



Tutkintaselostus

B 1/1996 Y

Massasäiliön kaatuminen Valkeakoskella 27.3.1996

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 951-836-002-2
ISSN 1239-5323

Oy Edita Ab, Helsinki 1998



MASSASÄILIÖN KAATUMINEN VALKEAKOSKELLA 27.3.1996

THE STEEL TANK DOWNFALL IN VALKEAKOSKI, 27 MARCH 1996

TIIVISTELMÄ

Maaliskuun 27 p:nä 1996 kaatui Valkeakoskella UPM Kymmene Oy:n (aiemmin Yhtyneet Paperitehtaat OY:n) Tervasaaren tehdasalueella teräksinen noin 35,5 m korkea täyttötalavuodeltaan 6000 m³:n massasäiliö. Säiliötä oltiin juuri täyttämässä vedellä sen tiiveyskoetta varten. Onnettomuudessa sai surmansa yksi tehtaan työntekijä, kun säiliö kaatui korjauspajarakennuksen päälle, jossa työntekijä oli onnettomuushetkellä. Kaatumisen seurauksena säiliö ja sen perustukset rikkoutuivat täydellisesti. Säiliöstä sen kaatuessa ulos syöksyneet vesimassat (noin 5000 m³) tuhosivat lähistöllä olleita työmaasuojia ja vaurioittivat laajasti tehdasrakennuksia ja niihin kuuluvia rakenteita. Onnettomuudesta aiheutui huomattavia taloudellisia vahinkoja.

Perusteellisten tutkimusten ja selvitysten jälkeen oikeusministeriön asettama onnettomuustutkintalautakunta totesi, että mm. massasäiliön suunnittelussa ja rakentamisessa oli ollut virheitä ja puutteita. Teräsputkipaalujen varaan rakennettua teräsbetonilaattaa ei ollut suunniteltu riittävän vahvaksi eikä perustamiseen käytettyjä paaluja ollut riittävästi. Kaikki paalut eivät myöskään tukeutuneet riittävän varmasti hyvin kantaviin maakerrokseen tai kalliioon.

Tutkimuksissa todettiin myös, että itse terässäiliön mitoitus oli ollut likimääräistä eikä säiliön jäykisteiden mitoituksessa ollut riittävästi kiinnitetty huomiota eräisiin teräsraudoituksen rakenteiden yksityiskohtiin. Myös säiliön hitsaustyössä todettiin puutteita. Itse terässäiliöllä ei kuitenkaan ollut vaikutusta säiliön kaatumistapahtuman käynnistymiseen.

Säiliön kaatumisesta käytettävissä olleiden havaintojen ja tekemiensä tutkimusten perusteella tutkintalautakunta päätyi siihen, että säiliön kaatuminen tiiveyskoetta suoritettaessa alkoi siitä, että säiliön perustukset pettivät. Lopullinen kaatuminen tapahtui, kun säiliön pyöreä peruslaatta, mihin terässäiliö oli ruuveilla kiinnitetty, leikkautui alemman teräsbetonisen peruslaatan läpi eikä säiliön teräsrakenneosa kestänyt suurta kallistumista, vaan kaatui ja jo kaatumisen alkuvaiheessa osittain lysähti kasaan.

Selvityksen perusteella tutkintalautakunta esittää joukon suosituksia, joista osa koskettaa säiliöiden teknisiä asioita, suunnittelua ja rakentamista. Selvityksen perusteella tutkintalautakunta mm. ehdottaa, että paineettomille suurille terässäiliöille tulisi laatia mitoitus- ja rakennusohjeet. Säiliön



suuruudesta ja sijainnista riippuen olisi tarvittaessa vaadittava suunnittelun yhteydessä tehtäväksi vaaran arviointi tai riskitarkastelu säiliön rakentamisen ja säiliön myöhemmän käytön aikaisen mahdollisen vaurioitumisen varalta. Myös eräitä yleisiä suunnittelu- ja rakentamisohjeita tulisi tarkistaa.

Osa tutkintalautakunnan suosituksista kohdistuu rakentamiseen yleensä. Onnettomuuden syiden selvittämiseksi tekemänsä työn perusteella tutkintalautakunta mm. esittää, että asianomaisten ministeriöiden tulisi yhdessä käynnistää laaja selvitys, jolla kartoitetaan suomalaisen rakentamisen todellinen turvallisuustaso sekä laatia ja käynnistää työ, jolla vallitsevaa kulttuuria (asenteita ja arvoja, toimintatapoja ja toiminnan pelisääntöjä) voidaan ryhtyä kohentamaan rakenteiden ja rakentamisen turvallisuuden varmistamiseksi ja parantamiseksi. Tutkintalautakunta esittää myös, että rakennushankkeiden pilkkomisesta ja vastuun jakamisesta sekä hankkeiden äärimmilleen viedystä kilpailuttamisesta aiheutuvat ongelmat tulisi kartoittaa ja ryhtyä tarvittaessa epäkohtia korjaaviin toimenpiteisiin.

Oheisessa kaaviossa on osoitettu niitä asioita, joita on käsitelty tässä tutkimusselostuksessa ja jotka ovat massasäiliön kaatumiseen vaikuttaneita tekijöitä tai rakennustyössä havaittuja virheitä tahi puutteita.



UPM Kymmene Oy
(Yhtyneet Paperitehtaat Oy)
Tervasaaren Paperitehtaat, Valkeakoski
TARRA-PROJEKTI

Uuden paperikoneen (PK 8)
rakentaminen

Vanhan teollisuusrakennuksen laajentaminen
selluvarastolla ja pulpperiasemalla
- SAP massasäiliö yksi osarakennuskohde

Rakennuslupa, rakennuttajavalvontasopimus
- rakennushankkeen nimetyt valvojat olivat rakennuttajaorganisaatiosta
- samat henkilöt hoitivat rakennusvalvonnan tehtäviä useiden muiden rakennuttamiseen liittyvien tehtävien rinnalla

Hankkeen toteutustapa
- jaettu urakka (suunnittelu pilkottu, toteutus pilkottu)
- menettelyllä haettiin mm. kustannustehokkuutta

Rakennuttajaorganisaatio toimi päätoteuttajana ja vastasi mm.
- tiedonkulusta hankkeeseen osallistuvien eri tahojen välillä
- kustannus-, aikataulu- ja osatehtävien yhteensopivuusvalvonnasta
- suunnittelijoiden ja rakentajien valinnasta

Vastuiden siirto toteuttajille
- vastuu osatehtävien suorittamisesta ja lopputuloksesta oli siirretty sopimukseen liitetyllä maininnalla kokonaan osatehtävistä vastuussa oleville yrityksille

OSAKOHDE: SAP-MASSAN VALKAISU, KOHDE 21
Pohjatutkimus ja pohjarakennusuunnitelma
- pohjatutkimus vastasi toteutukseltaan rakennusalueen yleispiirteistä pohjatutkimusta ja se oli ylimalkainen yksityiskohtaiseen suunnitteluun käytettäväksi
- pohjatutkimuspisteitä ei ollut SAP-massasäiliön kohdalla
- pohjarakennusuunnitelma oli koko hyvin laajaa kohdetta koskeva
- teräsputkipaalujen tavoitetasona oli kallion pinta
- geotekninen kantavuus määritettiin LPO 87:n mukaan

RAKENNUSKOHDE: SAP - MASSASÄILIÖ
- korkeus noin 35 m, tilavuus 6000 m³
- säiliön pohjarakennusuunnittelu olisi pitänyt tehdä hyvin vaativan pohjarakennuskohteen mukaisesti

jatkuu..

Teräksinen massasäiliö
 - tilattu laitetöimituksena valmiille perustuksille

Suunnittelu ja mitoitus
 - ei yleisiä mitoitusohjeita

Terässäiliön rakentaminen
 - puutteita hitsausliitoksissa

Tiiveyskoe
 - ei yleisiä kokeen suoritusohjeita
 - säiliön täyttö vedellä oli samalla perustusten koekuormitus, vaikka sitä ei sellaiseksi tiedostettu

Massasäiliön perustukset
 - pohjasuhteet ja pohjarakennussuunnitelma edellyttivät tukipaaluille perustamista

Betonirakenteiden ja paalutuksen suunnittelijan valinta
 - luotettavaksi koettu suunnittelutoimisto

Suunnittelijan tekemä paalu- ja rakennevalinta
 - suuriläpimittaiset (\varnothing 508 mm) teräsputkipaalut 12 kpl, täytettiin betonilla ja raudoitettiin
 - kalliokärjillä varustetut putket piti lyödä moreenikerroksen alla olevaan kallioon (tavoitetaso oli kallion pinta)
 - teräsbetoni-laatta rakennettiin paalujen varaan
 - pohjatutkimuksia ei täydennetty massasäiliön kohdalla

Paalujen geotekninen mitoitus
 - mitoitus LPO 87:ää soveltaen
 - suunnittelijalla ei kokemusta vastaavista suunnittelutehtävistä

Peruslaatan mitoitus
 - mitoitettu betoninormeja soveltaen

Suunnittelu- ja mitoitusohjeiden väärä tulkinta
 - LPO 87 teräspaalujen mitoituksen osalta vaikeaselkoinen
 - LPO 87:n sijasta olisi pitänyt soveltaa Teräsputkipaalut- ohjetta
 - teräsbetoni-laatta mitoitettu palkkina

Suunnitelmien tarkastus
 - suunnitteluyrityksessä ei ollut tapauksessa sisäistä tarkastusta
 - rakennuttajalla ei ollut tarkastusvelvollisuutta

Säiliön kaatuminen
 - joidenkin paalujen geotekninen kantavuus tai laatan kantokyky ylittyi
 - laatta siirtyi ja säiliö alkoi kallistua
 - kuormitus laatalle muuttui vinoksi ja epäkeskeiseksi
 - peruslaatta murtui
 - säiliö kallistui, kaatui ja lommahti

VÄÄRIN MITOITETUT PAALUT JA PERUSLAATTA

jatkuu



<p>Henkilövahinko</p> <ul style="list-style-type: none"> - säiliö kaatui korjaamorakennuksen päälle, yksi henkilö kuoli 	<p>Paalutustyö</p> <ul style="list-style-type: none"> - suoritettiin PK 8:n paalutuksen "jatkona" ilman erillistä suunnitelmaa ja sopimusta - kohdekohtaiset paalutuksen suoritusohjeet puuttuivat, käytettävissä vain mitoituskuva - paalutuskalustona oli PK 8:n työmaalla käytetty kalusto - paaluttajan ja paalutuksen suunnittelijan kesken ei ollut mitään kanssakäymistä
<p>Aineelliset vahingot</p>	<p>Loppulyönnit ja loppulyöntiohjeet</p> <ul style="list-style-type: none"> - SAP-massasäiliön teräsputkipaalutukselle ei esitetty suunnittelijan taholta eikä myöskään kysytty paaluttajan taholta loppulyöntiohjeita - loppulyöntiohjeeksi paaluttaja valitsi PK 8:n paalutustyömaalle samanlaisille paaluille laaditut loppulyöntiohjeet, jotka olivat tarkoitettut maakerrokseen jäävien paalujen lyönnille - SAP-massasäiliön teräsputkipaalut olisi pitänyt lyödä kallioon (tavoitetaso oli kallion pinta)
<p>Tehtaiden toiminnan keskeytymisestä aiheutuneet taloudelliset menetykset</p>	<p>Paalutustyön valvonta</p> <ul style="list-style-type: none"> - valvonta ei mm. reagoinut yhteen huomattavasti alimittaiseen pehmeisiin maakerrokseen jääneeseen paaluun
	<p>Paalutuspöytäkirjat</p> <ul style="list-style-type: none"> - merkinnöissä epäselvyyksiä ja ristiriitaisuuksia - allekirjoitukset / hyväksymismerkinnot puutteellisia - paalutuspöytäkirjoja ei toimitettu paalutuksen suunnittelijalle



SUMMARY

A massive steel tank of 6000 cubic metres, having the total height of about 35 metres, suddenly fell over at the end of the test filling. The tank was being filled with water to test its water tightness. A little earlier before the tank actually tipped over it was noticed that the tank was tilting. The time between the first observation of tilting and the actual capsizing was around 12 minutes.

One electrician, who was just finishing his daily work nearby destroyed building, died in the accident.

A part of the factory's machine repairshop, the automation and electricity workshop, the forklift truck repairshop, restrooms and other facilities for the employees, the canteen as well as the site huts on the roof, were crushed by the falling tank. In addition to this, the walls of the nearby buildings and site huts, cars, a truck and a lorry in the yard were crushed by a water volume of 5000 cubic metres that flooded from the tank.

On a cable bridge leading to the roof of the repairshop there was an industrial piping through which electricity, district heating, steam water etc. were drawn. This piping partially fell down and was damaged. It then caused further damages in three other factories and in the district heating net of the city.

The Accident Investigation Board found in its preliminary investigations that personal injuries and other damages would have been more extensive. This would have happened if the accident had occurred in the daytime or the tank had tipped over in the opposite direction where dangerous material, e.g. fluid oxygen, was being stored. For this reason an independent investigation group was nominated to investigate the accident as a disaster situation and to give recommendations to prevent similar accidents.

The following causes of this disaster are based on the conclusions of the investigation group.

Mistakes in the design process

According to the Finnish design standards the designed concrete slab of the tank as well as foundation piles were not properly dimensioned. The designer had misused the Finnish guidelines for driven piles without experience for large steel pipe piles dimensioning. The calculations and plans of the slab (12m x 12m x 1,5m) and foundation piles (12 steel pipe piles filled with reinforced concrete, the lengths around 5 m, the diameter 0,5 m) made by the designing engineer were not checked by any other expert. The builder and the main contractor were in no position to check the dimensions and calculations, either. The builder relied on the competence of the consulting office, because the office was a well-known and of good reputation.

The tank itself was made of steel and it was made correct enough, although, its design and dimensions were drawn up by only a simple hand calculation method.



Shortages in driving of the foundation piles

The driving of the foundation piles was carried out simultaneously of the foundation piling for a new paper machine under construction, the latter being the most important work for the building project of the estate. The driving of the foundations piles for the tank was only "a little job". That was maybe one reason why separate instructions for pile driving in this tank was not given despite of very large designed loads of piles. After the disaster it was found that most of the foundation piles did not reach the rock as was recommended.

After driving of all the foundation piles, no feedback, not even in form of driving record, was given to the planning engineer once the construction of the piles had been completed.

Testing of the tank

The filling test was primarily a test of water-tightness of the tank, not at all a structural test of the tank and its foundations. The person, who supervised the filling of the tank with water was not present all the time and he had no-one to replace him, but this was by no means the cause for the fall of the tank. Nobody could foresee the capsizing of the tank and neither employees nor supervisors were expected to take precautions during the test.

Supervision of the project

The whole building project concentrated mainly on paper process manufacture. The project organisers had failed to consider the dangers from a separate tank. However, up and till then, no similar tank had tipped over in Finland.

The municipal building inspection official did not participate in the supervision, which was entrusted to a person who worked at the same time in the project team as a site leader of the building project. This is a common method to supervise large industrial projects in Finland.

The whole building project was divided into several contracts and subcontracts to ensure specialised knowledge and quality, and also to control of the total costs. In fact this is a common, modern, acceptable and very efficient way to control large building projects.

Safety management

The worksafety group in the factory, as well as the safety group set up for the building period functioned well and co-operatively considering the circumstances. The company itself has a positive safety culture.

Traditionally it is not the duty of the safety group to discern possible mistakes in the planning process and to consider the consequences which may follow. In fact, in this case it was nobody's duty, because the engineers relied on right doing of everyone too much.

To prevent similar accidents the investigation group has made some recommendations for actions. The actions are focused on as following

- the need for classification of building objects for design and execution; classification of companies
- the guidelines for design and building of demanding tank constructions



- the need of risk assessment of demanding constructions
- surveying existing safety level on building projects and measures to enhance the safety level when using new contracting procedures
- defining responsible bodies of inspection measures when using new partition contracting procedures with very many subcontractors
- the need to prepare design guidelines for large steel tanks.



SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
SUMMARY	6
1 ONNETTOMUUDEN KUVAUS.....	11
1.1 Massasäiliön rakenne	11
1.2 Säiliön kaatuminen.....	12
1.3 Vahingot	14
1.4 Onnettomuuden pelastustoimet.....	17
2 ONNETTOMUUDEN TUTKINTA.....	19
2.1 Tutkintalautakunnan asettaminen ja toiminta	19
2.2 Tutkintalautakunnan selvityksen tavoite ja rajaukset	20
3 MASSASÄILIÖN RAKENTAMISEN ORGANISOINTI	22
3.1 TARRA-projektin toteuttaminen	22
3.2 Massasäiliön suunnittelu ja rakentaminen	25
3.3. Työturvallisuuden varmistaminen hankkeen johtamisessa	27
4 MASSASÄILIÖN RAKENNESUUNNITTELU, MITOITUS JA RAKENTAMINEN SEKÄ SUORITETUT TUTKIMUKSET	31
4.1 Perustus	31
4.1.1 Maapohja ja pohjatutkimukset	31
4.1.2 Paalujen geotekninen ja rakenteellinen mitoitus, paalutustyö	35
4.1.3 Peruslaatta ja sen rakenteellinen mitoitus	47
4.1.4 Perustuksen teon valvonta.....	54
4.1.5 Yhteenveto	55
4.2 Säiliö.....	56
4.2.1 Säiliön mitoitus ja rakentaminen	57
4.2.2 Säiliön tutkimukset	58
4.2.3 Terästöiden laadunvalvonta ja tarkastus	62
4.2.4 Yhteenveto	62
5 SÄILIÖN TIIVIYSKOKEEN TOTEUTUS.....	64
6 ONNETTOMUUS JA SEN SYYT.....	65
6.1 Säiliön kaatumisen syyt	65
6.2 Kaatumiseen myötävaikuttaneita tekijöitä	67
6.3 Muita havaittuja puutteita	69



7	SUURONNETTOMUUDEN VAIHTOEHTOISET SKENAARIOT	71
7.1	Selvityksen lähtökohdat ja rajaukset	71
7.2	Tulokset ja johtopäätökset	73
7.2.1	Vahingot eri kaatumissuunnilla	73
7.2.2	Henkilömäärät vaara-alueilla	74
7.2.3	Happisäiliön rikkoutumisen seuraukset	75
7.2.4	SAP-massa	77
8	TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	79
	TUTKINTASELOSTUSTA TÄYDENTÄVÄT ERILLISET TUTKIMUSRAPORTIT	81

**LIITE 1. TUTKINTALAUTAKUNNAN SELOSTUSTA LAATIESSAAN KÄYTTÄMÄT SAP-
MASSASÄILIÖTÄ KOSKEVAT SUUNNITTELU- JA RAKENTAMISASIAKIRJAT
SEKÄ MUUT ONNETTOMUUDEN SELVITYKSEEN LIITTYVÄT ASIAKIRJAT.**

1 ONNETTOMUUDEN KUVAUS

1.1 Massasäiliön rakenne

Terässäiliö

Betoniselle peruslaatalle rakennettu teräslevystä hitsaamalla tehty massasäiliö oli muodoltaan ylösalaisin käännetyn maitopystön (maitotonkan) muotoinen (kuva 1.1A). Säiliön kokonaiskorkeus peruslaatan yläpinnasta katon kartion muotoisen harjan korkeimpaan kohtaan oli 35,4 m. Sylinterimäisen ylälieriön korkeus oli 21,50 m ja halkaisija 17,00 m. Sen alapuolella olevan kartiomaisen lieriön korkeus oli noin 8,20 m ja halkaisija pieneni kartio-osuudella 17,00 metristä 7,50 metriin. Säiliön alalieriö oli korkeudeltaan 3,65 m ja sen halkaisija oli 7,50 m. Säiliön täyttötilavuus oli 6000 m³ ja valmiin säiliön täytönä tehtaan ollessa käynnissä piti olla sakeudeltaan puromaista paperin valmistukseen käytettävää SAP-massaa, jonka tiheys on likimain veden tiheyttä vastaava.

Ylälieriön ulkovaipan teräslevyn paksuus vaihteli yläosan 5 mm:stä alaosan 24 mm:iin. Kartiolieriön ulkovaipan paksuus oli 18-24 mm ja alalieriön ulkovaipan paksuus 24 mm. Säiliö oli vuorattu sisältä paksuudeltaan 2 mm:n ruostumattomalla teräslevyllä. Säiliön ulommainen, eristetty ulkovaippa oli onnettomuuden sattuessa vielä tekemättä.

Perustukset

Massasäiliön alla oli kahdesta päällekkäisestä teräsbetonilaatasta muodostuva pohjalaatta, jonka kokonaispaksuus oli 2,1 m. Pohjimmaisen nelikulmaisen betonisen peruslaatan koko oli 12,00 m x 12,00 m ja sen kokonaispaksuus oli keskimäärin 1,55 m. Peruslaatta oli rakennettu kahdentoista (12) teräsputkipaalun varaan. Laatan nurkissa olevat paalut oli lyöty pystysuoraan ja laatan sivuilla olevat paalut oli suunniteltu lyötävän 5:1 kaltevuuteen. Teräsputkien ulkohalkaisija oli Ø 508 mm ja seinämävahvuus 12,5 mm. Paalut oli täytetty betonilla ja raudoituksena oli 10 kpl Ø 32 mm harjaterästä + kierrehaka Ø 8 k300. Paalut oli varustettu kalliokärjillä ja ne oli suunniteltu lyötäväksi peruskallioon saakka, jolloin niiden oli otaksuttu toimivan tukipaaluina. Paalujen yläpäät oli kiinnitetty peruslaattaan noin 1 metrin pituisilla tartuntateräksillä. Teräsputkipaalujen putkien yläpäät olivat ulottuneet noin 5 cm peruslaatan sisään.

Neliönmuotoisen peruslaatan päällä oli halkaisijaltaan 8,20 m suuruinen ja 0,55 metrin paksuinen teräsbetonilaatta, johon terässäiliö oli ulkokehältään kiinnitetty 24:llä Ø 38 mm teräsruuvilla (teräspulteilla). Teräsruuvit oli upotettu betonilaattaan perushylsyillä, hylsyn halkaisija oli 290 mm ja upotus betoniin 800 mm. Pyöreän peruslaatan päällä oli vielä 80 mm tasausbetonikerros.

1.2 Säiliön kaatuminen

Massasäiliö kaatui, kun sitä täytettiin vedellä tiiviiden tarkistamista varten. Tiiviyskokeen tekijän kertoman mukaan, kun hän tuli maaliskuun 27 päivän illalla työmaalle, hän havaitsi noin klo 20.45 jälkeen "säiliön ritinää ja naksumista". Hän oli myös havainnut säiliön katon tasolla olevan hoitosillan ja porrastornin kulkusillan irronneen toisistaan ja arvioinut niiden olevan noin 0,5-1 m etäisyydellä toisistaan. Pian tämän jälkeen hän oli havainnut, että säiliön pyöreä peruslaatta, johon terässäiliö oli ruuveilla kiinnitetty, oli siirtynyt silmävaraisesti arvioiden tasonsa säilyttäen (kallistumatta) noin 5 cm (tämän suuruinen rako pyöreän laatan ja peruslaattaa osittain peittävän lattialaatan saumakohtassa). Siirtyminen oli tapahtunut korjaamorakennuksen suuntaan, johon suuntaan säiliö myös kaatui. Ennen säiliön kallistumisen kiihtymistä tiiviyskokeen suorittaja oli havainnut säiliön pumpun imuputken, joka sijaitsee aivan alasynterin alaosassa tullen ulos säiliöstä kaatumissuuntaa vastaan kohtisuoraan suuntaan, muodonmuutoksen (vääntymisen, taipumisen). Putki johti imupumpusta säiliöön ja pumppu oli kiinnitetty säiliön peruslaatan päällä olevaan viereiseen rakennukseen liittyvään lattialaattaan. Poliisikuulustelupöytäkirjojen mukaan samaan aikaan olivat eräät lähistöllä olleet silminnäkijät havainneet säiliön kallistumista suhteessa lähellä oleviin muihin säiliöihin ja rakennusten nurkkalinjoihin nähden.

Aluksi kallistuminen oli silminnäkijöiden kertoman mukaan hidasta. Kaatumisen alkuvaiheessa oli kuultu "konekiväärämäistä" ääntä, minkä oli tulkittu aiheutuneen säiliön kiinnitysruuvien katkeilusta. Säiliö kaatui heti näiden äänihavaintojen jälkeen. Vettä säiliöstä havaittiin tulevan vasta, kun se oli kaatunut korjaamorakennuksen päälle.

Automaattihälytys säiliön kaatumisesta tuli Valkeakosken pelastuslaitokselle klo 20.57. Tiiviyskokeen tekijän poliisikuulusteluissa esittämän ja tilanteen rekonstruointiin perustuvien havaintojen mukaan säiliö kaatui 12 minuutin (8-15 min) kuluessa hänen ensimmäisestä kallistumiseen viittaavasta havainnostaan.

1.3 Vahingot

Henkilövahingot

Säiliön kaatumishetkellä korjaamorakennuksessa ollut työntekijä sai surmansa rakennuksen murskaantuessa kaatuvan säiliön alla. Työntekijä oli onnettomuushetkellä lopettelemassa toimistopöytänsä ääressä työvuoroaan korjaamorakennuksen toisessa kerroksessa.

Materiaaliset vahingot

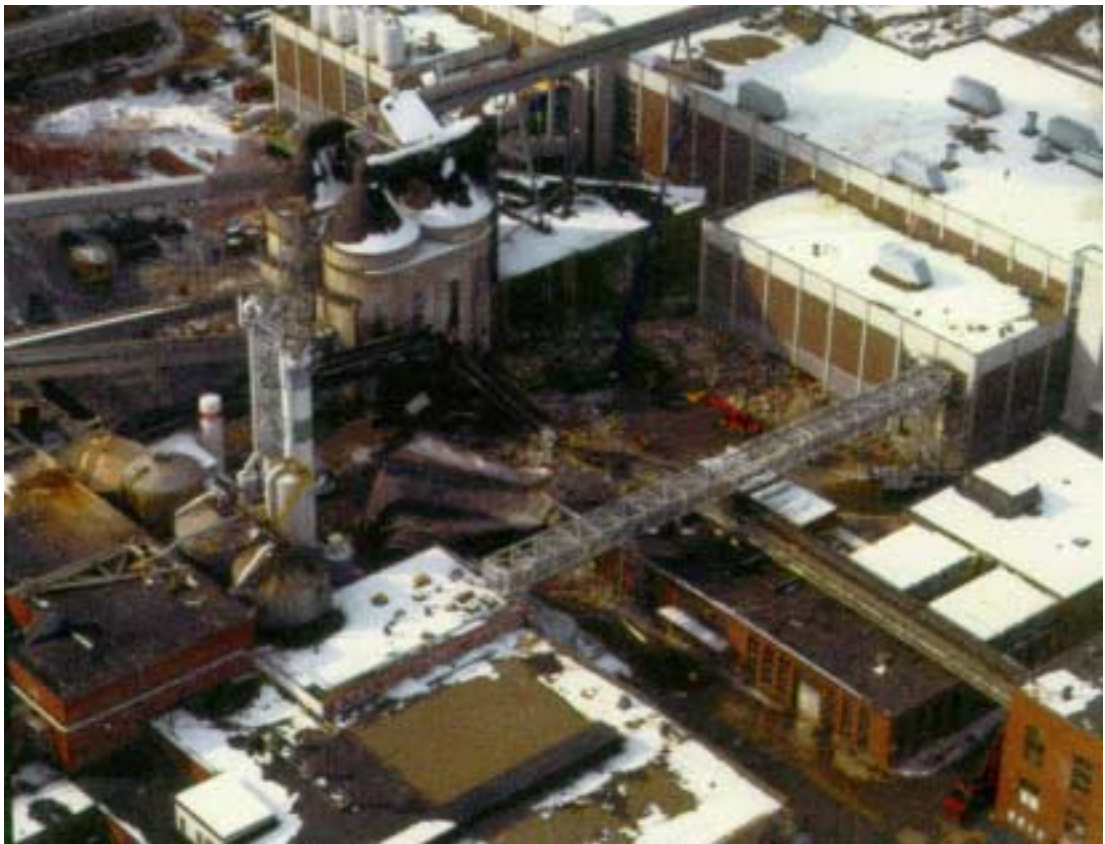
Säiliö kaatui kaksikerroksisen korjaamorakennuksen päälle (ilmavalokuva 1.3A ja alueen pohjapiirros 1.3B). Kaatuessaan säiliö rikkoi osan konekorjaamorakennusta, sen toisessa kerroksessa olleet automaatio- ja sähköverstaan, sosiaalitiloja ja ruokalan sekä alakerrassa sijainneen trukikorjaamon. Säiliön kaatuminen murskasi myös korjaamorakennuksen katolle sijoitettuja työmaakoppeja sekä korjaamorakennuksen yläpuolella, putkisillalla kulkeneita tehtaan prosessiputkistoja (kaukolämpö, vesi, höyry). Rikkoutuminen aiheutti putkistossa kulkeneiden nesteiden purkautumista maahan ja paperikoneiden tuotannon keskeytyksen. Seurannaisvahinkoja tapahtui myös Valkeakosken kaupungin kaukolämpöverkossa. Kaatuessaan säiliö katkoi myös putkisillalla olleita sähkökaapeleita aiheuttaen sähkönpurkauksia.

Terässäiliön katto irtosi kaatumisen loppuvaiheessa säiliöön syntyneen veden paineaallon johdosta. Vesimassat syöksyivät päin noin 70 metrin päässä olevia työmaasuojia murskaten ne täydellisesti. Vesimassat tuhosivat myös autoja ja trukin. Samalla rikkoutui parakkien takana olleen rakenteilla olevan rakennuksen seinäelementtejä. Purkautuvat vesimassat syöksyivät myöskin päin kaatumissuuntaan katsoen vasemmalla sijainneen vanhan, vuonna 1952 rakennetun tiilirakennuksen seinää murskaten seinän täydellisesti. Tuhoutuneen seinän läpi syöksyneet vesimassat tuhosivat edelleen tämän rakennuksen sisällä olleet rakenteet ja laitteet sekä vaurioittivat rakennuksen takaseinää. Vesimassat veivät mukaan kaasupullovaraston, noin 60 kaasupulloa, levittäen ne pihalle muun rojun sekaan. Vesimassojen "paineiskujen" aiheuttamat vauriot ulottuivat yli 100 metrin etäisyydelle säiliön perustuksesta. Vesimassoja purkautui myös säiliön revenneen pohjan kautta ja nämä massat vaurioittivat kaatumissuunnan vastakkaisella puolella olleen SAP-valkaisurakennuksen seinärakenteita.

