



Tutkintaselostus

Y2012-02

Vesitornin sortuminen Jyväskylässä 3.11.2012

Turvallisuustutkimuksen tarkoituksena on yleisen turvallisuuden lisääminen, onnettomuuksien ja vaaratilanteiden ehkäiseminen sekä onnettomuuksista aiheutuvien vahinkojen torjuminen. Turvallisuustutkimuksessa ei käsitellä onnettomuudesta mahdollisesti johtuvaa vastuuta tai vahingonkorvausvelvollisuutta. Tutkintaselostuksen käyttämistä muuhun tarkoitukseen kuin turvallisuuden parantamiseen on vältettävä.

**Onnettomuustutkintakeskus
Olycksutredningscentralen
Safety Investigation Authority, Finland**

Osoite / Address: Ratapihantie 9
00520 HELSINKI

Adress: Bangårdsvägen 9
00520 HELSINGFORS

Puhelin / Telefon: 02951 6001
Telephone: +358 2951 6001

Fax: 09 876 4375
Fax: +358 9 876 4375

Sähköposti / E-post / Email: turvallisuustutkinta@om.fi
sia@om.fi

Internet: www.turvallisuustutkinta.fi
www.sia.fi

Tutkintaselostus 13/2013
ISBN 978-951-836-405-7 (pdf)
ISSN 2341-5991

Helsinki 2013

TIIVISTELMÄ

Jyväskylän Kangasvuoren vesitorni sortui 3.11.2012 kello 6.07, jolloin vesilaitoksen valvomossa huomattiin tietoliikennekatkos ja paineenlasku. Paikalle lähetettiin päivystäjä, joka totesi vesitornin sortuneen ja betonielementtien levinneen laajalle alueelle maastoon. Vesitorni oli lähes täynnä, ja noin 2 000 m³ vettä päätyi maastoon.

Pelastuslaitos sai hälytyksen vähän yli 2 tunnin kuluttua sortumasta. Sen ja poliisin tehtävänä oli lähinnä alueen eristäminen ja sen varmistaminen, ettei ketään ollut jäänyt sortuman alle. Paikalla oli ulkoilureittejä, mutta tiedossa ei ole, että paikalla olisi ollut sortuman tapahtuessa ketään.

Vesitorni valmistui vuonna 1976. Niihin aikoihin markkinoille tuotiin elementtirakenteinen vesitorni, joka oli kunnille kustannustehokas ja helppo kokonaistoimitus. Torneissa käytettiin silloista tunnetuksi tullutta Suomessa uudehkoa jännemenetelmää, jonka pitkäaikaiskestävyydestä ei ollut tietoa. Menetelmässä käytettiin lujista teräksistä koostuvia suuria jälkijännitettyjä jännepunoksia.

Vesitorni sortui, koska sen säiliöosan alareunassa ollut suuri rengasmainen palkki jännepunoksiin katkesi. Jänneteräksöt olivat pinnaltaan ruosteessa, mutta olennaisimpia olivat säröt, jotka olivat heikentäneet osaa teräksistä merkittävästi. Tutkimuksissa ilmeni, että kyseessä oli niin sanottu viivästynyt vetymurtuma, joka on mahdollinen lujilla pysyvästi jännitetyillä teräksillä. Ilmiö ei ole rakennuslainsäädännössä hyvin tunnettu. Vetymurtuma tässä tapauksessa todennäköisesti syntyi, kun jänneteräksiin pääsi ruostumista aiheuttavaa sadevettä. Ruostumisesta vapautunut vety mahdollisti vetymurtoja.

Tutkinnassa selvitettiin myös vesitornin laitteistoja sen selvittämiseksi, että olisiko sortuma ollut mahdollinen ylitäytön seurauksena. Keskeisin on tilanne, jossa vesi nousi yhtäaikaisen auto-maatiovian ja ylivuotolinjan toimimattomuuden vuoksi kattoon nostaen sen paikoiltaan. Tässä tapauksessa näin ei tapahtunut, mutta mahdollisuus olisi syytä ottaa huomioon muiden vesitornien järjestelyissä.

