tutkijat. Suuronnnettomuustutkinnan suunnittelukunnan puheenjohtajan saavuttua paikalle, hän esitti poliisin tutkintahenkilöstölle pyynnön onnettomuustietojen dokumentoinnista yhteistyössä suuronnnettomuustutkijain kanssa.

Myöhemmin Hangon poliisilaitos on antanut tutkintalautakunnalle virka-apua.

8 ANALYYSI

8.1 Tutkintalautakunnan tilaamat tutkimukset

8.1.1 Räjähdyssainetutkimukset

8.1.1.1 Raaka-aineiden tutkiminen

Tutkintalautakunnan 21.6.1993 esittämän tutkimuspyynnön perusteella Puolustusvoimien Tutkimuskeskus tutki FPX 4:n valmistuksessa käytetyt raaka-aineet. Se vertaili saamiaan tuloksia Forcitin tehtaalla vastaanottojen yhteydessä tehtyihin analyyseihin sekä raaka-aineiden toimittajien ilmoittamiin spesifikaatioihin ja arvoihin.

Yksittäisten analyysien tulokset poikkesivat joissakin kohdissa aikaisemmin määritetyistä arvoista, mutta näitä eroavuuksia ei voida pitää tapahtuneen kannalta merkittävänä.

Käytettyjen HTPB-erien todettiin poikkeavan toisistaan. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen ja sille analyysejä tehneen Neste Oy:n tutkimusten mukaan uudempi HTPB-erä, eli 13.5.1993 valmistetun Premix-erän komponenttina käyttöönotettu erä, sisälsi enemmän pienimolekyylisiä komponentteja kuin vanhempi erä. Pienimolekyylisten komponenttien tarkkaa laatua tai määrää ei käytetyllä tutkimusmenetelmällä saatu selville.

8.1.1.2 Massanäytteiden tutkiminen

Tutkintalautakunnan 7.7.1993 tekemän tutkimuspyynnön perusteella Puolustusvoimien Tutkimuskeskus tutki massanäytteitä, jotka olivat peräisin onnettomuushetkellä Forcitin tehtaalla miinankuorissa olleista massoista, maastosta onnettomuuden jälkeen löydettyistä heitteistä sekä tehtaalla säilytetyistä laboratorionäytteistä ja referenssinäytteistä.

Referenssinäytteissä todettiin kovettumista sekä eri väristen kerrosten erottumista.

Referenssinäytteiden isku- ja hankausherkkyystudkimuksissa todettiin osan massasta olevan selvästi isku- ja hankausherkeempää kuin aikaisemmin tuotekehitysvaiheessa. Samasta näytteestä otettujen erottuneiden kerrosten tulokset poikkesivat selvästi toisistaan. Iskuherkkyysskojeissa 2 kg:n vasaralla tulokset olivat välillä 15-110 cm, kun tuotekehitysvaiheessa iskuherkkyydeksi oli saatu 75 cm.

Hankausherkkyysskojeiden tulokset olivat välillä 6 - 16 kg, kun tuotekehitysvaiheessa tulokseksi oli saatu vähintään 36 kg.

Saatuaan tiedot Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen suorittamien herkkyysskojeiden tuloksista, Forcit teki hankausherkkyyssmäärityksiä hallussaan olleista miinoista otetuille FPX 4-näytteille. Tuloksiksi saatiin 6,0 – 9,6 kg. Näytteitä otettaessa räjähdysaineen todettiin olevan jopa suurimmalle näyteenottosyvyydelle (7 cm) asti täysin kovettunutta.

Referenssinäytteissä todettu herkkyys johti siihen, että Merivoimat päätti hävittää jäljellä olevat miinat Kittilän Pokassa. Hävittämisen yhteydessä tehtiin räjähdysvälityskokeita, joita selostetaan jäljempänä jaksossa 8.1.2.

8.1.1.3 Hankausherkkyystudkimus

Tutkimusten aikana pidettiin yhtenä mahdollisena syttymisen syynä sitä, että miinan kantta ja lisärengasta välirenkaaseen kiinnittävän ruuvin kierteisiin olisi joutunut litiumperkloraatin ja glyserolin seosta, joka olisi syttynyt ruuvia avattaessa. Tämän tutkimiseksi tehtiin 10.3.1994 tutkimuspyyntö Puolustusvoimien Tutkimuskeskukselle.

Kokeita tehtiin paitsi litiumperkloraatin ja glyserolin seoksella, myös FPX 4-massalla, jossa oli tapahtunut erottumista sekä sekoitusvaiheessa olleella FPX-massalla.

Yhdessäkään tehdyistä 11 kokeesta ei havaittu mitään syttymisen merkkejä. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen raportissa syttymistä pidettiin kuitenkin mahdollisena testi-en lukumäärää lisättäessä.

Forcit teki myös hankausherkkyyismääryksiä litiumperkloraatin ja glyserolin seoksella. Kuormituksilla 1,2 - 36 kg suoritetuissa 36 kokeessa yhdessä tapahtui 2,0 kg:n kuormituksella syttymisreaktio.

8.1.1.4 Lämmönkehitys simulointisekoituksessa

Onnettomuuden tutkinnan aikana esitettiin teoria, jonka mukaan uudelleensekoitettavassa massassa olisi käynnistynyt tuntematon lämpöä kehittävä kemiallinen reaktio. Reaktio olisi johtanut massan lämpenemiseen ja lämpölaajenemiseen. Puolustusvoimien Tutkimuskeskus pyrki toistamaan FPX 4-massan valmistumisen epäonnistumista. Tässä yhteydessä mitattiin lämmönkehitystä sekä polymeroinnin aikana että viikon reaktioajan kuluessa erottuneiden kerrosten uudelleensekoituksen jälkeen.

Tutkintalautakunta esitti 25.5.1994 tutkimuspyynnön, jonka perusteella Puolustusvoimien Tutkimuskeskus suoritti FPX-massan valmistuksen ja perusmassasta otettujen näyte-erien uudelleensekoituksen yhden, seitsemän ja yhdeksän vuorokauden lämpökäsittelyajan jälkeen. Perussekoituksen ja uudelleensekoitusten jälkeen seurattiin massojen lämmönkehitystä, jonka todettiin olevan suurimmillaan perussekoituksen jälkeen, mutta viitteitä autokatalyyttisistä reaktioista ei todettu.

Autokatalyyysi tarkoittaa reaktion kiihtymistä muodostuvan tuotteen tai välituotteen vaikutuksesta.

Tutkimusraportissaan Puolustusvoimien Tutkimuskeskus esitti teorian uudelleenkäsiteltävän FPX 4-massan lisääntyneen kosteuden vaikutuksesta lämpöäkehittävään litiumperkloraatti-trihydraatin litiumperkloraatti-monohydraatiksi-muuttumisreaktioon. Teorian oikeellisuus ja merkitys onnettomuudessa jää kuitenkin koetulosten tulkinnanvaraisuuden ja tapahtumaolosuhteista tehtyjen oletusten johdosta epävarmaksi.

8.1.2 Räjähdyvälityskokeet

Kun Puolustusvoimien Tutkimuskeskus oli todennut referenssinäytteiden olevan asetettuja vaatimuksia herkempiä, Merivoimat päätti hävittää jäljellä olevat miinat 8.9.1993 Kitilän Pokassa Puolustusvoimien vuoden 1993 massaräjätysleirillä.

Räjätysten yhteydessä tutkittiin täysmittakaavaisten miinojen räjähdysvälitystä. Tässä yhteydessä tehtiin kolme koetta. Ensimmäisessä kokeessa räjäytettiin yksi kuljetusalustalla ollut miina (ks. kuva s. 82). Toisessa kokeessa kaksi miinaa oli maassa kuljetusalustan päällä (ks. kuva s. 83). Kolmannessa kokeessa kaksi miinaa oli jälkikäsitteilylinjan olosuhteita vastaten pystyssä, halkaisijamittansa etäisyydellä toisistaan noin 0,5 m:n korkeudella maasta (ks. kuva s. 84).

Kuljetusalustalle sijoitettujen kahden miinan räjähdysvälityskokeessa syntyi oleellisesti suurempi kuoppa kuin yhden miinan räjäytyksessä. Onnettomuustilannetta simuloivassa räjäytyksessä todettiin, että maahan syntyi oleellisesti pienemmät kuopat kuin yhden miinan räjäytyksessä.

Molempien räjähdysvälityskokeiden jälkeen räjähdyspaikan ympäristöstä löytyi räjähtämätöntä massaa. Tämä osoitti, etteivät välittymiset olleet täydellisiä.

Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen laatimassa tutkimustodistuksessa todetaan shokkiaallon maksimipainearvoihin perustuen kummassakin kokeessa tapahtuneen välittymisen. Räjähdyssimpulssien perusteella laskettiin, että onnettomuustilannetta simuloivassa kokeessa räjähti noin 17 % vähemmän räjähdysainetta kuin kuljetusalustalla suoritettussa räjähdysvälityskokeessa eli välittyminen ei ollut yhtä täydellistä.

Merivoimien Esikunta on omassa raportissaan katsonut, ettei kummassakaan kokeessa tapahtunut välittymistä vaan epäselväksi jäänyt reagointi. Tutkintalautakunnan jäsen Erkki Reinikka on analysoinut raportin tutkimustuloksia tämän tutkintaselostuksen lopussa olevassa liitteessä A.

8.1.3 Paineekokeet

Ennen räjähdystä tehtyjen havaintojen mukaan lämpökäsittelyssä olleiden miinojen kannet olivat pullistuneet silminnähtävien ja yhdestä miinasta oli pursunut ulos massaa. Miinan kuorelle päätettiin tehdä painekoe, jolla pyrittiin selvittämään säiliön, kannen ja sen kiinnityksen lujuutta ja vuotoon johtavan ylipaineen suuruutta sekä kannen muodonmuutosten laatua ja vuodon todennäköistä sijaintia. Kokeen teki VTT Valmistustekniikka.

Käytännössä tehtiin kolme eri koetta. Ensimmäisessä kokeessa miinan kuoren kannen kiinnitysruuvit pettivät jo kokeen alussa. Toisessa kokeessa saatiin jäljempänä selostettavat tulokset. Kolmas koe epäonnistui, koska toisen kokeen aikana miinan kuoren kansi vaurioitui siinä määrin, ettei kuoren paineistaminen enää onnistunut.

Kokeessa käytettiin vastaavia osia kuin valmistuslinjalla räjähtäneissä miinoissa: lujite-muovisäiliötä, johon asennettiin onnettomuustilannetta vastaavasti lisärengas ja kansi

tiivisteineen neljällä kuusioruuvilla niin, että joka toinen kiinnitysreikä oli vapaa. Räjähdyksineen sijasta täytteenä käytettiin tärkkelys-glyserolimassaa, joka oli varsinaista räjähdysainemassaa juoksevampaa.

Forcitin jälkikäsitteilylaitoksessa ennen onnettomuutta työskennelleet Forcitin käyttöinsinööri ja tuotekehittäjä kiinnittivät kannet ja kiristivät ruuvit ennen koetta onnettomuustilannetta vastaavasti. Paineistus tehtiin huoneen lämpötilassa ja toistettiin kahdesti käyttäen toista kantta ja hieman pidempiä kiinnitysruuveja. Säiliö oli kokeiden aikana pystyasennossa onnettomuustilannetta vastaten.

Paineen nostaminen aiheutti säiliön kannessa pullistumista, joka oli suurimmillaan kannen keskellä, selvästi vähäisempää kannen reunoissa reikien kohdalla ja vähäisintä ruuvien kiinnityskohdissa. Ensimmäisessä kokeessa säiliö alkoi vuotaa, kun paine oli noin 4 bar. Tällöin kolmen ruuvien kiinnitys antoi periksi alumiinista suuosaa vahvistavien teräksisten irtokierteiden repeytyessä ulkoreunoistaan irti. Kansi oli tässä vaiheessa pullistunut keskeltä noin 2 mm, minkä saattoi juuri ja juuri havaita silmin. Vuoto tapahtui kannen ja tiivisteiden välisestä raosta sivulle päin kannen löystyneeltä puolelta. Vuodon jälkeen kansi oli vuotokohdasta yli 2 mm raollaan.

Toisessa kokeessa käytettiin ensimmäistä koetta pidempiä kiinnitysruuveja, jotta voitiin välttää ruuvien kierteiden pettäminen ja saataisiin käsitys vuotoon vaadittavista muodonmuutoksista ja painetasosta silloin, kun ruuvit eivät petä. Kokeessa saavutettiin 8 bar paine juuri ennen kuin kansi alkoi vuotaa. Tällöin kansi oli selvästi pullistunut, keskeltä noin 8 mm ja kannen reunasta kiinnityskohtien välistä (reikien vierestä) noin 3 mm. Vuoto tapahtui tiivisteiden luistaessa pois urasta tyhjän kiinnitysreiän ohi, jolloin massaa pääsi purkautumaan kiinnitysreiästä. Kannessa todettiin paineistuksen jälkeen pysyviä muodonmuutoksia, jotka olivat niin suuria, ettei säiliötä enää toistokokeessa voitu paineistaa. Vuotaneen täytteen määrä oli noin 0,8 l.

Kokeiden perusteella säiliö alkaa paineen noustessa vuotaa kannen ja lisärenkaan välistä. Vuoto aiheutuu joko kierteiden pettämisestä johtuvasta kiinnityksen pettämisestä tai kannen muodonmuutoksesta. Vaadittava paine todennäköisesti vaihtelee miinasta toiseen.

Kokeiden perusteella voidaan arvioida, että räjähdysaine on pursunut säiliöstä ulos paineen ollessa 4 - 8 bar, todennäköisimmän vuotamispaineen ollessa 6 - 8 bar, jolloin kannen pullistuma keskellä on ollut jo selvästi havaittavat noin 5 mm.

Massan laajetessa syntyneet kannen muodonmuutokset ovat olleet niin suuret, ettei miina ole massan pursuamisen jälkeen ollut enää tiivis.



Räjähdyvälityskoe Kittilän Pokassa. Miina kuormalavalla.



Räjähdyvälityskokeen aiheuttama kraateri. Kokeessa räjäytettiin yksi kuormalavalla ollut miina. Kraaterin halkaisija on 5,1 m ja syvyys 1,15 m.



Toisessa kokeessa on kaksi miinaa kuljetusalustallaan. Miinojen väli on n 10 cm. Sytytys tapahtuu oikeanpuoleisesta miinasta.