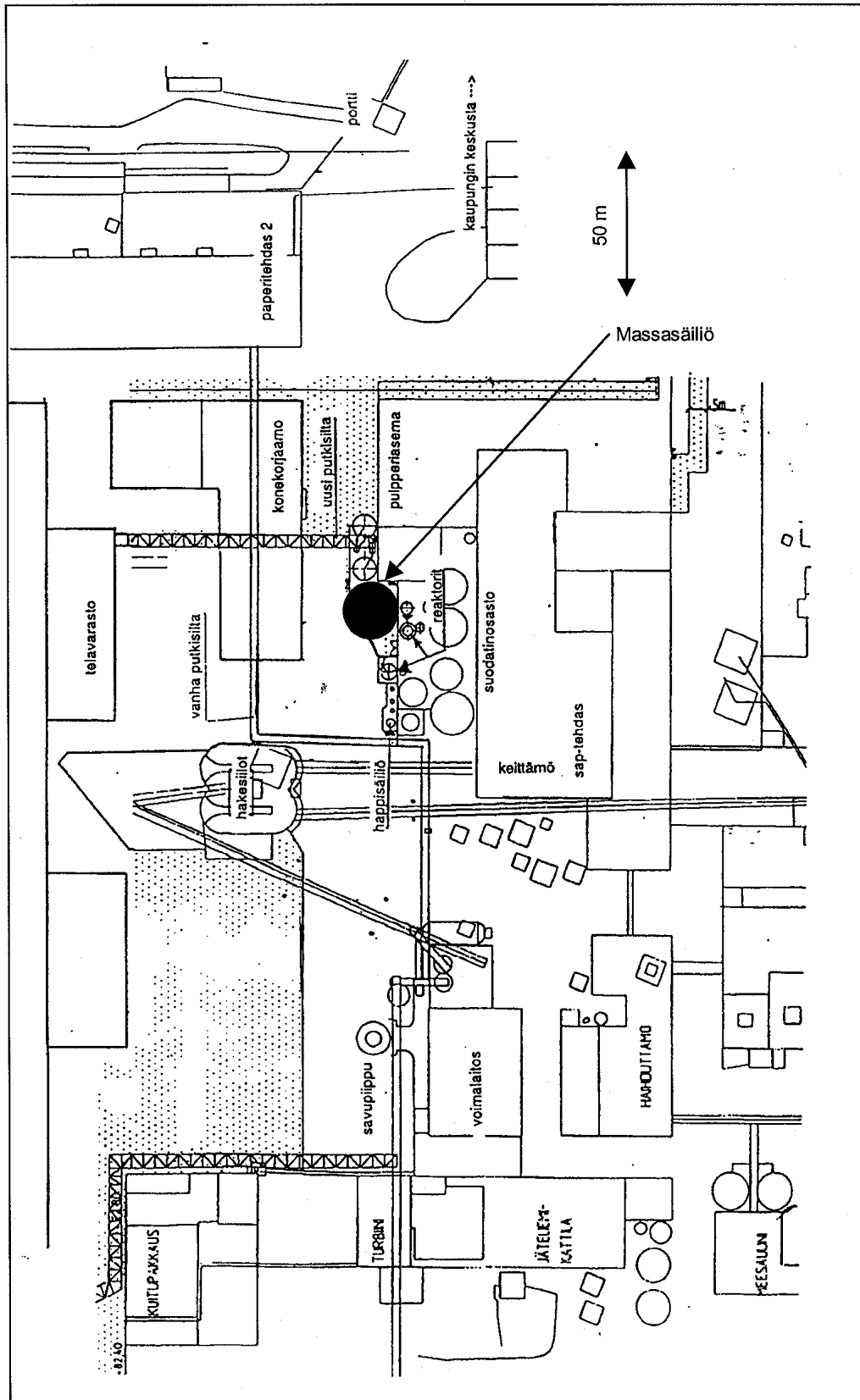
Säiliön katto lensi purkautuvien vesimassojen paineesta noin 100 metrin etäisyydelle (valokuva 1.3A).

Tuotannon keskeytyminen

Kaatumisen aiheuttamat välittömät aineelliset vahingot tuhoutuneiden ja rikkoutuneiden rakennusten ja rakenteiden osalta olivat hyvin suuret. Onnettomuus aiheutti katkoksen myös paperitehtaan toimintaan. Tervasaaren tehtailla seiso kaksi paperikonetta runsaan vuorokauden ja yksi paperikone 15 vuorokautta. Höyryä tehtaille toimitettiin tilapäisjärjestelyin kolmen viikon ajan. Myös Säterin tehtailla noin 1 tunnin mittainen sähkökatkos keskeytti kemiallisen prosessin ja tuotanto käynnistyi kunnolla uudelleen vasta 2-5 vuorokauden kuluttua. Katkoksen tehtaiden tuotannolle aiheuttamat taloudelliset menetykset (tuotantotappiot) olivat hyvin huomattavat.



Kuva 1.3A Ilmavalokuva onnettomuuspaikasta



Kuva 1.3B Onnettomuusalueen ja sen lähiympäristön pohjapiirros

1.4 Onnettomuuden pelastustoimet

Tutkintalautakunta ei ole katsonut tarpeelliseksi omatoimisesti selvittää pelastustoimiin liittyviä asioita. Tässä luvussa esitetty perustuu seuraaviin lehtiartikkeleihin:

- Apulaispalopäällikkö Kimmo Perolahti. 40-metrinen massasäiliö romahti koeponnistuksessa Vaikeakoskella. Pelastustieto 4/96. s. 12-15
- Pelastuskoirat suurena apuna Valkeakosken raunioetsinnöissä. Pelastustieto 5/96. s. 24-25 sekä apulaispalopäällikkö Kimmo Perolahden kanssa käytyihin keskusteluihin.

Pelastustoimet käynnistyivät heti sen jälkeen, kun onnettomuudesta tuli automaattihälytys Valkeakosken palo- ja pelastuskeskukseen klo 20.57. Paikalle hälytettiin Valkeakosken palo- ja pelastuskeskuksen työvuoro vuoromestarin johdolla ja sairaankuljetusyksikkö sekä Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n tehdaspalokunta. Nämä saapuivat paikalle heti klo 21 jälkeen. Myös poliisille meni onnettomuudesta tieto välittömästi. Palo- ja pelastuskeskuksen päällystölle (palopäällikkö, apulaispalopäällikkö) tietoa onnettomuudesta ei toimitettu tässä vaiheessa. Tehtaan työnjohto ja työsuojelupäällikkö saivat välittömästi tiedon onnettomuudesta ja aloittivat tilanteen selvittämisen omalta osaltaan. TARRA-projektin palveluksessa oleva työsuojelupäällikkö ilmoitti tapahtuneesta työsuojeluviranomaiselle klo 22.15.

Valkeakosken palo- ja pelastuskeskuksen apulaispalopäällikkö sai tiedon onnettomuudesta vasta saavuttuaan tehtaan portille klo 21.35 ja otti heti johtovastuun. Pelastustarkastajalle tieto onnettomuudesta toimitettiin onnettomuusiltana klo 23.30. Valkeakosken pelastuslaitoksen palopäällikkö oli virkamatkalla poissa Vaikeakoskelta ja hänelle tieto onnettomuudesta toimitettiin torstaina noin klo 01.30. Hän saapui paikalle onnettomuuspäivän jälkeisenä iltana ja ryhtyi sen jälkeen johtamaan tilannetta.

Hälytyskeskukseen tullut tieto annettiin radioteitse poliisipartioille, joka oli paikalla klo 21.04. Partio totesi onnettomuuden laajuuden ja ryhtyi tarvittaviin eristys- ja liikenteen ohjaustehtäviin. Tilanteesta ilmoitettiin päällystöpäivystäjälle, joka kehotti hälyttämään paikalle Valkeakosken nimismiespiirin päällystöä. Ilmoitus annettiin kello 21.50 rikostutkinnan johtajana toimivalle komisariolle, joka oli paikalla klo 22.05. Tampereen rikostutkimuskeskuksen auto rikospaikkatutkimusvälineineen tuli paikalle klo 22.35.

Koska alkuvaiheessa henkilövahinkojen laajuus oli epäselvää, onnettomuuspaikalle hälytettiin pian onnettomuuden jälkeen rauniokoirapartio, joka saapui paikalle pian klo 22:n jälkeen. Pian oli selvinnyt, että vain kaksi sähkömiestä oli kateissa. Toinen heistä oli kuitenkin poistunut tehdasalueelta hieman ennen onnettomuutta ja tavoitettiin kotoaan. Myöhemmin paikalle hälytettiin lisää pelastuskoiria. Koirien työskentelyolosuhteet raunioissa olivat koko ajan erittäin vaikeat ja lisää vaikeutta aiheutti raunioihin muodostunut jää (pakkasta oli yöllä noin -15°C). Pelastuskoirien suorittamaa etsintää vaikeuttivat myös raunioihin jääneet työntekijöiden työvaatteet. Onnettomuutta seuranneen yön kuluessa poliisi pystyi kadoksissa olevan työntekijän työtovereita haastatteleamalla rajamaan onnettomuuden uhrin todennäköisen sijainnin kahteen paikkaan.

Onnettomuuden pelastus- ja raivaustyöt aloitettiin palo- ja pelastuskeskuksen toimeenpanemana heti raivauskaluston paikalle saannin jälkeen. Kun kysymyksessä oli ihmisen etsiminen raunioista, työtä piti tehdä erittäin varovasti. Tämän takia ei mm. voitu käyttää tehokkaita raivauskoneita murskaantuneen rakennuksen ja muun rojun poissiirtelyyn. Alkuvaiheessa raivausta uhrin etsimiseksi pyrittiin tekemään käsityövälineillä. Tämä ei kuitenkaan onnistunut, koska rauniot olivat erittäin tiiviitä mm. vesimassojen huuhdottua lohkkareiden välit täyteen murskautunutta betonia ja tiiltä. Myöhemmin raivaustöihin saatu kouranosturi osoittautui erittäin hyväksi raivausvälineeksi. Terässäiliötä ja muita teräsrakenteita paloiteltiin polttoleikkaamalla. Rakennusterästen katkontaan käytettiin myös hydraulileikkuria, joka oli nopeampi ja turvallisempi kuin polttoleikkaus. Raunioissa oli raivauksen aikana myös sinne hautautuneita kaasusäiliöitä, jotka aiheuttivat räjähdysriskin.

Onnettomuuden uhri löydettiin kaatuneen massasäiliön alta korjaamorakennuksen raunioista hieman vajaa puolitoista vuorokautta onnettomuuden tapahtumisen jälkeen, perjantaina 29.3. noin klo 7.30, muutaman metrin päästä siitä kohdasta, jonka koirat yöllä viimeisimmässä tarkistuksessa osoittivat. Uhrin todettiin kuolleen heti rakennuksen ro-mahdettua hänen päälleen.

Vastuu raivaustöistä siirtyi tehtaan organisaatiolle sen jälkeen, kun onnettomuuden uhri oli löydetty raunioista. Raivaustyöt kestivät kaikkiaan lähes neljä viikkoa. Raivaustöiden etenemiseen ja keston vaikuttivat myös tutkintalautakunnan paikalla tekemät ja teettämät tutkimukset ja selvitykset.



2 ONNETTOMUUDEN TUTKINTA

2.1 Tutkintalautakunnan asettaminen ja toiminta

Onnettomuustutkintakeskuksen suorittamassa alustavassa tutkimuksissa kävi ilmi, että onnettomuutta oli pidettävä erittäin poikkeuksellisena. Lisäksi, jos onnettomuus olisi sattunut päivätyövuoron aikaan, jolloin tehdasalueella oli runsaasti työntekijöitä, henkilövahingot olisivat saattaneet alustavan arvion mukaan olla huomattavasti suuremmat. Onnettomuustutkintakeskus esittikin oikeusministeriölle, että onnettomuus olisi tutkittava suuronnettomuuden vaaratilanteena ja että oikeusministeriö asettaisi onnettomuuksien tulkinnasta annetun lain 5§:n mukaisesti tutkintalautakunnan tutkimaan tapahtunutta.

Oikeusministeriö asetti 2.4.1996 tutkintalautakunnan selvittämään massasäiliön kaatumisen aiheuttamaa suuronnettomuuden vaaratilannetta. Tutkintalautakunnan kokoonpano on ollut seuraava:

puheenjohtaja	tutkimusprofessori Markku Tammirinne <i>Valtion teknillinen tutkimuskeskus</i>
varapuheenjohtaja	tekniikan tohtori Klaus Rahka <i>Valtion teknillinen tutkimuskeskus</i>
jäsenet	komisario Seppo Inkinen <i>Valkeakosken kihlakunnan poliisilaitos</i> tekniikan tohtori Hannu Tarvainen <i>Tapaturmavakuutuslaitosten liitto</i> yli-insinööri Tapani Valanto <i>Turvatekniikan keskus</i> yli-insinööri Esa Virtanen <i>Sosiaali- ja terveysministeriö, Työsuojeluosasto</i>

Tutkintalautakunta kutsui sihteerikseen erikoistutkija Jouko Törnqvistin VTT:sta.

Työnsä aikana tutkintalautakunta on käyttänyt asiantuntijoinaan seuraavia henkilöitä:

- erikoistutkija Lasse Mörönen, VTT Rakennustekniikka
- erikoistutkija Asko Talja, VTT Rakennustekniikka
- tutkijat Minna Nissilä ja Kimmo Virolainen, VTT Valmistustekniikka
- professori Vesa Penttala ja lab.insinööri Paavo Hassinen, Teknillinen korkeakoulu

Tutkintalautakunta on selvitystyön yhteydessä kuullut seuraavia henkilöitä:

- professori Ralf Lindberg, Tampereen teknillinen korkeakoulu
- apulaispalopäällikkö Kimmo Perolahti, Valkeakosken palo- ja pelastuskeskus

Tämän tutkimusselostuksen laadinnan yhteydessä on käyty keskusteluja seuraavien ympäristöministeriön virkamiesten kanssa: rakennusneuvos Heikki Aho, hallitusneuvos Klaus Frösen, yli-ins. Jaakko HUUHTANEN, yli-ins. Anja NYLUND, selvitysmies Risto MÄKINEN ja lakimies Tiina HONKANEN.

UPM Kymmene Oy:n Tervasaaren tehtaiden ja TARRA-projektin edustajien kanssa pidettiin yhteinen tilaisuus 16.8.1996. Tutkintalautakunta järjesti 26.9.1996 onnettomuuden syytä ja siihen mennessä tehtyjen tutkimusten johtopäätöksiä käsitelleen tiedotustilaisuuden työmarkkinajärjestöjen edustajille.

Tutkintalautakunnan tai sen jäsenten toimesta on kuultu myös seuraavia kaatuneen säiliön rakennuttamiseen, suunnitteluun ja rakentamiseen taikka vahingon jälkiselvittelyihin osallistuneiden tahojen edustajia:

- A-Insinöörit Oy
- CTS Engineering Oy
- YIT Yhtymä Oy / Teollisuus
- Pohjola-yhtiöt

Lisäksi Terästorni Oy:n edustaja on osallistunut massasäiliön suunnittelua ja rakentamista käsitelleeseen keskusteluun tutkintalautakunnan jäsenten kanssa.

Tutkintaselostuksen luonnos 28.11.1997 on ollut lausunnolla A-insinöörit Oy:llä, YIT Yhtymä Oy:llä ja UPM Kymmene Oy:llä ja tutkintalautakunta on käsitellyt luonnoksesta annetut kommentit.

Tutkimusselostukseen sisällytetyistä toimenpidesuosituksista on pyydetty lausunnot kauppa- ja teollisuusministeriöltä, sosiaali- ja terveysministeriöltä, turvatekniikan keskukselta ja ympäristöministeriöltä ja saadut lausunnot on käsitelty.

Tutkintalautakunta on pitänyt yhteensä 25 kokousta. Lautakunta kokonaisuudessaan tutustui ensimmäisen kerran onnettomuuskohteeseen paikanpäällä ensimmäisen kokouksensa 3.4.1996 yhteydessä, jolloin kaatuneen säiliön rikkoutuneet rakenteet olivat vielä pääosiltaan paikoillaan. Lautakunnan jäsenistä komisario Seppo Inkinen on osallistunut onnettomuuden tutkintaan paikan päällä heti sen tapahtumisesta lähtien. Markku Tammirinne ja Jouko Törnqvist tutustuivat ensimmäisen kerran onnettomuuspaikkaan 28.3.1996 iltapäivällä ja Hannu Tarvainen 29.3.1996.

2.2 Tutkintalautakunnan selvityksen tavoite ja rajaukset

Tutkintalautakunnan päätehtävänä oli selvittää onnettomuuden tekniset syyt ja onnettomuuteen vaikuttaneet muut tekijät. Työn kuluessa tutkintalautakunta totesi tarpeelliseksi käsitellä tulkinassa ilmi tulleiden seikkojen perusteella yleisemminkin rakentamiseen liittyviä asioita. Selvitysten perusteella tehtävien toimenpide-ehdotusten tavoitteena on uusien vastaavien onnettomuuksien ehkäiseminen. Tutkintalautakunnan tehtävänä ei ole ollut käsitellä onnettomuuteen johtaneiden syiden taustalla olevien osapuolten rikosoikeudellista vastuuta tapahtuneeseen tai vahingonkorvausvelvollisuutta.

Tutkintalautakunnan työn tavoitteina on ollut

- selvittää massasäiliön kaatumiseen johtaneet syyt
- tarkastella rakennuttamisen, suunnittelun ja rakentamisen toteutuksen lakisääteistä ja sopimusperusteista yhteistyötä



- tarkastella projektin johtamista projektin läpiviennin näkökulmasta
- arvioida suuronnettomuuden riski ja seuraukset, jos kaatuminen olisi tapahtunut muuhun aikaan ja johonkin toiseen suuntaan
- esittää tämäntapaisten suurten paineettomien säiliöiden ja niiden perustusten suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä muutostarpeita ja parannusehdotuksia, mukaan lukien säiliöiden tarkastus- ja käyttöönottonenettelyyn liittyviä näkökohtia ja parannusehdotuksia.

Tutkintalautakunta on saanut työnsä aikana apua onnettomuuden poliisitutkinnalta. Mm. poliisikuulustelupöytäkirjat ovat olleet tutkintalautakunnan käytettävissä.

Tutkimusten ja selvitysten tulokset on esitetty tässä tutkintalautakunnan laatimassa tutkintaselostuksessa. Rakenteiden suunnittelua, mitoitusta ja toteuttamista koskevissa tarkasteluissa ja johtopäätösten teossa tutkintalautakunta on pitänyt ensisijaisena lähtökohtana suunnittelu- ja rakentamisajankohtana Suomessa yleisesti käytettävien ja voimassa olevien määräysten ja ohjeiden mukaisia menetelyitä ja niiden noudattamista. Jos tällaisia määräyksiä tai ohjeita joltakin osaluueelta ei ole, tutkintalautakunta on perustanut johtopäätöksensä suoritettujen erillisselvitysten ja teoreettisten tarkastelujen tuloksiin.

3 MASSASÄILIÖN RAKENTAMISEN ORGANISOINTI

3.1 TARRA-projektin toteuttaminen

Kaatunut massasäiliö kuului UPM Kymmene Oy:n Tervasaaren tehtaiden TARRA-projektiin. TARRA-rakennusprojekti toteutettiin vanhalla tehdasalueella ja paperin tuotanto entisillä paperikoneilla toimi normaalisti koko rakennustöiden ajan. Massasäiliö oli osa SAP-massan valkaisun ja selluvaraston muutos- ja rakennustyötä. SAP-massasäiliön laajuuden suhdetta koko TARRA-projektiin kuvaa se, että TARRA-projektissa suunnittelutoimistojen laatimien piirustusten kokonaismäärä oli suuruusluokalleen 15 000 kpl ja lisäksi oli 3500... 4000 kpl laitetoimittajien piirustuksia, kun SAP-massasäiliöön liittyviä piirustuksia oli vain 20... 30 kappaletta.

Rakennuslupa ja rakennusvalvonta

Rakennusluvan hakija TARRA-projektille oli Yhtyneet Paperitehtaat Oy. Kysymyksessä oli uuden tarrapaperikoneen (PK 8) rakentaminen ja siihen liittyi vanhan teollisuusrakennuksen laajennus selluvarastolla ja pulpperasemalla. Koko TARRA-projektin rakennustilavuus oli noin 498 000 m³ ja rakennusala noin 31 000 m². TARRA-projektin kustannusarvio oli 1,2 mrd markkaa ja laajuus noin 650 henkilötyövuotta. Paperikone otettiin käyttöön heinäkuun alussa 1996.

Valkeakosken kaupungin rakennusvalvontavirasto oli Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n tekemän hakemuksen perusteella myöntänyt kohteeseen päätöksellään 14.8.1995 TARRA-projektin rakennuttajalle (rakennusluvan hakijalle) RakA 63§ ja 129§ mukaisen rakennuttajavalvonnan. Rakennusvalvonnan tehtävät siirrettiin siten rakennuttajalle itselleen. Rakennuttajan valvontaorganisaatio vastasi rakentamisen säännöstöjen ja määräysten noudattamisesta ja rakentamisen laadusta. Kaupungin rakennusvalvonnan tehtävänä oli suorittaa loppukatselmus ja sillä oli mahdollisuus ja oikeus puuttua epätyydyttävään rakentamiseen.

Rakennuttajavalvontapäätöksessä nimetty rakennuttajan valvontaorganisaatio muodostui TARRA-projektin rakennuspäälliköstä, joka oli samalla vastaava työnjohtaja sekä kolmesta valvojasta. Nämä vastasivat henkilökohtaisella sitoumuksellaan siitä, että rakentaminen tehdään työ- ja erikoispiirustusten mukaisesti. Rakennuttajavalvonnan edellyttämässä valvontasuunnitelmassa (osa rakennuslupahakemusta) oli kuvattu rakennuttajavalvonnan järjestäminen seuraavasti: "Työmaan rakentaminen toteutetaan osurakoina ja urakoita tulee valvomaan kolme valvojaa. He tulevat vastaamaan siitä, että rakennus- ja viemärintyöt tehdään työ- ja erikoispiirustusten mukaisesti." Suunnitelman mukaan valvojat suorittavat myös asiantuntijatarkastuksen (tarkastavat rakennustyön suunnitelmanmukaisuuden ja varmentavat suorittamansa tarkastuksen).

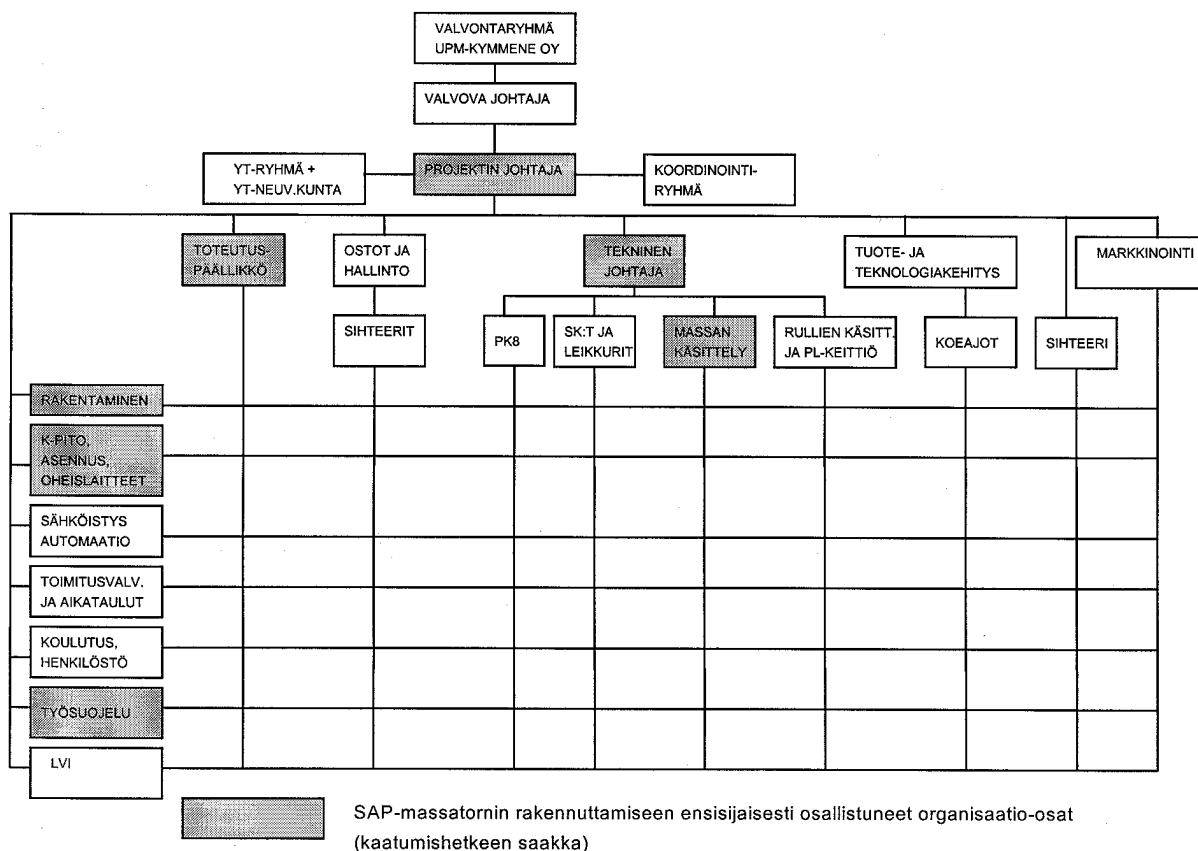
TARRA-projekti oli niin suuri rakennusprojekti, että samalle henkilölle osoitetut rakennusvalvonnasta tulevat vastaavan työnjohtajan tehtävät ja rakennuttajan osoittamat rakennuspäällikön / työmaapäällikön tehtävät yhdessä muodostivat tutkintalautakunnan käsityksen mukaan niin laajan tehtäväkentän, että esim. päätoteuttajalle kuuluva raken-

nustyömaan turvallisuuspäätöksen mukainen rakennushankkeen osapuolten välinen koordinointi on suoranaisten ajan puutteenkin takia jäänyt vajavaiseksi.

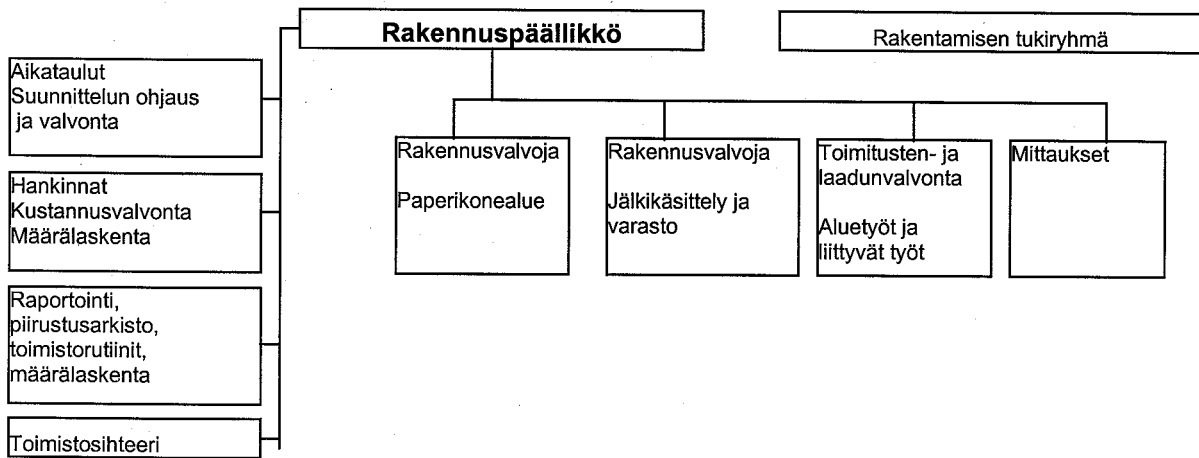
Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan rakennuttajavalvontamenettelyn mukaisessa rakennusvalvonnan tehtävien siirtämisessä rakennuttajalle olisi pitänyt ottaa huomioon se, että valvojaksi nimetyn henkilön tehtävät ja toimenkuva rakennuttajan organisaatiossa eivät tulisi olemaan missään rakennusvaiheessa tai minkään toimenpiteen kohdalla ristiriidassa rakennusvalvontatehtävien kanssa ja että henkilöllä olisi aikaa hoitaa kaikki valvontatehtävänsä asianmukaisesti.

Projektin organisoiminen

TARRA-projekti oli Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n Tervasaaren tehtaiden erillinen rakennusprojekti, jonka toimesta hoidettiin kaikki projektiin liittyvät rakennuttamistehtävät, sekä rakennukset että laitteet. TARRA-projektilla oli oma projektiorganisaationsa (kuva 3.1A, lautakunnalle toimitettu kaavio). Osa henkilöistä oli siirretty tehtaan omasta tai UPM Kymmene Oy:n pysyvästä organisaatiosta ja osa oli paikattu ulkopuolelta tai vuokrattu ("liisattu") ulkopuolisilta yrityksiltä projektiorganisaatioon projektin toteutuksen ajaksi. Rakentaminen-organisaatio-osa (kuva 3.1B, lautakunnalle toimitettu kaavio) vastasi rakennuttamisesta.



Kuva 3.1A TARRA-projektin organisaatio (pelkistetty periaatekaavio)



Kuva 3.1b TARRA-projektin rakennuttajaorganisaatio

Työsuoritusten tilaaminen

TARRA-projektissa Yhtyneet Paperitehtaat Oy toimi päätoteuttajana ja vastasi projekti-kokonaisuuden läpiviennistä. Yhtyneet Paperitehtaat Oy oli mm. tehtyihin sopimukseen, rakentamisen projektisuunnitelmaan ja työmaan turvallisuusohjeisiin kirjatulla maininnoilla jakanut rakentamisen vastuun, valvonnan ja toteutuksen

- suunnittelijoille
- urakoitsijoille
- konsulteille
- erikoisasiantuntijoille ja
- omalle henkilökunnalle.

Yhtyneet Paperitehtaat Oy teetti kaikki projektin tarvitsemat suunnittelu-, toteutus- ja laadunvalvontasuoritteet siten, että jokainen työn suorittaja (yritys) vastasi omasta työsuorituksestaan ja siihen liittyvästä työnjohdosta. Jokaisessa tehdyssä sopimuksessa oli myös maininta, että rakennuttajan suorittama valvonta tai / ja hyväksyntä ei poista toimittajan vastuuta omasta työsuorituksestaan. Sopimuksissa oli sovittu myös, että jokainen toimittaja vastaa kaikista alihankkijoidensa töistä kuten omista töistään. Alihankkijat piti hyväksyttävä TARRA-projektilla.

TARRA-projektin oma rakennuttajaorganisaatio vastasi rakentamisen läpiviennistä. Rakennuttajaorganisaation päätehtävä oli eri suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja laitetoimittajien töiden yhteensovittaminen ja valvonta siten, että rakennustyö tulisi suoritetuksi laadittujen suunnitelmien ja sopimusten mukaisesti. Rakennuttajaorganisaation toimesta ei suoritettu piirustusten tai lujuuslaskelmien tarkastusta. Vastuu näistä asioista (tehtävistä) oli sopimuksellisesti osoitettu rakennuttajan entuudestaan tuntemille ja käyttämille, valituille suunnittelijoille (suunnittelutoimistoille) itselleen. Rakennuttajaorganisaation tekemä piirustusten tarkastus rajoittui pääasiassa mittojen tarkastukseen, jotta mittavirheistä aiheutuvia työvirheitä ei tapahtuisi.

Tutkimuskeskuksen käsityksen mukaan TARRA-projektissa vastuiden jakautuminen eri rakentamiseen osallistuneiden osapuolten ja valvontaan osallistuneiden henkilöiden

kesken oli käytännössä epäselvää ja todentaminen vaikeaa mm. siitä syystä, että tehtäviä, joiden tekijöiden nimeämisen kautta vastuut siirtyvät, ei ollut riittävän yksityiskohtaisesti mainittu sopimuksissa.

Tutkintalautakunta toteaa, että pitäisi yleisesti selvittää, miten ja missä määrin rakennuttajalle kuuluvaa vastuuta voi siirtää osa- ja aliurakoitsijoille tai muille projektin osasuorittajille.

Tässä tapauksessa rakennuttaja katsoi vapautuneensa yksittäisten työosuuksien ohjaus- ja valvontavastuusta siirtämällä suunnittelun ja työurakoiden toteutuksen sekä vastuun lopputuloksesta kokonaisuudessaan työn suorittajille ja pelkästään liittämällä sopimusasiakirjoihin vastuun siirtymistä koskevan maininnan.