Onnettomuustutkintakeskus suosittaa, että ympäristöministeriön ja Liikenneviraston tulisi yhdessä kuntien kanssa kartoittaa vetymurtumalle alttiit rakenteet ja huolehtia, että niiden turvallisuudesta vastaavat tahot tekevät tarvittavat tarkastus- ja korjaustoimet. Perustiedot Suomessa olevista vesitorneista tulisi koota yhteen, mikä mahdollistaisi kohdennetun viestimisen vesitornien asianmukaisesta kunnossapidosta, turvallisuudesta, hyvistä käytännöistä, teknisistä ongelmista ja niiden ratkaisusta. Lisäksi nostetaan esille, että vesitornien rakenteiden ja järjestelmien ikääntymisen hallintaan ja vikasietoisuuteen tulisi kiinnittää huomiota. Alkuperäiset suunnitteluperusteet tulee ottaa aina huomioon, kun suunnitellaan oleellisia muutoksia, laajennuksia ja kunnossapitoa. Rakenteita ja laitteistoja olisi hyvä aika ajoin verrata suunnitteluperusteisiin.

SAMMANDRAG

RASET AV VATTENTORNET I JYVÄSKYLÄ 3.11.2012

Vattentornet i Kangasvuori i Jyväskylä rasade 3.11.2012 kl. 6.07, då vattenverkets kontrollrum lade märke till ett avbrott i datatrafiken och en trycksänkning. Jourhavande skickades till platsen och denne konstaterade att vattentornet hade rasat och att betongelementen hade spritt sig över ett stort område i terrängen. Vattentornet var nästan fullt, och cirka 2 000 m³ vatten rann ut i terrängen.

Räddningsverket fick larm drygt två timmar efter raset. Räddningsverkets och polisens främsta uppgift var att isolera området och säkerställa att ingen hade hamnat under det rasade tornet. Det finns friluftsleder på platsen, med det finns inga uppgifter om att någon skulle ha varit på plats vid raset.

Vattentornet stod klart 1976. Vid denna tidsperiod infördes elementbyggda vattentorn på marknaden och dessa utgjorde en kostnadseffektiv och smidig totalleverans för kommunerna. En spänningsmetod, som var bekant från brobyggande, användes i tornen. Metoden omfattade stora efterspända spännkablar av hårt stål.

Vattentornet rasade för att den stora ringformade balken i nederkanten av tornets behållare jämte spännkablar gick av. Spännstålet var rostigt på ytan, men det väsentliga var de sprickor som avsevärt hade försvagat en del av stålet. I samband med undersökningen kom det fram att det handlade om en så kallad fördröjd vätebristning, som är möjlig på hårt och permanent spänt stål. Det finns lite information om fenomenet i byggnadsbranschen. I detta fall uppkom vätebristningen förmodligen på grund av att regnvatten som orsakar rost nådde spännstålet. Det väte som frigjordes vid rostprocessen möjliggjorde vätebristningarna.

I samband med utredningen utreddes även vattentornets apparatur. Det är möjligt att behållaren hade rasat som en följd av överfyllning på grund av felfunktioner. Den största risken är en situation där vattnet stiger upp till behållartaket och lyfter bort taket. Detta var inte fallet denna gång, men det finns skäl att beakta denna möjlighet i de arrangemang som används i andra vattentorn.

Olycksutredningscentralen rekommenderar att miljöministeriet och Trafikverket tillsammans med kommunerna kartlägger byggnader som befinner sig i riskzonen för vätebristningar och ser till att de instanser som ansvarar för dessa byggnaders säkerhet vidtar nödvändiga inspektions- och reparationsåtgärder. Tillsammans med Kommunförbundet borde Vattenverksföreningen sammanställa grundläggande uppgifter om vattentorn i Finland och hjälpa vattentjänstverken att se till att tornen underhålls på ett behörigt sätt och trygga deras säkerhet genom att ge information om god praxis, tekniska problem och lösningar på sådana. Därtill framhäver centralen att man ska fästa vikt vid hur vattentornsstrukturernas och -systemens åldrande och feltolerans hanteras. De ursprungliga planeringsgrunderna ska alltid beaktas då man planerar avsevärda ändringar, utvidgningar och underhåll. Det finns skäl att jämföra strukturer och apparaturer med planeringsgrunderna med jämna mellanrum.