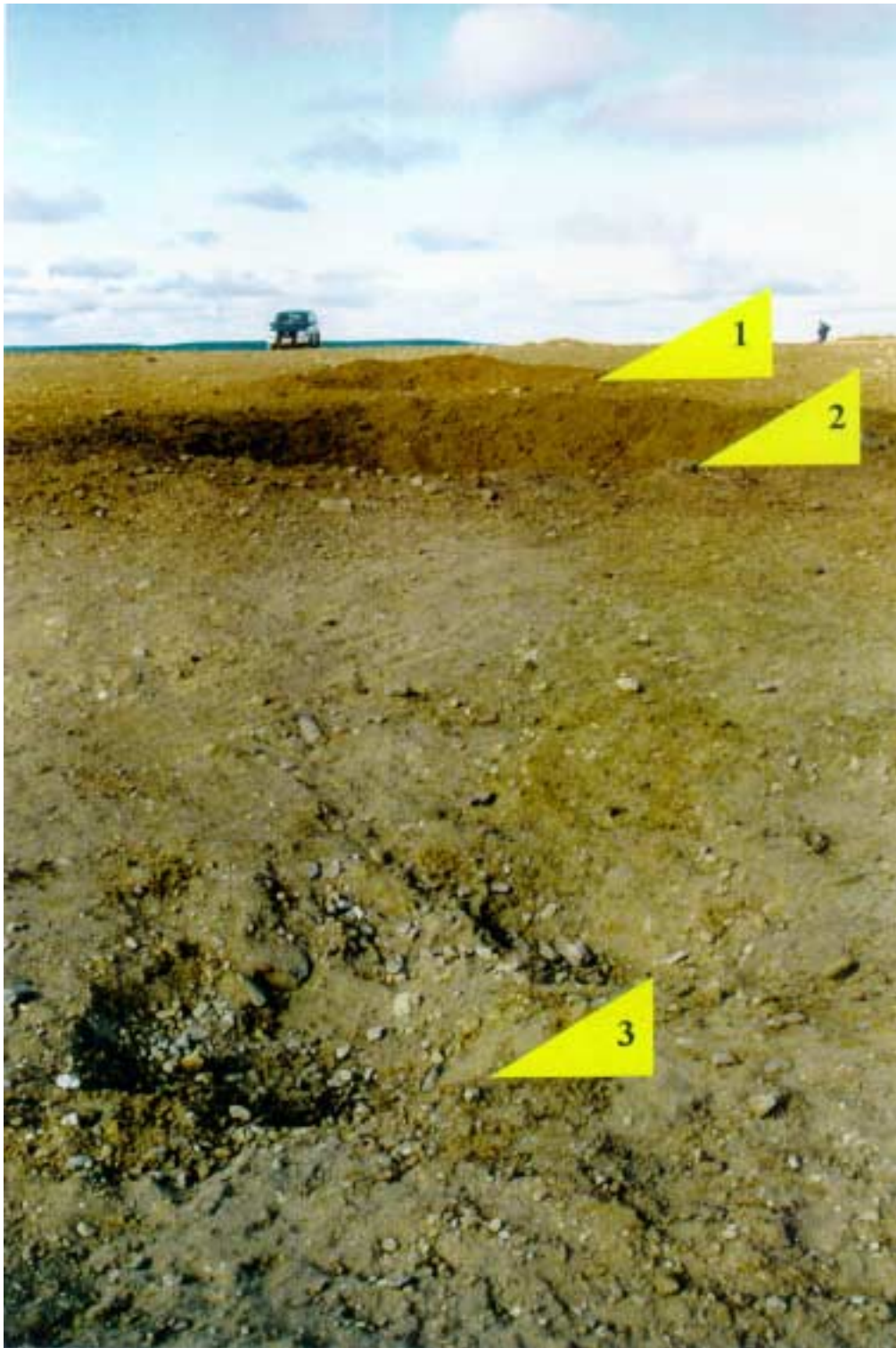


Räjähdyvälityskokeen aiheuttama kraateri. Kokeessa oli kaksi miinaa kuljetusalustallaan. Kraaterin halkaisija on 7,5 m ja syvyys 1,9 m.

Kolmannessa kokeessa on kaksi miinaa pystyssä alustalla, jonka korkeus ja miinojen välinen etäisyys vastaa olosuhteita jälkikäsitteilylinjalla. Sytytys tapahtuu oikeanpuoleisesta miinasta.



Räjähdyvälityskokeen aiheuttamat painaumat. Kokeessa oli kaksi miinaa pystyssä telineellä. Erillisten painaumien halkaisijat ovat 1,0 m ja 1,2 m ja syvyydet 0,4 m ja 0,42 m.



- Koeräjäytysten kraaterit:**
- 1. Yksi miina kuormalavalla.**
 - 2. Kaksi miinaa kuljetusalustalla.**
 - 3. Kaksi miinaa pystyssä alustalla.**

8.1.4 FPX-massan kemiasta

Tutkintalautakunta pyysi 18.10.1993 Helsingin yliopiston professori Franciska Sundholmilta asiantuntijalausunnon räjähdysonnettomuuden syiden selvittämiseksi. Asiantuntijalausunnossa pyydettiin kiinnittämään huomiota erityisesti seuraaviin kysymyksiin:

- FPX:n verkkoutumisreaktion kemiaan, erityisesti HTPB:n laadun vaikutus verkkoutumisreaktioon.
- Verkkoutumisreaktiossa ja mahdollisissa sivureaktioissa syntyvien kaasumaisten tuotteiden muodostumiseen.
- Käynnistyneen verkkoutumisreaktion häiriintymiseen esimerkiksi räjähdysai-
neen uudelleensekoittamisessa.

Asiantuntijalausunnossa todetaan, että FPX-massan räjähtävät komponentit ovat litiumperkloraaatti, ammoniumperkloraaatti ja hienojakoinen alumiini. Nämä reagoivat keskenään räjähdysmäisesti perkloraatien toimiessa hapettimina. FPX-massaa kehitettäessä pyrkimyksenä on ollut etsiä reagoimaton polymeerimateriaali, joka voisi toimia inerttinä perkloraaatti-alumiiniseoksen matriisina säilytyksessä ja kuljetuksessa vähentämättä silti räjähdysaineen tehoa.

Polymeerimatriisin reaktiot, tässä tapauksessa HTPB:n ja PPGMA:n reaktiot, ovat mekanismiltaan monimutkaisia. Ne tuottavat lämpöä ja voivat käynnistyä kuumennettaessa hapettimen vaikutuksesta tai jonkun muun kemiallisen reaktion seurauksena. Polymeerimatriisin verkkoutumisreaktiot ovat kuitenkin verraten hitaita eivätkä sinänsä etene räjähdysmäisesti. Tällaisen hitaan kemiallisen reaktiosarjan seurauksena massa voi lämmetä ja sen tilavuus voi muuttua. Lämpeneminen voi olla vaikeasti hallittavissa polymeerimassassa ilman sekoitusta, koska lämmön poisjohtuminen on vaikeutunut. Ylikuumentamisen vaara on siten olemassa.

Polymeerimatriisi verkkoutuu reaktiossa (jäykistyy), jolloin sen kemiallinen rakenne muuttuu. Tällöin seoksen komponenttien sekoittuvuus heikkenee ja reaktion etenemisnopeus voi muuttua.

HTPB:n laatu ja kemiallinen ympäristö vaikuttavat ratkaisevasti polymeerimatriisin verkkoutumisreaktion käynnistymiseen, nopeuteen ja tuotteen rakenteeseen. Verkkoutumisreaktio häiriintyy varmasti, jos massaa sekoitetaan uudelleen.

Verkkoutumisreaktiossa ei synny kaasumaisia tuotteita. Niitä voi syntyä alumiinin reagoiessa glyserolin tai kosteuden kanssa, jolloin muodostuu vetyä. Vetyä voi muodostua myös hydroksyyliyhmiä sisältävän HTPB:n reaktiossa alumiinin kanssa. Vety reagoi erittäin kiivaasti (räjähdysmäisesti) litiumperkloraaatin kanssa tuottaen vettä. Vesi puolestaan reagoi alumiinin kanssa.

Asiantuntijalausunnon mukaan:

- Forcitilla valmistetut FPX-massat olivat epähomogeenisia ja toisistaan poikkeavia (ks. kuva s. 90).

- Mahdolliset kemialliset reaktiot, jotka voivat aiheuttaa lämmön ja/tai kaasun muodostumista miinan sisälle sekä johtaa massan laajentumiseen ja pursuamiseen kannen alta ovat:
 - HTPB:n ja PPGMA:n verkkoutumisreaktiot, jotka ovat lämpöä tuottavia, ovat voineet tapahtua hallitsemattomasti ja kuumentaa paikallisesti räjähdysainemassaa.
 - Alumiinia suojaava rasvakerros on voinut liueta reaktioseokseen. Alumiini voi reagoida litiumperkloraatin tai vetyä muodostaen kosteuden, glyserolin, HTPB:n ja PPGMA:n kanssa. Seoksesta on todennäköisesti mahdoton todeta muodostunutta vetyä, koska se reagoi litiumperkloraatin kanssa.
- Kuumentaminen käynnistää ja nopeuttaa edellä kuvattuja reaktioita. Reaktioiden seurauksena massa on laajentunut ja pursunut säiliön kannen alta. Epähomogeenisesta massasta on erottunut litium- ja/tai ammoniumperkloraatin sekä glyserolin seosta.

Asiantuntijalausunnon mukaan räjähdys on voinut saada alkunsa seuraavilla tavoilla:

- Massasta erottunut perkloraatin ja glyserolin seos on syttynyt hankauksesta, kun miinan kantta avattiin. Mahdollista on myös, että miinan kannen alla on ollut kiteistä perkloraattia, joka on räjähtänyt.
- Jos miinaan on muodostunut vetyä, se on voinut reagoida litiumperkloraatin kanssa tai miinan kantta avattaessa ilman hapen kanssa.

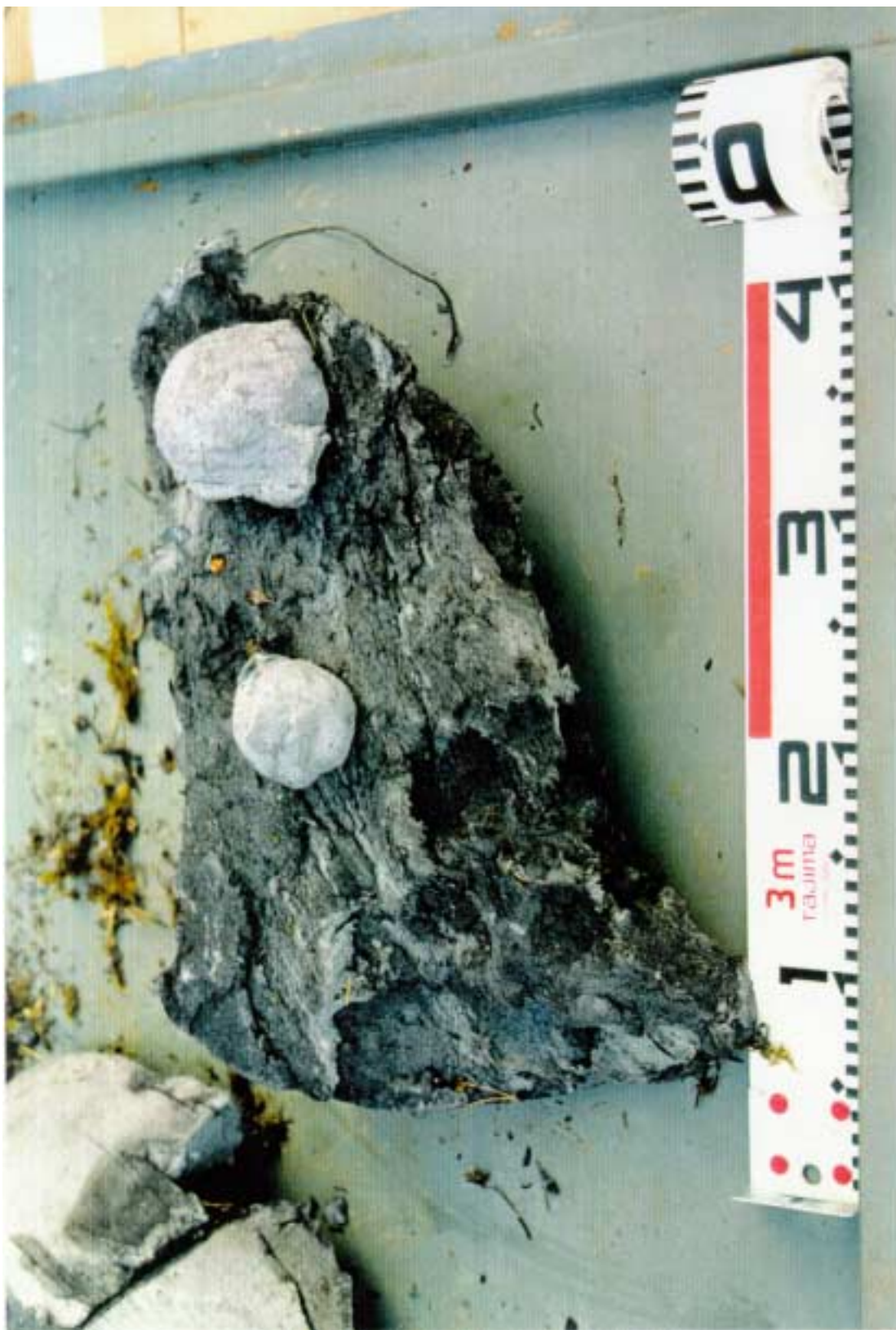
Reaktio on levinnyt avattavana olleen miinan räjähdysainemassaan, koska perkloraatti on reagoinut alumiinijauheen kanssa, alumiinijauhe on syttynyt ja kannen alta pursunut massa on muodostanut jatkuvan reaktioväliaineen miinaan.

8.1.5 Räjähdyksen voimakkuuden arviointi

Tutkintalautakunnan 3.7.1993 esittämän tutkimuspyynnön perusteella Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Ydinvoimatekniikan laboratorio teki selvityksen räjähdysvoimakkuudesta. Selvityksessä kartoitettiin räjähdysvoimaa aiheuttavat ikkunavauriot ja pyrittiin niiden perusteella arvioimaan räjähtänyt ainemäärä TNT-ekvivalenttina. Kartoitus ei täysin onnistunut, koska jo poisviedyistä useampiruutuisista ikkunoista ei pystytty selvittämään rikkoutuneiden ruutujen lukumäärää.

Vaurioituneet ikkunat voitiin jakaa neljään rakenteeltaan erityyppiseen ryhmään:

- yksiruutuiset, välipuitteettomat ikkunat
- metallisilla välipuitteilla varustetut (ruokalan) ikkunat,
- puisilla yhdensuuntaisilla välipuitteilla varustetut ikkunat,
- puisilla ristikkäisillä välipuitteilla varustetut ikkunat.



Pyöreitä, halkaisijaltaan noin 6-8 cm suuruisia kokkareita heitteenä löydettyä FPX-massassa.

Yksiruutuisia ikkunoita oli alueella niin vähän, ettei niiden rikkoutumisen perusteella voitu arvioida räjähdysen voimakkuutta.

Metallisilla välipuitteilla varustettuihin ruokalan ikkunoihin kohdistunutta painekuormitusta arvioitiin välipuitteisiin jääneiden pysyvien taipumien perusteella. Tutkimusselostuksen mukaan:

- Suurimmat mitatut pysyvän taipuman arvot vastasivat voimakkuudeltaan yhtä TNT-ekvivalenttiltaan 500 - 600 kg:n suuruista ideaalista räjähdystä. Tällöin paineaalto heijastuu täysin maanpinnasta.
- Jos oletettiin tapahtuneen peräkkäin kaksi yhtä suurta ideaalista räjähdystä, niiden TNT-ekvivalentit olivat 400 - 500 kg

Myös muut yksinkertaistukset aiheuttavat arvioon epävarmuutta. Laskennassa ei ole otettu huomioon umpiolasien välipuitteita jäykistävää vaikutusta (vähentää pysyvää taipumaa) eikä sitä, että umpiolasien kiinnitysmekanismi on saattanut välipuitteiden muodonmuutoksen aikana liukua hieman, jolloin kitkavoimat ovat rajoittaneet välipuitteiden kimmoisen taipuman palautumista (kasvattaa pysyvää taipumaa).

Puisilla välipuitteilla varustettujen ikkunoiden rikkoutumista tarkasteltiin Hollannissa kehitetyllä menetelmällä. Pienikokoisten ruutujen rikkoutumispaineen laskettiin olevan sellainen, ettei yksikään ruutu olisi mennyt rikki ellei välipuite olisi antanut myöten tai ruutu irronnut osittain puitteesta.

Puisten välipuitteiden kestävyyttä tutkittiin kokeellisesti mittaamalla puitteen murtumiseen tarvittava kuormitus. Puitteiden todettiin murtuvan selvästi ikkunaruutuja pienemmällä kuormituksella. Vielä tätäkin pienempi kuorma saattoi taivuttaa puitetta siten, että siihen kiinnitetty lasiruutu rikkoutui.

Moniruutuisten ikkunoiden vaurioitumistarkastelu suoritettiin VTT:llä kehitetyllä tietokoneohjelmalla. Ohjelmaa muunnettiin siten, että sillä voitiin simuloida kaksilasista, moniruutuista ikkunaa, jonka välipuitteet värähtelevät paineaallon kuormittamana. Ideaalisen räjähdysen voimakkuudeksi valittiin 600 kg ja 800 kg. Ulkoikkunan ruutujen rikkoutumistodennäköisyydeksi (etäisyydellä, jolla 50 % ikkunoista rikkoutui) saatiin ikkunatyypistä riippuen 2 - 6 %.