3.2 Massasäiliön suunnittelu ja rakentaminen

TARRA-projektin pääsuunnittelijana (laitos- ja prosessisuunnittelijana) toimi CTS Engineering Oy. Rakennuttajan antaman tiedon mukaan pääsuunnittelija toimi linkkinä eri toimittajien ja suunnittelijoiden välillä. SAP-massasäiliön rakentamiseen osallistuneet osapuolet olivat:

Säiliön teräsrakenteiden suunnittelu

YIT-Yhtymä Oy, Teollisuus, Turku / Itsenäinen ammatinharjoittaja

Pohjarakennussuunnittelu

Pohjarakennussuunnittelu (alue- ja geotekninen suunnittelu):

Insinööritoimisto A-Insinöörit Oy, Tampere

Pohjatutkimukset ja pohjarakennussuunnittelu (A-Insinöörit Oy:n alikonsulttina):

Insinööritoimisto Geotesti Oy, Tampere

Betonirakenteiden ja paalutuksen suunnittelu

Insinööritoimisto A-insinöörit Oy, Tampere

Säiliön Paalutustyöt

YIT-Yhtymä Oy, Insinöörirakentaminen, Tampere

Raudoitustyö aliurakkana: Hämeen Raudoitus Oy, Parola

Säiliön betonilaatan rakentaminen

POLAR-RAKENNUS Oy, Vantaa

Raudoitustyö aliurakkana: Hämeen Raudoitus Oy, Parola

Säiliön teräsrakenteiden rakentaminen ja koetäyttö

YIT-Yhtymä Oy, Teollisuus, Turku

Hitsausseamojen laadunvalvonta (tilaustyönä):

Lempäälän NDT Oy, Lempäälä

Massasäiliö kuului TARRA-projektiin yhtenä rakennuskohteena: SAP-massan valkaisu, kohde 21. Suunnittelijoiden ja pääurakoitsijan valinnasta vastasi projektiorganisaatio. Rakennuttajavalvontasopimuksessa pohjarakennussuunnittelusta vastaavaksi konsultiksi oli nimetty A-insinöörit Oy. SAP-massatornin perustusten rakennesuunnittelun teki A-

insinöörit Oy, joka vastasi myös tämän urakkakohteen "paalutus, urakka nro 303" alueja geoteknisestä suunnittelusta. Hankkeen pohjatutkimuksen ja pohjarakennussuunnitelman teki Insinööritoimisto Geotesti Oy toimien A-insinöörit Oy:n alikonsulttina. Suunnittelusopimuksissa todettiin sovellettavan Konsulttitoiminnan yleisiä sopimusehtoja KSE 1983.

Rakenteiden suunnittelu on ilmeisesti edennyt osittain samanaikaisesti rakentamisen kanssa. Rakentamisen projektisuunnitelman kohdassa "suunnittelu" oli todettu: "Koska rakentaminen tapahtuu yhtäaikaisesti suunnittelun kanssa tilanteessa, jossa kaikkia päälaitteita ei ole vielä ostettu, suunnittelun ohjauksella ja valvonnalla on erityisen suuri merkitys projektin onnistumisessa. Työmaalla ei tehdä mitään ilman työpiirustuksia. Tilanteen ollessa yllä olevan kaltainen, on tärkeää, että ei ruveta vaatimaan liian yksityiskohtaisia suunnitelmia. Rakentamaan päästään varsin alustavilla tiedoilla. Esim. paalutukseen riittävät rakennuspiireiden paikat ja päälaitekuormat. Kuitenkaan erityislaitteiden kohdalla ei oteta minkäänlaisia riskejä (paperikoneen, pituusleikkureiden jne. perustukset)".

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan rakenteiden suunnittelun eteneminen osittain samanaikaisesti rakentamisen kanssa, kuten tässäkin tapauksessa on menetelty, saattaa johtaa helposti toteutuksen näkökulmasta puutteellisiin ja keskeneräisiin suunnitelmiin sekä myös suunnitteluvirheisiin. Menettely saattaa johtaa myös hyvin kireisiin suunnitteluajatauluihin. Suunnittelun ja rakentamisen yhdenaikaisuus korostaa erityisesti valvontatoimenpiteiden ja eri osapuolten välisen yhteydenpidon merkitystä.

Rakennesuunnittelu oli tässä tapauksessa kuitenkin pystytty tekemään aikataulussa. Hämeen työsuojelupiirin työsuojelutarkastuksessa rakennesuunnittelun tehneeseen insinööritoimistoon 5.11.1996 on todettu, että vuonna 1995 ei lain sallimia enimmäisyliytö-aikoja ole ylitetty neliviikkoisjaksoissa. (Hämeen työsuojelupiiri. Työsuojelutarkastus 5.11.1996. Pöytäkirja N:ro 347/96)

Massatornin paalutus oli toteutettu ilman erillistä kirjallista sopimusta jatkona paperikone 8 (PK 8) paaluttamiselle. PK 8:n paalutustöiden osalta TARRA-projekti oli tilannut työn YIT Oy:ltä (YIT Insinöörirakentaminen). Paperikone PK 8:n pohjarakennussuunnitelmat myös paalutusta koskevilta osiltaan oli tehnyt Aaro Kohonen Oy / Geotek Oy. Urakkasopimuksissa oli todettu noudatettavan Rakennusurakan yleisiä sopimusehtoja YSE 1983.

Teräsputkipaalujen raudoituksen teki Hämeen Raudoitus Oy YIT:n aliurakkana. Perustuslaatan rakensi POLAR Rakennus Oy yhtenä lukuisista betonointityökohteista TARRA-projektissa ja projektiin tilaamana. Hämeen Raudoitus Oy teki myös perustuslaatan raudoituksen POLAR Rakennus Oy:n aliurakkana.

Teräsosiltaan SAP-massatorni oli laitetoimitus, mikä tilattiin YIT Oy:ltä (YIT Teollisuus). Tilaukseen sisältyi tornin suunnittelu, rakentaminen ja tiiviyskokeiden suorittaminen. Tornin ulkopuolinen eristys ei kuulunut tilaukseen. YIT sai toteuttaa säiliön kokonaistoimituksena valmiille perustukselle TARRA-projektin antamien "raamien" puitteissa.

3.3. Työturvallisuuden varmistaminen hankkeen johtamisessa

Tutkintalautakunnan käyttämät perusteet arvioinnissa

Tutkintalautakunta on hankkeen turvallisuusjohtamisen toimenpiteitä selvittäessään pitänyt vertailukohtana sitä, mitä työturvallisuussäädöksissä on edellytetty hankkeen johtamiseen osallistuvien tahojen tehtäviksi työturvallisuuden varmistamiseksi. Tärkeä säädös tässä asiassa on rakennustyön turvallisuutta koskeva valtioneuvoston päätös (VNp 629/94), jolla korvattiin ja uusittiin valtioneuvoston päätös rakennustyössä noudatettavista järjestysohjeista (nro 274/1969 muutoksineen). Päätös tuli voimaan 1.10.1994. TARRA-projekti alkoi 1.1.1995, joten em. valtioneuvoston päätös oli ollut projektin alkamiseen mennessä voimassa kolme kuukautta.

Turvallisuusmääräysten uudistamistarpeita ja tarkoitusta on kuvattu mm. julkaisuissa "Myllyntausta, J. Rakennushankkeen työturvallisuus. Rakennusteollisuuden Keskusliitto RTK, Rakennustietosäätiö, Rakennustieto Oy. 1994" ja työministeriössä laaditussa esitteessä "Turvallisuusjohtaminen rakennushankkeessa". Turvallisuusmääräysten uudistamisella on pyritty vastaamaan rakentamisen tuotantotavan muutoksiin, joita ovat mm. rakennushankkeiden monimuotoistuminen sekä pilkkominen moniksi samanaikaisesti ja peräkkäin toteutettaviksi osaurakoiksi. Tuotantotavan muutosten myötä rakennushankkeen eri osapuolten vastuiden ja tehtävien rajat ovat hämärtyneet, minkä on nähty olevan työmaiden tapaturmariskiä lisäävä tekijä.

VNp:n sisältämiä uudistuksia ovat mm. rakennuttajan toimenpiteitä koskevat vaatimukset sekä se, että työmaan yleisjohto ja osapuolten välisen yhteistoiminnan ja tiedonkulun järjestäminen on keskitetty selkeästi yksiin käsiin: pääurakoitsijalle tai muulle vastaavalle päätoteuttajalle. Uusi vaatimus on myös se, että kenenkään työnantajan työmaalla teettämä työ ei saa aiheuttaa vaaraa myöskään muille työn vaikutuspiirissä oleville henkilöille.

Tutkintalautakunta on tarkastellut lähinnä rakennuttajan ja päätoteuttajan toimenpiteitä työturvallisuuden hoitamiseksi TARRA-projektin ohjaamassa rakennushankkeessa. Tutkintalautakunta ei ota tarkemmin kantaa siihen, miten työturvallisuuden hoitamiseen liittyvät tehtävät oli jaettu eri henkilöille rakennushankkeeseen osallistuvien yritysten ja muiden organisaatioiden sisällä.

Vaatimukset työturvallisuuden huomioonottamisesta rakentamisen valmistelussa on kohdistettu rakennuttajaan tai muuhun tahoon, joka ohjaa ja valvoo rakennushanketta (VNp 4§ ja 5§). TARRA-projektissa rakennuttajana, hankkeen ohjaajana ja valvojana toimi Yhtyneet Paperitehtaat Oy, myöhemmin UPM Kymmene Oy.

VNp:ssä päätoteuttajalla tarkoitetaan pääurakoitsijaa taikka sellaisen puuttuessa rakennuttajaa tai muuta, joka ohjaa tai valvoo rakennushanketta. TARRA-projektissa ei ollut pääurakoitsijaa, vaan päätoteuttajana työmaalla toimi rakennuttaja eli Yhtyneet Paperitehtaat Oy.

Turvallisuuden huomioonottaminen massasäiliön suunnittelussa

VNp:n 4§ 1 momentin mukaan rakennuttajan on huolehdittava, että rakennushanketta valmisteltaessa arkkitehtonisessa ja rakennusteknisessä sekä teknisten järjestelmien

suunnittelussa otetaan huomioon rakennustyön toteuttaminen siten, että työ voidaan tehdä turvallisesti ja aiheuttamatta haittaa työntekijöiden terveydelle. Samoin on meneteltävä suunnitelma-asiakirjojen ja työvaiheiden ajoitusta.

Oman ilmoituksensa mukaan rakennuttaja ei tarkastanut piirustuksia eikä laskelmien lujuusopillista oikeellisuutta. Vastuu näistä asioista oli sopimuksissa osoitettu valituille suunnittelutoimistoille. Rakennuttajan suorittama piirustusten tarkastus rajoittui pääasiassa mittojen tarkastukseen, jotta ei tapahtuisi mittavirheistä aiheutuvia työvirheitä. Esim. SAP-massasäiliön perustukseksi rakennetun paalutuksen ja betonilaatan suunnittelun rakennuttaja oli antanut suunnittelutoimistolle, jossa suunnittelu on tutkintalautakunnalle annetun tiedon mukaan kuulunut yhden henkilön vastuulle ilman toimiston sisäistä valvontaa.

Teräsrakenteisen SAP-massasäiliön rakentamisen rakennuttaja oli antanut kokonaisvastuu-urakkana (laitetoimituksena) yhdelle yritykselle. Tämä yritys oli puolestaan omalla päätöksellään antanut terässäiliön suunnittelun aiemminkin käyttämälleen ulkopuoliselle ammatinharjoittajalle. Tutkintalautakunnalla käytettävissä olleen tiedon mukaan tästä ei ollut mennyt ilmoitusta rakennuttajalle.

Tutkintalautakunnan havaintojen mukaan ei ole osoitusta siitä, että paalutuksen ja betonianturan suunnittelijan sekä terässäiliön suunnittelijan välistä yhteistyötä ja tiedonvaihtoa olisi kenenkään taholta erikseen hoidettu. Yhteistyö olisi ollut tarpeellista, koska rakenteet liittyivät toisiinsa ja muodostivat rakenteellisen kokonaisuuden.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan massasäiliön suunnitteluprosessin eri vaiheisiin liittyvä suunnittelun ohjaus ja valvonta ei ollut riittävää suunnitteluvirheiden tunnistamiseksi. Rakennushankkeen valvonnan ja ohjauksen kannalta olisi ollut tärkeää, että tieto kaikista suunnitteluun ja rakentamiseen osallistuvista osapuolista olisi mennyt myös hankkeen päätoteuttajalle. Tämä oli ottanut tehtäväkseen eri tahojen töiden yhteensovittamisen ja valvonnan siten, että työ tulisi tehdyksi suunnitelmien ja sopimusten mukaisesti.

Työturvallisuuslain 40b§:ssä ja 43a§:ssä on suunnittelijalle (suunnittelutoimistolle) kohdistettu velvollisuus ottaa suunnitelmassa huomioon työturvallisuus sekä lisäksi rakentamista koskevassa suunnitelmassa tarpeellisessa laajuudessa huomioon myös sitä toteuttavien työntekijöiden turvallisuus.

Rakennushanketta koskevien turvallisuustietojen antaminen urakoitsijoiden käyttöön

VNp:n päätöksen 629/94 5§ 1 momentin mukaan rakennuttajan on laadittava rakennustyön suunnittelua ja valmistelua varten asiakirja, joka sisältää rakennushankkeen ominaisuuksista ja luonteesta aiheutuvat ja sen toteuttamiseen liittyvät tarpeelliset turvallisuustiedot. Asiakirjassa on otettava huomioon työmaahan liittyvä teollinen tai muu siihen rinnastettava toiminta. Asiakirjan tarkoitus on, että urakoitsijat voivat omassa työnsuunnittelussaan varautua tarvittaviin turvallisuustoimenpiteisiin.

Rakennuttajan antaman tiedon mukaan varsinaista Vnp 629/94 5§:ssä mainittua turvallisuusasiakirjaa ei TARRA-projektissa laadittu, koska suunnitelma-asiakirjoja laadittaessa

ei ole ollut tiedossa, minkälaista tai missä muodossa olevaa suunnitelmaa tuo pykälä edellytti. Rakennuttajan ilmoituksen mukaan työsuojeluviranomaisen suorittamassa tarkastuksissa ei ollut vaadittu ko. asiakirjaa. Toisaalta on huomattava, että turvallisuusasiakirja oli TARRA-projektia aloitettaessa uusi ja outo käsite.

TARRA-projektin rakentamisen projektisuunnitelmassa oli liitteenä "Työmaan turvallisuusohjeet, uusittu 17.10.1995", joka on UPM-Kymmene Oy:n yleinen ohje. Projektisuunnitelman liitteenä oli myös asiakirja "Rakennuttamisperiaatteet TARRA-projektissa". Urakka-asiakirjoihin oli TARRA-projektin johdon käsityksen mukaan sisällytetty sellaiset asiakirjat, jotka mahdollistivat urakkatarjousta annettaessa työturvallisen ajattelun huomioimisen. Rakennuttajan ja urakoitsijan välisissä sopimuksissa oli mukana liite, jonka mukaan voidaan vaatia erityissuunnitelma vaarallisissa kohteissa. SAP-massasäiliön tekemistä ei katsottu normaalia vaarallisemmaksi kohteeksi, joten erityissuunnitelmaa ei ollut tehty. Massasäiliön rakentaminen oli lisäksi vain hyvin pieni osa TARRA-projektin kokonaisuudesta.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan turvallisuusasiakirja olisi pitänyt TARRA-projektissa laatia, vaikka siinä esitetyt asiat olisivatkin olleet TARRA-projektilla käytössä olleissa työmaan turvallisuusohjeissa. Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan turvallisuusasiakirja olisi tässä projektissa voinut olla esim. luettelo rakennustyön turvallisuussuunnittelussa huomioon otettavista vaaratekijöistä sekä viittauksista niihin suunnitelmiin ja hankeasiakirjoihin, joissa turvallisuustietoja on tarkemmin käsitelty. Tutkintalautakunta katsoo kuitenkin, että onnettomuusvaaran tunnistaminen etukäteen oli TARRA-projektin johdon käytettävissä olleen tiedon perusteella vaikeaa. Tästä syystä turvallisuusasiakirjan laatiminen ei olisi todennäköisesti estänyt onnettomuutta.

Tutkintalautakunnan käsitys on, että turvallisuusasiakirja on pidettävä ajan tasalla rakennushankkeen edistymisen mukana. Siihen pitää tehdä rakennushankkeen ja rakennuksen suunnittelun edistymisen myötä tarpeelliseksi tulevat muutokset ja täydennykset.

Rakennushankkeen toteuttamiseen osallistuvien tahojen yhteistyön järjestäminen

VNp:n 5§ 2 momentin mukaan rakentamisen toteutusta erillisinä urakoina valmisteltaessa rakennuttajan on määriteltävä eri urakoitsijoiden töiden ja työvaiheiden yhteensovittamisen säännöt työntekijöiden ja muiden työmaalla työskentelevien turvallisuuden varmistamiseksi. Säännöksen tarkoitus on, että rakennuttaja määrittelee säännöt mm. urakoitsijoiden ja muiden tahojen välisen tiedonkulun järjestämiseksi turvallisuusasioissa. Esimerkiksi urakkasopimuksissa voidaan määritellä tapoja eri urakoitsijoiden töiden yhteensovittamiseksi. Yhteisellä rakennustyömaalla päätoteuttajalla on päävastuu työturvallisuutta koskevien asioiden ja yhteistyön järjestämisessä sekä sääntöjen laatimisessa. Tässä tapauksessa päätoteuttaja oli TARRA-projektin johto, joka edusti UPM Kymmene Oy:tä.

Tutkimuksissa on käynyt ilmi, että esim. paalujen ja betonilaatan raudoittaneella yrityksellä ei ollut sopimusta TARRA-projektin kanssa. Rakennuttaja oli tehnyt TARRA-projektiin kuuluvista betonointitöistä raudoituksineen kokonaisurakan toisen yrityksen kanssa, joka oli puolestaan tilannut paalujen ja laatan raudoituksen ko. yritykseltä.



Edellä on jo todettu, että itse SAP-massasäiliön teräsrakenteiden suunnittelijalta ei ollut erikseen sopimusta rakennuttajan kanssa.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan SAP-massasäiliön suunnittelu ja rakentaminen oli pirstottu niin pieniin, toisiinsa nähden rinnakkaisiin ja peräkkäisiin osasuorituksiin, että osallistuvien tahojen välisen tiedonkulun ja muun yhteistyön sujumisen hoitamiseksi järjestetyt menettelytavat yhteisellä työmaalla eivät olleet riittävät.

Työmaan turvallisuussuunnittelu ja työmaalla sattuneet tapaturmat

Päätoteuttajan velvollisuudesta huolehtia työmaan turvallisuussuunnittelusta on säädetty VNp 629/94 7§ ja 8§:ssä. Tutkintalautakunta ei ole tarkemmin selvittänyt, miten turvallisuussuunnittelu yleensä työmaalla on hoidettu.

TARRA-projektin toteutuksessa työmaalla sattui yhteensä 12 työtapaturmaa ja työtunteja tehtiin yhteensä 1 150 000. Tapaturmataajuudeksi tulee 10,4 tapaturmaa miljoonaa työtuntia kohti. Yleensä vastaava luku rakennustyössä on useita kymmeniä.

4 MASSASÄILIÖN RAKENNESUUNNITTELU, MITOITUS JA RAKENTAMINEN SEKÄ SUORITETUT TUTKIMUKSET

4.1 Perustus

4.1.1 Maapohja ja pohjatutkimukset

Pohjatutkimusten suoritusta koskevat yleiset ohjeet

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa "B3 Pohjarakennus", joka on ainoa viiranomaisten taholta annettu pohjarakentamista koskeva ohje, todetaan, että rakennuspohjan laatu on selvitettävä yleensä ennakolta jokaisen rakennushankkeen yhteydessä. Tässä määräyksessä on esitetty hyvin yleisellä tasolla pohjatutkimusten tarpeellisuutta, laajuutta, sisältöä, suorittamista ja tulosten esittämistä koskevia asioita. Vain tämä määräys on pohjarakentamisessa velvoittava ja muut käytössä olevat, lähinnä määräystä käytännön tasolla täydentävät ohjeet ovat "epävirallisia" hyvää suunnittelu- ja rakentamistapaa kuvaavia ohjeita.

Määräyksessä B3 on todettu, että "pohjatutkimuksilla on selvitettävä maan kerrosrakennus sekä maakerrosten ja kallion geotekniset ominaisuudet niin, että riittävät tiedot pohjarakentamisen suunnittelemiseksi ovat käytettävissä ja että pohjarakentaminen voidaan toteuttaa käyttäen teknisesti tarkoituksenmukaisia ja turvallisia työtapoja. Pohjatutkimusten laajuus määräytyy rakennuspohjan, kuormitusten ja rakenteiden perusteella".

Ohjeita pohjatutkimusten suorittamisesta talonrakennushankkeiden maa- ja pohjarakennussuunnittelua varten on annettu yleisessä käytössä olevissa julkaisuissa

- Pohjarakennusohjeet RIL 121-1988, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y.
- Talonrakennuksen pohjatutkimusohjeet, TPO-83. Suomen geoteknillinen yhdistys r.y.

Näissä molemmissa ohjeissa on esitetty pohjatutkimusten vaiheittain suorittamisen periaate. Rakennussuunnittelun edistyessä tarvitaan yleensä tarkempaa maapohjaa koskevaa tietoa, mikä hankitaan vaiheittain tehtävinä ja tarkentuvilla pohjatutkimuksilla. Ohjeissa RIL 121-1988 on esitetty myös pohjarakennuskohteiden (suunnittelukohteiden) vaativuusluokitus, jolla on vaikutusta pohjatutkimusten sisältöön.

Sellaisia rakennushankkeita varten, joissa rakennus tai rakenteet suunnitellaan perustettavaksi paaluille, pohjatutkimusten sisällöstä ja suorittamisesta on annettu yksityiskohtaisempia ohjeita julkaisussa

- Lyöntipaalutusohjeet 19871 LPO-87. Suomen geoteknillinen yhdistys r.y.

Teräsputkipaalujen (halkaisija yli 300 mm) käytön edellyttämiä pohjatutkimuksia on käsitelty myös ohjeessa

- Teräsputkipaalut. Sillansuunnittelu. Tielaitos, Siltaosasto 1993.

Pohjasuhteet

Massasäiliön rakennuspaikan pohjasuhteiden pohjatutkimustulokset ja pohjarakennussuunnitelma sisältyivät geoteknisen suunnittelijan laatimaan pohjarakennussuunnitelmaan "TARRA-projekti. SAP-massan valkaisu. TYÖNRO 940263. 21.6.1995". Pohjarakennussuunnitelma kattoi koko SAP- valkaisurakennuksen (selluvarasto ja pulperiasema), eikä siinä ollut erikseen tarkasteltu SAP-massasäiliötä. Pohjatutkimuspisteistä neljä (301, 302, 9001 ja 9009) sijoittui massasäiliön läheisyyteen (kuva 4.1.1A) ja näissä pisteissä on suoritettu painokairaukset maan kerrosrakenteen selvittämiseksi sekä porakonekairaukset kallionpinnan varmistamiseksi. Tutkimukset maastossa on suoritettu keväällä 1995.

Pohjarakennussuunnitelmassa maapohjaa oli kuvattu yleispiirteisesti koko tutkittavaa aluetta koskevana. Pohjatutkijan tulkintojen mukaan luonnonmaan ylin osa oli pehmeää savea ja silttiä, jonka alla oli tiivis lohkarainen moreenikerros. Silttikerroksen paksuus oli suurimmillaan SAP-massan valkaisun kohdalla noin 3 metriä. Moreenin pinta oli tasolla +78 ... +80,5. Painokairaukset olivat pääosin päättyneet tiiviin moreenin pintaosassa oleviin kiviin. Porakonekairausten mukaan moreenikerroksen paksuus oli 2 - 3,5 m ja moreeni sisälsi suuria lohkaraita. "SAP-massan valkaisun" alueella kallionpinta oli tasolla +75,5 ... +77,5. Kalliossa oli todettu rikkonaisuutta (suuria lustia).

Tutkintalautakunta on päätenyt siihen käsitykseen, että pohjatutkimusten suorittaja on tehnyt pohjatutkimuksen ikään kuin se olisi rakennuskohteen yksityiskohtainen pohjatutkimus, koska pohjatutkimuksia ei ole esitetty täydennettäväksi pohjarakennussuunnittelun edistymisen myötä. Täydentäviä tutkimuksia ei olekaan tehty ja suunnittelu tehtiin puutteellisten pohjasuhdetietojen perusteella.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan pohjatutkimusten suunnittelu- ja suoritusvaiheessa ei ole tiedostettu sitä, että 6000 m³:n SAP-massasäiliö, joka oli kyllä esitetty mm. pohjatutkimuskartassa, oli suuren keskitetyn kuormituksensa (kokonaiskuorma 6000 tonnia, säiliön pohjan pinta-alalle noin 40 ton/m²) takia tutkintalautakunnan tulkinnan mukaan hyvin vaativa pohjarakennuskohde, mikä olisi edellyttänyt tarkempaa pohjatutkimusta.

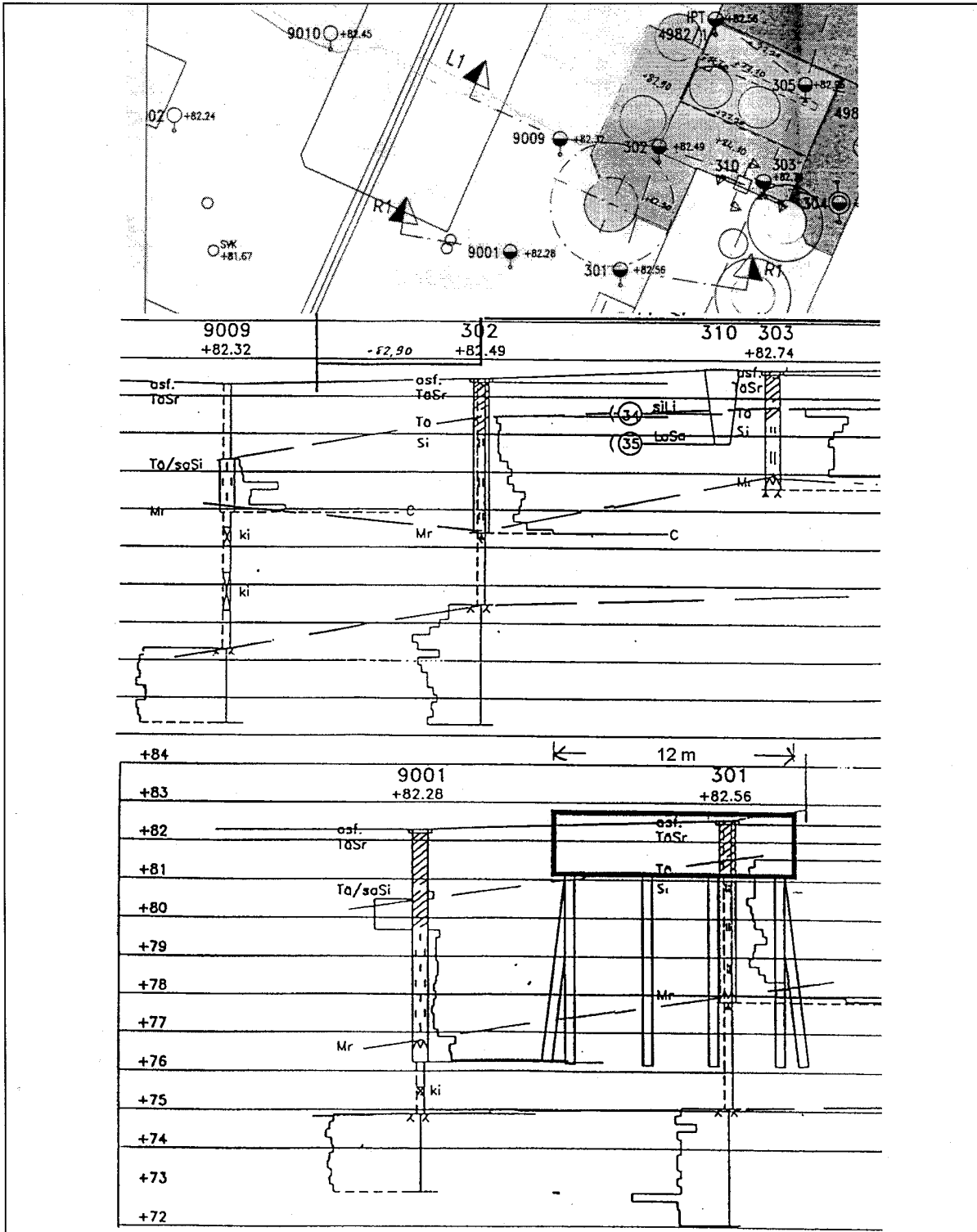
Tutkintalautakunnan toimeksiannosta VTT Yhdyskuntatekniikka teki tutkimuksen säiliön perustamistavasta ja perustusten rakenteesta suunnittelijoiden esittämien mitoitustietojen, rakennekuvien sekä omien teoreettisten tarkastelujen ja paikan päällä tehtyjen tutkimusten sekä laboratoriotutkimusten perusteella. Tulokset on esitetty raportissa " SAP-Massatornin kaatumiseen liittyvä betonisen anturalaatan perustusten tutkiminen. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tutkimusselostus Nro 312/98-YKI52, 2.2.1998 ".

Kaatuneen säiliön peruslaatan ulkopuolella tehtiin VTT:n tutkimuksen yhteydessä kolmessa tutkimuspisteessä pohjasuhdetietoja täydentäviä pohjatutkimuksia. Näiden tutkimusten tulosten perusteella pohjatutkijan esittämää kuvausta rakennuspaikan pohjasuhteista voidaan yleispiirteisesti pitää oikeana.

Kaatuneen säiliön tilalle rakennettiin kevään ja kesän 1996 aikana uusi säiliö kaivinpaaluille perustamalla. Kaivinpaalujen teon yhteydessä kaivinpaalu-urakoitsija teki havain-

toja kalliopinnan korkeusasemasta ja kallion laadusta kaivinpaalujen alueelta. Rakenteeltaan kovan ja ehjän kallion saavuttamiseksi oli kaivinpaalujen teon yhteydessä moreenikerrosten alla olevan kallion pintaa jouduttu meislaamaan keskimäärin 0,5 m sitä kalliopintaa alemmaksi, mikä oli määritelty kaatuneen säiliön läheisyydessä VTT:n tekemien porakonekairausten perusteella. Lisäksi kalliopinta on kaivinpaalujen tekijän havaintojen mukaan pintaosaltaan rikkonainen, kuten on myös todettu pohjatutkijan pohjarakennussuunnitelmassa. Kalliopinnan taso vaihtelee säiliön perustuspaalujen alueella, mitä pohjatutkijan suorittamien tutkimusten tuloksista ei ole pystytty päättelemään.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan olisi etenkin kalliopinnan tarkistamiseksi ja myös paalujen kallioon tunkeutumisen luotettavaksi arvioimiseksi tarvittu täydentäviä maa-/ kallioporauksia säiliön kohdalla. Pohjarakennussuunnittelijan olisi pitänyt havaita lisätutkimusten tarpeellisuus suunnittelun kuluessa ja täydentämistarve olisi pitänyt esittää rakennuttajalle.



Kuva 4.1.1A Maaperä säiliön kohdalla pohjatutkijan tutkimusten mukaan. Vaaka- ja pystymittakaavan suhde kuvassa 1:2. Perustuskuva on lisätty leikkaukseen.

4.1.2 Paalujen geotekninen ja rakenteellinen mitoitus, paalutustyö

Paalutusta koskevat yleiset ohjeet

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa "B3 Pohjarakennus" annetaan hyvin yleisellä tasolla ohjeita pohjarakennussuunnitelman sisällöstä ja pohjarakennustöiden suorituksesta. Pohjarakennussuunnitelmasta on todettu, että "perustukset on mitoitettava niiden varaan tulevien rakenteiden toimintaa vastaavasti siten, että perustan muodonmuutoksista johtuvat perustusrakenteiden siirtymät eivät aiheuta haitallisia jännityksiä tai muodonmuutoksia niiden varassa tai ulkopuolella oleville rakenteille". Paaluperustuksen suunnittelusta todetaan: "Paaluperustus on aina suunniteltava sen varaan tulevien rakenteiden ja maapohjan toimintaa vastaavasti siten, että paaluperustus kestää riittävällä varmuudella myös maasta tulevat kuormitukset ja että perustusten siirtymät pysyvät rakenteiden sietämissä rajoissa. Jos paalujen kantavuutta ei voida selvittää geoteknisten laskelmien tai muiden tietojen perusteella riittävän luotettavaksi, kantavuus on selvitettävä koekuormituksilla."