SUMMARY

A COLLAPSE OF A WATER TOWER IN JYVÄSKYLÄ ON 3 NOVEMBER 2012

A water tower at Kangasvuori, Jyväskylä, collapsed at 6:07 am on 3 November 2012, upon which the control room of the water utility noticed a communications break and a pressure drop. A duty officer sent to the location observed that the water tower had collapsed, scattering concrete elements over a wide area of the surrounding terrain. The water tower was almost full and some 2,000 m³ of water gushed into the area.

The Rescue Services were alerted slightly over two hours after the collapse. They and the police were mainly tasked with cordoning off the area and ensuring that no one had been buried under the rubble. Although outdoor exercise trails cross the area, no one appears to have been present when the collapse occurred.

The water tower was completed in 1976. Around that time, a new, prefabricated water tower was introduced to the market, which offered municipalities a cost-efficient, easy overall purchase. The towers were based on the fairly new pre-tensioning method also used in bridge construction. This method involved the use of strong post-tensioned steel tendons.

The water tower collapsed because a large, ring-shaped girder and the attached steel tendons snapped. These steel tendons were rusty on the surface and, more importantly, some had been markedly weakened by cracks. An investigation revealed that the collapse was caused by what is known as delayed hydrogen cracking, which sometimes occurs in strong, permanently tensioned steels. This phenomenon is relatively unknown in the construction sector. In this case, the hydrogen cracking was probably due to rainwater causing the steel tendons to rust. The hydrogen cracks were due to hydrogen released during the rusting process.

The investigation also examined the water tower's equipment and revealed that the system was not single fault tolerant. A collapse in the tank could also have occurred due to overfilling caused by malfunctioning automation. Crucially, the roof could have been displaced if water had reached the ceiling of the tank. Such a scenario did not occur in this case, but account should be taken of this possibility in water tower arrangements elsewhere.

Together with municipalities, the Accident Investigation Board recommends that the Ministry of the Environment and the Finnish Transport Agency chart all structures which are susceptible to hydrogen cracking and ensure that the parties in charge of the structures' safety perform the necessary inspections and repairs. Further, the basic data on all water towers in Finland should be compiled and used to help water supply organisations to ensure that towers are appropriately maintained and safe, by informing these authorities about good practices, technical problems and solutions. It is also worth noting that attention should be paid to the management of ageing water tower structures and systems, as well as their fault tolerance. In every case, account must be taken of the original planning principles in the planning of essential changes, expansions and maintenance. Structures and equipment should be regularly compared to planning principles.

ALKUSANAT

Onnettomuustutkintakeskus asetti 5.11.2012 tutkintaryhmän tutkimaan Jyväskylän Kangasvuorella 3.11.2012 tapahtunutta vesitornin romahdusta. Tutkintaryhmän johtajana toimi DI Taneli Rasmus ja jäsenenä DI Seppo Suuriniemi. Tutkinnanjohtajana oli johtava tutkija Kai Valonen.

Vaurioituneiden rakenteiden tutkintaa tehtiin yhteistyössä poliisin, pelastuslaitoksen ja vesitornin omistajan Jyväskylän Energia Oy:n tilaamien rakenneasiantuntijoiden kanssa (Vahanen Oy). Näytteeksi otetut jänneteräksiset toimitettiin VTT:lle, josta saatiin tutkimusselostus. Vesitornin järjestelmistä saatiin virka-apuna lausunto Säteilyturvakeskukselta.

Tutkintaselostuksessa esitetään onnettomuuteen liittyvät tapahtumat ja analysoidaan sortumaan johtaneita tekijöitä. Turvallisuussuosituksissa esitetään keinoja, joilla vastaavanlaiset onnettomuudet voitaisiin välttää tai niistä aiheutuneet seuraukset olisivat vähäisemmät.