Jotta käytetyllä kaavalla olisi voitu selittää todellisuudessa rikkoutuneiden ikkunoiden lukumäärä, olisi räjähtäneen aineen määrän pitänyt olla 6000 kg tai ikkunoiden murtolujuuden huomattavasti alunperin arvioitua pienempi.

Tutkintaraportissa todetaan useita laskentaan liittyviä epävarmuustekijöitä. Tällaisina tutkittiin ruutujen kuormittumista niiden ulosheilahduksen aikana ja niiden murtolujuuden laskentaan käytettyyn kaavaan sisältyvän vakiotekijän virheellisyyttä. Ruudun murtolujuus riippuu sen iästä, käsittelystä ja ympäristöstä. Laskennassa käytetty kaava on johdettu uusilla ikkunaruuduilla tehdyistä kokeista.

Tutkimusselostusta täydennettiin myöhemmin saadulla tiedolla, jonka mukaan murtolujuus pienenee 10 vuoden aikana 50 %. Forcitin ikkunaruutujen iän perusteella arvioitiin

ikkunoiden murtolujuuden arvoksi 40 - 45 % uusien ikkunoiden murtolujuudesta. Tämän perusteella tutkimusselostuksen täydennyksessä päädyttiin tulokseen, että räjähdysen TNT-ekvivalentti olisi ollut 600 - 800 kg.

8.2 Onnettomuuteen johtanut tapahtumaketju

Onnettomuuteen johtanut tapahtumaketju alkoi, kun uusi HTPB-erä otettiin käyttöön 13.5.1993. Raaka-aine-erä vastasi valmistajan ilmoittamia spesifikaatioita ja täytti Forcitin sille asettamat vastaanottovaatimukset. Se poikkesi kuitenkin vanhemmasta erästä siinä, että se sisälsi enemmän pienimolekyylisiä komponentteja. Vaikkakaan asiaa ei ole pystytty kokeellisesti osoittamaan, pitää tutkintalautakunta todennäköisenä, että tämä ero aiheutti massojen erilaisen käyttäytymisen. Käytännössä massoissa todettiin perklooraattien ja glyserolin seoksen merkittävä erottuminen pinnalle 31.5.1993. Pisaramaisena tällaista erottumista oli ollut havaittavissa jo tuotekehitysvaiheessa.

Tilanteeseen reagoitiin ottamalla uudelleensekoitettaviksi massat, joiden pinnalle oli erottunut nestettä.

Ensimmäinen uudelleensekoitus suoritettiin 1.6.1993 edellisenä päivänä valmistetulle miinalle 5025. Miinan tyhjennys sekoitusastiaan sujui helposti, pääasiassa kaatamalla ja lopputuotteena saatiin juoksevuudeltaan normaalia massaa.

Toinen uudelleensekoitus suoritettiin 2.6.1993, jolloin käsiteltiin seitsemän vuorokautta kuumalla linjalla ollut miina 5024. Tämänkin osalta tyhjennys onnistui hyvin, vaikka massa olikin selvästi jäykempää kuin edellisenä päivänä käsitelty. Uudelleentäytössä oli ongelmia, koska massa oli normaalia jäykempää. Täytössä jouduttiin täyttöputkesta poistamaan reikälevy.

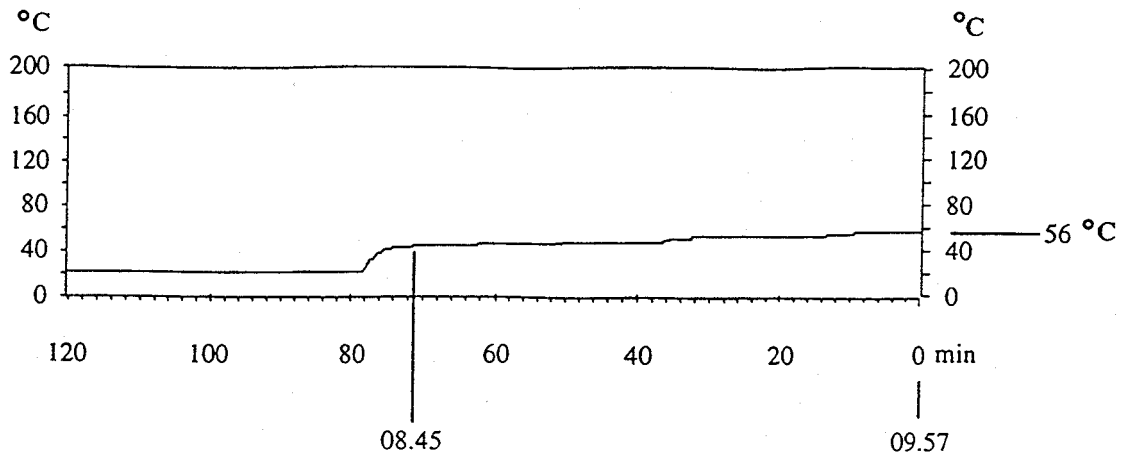
Seuraavana päivänä 3.6.1993 otettiin uudelleensekoitukseen miina 5023, joka oli ollut kuumalla linjalla yhdeksän vuorokautta. Sen tyhjentäminen oli edellisiä huomattavasti vaikeampaa ja edellytti puiosen kaapimen käyttöä, jolla massa saatiin irtoamaan kimppaleina miinasta. Sekoitus alkoi klo 08.45 ja lopetettiin klo 10.25, mutta sekoitinta pyöräytettiin vain seitsemän kertaa, koska jäykkä massa pyrki ylös astiasta.

Huonosta sekoittuvuudesta johtuen massa ei lämmennyt suunnitellulla tavalla. Massan lämpötilatulosten mukaan sen lämpötila oli klo 09.57 noin 56°C. Käyttöinsinöörin muistiinpanojen mukaan massan lämpötila oli sekoituksen päättyessä noin 65°C.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan polymeroituminen on ollut jo käynnissä kaikissa uudelleensekoitetuissa massoissa. Polymeroituminen on vaikeuttanut uudelleensekoittamista pitkään lämpökäsittelyssä olleiden massojen osalta. Huono sekoittuvuus on johtanut massan epätasaiseen lämpenemiseen. Erityisesti tämä tulee esille miinan 5023 massan uudelleensekoituksessa. Tämän miinan massan keskimääräinen lämpötila on uudelleensekoituksen päätyttyä todennäköisesti ollut alhaisempi kuin käyttöinsinöörin muistiinmerkitsemä. Käsitys perustuu uudelleensekoituksen yhteydessä klo 10.00 tu-
lostettuun, sivulla 84 olevaan lämpötilatulosteeseen. Lämpötilatulosteesta tehty lämpötilan nousunopeuteen perustuva arvio osoittaa, että sekoituksen päättyessä massan

lämpötila oli noin 60°C. Kun otetaan lisäksi huomioon massan jäähtyminen miinan täyttövaiheessa, on sen lämpötila ollut yli 10°C normaalia alhaisempi.

Uudelleensekoittamisen jälkeen miina siirrettiin takaisin jälkikäsitteilylaitoksen kuumalle linjalle, jolla oli 70°C lämpötila. Lämpötilaeron seurauksena massa alkoi lämmetä ja laajeta massan lämpötilan noustessa viikonvaihteen aikana. Forcitin tekemien mittausten mukaan massan lämpölaajeneminen on noin 0,5 %/10°C. Kun miinan alkuperäinen täyttötilavuus oli noin 200 l, laajeni massa lämmitessään lämpökäsitteilytilan lämpötilaan yli 1 litran. Laajetessaan massa täytti ensin sen yläpuolelle täytössä jätetyn noin yhden litran ilmatilan ja aiheutti sen jälkeen kannen pullistumisen. Paineen noustessa kannen tiiveys petti ja massaa valui ulos säiliöstä kahden kiinnitysruuvien puolivälistä. Laajentunut massa on edelleen puristanut kantta ruuveja vasten.



Lämpötilatuloste miinan 5023 uudelleensekoituksesta 3.6.1993

Kun miinan 5023 kantta 7.6.1993 avattiin, tapahtui syttyminen, joka noin minuutin kuluttua johti räjähdykseen.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan massa on todennäköisesti syttynyt hankauksesta. Jäykähkön massan pursutessa ulos säiliöstä massaa on varmasti jäänyt myös kannen ja lisärenkaan väliin. Viikonvaihteen aikana tapahtui mahdollisesti myös nesteen uudelleen erottumista, vaikkakaan jälkikäsitteilyhuoneessa työskennelleet henkilöt eivät ole havainneet siitä merkkejä. Mikäli ulosvaluvan massan mukana on ollut nestettä, on sitä joutunut ainakin lisärenkaan ja välirenkaan väliseen tilaan, Lisäksi on mahdollista, että nestettä on tunkeutunut vuotokohdassa olevasta tyhjistä ruuvien reiästä onton lisärenkaan sisälle ja sieltä edelleen viereisten ruuvien kierteisiin.

Varmuudella ei voida sanoa, tapahtuiko syttyminen ruuvien kierteessä vai kannen ja lisärenkaan välissä ja mikä oli ensiksi syttyneen massan koostumus ja olomuoto.

Onnettomuuden tutkinnan aikana on esitetty massan lämpölaajenemisen aiheutuneen uudelleensekoituksen aikana käynnistyneestä tuntemattomasta, mahdollisesti jopa kiihtyvistä lämpökehittävästä reaktiosta, joita voidaan sekoitettavista komponenteista teoreettisesti esittää useita. Tätä tapahtumaketjua on kuitenkin pidettävä epätodennäköise-

nä. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen simulointisekoitusten ja uudelleensekoitusten jälkeen suorittamissa mittauksissa ei yhdessäkään ole todettu tällaista lämmönkehitystä. Mahdollisuutta ei voida kuitenkaan poissulkeakaan, koska seoksen reaktiokemialla juuri nimennomaisessa onnettomuuteen johtaneessa uudelleensekoituksessa tehdasmittakavaisella laitteella ei ole voitu simuloida.

Syttymissyöksi on esitetty myös vedyn kehittymistä ja syttymistä joko ulosvirratessaan tai hankauksen sytyttämänä. Todennäköisimpänä vedynkehittymisreaktiona voidaan pitää alumiinin reagoimista veden kanssa. Mikäli tämä tai joku muu vetyä kehittävä reaktio olisi tapahtunut, olisi kehittynyt vety kuitenkin reagoinut välittömästi litiumperkloraatin kanssa tai purkautunut ulos miinan tiiveyden pettäessä, samoin kuin sen jälkeen mahdollisesti kehittyvä vetykin. Vielä voitaisiin olettaa, että vetyä olisi voinut jäädä miinan sisälle pysyvästi jonkinlaisiin taskuihin massan sisälle. Tällaisen kaasun syttyminen kannen ruuveja avattaessa on kuitenkin katsottu erittäin epätodennäköiseksi.

8.3 Tapahtumat onnettomuudessa

Onnettomuushetkellä jälkikäsitteilylaitoksen kuumalla linjalla oli sivulla 47 olevan kuvan mukaisesti kuusi täytettyä miinaa (miinat 5020, 5021, 5025, 5024, 5023 ja 5026) sekä onnettomuuspäivänä täytettäväksi aiotun miinan 5027 tyhjä kuori. Kylmällä linjalla oli neljä täytettyä miinaa (miinat 5022, 5002, 2 ja 1). Miina 5002 poikkesi muista miinoista siten, että siihen oli asennettu räjäytin paikalleen. Jälkikäsitteilylaitoksen etuhuoneessa oli punnitusvaunun päällä miina 5019, josta juuri ennen onnettomuutta oli poistettu räjähdysainetta käytettäväksi miinan 5027 täytössä. Lisäksi jälkikäsitteilylaitoksessa oli kymmenen FPX-referenssinäytettä.

Onnettomuuden tapahtuessa jälkikäsitteilylaitoksella oli räjähdysaineita yhteensä siis noin 4 020 kg. Onnettomuuden jälkeen lähinnä FPX-yksikön kaakkoispuolisesta metsästä kerättiin noin 600 kg FPX-4 -räjähdysainetta. Pienimmät kappaleet olivat murusia, suurimmat painoivat noin 10 kg. Näin ollen räjähdysaineita katosi tai tuhoutui noin 3 400 kg.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan räjähdys alkoi miinasta 5023 ja välittyi kaikkiin muihin kuumalla linjalla olleisiin viiteen täytettyyn miinaan sekä lisäksi etuhuoneessa olleeseen vajaan miinaan. Perusteluina ovat kuumalla linjan betonilattian huomattava murskautuminen, kuopat miinojen sijaintikohdissa jälkikäsitteilylaitoksen kuumalla linjan ja etuhuoneen lattiassa, kuopista säteittäisesti lähtevät raapaisujäljet sekä havainto, että kuumalla linjalla olleiden miinojen alumiinikaulukset tuhoutuivat lähes tunnistamattomiksi.

Sen sijaan räjähdys ei tutkintalautakunnan käsityksen mukaan välittynyt kylmällä linjalla olleisiin miinoihin, mikä voidaan puolestaan perustella betonilattian säilymisellä lähes ehyenä, lattiassa olleiden kolojen pienellä koolla, alumiinikaulusten rikkoutumisella suu-rehkoiksi paloiksi, joista kaikkien tunnusnumerot on löydetty, sekä siitä, että miinassa 5002 ollut räjäytin löytyi ehyenä.



Vaikka tutkintalautakunnan käsityksen mukaan räjähdys välittyikin kaikkiin kuumalla linjalla olleisiin miinoin, ei kaikki niissä ollut räjähdysaine todennäköisesti räjähtänyt, vaan osa siitä sinkoutui ympäristöön joko sellaisenaan tai palavana. Vastaavantapainen räjähdysaineen sinkoutuminen todettiin myös Kittilän Pokassa suoritetuissa kokeissa, joita on selvitetty jaksossa 8.1.2. Palavan räjähdysaineen iskeytyminen esimerkiksi puunoksaan on puolestaan mahdollisesti aiheuttanut todetut jälkiräjähdykset, joiden takia eri henkilöt ilmoittavat kuulleensa yhdestä kolmeen peräkkäistä räjähdystä.

9 ORGANISAATIOIDEN TOIMINTA

9.1 Idea muovisidosteisen räjähteen kehittamisestä

FPX:n keksijän ollessa vuosina 1981 - 1985 Raikka Oy:n palveluksessa, hän työskenteli 1982 - 83 USA:ssa lisähapettimellisten rakettruutien kehittämistehtävissä ja tutustui tällöin niissä käytettyyn litiumperkloraattiin, jolloin hänellä kehittyi ajatus sen käyttämisestä räjähdysaineen komponenttina.

Palattuaan Suomeen hän otti vuonna 1984 yhteyttä Forcitiin yhteisen muovisidosteista räjähdysainetta koskevan tuotekehitysprojektin käynnistämiseksi. Forcitilla kiinnostuttiin ideasta. Tuote oli Forcitille täysin uusi, sillä yhtiöllä ei ollut aikaisempaa kokemusta muovisidosteisista räjähdysaineista. Todennäköisesti alusta alkaen tuotteella ymmärrettiin olevan vain yksi potentiaalinen ostaja - Puolustusvoimat. FPX:n keksijältä ja Puolustusvoimilta saatiin tietoja kilpailutilanteesta markkinoilla. Oma selvitystä markkinatilanteesta ei tehty.

Raikka ja Forcit tekivät sopimuksen muovisidosteisen, lisähapettimella varustetun räjähdysaineen kehittamisestä. Yhteistyö tämän sopimuksen perusteella tapahtui 1985 - 86. Käytännössä tuotekehityksestä vastasi FPX:n keksijä, joka perusti vuonna 1985 konsulttiyrityksen ja teki Raikan ja Forcitin kanssa sopimuksen tuotekehitystyöstä.

Samanaikaisesti Pääesikunnan aseteknillinen osasto oli kiinnostunut ontelopanoksen räjähdysaineen kehittamisestä. Puolustusvoimat eivät osallistuneet ontelopanoksen räjähdysaineen tuotekehityskustannuksiin, mutta em. yritykset saivat tehdä kehittämällään räjähdysaineella kokeita Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen koekentällä. Kokeissa ei saatu tyydyttäviä tuloksia ja Raikka vetäytyi hankkeesta.