Paalutuksen suunnittelusta ja paalujen geoteknisestä ja rakenteellisesta mitoituksesta sekä paalutustyön suorittamisesta ja valvonnasta on esitetty hyvää suunnittelu- ja rakentamistapaa edustavia ohjeita seuraavissa yleisesti käytössä olevissa julkaisuissa

- Pohjarakennusohjeet RIL 121-1988, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y.
- Lyöntipaalutusohjeet 1987, LPO-87, Suomen geoteknillinen yhdistys r.y.

Pohjarakennusohjeissa RIL 121-1988 on todettu, että pohjarakennussuunnitelman on oltava sitä yksityiskohtaisempi, mitä vaativampi kohde on pohjasuhteiltaan, rakenteiltaan ja työmenetelmiltään.

Teräsputkipaalujen (halkaisija yli 300 mm) käytöstä on julkaistu ohjeet

- Teräsputkipaalut. Sillansuunnittelu. Tielaitos, Siltaosasto 1993

Teräsputkipaalut-ohje on laadittu erityisesti Tielaitoksen sillansuunnittelun tarpeisiin poistamaan Lyöntipaalutusohjeiden LPO-87 puutteellista teräsputkipaalujen käsittelyä. Teräsputkipaalut-ohje on laadittu noudatettavaksi suunniteltaessa ja tehtäessä paalutustöitä, joissa käytetään halkaisijaltaan yli 300 mm suuruisia teräsputkipaaluja. Nämä ohjeet on laadittu LPO-87:n paalutusluokan I periaatteita soveltaen niin, että halkaisijaltaan yli 300 mm:n teräsputkipaalutus suunnitellaan ja paalut mitoitetaan tämän ohjeen mukaan aina tapauskohtaisesti.

Käsitteiden määritelmiä

Paalujen geoteknisellä kantavuudella tarkoitetaan mitoitusarvoa, joka on saatu ottamalla huomioon sekä varmuus maapohjan murtumista vastaan että sallitut painumat. Sallitulla geoteknisellä kantavuudella tarkoitetaan suurinta sallittua kantavuutta sallittujen jännitysten menetelmää käytettäessä. Geotekninen kantavuus voidaan laskea myös rajatilamenetelmällä.

Paalun rakenteellisella kantavuudella tarkoitetaan mitoitusarvoa, joka on saatu ottamalla huomioon varmuus sekä paalun rakenteellisesta murtumista vastaan että sallitut muodon-

muutokset. Rakenteellinen kantavuus voidaan määrittää joko sallittujen jännitysten menetelmällä tai rajatilamenetelmällä.

Kapasiteetti on rakenteen tai sen osan kyky ottaa vastaan kuormia tai sietää muodonmuutoksia. Kapasiteetti on ääriarvo, jota laskentakuormien aiheuttamat rasitukset eivät saa ylittää murtorajatilatarkasteluissa.

Paalun kantokyky on mitoitussarvo, joka on saatu ottamalla huomioon varmuus paalurakenteen ja maapohjan tai kallion murtumista vastaan, mutta ei painumia.

Laskentakuorma on kuorma, jota käyttäen voimasuureet lasketaan tarkasteltavana olevassa rajatilassa. Laskentakuorma saadaan kertomalla ominaiskuorma asianomaisella kuorman osavarmuuskertoimella.

Ominaiskuorma on kuorma, jota ei määrättyllä todennäköisyydellä ylitetä rakenteen käyttöaikana tavallisessa käytössä.

Paalun kuorma on eri kuormien paaluperustukselle muodostaman kuormituksen paalu-kohtainen osuus.

Paaluvoima on normaalivoima, jonka eri kuormat synnyttävät paalussa.

Paalutusluokka II. LPO-87:ssä paalutustyöt jaetaan paalumateriaalista riippumattomiin paalutusluokkiin I, II ja III. Paalutusluokka I on vaativin luokka ja sitä käytetään mm. erikoispaalujen yhteydessä ja silloin, kun paaluille halutaan sallia tavallista suurempia kuormituksia. Paalutusluokka II on tavallisin, useimmissa lyöntipaalutuskohteissa noudatettava paalutusluokka. LPO-87:ssä paalutusluokalle II on esitetty minimivaatimukset, jotka paalutustyön on täytettävä, jotta voidaan saavuttaa ennalta paaluille asetettu kantavuusvaatimus. LPO-87:ssä esitetty luokitus helpottaa tavanomaisten paalujen valintaa sekä työn suoritusta ja valvontaa tavanomaisissa paalutuskohteissa.

Pohjarakennussuunnitelma ja paalujen mitoitus

Tutkintalautakunnan toimeksiannosta VTT Yhdyskuntatekniikka teki tutkimuksen säiliön perustamistavasta ja perustusten rakenteesta suunnittelijoiden esittämien mitoitustietojen, rakennekuvien, omien teoreettisten tarkastelujen ja paikan päällä tehtyjen tutkimusten sekä laboratoriotutkimusten perusteella. Tulokset on esitetty raportissa "SAP-Massatornin kaatumiseen liittyvä betonisen anturalaatan perustusten tutkiminen. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tutkimusselostus Nro 312/98-YKI52, 2.2.1998". Tutkintalautakunta on käyttänyt tätä VTT:n selvitystä arvioidessaan pohjarakennussuunnitelmia ja perustustyötä.

Pohjarakennussuunnitelmassa "SAP-massan valkaisu" -rakennuskohteen, johon myös SAP-massasäiliö kuului, paalutettavien rakenteiden suunnittelussa oli sovellettu Lyöntipaalutusohjeita, LPO-87. Pohjarakennussuunnitelmassa oli esitetty paalutettavat rakenteet perustettavaksi tukipaaluiksi lyötävien teräsbetonisten ja teräsputki- ja paalujen varaan. Teräsputki- ja paalujen arvioitu tavoitesyvyys oli kallionpinnan taso. Paalutusluokka oli II. Paaluina oli esitetty käytettäväksi Suomen geoteknillisen yhdistyksen lyöntipaalutusohjeen (LPO-87) mukaisia teräsbetonipaaluja tai tyyppihyväksytyjä teräsputki- ja paalu-

ja. Yli 5 m pitkälle (teräsbetoni)paalulle sallituksi kuormitukseksi oli esitetty enintään 7 MN/m². Yli 5 metrin pituisten teräsputkipaalujen geotekniseksi kantavuudeksi oli esitetty 70 MN/m². Paalujen kantavuudessa oli määrätty huomioon otettavaksi 4 mm korroosiovara tavomaisen 2 mm:n sijasta teollisuusalueiden korroosio-olosuhteissa. Teräsputkipaaluihin esitettiin käytettäväksi rakennesuunnitelmissa esitetyt paalukokoja ja malleja. Paalun kärjessä piti käyttää tyyppihyväksyttyä kärkikappaletta.

TARRA-projektin rakennustöiden valvoja ja pohjarakennesuunnittelija olivat yhdessä sopineet teräsputkipaalujen käytöstä teräsbetonipaalujen sijaan sen jälkeen, kun pohjarakennesuunnittelija oli todennut, että rakennuspäällikön ehdottamia teräsbetonipaaluja ei saatu mahtumaan riittävästi säiliön peruslaatan alle. Kohteen geotekninen suunnittelija ja pohjarakennesuunnittelija olivat sopineet, että tyyppihyväksytyjen teräsputkipaalujen sijasta voidaan käyttää halkaisijaltaan isoja teräsputkipaaluja.

Paalutuspöytäkirjojen merkintöjen mukaan käytetyt teräsputket olivat tyyppimerkinnältään "FE 52D, SFS - EN 10 - 204 - 2.2", valmistaja Rautaruukki Oy ja kärkikappaleen teräslaatu oli DN 500, valmistaja Rautaruukki. Kalliokärjen pyöreän terästäpin halkaisija oli 170 mm.

Peruslaatan kulmissa olevat paalut olivat pystysuoria paaluja. Kullekin sivulle pystysuorien nurkkapaalujen välille vinoon lyötävät kaksi paalua oli työpiirustuksessa esitetty lyötäväksi 5:1 kaltevuuteen. Paalutuspöytäkirjojen merkintöjen mukaan vinot paalut oli lyöty kaltevuuteen 4:1. Tarkemmittausten mukaiset paalujen todelliset kaltevuudet on esitetty taulukossa 4.1.2a.

Rakennesuunnittelijan laatimassa perustustyöpiirustuksessa "Si-1219-B/a , 21-210 Muutostunnus 2 (TARRA-projekti, SAP-massan valkaisu, kohde 21. SAP-massatorni. Perustus. Työpiirustus)" oli esitetty paalutyyppi "teräsputkipaalut, Ø 508 mm x 12,5 mm, betonitäyttö K30-2". Lisäksi mainituksessa työpiirustuksessa oli maininta:

- "Paalut liittorakennepaaluja, putki Ø 508 x 12,5,
- paalut varustetaan kalliojärjillä
 - paalutusluokka II."

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan paalujen lopullisen valinnan jälkeen ja paalutusta mitoitettaessa ei otettu huomioon sitä, että siirtyminen (pieniläpimittaisista) tyyppihyväksytyistä teräsputkipaaluista suuriin (tyyppihyväksymättömiin) teräsputkipaaluihin olisi edellyttänyt paalutusluokan I menettelytapoja paalutuksen suunnittelussa. Käytettyyn paalutyyppiin suunnitteluhetkellä parhaiten soveltuva ohje oli Teräsputkipaalut - ohje.

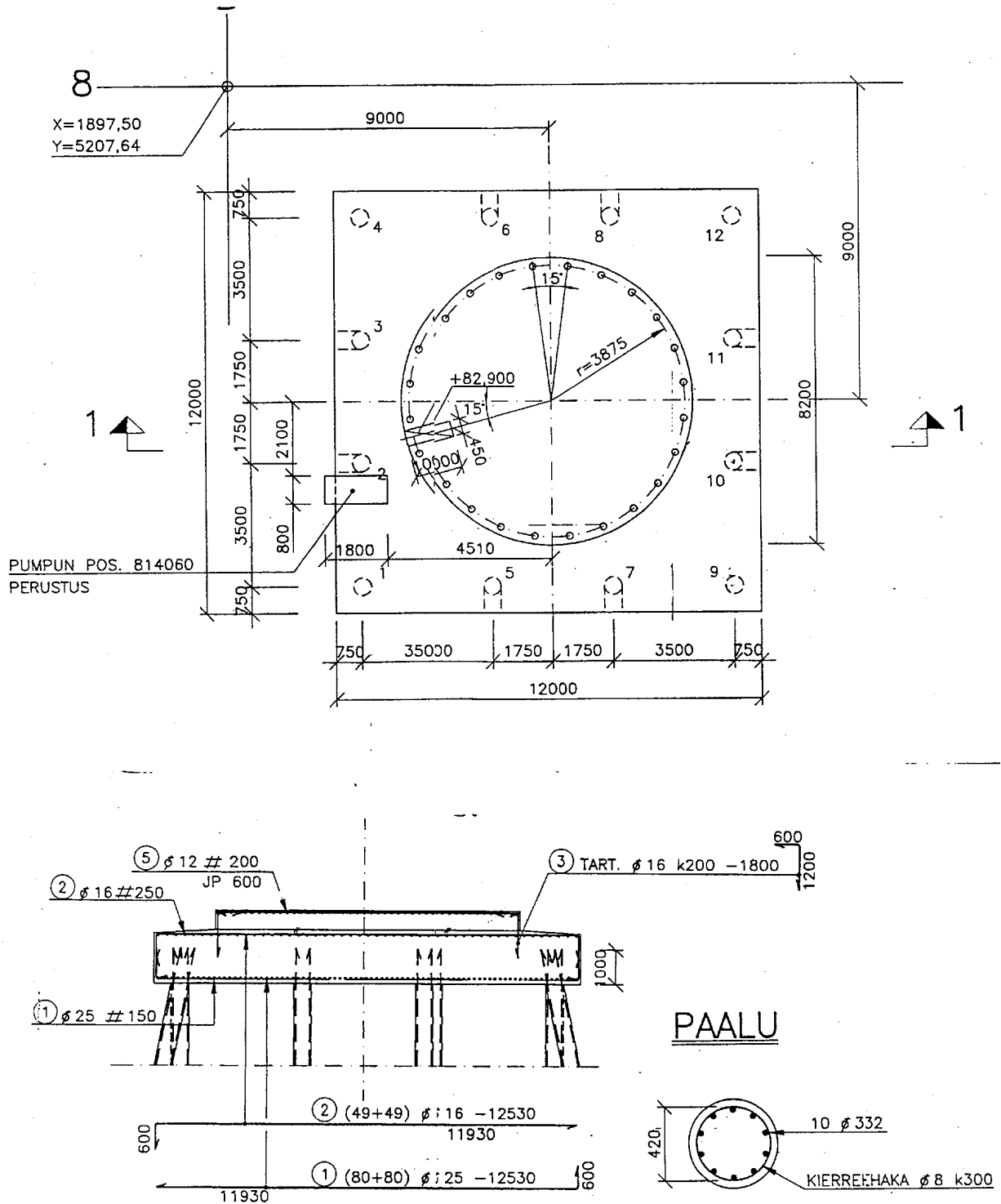
Paalujen mitoituslaskelmat oli esitetty asiakirjassa "UPM Tervasaari. TARRA-projekti. Massasäiliö 6000 m³, perustuslaskelmat. 15.06.1995". Paalujen sijainti peruslaatan suhteen oli esitetty suunnitelman liitteenä olevissa piirustuksissa, kuva 4.1.2A.

Paaluryhmän mitoitus oli suoritettu tietokoneohjelmalla "Paaluryhmä. V 2.1 29.6.1988 /©H.Asikainen". Paaluryhmän mitoituksessa kuormitukset olivat olleet:

- paaluantura 6,25 MN (noin 625 tonnia) (anturan mitat 12 m x 12 m x 1,5 m + Ø 8,5 m x 0,6 m)
- maa anturan päällä 0,55 MN (noin 55 tonnia)
- säiliö 2,26 MN (noin 226 tonnia)
- massa (säiliön sisältö) 60,0 MN (noin 6000 tonnia eli 6 milj. litraa SAP-massaa)
- vaakasuuntainen tuulikuorma 0,5 MN ja siitä aiheutuva momentti 8,75 MNm.

Paaluperustuksen suunnittelijan mitoituksessaan käyttämät kuormitukset ovat suuruusluokalleen oikein. Laskelmissa kaikille paaluille on otaksuttu käytännöllisesti katsoen sama kuorma. Tutkintalautakunnan tekemien tarkastelujen perusteella yhden paalun toimimattomuus nostaa paalun maksimimitoituskuormaa noin 10 %, kun peruslaatta oletetaan jäykäksi.

Vaikka nykyiset mitoitusohjeet eivät sitä edellytäkään, niin tutkintalautakunnan käsityksen mukaan tämän tyyppisissä tornimaisissa rakennelmissa myös kuormituksen mahdollisen epäkeskisyyden (painopisteen poikkeama rakenteellisesta symmetria-akselista) vaikutus tulisi aina ottaa huomioon. Tutkintalautakunnan havaintojen mukaan suunnittelija ei ollut tehnyt tällaista tarkastelua. Kuormitusta ei voida olettaa keskiseksi, koska esim. palavien nesteiden säiliöille annetaan 2,5 - 3 ‰ kallistumatoleranssi (SFS 3354, PSK 3101, 3103) ja lisäksi tulee vielä asennusepätkä.



Kuva 4.1.2A SAP-massasäiliön peruslaatan mitat ja pailujen sijainti (ote piirustuksesta Si-1219-B/a)

Pohjarakennesuunnittelija oli saanut vinoille, laatan sivujen keskiosalla oleville paaluille nro:t 2 ja 3 sekä 10 ja 11 maksimikuormaksi (kaikki 12 paalua käsitelty paaluryhmänä) 6,391 MN. Paalujen kärkien tasolla olevan maapohjan geoteknisenä kantavuutena rakennesuunnittelija oli käyttänyt pohjarakennussuunnittelijan yli 5 m pituisille teräsputkipaaluille esittämää arvoa, 70 MN/m^2 . Paalun poikkipinta-alana oli käytetty korroosiovähennyksellä pienennettyä teräsputken ulkohalkaisijan mukaista paalun bruttopoikkipinta-alaa $0,196 \text{ m}^2$. Teräsputkipaalulle sallittavaksi paalukuormaksi oli näillä lähtöolettamuksilla saatu 13,74 MN.

Teräsputkipaalut oli suunniteltu täytettäväksi betonilla K30-2 ja raudoitukseksi putken sisälle oli suunniteltu 10 kpl $\varnothing 32 \text{ mm}$ harjaterästä ja kierrehaka $\varnothing 8 \text{ k}300$ (kuva 4.1.2B). Betonina oli paalutuspyytäkirjojen mukaan käytetty K35-2 betonia. Rakennesuunnittelijan mitoitus liittorakenteena (teräksellä ympäröity betoni) (mitoitushjelma BY, Matti Leskelä) oli antanut sallittavaksi paalukuormaksi yhtaikaiselle puristukselle ja taivutukselle 11,32 MN ja rakenteelliseksi varmuuskertoimeksi $(11,32/6,39) F= 1,77$.

Tutkintalautakunnan tekemien selvitysten mukaan SAP-massasäiliön perustamiseen käytettyjen teräsputkipaalujen geotekninen kantavuus maahan lyötynä oli huomattavasti alle suunnittelijan laskelmissaan käyttämän sallitun kuorman (13,74 MN) ja myös suunnittelun tuloksena lasketun suurimman paalukuorman (6,39 MN). VTT Yhdyskuntatekniikan tekemien päätelmien mukaan paalun geoteknisen kantokyvyn (murtokuorman ominaisarvon) arvioitiin olevan vain 3 ... 4 MN. Vaihteluväli aiheutuu mm. käytettävissä olleiden paalujen tunkeutumista ja lyöntityön suuruutta koskevien tietojen epätarkkuudesta ja käytettävästä laskentamenetelmästä. Paalujen arvioitu "todellinen" kantavuus (kapasiteetti) on siis ollut vain noin 45-65 % niille suunnitellusta mitoituskantavuudesta.

Sekä Lyöntipaalutusohjeet LPO-87 että Teräsputkipaalut -ohje rajoittavat lyönninaikaisen suurimman sallitun teräsännityksen 90 %:iin paalumateriaalin myötöjännityksestä. Jos paalutuskaluston valinnan yhteydessä olisi tehty paalutuksen aikaansaamien jännitysten tarkasteluja esimerkiksi Teräsputkipaalut -ohjeen mukaisesti, olisi ollut mahdollista todeta, ettei paalulle missään tapauksessa voida saavuttaa suunnittelijan esittämää arvioitua sallittua paalukuormaa (geoteknistä kantavuutta) 13,74 MN.

Tutkintalautakunta on todennut, että Lyöntipaalutusohjeen LPO-87 kantavuuden arvioinnin käsittelytapa, erityisesti geoteknisen kantavuuden esittäminen paalumateriaalikohtaisesti, on äärimmilleen yksinkertaistettu ja aiheuttaa kokemattomalle suunnittelijalle helposti väärinkäsityksiä. Muiden kuin tavanomaisten teräsbetonipaalujen tai pienten teräsputkipaalujen osalta Lyöntipaalutusohjeen soveltaminen edellyttää käyttäjänä erittäin hyvää perehtyneisyyttä paaluperustusten ja paalutuksen suunnitteluun.

Tutkintalautakunnan tulkinnan mukaan paalun geoteknisen kantokyvyn arviointiin oli käytetty Lyöntipaalutusohje LPO-87:ssä esitettyä yksinkertaistettua menettelyä (sallittu geotekninen kantavuus pienimmässä bruttopoikkileikkauksessa enintään 70 MN/m^2), joka ei sellaisenaan ilman Lyöntipaalutusohjeissa mainittuja lisätarkasteluja sovellu käytettäväksi suurille teräsputkipaaluille. Lisätarkasteluilla olisi pitänyt selvittää, ettei mitoituskantavuus eikä mitoituskantavuuden saavuttamiseen tarvittavan lyönnin aiheut-

tama dynaaminen jännitys aiheuta teräsputkipaalun seinämän sallittujen jännitysten ylittymistä. Käytetylle paalutyypille soveltuva Tielaitoksen julkaisema ohje, Teräsputkipaalut, oli suunnitteluajankohtana käytettävissä ja suunnittelijan tiedossa.

Tutkintalautakunnan havaintojen mukaan suunnittelussa ei otettu huomioon Lyöntipaalutusohjeiden LPO-87 yleisperiaatteita, jotka on kirjattu ohjeen kohtaan 3.1: " Paaluperustuksen suunnittelu edellyttää paalun rakenteellisen kantokyvyn, maa- ja kalliopohjan kantokyvyn eli geoteknisen kantokyvyn, paalujen painumien ja hyväksyttävien mittapoikkeamien selvittämistä sekä yksittäisten paalujen että koko paaluryhmän osalta". Laskelemissa viitataan pohjarakennussuunnitelmaan geoteknisen kantavuuden valinnan perusteena. Mitoituksen perusteella laadittua perustuksen työpiirustusta (21-210) ei jakeleltaulukon mukaan kuitenkaan ole saatettu tiedoksi alikonsulttina toimineelle hankkeen geotekniselle suunnittelijalle, kuten pohjarakennussuunnitelmassa edellytettiin.

Tutkintalautakunta pitää puutteena sitä, että paalutuspiirustuksessa (työpiirustuksessa) ei ollut esitetty paaluille tulevia ja niille sallittavia kuormia eikä muitakaan mm. LPO-87:ssä mainittuja asioita, jotka tulisi saattaa tiedoksi paaluttajalle.

Paalutustyö

Pohjarakennussuunnitelmassa lyöntipaalutustyöstä oli todettu mm., että paalutustyön suorituksessa piti noudattaa ensisijaisesti paalutussuunnitelmassa annettuja ohjeita ja määräyksiä sekä lisäksi Lyöntipaalutusohjetta 1987 (LPO-87). Paalutyypit ja paalujen sijoitus sekä toleranssit mainittiin esitettäväksi rakennesuunnittelijan paalutuspiirustuksessa. Edelleen todettiin, että paalutustyötä johtamaan piti asettaa LPO-87 mukainen ja rakennustarkastuksen hyväksymä paalutustyönjohtaja. Teräspaalujen lyöntikaluston suhteen samoin kuin teräspaalujen lyönnissä tuli noudattaa paalun valmistajan antamia ohjeita.

Rakennesuunnittelijan laatimassa perustuskuvassa (työpiirustus) Si-1219-B/a (21-210 Muutuskoodi 02) oli esitetty paalujen sijoitus pohjalaatan suhteen sekä maininta siitä, että sovelletaan LPO-87:n paalutusluokkaa II. Paalutuspöytäkirjojen mukaan SAP-massasäiliön paalutuksessa käytetty kone oli hydraulitoiminen Junttan-paalutuskone. Käytetyn paalutusjärkäleen massa oli 6000 kg, poikkileikkaus 680 mm x 680 mm ja pituus 1,8 m. Paalutuspöytäkirjojen mukaan paalutustyöt oli suoritettu 10.-12.7.1995.

Paalutustyönjohtajan tehtäviä SAP-massasäiliön paalutustyömaalla oli käytännössä hoitanut maarakennusurakoitsijan maarakennusosuuksista vastaava mestari.

Rakennuttajan valvojan kertoman mukaan paaluttajalle oli annettu paalutustyötä varten jo urakkatarjouspyynnön yhteydessä tiedoksi PK 8:n työselitys. Työselityksessä oli todettu:

"Teräsputki on lyötävä siten, että vähintään kahdella luotettavalla dynaamisella kantavuuskaavalla tai PDA-mittauksilla voidaan osoittaa, että sallitun paalukuorman kokonaisvarmuus murtokuorman suhteen on vähintään kolme. Jousto on otettava huomioon." PK 8:n paalutustyömaalla PDA-mittauksia olikin tehty. Paalutustyönjohtaja ei PK 8:n paalutustyömaalta saamaansa kokemukseen pohjautuen ollut katsonut tarpeelliseksi mittauttaa SAP-massasäiliön paalujen geoteknistä kantavuutta samaan tapaan kuin PK

8:n paalutuksen yhteydessä oli tehty. Paalutus SAP-massasäiliön työmaalla oli suoritettu paalutustyön valvojan mukaan samalla tavalla kuin edellisellä työmaalla (paperikone PK 8).

Tutkintalautakunta pitää puutteena sitä, että SAP-massasäiliön paalutustyömaalla ei paaluttajalla ollut käytettävissä mitään paalujen valmistajalta tai rakennesuunnittelijalta saatuja erityisohjeita paalutuksen suorittamiseksi. Edellisellä työmaalla (PK 8) oli ollut käytettävissä sen kohteen geoteknisen suunnittelijan ja rakennesuunnittelijan antamat paalutusohjeet.

Paalujen tunkeutumissyvyys

Perustuspäirustuksessa (Si-1219-B/a) rakennesuunnittelija oli merkinnyt kallionpinnan keskimääräiseksi tasoksi +75,7. Pohjarakennussuunnitelmassa teräsputkipaalujen taivoitesyvyys oli kallionpinnan taso.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan paaluttajalla ei paalutustyötä aloittaessaan ollut käytettävissään niin tarkkoja tietoja kallionpinnan tasosta, että paalujen tunkeutumista kalliin asti olisi voitu etukäteen arvioida riittävällä tarkkuudella.

Pohjarakennussuunnitelmassa paalujen loppulyöntistä oli todettu mm., että teräsmaalujen loppulyöntiohjeet piti laatia geoteknisen suunnittelijan toimesta, kun käytettävä paalutuskalusto oli valittu.

Paalutusurakoitsijalla ei kertomansa mukaan ollut käytettävissään nimenomaan tätä paalutustyömaata koskevia rakenne- tai geoteknisen suunnittelijan antamia erillisiä kirjoitettuja loppulyöntiohjeita. Geotekniseltä suunnittelijalta ei loppulyöntiohjeita kysytty säiliön paalutustyötä suoritettaessa. Paalutustyönjohtajan mukaan paalutuskoneen miehistölle oli annettu suullisesti ohjeet, joiden mukaan loppulyöntimenettelyä piti käyttää samaa menettelyä kuin edellisellä (PK 8) paalutustyömaalla. Loppulyöntit piti tehdä 10 iskun sarjoina 6000 kg järkäleellä ja 0,85 m pudotuskorkeudella. Paalun yläpään painumat piti mitata 10 viimeisen loppulyöntisarjan aikana. Tutkintalautakunnan käytössä olleiden paalutuspöytäkirjojen merkintöjen mukaan paalujen painumat kymmenen viimeisen lyöntisarjan aikana ovat olleet 4-5 mm/ lyöntisarja (vaatimus alle 10 mm).

Loppulyöntitoimenpiteiden suoritus oli annettu paalutuskoneen kuljettajan ja paalutuksen apumiehen tehtäväksi. Paalutuspöytäkirjat loppulyöntien osalta piti tehdä mittaustyönjohtajan toimesta jälkikäteen, viimeistään paalutuksen jälkeisenä päivänä toimistossa paalutuskoneenkuljettajalla ja hänen apumieheltään saatujen tietojen perusteella.

Samanlaisille paaluille, joita massasäiliön perustuksessa käytettiin, oli TARRA-projektissa PK-8 työmaalla tehty 15.5. ja 18.5.1995 yhteensä kuudelle paalulle dynaamisia koekuormituksia tavoitteena todeta, oliko paaluille paperikoneperustuksen suunniteltuun sallittuun kuormaan 1,2 MN nähden saavutettavissa riittävä kokonaisvarmuus, $F \geq 3$. Dynaamisten mittausten perusteella ei voitu osoittaa, että tavoiteltu geotekninen kantokyky 3,6 MN olisi saavutettu. Paalujen yläpää särkeivät ennen kuin paaluun saatiin em. murtokuorman osoittamiseksi tarvittava lyöntivoima. Näiden mittausten perusteella pohjarakennussuunnittelija laati sitten paalujen loppulyöntiohjeet PK 8:n paalutustyömaalle. Paperikoneperustusten paalutuksen yhteydessä teräsputkipaaluille laadi-

tut loppulyöntikriteerit otettiin sittemmin sellaisenaan käyttöön massasäiliön perustuksen paalutustyössä vaikkakin säiliön paalujen sallitun kuorman piti olla moninkertainen pape-rikoneperustuksen paalujen kuormaan verrattuna.

Tutkintalautakunta pitää puutteena sitä, että suunnittelija ei toimittanut SAP-massasäiliön paaluttajalle loppulyöntiohjeita. Tutkintalautakunnan mielestä paalut-taja on menetellyt väärin, kun SAP-massasäiliön paalutustyömaalla sovellettiin PK 8:n työmaan loppulyöntiehtoja. PK 8:n työmaalla loppulyöntimenettelyllä pyrittiin saavuttamaan paaluille tietty kantavuus lyömällä paalut tiettyyn tiukkuuteen, kun kärjet jäivät maakerroksiin. SAP-massasäiliön työmaalla paalut olisi pitänyt lyödä kallioon, johon tarkoitukseen PK 8:n paalutukselle tarkoitettut loppulyöntikriteerit ei-vät soveltuneet.

Paalun kunnollinen tukeutuminen kallioon edellyttää paalun kärkitapin "porautumista" kallioon. Paalutuksessa tämä saadaan aikaan useilla varovaisilla lyöntisarjoilla. Ohje po-rautumisen varmistamiseksi tehtävistä loppulyönneistä tulee antaa tapauskohtaisesti paalutuksen suunnittelijan toimesta. Käytettävissä olleiden tietojen mukaan paalujen tu-keudesta kallioon em. tavalla lyöden ei ole tehty.

Paalujen ylösnoston jälkeen paalujen kalliojärjet tarkastettiin silmämääräisesti. Kallio-kärkien kärkitappien pieniä lohkeiluja ja eräitä jäykisteripojen repeilyjä ja taipumia lukuun ottamatta kalliojärjissä ei havaittu vaurioita. Luotettavia johtopäätöksiä lohkeiluista tai ri-pojen repeilyistä lyönnin yhteydessä ei voitu kuitenkaan tehdä, koska eräät säiliöperus-tuksen paalut oli mm. tässä kohteessa kerran nostettu ylös, jolloin vaurioiden syntymistä ei ole voitu kohdentaa lopullisessa lyöntipaikassa tapahtuneiksi.

Paalutuspöytäkirjojen ja paalujen betonointipöytäkirjojen merkintöihin perustuvia paalu-jen tunkeutumissyvyyyksiä ja paalupituuksia on esitetty taulukossa 4.1.2a. Eri tavalla määritetyissä paalupituuksissa esiintyviä eroja tarkasteltaessa on otettava huomioon mm. paalujen päiden vinous ja mittauskohdan sijainti paalun kehällä. Tarkasteltaessa "paalun pituus lyötäessä" sarakkeen (yläpään taso - alapään taso) arvoja ja verrattaessa niitä paalutuspöytäkirjan mukaiseen paalun pituuteen vertailussa on otettava huomioon vinoon lyötyjen paalujen kaltevuuden aiheuttama ero.

Paalut nro:t 4 ja 6 eivät olleet tunkeutuneet lyötäessä aluksi kuin noin yhden metrin ver-ran maahan. Lyödyt paalut oli nostettu pois ja paalujen kohdilla oli suoritettu suurehko-jen lohcareiden louhinta ennen uusien paalujen lyöntiä.