9.2 FPX-01-räjähteen kehittäminen

Forcitilla uskottiin edelleen ideaan muovisidosteisesta räjähdysaineesta ja tuotekehitystä jatkettiin Forcitin yrittäjäriskillä ilman projektisopimusta Puolustusvoimien kanssa. FPX:n keksijä myi tuotekehityspalveluja Forcitille, jonka laboratoriotiloissa hän työskenteli.

Tuotekehitystyön tuloksena oli muovisidosteinen räjähdysaine FPX-01. Sitä kokeiltiin helmikuussa 1988 Pioneerivarikolla Keuruulla, mutta sen teho ei ylittänyt Puolustusvoimissa jo käytössä olevalla räjähdysaineella ladattujen välineiden tehoa. Näihin kokeisiin Puolustusvoimat antoi Forcitin käytettäväksi kylkimiinat, joihin räjähdysaine ladattiin.

Toukokuussa 1988 Forcit tarjosi FPX-01:tä Puolustusvoimien sotilasräjähteeksi ja elokuussa sovittiin sen testaamisesta Lakialassa. Tulokset saatiin huhtikuussa 1989, mutta räjähdysainetta ei otettu käyttöön, koska Puolustusvoimilla ei tuossa vaiheessa ollut tällaisen räjähdysaineen tarvetta.

9.3 Merimiinan räjähdysaineen kehittämishankkeen lähtökohdat ja käynnistyminen

9.3.1 Ensimmäinen tuotekehityssopimus

Merivoimissa tehtiin 1980-luvulla päätös nykyaikaisen merimiinan kehittämistä. Edellisestä merimiinan kehittämishankkeesta oli kulunut 30 vuotta. Vuonna 1986 Merivoimat sai tiedon meneillään olevasta muovisidosteisen räjähdysaineen kehittämistyöstä ja otti yhteyttä Forcitiin. Forcitilla ei vielä tässä vaiheessa ollut valmiutta merimiinaan soveltuvan muovisidosteisen räjähdysaineen tuotekehitystyöhön.

Merivoimien Esikunta teki kesäkuussa 1988 konkreettisen esityksen yhteistyöstä Forcitin kanssa merimiinan räjähdysaineen kehittämiseksi. Keskustelut Merivoimien ja Forcitin välillä johtivat 10.10.1988 tehtyyn tuotekehityssopimukseen 237/Meri -88. Tavoitteena oli shokkienergiapainotteinen räjähdysaine, jonka teho olisi 1,5-kertainen valettuun trotyyliin verrattuna.

9.3.2 Lähtökohdat tuotekehityshankkeelle

Forcitilla Merivoimien kanssa tehty sopimus koettiin tilannetta selkiyttävänä. Projektilla oli nyt ensi kertaa maksava asiakas. Toisaalta sopimus merkitsi tuotekehityksen alkamista lähes alusta Merivoimien asettamien erityisvaatimusten (muun muassa varastointikestävyys ja räjähdysteho) saavuttamiseksi.

Myös tähän uuteen tuotekehityshankkeeseen Forcit osti muovisidosteisten räjähdysainneiden asiantuntemuksen ja tuotekehitystyön FPX:n keksijältä, jolle tuotekehityssopimus merkitsi mahdollisuutta kehittää edelleen omaa ideaansa.

Forcitilla FPX:n keksijän mukanaolo koettiin tervetulleena, koska hänen katsottiin tuovan hankkeeseen räjähdysainetehtaalta itseltään puuttuvaa osaamista. FPX:n keksijällä oli erittäin hyvä perehtyneisyys räjähdysainekemiaan. Keksijän muovisidosteisten räjähdysainneiden tuntemus perustui hänen käytännön kokemukseensa. Polymeerikemian koulutusta hänellä ei ollut.

Räjähdysainetehtaan omat tuotekehitysresurssit olivat pienet. Tehtaan laboratoriossa työskenteli laboratorioinsinöörin johdolla tuotekehittäjä ja kaksi laboranttia. Yhtiön käytönlaboratoriossa mahdollisuudet tuotekehitystutkimukseen tai raaka-aineiden testaamiseen olivat myös rajalliset.

Forcitilla hankkeen toteuttamismahdollisuuksista keskusteltiin paljon kaikkien keskeisten henkilöiden ollessa keskusteluissa mukana. Yrityksessä ei ollut käytössä dokumentoitu menetelmää tuoteidean toteuttamismahdollisuuksien järjestelmällisen arviointiin, vaan toiminta oli - yritykselle tyypilliseen tapaan - epämuodollista. Vastaavan johtajan mukaan esimerkiksi laatuajattelun mukainen sopimuskatselmus kuitenkin toteutui keskusteluissa, vaikka tätä laatuajattelun mukaista termiä ei siihen aikaan käytetty eikä keskustelujen tuloksia kirjattu.

Forcitilla projektia pidettiin tärkeänä. Tuotekehitysprojektia luonnehdittiin räjähdysainetehtaan suurimmaksi projektiksi 20 vuoteen. Forcitille projekti merkitsi:

- mahdollisuutta kehittää uusi tuote, joka olisi voinut merkitä "kolmatta jalkaa tuotantoon" aikaisempien siviiliräjähdyksaineiden ja dispersiotuotannon rinnalle,
- yhteistyötä luotettavan asiakkaan kanssa,
- ulkopuolista rahoitusta tuotekehityshankkeelle,
- mahdollisuutta hyödyntää ulkopuolisen tuotekehittäjän palveluksia, sekä
- selkeyttä aiemmin epäselväksi koettuun tilanteeseen muovisidosteisten räjähdysaineiden kehittämisen suhteen.

Toisaalta Forcitissa - ja vastaavan johtajan mukaan myös Merivoimissa - ymmärrettiin, että kysymyksessä oli tuotekehitysprojekti, jonka onnistumisesta ei ollut täyttä varmuutta.

Merivoimille merimiinan kehitysprojekti merkitsi:

- mahdollisuutta parantaa kriisien aikana tärkeää omavaraisuutta kotimaisella miinalla,
- hyviä mahdollisuuksia vaikuttaa tuotteeseen, jota kehitetään kotimaassa, sekä
- yhteistyötä luotettavan kotimaisen tavarantoimittajan kanssa.

Muovisidosteisia räjähdysaineita tiedettiin käytettävän muiden maiden merivoimien merimiinoissa. Merivoimat oli käynnistänyt myös neuvottelut siitä, voitaisiinko Ranskassa merimiinoja varten kehitetty muovisidosteinen räjähdysaine ottaa käyttöön Suomessa. Ranskalainen tuote olisikin ollut mahdollinen vaihtoehto siinä tapauksessa, että suomalaisessa tuotekehitysprojektissa ei olisi päästy tyydyttävän tuloksiin. Tarjolla tiedettiin olevan muitakin vaihtoehtoja. Merivoimilla ei ollut omaa muovisidosteisten räjähdysaineiden kehittämisessä tarvittavaa asiantuntemusta.

9.3.3 Tuotekehityksessä mukana olleet ja sitä seuranneet

FPX:n tuotekehitys tehtiin FPX:n keksijän konsulttiyrityksen ja Forcitin yhteistyönä. FPX:n keksijä työskenteli itsenäisesti Forcitin laboratoriossa, jonka henkilöstö avusti häntä koemateriaalien valmistamisessa.

Tuotekehityshankkeeseen olennaisesti liittyvät räjähdysainetestit suunniteltiin Merivoimien ja Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen yhteistyönä. Testaamisesta vastasi pääasiallisesti Puolustusvoimien Tutkimuskeskus, jolle Forcit ja FPX:n keksijä valmistivat testeissä tarvittavan materiaalin.

Merimiinan tuotekehitystyötä seurattiin ja suunniteltiin FPX-projektineuvotteluissa, joihin osallistuivat Forcitin, Merivoimien, Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen sekä myöhemmässä vaiheessa myös kuoren valmistajan Plastilon Oy:n edustajat. Projektineuvotteluja pidettiin 20.8.1990 - 9.9.1992 välisenä aikana kahdeksan kertaa. Puheenjohtajana kokouksissa toimi yleensä kokouksen järjestäjän edustaja ja sihteerinä Merivoimien edustaja. Projektineuvotteluissa käytiin läpi suoritettuja kokeita, käsiteltiin säännöl-

lisesti reseptin kehittelyä sekä keskusteltiin jatkokokeiluista ja muista projektiin liittyvistä asioista. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksesta projektineuvotteluihin osallistui myös polymeerikemiaan perehtyneitä henkilöitä, mutta heidän tehtävänsä liittyivät merimiinan kuorimateriaalin kehittämiseen.

Forcitilla tuotekehitystä seurattiin muiden asioiden ohella jokapäiväisissä vakiintuneissa teknisten toimihenkilöiden aamupalavereissa. Aamupalavereihin osallistuivat kaikki työpaikalla olevat, hankkeen kannalta keskeiset toimihenkilöt, myös yhtiön toimitusjohtaja.

Vuonna 1989 tuotekehityshankkeesta alettiin tiedottaa yrityksen henkilöstölle. Hankkeesta kerrottiin esimerkiksi yhtiön sisäisessä tiedotuslehdessä (esim. Forcit Tiedote 1/89) ja siitä tiedotettiin tai kerrottiin mm. ylempien toimihenkilöiden maanantaipalavereissa sekä YT-neuvottelukunnassa ja työsuojelutoimikunnassa. Salassapitomääräykset eivät estäneet tiedonkulkua yrityksen sisällä ja hankkeesta kerrottiin kaikille siitä kiinnostuneille. Toiminnan yksityiskohdat tunnettiin kuitenkin varsin pienessä piirissä.

Viranomaiset eivät olleet mukana tuotekehitysvaiheessa. Lainsäädäntö ei edellytä yhteyden pitämistä heihin tässä vaiheessa. Vastaava johtaja piti muiden asioiden yhteydessä TTK:ta ajan tasalla hankkeesta, mutta varsinaisesti viranomaiset tulivat siihen mukaan vasta, kun tuote oli valmiiksi kehitetty ja oli päätetty rakentaa uuden tuotteen valmistamisen vaatima tuotantoyksikkö.

Kaikilla tuotekehitysprojektissa mukanaolleilla oli runsaasti kokemusta perinteisistä räjähdysaineista. Sovellukseen liittyvä polymeerikemia oli kuitenkin uutta ja outoa perinteisten räjähdysaineiden parissa työskennelleille, mukaan luettuina Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen asiantuntijat. Forcit-konserniin kuuluvan dispersiotehtaan laboratoriapäällikköä ei virallisesti kytketty projektiin eikä hänen polymeerikemian osaamistaan hyödynnetty kuin epävirallisissa keskusteluissa. FPX:n keksijää lukuunottamatta henkilöt osallistuivat hankkeeseen muiden töidensä ohella.

9.4 FPX-tuotekehitysprojektin vaiheet

Tuotekehityshanke oli nelivaiheinen:

- **Vaihe 1:** Tuotekehityssopimus 273/Meri-88 (10.10.1988). Tavoitteena shokkienergiapainotteinen räjähdysaine, jonka teho olisi 1,5-kertainen valettuun trotyyliin verrattuna.
- **Vaihe 2:** Tuotekehityssopimus 269/Meri-89 (18.9.1989). Tavoitteena räjähdysaineen hygroskooppisuuden vähentäminen.
- **Vaihe 3:** Tuotekehityssopimus 144/Meri-90 (23.4.1990). Tavoitteena räjähdysaineen epäherkkyyden parantaminen. Aiempien vaatimusten lisäksi päämääräksi kirjattiin, että lopullinen tuote täyttäisi 18.10.1988 päivätyn standardiluonnoksen MIL-STD-2105A (NAVY) vaatimukset.
- **Vaihe 4:** FPX-4:n testaustoiminta III-vaiheen raportin valmistuttua.

Forcitilla hanke priorisoitiin korkealle. Merivoimien kanssa tehdyssä sopimuksessa ja projektineuvotteluissa hankkeelle asetettiin tiukat aikataulut ja yhtiössä haluttiin pitää niistä kiinni. Tämä edellytti muun muassa ylitöiden tekemistä ja opiskelijan palkkaamista laboratorioon projektityöhön.

Jossakin vaiheessa Forcitilla FPX-projektin rinnalle syntyi toinen tuotekehityslinja. Forcitiin laboratoriohenkilöstö ryhtyi muiden tehtäviensä ohella kehittämään muovisidosteista räjähdysainetta, joka oli FPX:ää "perinteisempää". Uuden projektin käynnistänyt laboratoriohenkilöstö ei mielestään tuntenut riittävästi polymeerikemiaa, piti kahta polymeeriä huonosti hallittavissa olevana yhdistelmänä eikä hyväksynyt FPX:n hygroskooppisuutta, lämpölaajenemista ja juoksevuuutta. Yhtiössä suhtauduttiin epäilyksiin vakavasti, koska toisellekin tuotekehityslinjalle annettiin mahdollisuus.

9.4.1 Vaihe 1: Räjähdyshon saavuttaminen

Ensimmäisessä vaiheessa tuotekehitystyön tavoitteena oli shokkienergiapainotteinen räjähdysaine, jonka teho olisi 1,5-kertainen valettuun trotyyliin verrattuna. FPX:n keksijä työskenteli Forcitiin laboratoriossa, jossa hän teki pienessä mittakaavassa lukuisia sekoituksia ja kokeiluja eri aineilla ja sekoitusasteilla. Hän toimi pelkästään tämän projektin parissa ja on kertonut saaneensa vastata itsenäisesti FPX-räjähdysaineen kehittämistä hankkeen kaikissa vaiheissa.

9.4.2 Vaihe 2: Hygroskooppisuuden vähentäminen

Tuotekehitysprojektissa oli syksyyn 1989 mennessä käynyt ilmi, että uuden räjähdysaineen perusongelma oli aineen hygroskooppisuus. Tämän vuoksi tehtiin 18.9.1989 uusi sopimus 269/Meri-89, jossa uudeksi tavoitteeksi asetettiin räjähdysaineen hygroskooppisuuden vähentäminen, vaikka se tapahtuisikin räjähdysenergian pienen vähenemisen kustannuksella.

Hygroskooppisuuden osalta tavoitetta ei saavutettu, mutta Merivoimat päätti myöhemmin hyväksyä tämän ominaisuuden, mikäli valmistuksen aikana miinan kuoren täyttö tapahtuisi tyhjässä ja miinan kuori olisi täysin tiivis.

9.4.3 Vaihe 3: Epäherkkyysominaisuuksien parantaminen

Kehitystyö sai uutta suuntaa Merivoimien ja Forcitiin 23.4.1990 solmimassa sopimuksessa 144/Meri-90, jossa aiempien vaatimusten lisäksi päämääräksi kirjattiin, että lopullinen tuote täyttäisi 18.10.1988 päivätyn standardiluonnoksen MIL-STD-2105A (NAVY) vaatimukset.

Epäherkkyysvaatimusten saavuttamisesta tuli tuotekehityshankkeen kolmannen vaiheen keskeisin tavoite. FPXAI-räjähdysaine ei kesäkuussa 1990 testattaessa täyttänyt yhdenkään standardiluonnoksen mukaisen testin vaatimuksia, jonka takia syksyllä 1990 testattiin lukuisia eri koostumuksellisia seoksia. Uusien seosten pienmittakaavassa tapah-

tuva valmistus helpottui, kun Forcit sai syys-lokakuun vaihteessa käyttöön tyhjössä työskentelyn mahdollistavan sekoittimen.

Marraskuussa 1990 pidetyssä projektineuvottelussa Merivoimat lievensi räjähdysainetta koskevia epäherkkyyksivaatimuksiaan edellä kappaleessa 4.3 selostetulla tavalla. Samassa projektineuvottelussa FPX:n keksijä esitti reseptit neljästä eri seoksesta, joista hän suosittelee jatkossa käytettäväksi "seosta 4". Merivoimien edustajan kysyessä kyseiseen seoksen valintaan mahdollisesti liittyviä riskejä, ilmoitti Forcitin toimitusjohtaja, että asiaa oli pohdittu eikä riskejä oltu havaittu. Kokouksen sihteeri ehdotti pöytäkirjassa räjähdysaineen nimeksi FPX-4. Tämä seos oli pohjana jatkokehitykselle.