Kuvassa 4.1.2C on esitetty paalujen alapäiden korkeustasot paalujen ylösnoston jälkeen mitattujen paalupituuksien perusteella laskettuna ja paalujen alapäiden sijainti arvioitun kallionpintaan nähden. Tarkasteluissa käytetty kallionpinta on arvioitu porakonekairaus-ten tulosten ja kaivinpaalujen teon yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella. Positiivinen luku osoittaa, että paalun kärki ei ole saavuttanut kallionpintaa. Negatiivinen luku puolestaan ilmaisee sen, että paalun kärki on saattanut saavuttaa kallionpinnan.

Kuvan 4.1.2C perusteella näyttää siitä, että paalut nro:t 1, 2, 5 ja 7 olisivat tukeutuneet kallion pintaan tai paalujen kärjet olivat hyvin lähellä sitä. Paalut nro:t 3, 9, 10 ja 11 ovat sitä vastoin jääneet selvästi irti kallion pinnasta. Paalujen nro:t 4, 6, 8 ja 12 osalta ei ole



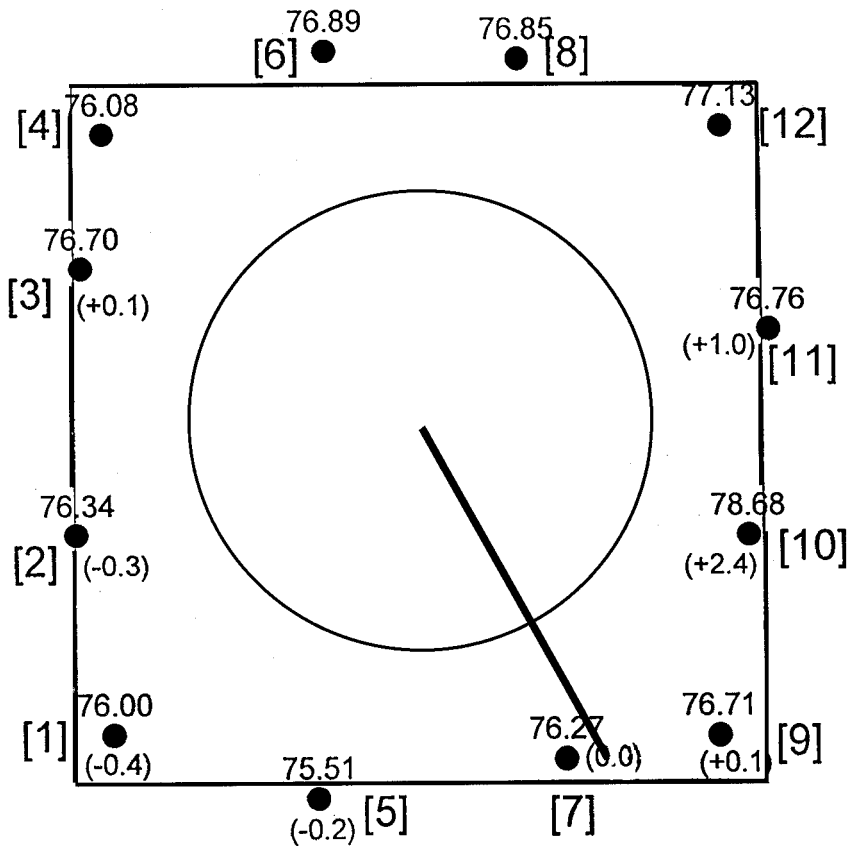
käytettävissä kallionpintahavainnot. Vaikka paalujen kärjet olisivatkin saavuttaneet arvioidun kallionpinnan, niiden kantavuutta arvioitaessa on kuitenkin huomattava, että kallion pintaosa on todettu rikkonaiseksi. Käytetyllä lyöntityöllä ja loppulyöntimenettelyllä paaluja ei ole ollut mahdollista saada uppoamaan lujaan kallioon saakka.

Taulukko 4.1.2a. Paalujen tunkeutumistasot ja pituustietoja paalutuspöytäkirjojen merkinnöistä laskettuna ja mittausten perusteella. Lyödyn paalun alapään tasossa ei ole otettu huomioon paalujen vinoutta (taso ~ lyödyn paalun yläpään taso - paalun pituus lyötäessä). (1) = mittaukset tehnyt poliisi, pituus putken yläpäästä kalliokärjen (pituus 0,55 m) kärkeen (2) = kaltevuus / suunta kellotaulun mukaan, klo 06 on säiliön kaatumissuunta (3)= terästen pituus 0,9 m yli paaluputken pituuden

Paalun nro	Paalutuspöytäkirjan merkinnät		Maassa ollut paalupituus, [m] katkaisutaso + 81.15			Paalun pituus lyötäessä, [m] (sis.kalliokärjen)		Paalun kaltevuus paalutuspöytäkirjan mukaan
	Lyödyn paalun yläpään taso	Lyödyn paalun alapään taso	Katkaisutason perusteella laskettu	Terästilausten perusteella (3)	Mittausten perusteella (1)	paalutuspöytäkirjan merkintä	Yläpään taso – alapään taso, laskettu	
1	ei merk.	76,58	4,57	5,15	5,15	5,00	(-76,58)	0/-
2	84,93	76,26	4,89	5,01	4,92	8,72	8,67	6,5:1/09
3	83,71	76,64	4,51	4,64	4,36	7,12	7,07	5,9:1/11
4	85,46	76,06	5,09	5,14	5,10	ei merk.	9,40	13,3:1/07
5	84,41	76,00	5,15	(5,32)5,72	5,70	8,52	8,41	5:1/06
6	85,11	76,79	4,36	4,62	4,37	8,48	8,32	3,5:1/01
7	85,64	76,23	4,92	5,08	4,95	9,54	9,41	5:1/04
8	86,86	76,86	4,29	4,50	4,29	10,26	10,00	4:1/12
9	ei merk.	77,12	4,03	4,51	4,45	ei merk.	(-77,12)	0/-
10	87,22	78,62	2,53	2,67	2,45	8,77	8,60	4,3:1/-
11	85,24	76,73	4,42	4,61	4,45	8,67	8,51	4,5:1/03
12	ei merk.	77,13	4,02	4,65	4,63	ei merk.	(-77,13)	0/-



Kuva 4.1.2B Maasta ylösnostettuja teräsputki-paaluja. Edessä paalu nro 10.



Kuva 4.1.2C. Paalukärkien korkeustasot sekä sijainti suhteessa kalliioon metreinä. Sijainti suhteessa kalliioon on esitetty suluissa, positiivinen luku osoittaa, että paalun kalliokärki sijaitsee kalliopinnan yläpuolella. Paalun numero on hakasulkeissa.

Tutkintalautakunta on todennut selvitysten perusteella, että paaluja ei ollut mahdollista lyödä vaadittuun kuormitettavuuteen paalun pään rikkoutumatta. Valittu paalutuskalusto ei ollut paaluilta tavoiteltavaan kantokykyyn nähden riittävä eikä teräspuikipaalujen lyönti siten ole voinutkaan olla sellaista, että paalut olisivat tunkeutuneet luotettavasti kalliioon saakka. Paalutustyön valvonta paalujen suunnitellun tunkeutumissyvyyden varmistamisen osalta ei ole ollut LPO-87:n mukaista. Tutkintalautakunta on kiinnittänyt huomiota paalun nro 10 muista huomattavasti poikkeavaan tunkeutumissyvyyteen ja pituuteen (kuva 4.1.2B ja C), johon ei ollut missään vaiheessa reagoitu. Onnettomuuden jälkeen tarkastettiin kaivaen paalun alla oleva maapohja, eikä siinä todettu sellaisia kiviä tai loh-kareita, jotka olisivat voineet aiheuttaa paalun pysähtymisen todettuun syvyyteen ja jäämisen koko pituudeltaan pehmeisiin maakerroksiin. Paalun kalliokärjen kärkitappi todettiin ylösnoston jälkeen vahingoittumattomaksi (ei ollut merkittävästi tyssäntynyt edes reunoiltaan).

Paalutuspöytäkirja

Paalutuspöytäkirjat ovat eräs keino, jolla paalutustöiden suoritus voidaan todentaa jälki-käteen. Pöytäkirjoista voidaan havaita poikkeamat suunnitelmista ja työn asianmukainen suoritus, kun pöytäkirjat toimitetaan asianmukaisesti ja oikea-aikaisesti oikeille henki-löille tarkastettavaksi.

Pohjarakennussuunnitelmassa paalutuspöytäkirjan pitämisestä oli todettu, että paalutustyön suorituksesta oli pidettävä LPO-87 mukaista pöytäkirjaa ja paalujen sijainnista piti laatia toteumapiirustus, jotka piti toimittaa paalutustyön suorituksen jälkeen ensin geoteknisen suunnittelijan tarkastettavaksi ja tämän piti toimittaa ne edelleen rakennussuunnittelijalle ja rakennustarkastukseen. Paalutustyön jälkeen paalujen ehjyys piti tarkistaa ja tarkastuspöytäkirjat piti toimittaa rakennuttajalle.

Paalutuspöytäkirjan laadinta oli mittarakennusmestarin vastuulla. Paalutustyöt oli suoritettu paalutuspöytäkirjojen mukaan 10.-12.7.1995. Paalujen betonointi oli tehty 18.7.1995. Käytävissä olleiden tietojen mukaan paalutuksen suunnittelija oli saanut tarkepiirustukset pian paalutuksen jälkeen. Sen sijaan itse paalutusta koskevat pöytäkirjat olivat menneet vain tilaajalle (rakennuttajan valvojalle) maarakennusosuuksien vastaavan mestarin toimittamana joko 21.7.1995 tai mittarakennusmestarin lähettämänä 24.7.1995 laskutuksen yhteydessä. Paalutuspöytäkirjoissa on laadintapäivämäärä (tarkistusmittausten päivämäärä ?) 31.7.1995 (HT). Pohjarakennussuunnittelija (A-Insinöörit Oy) samoin kuin geotekninen suunnittelija (Insinööritoimisto Geotesti Oy) olivat kertomansa mukaan saaneet paalutuspöytäkirjat tietoonsa vasta onnettomuuden jälkeisenä päivänä 27.3.1996.

Tutkintalautakunnalla käytävissä olleiden tietojen mukaan paalutuspöytäkirjojen jakelu ei ole ollut pohjarakennussuunnitelman eikä yleisessä käytössä olevien paalutusohjeiden mukaista.

Tutkintalautakunnan havaintojen mukaan paalutuspöytäkirjojen päivämäärämerkinnöissä on epäselvyyksiä ja itse pöytäkirjoissa joitakin puutteellisuuksia sekä virheitäkin, jotka viittaavat siihen, että ne eivät kaikilta osiltaan olisi täysin luotettavia. Paalutuspöytäkirjat tulisi aina sekä laatijan että hyväksyjän / tarkastajan allekirjoittaa.

4.1.3 Peruslaatta ja sen rakenteellinen mitoitus

Rakenteellista mitoitusta koskevat yleiset ohjeet

Betonirakenteiden mitoituksen periaatteet ja menettelytavat on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa "B4 Betonirakenteet", jossa on esitetty viranomaisten vahvistamia ohjeita betonirakenteiden suunnittelijalle sekä joitakin hyväksyttäviä mitoituksen menettelytapoja. Määräyskokoelman osaa B4 täydentää yleisessä käytössä oleva suunnittelu- ja mitoitusohje:

- Betoninormit. RakMK B4 ja korkealujuuksisten betonien lisäohjeet. 1993. Suomen Betoniyhdistys. s. 15.

Betonirakenteiden suunnittelua ja mitoitusta on käsitelty myös seuraavissa yleisessä käytössä olevissa ohjeissa:

- RIL 125-1986 Teräsbetonirakenteet
- RIL 131-1991 Betoninormit ja mitoitustaulukot.

Suunnittelijan mitoitamat ja toteutetut rakenteet

Rakennesuunnittelijan tekemän anturalaatan mitoituksen tulokset oli esitetty perustuspiirustuksessa Si-1219-B/a (21-210, Muutostunnus 2) anturalaatan mitta- ja raudoituskuviina (kuva 4.1.3A). Mitoituslaskelmat oli esitetty asiakirjassa: UPM Tervasaari. TARRA-projekti. Massasäiliö 6000 m³, perustuslaskelmat. 15.06.1995 ja sen kohdissa "Perustuslaatan mitoitus" sekä "Puristus paalun yläpäässä".

Massasäiliön kokonaiskuormana oli käytetty 62,26 MN, josta säiliön varren kuormaksi peruslaatalle oli laskettu 2,09 MN varren kehän pituusyksikköä (m) kohti. Mitoituslaskelmissa peruslaatan paksuudeksi oli otettu 2,1 metriä (1,55 m + 0,55 m ja lisäksi 0,08 m pintabetonia, jota ei ollut huomioitu laskelmissa) ja laajuudeksi 10,5 m x 10,5 m. Peruslaatan painoksi oli laskettu 0,6946 MN (63 kN/m²). Paalujen ja laatan leikkauskohdan oli laskelmissa otaksuttu olevan 0,9 m etäisyydellä laatan reunasta. Rakennesuunnittelija on otaksunut laskelmissaan betonilaatan toimivan jäykkänä laattana ja saanut vinojen paalujen paalukuormiksi 6,391 MN ja nurkkapaalujen paalukuormiksi 6,172 MN.

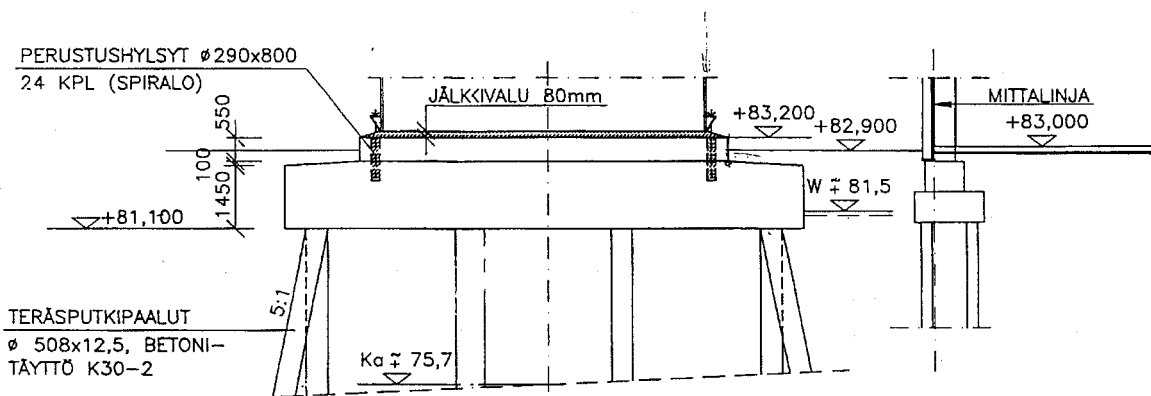
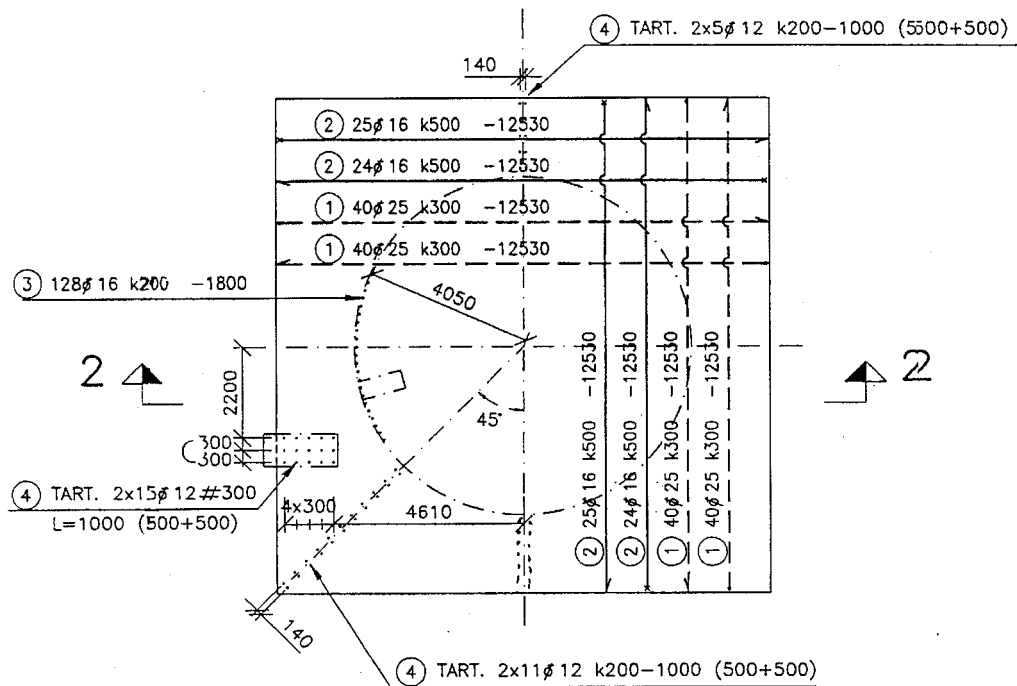
Raudoituksen määrän taivutusmitoituksessa suunnittelija oli kertomansa mukaan ottanut RIL 125-1986 Teräsbetonirakenteet - ohjeesta. Peruslaatan betonina mitoituksessa oli käytetty K30-2 ja teräslaatu A 500 HW.

Rakennesuunnittelija oli tarkastellut teräspuutken (teräspuutkipaalun) mahdollista työntymistä betonilaatan sisään ja saanut palkkina tarkasteltuun laattakaistaan peruslaattaan kohdistuvaksi leikkauskapasiteetiksi paalun yläpäässä

- betonille 8,25 MN (noin 825 tonnia)ia
- raudoitukselle ($A = 8010 \text{ mm}^2$) 3,34 MN

eli kapasiteetiksi yhteensä 11,159 MN (noin 1159 tonnia) ja kuorman osavarmuuskerroimeksi ($11,59 / 6,39$) 1,81. Tällä perusteella suunnittelija ei ole todennut olevan paalujen läpileikkautumisriskiä.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan rakennesuunnittelija ei ole ymmärtänyt oikein paalujen varassa olevan betonilaatan murtomekanismia. Suunnittelija on käsitellyt tapausta pitkänä päistään tuettuna palkkina ja mitoitannut palkin taivutukselle, joka on johtanut virheelliseen lopputulokseen. Peruslaatta olisi pitänyt mitoitaa laattana ja mitoituksessa olisi pitänyt tarkastella myös laatan lävistyskapasiteetti. Suunnittelija on kylläkin tehnyt paaluille normien mukaisen paikallisen puristuskapasiteettitarkastelun (paalun pään puristuminen betonilaatan sisään) mahdollisesti luullen sen korvaavan laatan lävistystarkastelun.



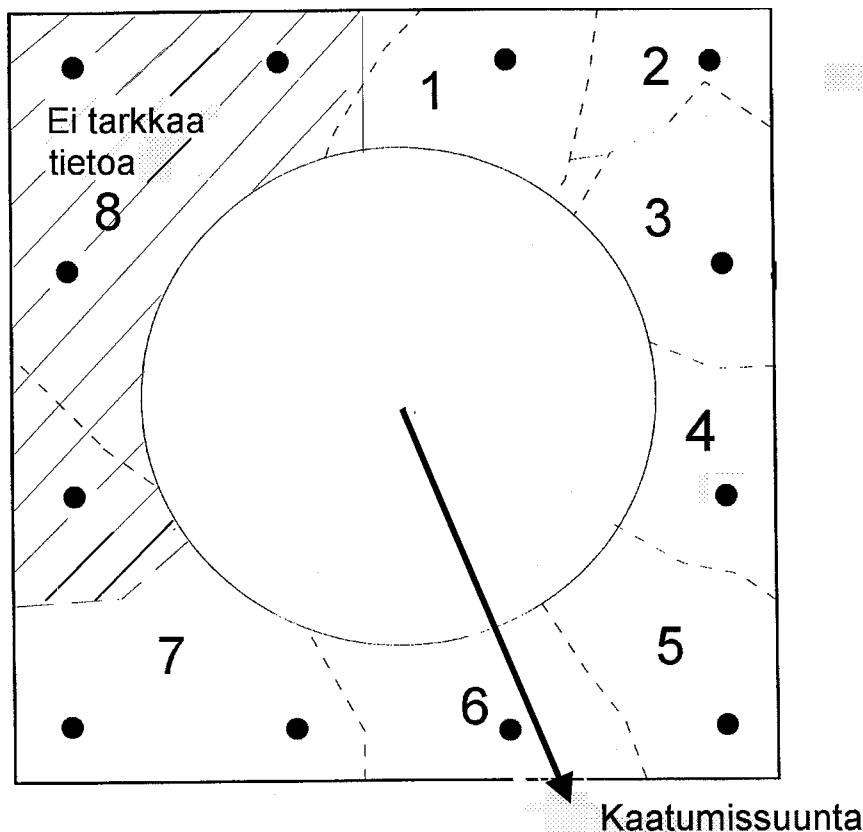
Kuva 4.1.3 A Peruslaatan rauditus (ote piirustuksesta Si1219-B/a, 21-210)

Peruslaatta säiliön kaatumisen jälkeen

Kaatumisen jälkeen paikanpäällä tehtyjen havaintojen ja mittausten mukaan anturalaatta oli lohjennut useaksi erilliseksi kappaleeksi (kuva 4.1.3B) siten, että paalut olivat laatan rikkoutumisen jälkeen kiinni lohjenneissa kappaleissa. Keskiosa, jonka alapuolella ei ollut paaluja ja johon teräsrakenteinen säiliö tukeutui, oli yhtenä kappaleena. Valokuvia rikkoutuneesta anturalaatasta on kuvissa 4.1.3C-E.

Silmämääräisten havaintojen mukaan teräsrakenteista säiliötä kannattavan anturalaatan keskiosa oli leikkautunut säiliön kaatumissuunnan puolelta likimain ympyränmuotoista murtokuviota pitkin kokonaan anturalaatan läpi ja kallistunut voimakkaasti (kuva 4.1.3D). Murtokuvion yläpinta sijaitsi aivan ympyränmuotoisen keskiosan reunassa ja murtopinta eteni vinosti alaspäin, mikä vastaa tyypillistä leikkausmurron murtopinnan kulkua.

Laatan poistamiseksi tehdyn rikkomisen yhteydessä todettiin, että laatan teräkset eivät yleensä olleet katkeilleet sen murtumisen yhteydessä.



Kuva 4.1.3B Rikkoutuneen peruslaatan murtumiskuviot, numeroitu 1-8. Mustat pisteet ovat paalujen yläpäiden suunnitelman mukaisia sijainteja.



Kuva 4.1.3C Yleiskuva murtuneesta peruslaatasta. Kuvasta käy ilmi murtokuvio ja kappaleet, joihin laatta oli lohkeillut (vrt. kuva 4.1.3B)



Kuva 4.1.3D Peruslaatan ympyränmuotoinen keskiosa, joka on leikkautunut ja kallistunut voimakkaasti säiliön kaatumissuuntaan.



Kuva 4.1.3E Peruslaatan leikkautunut ja kallistunut keskiosa.

Peruslaatan kantavuuden mitoitus

Tutkintalautakunnan toimeksiannosta VTT Rakennustekniikka teki tutkimuksen teräs-betonisen peruslaatan rakenteesta suunnittelijan esittämien mitoitus tietojen, rakennekuvioiden ja omien teoreettisten tarkastelujen sekä laboratoriotutkimusten perusteella. Tulokset on esitetty raportissa "SAP-massatornin kaatumiseen liittyvän betonirakenteisen anturalaatan tutkiminen. VTT Rakennustekniikka. Tutkimusselostus Nro RTE30083/96, 22.5.1996". VTT Rakennustekniikka tutki myös laatassa käytetyt teräkset. Tulokset on esitetty raportissa "SAP-massatornin kaatumiseen liittyvän betonirakenteisen anturalaatan betoniterästen kunnan tutkiminen. VTT Rakennustekniikka. Tutkimusselostus Nro RTE30187/96 16.9.1996". Tutkintalautakunta teetti laatan mitoitusta koskevan teoreettisen tarkastelun myös Teknillisen korkeakoulun rakennusmateriaalitekniikan professori Vesa Penttalalla ja tulokset on esitetty lausunnossa "Lausunto UPM-KYMMENE Tervasaaren massasäiliön kaatumiseen johtaneista syistä. 6.2.1998." Tutkintalautakunta on käyttänyt näitä tutkimuksia arvioidessaan laatan rakennesuunnitelmia ja mitoitusta sekä johtopäätösten teossa.

VTT Rakennustekniikan asiantuntijoiden silmämääräisen tarkastelun ja betonin laboratoriotutkimusten tulosten perusteella peruslaatatassa käytetty betoni (K30) täytti sille suunnitelmassa asetetut vaatimukset. Betoniteräkset olivat standardin mukaisia.

VTT:n tarkastelussa anturalaatan kuormituksina (käyttötilassa) käytettiin:

- teräsäiliön oma paino 2,3 MN

- säiliössä olevan SAP massan paino 60 MN (säiliö täynnä, massan tiheys = veden tiheys)
 - anturalaatan oma paino 6,5 MN
- eli yhteensä 68,8 MN (6880 tonnia). Rakennesuunnittelija oli käyttänyt kokonaiskuormana 63 MN. Lisäksi VTT:n tekemässä mitoituksessa otettiin huomioon säiliön tuulenpaineesta (Rakenteiden kuormitusmääräysten mukaisesti) ja otaksutusta kuorman epäkeskisyydestä (0,05 m) johtuva kaatava momentti 12,9 MNm. Epäkeskisyyden vaikutus lopputulokseen, vaikka se otaksuttaisiin suuremmaksikin kuin 0,05 m, oli erittäin pieni, koska sen suhteellinen osuus normaalivoimasta on hyvin pieni (enimmillään vain muutamia prosentteja).

Anturalaatasta on tutkintalautakunnan teettämin laskelman tarkasteltu

- säiliötä kannattavan keskiosan leikkautumista laatan läpi
- laatan lävistyskapasiteettia pystyjen nurkkapaalujen ja vinojen reunapaalujen kohdalla, kun
 - teräsbetoni-laatta otaksutaan jäykäksi (normien mukainen menettely, rakennesuunnittelijan lähtökohta)
 - teräsbetoni-laatta otaksutaan taipuisaksi (teoreettinen tarkastelu, elementtimenetelmä)
- laatan taivutuskantokykyä ja
- laatan vetoraudoitusta.

Anturalaatan keskiosan (halkaisija 8,5 m) leikkautuminen laatan läpi laskettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 kohdan 2.2.2.7 mukaan. Kun betonin ja teräksen laskentalujuuksina käytettiin rakennesuunnittelijan käyttämiä ljujuuksia (peruslaatan betoni K30-2 ja teräslaji A 500 HW), laatan lävistyskapasiteetiksi (laskenta-arvo) saatiin 26,1 MN. Laatan läpi leikkautuvan osan laskentakuorma 79,4 MN oli noin kolminkertainen normien mukaisesti määritettyyn peruslaatan lävistyskapasiteettiin verrattuna (79,4/26,1).

Säiliön kaatumishetkellä (vettä säiliössä noin 5000 m³) laatan läpi leikkautuvan anturalaatan keskiosan ominaiskuorma oli 56,2 MN. Betonin mitatun vetolujuuden (2,24 MN/m²) mukaan laskettaessa laatan ominaislävistyskapasiteetti oli 46,2 MN eli noin 82 % ominaiskuormasta.

Tutkintalautakunnan toimesta suoritettu betoninormien mukainen tarkastelu osoitti, että otaksumalla betoni-laatta jäykäksi laatan lävistyskapasiteetti pystyjen nurkkapaalujen kohdalla oli vajaa 32 % maksimipaalukuormasta. Vиноjen paalujen kohdalla vastaava tarkastelu antoi tulokseksi noin 47 %. Jos tarkastelu tehdään ilman kuormituksen osavarmuuskertoimia, saadaan murtokapasiteetti vauriotilanteessa. Murtotilanteessa pystyjen nurkkapaalujen lävistyskapasiteetti oli alle 58 % ja vinojen paalujen lävistyskapasiteetti alle 84 %.

Jos betoni-laatta otaksutaan taipuisaksi, pystyjen nurkkapaalujen kuormat pienenevät ja vinojen laatan reunapaalujen kuormat kasvavat jäykän laatan tapaukseen verrattuna. Elementtimenetelmällä laskien saadaan vinojen reunapaalujen maksimikuormiksi noin 1,6 x jäykän laatan kuorma ja laatan lävistyskapasiteetiksi vain noin 32 % näiden paa-

lujen suunnittelukuormasta (pysyvän kuorman osavarmuuskerroin 1,2). Vastaavasti pystyjen nurkkapaalujen maksimikuormat ovat vain noin 0,4 x jäykän laatan kuorma ja laatan lävistyskapasiteetti on noin 92 % paalujen suunnittelukuormasta.

Peruslaatan taivutuskantokykyä tarkasteltiin elementtimenetelmällä. Rakennesuunnittelijan mitoittaman anturalaatan suurin laskennallinen taivutuskapasiteetti on vain noin 62% laatalle tulevien kuormitusten aiheuttamasta taivutusmomentista. Laattarakenteen vetoteräksset ovat olleet laatan murtumistilanteessa myötörajalalla.

Anturalaatan vetoraidoituksen tarkastuslaskelmia tehtäessä laatta otaksuttiin vapaasti tuetuksi neliölaataksi, jonka sivu oli 10,5 m (paalurivien välinen etäisyys). Kuorma otaksuttiin tasan jakautuneeksi jänteiden alueelle. Tarpeellisen vetoraidoituksen määräksi saatiin $54,6 \text{ cm}^2/\text{m}$, kun rakennesuunnittelijan mitoittamassa anturalaatassa oli raudoitusta $32,7 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Anturalaatan murtokuvio oli tyypillinen laatan lävistysmurtokuvio. Laatan ominaislävistyskapasiteetti oli 36,2 kN. Muissa yhteyksissä VTT Rakennustekniikan toimesta tehdyissä kokeissa RakMK:n laskentakaavan on todettu antavan noin 20 % varmallalla puolella olevia tuloksia, minkä perusteella todelliseksi lävistyskapasiteetiksi voidaan arvioida 55,4 kN. Säiliön kaatumishetkellä anturalaatan läpi leikkautuvan pyöreän osan ominaiskuorma 56,2 MN (noin 5000 m^3 vettä + säiliön paino + peruslaatan paino) ja laatan todellinen lävistyskapasiteetti 55,4 MN vastasivat hyvin toisiaan.

Tutkintalautakunta toteaa, että kun betonilaatan otaksutaan toimivan jäykkänä laattana, rakennesuunnittelijan mitoittama teräsbetonilaatta oli huomattavasti alimitoitettu. Massasäiliön peruslaatan rakennesuunnitelmat eivät täyttäneet betoninormien mukaista varmuustasoa siinäkään tapauksessa, että laatta olisi käyttäytynyt taipuisana.

Tutkintalautakunta on todennut, että rakennesuunnittelijan mitoituksen mukainen anturalaatan lävistyskapasiteetti oli vain noin kolmasosa normien mukaisella mitoituksella saadusta arvosta. Rakennesuunnittelija ei ollut tarkastellut mitoituksessaan ollenkaan anturalaatan keskiosan lävistyskapasiteettia säiliön varren reunan kohdalla eikä myöskään laatan lävistyskapasiteettia paalujen kohdilla. Tutkintalautakunnan tekemä tarkastelu antoi tulokseksi, että jäykäksi otaksutun betonilaatan leikkauskapasiteetti nurkkapaalujen kohdalla oli vain noin 32 % nurkkapaalulle tulevasta paaluvoimasta. Jos laatan otaksuttiin käyttäytyvän taipuisana, laatan lävistyskapasiteetti vinojen reunapaalujen kohdilla oli vain noin 32 % näiden paalujen suunnittelukuormasta. Laatan läpi leikkautuvan osan laskentakuorma oli 79,4 MN on noin kolminkertainen normien mukaisesti määritettyyn peruslaatan lävistyskapasiteettiin verrattuna.

4.1.4 Perustuksen teon valvonta

TARRA-projektin suunnittelusopimuksissa olleiden kirjausten perusteella vastuu SAP-massasäiliön rakennussuunnitelmista oli määritelty rakennesuunnittelijalle. Samalla tavalla vastuu perustusten rakentamisesta oli ollut kokonaan urakoitsijoilla. TARRA-projektin rakennuttajaorganisaation rakentamislohkon vastuulla oli ollut vain tehtyjen suunnitelmien ja työn toteuttamisen valvonta. Projektin vastuulla oli myös ollut yhtey-

denpito perustuksen rakentajien ja suunnittelijoiden välillä. Mm. paalutuspyötkirjat olisi pitänyt sekä pohjarakennussuunnitelmaa että LPO-87:ää noudattaen lähettää tässä tapauksessa rakennuttajan valvojan toimesta SAP-massasäiliön pohjarakennussuunnittelijalle.

Paalutustyön vastaava mestari oli toteuttanut paalutustyön itsenäisesti ilman muiden suunnittelu- tai rakentamisosapuolten tai henkilöiden jatkuvaa valvontaa ja yhteydenpitoa heihin. Paalutuksen mittaustyönjohtajan kertoman mukaan SAP-massasäiliön paalutustyömaalla ei ollut edellytetty yhteydenpitoa suunnittelijaan. Edellisellä työmaalla (PK 8) yhteydenpito sen kohteen suunnittelijaan oli ollut tapana. Rakennuttajan valvojan kertoman mukaan SAP-massasäiliön perustustyö oli tehty suunnitelmien mukaisesti.

Tutkintalautakunnalle toimitettujen tietojen mukaan peruslaatan betonointia oli valvonut betonirakenneurakoitsijan valvoja 2-3 kertaa päivässä. Raudoitusta ja kohteen rakentamista oli seurattu myös rakennuttajan (pää toteuttajan) taholta tiiviisti. Betonointipyötkirja on toimitettu pää toteuttajalle samoin kuin betonista otettujen koekuutioiden testitulokset. Koko betonointityöstä oli tehty luovutusasiakirja, jonka olivat pää toteuttajan puolelta allekirjoittaneet rakennuspäällikkö ja valvoja.

4.1.5 Yhteenveto

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan SAP-massan valkaisu hankkeen pohjatutkimusten suorittaja ei ole pohjatutkimusten suunnittelu- ja suoritusvaiheessa tiedostanut sitä, että SAP-massasäiliö (6000 m³), joka oli kyllä esitetty mm. pohjatutkimuskartassa, oli erityisesti suuren kuormituksensa takia hyvin vaativa pohjarakennuskohde. Sen jälkeen kun säiliön paikka ja sen suuruus (kuormitusten suuruus) olivat selvinneet SAP-massasäiliön pohjarakennussuunnittelijalle ja säiliö oli päätetty perustaa kallioon saakka ulotetuille lyöntipaaluille, olisi etenkin kallionpinnan tarkistamiseksi ja paalujen kallioon tunkeutumisen luotettavaksi arvioimiseksi tarvittu säiliön kohdalla täydentäviä maa/kallioporauksia. Pohjarakennussuunnittelijan olisi pitänyt havaita lisätutkimusten tarpeellisuus suunnittelun kuluessa ja täydentämistarve olisi pitänyt esittää rakennuttajalle. Paaluttajalla oli paalutustyötä aloittaessaan käytettävissään liian ylimalkaiset tiedot kallionpinnan tasosta, jotta paalujen tunkeutumista kallioon olisi voitu etukäteen arvioida riittävällä tarkkuudella.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan paalutuksen suunnittelija ei ole tiedostanut paalujen lopullisen valinnan yhteydessä sitä, että siirtyminen pieniläpimittaisista, tyyppi hyväksytyistä teräsputkipaaluista suuriin, tyyppi hyväksymättömiin teräsputkipaaluihin edellytti Teräsputkipaalut-ohjeen soveltamista ja paalutusluokan I menettelytapoja paalutuksen suunnittelussa.

Tutkintalautakunta on todennut, että Lyöntipaalutusohjeen LPO-87 kantavuuden arvioinnin käsittelytapa, erityisesti geoteknisen kantavuuden esittäminen paalumateriaali kohtaisesti, on yksinkertaistettu ja helposti väärinkäsitykseen johtava. Muiden kuin tavomaisten teräsbetonipaalujen tai pienten teräsputkipaalujen osalta Lyöntipaalutusohjeen soveltaminen edellyttää käyttäjältä erittäin hyvää perehtyneisyyttä paaluperustusten ja paalutuksen suunnitteluun.

Tutkintalautakunnan tekemien selvitysten mukaan SAP-massasäiliön perustamiseen käytettyjen teräsputkipaalujen geotekninen kantavuus maahan lyötynä oli huomattavasti alle suunnittelijan laskelmissaan käyttämän sallitun kuorman (13,74 MN) ja myös suunnittelussa lasketun suurimman paalukuorman (6,4 MN). Paalun geoteknisen kantokyvyn (murtokuorman ominaisarvon) arvioitiin olleen 3 ... 4 MN. Paalujen kantavuus oli siis ollut vain noin 45-65 % niille suunnitellusta mitoituskantavuudesta.

Tutkintalautakunta pitää puutteena sitä, että SAP-massasäiliön paalutustyömaalla ei paaluttajalla ollut käytettävissä paalujen valmistajalta tai rakennesuunnittelijalta saatavissa olevia erityisohjeita paalutuksen suorittamiseksi. Edellisellä työmaalla (paperikone 8) oli ollut käytettävissä sen kohteen geoteknisen suunnittelijan ja rakennesuunnittelijan antamat paalutusohjeet ja myös paalujen loppulyöntiohjeet. SAP-massasäiliön paalutus oli suoritettu paalutustyön valvojan mukaan samalla tavalla kuin paperikone 8:n työmaalla. Paaluttaja ei ole tiedostanut sitä, ettei PK 8:n työmaalla käytetty paalutuskone eivätkä PK 8:n paalutuksen loppulyöntikriteerit soveltuneet SAP-massasäiliön paalutustyömaalle, koska SAP-työmaalla paalut piti lyödä kalliin.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan peruslaatan rakennesuunnittelija ei ollut ymmärtänyt oikein paalujen varassa olevan betonilaatan murtumismekanismia. Suunnittelija oli käsitellyt tapausta pitkänä tuettuna palkkina ja mitoittanut palkin taiputukselle. Mitoitus olisi pitänyt tehdä laatalle ja mitoituksessa olisi pitänyt tarkastella myös peruslaatan leikkautumista. Suunnittelija oli tehnyt paaluille normien mukaisen paalun pään paikallisen puristuskapasiteettitarkastelun mahdollisesti luullen sen korvaavan koko säiliön alapään läpileikkautumistarkastelun. Sen sijaan rakennesuunnittelija ei ollut tarkastellut mitoituksessaan ollenkaan anturalaatan leikkauskapasiteettia eikä myöskään laatan leikkautumista nurkkapaalun kohdalla.

Tutkintalautakunta on todennut, että rakennesuunnittelijan laatiman mitoituksen mukainen anturalaatan lävistyskapasiteetti oli vain noin kolmasosa verrattuna normien mukaisella mitoituksella saatavaan arvoon. Tutkintalautakunnan teettämä tarkastelu antoi tulokseksi, että betonilaatan leikkauskapasiteetti jäykäksi otaksutun laatan tapauksessa oli nurkkapaalujen kohdalla noin 32 % nurkkapaalulle tulevasta paaluvoimasta. Taipuisaksi otaksutun laatan tapauksessa laatan lävistyskapasiteetti vinojen reunapaalujen kohdilla oli myöskin vain noin 32 % näiden paalujen suunnittelukuormasta. Laatan läpi leikkautuvan pyöreän osan laskentakuorma 79,4 MN oli noin kolminkertainen normien mukaisesti määritettyyn peruslaatan lävistyskapasiteettiin verrattuna.

4.2 Säiliö

Kaatuessaan SAP-massasäiliö rikkoutui pääosin kolmella tavalla:

- Säiliön alapään kartio-osan ja alalieriön levyosat vaurioituivat erityisesti kaatumissuunnan puoleiselta sivulta
- Kartio-osan ja alalieriön liitosalueen tukivanne irtosi osittain. Irtoaminen tapahtui kaatumissuunnan puolelta sekä vanteen ala- että yläreunasta. Kaatumissuuntaan nähden säiliön sivustat jäivät suurelta osaltaan kiinni.
- Säiliön katto irtosi ja säiliö litistyi maata vasten.

Kaatunut säiliö oli rikkoutunut erityisesti alaosastaan. Muodonmuutokset keskittyivät kartion ja alalieriön yhtymäkohdan alueelle. Kaatumissuunnan puolelta tukivanne oli irronnut noin viiden metrin pituudelta sekä kartiosta että lieriöstä. Tukivanteen liitosten murtumat olivat tällä alueella repäisymurtumia, jotka olivat murtumien ulkonäöstä ja poikkileikkauksesta päätellen syntyneet paikallisen taivuttavan kuormituksen alaisina. Rikkoutuneet liitoshitsit olivat paksumpia kuin ne olivat ehjäksi jääneellä alueella noin 4-5 m oikealle kaatumissuunnasta. Murtumien repäisyluonteesta päätellen ne ovat syntyneet levykenttien taipumisen seurauksena vasta säiliön kaatuessa. Kaatumissuunnan vastakkaiselta säiliön sivulta tukivanteen yläreunan liitokset olivat murtuneet leikkautumalla. Murtumat olivat syntyneet vetävän kuorman vaikutuksesta. On ilmeistä että tämä on tapahtunut vasta kaatumisen loppuvaiheessa.

4.2.1 Säiliön mitoitus ja rakentaminen

Suunnittelijan mitoituslaskelmat

SAP-massasäiliön lujuuslaskelmat oli esitetty suunnittelijan laatimassa asiakirjassa "LUJUUSTARKASTELU, UPM Tervasaari TARRAPROJEKTI POS 16026. Piir S1-1321-B. 23.6.95. 15s." ja mitoitettujen rakenteiden oli esitetty myös piirustuksissa: 3963-1A (runko), 3967-1A (kartio), 3965-1 (ylä- ja alalieriö), 3966-1A (pohja), 3964-1B (katto), 3962-1B (kokoonpano), 3673-2 (katon kaide), 4008-1 (kartion vuoraus), 4007-1 (lieriön vuoraus), 3832-3 (virtauksen jakaja), 3669-2 (peruspultit), 3830-3 (tulo- ja pesuyhde). Massasäiliön muoto, mitat ja säiliön seinälevyjen paksuudet kävivät ilmi mm. piirustuksesta 3963-1A (runko), (kuva 1.1A). Kartion ja alalieriön yhtymäkohdassa oleva jäykisterengas mitoitettiin oli esitetty mm. piirustuksessa 3967-1A (kartio) (kuva 4.2.1A). Säiliön seinälevyissä oli käytetty terästä RAEX384, jonka myötöraja on 345 N/mm^2 ja sisäpuoliseen vuoraukseen terästä SS2324, jonka myötöraja on 221 N/mm^2 .

Säiliö oli kiinnitetty alareunaan hitsatun kauluksen välityksellä betoniseen peruslaattaan 24:llä teräsrullilla (teräspultilla), joiden mitat olivat: halkaisija 45 mm ja upotuspituus betonissa 800 mm (kokonaispituus 1250 mm), mutteri M 42, teräs FE52C (piirustus 3669-2).

Tutkimuslaitoksen havaintojen mukaan tällaisen terässäiliön mitoituslaskelmien suorittamista varten ei Suomessa ole yhtenäistä ohjeistoa. Lujuuslaskelmien kuormitukset oli laskettu tarkasti, mutta itse lujuuslaskelmat oli tehty suurpiirteisesti mitoitettajan aiemminkin soveltamaa tapaa käyttäen. Laskelmat perustuivat sallittuihin jännityksiin. Säiliön lommahdustarkastelu oli tehty terässavupiippuja koskevan standardin SFS 4395 laskentakaavaa soveltaen. Jäykisterakenteen nurjahdustarkastelussa oli sovellettu Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita RIL 90.

Säiliön rakentaminen

Säiliön kokoonpano oli esitetty rakennepiirustuksissa, joissa oli esitetty myös vaatimukset hitsisaumoille. Jäykistelevyn hitsisaumaksi seinälevyihin oli esitetty puoli-V railoa sitä tarkoittavalla merkinnällä \ 24.

Säiliön rakentaminen oli aloitettu asentamalla perustusten päälle ensin kuningasrenkas ja sen päälle valmiiksi hitsattu alalieriö. Valmis kartio hitsattiin kiinni alalieriöön. Sen jälkeen koottiin ylälieriön kaksi ylintä levykerrosta ja niiden päälle kartiokatto ja sen päälle tulevat rakenteet. Kartion sisäpuolelle asennettiin nostin- ja työtasot sekä ulkopuolelle työtasot. Tämän jälkeen lopullisen tornin kolmanneksi ylin levykerros asennettiin paikolleen ja hitsattiin kiinni. Tämän jälkeen nostettiin katon ja valmiiden levykerrosten muodostama rakennelma tunkeilla ylöspäin yhden levykerroksen verran ja säiliön alareunaan hitsattiin kiinni seuraava levykerros. Tällä tavalla menettelyä toistaen jatkettiin, kunnes säiliön ylälieriö oli valmis. Samanaikaisesti ulkokuoren rakentamisen kanssa hitsattiin kiinni ylhäältä alaspäin edeten myös haponkestävät teräslevyt säiliön sisäpintaan. Säiliön hitsaustyöt on suoritettu lokakuussa 1995 eikä hitsaustöiden aikana ole ollut mainittavia pakkasia.

4.2.2 Säiliön tutkimukset

Säiliön mitoituksen tarkastelu

Suomessa ei ole julkaistu yksityiskohtaisia säädöksiä tai virallisia ohjeita paineettomien ja vaaratonta ainetta sisältävien säiliöiden tai vastaavien rakenteiden mitoittamisesta tai rakentamisesta. Mitoituksessa käytetään yleensä hyväksi yleisessä kirjallisuudessa olevia mitoitusmenettelyitä. Terässäiliöiden rakenteellisen mitoituksen ohjeita on esitetty mm. julkaisuissa

- Paineettomien terässäiliöiden suunnittelu. Teräsrakenneyhdistys r.y. 1992
- Shell Stability Handbook. Samuelsson L.Å., Eggwertz, S. 1992.
- RIL 90-1996 Teräsrakenteiden suunnitteluohjeet
- SFS 4395. 1989-11-15. Teräsrakenteiset savupiiput. Suunnitteluohjeet.

Tutkintalautakunnan toimeksiannosta VTT Rakennustekniikassa tehtiin tutkimus, joka perustui suunnittelijan esittämiin terässäiliön rakenteiden mitoitustietoihin ja rakennekuviin. Näiden lisäksi tehtiin täydentäviä teoreettisia tarkasteluja. Tulokset on esitetty tutkimusselostuksessa "Massatornin kestävyteen liittyvät selvitykset. VTT Rakennustekniikka. Tutkimusselostus Nro RTE30130/96, 18.6.1996". Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää massatornin lujuustekniseen suunnitteluun liittyvät mahdolliset puutteet. Tarkastelussa rajoituttiin kartion ja alasynterinin väliseen liitosalueeseen. Mitoitustarkasteleissa (käsinelaskennassa) käytettiin ohjeita:

- Paineettomien terässäiliöiden suunnittelu. Teräsrakenneyhdistys r.y. 1992
- Shell Stability Handbook. Samuelsson L.Å., Eggwertz, S. 1992.

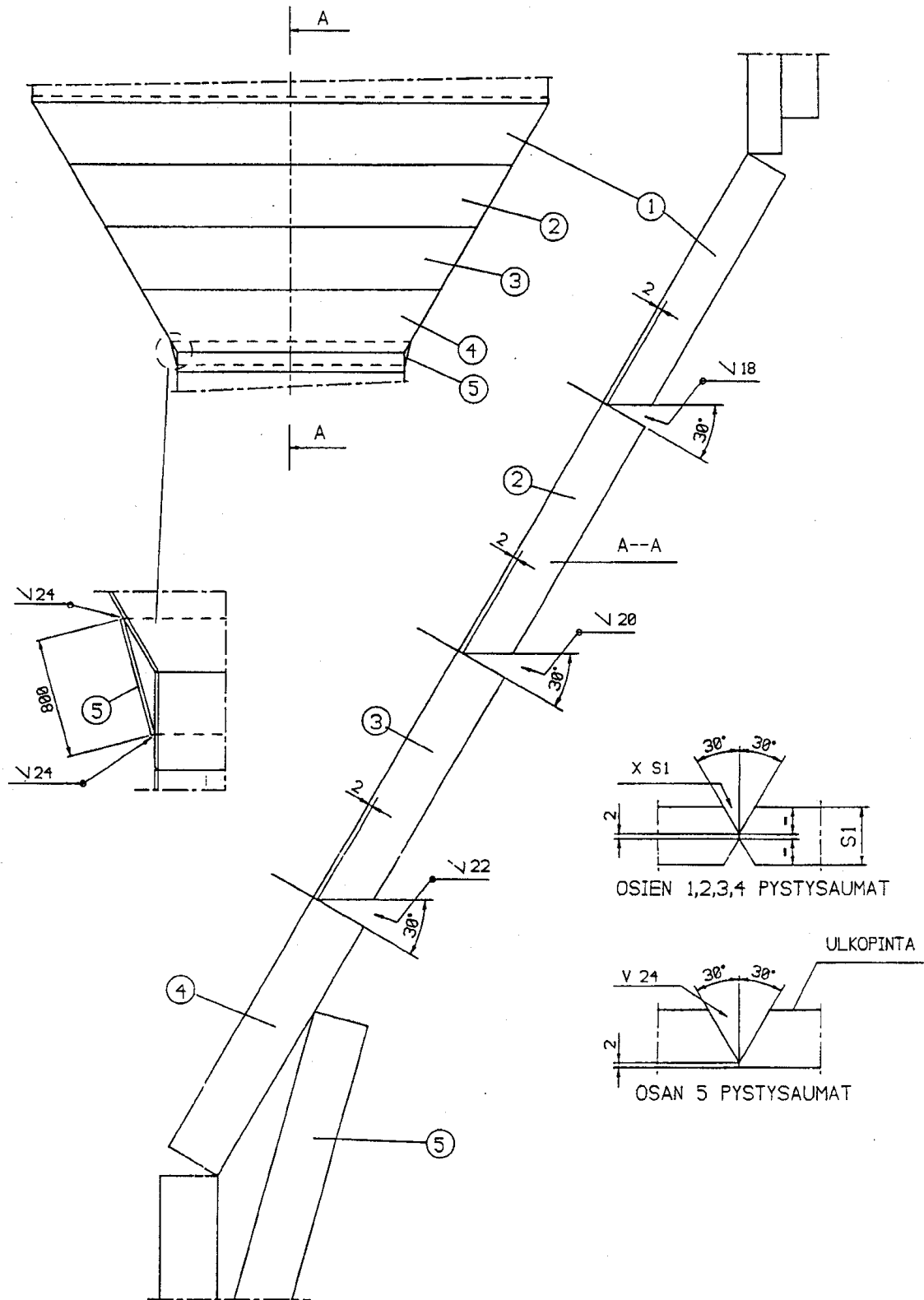
VTT:n laskelmien tuloksena todettiin, että lujuuden suhteen määrävimmäksi osoittautui kartio-osan kuoren lommahduskestävyys kylkiviivan suuntaiselle puristusrasitukselle. Säiliössä käytetyillä materiaalivahvuuksilla lommahduskestävyys oli kuitenkin riittävä.

Kun otetaan huomioon vedenpaineen aiheuttaman kuormituksen lisäksi myös säiliön oma paino ja mitoittava tuulikuorma, mitoitusjännityksen suhde kuormituksen aiheuttamiin jännityksiin oli $F=1,33$. Pelkän vedenpaineen mukaan laskettuna $F=1,51$. Massatornin kallistuminen vaikutti tornin kestävyysniin, että mitoitusjännitys kartion seinässä ylitettiin, kun tornin yläpään siirtymä oli noin 1,5 m (kallistuminen noin 4,5 %).

Elementtimenetelmällä (NISA 386 ohjelmistolla) suoritettujen laskelmien oletuksilla hitsausliitoksilla osoittivat, että kartion ja alalierion yhtymäkohtaan muodostetun jäykisterakenteen (kuva 4.2.1A) tukivanteen (jäykistelevyn) kautta siirtyi valtaosa seinämän suuntaisesta kuormituksesta (noin 70 %) alasynterille. Tukivanne oli täten säiliön primäärinen kantava rakenne tällä alueella. Suurimmat lasketut vertailujännitykset esiintyivät tukivanteen ja kartion sekä tukivanteen ja alasynterin liitoskohtien taivutusjännityspiikeissä. Suurin laskettu hitsin vertailujännityksen keskimääräinen arvo liitoskohdissa oli 192 N/mm^2 , joka oli noin 56 % myötörajasta ja esiintyi säiliön seinän ulkopinnalla. Tukivanteella oli selvästi siirtymiä (muodonmuutoksia) pienentävä vaikutus. Tukivanteen ja siihen liittyvien kartion ja alasynterin osuuden alueella syntyi kuoreen taivutusta, joka puolestaan aiheutti levykenttiin taivutusjännityksiä. Taivutuksen vaikutukset ulottuivat tukivanteen liitoskohdasta kartioon päin noin 1 metrin ja alasynteriin päin noin 0,8 metrin etäisyydelle.

VTT:n tutkimuksessa säiliön jännityksiä tarkasteltiin myös ilman tukivannetta. Tavoitteena oli selvittää, mikä mahdollinen vaikutus on sillä, että tukivanteen hitsisaumat eivät olisi olleet kaikilta osiltaan asianmukaisia ja tukivanne ei tästä syystä toimisi jäykisterakenteen kiinteänä osana. Käsinlaskennan mukaan pelkästään säiliön sisällöstä aiheutuvat tukivanteettoman nurkkarakenteen kehäsuuntaiset puristusjännitykset olivat 408 N/mm^2 , joka oli 1,18-kertainen säiliön materiaalin myötörajaan nähden. FEM-mallilla laskettu kehäsuuntainen jännitys (säiliön oma paino kuormitukseen mukaan lukien) 312 N/mm^2 oli noin 90 % myötörajasta. Tämä jännitys oli niin suuri, että nurkan oma jäykkyys ilman tukivannetta ei ollut riittävä estämään nurkka-alueen nurjahtamista.

Ilman tukivannetta alasynterin ja kartion liittymäkohtaan aiheutui kylkiviivan suuntaiseen taivutusjännitykseen huippu. Sen suuruus oli $\geq 510 \text{ N/mm}^2$, joka oli 1,48-kertainen käytetyn teräksen myötörajaan nähden. Nurkka-alueen sisäpinnalle aiheutui kylkiviivan suuntaisesta taivutuksesta vetoa niin, että suurimmat vertailujännitykset olivat yli 590 N/mm^2 , joka oli 1,71-kertainen käytetyn teräksen myötörajaan nähden. Laskelmat osoittivat, että ilman tukivannetta säiliö ei olisi kestänyt sisällöstä ja omasta painosta aiheutuvia rasituksia.



Kuva 4.2.1A Jäyksterenkaan mitat ja hitsausliitokset (ote piirustuksesta 3967-1A)



Säiliön teräsmateriaali ja tukivanteen hitsausliitokset

VTT Rakennustekniikan tekemässä säiliön jännitysanalyyseissä todettiin, että kartio-osan ja ylälieriön yhtymäkohdan jäykisterakenteella ja erityisesti tukivanteella oli ratkaiseva merkitys säiliön staattisen toiminnan kannalta. Kun lisäksi tukivanteen hitsausaumoissa havaittiin puutteellisuuksia, tutkintalautakunta teetti VTT Valmistustekniikassa erillisen tutkimuksen tukivanteen kiinnityshitseistä. Tutkimus sisälsi teräslevyjen ja tukivanteen hitsisaumojen ja niiden materiaaliominaisuuksien tutkimisen. Hitsisaumoista tehtyjen makrohieiden avulla tarkasteltiin liitosten laatua ja määritettiin hitsisaumojen todelliset mitat. Lisäksi tehtiin murtokokeita mahdollisesti heikoksi arvioitujen tukivanteen kiinnityspienahitsien lujuuden ja muodonmuutoskyvyn selvittämiseksi. Pistokokein selvitettiin myös muiden kuin tukivanteen liitosten ja perusainelevyjen mekaanisten ominaisuuksien vaatimusten mukaisuus. Tutkimuksen tulokset on esitetty tutkimusselostuksessa "UPM Kymmene / Tervasaaren tehtaiden rakenteilla olleen SAP-massasäiliön kaatumiseen liittyvät säiliön teräsrakennetutkimukset. VTT Valmistustekniikka. Tutkimusselostus nro VAL72-7131. 16.6.1997".

Säiliön tukivanteen hitsisaumalle suunnitelmassa esitetyt vaatimukset ja mittauksilla todetut tukivanteen kiinnityshitsien paksuudet sekä arvioita hitsin kriittisistä paksuuksista on esitetty alla:

Vaatus suunnitelmapiirustuksissa	24	mm
Yleinen vaatimustaso	17	mm
Toteutunut paksuuden keskiarvo	15,4	mm (max 19,9 mm ja min 9,6 mm)
Toteutunut paksuus kaatumissuunnalla	15,4	mm
Kriittinen paksuus 1.5 m kallistumalla	10	mm
Kriittinen paksuus suoralle säiliölle	6	mm

Säiliön pystyssä pysymisen kannalta keskeinen tukivanne kartion ja alalieriön liitosalueella oli kiinnitetty pienaluonteisella hitsausliitoksella, jonka koko oli monin paikoin runsaasti alimittainen piirustusmerkintään verrattuna. Myös tätä piirustukseen merkittyä 24 mm:n liitoskokoa pienempi yleisempi käytössä oleva vaatimustaso 17 mm alittui paikallisesti runsaasti. Pienin havaittu paksuus noin 10 mm oli siten noin 40 % yleistä vaatimustasoa pienempi, mutta oli silti vielä lähes kaksinkertainen suorassa seisovan säiliön kannalta kriittiseen liitokseen verrattuna. Kaatumissuunnassa alle jäänyt osa jäykisterivanteen kiinnityshitsistä oli noin 15 mm paksua eli vain hieman yleisesti sovellettua hitsausauman paksuutta pienempi.

Säiliön kiinnitysruuviin teräs todettiin vaatimusten mukaiseksi. Samoin varsinaisen säiliön seinämän levyt ja hitsausliitokset olivat niiden lujuuden ja sitkeyden kannalta standardimääreiden mukaisia ja hyvälaatuisia.

4.2.3 Terästöiden laadunvalvonta ja tarkastus

Säiliön hitsausliitosten valvontatyö oli kuulunut sopimusten mukaan säiliön toimittajalle, jonka olisi pitänyt toimittaa tarkastuspöytäkirjat rakennuttajalle asennustarkastuksen jälkeen. Säiliö kokonaisuudessaan, kuitenkin ilman ulkopuolista eristystä, oli laitetoimitus. Pöytäkirjoja ei kuitenkaan ollut toimitettu, koska säiliö tuhoutui edellisenä päivänä ennen sovittua asennustarkastusta.

Säiliön rakentamisesta vastaava urakoitsijan edustaja oli pyytänyt tarkastuksen suorittanutta yritystä tutkimaan ultraäänellä alalieriön ja kartion välisen vaakasauman 100 %:sti ja alalieriön ja kartion levysaumametreistä (jäykistelevyn saumasta) noin 3 %. Ylälieriön teräskuoren saumoista oli otettu satunnaisesti 16 röntgenkuvausta ja ylälieriön haponkestävistä saumoista 10 kuvausta. Tutkintalautakunnalle annetun tiedon mukaan rakennuttajan suorittaman silmämääräisen tarkastuksen perusteella tukivanteen (jäykistelevyn) saumat oli hitsattu sellaiseksi kuin ne oli suunnitelmapiirustuksissa määrätty.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan säiliön hitsausliitosten laaduntarkastus oli puutteellista ja kohdistui osittain säiliön toiminnan kannalta väärin tarkastuskohteisiin. Rakenteen toiminnan kannalta tärkeäksi osoittautunutta tukivannetta tai sen liitoksia säiliöseinämiin ei tarkastettu muuten kuin silmävaraisesti. Liitoshitsien alimittaisuus oli yleisesti havaittu, mutta asia oli jätetty korjaamatta. Näillä seikoilla ei kuitenkaan ollut merkitystä onnettomuuteen.

Onnettomuushetkellä meneillään olleella vesitäytöllä oli tarkoitus tarkastaa vain säiliön sisemmän kerroksen, ruostumattomasta teräksestä valmistetun sisävuorauksen vesitiiviys. Vesitäyttö perustuu vakiintuneeseen käytäntöön ja kokemukseen säiliöiden rakentamisesta. Varsinaisia erikoisohjeita säiliön täytöstä ei ollut.

4.2.4 Yhteenveto

Tutkintalautakunnan havaintojen mukaan terässäiliön suunnittelijan lujuuslaskelmissa kuormitukset oli laskettu hyvin tarkasti, mutta itse lujuuslaskelmat olivat hyvin suurpiirteiset ja mitoitusmenetelmiä oli pitänyt poimia ja yhdistellä eri mitoitusohjeista.

Tutkintalautakunnan teettämät tarkistuslaskelmat osoittivat terässäiliön kestävyden olleen riittävän. Kartio-osassa mitoitusjännityksen suhde kuormituksesta aiheutuvaan jännitykseen oli noin 1,3. Mitoituksellisesti heikoin alue oli kartion alaosa heti tukivanteen yläpuolella. Tukivanne siirsi noin 70 % yläkartion kuormituksista alakartiolle. Tukivanne oli näin ollen säiliön jäykistettävän alueen primäärinen kantava rakenne. Ilman tukivannetta säiliö ei olisi kestänyt SAP-massasta ja säiliön omasta painosta aiheutuvia rasiuksia.

Suoritettujen tarkastelujen perusteella suunnittelijan mitoittaman kartion alareunan suunnittelussa vaadittava lommahduskestävyys ylitettiin, kun säiliön yläpään sivuttainen siirtymä oli noin 1,5 m.

Suunnitelmissa (rakennepiirustuksissa) esitetyt hitsausliitokset olivat asianmukaiset ja yleiseen käytäntöön verrattuna jopa ylisuuret. Sen sijaan tukivanteen kiinnityksen to-

teutetut hitsausliitokset eivät olleet suunnitelmien mukaisia. Säiliöseinämän primääriseksi rakenneosaksi osoittautunut tukivanne alalieriön ja kartion liitoksen alueella oli liitetty säiliöön selvästi rakennepiirustusmerkintää pienemmillä liitoshitseillä. Liitoshitsien huomattavakaan alimittaisuus ei kuitenkaan laskelmien mukaan vaarantanut suorassa seisovan säiliön rakenteellista toimivuutta eikä alimittaisuus ollut säiliön kaatumisen kannalta kriittinen tekijä.

Tukivanteen kiinnityshitsi oli materiaaliltaan hyvin lujaa, mutta samalla muodonmuutoskyvyltään sellaista, että se olisi edellyttänyt taivuttavan mitoittavan jännityksen laskeamista hitsausliitoksen mitoituksessa. Sitkeyden huomioonottavaa laskentaohjetta liitoksen yksiselitteistä mitoittamista varten ei ole kuitenkaan saatavilla.