Pian projektineuvottelun jälkeen suoritettiin FPX-4:lle SCB-testi, jossa tutkimustodistuksen mukaan tapahtui räjähdys. Tammikuussa 1991 pidetyssä seuraavassa projektineuvottelussa räjähdysaineen kuitenkin tulkittiin läpäisseen testin. Aine ei ollut detonoitunut, mutta reaktio oli kuitenkin ollut melko raju. Arviointiperusteet on esitetty III-vaiheen raportin liitteenä 6.

Samalla testauskerralla SCB-testin kanssa suoritettiin myös paineiskuherkkyys (GAP)-testi, jonka mukaan FPX-4 oli selvästi epäherkempää kuin valettu trotyyli.

Marraskuussa 1990 tehtiin alumiinikuoreen ladatulla FPX-4:llä vedenalaisia räjäytyskokeita, joissa saatiin hyviä tuloksia: shokkienergia oli 1,59-kertainen valettuun trotyyliin verrattuna.

FPX:n keksijä siirtyi tutkijaksi Puolustusvoimien Tutkimuskeskukseen, jossa hän työskenteli muun muassa muovisidosteisiin räjähdysaineisiin liittyvissä tehtävissä ja jatkoi FPX:n kehittämistyötä osallistuen myös FPX-projektineuvotteluihin.

Tuotekehityshankkeen kolmannen vaiheen loppuraportti ilmestyi 31.1.1991.

9.4.4 Vaihe 4: FPX-4:n viimeistely ja testaus

Seuraavassa projektineuvottelussa tammikuussa 1991 oli hygroskooppisuuden vähentäminen edelleen esillä. FPX:n keksijälle annettiin tehtäväksi määrittää uusi resepti, jossa litiumperkloraatti on osittain korvattu ammoniumperkloraatilla. Samassa neuvottelussa oli esillä myös lasikuituvahvisteisen kuorimateriaalin käyttö.

Helmikuussa 1991 suoritettiin Niinisalossa ampumiskoe ja nopea polttokoe. Ampumiskokeesta FPX-4 selvisi erinomaisesti, mutta polttokoetta se ei täysin läpäissyt.

Toukokuussa 1991 pidetyssä projektineuvottelussa FPX:n keksijä esitteli kehittämänsä teoreettisen mallin, jolla räjähdysaineen optimaalinen sekoitussuhde voitiin laskea. Tuotannossa sittemmin käytetty resepti oli hyvin lähellä tällä mallilla laskettua sekoitussuhdetta.

Epäherkkyyden katsottiin olevan riittävyiden rajoilla. GAP-testistä ja ampumiskokeesta FPX-4 oli selvinnyt erinomaisesti, mutta se ei selvinnyt täysin SCB-testistä ja polttokokeesta.

Samassa neuvottelussa hygroskooppisuudesta todettiin, ettei se enää muutu. Jatkotoimenpiteeksi kirjattiin, että täyttötekniikka on saatava sellaiseksi, ettei räjähdysaineeseen pääse kosteutta.

Kesästä 1991 lähtien on FPX-4:n koostumus pysynyt muuttumattomana.

Tuotekehityshankkeen aikana hankkeessa mukana olleiden innostus FPX:ää kohtaan oli kasvanut, sillä näköpiirissä näytti olevan mahdollisuus saavuttaa jotakin ainutlaatuisia, johon kukaan muu ei ollut vielä pystynyt. Tuotetta pidettiin poikkeuksellisen epäherkkänä. Kun lisäksi Forcitilla vahvistui käsitys Merivoimien tarpeesta saada miinatuotanto viivyttyksettä käyntiin, pyrittiin välttämään projektia hidastavia tekijöitä, josta syystä esimerkiksi polymeerikemiaan ei perehdytty.

9.5 FPX-4:n valinta merimiinan räjähdysaineeksi

Merivoimien komentaja päätti 26.6.1991, että FPX-4 valitaan merimiinan räjähdysaineeksi. Päätöksenteon pohjana hänellä olivat FPX-projektineuvottelujen pöytäkirjat sekä projektissa mukana olleiden Merivoimien edustajien antama informaatio. Uuden räjähdysaineen viimeisimpiä testituloksia pidettiin hyväksyttävänä, jopa hyvinä. Materiaali täytti räjähdystehon osalta sille asetetut vaatimukset (kokeet marraskuussa 1990). Epäherkkyyden osalta se ei vielä läpäissyt kaikkia kokeita (kokeet helmikuussa 1991).

Forcitin toimitusjohtajan mukaan FPX:n keksijä olisi halunnut edelleen kehittää tuotetta ja ratkoa siinä havaittuja ongelmia - hygroskooppisuutta ja lämpölaajenemista - mutta niillä ei tämän projektin kannalta katsottu olevan suurta merkitystä. Edelleen toimitusjohtajan mukaan kenelläkään ei ollut tiedossa seikkaa, joka olisi antanut aiheen epäillä, etteikö räjähdde olisi turvallista valmistaa tai käyttää.

Forcitin johdossa vallitsi käsitys, että Merivoimilla oli tarve saada miinatuotanto nopeasti käyntiin eikä heillä ollut aikaa odottaa loputtomiin. Esimerkiksi hygroskooppisuuden tutkiminen oli jo viivästyttänyt hanketta noin vuoden. Toisaalta Merivoimilla olisi ollut käytettävissä myös ranskalainen vaihtoehto.

Tässä vaiheessa Forcitilla päätettiin luopua oman henkilöstön perinteisen räjähdysainevaihtoehdon kehittämisestä, koska todettiin, että sillä ei päästy samoihin ominaisuuksiin FPX-4:n kanssa. Perinteisen linjan tuotekehittäjät suhtautuivat tilanteeseen kuitenkin positiivisesti, koska epäherkkyysominaisuuksien osalta FPX-4 vaikutti perinteiseen tuotteeseen verrattuna ainutlaatuiselta. Merivoimien selkeä valinta FPX-4:n hyväksyi vaikutti tietysti myös asiaan.

Heinäkuussa 1991 oli päätetty vielä tehdä I.M.-testit 13 kappaleelle muovikuorisia 13 kg:n FPX-4-latauksia (Tilaus 223/Meri-91). Kokeet suoritettiin lokakuussa 1991. Nopeassa polttokokeessa ne olivat epäherkempiä kuin alumiinikuoriset, mutta eivät täysin täyttäneet asetettua vaatimusta.

Lokakuussa 1991 pidetyssä projektineuvottelussa FPX:n keksijä esitti neljän vuoden projektisuunnitelman, joka sisälsi FPX-4:n lopullisen optimoinnin, räjäyttimen kehitystä

sekä muovisidosteisten räjähdysaineiden kehitystä sirpalekranaatteihin ja onteloamuksiin. Merivoimien edustaja pyysi Puolustusvoimien Tutkimuskeskusta, jonka palveluksessa FPX:n keksijä työskenteli, keskittymään miinan räjäyttimen suunnitteluun.

Helmikuussa 1992 pidetyssä seuraavassa projektineuvottelussa FPX:n keksijä kertoi Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen haluavan Merivoimien tuen FPX:n kehittämiseen. Merivoimien edustaja ilmoitti, ettei Merivoimat aseta esteitä jatkotutkimukselle, mutta tulevaa miinaerää varten ei kehitetä FPX:stä poikkeavaa ainetta ja että tärkeintä on kehittää räjäytin valmiiksi ja vasta sitten keskittyä FPX:n parantamiseen.

Epäherkkyystestejä suoritettiin vielä syyskuussa 1992. Käytetyt kappaleet olivat edellisissä testeissä käytettyjä pienempiä noin 3 kg räjähdysainetta sisältäviä, mutta ne sisälsivät aiemmasta poiketen myös räjäyttimen. Nopean polttokokeen tuloksia tulkittiin eri yhteyksissä eri tavoilla.

9.6 FPX-yksikön rakentaminen ja käyttöönotto

Kun FPX-4 oli valittu merimiinan räjähdysaineeksi, Forcitilla tuli ajankohtaiseksi tuotantolaitoksen - FPX-yksikön - suunnittelu ja toteutus.

Forcitin ja Puolustusvoimien välisen sopimuksen mukaisesti Puolustusvoimat vastasi osittain tuotantolaitteiden hankintakustannuksista, mutta muuten rakentaminen ja tuotannon suunnittelu olivat Forcitin vastuulla.

9.6.1 FPX-projektiryhmän perustaminen ja tehtävät

Forcitilla tuotekehitysprojektin edistymistä seurattiin ja toimintaa suunniteltiin vakiintuneissa jokapäiväisissä aamupalavereissa, joihin osallistuivat kaikki työpaikalla olevat, hankkeen kannalta keskeiset tekniset toimihenkilöt, myös yhtiön toimitusjohtaja.

Forcitin johtoryhmä nimesi kokouksessaan 12.8.1991 FPX-projektiryhmän, jonka tehtävänä oli valmistusyksikön suunnittelu ja toteutus. Ryhmää johti ja projektista vastasi tehtaalla käyttöinsinööri. Nelihenkinen projektiryhmän muiden jäsenten vastuualueet ja kaantuivat seuraavasti:

- Laboratorioinsinööri: räjähdysaine, raaka-aineet ja niiden testaaminen, ISO 9001-laatujärjestelmän huomioiminen yksikössä.
- Suunnittelija: rakennus- ja konetekniset kysymykset, tuotantoteknologian kehittäminen.
- Tuotekehittäjä: räjähdysaine-erien valmistaminen, räjäytystekniset kokeet, tuotekehitystyö.

Projektiryhmän jäsenistä vain suunnittelija oli päätoiminen. Lisäksi osaa heistä työllisti muun muassa miinan räjäyttimen suunnittelu yhdessä Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen kanssa.

Toimitusjohtaja ja vastaava johtaja tukivat ryhmän toimintaa ja osallistuivat sen kokouksiin toimitusjohtajan toimiessa kokousten puheenjohtajana. Molempia informoitiin lisäksi suullisesti päivittäin. Joihinkin projektiryhmän kokouksiin osallistui myös yhtiön tehdas-palvelupäällikkö.

FPX-projektiryhmä kokoontui 10.1.1992 - 3.5.1993 välisenä aikana 12 kertaa eli keskimäärin kerran kuukaudessa.

Ryhmän vetäjäksi nimetty käyttöinsinööri on kertonut liittyneensä projektiin "jonkin verran vastentahtoisesti" muiden työkiireidensä takia. Hän asettikin hankkeeseen osallistumisen ehdoksi muun muassa sen, ettei hänen tarvitse perehtyä FPX-4:n reseptiin.

9.6.2 Päätökset Oy Forcit Ab:ssä

Forcitilla päätettiin:

- 1) pyytää FPX-4:n resepti FPX:n keksijöitä ja olla itse perehtymättä tuotteen polymeerikemiaan, sekä
- 2) siirtyä pienmittakaavaisesta tuotannosta suoraan tuotantomittakaavaan.

Molempiin päätöksiin vaikutti Forcitilla syntynyt käsitys siitä, että Merivoimilla oli tarve saada miinatuotanto käyntiin ja että se halusi välttää toimia, jotka olisivat voineet aiheuttaa lisäviivettä tuotannon käynnistymiselle. Laboratorioinsinöörin mukaan tilaaja ei ollut kiinnostunut uusista laboratoriokokeista, joita FPX:ään perehtyminen olisi hänen mukaansa edellyttänyt tai reseptimuutoksista, joihin uudet laboratoriokokeet olisivat voineet johtaa.

Päätös siirtyä pienmittakaavaisesta laitteistosta (noin 5 kg) suoraan tehdasmittakaavaiseen laitteistoon (noin 400 kg) koettiin Forcitilla ainoaksi mahdolliseksi vaihtoehdoksi. Laboratorioinsinöörin mukaan asiasta ei varsinaisesti keskusteltu, mutta hänen käsityksensä mukaan kaikki olivat yhtä mieltä siitä, että aikataulullisesti ja taloudellisesti ei ollut mahdollisuutta edetä tuotantomittakaavaan keskikokoisen välivaiheen kautta. Mukana olleet ovat myöhemmin kertoneet, että siirtymisestä on keskusteltu projektineuvotteluisa, mutta niiden pöytäkirjoissa ei asiaa ole mainittu.

FPX-4:n lämpölaajenemiseen liittyvät ongelmat päätettiin laboratorioinsinöörin mukaan ratkaista etenemällä seuraavassa järjestyksessä:

- 1) Rakennetaan tuotantolaitos.
- 2) Valmistetaan miinoja tuotantomittakaavassa (tuotantolaitoksen koekäyttö).
- 3) Saadaan kokemuksia tuotantomittakaavaisesta tuotteen valmistamisesta.
- 4) Ratkaistaan lämpölaajenemisongelma, kun käytössä on täysimittakaavainen tuotantolinja.

Tässä vaiheessa yhteydet FPX:n keksijään olivat aiempaa vähäisempiä. Tilannetta, jossa varsinainen tuotekehittäjä ei ollut viemässä tuotettaan tuotantomittakaavaan, ei pidetty parhaana mahdollisena. Toisaalta tuotetta pidettiin poikkeuksellisen epäherkkänä.

Panosprosessiin (yhden tuotantoerän valmistamiseen kerrallaan) päädyttiin, koska se tiedettiin muovisidosteisten räjähdysaineiden tuotannossa yleiseksi tuotantotavaksi, eikä muussa prosessiteollisuudessa käytettävää jatkuvaa prosessia pidetty mahdollisena.

Raaka-aineiden sekoituksessa noudatettu käytäntö ei ollut polymeerituotannossa hyviksi katsottujen menettelytapojen mukainen. Jokaisen valmistuserän jälkeen sekoitusastiaan jätettiin vanhaa, vähitellen kovettuvaa materiaalia, joka seuraavaa erää valmistettaessa sekoittui uuden miinan materiaaliin.

9.6.3 Turvallisuusanalyysien laatiminen

FPX-projektiryhmän vetäjän aloitteesta kaikille FPX:n raaka-aineille ja tuotannossa syntyville välituotteille päätettiin tehdä herkkyykokeet. Impulssina kokeille oli vuonna 1991 havaittu perklooraatin ja glyserolin seoksen nalliherkkyys. Kokeita tehtiin Forcitilla ja Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksessa. Viimeiset koetulokset saatiin tutkimuskeskuksesta 1.2.1993 ja em. liuoksen todettu nalliherkkyys johti neljän miinan valmistuksen jälkeen raaka-aineiden sekoitusjärjestyksen muuttamiseen tuotantoprosessissa.

FPX-yksikölle päätettiin tehdä myös kaksi turvallisuusanalyysiä: poikkeamatarkastelu ja toimintovirheanalyysi. Tehtävistä analyyseistä laadittiin suunnitelma, jossa analyysikohteiksi rajattiin raaka-aineiden annostelu ja punnitus, massan sekoitus ja täyttö sekä räjäyttimen asennus. Suunnitelma ei sisältänyt laadinta-aikataulua tai analyysien valmistamisen kytkemistä esimerkiksi laitoksen käyttöönottoon.

Analyydit päätettiin tehdä vastaavan johtajan johdolla itse. Forcitilla oli tutustuttu analyysimenetelmiin vuosina 1990 - 91 toteutetussa tutkimushankkeessa, jossa ulkopuolisen vetäjän johdolla oli tehty poikkeamatarkastelu ja toimintovirheanalyysi anitiin valmistuksesta. FPX-yksikössä analyysimenetelmiä käytettiin itsenäisesti ensimmäistä kertaa.

Analyydit ehdittiin toteuttaa ennen onnettomuutta vain osittain. Poikkeamatarkastelut aloitettiin kahdella raaka-aineiden annosteluun ja punnitukseen liittyvällä palaverilla syyskuussa 1992. Muilta osin poikkeamatarkastelut jäivät tekemättä. Toimintovirheanalyysijä ei ehditty aloittaa.

9.6.4 Työsuojeluorganisaation toiminta

Työsuojelutoimikunta ei ole kokouksissaan ottanut kantaa uuden räjähdysaineen tuotekehitykseen tai FPX-osaston suunnitteluun ja rakentamiseen. Työsuojeluorganisaation jäsenet olivat omasta aktiivisuudestaan ja varsinaisista työtehtävistään riippuen tietoisia ko. toiminnasta ja osallistuivat siihen varsinaisten työtehtäviensä mukaisesti.