Tutkimusten mukaan terässäiliö oli murtunut säiliön alapäästä muodonmuutoksen keskittyessä kartion ja alalieriön yhtymäkohdan alueelle ja erityisesti kartion puolelle. Tukivanteen liitosten murtumat olivat tällä alueella repäisymurtumia, jotka olivat murtumien ulkonäöstä ja poikkileikkauksesta päätellen syntyneet paikallisista muodonmuutoksista aiheutuvasta taivutuksesta. Murtuneet liitoshitsit olivat kaatumissuunnassa paksumpia kuin ne olivat murtuneen alueen viereisellä ehjäksi jääneellä alueella noin 4-5 m oikealle kaatumissuunnasta. Murtumien repäisyluonteesta päätellen ne ovat syntyneet kartion alapään lommahdusilmiön seurauksena vasta säiliön kaatumisvaiheessa.

5 SÄILIÖN TIIVIYSKOKEEN TOTEUTUS

Koska SAP-massasäiliö ei ollut paineastialainsäädännön alainen rakenne, sille oli valmistumisen jälkeen suunniteltu suoritettavaksi vain tiiviyskoe. Kokeessa säiliö täytetään vedellä ja säiliön, nimenomaan sisävuorauksen vesitiiviyttä seurataan ulkovaipan läpi johdetuista tarkastusputkista (juoruputkista) mahdollisesti tulevan vuotoveden avulla. Rakenteiden peittäminen vaaraa ei osattu missään vaiheessa pitää sellaisena, että siihen pitäisi jollain tavalla varautua. Tiiviyskokeesta ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä ja yleisessä käytössä olevaa ohjetta.

Tiiviyskokeen tekemisestä vastasi käytännössä säiliön rakentaja ja sen toteutti säiliön rakentajan edustaja aiemman käytännön mukaisesti ja pitkäaikaiseen kokemukseensa perustuen. Tässä tapauksessa tiiviyskokeesta ei kokeen tekijällä ollut mitään kirjallista menettelytapaohjetta. Säiliön täyttöprosessi tiiviyskokeessa oli työmaapäällikön kertomuksen mukaan seuraava:

Massasäiliö oli saatu lähes valmiiksi viikolla 12 ja säiliön täyttäminen tiiveystarkastusta varten alkoi seuraavan viikon maanantaina, 25.3.1996 klo 13.45. Täyttö tapahtui kahdella 3 tuuman vesiletkulla tehdasalueen palopostista. Täyttymisestä työmaapäällikö oli tehnyt seuraavat havainnot:

- tiistaina 26.3.1996 klo 16.30 mennessä säiliöön oli virrannut vettä noin 2440 m³
- keskiviikkona 27.3.1996 klo 07 mennessä säiliöön oli virrannut vettä noin 4074 m³
- keskiviikkona 27.3.1996 klo 13 mennessä säiliöön oli virrannut vettä noin 4619 m³
- täyttö oli keskeytyksissä keskiviikkona 27.3.1996 klo 13-16 välisen ajan
- täyttö jatkui keskiviikkona 27.3.1996 klo 16 jälkeen aina noin klo 20.50 saakka, jolloin paloposti suljettiin, kun havaittiin säiliön kallistuminen.

Säiliössä oli keskiviikon keskimääräisen täyttönopeuden (90,8 m³/h) perusteella laskien täytön (tiiviyskokeen) keskeytyksen hetkellä vettä noin 5055 m³, joka oli noin 84 % säiliön tilavuudesta. Tällä täyttönopeudella säiliö olisi täytynyt kokonaan torstaina 28.3.1996 klo 7 ja 8 välillä.

Vesivuotoja tiiviyskokeen suorituksen aikana ei missään vaiheessa havaittu.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan säiliön ensi kertaa täyttämisestä aiheutuviin vaaratilanteisiin olisi pitänyt varautua. Tiiviyskokeen yhteydessä olisi pitänyt seurata, ei ainoastaan mahdollisia vesivuotoja, vaan jatkuvasti myös säiliön käyttäytymistä ja mahdollisia liikkeitä. Kun säiliötä täytetään vedellä sen tiiviyden toteutukseksi, olisi samalla mahdollista tehdä säiliön ja sen perustusten koekuormitus eli seurata esim. säiliön perustusten siirtymiä kuormituksen ja ajan funktiona.

6 ONNETTOMUUS JA SEN SYYT

6.1 Säiliön kaatumisen syyt

Kaatumistapahtuman silminnäkijähavainnon perusteella säiliö oli liikkunut kallistumisen alkuvaiheessa vaakasuunnassa, jolloin peruslaatta oli siirtynyt likimain vaakatasonsa säilyttäen. Liikkumista osoittaa mm. se havainto, että pyöreän laatan ja sen alla olevaa peruslaattaa peittävän lattialaatan yhtymäkohdassa oli noin 5 cm rako, joka ei ainakaan kokonaan voinut aiheutua peruslaatan senhetkisestä kallistumisesta. Säiliön kallistuneesta tilasta oli silminnäkijähavaintoja useiden minuuttien pituiselta ajanjaksolta ennen sen kaatumista. Sen sijaan tätä aikaisempia havaintoja säiliön käyttäytymisestä ennen kaatumiseen päättynyttä noin 12 minuutin pituista jaksoa ei ole ollut käytettävissä.

Säiliön kallistumisesta käytettävissä olleiden havaintojen ja tehtyjen tutkimusten perusteella tutkintalautakunta on päätenyt siihen tulokseen, että säiliön kaatuminen alkoi siitä, että sen perustukset pettivät. Säiliö kaatui, kun sen pyöreä peruslaatta, mihin itse teräs-säiliö oli ruuveilla kiinnitetty, leikkautui alemman teräsbetonisen peruslaatan läpi.

Tutkintalautakunta ei ole pystynyt käytettävissä olleiden tietojen perusteella yksikäsitteisesti ja varmasti selvittämään onnettomuuden tapahtumaketjua yksityiskohdittain. Päätelmiä vaikeuttaa mm, että säiliön peruslaatta ja laatan alla oleva paalutus olivat molemmat mitoitettu likimain yhtä heikoiksi. Paalutus oli myös tehty paaluille asetettuun kantavuustavoitteeseen nähden sopimattomalla kalustolla vajaan "tiukkuuteen". Lisäksi säiliön peruslaatta ja sen alla oleva paalutus muodostivat yhtenäisesti toimivan rakenteen, jolloin laatan siirtymät vaikuttivat paalujen kuormituksiin ja siirtymiin ja vastavasti paalujen siirtymät vaikuttivat takaisin laatan jännityksiin. Tutkintalautakunta tarkasteli tarkemmin seuraavia kolmea kaatumiseen johtanutta mahdollista tapahtumaketjua, joista vaihtoehdossa a) kallistumisen lähtökohtana on ollut paalujen periksi antaminen ja vaihtoehdoissa b) ja c) teräsbetonilaatan leikkautuminen. Säiliön kallistuminen on voinut tapahtua kaikkien kolmen vaihtoehdon yhteisvaikutuksesta ja samanaikaisesti.

- a) Kun säiliötä täytettiin vedellä, paalujen kuormitus kasvoi. Maapohja petti jonkin tai joidenkin paalujen kärkien alla. Säiliö perustuksineen siirtyi pääasiassa vaakasuunnassa ja alkoi samanaikaisesti painua ja kallistua. Kallistuman kasvaessa kuormitus betonilaatalle muuttui epätasaisesti jakautuneeksi ja tämän epätasapainotilanteen kasvaessa riittävän suureksi joko säiliön nurkkapaalut leikkautuivat irti laatasta (tapaus b) alla) tai säiliön pyöreä peruslaatta leikkautui sen alla olevan betonilaatan läpi (tapaus c) alla). Laatta murtui ennen säiliön kaatumista. Massasäiliön kallistuminen ennen kaatumista ei silminnäkijähavaintojen mukaan ollut äkillistä. Joidenkin paalujen kantokyvyn ylittymisen jälkeen perustuksen siirtyminen on voinut olla lyhyen aikaa suhteellisen hitaasti tapahtuvaa, kun kuormat siirtyivät paremmin kantaville paaluille. Kuormien siirtyminen paremmin kantaville paaluille ja laatan alla olevan maan kantavuus, vaikka se olikin pieni, sekä rikkoutuneen teräsbetonilaatan katkeamattomat teräkset ovat pidentäneet kallistumisvaiheen kestoa ja hidastaneet kaatumista.

- b) Kun säiliötä täytettiin vedellä, kuormitus säiliön pohjalaatalle kasvoi. Laattaan etenkin nurkkapaalujen kohdilla aiheutunut rasitus kasvoi niin suureksi, että paalut yläpäihin kiinnittyvine laatan osineen leikkautuivat irti muusta peruslaatasta. Säiliön kallistumista ja kaatumista hidastivat maan kantavuus rikkoutuneen laatan alla sekä laatan katkeamattomana säilyneet teräkset. Paalujen geoteknisessä kantavuudessa ilmenneet mahdolliset erot ja ennen kaikkea jotkin paremmin kantaneet paalut ovat myös hidastaneet kallistumista. Tämä tapahtumaketju edellyttää, että paalujen geotekninen kantavuus olisi ollut keskimäärin riittävän suuri suhteessa niille aiheutuneeseen kuormitukseen ja kuormituksen kasvuun säiliötä täytettäessä.
- c) Kun säiliötä täytettiin vedellä, kuormitus säiliön pohjalaatalle kasvoi. Kuormituksen kasvaessa laatan kapasiteettia suuremmaksi, pyöreä peruslaatta, minkä varassa säiliö oli, leikkautui sen alla olevan teräsbetonilaatan läpi. Säiliön kallistumista ja kaatumista hidasti maan kantavuus rikkoutuneen laatan alla sekä laatan katkeamattomana säilyneet teräkset. Myös tämä tapahtumaketju edellyttää, että paalujen geotekninen kantavuus olisi ollut keskimäärin riittävän suuri suhteessa niille aiheutuneeseen kuormitukseen ja sen kasvuun säiliötä täytettäessä.

Kun säiliön kallistuma kasvoi ja säiliö alkoi kaatua, se lommahti kartio-osan ja alemman sylinterimäisen osan alueelta, jonka jälkeen se lysähti kasaan. Säiliön tarkistusmitoituskalkelmat osoittivat, että rakennettu säiliö olisi kestänyt, mikäli se ei olisi kallistunut perustansa mukana. Hitaussaumoissa olleet puutteet eivät tutkintalautakunnan käsityksen mukaan olleet syynä siihen, että säiliö alkoi kallistua.

Betonilaatan leikkautuessa (murtuessa) sen betoniteräkset eivät katkenneet niin, että leikkautunut keskikohta tai paalut ympäröivine laatan osineen olisivat täysin irronneet muusta laatasta. Kaatumissuunnan vastakkaisella puolella syntyi tällöin kiinnitysruuveihin suuri vetojännitys ja ruuvit katkesivat, kun säiliö lommahti ja kaatui.

Ensimmäisenä esitetty vaihtoehto a) on tutkintalautakunnan käsityksen mukaan todennäköisin, koska säiliön tukipaaluiksi tarkoitettujen perustuspaalujen geotekninen kantavuus oli väärin mitoitettu ja mitoitettu niille tulevaan kuormaan nähden liian pieneksi. Paaluja oli tarpeeseen verrattuna aivan liian vähän. Yleisessä käytössä olevien ohjeiden mukaisesti arvioituna paalujen "todellinen" kantavuus oli vain noin 45-65 % niille suunnitellusta mitoituskantavuudesta. Kaikkia paaluja ei ollut myöskään lyöty (upotettu) riittävästi varmasti lujaan kallioon saakka, jolloin ne pääsivät painumaan.

Perustuslaatan leikkautuminen on ollut mahdollinen, koska laatta oli hyvin runsaasti alimitoitettu. Laatan lujuus (lävistyskapasiteetti) oli tarkastelutavasta riippuen vain 35-40 % voimassa olevien betonirakenteiden suunnitteluohjeiden mukaisella oikealla mitoituksella saadusta laskentakestävydestä (laskentakapasiteetista).

Lautakunnan teettämät tarkistuslaskelmat vahvistivat sen, että kaatumishetkellä betonilaattaa rasittanut säiliön täyttöveden aiheuttama kuorma, vaikkei se vielä ollutkaan täysi mitoituskkuorma, oli riittävän suuri aiheuttamaan sekä nurkkapaalujen alueiden leikkautumisen irti muusta laatasta että pyöreään betonilaatan leikkautumisen alla olleeseen betonilaatan läpi. Betonisen peruslaatan tarkistuslaskelmien tulokset vahvistivat onnettomuudessa tapahtunutta leikkautumista. Myös laatan rikkoutuminen erilaisiin kappalei-

siin, laatan halkeamien sijainnit ja suunnat, vahvasti laskelmilla osoitettua säiliön leikkautumista laatan läpi.

Voimassa olevin normien mukaiseen mitoitukseen verrattuna peruslaatan alimitoitus oli niin suuri, että säiliön läpileikkautuminen ja kaatuminen olisi hyvin todennäköisesti tapahtunut viimeistään täydellä säiliökuormalla ilman mitään muita kaatumista edesauttavia tekijöitä. Toisaalta vaikka säiliön betoninen peruslaatta olisi ollut oikein mitoitettu, lukumäärältään liian vähäisten paalujen geoteknisen kantavuuden ylittyminen ja niiden painuminen olisi hyvin todennäköisesti johtanut säiliön kallistumiseen säiliön käyttöönoton jälkeen. Kallistuminen olisi hyvin todennäköisesti johtanut säiliön kaatumiseen.

6.2 Kaatumiseen myötävaikuttaneita tekijöitä

Tässä luvussa esitetyt asiat ovat tutkintalautakunnan käsityksen mukaan myötävaikuttaneet siihen, että onnettomuus käynnistyi ja tapahtui jo tiiviyskoetta suoritettaessa, mutta eivät olleet varsinaisia onnettomuuden syytä. Näiden asioiden parempi hoitaminen olisi saattanut pysäyttää onnettomuuteen johtaneen tapahtumaketjun.

Perustusrakenteiden suunnittelu ja mitoitus

Rakennushankkeen geoteknisen suunnittelun yhteydessä tehty pohjatutkimus on ollut SAP-massasäiliön kohdalla puutteellinen, kun otetaan huomioon säiliön vaativuus pohjarakennuskohteena. Vaativaksi kohteeksi säiliön tekee etenkin sen suuri ja pienelle alalle keskittynyt kuormitus. Puutteet koskevat ennen kaikkea kallionpinnan sijainnin määrittämistä. SAP-massasäiliön pohjarakennussuunnittelija ei ole vähäisen geoteknisen suunnittelukokemuksensa takia mahdollisesti huomannut tätä puutetta eikä myöskään paaluttaja ole työkohdetta paremmin tuntematta reagoinut asiaan, vaikka paalujen tavoitetasoksi oli pohjarakennussuunnitelmassa määrätty kallio.

Betonisen peruslaatan ja teräspalkkipaalujen geoteknisen kantavuuden mitoitusta ja mitoituslaskelmia ei tarkastanut suunnittelijan lisäksi kukaan toinen henkilö. Tässä tapauksessa suunnitelmien ja mitoituksen yleispiirteidenkin asiantuntijatarkastus olisi mitä ilmeisemmin tuonut ilmi rakennesuunnittelijan tekemät mitoitusvirheet, koska ne olivat erittäin suuria.

Perustusten yksityiskohtaiseen geotekniseen suunnitteluun ja paalujen kantavuuden mitoitukseen ei osallistunut sellaista suunnittelijaa, jolla olisi ollut riittävä geotekninen suunnittelukokemus vastaavista tehtävistä. Tämä tilanne johtunee osittain siitä, että hankkeen suunnittelukin oli pilkottu osatehtäviin ja geotekniikkaan erikoistunut suunnittelija (geotekninen suunnittelija) oli alikonsulttina hankkeessa eikä enää kiinteästi mukana rakennusprojektin yksityiskohtaisen suunnittelun ja toteutuksen aikana. Tämä nykyisin yleinen käytäntö johtaa helposti siihen, että geotekniset mitoitus tehtävät saatetaan antaa rakennesuunnittelijan tehtäväksi riippumatta suunnittelutehtävän vaativuudesta tai hänen kokemuksestaan vaativien kohteiden pohjarakennussuunnittelijana.

Paalutustyön suorittajalta käytössä olleesta perustusten työpiirustuksesta puuttivat kaikki tiedot paaluille tulevista kuormista ja paalujen varaan tulevasta rakenteesta. Tästä johtuen paaluttajalla oli huonot mahdollisuudet arvioida, esim. kokemukseensa ja am-

mattitaitoonsa perustuen käytetyn paaluperustuksen kykyä kantaa sille suunnitellut kuormat.

Paalutustyön suoritus

Paaluja ei ollut lyöty riittävän tukevasti lujaan kallioon saakka. Käytetty paalutuskalusto oli paalutustyön vaativuuteen nähden väärä, koska tällä kalustolla ei olisi riittävällä varmuudella pystytty lyömäänkään käytettyjä teräspuutkipaaluja suunniteltuun kantavuuteen kallioon. Käytetyllä paalutuskalustolla olisi kylläkin ollut mahdollista lyödä paalut normaalien lyöntipaalujen kantavuuteen (tiukkuuteen), kuten on tapahtunut PK 8:n paalutustyömaalla. Paalujen tunkeutumista on vaikeuttanut myös paikoitellen paksu, kivinen moreenikerros. Massasäiliön peruslaatan alle lyötyjen paalujen vähäisyyden ja hyvin suuren mitoittavan kuorman takia paaluihin kohdistuvat kuormat olivat epätavallisen suuria.

SAP-massasäiliön paalutuksen rakennesuunnittelijan ja paalutusurakoitsijan välillä ei tapahtunut missään tarvittavassa vaiheessa "hyvän rakennustavan" mukaista ja pohjarakennussuunnitelma-asiakirjoissakin mainittua ja edellytettyä vuoropuhelua ja toteutusasiakirjojen lähettämistä eikä tarkastamista. Rakennesuunnittelijan asiakirjat, jotka paalutusurakoitsijalle toimitettiin, eivät sisältäneet ohjeita paalutuksen suorittamista varten. Toisaalta paaluttajakaan ei kysynyt suunnittelijalta ohjeita. Paaluttajan laatimia paalutuspöytäkirjoja ei toimitettu suunnittelijalle oikeaan aikaan. Yhteydenpitovelvoitteen todettiin olleen rakennuttajalla. Pelkkä yhteydenpito, asiapapereiden jakelu, ei olisi kuitenkaan tässä tapauksessa välttämättä estänyt tapahtunutta onnettomuutta. Vasta asiakirjojen läpikäynnin perusteella asiantuntijan tekemät oikeat toimenpiteet olisivat voineet vaikuttaa siihen, ettei onnettomuus olisi tapahtunut.

Työmaakohtaisten ohjeiden puuttuessa paalutusurakoitsija käytti hyväkseen edelliselle työmaalle (paperikone 8) laadittua ja siellä käyttämäänsä loppulyöntimenettelyä. Tämä menettely oli SAP-massasäiliön paalutuksen yhteydessä väärä.

Projektin johtaminen, toteutus ja valvonta

Rakennuslain mukaan vastuu rakennustyön toteutuksesta on aina toteutettavan rakennushankkeen vastaavalla työjohtajalla ja suunnittelijoilla. Riippumatta vastaavan työjohtajan työnantajasta, rakennuslain edellyttämällä vastaavalla työjohtajalla on kahdella suuntautuvalla roolilla: hankkeen laatuvastuu sekä rakennusvalvonnan nimissä ja kohteen rakennuttajan edustajana. TARRA-projektissa rakennuttaja oli siirtänyt suunnittelun sekä työurakoiden toteutuksen ja lopputuloksen vastuut kokonaisuudessaan ao. työn suorittajille liittämällä sopimusasiakirjoihin tätä koskevan maininnan. Tutkintalautakunnalla ei ole tiedossa, olivatko suorittajaosapuolet täysin tiedostaneet vastuun siirron merkityksen ja laajuuden.

Rakennusurakan yleisten sopimusehtojen 40§:n mukaan rakennuttajan edellytetään huolehtivan siitä, että eri asiantuntijoiden suunnitelmia on keskenään verrattu sekä että ne on tarkastettu ja päivätty ennen niiden toimittamista urakoitsijalle ja edelleen, että ne täyttävät viranomaisten, lakien, asetusten, rakennusjärjestysten ja muiden vastaavien säännösten määräykset. Tässä tapauksessa rakennusprojektin valvonnan läpi pääsi

täysin toisistaan poikkeavat samanlaisten paalujen käyttöön perustuvaa perusrakennetta koskevat, kylläkin eri suunnittelutoimistojen laatimat suunnitelmat, joista toiset olivat oikeita ja toiset virheellisiä. Projektissa liikkuvien suunnitelmien (piirustukset, laskelmat, työselitykset) suuren määrän oikea-aikainen hallinta oli ilmeisesti mahdoton tehtävä valvojaksi nimetyille henkilöille. Lisäksi paalutusurakoitsijalle meni tutkintalautakunnan käsityksen mukaan puutteelliset työasiakirjat.

Tiedonkulku pohjarakenteiden suunnittelijoiden ja töiden toteuttajien välillä ei toiminut siten, kuten se oli suunniteltu toimivaksi mm. pohjarakennussuunnitelmassa. Tiedonkulun mahdollinen vaikeus projektin toteutuksessa sovelletussa osaurakointimenettelyssä oli kylläkin tiedostettu rakennuttajan taholta, koska rakennuttaja oli ottanut tiedonkulun eri toteuttajien välillä huolekseen.

Tiiviyskokeen suoritus

Tiiviyskokeessa noudatettiin säiliön tekijän yleisesti kaikissa rakentamisissaan vastaavissa kohteissa käyttämää menettelyä. Säiliön tiiviyskoea tehtäessä ei osattu ottaa millään tavalla huomioon sitä, että säiliö tai sen perustukset voisivat pettää. Tiiviyskokeen valvonta ei ollut jatkuvaa. Jatkuva paikan päällä toteutettu valvonta olisi saattanut tuoda esille säiliön epätavallista käyttäytymistä jo ennen kuin säiliön kallistumisprosessi alkoi.

6.3 Muita havaittuja puutteita

Tutkintalautakunta on onnettomuuden syitä selvittäessään todennut terässäiliön suunnittelun ja rakentamisen eri vaiheissa puutteita, joita on käsitelty tässä luvussa. Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan tässä esitetyillä seikoilla ei ole ollut vaikutusta onnettomuuden tapahtumiseen.

Terässäiliön mitoitus

Terässäiliön mitoitus oli tehty vain valituilla osiltaan ja likimääräisesti perinteeksi tullutta käytäntöä soveltaen. Säiliön kaikkien rakenneosien ja erityisesti tukivanteen (jäykiste-kauluksen) perimmäistä toiminnallista tärkeyttä ei mitoittajalla ollut tiedossa. SAP-massasäiliön suunnittelussa käytetty säiliön mitoitusmenettely oli yleisessä käytössä ainakin tämän kohteen terässäiliön suunnittelijalla.

Suomessa ei ole yleisessä käytössä olevaa isojen paineettomien säiliöiden yhtenäistä mitoitusmenettelyä eikä mitoitusohjeita.

Terässäiliön rakentaminen

Suunnitelmissa (rakennepiirustuksissa) esitetyt hitsausliitokset olivat asianmukaiset myös tukivanteen toiminnan kannalta, mutta tukivanteen tehdyt hitsisaumat eivät olleet kokoonpanopiirustusten mukaisia. Tehtyjen tutkimusten mukaan säiliöseinämän primääriseksi rakenneosaksi osoittautunut tukivanne alalierion ja kartion liitoksen alueella oli liitetty säiliöön selvästi rakennepiirustusmerkintää pienemmillä liitoshitseillä. Tutkintalautakunnalle kerrotun mukaan työmaalla oli kuitenkin sovittu säiliöurakoitsijan ja projek-



tin pääsuunnittelijan kesken siitä, että tehty mitoiltaan suunnitelmasta poikkeava sauma oli paksuudeltaan riittävä ja hyväksyttävä.

Terässäiliön hitsausliitosten laadunvalvonta oli puutteellista ja osittain väärin kohdistettua. Rakenteellisesti tärkeitä tukivanteen hitsisaumoja tarkastettiin vain ylimalkaisesta silmävaraisesti. Näin menetettiin ilmeisesti osittain siitä syystä, että tukivanteen merkitystä säiliön kuormaa kantavana rakenneosana ei suunnittelijakaan ollut tiedostanut.

7 SUURONNETTOMUUDEN VAIHTOEHTOISET SKENAARIOT

Tutkintalautakunnan toimeksiannosta VTT Valmistustekniikka teki selvityksen tapahtuneen onnettomuuden vaihtoehtoisista onnettomuusskenaarioista. Tulokset on esitetty raportissa "UPM Kymmene Tervasaaren tehdasalueella tapahtuneen säiliöonnettomuuden vaihtoehtoiset onnettomuusskenaariot. VTT Valmistustekniikka. Raportti VAL C 273. 23.9.1996". Selvityksen tavoitteena oli arvioida, millaiset tapahtuneen onnettomuuden seuraukset olisivat voineet henkilövahinkojen ja aineellisten vahinkojen osalta olla, jos

- massasäiliön kaatumisajankohta olisi ollut toinen,
- massasäiliön kaatumissuunta olisi ollut toinen.

Kaatuneen massasäiliön läheisyydessä oli nestemäisen hapen-, vetyperoksidin- ja lipeän varastosäiliöitä sekä käytössä olevia suodossäiliöitä, massatorneja ja puskusäiliö. Selvityksessä arvioitiin, millaisia seurausvaikutuksia näiden kemikaalisäiliöiden vaurioitumisella ja niistä vapautuvilla kemikaaleilla olisi voinut olla.

7.1 Selvityksen lähtökohdat ja rajaukset

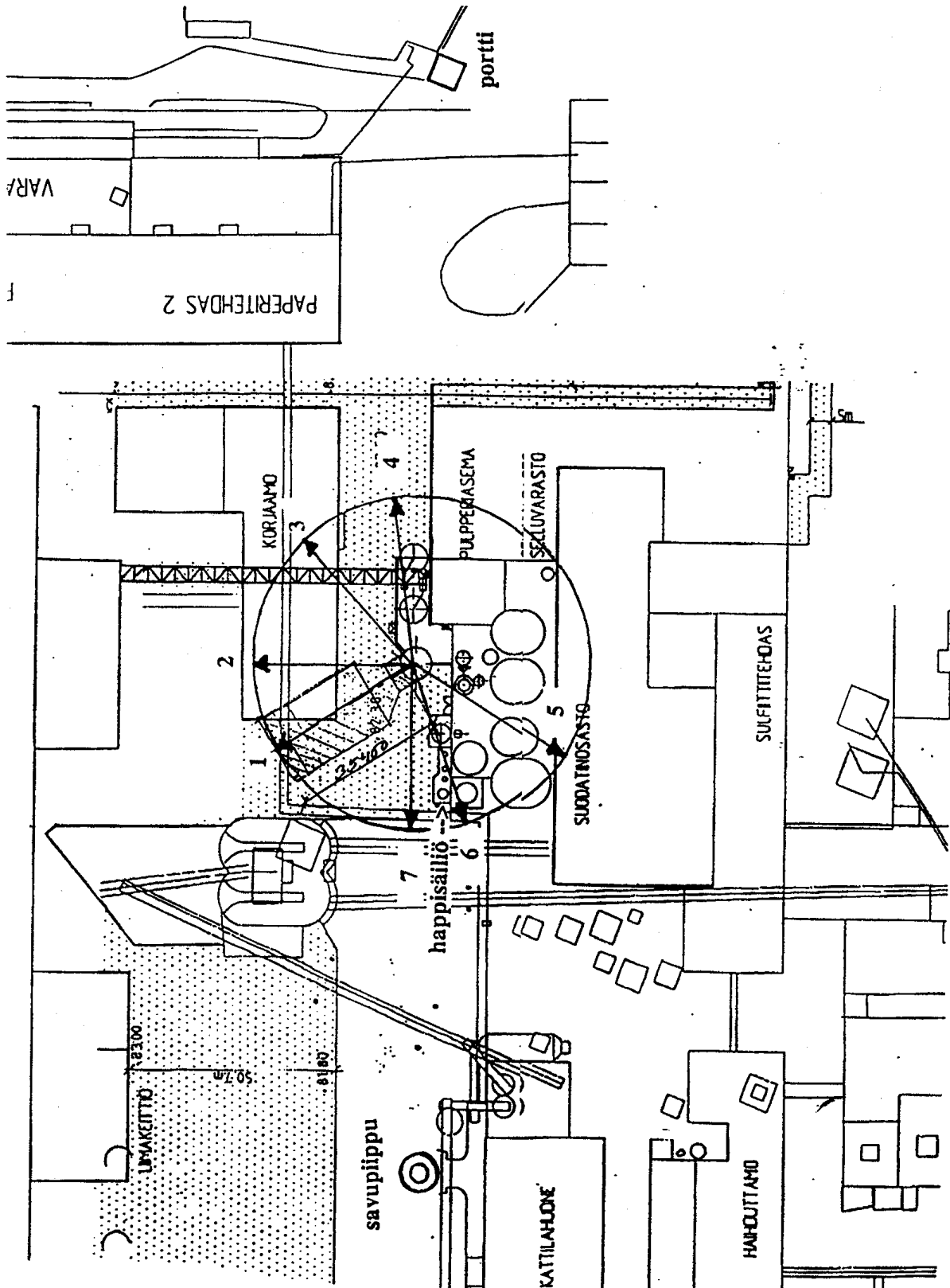
Tarkasteltaviksi ajankohdiksi sovittiin klo 18.00 ja klo 21.00 sekä jokaisen kaatumissuunnan osalta vaara-alueella olevien ihmisten määrän kannalta pahin mahdollinen ajankohta. Kaatumisaika klo 18.00 valittiin sillä perusteella, että tällöin säiliössä olisi ollut yhtä paljon vettä kuin kaatumishetkellä, ellei täyttö olisi ollut päivällä keskeytyksissä kolmea tuntia.

Arvioitaessa tarkastelluilla kaatumisalueilla mahdollisesti olevien henkilöiden lukumäärä oletettiin, että ketään ei olisi varoitettu tai evakuoitu alueelta ennen säiliön kaatumista. Yksityiskohtaista selvitystä ihmisten liikkumisesta ja oleskelusta alueella onnettomuspäivänä ei tehty. Lukumäärät perustuvat tehtaan henkilökunnan esittämiin arvioihin ihmisten määrästä ja sijainnista alueella eri kellonaikoina. Selvityksessä ei ole esitetty arviota siitä, kuinka moni vaara-alueilla oleskellut olisi voinut kuolla tai loukkaantua onnettomuudessa.

Happisäiliön vaurioitumisen seurauksena syntyvän happipilven vaikutusalueella mahdollisesti olevien ihmisten lukumäärää ei ole arvioitu

Rakennuksille, koneille tai laitteille aiheutuvien vahinkojen tai tehdaslaitoksen keskeytysvahinkojen markkamääräistä suuruutta ei ole arvioitu.

Tarkasteltaviksi sovittiin seitsemän kaatumissuuntaa (kuva 7.1A).