Työsuojelutoimikunnalla oli hyvät mahdollisuudet kuulla projektista ja seurata sen etenemistä, koska FPX-projektiin keskeisesti osallistunut laboratorioinsinööri kuului työsuojelutoimikuntaan. Projektiin liittyvien kiireidensä vuoksi hän ei kuitenkaan ehtinyt aina työsuojelutoimikunnan kokouksiin.

Työsuojelupäällikkö, työsuojeluteknikko ja työntekijöiden työsuojeluvaltuutettu osallistui vuonna 1992 työsuojelun peruskurssille, jonka harjoitustyönä he laativat FPX-yksiköstä 16-sivuisen raportin "Työsuojelun huomioiminen uuden tuotanto-osaston suunnittelussa". FPX-yksikkö valittiin harjoitustyön kohteeksi, koska sen valmistuminen ajoittui samanaikaisesti kurssin kanssa. Raportissa kuvataan monipuolisesti mm. FPX-yksikön työolosuhteita (ergonomia, työhygienia, henkinen ja fyysinen kuormittuminen, terveydelle vaaralliset kemikaalit), henkilösuojaimien käyttöä ja palosuojelua. Onnettomuusvaarojen osalta raportissa mainitaan uuden räjähdysaineen epäherkkyys ja räjähdysriskin pienuus. Harjoitustyötä laadittaessa ko. henkilöt olivat keskustelleet suunnittelusta ja rakentamisesta sekä mm. työterveyshuollosta vastaavien henkilöiden kanssa ja tutustuneet valmiisiin rakennuksiin.

Tutkintalautakunnalle toimitetussa selvityksessä "FPX-projektitiedote työsuojeluvaltuutetulle" todetaan seuraavaa: "FPX-projektiryhmän vetäjä on kuukausittain antanut suullista informaatiota työntekijöiden työsuojeluvaltuutetulle. Tavallisesti informaatio annettiin viikon kuluttua FPX-suunnittelukokouksesta, jolloin kokouspöytäkirja käytiin läpi sekä muista ajankohtaisista asioista keskusteltiin. Työsuojeluvaltuutettu oli sähkömiehen ammatista johtuen aktiivisesti mukana asennustöissä, jolloin projektista keskusteltiin lähes päivittäin."

Työsuojeluvaltuutettu osallistui FPX-yksiköstä tehtyjen poikkeamatarkastelujen laadintaan. Poikkeamatarkastelut laadittiin FPX-projektiryhmän aloitteesta ja toimesta eikä niiden tuloksia esimerkiksi toimitettu työsuojelupäällikölle tai käsitelty työsuojelutoimikunnassa.

Työturvallisuuden ja tuotannon räjähdysaineturvallisuuden suhteen yrityksessä vallitsee työsuojelupäällikön mukaan työnjako, jossa työsuojeluorganisaation tehtävänä on työtilojen ja työympäristön kehittäminen. Vastuu räjähdysainetuotannon turvallisuudesta kuuluu tuotanto-organisaatiolle, jonka toimintaa valvoo TTK. Tehtävät ovat osin päällekkäisiä ja työnjakoa hänen ja TTK:n hyväksymän vastaavan johtajan välillä on ollut joskus vaikeata määritellä. Tämä ei kuitenkaan ole käytännössä aiheuttanut ongelmia, vaan asiat on hoidettu jommankumman toimesta tai yhteistyössä.

9.6.5 Viranomaistarkastukset

Tekniselle tarkastuskeskukselle (TTK) lähetetyssä FPX-yksikön perustamislupahakemuksessa (10.12.1991, uusittuna 2.3.1992) korostettiin FPX-4:n epäherkkyttä. Hakemuksen mukaan Merivoimat oli asettanut päämääräksi, että välittymistä ei saa tapahtua, jos räjähdekappaleitten välinen etäisyys on vähintään sama kuin niiden halkaisija.

Työsuojelutarkastaja antoi lausuntonsa 2.3.1992 eli samana päivänä, jona rakennuslupa myönnettiin ja Forcit täydensi TTK:lle aikaisemmin jätettyä perustamislupahakemusta. Lausunto annettiin rakennuspiirustusten pohjalta. Työsuojelunäkökulmasta huomautettavaa ei ollut.

TTK myönsi perustamisluvan 4.9.1992. Samassa kuussa suoritettiin viimeiset epäherkkyystestit Lakialassa. Tässä vaiheessa tuotantorakennukset olivat käytännössä valmiit.

Prosessilaitteisto oli tilattu, mutta se oli osin myöhässä ja asentamatta. Raaka-aineet oli valittu, mutta lopulliset spesifikaatiot olivat tekemättä.

Perustamislupa myönnettiin siis tilanteessa, jossa esimerkiksi rakennukset olivat jo valmiit. Tämä on alalla kuitenkin tavanomainen käytäntö. Pelkoa perustamislupahakemuksen hylkäämisestä tai suurista muutoksista lupaehtoihin ei tässä tilanteessa yleensä ole, koska epävirallinen yhteydenpito hakijan ja viranomaisten välillä eliminoi yllätysten vaaran.

Forcit haki yksikölle koekäyttölupaa 25.1.1993. TTK tarkasti yksikön 3.2.1993, jolloin tarkastajalle luovutettiin glyseroli-litiumperkloraattiliuoksen herkkyystudkimusraportit ja vakuumikäsittelyä koskeva raportti. Liuoksen todettu nalliherkkyys johti aikaisemmin mainittuun sekoitusjärjestyksen muuttamiseen prosessissa. FPX-yksikölle myönnettiin väliaikainen käyttölupa 12.2.1993. Lupa oli voimassa 30.6.1993 saakka.

Forcit pyysi 26.5.1993 TTK:ta suorittamaan käyttöönottotarkastuksen. Sitä ei ehditty suorittaa ennen onnettomuutta. Yksikkö toimi onnettomuushetkellä väliaikaisella käyttöluvalla.

Sähkö tarkastuskeskus tarkasti yksikön 5.2.1993. Tarkastuksessa eräät asennukset todettiin keskeneräisiksi. Viat ja puutteet määrättiin korjattaviksi ennen yksikön käyttöönottoa, mutta ilmoitusta korjauksista tai uusintatarkastusta ei edellytetty.

9.7 FPX-4:n valmistuksen aloittaminen

9.7.1 Raaka-ainespesifikaatiot ja vastaanottotarkastukset

Valmistuksen aloittamista varten laboratorioinsinööri määritteli raaka-ainespesifikaatiot. Ne olivat tässä vaiheessa vielä alustavat, koska tuotteesta ja sen raaka-aineista oli vasta vähän kokemuksia.

Raaka-aineiden hankintaeräkohtaiset ominaisuudet saattavat vaihdella siten, että sillä on vaikutusta kehitettävän tuotteen ominaisuuksiin. Tähän ei Forcitilla varauduttu. Tuotekehitysvaiheen laboratoriomittakaavaisessa valmistuksessa ei pyritty saamaan tietoa raaka-aineiden kemiallisen koostumuksen vaihtelun vaikutuksista tuotteen ominaisuuksiin ja lisäksi Forcit joutuu käytännössä pienenä polymeerien käyttäjänä tyytymään normaaliin tuotevalikoimaan, jossa aineen ominaisuudet saattavat eräkohtaisesti vaihdella.

Raaka-aineiden määrittely ja laadunvalvonta oli järjestetty Forcitin auditoidun laadunvarmennusjärjestelmän mukaisesti. Vastaanottovaatimuksien määrittelyyn vaikutti tuotteiden tarkastukseen käytettävissä ollut laitekanta, jota täydennettiin tässä yhteydessä viskosimetrillä.

Raaka-aineiden spesifikaatiota ja vastaanottotarkastuksia määriteltäessä toimittiin laatujärjestelmän mukaisesti. Laatujärjestelmän mukainen toiminta ei estänyt vahingon syntyä, koska perimmäinen ongelma liittyi polymeerireaktioiden ja niiden mekanismien puutteelliseen tuntemukseen.

9.7.2 FPX-yksikön koekäyttö

FPX-yksikön koekäyttövaiheen tapahtumat on selostettu yksityiskohtaisesti edellä jaksossa 5.1. Siinä todetaan FPX:ssä esiintyneen eroja eri täyttökerroilla.

FPX-yksikön liittäminen laadunvarmennusjärjestelmään oli vielä osin kesken. Raaka-aineiden laadunvalvonta oli järjestetty laadunvarmennusjärjestelmän mukaisesti. Yrityksen laatu päällikkö oli tarkastanut yksikölle laaditut yksityiskohtaiset työhöjeet. Koekäyttövaiheen aikana työhöjeistä jouduttiin kuitenkin poikkeamaan ja käyttämään työtapoja, joita ei työhöjeissa oltu kuvattu, kuten esimerkiksi reikälevyjien poistaminen miinan täytön yhteydessä, nesteen poistaminen räjähdysaineen pinnalta ja uudelleensekoittaminen.

Toimintatapoja koekäyttövaiheen ongelmien käsittelemiseksi ei oltu riittävästi suunniteltu ja sovittu ennakolta. Osa ongelmista jäi selvittämättä. FPX:n keksijään oltiin yhteydessä, kun hänen odotettiin voivan tuoda lisävalaistusta johonkin ongelmaan. Missään vaiheessa ei ollut esillä tuotannon keskeyttäminen ongelmien selvittämisen ajaksi.

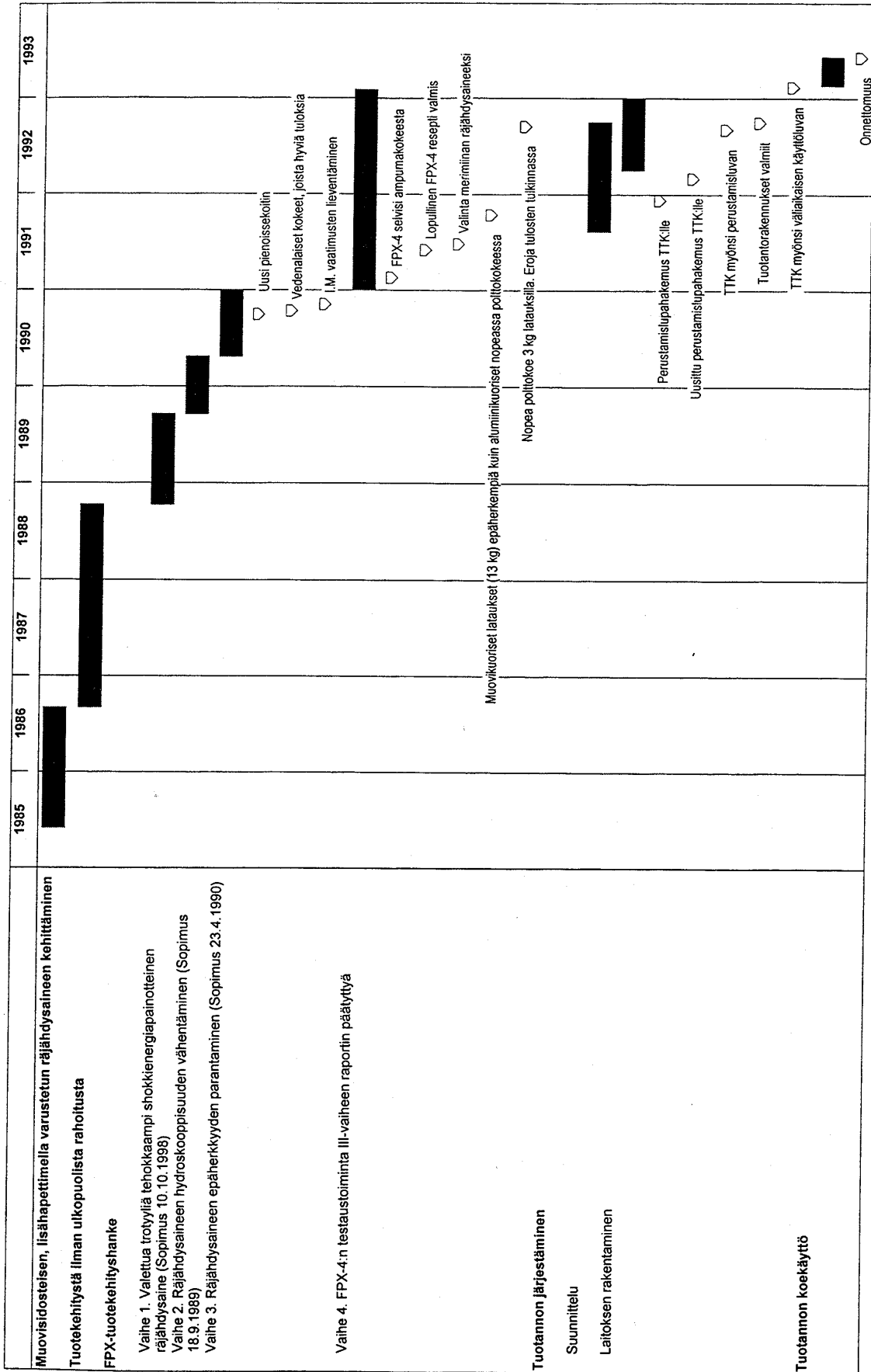
Prosessin valvonnassa oli eräitä puutteita. Jälkikäsitteilylaitoksen kuuman linjan lämpötilaerojen kirjaaminen ei ollut systemaattista. Lämpömittaria ja termostaattia ei kalibroitu keskenään ja lämpömittari jäi rikkouduttuaan korjaamatta.

9.7.3 Päätös uudelleensekoittamisesta

Onnettomuuden synnyn kannalta keskeinen päätös oli räjähdysaineen uudelleensekoittaminen nesteen erottumisen jälkeen. Perinteisten räjähdysaineiden valmistuksessa uudelleensekoittaminen on tavanomainen menettelytapa, mutta polymeerituotteen kysymyksessä ollessa uudelleensekoittaminen varmuudella häiritsee käynnistynyttä verkoutumisreaktiota ja saattaa vaikuttaa odottamattomalla tavalla seoksen käyttäytymiseen ja tuotteen ominaisuuksiin.

Uudelleensekoitukseen päädyttiin useiden erillisten keskustelujen jälkeen. Näihin keskusteluihin osallistuivat kaikki hankkeen kannalta keskeiset henkilöt. Myös FPX:n keksijään oltiin yhteydessä. Päätöksiä ei ole dokumentoitu. Sekoittamista koskevat keskustelut käytiin esimerkiksi tavattaessa muiden asioiden yhteydessä.

Yhteenveto tuotekehityshankkeesta on seuraavalla sivulla olevassa kaaviossa.



Yhteenveto tuotekehityshankkeesta

9.8 Johtopäätökset

Forcit on pitkään räjähdealalla toiminut, turvallisuustietoinen ja vastuunsa tunteva pk-yritys. Työsuhteet yrityksessä ovat tavallisesti pitkiä. Toimintatavat ovat vakiintuneita ja kaikkien hyvin tuntemia. Ilmapiiri yrityksen sisällä on keskustelevalta ja avoin. Pk-yrityksille tyypilliseen tapaan turhaa byrokratiaa on pyritty välttämään. Yritys on ottanut käyttöön ISO 9001-laatu järjestelmän.

Yrityksellä ei FPX-hankkeen alkaessa ollut kokemusta suurista tuotekehitysprojekteista eikä sillä ollut muovisidosteisiin räjähdysaineisiin liittyvää osaamista.

Tuotekehitysprojektissa keskeisiä arviointikriteerejä ovat tulokset, aikataulu ja kustannukset. Lokakuussa 1988 alkanutta FPX-projektia pitkittivät hygroskooppisuuden vähentämiseksi ja epäherkkyyden parantamiseksi syyskuussa 1989 ja huhtikuussa 1990 tehdyt lisäsopimukset. Tuotekehityshankkeen loppuvaiheissa marraskuussa 1990 hyväksytyyn epäherkkyyksivaatimusten lieventämiseen ja luopumiseen hygroskooppisuusvaatimuksesta keväällä 1991 lienee siten vaikuttanut tilaajan - Merivoimien - kiire.

Helmikuussa 1991 tehdyissä kokeissa FPX-4 ei vielä täyttänyt kaikkia epäherkkyyksivaatimuksia. Kesäkuussa 1991 Merivoimat päätti hyväksyä FPX-4:n merimiinan räjähdysaineksi. Tätä päätöstä seurasivat Merivoimien ja Forcitin yhteinen päätös FPX-tuotantoyksikön rakentamisesta sekä päätös siirtyä pienmittakaavasta suoraan tuotantomittakaavaiseen FPX:n valmistukseen ilman pilot-plant välivaihetta. Tässä vaiheessa Forcitiilla päätettiin myös olla perehtymättä FPX:n polymeerikemiaan. Päätöksiin myötävaikuttivat lupaavat koetulokset laboratoriovaiheen ajalta ja paine käynnistää uutta tuotantoa.

FPX:n keksijä ei lokakuussa 1991 pitänyt tuotetta vielä valmiina, vaan olisi halunnut jatkaa kehitystyötä tavoitteena todettujen ongelmien ratkaiseminen ja räjähdysaineen käyttömahdollisuuksien laajentaminen. Tässä vaiheessa Merivoimien edustajat korostivat tarvetta saada ensin miinan räjäytin valmiiksi. Helmikuussa 1992 Merivoimien edustajat ilmoittivat, että Merivoimat ei enää halunnut jatkaa räjähdysaineen kehittämistä tilattua miinaerää varten, mutta ei asettanut esteitä FPX:n parantamiselle myöhemmin. Koekäyttövaiheessa käytettiin FPX:n keksijän kesäkuussa 1991 Forcitiille toimittamaa reseptiä.

FPX:n keksijä oli vuoden 1991 alussa siirtynyt takaisin aikaisemman työnantajansa, Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen palvelukseen Merivoimien kemistinä, jonka jälkeen hänen osallistumisensa FPX-yksikön toteutus- ja koekäyttövaiheeseen oli vähäistä. Tästä vaiheesta vastasi Forcit. FPX:n keksijällä oli runsaasti tietoa ja kokemusta räjähdysainealalta, mutta varsinaista polymeerikemian kokemusta hänellä ei ollut. Kaikilla tuotekehitysprojektissa mukana olleilla oli runsaasti kokemusta perinteisistä räjähdysaineista. Kenelläkään heistä ei kuitenkaan ollut riittävästi tietoa polymeerikemiasta, jotta he olisivat pystyneet kriittisesti arvioimaan uutta tuotetta tai sen kehittämisen ja valmistusprosessia sekä niihin liittyviä ongelmia.

FPX-yksikön koekäyttöä aloitettaessa oli varauduttu massan lämpölaajenemiongelmaan, jota yritettiin ratkaista eri tavoin. Kun uutena ongelmana tuli esiin massan pinnalle erottunut liuos, ongelma pyrittiin ratkaisemaan perinteisessä räjähdysainevalmistuksessa yleisellä uudelleensekoittamisella, ottamatta huomioon massan polymeeriominaisuuksia. Tämän uudelleensekoittamispäätöksen taustalla oli sama perussy, joka johti FPX-4 - tuotekehityshankkeen epäonnistumiseen, puutteellinen polymeerikemian tuntemus. Missään vaiheessa ennen onnettomuutta ei ollut esillä ajatus koekäytön keskeyttämisestä ongelmien selvittämiseksi. Syynä tähän lienee ollut yrityksen halu pitää kiinni aikatauluista.

FPX-projekti oli kaikille osapuolille - Forcit, Merivoimat ja FPX:n keksijä - tärkeä. Forcitin johto oli voimakkaasti ja näkyvästi sitoutunut hankkeeseen. Innostus kasvoi tuotekehitysvaiheessa entisestään "ainutlaatuisiksi" luonnehdittujen epäherkkyyskoetulosten myötä. Samalla nousi kynnys suhtautua hankkeeseen kriittisesti. Mukana olleiden keskuuteen syntyi mielikuva turvallisesta ja turvallisesti valmistettavasta räjähdysaineesta.

Kun Forcitilla lisäksi vahvistui käsitys Merivoimien tarpeesta saada miinatuotanto viivytystä käyntiin, hankkeessa päädyttiin ratkaisuihin, jotka edistivät tuotannon mahdollisimman nopeaa aloittamista. Muut näkökulmat jäivät vähemmälle. Projektihallinnan toimintatavat eivät riittävästi tukeneet järjestelmällistä ja kriittistä tilannearviointia hankkeen eri vaiheissa tai ongelmien järjestelmällistä tunnistamista, vaan mahdollistivat esimerkiksi tuotannon aloittamista mahdollisesti viivästyttävien ongelmien sivuuttamisen ja niiden ratkaisun siirtämisen tuonnemmaksi.

Jälkeenpäin voidaan todeta, että myös viranomaisilla oli riittämätön polymeerikemian tuntemus. Kysymyksessä oli myös heille uusi, perinteisestä räjähdysaineesta poikkeava "turvallinen" tuote. Kun tuote lupaavien ominaisuuksiensa lisäksi voitiin valmistaa ilman varsinaista räjähdysainelisyä, on ymmärrettävää, että viranomaisilla ei ollut mitään syytä epäillä alan auktoriteettien käsitystä tuotteesta ja sen ominaisuuksista. Päinvastoin oli luonnollista, että muiden osapuolien innostus ja tuotteen lupaavat ominaisuudet saivat viranomaiset vakuuttuneiksi sen hyvydestä.

Hankkeen lupamenettely on tapahtunut tuolloin voimassa olleiden normien mukaisesti eikä asian käsittelyssä ole havaittu virheitä. Asian käsittelyn aikana ei tullut ilmi seikkoja, jotka olisivat estäneet viranomaisten hyväksynnän suunnitelmille.

10 SUOSITUKSET

10.1 Tuotekehitystoiminta

Kun kyse on uuden räjähdysaineen tuotekehitystyöstä, on asiantuntevan kriittisen ajattelun turvaaminen poikkeuksellisten suurten riskien tähden välttämätöntä. Sama koskee myös muuta kemian- ja prosessiteollisuuden tuotekehitystyötä.

Merimiinaan soveltuvan muovisidosteisen räjähdysaineen tuotekehityshanke käynnistyi FPX:n keksijän ja Forcitin yhteistyönä. Tuotekehityshankkeen ongelmia olivat suhteellisen vähäiset resurssit ja riittämätön polymeerikemian tuntemus, esimerkiksi ulkopuolisista asiantuntijoista koostuvaa tukiryhmää ei ollut. Toisaalta projektiin osallistuneilla oli hyvä kokemus perinteisistä räjähdysaineista. Päätöksentekotilanteissa turvaututtiin perinteisten räjähdysaineiden valmistuksesta tuttuihin ratkaisuihin, esimerkiksi aineen uudelleensekoittamiseen nesteen erottumisen tapahduttua.

FPX:n keksijä kehitti itsenäisesti tuotteen, jonka polymeerikemiaan kukaan muu ei perehtynyt ja joka otettiin sellaisenaan tuotantomittakaavaiseen valmistukseen.

Tilajalla tai valmistajalla ei ollut pätevyyttä arvioida tuotetta, sen kehittämisen ja valmistusprosessia taikka niihin liittyviä ongelmia kriittisesti. Valmistajan henkilöstön piirissä heränneet epäilykset ilmenivät torjuntana, pyrkimyksenä välttää uuden oudon keksinnön mukanaan ehkä tuomat ongelmat.

Tilajalle oli tärkeää saada merimiinatuotanto käynnistymään. Tätä osoittavat alkuperäisistä vaatimuksista tinkiminen ja tuotereseptin lukkoonlyöminen keksijän tutkimusten jatkamisesityksestä huolimatta. Tämä vaikutti myös valmistajan ratkaisuihin.

Toimintatapoja koekäyttövaiheen ongelmien käsittelemiseksi ei ollut sovittu ennakolta, vaan vastaantuleviin ongelmiin pyrittiin reagoimaan tilanteen mukaan. Tässä yhteydessä valmistuksessa käytettiin työtapoja, joita ei ollut kuvattu työohjeissa. FPX:n keksijään otettiin yhteyttä vasta onnettomuuteen johtaneiden ongelmien yhteydessä. Missään vaiheessa ei ollut esillä tuotannon keskeyttäminen ongelmien selvittämisen ajaksi.

Uudelleensekoittamiseen johtanutta nesteen erottumista oli tapahtunut jo tuotekehitysvaiheessa, mutta tuolloin asiaan ei kiinnitetty huomiota. Asia olisi voinut tulla esille esimerkiksi räjähdysaineen valmistuksen täyden turvallisuusanalyysien yhteydessä, mutta analyysien laatiminen oli vielä kesken.

Tutkintalautakunta esittää, että asianomaisen teollisuuden, sen toimeksiantajien sekä valvontaviranomaisten tietoon saatetaan seuraavat tuotekehitystyötä koskevat suositukset:

Tuotekehityshankkeen suunnittelu

- 1) Jos toimittajalla ei ole kokemusta toimeksiannon laajuisista tuotekehityshankkeista, **suunnitteluun tarvittava osaaminen** olisi hankittava ulkopuolelta.
- 2) Toimittajan olisi laadittava kirjallinen **tuotekehityssuunnitelma**, josta selviää tuotekehityksen tavoite, suunnittelun lähtökohdat, menetelmät ja toimintatavat tuotekehityksessä, hankkeen aikataulu ja resurssitarve sekä organisaatio vastuunjakoineen. Räjähdyssainealalla suunnitelmassa olisi erityisesti otettava huomioon sekä hankkeen että itse tuotteen turvallisuuden varmistaminen.
- 3) Toimittajan tulisi järjestelmällisesti osoittaa, että sillä on **valmiudet** hankkeen toteuttamiseksi tai suunnitelma valmiuksien hankkimiseksi.
- 4) Toimittajan tulisi osoittaa tuntevansa hankkeeseen liittyvät **riskit ja keinot niihin varautumiseen**. Riskit tulisi selvittää järjestelmällisesti, ja selvityksen tulokset olisi kirjattava niin, että niitä voidaan hyödyntää ja täydentää hankkeen suunnittelussa sekä sen etenemisen seurannassa. Tarvittaessa selvityksen laatiminen ja päivittäminen olisi pantava hankkeen etenemiseen liittyvien päätösten hyväksymisen ehdoksi.
- 5) Toimittajan tulisi varmistua siitä, että toimittajan omassa sekä tilaajan organisaatiossa tunnetaan ja ymmärretään hankkeen onnistumiseen ja aikatauluun liittyvät reunaehdot ja riskit. **Yhteinen käsitys tilanteesta** varmistetaan riittäväällä tiedottamisella ja yhteistyöllä sekä sopimuksin.
- 6) Tilaajan tulisi varmistua siitä, että toimittaja noudattaa em. tuotekehityshankkeen **hyviä suunnittelukäytäntöjä**. Tilaajan olisi selvitettävä omat valmiudet tuotekehityshankkeen arviointiin. Tarvittaessa olisi puuttuva osaaminen hankittava ulkopuolelta.
- 7) Tuotekehityshankkeessa, jossa tavoitteena on oman toiminnan **laajentaminen** uudelle alueelle, olisi erityistä huomiota kiinnitettävä tuotekehityshenkilöstön osaamiseen. Tunnistamalla hankkeen avainhenkilöt tulisi varmistua siitä, ettei hanke ole riippuvainen yhden henkilön osaamisesta.
- 8) Uuden tyyppisen tuotteen ja sen tuotekehitysprosessin **arvioinnissa** tulisi tarvittaessa käyttää apuna hankkeen ulkopuolisia asiantuntijoita.

Tuotekehityshankkeen seuranta ja lopputuotteen hyväksyntä

- 9) Toimittajan ja tilaajan tulisi järjestelmällisesti seurata hankkeen etenemistä. Laatustandardien suositusten mukaisesti olisi tehtävä tavanomaisesta projekti-seurannasta erillisiä **tuotekehityksen suunnittelukatselmuksia**, joissa kriittisesti arvioidaan mm. tuoteominaisuuksia, niiden testaamista ja tuotteen valmistettavuutta. Katselmuksen tulisi edeltää ennalta suunnitellun aikataulun mukaisesti kaikkia keskeisiä päätöksiä hankkeessa. Tuote olisi hyväksyttävä tuotantoon vasta loppukatselmuksen jälkeen.

- 10) Katselmukset olisivat tarpeen myös **poikkeustilanteissa** - esimerkiksi hankkeen viivästyessä. Tällöin katselmukset tarjoaisivat mahdollisuuden kriittisesti arvioida syntyneitä tilannetta sekä hankkeelle jatkossa asetettavia vaatimuksia ja hankeorganisaation mahdollisuuksia vastata niihin. Katselmusten kumuloituva dokumentointi varmistaisi aikaisempien havaintojen ja ongelmien esillä pysymisen.

Toimintatavat tuotantomittakaavaisessa koekäytössä

- 11) Dokumentoituja katselmuksia olisi **jatkettava** koko hankkeen ajan. Ennen koekäyttövaiheen aloittamista olisi normaalien toimintatapojen turvallisuus varmistettava turvallisuusanalyysin avulla.
- 12) Koekäyttövaiheen **toimintatavat** olisi suunniteltava ja dokumentoitava ennakolta. Kyseisessä vaiheessa mahdollisesti käytettävien normaalista poikkeavien työtapojen turvallisuus olisi varmistettava järjestelmällisesti esimerkiksi turvallisuusanalyysin tai tarkistuslistoin.

Viranomaisten toiminta tuotekehitystyön aikana

- 13) Toimivaltaisella viranomaisella tulisi olla mahdollisuus seurata uusien räjähdysaineiden kehittämishankkeita ja tässä yhteydessä varmistua siitä, että
- asianmukainen hankkeen turvallisuutta ja riskien hallintaa koskeva suunnitelma on tehty,
 - suunnitelmaa on pidetty ajan tasalla, ja
 - suunnitelman edellyttämät ilmoitukset, katselmukset ja muut toimenpiteet on toteutettu.

10.2 Pelastustoimet

Forcit oli laatinut asianmukaisesti pelastustoimiin liittyvät suunnitelmat. Pelastustoimet onnistuivat pääsääntöisesti hyvin. Pelastusorganisaation toimintaa ei jouduttu testaamaan vaikeimmissa mahdollisissa oloissa. Vaikka henkilö- ja aineelliset vahingot jäivät suhteellisen vähäisiksi, tuli pelastustoimien aikana ilmi ongelmia, jotka vaikeammassa olosuhteissa ja tilanteissa olisivat voineet haitata pelastustoimia. Vaikeudet liittyivät pelastuslaitoksen, poliisin ja tehtaan henkilöstön yhteistoimintaan ja toisaalta palokaluston puutteisiin. Viimeksimainitut puutteet on sittemmin Hangossa korjattu. Ensiksi mainitun ongelman esiintyminen sitävastoin lienee tyypillistä muissakin vastaavissa tilanteissa, joissa ei ole ollut mahdollista järjestää riittävän laajoja yhteisharjoituksia.

Tästä syystä tutkintalautakunta esittää, että

- 14) Potentiaalisesti vaarallisten laitosten pelastustoimia harjoitellaan säännöllisesti viranomaisten ja laitosten henkilöstön ja johdon yhteistoimin.

RÄJÄYTYSKOKEET POKASSA

6-8.9. 93.

LIITE N:O A

KOMMENTIT TULOKSISTA

Kraateriteoria

Kokeet oli suunniteltu ja tehty asianmukaisesti, mutta niistä tehdyt merivoimien selvitykset kaipaavat kommentointia.