Kuva 7.1A Onnettomuusskenaariotarkasteluissa oletetut säiliön vaihteoiset kaatumis-suunnat

7.2 Tulokset ja johtopäätökset

7.2.1 Vahingot eri kaatumissuunnilla

1. Toteutunut kaatumissuunta, vahinkoja on käsitelty luvussa 1.3
2. Kaatuminen korjaamon sähköosaston päälle, jolloin korjaamon pääty olisi murskautunut ja korjaamon katolla olleista parakeista useat olisivat pudonneet alas, vanha putkisilta olisi romahtanut ja vesimassat olisivat murskanneet uuden paperitehtaan telavaraston seinustalla olleet parakit. Vauriot olisivat olleet suuremmat kuin toteutuneelle kaatumissuunnalla.
3. Kaatuminen uuden putkisillan ja korjaamon ruokalan päälle, jolloin ne olisivat murskautuneet. Vesimassat olisivat saattaneet vaurioittaa korjaamon toisessa siivessä olevia toimistotiloja ja varastoja. Vauriot rakennuksissa olisivat olleet tarkastelluista vaihtoehtoista suurimmat.
4. Kaatuminen portin suuntaan korjaamon ja pulpperiaseman väliseen solaan, jolloin vesimassat olisivat vyöryneet paperitehdas 2:n päätyyn sekä portille. Pulpperiosaston massasäiliöt olisivat voineet murskautua. Vesi olisi sisätiloissa aiheuttanut seinien murtumista, mutta tuskin pilareiden sortumista.
5. Kaatuminen suodatinosaston suuntaan, jolloin myös happi- ja vetyperoksidireaktorit olisivat kaatuneet käytössä olevien massatornien sekä suodossäiliöiden päälle aiheuttaen näille sekä muille rakenteille vaurioita. Vaikutukset olisivat voineet ulottua jatkuvasti miehitettyyn valvomoon. Keittämön perälle tunkeutuva vesi olisi voinut vaurioittaa rikkivetyunia, jolloin ilmaan olisi vapautunut rikkidioksidiä. Pienetkin rikkidioksidipitoisuudet aiheuttavat voimakasta yskän ärsytystä ja kyynelvuotoa. Suuret pitoisuudet voivat olla hengenvaarallisia.

Massasäiliöstä ja muista säiliöistä purkautuva vesi ja mukaan tempautuneet rakenteiden kappaleet olisivat voineet vaurioittaa myös keittämön nurkalla olevaa lipeäsäiliötä. Säiliön tilavuus on 190 m³ ja varastoitavan lipeän väkevyys noin 50 %. Väkevä lipeä on syövyttävää, mutta vesimassojen vaikutuksesta säiliöstä vuotava lipeä olisi todennäköisesti laimentunut niin paljon, että se olisi ollut enää ihoa ja silmiä ärsyttävää.

Vetyperoksidisäiliössä varastoitavan vetyperoksidin väkevyys on 50 %. Tämän tarkastelun kannalta sen vaarallisin ominaisuus on kyky sytyttää tuleen orgaanista materiaalia, kuten puuta, paperia ja tekstiilejä. Kun vetyperoksidi laimenee alle 16 %:n väkevyyteen, se ei enää sytytä mitään materiaalia. Vetyperoksidisäiliön välittömässä läheisyydessä ei ole ainakaan suuria määriä mitään palavaa materiaalia. Onnettomuustilanteessa massasäiliöstä purkautuva vesi olisi todennäköisesti laimentanut vetyperoksidin nopeasti vaarattomaan pitoisuuteen.

Happisäiliön rikkoutumisen aiheuttamia vahinkoja on käsitelty erikseen luvussa 7.2.3.

6. Kaatuminen happiaseman suuntaan, jolloin happi- ja vetyperoksidisäiliöt olisivat vaurioituneet ja niiden sisältö olisi vapautunut aiheuttaen vaaraa. Vaikutukset ainakin vesimassojen osalta olisivat voineet ulottua keittämöön, jossa on viisi keitintä ja rikkivetyuuni. Vetyperoksidisäiliön ja lipeäsäiliön rikkoutumisen aiheuttamat vaarat on esitetty edellä vaihtoehdon 5 yhteydessä ja happisäiliön rikkoutumisen aiheuttamia vahinkoja on käsitelty erikseen luvussa 7.2.3
7. Kaatuminen voimalaitoksen suuntaan hakesiilojen ja suodatinosaston väliseen so-
laan, jolloin se olisi saattanut osua happireaktoriin sekä happi- ja hiilidioksidisäiliöiden päälle aiheuttaen näille sekä muille rakenteille vaurioita. Happireaktori olisi saattanut kaatua massatornin kaatumissuunnasta poikkeavasti, koska reaktoreiden välinen kulkusilta ja itse reaktorin tuenta olisivat voineet estää suoran kaatumisen. Kaatuva massasäiliö ja happireaktori olisivat murskanneet alleen happi-, hiilidioksi-
di- ja vetyperoksidisäiliöt sekä säiliöiden kohdalla olevat katto- ja seinärakenteet. Sortuvat rakenteet olisivat todennäköisesti vaurioittaneet myös vieressä olevaa suodossäiliötä.

Vesimassat eivät todennäköisesti olisi vaurioittaneet savupiippua, koska etäisyys sinne on noin 120 m ja savupiipun tyvi on noin 2 metrin korkeuteen betonivalua. Vedellä olisi lisäksi ollut mahdollisuus purkautua piipun oikealta puolelta lähes avoimeen tilaan.

Kaatuva happireaktori olisi murskannut vetyperoksidisäiliön, keittämöltä tulevan putkisillan ja keittämölle menevän hakekuljettimen. Rikkoutuneesta vetyperoksidisäiliöstä virtaava vetyperoksidi olisi saattanut levitä keittämön suuntaan, eikä olisi laimentunut merkittävästi massatornista purkautuvasta vedestä. Keittämön oven edessä oleva palava materiaali olisi saattanut syttyä vetyperoksidin vaikutuksesta. Vetyperoksidisäiliön ja lipeäsäiliön rikkoutumisen aiheuttamat vaarat on esitetty edellä vaihtoehdon 5 yhteydessä ja happisäiliön rikkoutumisen aiheuttamia vahinkoja on käsitelty erikseen luvussa 7.2.3

7.2.2 Henkilömäärät vaara-alueilla

Taulukkoon 7.2.1 on koottu arviot tarkastelluissa kaatumissuunnissa ja ajankohdissa vaara-alueilla olleiden henkilöiden lukumääristä. Tarkasteltujen kaatumissuuntien ja ajankohtien perusteella voidaan todeta, että pahimmissa tapauksissa 90 - 100 ihmistä olisi voinut olla massasäiliön kaatumisesta aiheutuvaksi arvioidulla vaara-alueella. Nämä lukumäärät ovat arvioita siitä, miten ihmiset tehdasalueella eri kellonaikoina ovat keskimääräisessä tilanteessa sijoittuneet. Kaatuvan massasäiliön mahdollisesti aiheuttamien henkilövahinkojen vakavuutta eri tilanteissa ei ole arvioitu.

Taulukko 7.2.1. Arviot tarkastelluissa tilanteissa vaara-alueella mahdollisesti olleiden henkilöiden lukumääristä.

Kaatumis-suunta	Vaara-alueella olleiden henkilöiden lukumäärä		
	Klo 18.00	Klo 21.00	Pahin mahdollinen ajankohta
1	20	7	70 (klo 9-11 tai klo 12-15)
2	25	9	90 (klo 10.55 tai klo 13.55)
3	17	14	100 (klo 9 tai klo 14)
4	10	10	90 (klo 16)
5	5	4	30 (klo 7, klo 11 tai klo 16)
6	2	2	30 (klo 11 tai klo 16)
7	2	1	25 (klo 11 tai klo 14)

7.2.3 Happisäiliön rikkoutumisen seuraukset

Jos SAP-massasäiliö olisi kaatunut suuntiin 5, 6 tai 7 (kuva 7.1.A), se olisi kaatanut tai ainakin pahasti vaurioittanut käytössä olevan happireaktorin sekä suodossäiliön, hiilidioksidi- ja vetyperoksidisäiliön. Onnettomuustutkimuksen yhteydessä nähtiin tarpeelliseksi tutkia suuronnettomuusvaaran näkökulmasta tarkemmin tilannetta, jossa massasäiliö olisi kaatuessaan aiheuttanut happisäiliön vaurioitumisen. Mahdollisten onnettomuustapauksien seurausten arviointi on tehty hapen osalta seuraavissa vaiheissa:

- purkautuvan hapen määrän arviointi ja sen käyttäytyminen
- kaasupilven syntymisen ja leviämisen tarkastelu leviämismallien avulla
- vuotojen vaara-alueiden arviointi ottaen huomioon hapen vaikutukset ja syttymislähteet.

Tarkastelujen tulokset on esitetty raportissa: "UPM Kymmene Tervasaaren tehdasalueella tapahtuneen säiliöonnettomuuden vaihtoehtoiset onnettomuuskenaariot. VTT Valmistustekniikka. Raportti VAL C 273. 23.9.1996" ja sen liitteessä 3.

Alueella olevien kemikaalisäiliöiden mahdollisesta vaurioitumisesta suurinta vahinkoa olisi todennäköisesti aiheuttanut happisäiliön vaurioituminen. Tehtaan happisäiliöön mahtuu 48 m³ eli noin 55 000 kg nestemäistä happea. Nestemäisen hapen paine on 15 bar, joka vastaa nestemäisen hapen höyrönpaineella lämpötilaa -146 °C. Nestemäisen hapen kiehumispiste ilmakehän paineessa on noin -183 °C.

Nestemäisen hapen vuoto ilmaan kohottaa ilman happipitoisuutta (normaalisti ilman happipitoisuus on 21 %), jonka seurauksena syttyvät materiaalit (esim. vaatteet, öljyt ja rasvat) syttyvät helposti ja palavat kiivaasti. Myös monet normaalissa happipitoisuudessa syttymättömät materiaalit voivat syttyä ja palaa happipitoisuuden noustessa. Nestemäisen hapen erittäin alhainen lämpötila aiheuttaa ihmisille paleltumia ja sumumaisena sisään hengitettynä keuhkojen jäätymisvaaran.

Nestemäisen hapen vuodoista ilmaan höyrystyvä kaasu on hyvin kylmää ja ilmaa raskaampaa. Tällainen raskaan kaasun päästö leviää olennaisesti eri tavalla kuin tiheydeltään ilmaa kevyempi kaasu. Esimerkiksi jatkuvan päästölähteen lähellä raskaan kaasun vana leviää valumalla sivusuuntaan painuen samalla hyvin matalaksi. Muodostuneen

raskaan kaasun vanaan sekoittuu koko ajan ympäröivää ilmaa, minkä johdosta kaasun tiheys lähestyy ympäröivän ilman tiheyttä. Kun tiheysero on riittävän pieni, niin painovoiman vaikutus vanan leviämiseen lakkaa ja kaasu alkaa levitä passiivisesti.

Happisäiliön vaurioituessa pahoin sen sisältö olisi voinut purkautua kokonaan jäisen sorran tai veden peittämälle piha-alueelle. Höyrystyminen maan tai veden pinnalta olisi tapahtunut välittömästi. Koska happi on niukkaliukoinen veteen, lähes koko nestemäisen hapen määrä, 55 000 kg, olisi höyrystynyt nopeasti ympäröivään ilmaan.

Taulukossa 7.2.2 on esitetty kahtena kellonaikana (tuulisuhteet erilaiset) happipitoisuudeltaan erilaisen vaikutusalueen ulottuvuus päästölähteestä siinä pahimmassa tapauksessa, että happisäiliö olisi kokonaan rikkoutunut ja happi purkautunut ilmaan hetkessä. Klo 21 tilanteessa ilman happipitoisuus olisi palautunut normaaliksi noin 60 minuutissa ja klo 11 tilanteessa noin 20 minuutissa. Taulukossa on esitetty myös eräitä kriittisen happipitoisuuden nousun vaikutuksia vaatteiden syttymisaikaan ja palamisen nopeuteen.

Taulukko 7.2.2. Happisäiliön rikkoutuessa muodostuneen happipilven leviäminen hetkellisenä päästönä ja ilman kohonneen happipitoisuuden seurausvaikutuksia.

	Hapen kriittinen pitoisuus			
	24%	30%	35%	40%
Vaikutusalueen ulottuvuus klo 21.00	710m	110m	40m	-
Vaikutusalueen ulottuvuus klo 11.00	1220m	250m	130m	70m
Happipitoisuuden nousun vaikutus				
- Vaatteiden syttyminen (yleensä keskimäärin)	20s	10s	7,5s	5s
- Farmarikankaan syttyminen	20s	15s	12s	9s
- Suhteellinen palonopeus	1	1,25	1,75	3

Happisäiliö sijaitsee alueella, jossa se on rakennusten ympäröimänä. Kaasun leviämismallien kehittämisen yhteydessä tehtyjen kokeiden perusteella tiedetään, että rakennuksilla, erilaisilla esteillä ja maanpinnan muodoilla saattaa olla huomattava vaikutus raskaiden kaasujen leviämiseen. Nykyiset käytössä olevat raskaan kaasun leviämismallit eivät pysty ottamaan näitä tekijöitä huomioon.

Tuulen vaikutus leviävään kaasupilveen voi olla hyvinkin oikukasta. Rakennusten välisissä tiloissa pilvi saattaa mennä myös tuulen suunnasta poikkeavaan suuntaan. Lisäksi raskas kaasupilvi saattaa levitä painovoiman vaikutuksesta myös sivusuuntiin rakennusten muodostamissa risteyskohdissa.

Rakennusten ja esteiden väliin ollessa melko suuria raskas kaasupilvi pääsee etenevänsä lähes esteettä ja kaasupilvi saa lisää laimennuspintaa rakennusten seinästä. Tällöin rakennuksilla on pilveä laimentava vaikutus. Jos rakennukset muodostavat kaapeita solia, niin rakennusten seinäpinnan ja rakentamattoman pihan muodostama alue saattaa jäädä merkittävästi pienemmäksi kuin pilven peittämä alue sen levitessä vapaasti. Tällöin pilven pitoisuus pysyy pidemmän aikaa korkeana ja mallien antamat tu-

lokset vapaasti leviämään lähtevän kaasupilven pitoisuusarvioista ovat pilven etenemissuunnassa liian alhaisia.

Säiliöstä purkautuva ja välittömästi höyrystyvä happi olisi aiheuttanut kaikissa tarkasteluissa tilanteissa vähintään noin 100 m etäisyydelle päästölähteestä ilman happipitoisuuden nousun sellaiselle tasolle, että esim. vaatteiden ja öljyisten ja rasvaisten pintojen syttymisherkkyys olisi kohonnut. Pahimmassa tapauksessa eli tilanteessa, jossa happisäiliö olisi repeytynyt ja tyhjentynyt nopeasti, olisi ilman happipitoisuus noussut ja lisännyt syttymisherkkyyttä useiden satojen metrien etäisyydellä päästölähteestä. Happipitoisuuden palautuminen normaalille tasolle olisi kestänyt muutamia kymmeniä minuutteja.

Onnettomuusalue on korkeiden rakennusten ympäröimä. Noin 150 m:n säteellä noin puolet pinta-alasta on rakennusten peittämää, joten raskaan kaasun leviäminen ja laimeneminen olisi ollut selvästi rajoittunutta. Muodostuneet raskaat kaasupilvet eivät olisi-kaan laimenneet niin hyvin kuin vapaasti levitessään ja eri pitoisuuksien ulottuvuudet olisivat leviämistarkastelujen antamia tuloksia (taulukko 7.2.2) suurempia. Vallinnut tuuli olisi saattanut kuljettaa happipilveä vähitellen tehtaan pääportin ja kaupungin keskustan suuntaan.

Kaasupilvessä vaatteiden ja ajoneuvojen syttymisriski olisi ollut selvästi suurempi kuin rakenteiden syttymisriski. Useiden kymmenien metrien päässä onnettomuuspaikasta olisi happipitoisuus voinut olla pitkään niin korkea, että vaatteiden ja käynnissä olevien polttomoottoreiden syttyminen olisi ollut hyvin todennäköistä ja kauempanakin mahdollista. Näiden palojen seuraukset olisivat voineet olla hyvin vakavia, koska sammutustyö olisi korkean happipitoisuuden johdosta ollut äärimmäisen hankalaa. Lisäksi myös paikalle tulleet paloautot olisivat voineet palaa.

Koska onnettomuus olisi aiheuttanut todennäköisesti laajan sähkökatkoksen, oikosulkuun menneet laitteet ja paljaat johtimet olisivat olleet kuumia ja kipinöiviä vain lyhyen aikaa välittömästi onnettomuuden tapahduttua. Kuumentuneiden laitteiden syttymistä olisi tapahtunut todennäköisesti vain pahimmalla vaurioalueella.

7.2.4 SAP-massa

Onnettomuuden sattuessa massasäiliössä oli vettä. Valmistuttuaan säiliö olisi toiminut paperin valmistukseen käytettävän massan varastosäiliönä. Varastoitavan massan sakeus eli kuiva-ainepitoisuus voi olla 10 %. Käytännössä näin sakeaa massaa voi verrata esim. jäykähköön kaurapuuroon.

Jos säiliö olisi kaatuessaan ollut täynnä massaa, olisivat seuraukset olleet toisenlaisia kuin vesisäiliön kaatuessa. Kaatuva säiliö olisi aiheuttanut samanlaisia vaurioita kuin vettä sisältävä säiliö, mutta säiliöstä purkautuvan massan aiheuttamat seuraukset olisivat poikenneet veden aiheuttamista. Koska massa on hyvin sakeaa, nopeasti etenevän tulva-aallon kaltaista vyöryä kymmenien metrien päähän ei olisi esiintynyt.

Todennäköisesti osa massasta olisi jäänyt säiliöön ja ulos purkautuva massa olisi levinnyt paksuksi kerrokseksi kaatumispaikan välittömään läheisyyteen. Jos oletetaan, että

kolmasosa massasta olisi jäänyt säiliöön ja loppu olisi levinnyt kaatumispaikalle, olisi esimerkiksi toteutuneessa kaatumissuunnassa uuden paperikonerakennuksen, korjaamon ja rakennusosaston väliselle alueelle kertynyt noin kaksi metriä korkea kerros massaa.

Jos massaa täynnä ollut säiliö olisi kaatunut korjaamorakennukseen (suunta 3) tai suodatinosastolle (suunta 5), säiliöstä purkautuva massa olisi aiheuttanut rakennuksille ja rakenteille samantyyppisiä vaurioita kuin mitä vesikin olisi aiheuttanut. Massa ei kuitenkaan olisi virrannut rakennuksesta pois yhtä suurella voimalla kuin vesi, vaan sitä olisi jäänyt rakennuksen sisälle useiden metrien kerrokseksi. Ulos purkautuva massa ja rakennusjätteet olisivat muodostaneet tiukkaan pakkautuneen röykkiön. Onnettomuuspäivän jälkeisenä yönä lämpötila oli -16 °C. Ainakin osa massasta olisi ehtinyt jäätyä. Näissä oloissa pelastus- ja raivaustoimet sekä rakennuksen sisällä että ulkona raunioissa olisivat olleet äärimmäisen hitaita ja hankalia, sillä mm. massan pois siirtoon oli vaadittu erityinen tarkoitukseen soveltuva imu- tms. kalusto.

8 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Suomalaisen rakentamisen turvallisuustaso selvitettävä

Tutkintalautakunnan mielestä asianomaisten ministeriöiden tulisi käynnistää laaja selvitys, jolla kartoitetaan suomalaisen rakentamisen todellinen turvallisuuskulttuuri sekä laatia ja käynnistää ohjelma, jolla vallitsevaa kulttuuria (asenteita ja arvoja, toimintatapoja ja toiminnan pelisääntöjä) voidaan ryhtyä kohentamaan rakenteiden ja rakentamisen turvallisuuden varmistamiseksi ja parantamiseksi.

Suunnittelukohteiden vaativuusluokitus luotava

Rakennusalan suunnittelukohteiden vaativuuden määrittämiseksi tulisi laatia menettelytavat. Myös suunnitelmien oikeellisuuden varmistamiseksi tulisi laatia menettelytavat. Osana näitä menettelytapoja olisi luotava menettelytavat suunnittelijoiden pätevyyden toteutamiselle.

Urakoiden uusien toteutusmuotojen seuraukset selvitettävä

Rakennushankkeiden uusista toteutusmuodoista ja hankkeiden tiukasta kilpailuttamisesta saattaa aiheutua mm. epäselvyyksiä hankkeen toteutuksen vastuusuhteissa. Näistä aiheutuvat ongelmat ja epäkohdat tulisi kartoittaa ja ryhtyä epäkohtia korjaaviin toimenpiteisiin. Verrattain yleinen on sellainen käsitys, että vastuu siirtyy toiselle osapuolelle pelkästään sillä, että sopimukseen kirjataan maininta vastuun siirtämisestä. Tämä saattaa johtaa siihen, että käytännössä kukaan ei tiedosta kantavansa todellista vastuuta. Vastuun siirtämisen konkreettisia muotoja voivat olla tehtävien, toimintavaltuuksien tai päätäntävällän siirto.

Rakentamisen valvontamenettelyitä kehitettävä

Rakennusvalvonnan järjestämisen menettelytapoja tulisi kehittää. Erityisesti rakennuttajavalvonnan järjestämisestä tulisi olla ohjeet ja menettelytavat. Omavalvontasuunnitelman sisältö ja sen järjestäminen (mm. valvontaan osallistuvien henkilöiden lukumäärä, työnjako, mahdollisuudet toimia ja vastuut henkilöiden kesken) pitäisi määritellä. Valvontamenettelyiden kehittämisessä tulee ottaa huomioon käytössä oleva rakennusurakoiden toteutustavan muutos (aliurakointi, osaurakointi, urakoiden jakaminen, toteutuksen pirstaloiminen, toteutuksen ketjuuntuminen) ja sen mukanaan tuomat muutostarpeet rakennushankkeen valvonnalle.

Rakennushankkeen työturvallisuusasiakirjaa kehitettävä

VNp 629/94 mukaisen työturvallisuusasiakirjan sisältö tulisi määritellä asiakirjasta saatujen kokemusten perusteella. Asiakirjassa eri osapuolten velvollisuudet tulisi selvästi määritellä. Asiakirjan laadinnassa ja sisällössä olisi voitava ottaa huomioon nykyiset urakoiden toteutustavat ja mm. hankkeiden kokoerot.

Pohjarakennusohjeita uusittava

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa "B3 Pohjarakennus" tulisi uusida. Tällöin sen tulisi olla nykyistä yksityiskohtaisempi. Toinen vaihtoehto olisi pitää määräyksen sisältö nykyisellään, mutta antaa sitä täydentäville erikseen määritetyille erillisohejille määräyksen sitovuus ja velvoittavuus.

Suomessa käytössä olevia paalutuksen suunnittelun ja työn toteutuksen ohjeita olisi selkiytettävä teräsputkipaalujen osalta niin, että eri ohjeissa ei ole asiallisia tai kielellisiä ristiriitaisuuksia ja että termistö on selkeä.

Tarkastus- ja valvonta-asiakirjojen merkitystä nostettava

Rakennussuunnitelmissa esitetyt ja muut rakennustyömaalla tehtävät tarkastukset ja valvonta pitäisi saada niin toimivaksi, että niissä päätettyjen toimenpiteiden oikea-aikainen toteutus varmistetaan ja tieto toimenpiteistä saavuttaa niistä vastuussa olevat tahot. Erikseen määriteltävät rakentamisen valvontaan ja rakenteiden turvalliseen toimintaan liittyvät työmaa-asiakirjat (esim. tarkastuspöytäkirjat) pitäisi määrittellä hyväksyjää velvoittaviksi asiakirjoiksi.

Säiliörakenteiden suunnittelu- ja mitoitusohjeet laadittava

Paineettomille suurille säiliörakenteille tulisi laatia mitoitus- ja rakennusohjeet. Ohjeissa tulisi käsitellä myös säiliön perustuksia ja muita pohjarakenteita. Suurille säiliöille olisi myös luotava suunnittelua ja rakentamista koskevat valvonta- ja tarkastusmenettelyt. Suuret säiliörakenteet olisi määriteltävä rakenteiden vaativuuden tai säiliöihin liittyvien rakennusaikaisten tai käytönaikaisten riskien takia erityisvalvonnan piiriin kuuluviksi rakenteiksi. Säiliön tiiviyn testaus olisi laajennettava sekä itse säiliön että sen perustusten ja pohjarakenteiden koekuormittamiseksi. Koekuormittamiselle olisi laadittava ohjeet, jotka sisältävät myös koekuormitusvaiheen turvallisuuden varmistamisen.

Vaaran arvioinnille ja riskitarkastelulle luotava menettelytavat

Säiliörakenteiden suuruudesta ja sijainnista riippuen olisi tarvittaessa vaadittava suunnittelun yhteydessä tehtäväksi vaaran arviointi tai riskitarkastelu säiliön rakentamisen ja säiliön myöhemmän käytön aikaisen mahdollisen vaurioitumisen varalta. Työturvallisuudenkin varmistaminen vaatii vaaran arviointia tai vaurioriskin ottamista huomioon. Sellaiset tapaukset tai kriteerit sellaisille tapauksille, jolloin säiliöiltä vaaditaan vaaran arviointi tai riskitarkastelu, olisi määriteltävä. Itse riskin arvioinnista ja sitä seuraavasta turvallisuussuunnittelusta tulisi laatia menettelyohjeet ja käytännössä tarvittavat työkalut.



TUTKINTASELOSTUSTA TÄYDENTÄVÄT ERILLISET TUTKIMUSRAPORTIT

Nämä tutkimusraportit ovat tutkintalautakunnan tilaamien tutkimusten raportteja.

SAP-massatornin kaatumiseen liittyvän betonirakenteisen anturalaatan tutkiminen. VTT Rakennustekniikka. Tutkimusselostus Nro RTE 30083/96, 22.5.1996.

1. SAP-massatornin kaatumiseen liittyvän betonirakenteisen anturalaatan betoniterästen kunnon tutkiminen. VTT Rakennustekniikka. Tutkimusselostus Nro RTE 30187/96, 16.9.1996
2. Massatornin kestävyysliittävät selvitykset. VTT Rakennustekniikka. Tutkimusselostus Nro RTE 30130/96, 18.6.1996.
3. SAP-Massatornin kaatumiseen liittyvä betonisen anturalaatan perustusten tutkiminen. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tutkimusselostus Nro 312/98-YKI52, 2.2.1998
4. UPM Kymmene 1 Tervasaaren tehtaiden rakenteilla olleen SAP-massasäiliön kaatumiseen liittyvät säiliön teräsrakennetutkimukset. Raportti VAL72-7131 16.6.1997
5. UPM Kymmenen Tervasaaren tehdasalueella tapahtuneen säiliöonnettomuuden vaihtoehtoiset onnettomuusskenaariot. VTT Valmistustekniikka. Raportti VAL C 273. 23.9.1996
6. Lausunto UPM-KYMMENE Tervasaaren massasäiliön kaatumiseen johtaneista syistä. Vesa Penttala & Paavo Hassinen. 6.2.1998

**LIITE 1. TUTKINTALAUTAKUNNAN SELOSTUSTA LAATIESSAAN KÄYTTÄMÄT SAP-
MASSASÄILIÖTÄ KOSKEVAT SUUNNITTELU- JA RAKENTAMISASIAKIRJAT SEKÄ MUUT
ONNETTOMUUDEN SELVITYKSEEN LIITTYVÄT ASIAKIRJAT**

	Laatija	Sisältö
1	Yhtyneet Paperitehtaat Oy	Rakentamisen projektisuunnitelma 25.1.1995 (yleisosa). Rakennuttamisperiaatteet. Työmaan työturvallisuusohjeet (vanha ja 17.10.1995), Urakkaohjelma (Urakkakohde Paalutus), Urakkaselvitys (Paalutustyöt). Yhtyneet Paperitehtaat Oy Valkeakoski / Tervasaari. TARRA-projekti.
2	UPM Kymmene Oy	Rakennuttamisperiaatteet UPM Kymmene Oy:n tehdasprojekteissa (esim. Jämsänkoski, TARRA, Rauma 400, Metsä-Rauma) UPM Kymmene Oy, Tervasaari, muistio 11.7.1996.
3	Insinööritoimisto Geotesti Oy	Pohjarakennussuunnitelma 940263 liitteinen. Yhtyneet Paperitehtaat Oy, TARRA-projekti, SAP-massan valkaisu. Tervasaari Valkeakoski. 21.6.1995
4	Insinööritoimisto A-Insinöörit Oy	Peruspiirustus Si-1219-/a, 21-210 Muutostunnus 2 (TRRA-projekti, SAP-massan valkaisu, kohde 21. SAP-massatorni.
5	Insinööritoimisto A-Insinöörit Oy	UPM Tervasaari. TARRA-projekti. Massasäiliö 6000 m ³ , perustuslaskelmat. 15.06.1995
6	(YIT)	Teräsputkipaalupöytäkirjat, betonointipöytäkirjat: Paalu n:o 1...12
7	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni. Lujuustarkastelu, UPM Tervasaari TARRA-projekti. POS 16026. Piir S1-1321-B.23.6.95,
8	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, kokoonpano; Piir 3962-1 B
9	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, runko; Piir 3963-1 A
10	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, katto; Piir 3964-1 B
11	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, ylä- ja alalieriö; Piir 3965-1
12	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, pohja; Piir 3966-1
13	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, kartio; Piir 3967-1 A
14	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, peruspultit; Piir 3669-2
15	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, katon kaide; Piir 3973-2
16	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, tulo- ja pesuyhde; Piir 3830-3
17	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, virtauksen jakaja; Piir 3832-3
18	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, lieriöiden vuoraus; Piir 4007-1
19	YIT-Teollisuus	SAP-massatorni, kartion vuoraus; Piir 4008-1
20	CTS Engineering Oy	SAP-massatorni, päämittaripiirustus Si-356-A / c (osakopiona)
21	Lempäälän NDT Oy	Ultraäänitestauspöytäkirja: Lieriön ja kartion sauma, kartion sauma
22	Lempäälän NDT Oy	Röntgenkuvauspöytäkirja: pos. 816 026

	Laatija	Sisältö
23	Aaro Korhonen Oy	Teräsputkipaalut työselitys. 122-1000-TARRA 15. Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Valkeakoski, Tervasaari, TARRA-projekti PK8.1995-02-21.
24	Geotek Oy	TARRA-projekti PK 8. Perustamistapa. Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Tervasaari. 1995-05-12
25	Tampereen teknillinen korkeakoulu	Raportti paalujen iskuaaltomittauksista (PK8): paalut 7078,7087 21.5.1995
26	Tampereen teknillinen korkeakoulu	Raportti paalujen iskuaaltomittauksista (PK8): paalut 7061, 7062, 7064 ja 7065. 21.5.1995
27	Geotek Oy	Kirje 18.5.1995 työselityksen täsmentämiseksi (PK8)
28	Geotek Oy	Teräsputkipaalut, halkaisija 508mm, loppulyöntiohje (PK8). G 6299. 23.5.1995
29	Ralf Lindberg	UPM Kymmene, massasäiliön vaurioitumiseen liittyvät tekijät. Lausunto A-Insinöörit Oy:lle 21.8.1996 ja Pyydetty selvitys lausunnosta 21.8.1996. Selvitys tutkintalautakunnalle 8.12.1996
30	Insinööritoimisto A-Insinöörit Oy	UPM Tervasaaren SAP-massasäiliön sortuman tutkintalautakunnalle. Kirje 22.8.1996
31	Rikhardur Kristjánsson	Memo from Meeting 8.7.1996, Kirje A-Insinöörit Oy:lle
32	Mikael W. Breastrup	Pulp tank foundation failure. Assessment of punching shear capacity according to plastic analysis. 1997-02-19
33	Vesa Penttala	Valkeakosken massasäiliön betonilaatan leikkautuminen. Muistio 30.3.1997
34	Vesa Penttala ja Paavo Hassinen	Lausunto UPM KYMMENE Tervasaaren massasäiliön kaatumiseen johtaneista syistä. 6.2.1998
35	CTS Engineering Oy	"Maitotonkka" mallisten sakeamassatornien mitoitus ja valmistus Suomessa. Kokous 9.9.1996, kokousmuistio 10.9.1996. CTS Engineering Oy.
36	Hämeen työsuojelupiiri	Työsuojelutarkastus 5.11.1996. Pöytäkirja N:ro 347/96
37	Valkeakosken kihlakunnan poliisi	Valkeakosken kihlakunnan poliisin laatimat SAP-massasäiliöönnettomuuden esitutkintapöytäkirjat, 3889/R/206/96