Yleisesti on tunnettua, että lähellä maan pintaa räjäytettäessä syntyy kraateri, jonka dimensiot voidaan laskea kaavasta 1a

$$D = K \cdot \sqrt[3]{W} \quad (1a)$$

Tämän empiirisen kaavan mukaan kraaterin korkeuden suhde halkaisijaan (h/D) on likimäärin 1/4. Räjäytyskokeen nämä suhteet täsmäävät verrattain hyvin. Maan tiiviyyden ollessa tavanomainen K:n arvo on 1,5.

$$D = 1,5 \cdot \sqrt[3]{W}, \text{ missä} \quad (1)$$

D on kraaterin halkaisija (ft)
W on räjähdysainemäärä (Lb)

Kun kaavaan 1 sijoitetaan metriset yksiköt, niin saadaan kaava 2

$$D = 0,6 \cdot \sqrt[3]{W}, \text{ missä} \quad (2)$$

D on kraaterin halkaisija (m)
W on räjähdysainemäärä (kg)

$$W = \frac{D^3}{0,6^3} \quad (3)$$

Räjäytyskokeista, jossa räjäytettiin 1 miina, saadun tuloksen perusteella tunnetaan halkaisija 5 m, ratkaistaan kaavasta (3) **W**, niin saadaan $W=579$ kg ja **TNT-ekvivalentiksi** $579/380=1,52$.

Taulukossa 1. On laskettu muutamilla muillakin kraaterin halkaisijoilla, paljonko ko suuruisen kraaterin synnyttämiseen tarvittaisiin räjähdysainetta. Taulukossa TNT-ekvivalenttia laskettaessa on oletettu, että kraaterin ollessa 6 metriä räjäytetään kaksi miinaa. Taulukosta nähdään, että lasketun TNT-ekvivalentin ollessa 1,5 kuopan halkaisijaksi saadaan noin 6,3 metriä.

Räjäytettäessä 2 miinaa saadaan kerrottuna tunnetulla TNT-ekvivalentilla (1,5) räjähdysainemääräksi $1,5 \cdot 2 \cdot 380 = 1140$ kg. Tämä sijoitetaan kaavaan (2), jolloin saadaan kraaterin halkaisijaksi **D= 6,27 m** (mitattu 7,5 m).

D	W	
Kraaterin halkaisija	Räjähdyksainemäärä	TNT-ekvivalentti
m	kg	
5	579	1,52
5,5	770	2,03
6,0	1000	1,32
6,3	1158	1,52
6,5	1271	1,67
7,0	1588	2,09
7,5	1953	2,57

Taulukko 1. Kaavasta (2) lasketut arvot. TNT-ekvivalenttia laskettaessa on käytetty kahta miinaa halkijasta 6 metriä lähtien.

Räjätyskokeista, jossa räjäytettiin 2 miina, mitattiin halkaisija 7,5 m, niin ratkaistaan kaavasta 3. **W**, saadaan $W=1953$ kg ja TNT-ekvivalentti 2,57 (taulukko 1.).

Yhteenveto

Yhden miinan räjäytys vastaa hyvin kraateriteorian avulla lasketun kuopan suuruutta. Kahden miinan räjäytyksessä kuopan mitatun halkaisijan arvo on liian suuri käytettyyn räjähdysainemäärään nähden. Ts. Räjähdyksainetta olisi tarvittu huomattavasti enemmän kuin kokeessa käytettiin.

Kraateriteorian mukaan kuopan halkaisijaksi olisi kahden miinan räjäytyksessä pitänyt saada 6,3 metriä. mitattu arvo oli 7,5 metriä. Tuloksen tarkkuuteen on voinut vaikuttaa mm.:

1. Tehdyllä yhdellä mittauksella on vaikea määrittää tarkoin mistä mittaus aloitetaan, kuopan reunan epätarkkuus;
2. Keskimääräinen halkaisija olisi saatu usealla mittauksella, tällöin kuopan soikeus tai muu kuopan reunan epämääräisyys saadaan paremmin eliminoitua;
3. Maan tiiviysaste ei ollut sama kuin yhden miinan räjäytyskokeessa (maa pehmeämpää).

LÄHDELUETTELO

Tutkintalautakunnan tilaamat tutkimukset

- 1 Helsingin yliopiston polymeerikemian professori *Franciska Sundholmin* asiantuntijalausunto tutkintalautakunnalle.
- 2 *FPX-4-latausten räjähdysvälityskokeet*. Merivoimien Esikunnan raportti N:o 478/Dca/24.09.1993.
- 3 *FPX4-täytteisten merimiinojen ja kosketusmiina -55:n välityskokeet*. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus n:o 1309/Hill/7.10.1993.
- 4 *Hangon räjähdysonnettomuus*. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen loppuraportti 1636/Hi II/23.9.1994.
- 5 *Oy Forcit Ab:n räjähdysten voimakkuuden arviointi*. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen ydinvoimatekniikan laboratorion tutkimusselostus N:o YDI60/93 sekä Tutkimusselostuksen täydennys 27.1.1995.
- 6 *Paineistuskoe*. VTT Valmistustekniikan tutkimusselostus N:o 48302/22.4.1994.

Tutkimukset 1 - 6 on julkaistu yhtenä niteenä nimellä *Tutkintalautakunnan tilaamat tutkimukset*

Oy Forcit Ab:n tehtaalla Hangossa 7.6.1993 tapahtuneesta räjähdysonnettomuudesta.

Tutkinta-asiakirjat

- 7 *Kykylä Kari*, FPX-4:n luokittelu "Insensitive Munition"-räjähteeksi. 20.12.1995.
- 8 *Lepistö Jukka*: Hangon räjähdysonnettomuuden tutkinta. Päätöksenteon tarkastelu. Työmuistio 5/96.
- 9 *Lepistö Jukka*: Oy Forcit Ab:n työsuojelupäällikön haastattelu. Työmuistio 6.7.1994.
- 10 *Lepistö Jukka*: Oy Forcit Ab:n työsuojeluteknikon haastattelu. Työmuistio 20.1.1995.
- 11 *Lepistö Jukka*: Oy Forcit Ab:n työntekijöiden työsuojeluvaltuutetun haastattelu. Työmuistio 6.7.1994.

Esitutkintapöytäkirja

- 12 Hangon poliisilaitoksen esitutkintapöytäkirja n:o 3403/R/S/2179/93 ja sen liitepöytäkirja.

FPX-yksikön perustamiseen ja rakentamiseen liittyvät asiakirjat

- 13 Oy Forcit Ab:n Hangon kaupungin rakennuslautakunnalle 24.2.1992 jättämä FPX-yksikön rakennusten rakennuslupahakemus liitteineen sekä rakennuslautakunnan 2.3.1992 myöntämä rakennuslupa.
- 14 Oy Forcit Ab:n Teknilliselle tarkastuskeskukselle 10.12.1991 jättämä FPX-yksikön rakennusten perustamislupahakemus sekä sen korvannut hakemus 2.3.1992 liitteineen.
- 15 Teknillisen tarkastuskeskuksen päätös n:o 3279/310/91 perustamisluvan myöntämisestä FPX-yksikölle. 4.9.1992.
- 16 Oy Forcit Ab:n FPX-yksikön koekäyttölupa-anomus Teknilliselle tarkastuskeskukselle. 25.1.1993.
- 17 Teknillisen tarkastuskeskuksen pöytäkirja Oy Forcit Ab:n FPX-linjan koekäyttöön liittyvästä tarkastuksesta. 3.2.1993.
- 18 Teknillisen tarkastuskeskuksen antama väliaikainen käyttölupa FPX-räjähdystarviketuotantolinjalle ad3279//310/91/12.2.1993.
- 19 Sähkötarkastuskeskuksen tekemä FPX-osaston tarkastuspöytäkirja 93 JSJ 139, 5.2.1993
- 20 Oy Forcit Ab:n hakemus Teknilliselle tarkastuskeskukselle FPX-räjähdystarviketuotantolinjan käyttöönottotarkastuksesta. 26.5.1993.5.2.1993.

Oy Forcit Ab:n tehtaan ja sen FPX-yksikön toimintaan liittyvät asiakirjat

- 21 Oy Forcit Ab:n laatukäsikirja 15.9.1992. LaatkB92.FL. Tämä laatukäsikirja oli voimassa onnettomuuden tapahtuessa 7.6.1993, mutta uusittiin 18.10.1993.
- 22 FPX-yksikön prosessikuvaus. FPX PR A 93.R. 13.5.1993.
- 23 FPX-yksikön laadunvalvontaohjeet. FPX A 93.RLO. 13.5.1993.
- 24 Työohjeet FPX-yksikössä työskenteleville. FPX YLA 93.RTY.
- 25 Työskentelyohjeet FPX-yksikön henkilökunnalle. FPX A 93.RTY. 13.5.1993.
- 26 Selvitys FPX-projektiryhmän kokoonpanosta ja tehtävistä. 16.6.1993.
- 27 Selvitys FPX-tuotekehitystoimintaan liittyneen henkilökunnan pätevyydestä. 17.6.1993.
- 28 Selvitys FPX-räjähdyksineen laadunvarmistuksessa suoritetuista analyyseistä ja mittauksista.
- 29 Riskianalys på FPX - tillverkningen. Arbetsplan. 25.8.1992.
- 30 Sammandrag av HAZOP-analys (Poikkeamatarkastelu) 6.9.1992.

- 31 Oy Forcit Ab:n työsuojelupäällikön lausunto työsuojelun toimintaohjelman laatimisesta yhtiössä. 3.9.1994.
- 32 Luettelo Oy Forcit Ab:n työsuojeluhenkilöstöstä ja työsuojelutoimikunnan jäsenistä. 16.6.1996.
- 33 Oy Forcit Ab:n työsuojelutoimikunnan kokouksen pöytäkirja 31.3.1993.
- 34 Hur arbetarskyddet beaktas vid planeringen av en ny produktionsavdelning. Oy Forcit Ab:n työsuojelupäällikön, -tekniikon ja -valtuutetun työsuojelun peruskurssilla keväällä 1992 tekemä ryhmätyö.
- 35 Selvitys FPX-projektiryhmän yhteydenpidosta ja työstään tiedottamisesta Oy Forcit Ab:n työsuojeluvaltuutetulle.
- 36 Oy Forcit Ab:n henkilökuntalehden (*FORCIT-tiedote*) numerot 1/1 989@ 1/1 9901 2/1991 ja 1/1992.
- 37 Oy Forcit Ab:n yhteistoimintaneuvottelukunnan kokouspöytäkirjat 12.12.1991, 16.6.1992, 6.10.1992 ja 17.12.1992.

FPX-räjähdyksineen koskevat asiakirjat

- 38 Patenttihakemus epäherkälle räjähdysaineelle ja sen valmistusmenetelmälle 2.2.1993.
- 39 *Oy Forcit Ab*. Polymeerisidosteisen räjähdysaineen kehittäminen. FPX. III vaihe. Hanko 31.1.1991.
- 40 Luettelo Oy Forcit Ab:lle toimitetuista FPX-räjähdysaineita koskevista tutkimustuloksista ja raporteista vuodesta 1989 alkaen. 8.3.1994.
- 41 Litiumperkloraaatti/ammoniumperkloraaatti/glyseroli-seoksen herkkyys. Arvioita FPX 4-räjähdysaineen herkkyyden muutoksista vakuumikäsitellyssä. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimusraportti nro 01.02.1993.

Projektiryhmän asiakirjat

- 42 FPX-räjähteiden kehittämistyön historiikki. Kalvosarja.
- 43 FPX - räjähdysaineen testaaminen ja röntgenauton lainaus. Merivoimien Esikunnan tutkimuspyyntö 134/Hn ETS/13.06.1990.
- 44 FPX-räjähdysaineen testaaminen. Merivoimien Esikunnan esitys 137/Daa/19.06.1990.
- 45 Muovisidosteisten räjähdysaineiden tutkimustoiminta. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen vastaus 1456/Dc/05.07.1990.

- 46 FPX:n tutkimusohjelmakokous. Turun Laivastoaseman pöytäkirja 639/Hn ETS/26.10.1990.
- 47 FPX-ryhmän kokous. Turun Laivastoaseman pöytäkirja 661/Hn ETS/09.11.1990.
- 48 FPX-ryhmän kokous. Turun Laivastoaseman pöytäkirja 97/Hn ETS/04.02.1991.
- 49 FPX-projektineuvottelu. Turun Laivastoaseman pöytäkirja 299/Hn ETS/16.05.1991.
- 50 Räjähdyssainelieriöiden tutkiminen. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus. 0364-91/Hill/15.03.1991.
- 51 Räjähdyssaineen tarttuvuus. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus 364-91/Hill/21.03.1991.
- 52 Koeampumalaitoksen Esikunnan koeammuntamääräys 33/Hi/01.02.1991.
- 53 FPX-4-seoksen polttokoe ja ampumiskoe. Koeampumalaitoksen koeammunnan pöytäkirja 119/Hi/04.06.1991.
- 54 Detonaatio-ilmiön tarkastelua. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimusraportti. 11.03.1991.
- 55 FPX 4:n herkkyys ja ominaisuudet. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus 1151/91/Hill/21.05.1991.
- 56 FPX-4-räjähdyssainevalujen röntgenkuvaus. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus 241/Hi2/16.04.1991.
- 57 FPX-projektineuvottelu. Turun Laivastoaseman pöytäkirja 531/Hn ETS/14.10.1991
- 58 FPX-4-seoksen poltto- ja räjähdysvälityskoe. Koeampumalaitoksen koeammunnan pöytäkirja 97/Hi/25.10.1991.
- 59 FPX-projektineuvottelu. Turun Laivastoaseman pöytäkirja 116/Hn ETS/15.02.1992.
- 60 Pudotuskoe Skinnarvikissä 10.02.1992. Turun Laivastoaseman raportti.10.02.1992.
- 61 FPX-projektineuvottelu. Turun Laivastoaseman pöytäkirja 314/Hn ETS/29.05.1992.
- 62 FPX-projektineuvottelu. Turun Laivastoaseman pöytäkirja 481/Hn ETS/16.09.1992.
- 63 Expanded large scale GAP-testi trotyylille ja FPX:lle (Forcit). Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus 1674/Hill/16.09.1992.
- 64 FPX-4 pienoismerimiinan poltto- ja välityskokeet. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus 1753/Hill/07.10.1992.
- 65 Merimiinan kuorimateriaalin sähkönjohtavuusmittaukset. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus 1839/Hill/08.10.1992.

- 66 Räjähteen hyväksyttäminen. Merivoimien Esikunnan lausuntopyyntö n:otta/Hn ETS/13.11.1992.
- 67 *Vanhanen, Jukka*: Vedenalaisen suoja-putken pudotustestit. Muistio 19.12.1992.
- 68 Muovilieriöiden pinnoitusmateriaalien ominaisuuksien vertailu sekä pudotuskokeen vauriotutkimukset. Puolustusvoimien Tutkimuskeskuksen tutkimustodistus 444/Hill/25.02.1993.
- 69 FPX 4 - kokous Merivoimien Esikunnassa 03.02.1993 klo 10.00. Merivoimien Esikunnan kokousmuistio 75/Hn ETS/04.02.1993.
- 70 Luettelo FPX-ryhmän neuvottelujen pöytäkirjoista ja tehdyistä tutkimussuunnitelmista. 8.3.1994.
- 71 Oy Forcit Ab:n sisäisen FPX-projektiryhmän pöytäkirjat 4.3.1992 - 3.5.1993.

Pelastustoimiin liittyvät asiakirjat

- 72 *Oy Forcit Ab*: Tehtaan oman pelastusorganisaation kuvaus ja kuvaus eri henkilöiden tehtävistä siinä.
- 73 Muistio pelastustoimien onnistumista koskeneesta kokouksesta Oy Forcit Ab:ssä 7.10.1993
- 74 Hangon pelastuslaitos: Palo- ja pelastustoimen toimintaselostus 7.6.1993.
- 75 Tammisaaren aluehälytyskeskuksen hälytysseleste 7.6.1993.
- 76 Lista Hangon pelastuslaitoksen radiokutsuista. 7.6.1993.
- 77 Luettelo Hangon kaupungin pelastusyksiköistä.

Muut asiakirjat

- 78 *Sata osaamisen vuotta*. Oy Forcit Ab 1893 - 1993. Oy Forcit Ab:n 100-vuotisjuhla-julkaisu. Savonlinna 1993.
- 79 *Ainola Olli*: Pienen maan iso pelote. Suomen Kuvalehti 25/1994.
- 80 Eräiden uusien räjähdysaineiden ja ruutien teknologiasta. Seminaarijulkaisu A 2. Toimittaneet *Erkki Kantolahti* ja *Elisa Pääkkönen*. Puolustusvoimien Tutkimuskeskus. Lakiala 1993.