Turvallisuustutkinnan tarkoituksena on turvallisuuden parantaminen, joten syyllisyys- ja vahingonkorvauskysymyksiä ei käsitellä. Tutkintaselostusta ei ole kirjoitettu sisällön ja tyylin osalta siten, että se olisi tarkoitettu käytettäväksi oikeudenkäynnissä. Tutkintaselostuksessa esitetyt johtopäätökset ja turvallisuussuositukset eivät muodosta olettamusta syyllisyydestä tai vahingonkorvausvelvollisuudesta.

Tutkintaselostusluonnos on ollut lausunnolla ympäristöministeriössä, Liikennevirastossa, Jyväskylän kaupungin rakennusvalvonnassa, Vesilaitosyhdistyksellä, Kuntaliitossa, Jyväskylän Energia Oy:ssä sekä suunnittelijoiden ja toteuttajien edustajalla. Lausunnot on otettu huomioon tutkintaselostusta viimeisteltäessä. Yhteenveto saaduista lausunnoista on liitteenä. Tutkintaselostus on internetissä osoitteessa www.turvallisuustutkinta.fi. Tutkinta-aineisto on taltioitu Onnettomuustutkintakeskukseen.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG.....	4
SUMMARY	5
ALKUSANAT	6
1 TAPAHTUMA.....	9
1.1 Yleiskuvaus	9
1.2 Onnettomuskohde, tapahtumapaikka ja sääolosuhteet.....	9
1.3 Tapahtumien kulku.....	10
1.4 Pelastustoiminta ja raivaus.....	11
1.4.1 Hälytykset.....	11
1.4.2 Toiminta onnettomuuspaikalla	11
1.5 Poliisin toiminta	12
1.6 Onnettomuudesta aiheutuneet vahingot	12
1.6.1 Henkilövahingot	12
1.6.2 Materiaali- ja keskeytysvahingot.....	12
1.6.3 Ympäristövahingot.....	12
1.7 Tiedottaminen	12
2 TAPAHTUMAN TAUSTATIEDOT	13
2.1 Vedenjakelujärjestelmä ja sen ohjaus	13
2.1.1 Vesitorni	13
2.1.2 Verkoston ja ohjauksen kuvaus	22
2.2 Olosuhteet.....	23
2.3 Onnettomuuteen liittyvät organisaatiot	23
2.4 Viranomaisten ja muiden toimijoiden ennaltaehkäisevä toiminta	24
2.5 Pelastustoimintaan liittyvien organisaatioiden toiminta	24
2.6 Tallenteet	25
2.7 Säädökset, määräykset, ohjeet ja muut asiakirjat	25
2.8 Muut tutkimukset	25
2.8.1 Vesitornin omistajan teettämä selvitys sortuman syistä.....	25
2.8.2 Jänneterästen tutkinta	25
2.8.3 Ulkomaisia tutkimuksia ja havaintoja vastaavista jänneteräksistä	25
3 ANALYYSI	27
3.1 Onnettomuuden analysointi.....	27

3.2 Pelastustoiminnan ja muiden viranomaisten toiminnan analysointi	31
4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOTEAMUKSET	32
4.1 Toteamukset	32
4.2 Onnettomuuden syyt.....	32
5 TOTEUTETUT TOIMENPITEET	34
6 SUOSITUKSET	35
6.1 Vetymurtumalle alttiita teräsrakenteita sisältävien rakenteiden tunnistaminen	35
6.2 Vesitornien turvallisuuden hallinta	35
6.3 Muita huomiota ja ehdotuksia	36

LÄHDELUETTELO

LIITTEET

Liite 1. Yhteenveto tutkintaselostusluonnoksesta saaduista lausunnoista

Liite 2. VTT:n tutkimusselostus jänneterästen tutkinnasta

1 TAPAHTUMA

1.1 Yleiskuvaus

Jyväskylän kaupungissa sortui vesitorni lauantaina 3.11.2012 kello 6.07. Sortuneen tornin osat levisivät laajalle alalle maastoon. Pystyyn jäi ainoastaan varren alaosa. Samaan aikaan tornin sortuman kanssa alueelle syntyi runkoputken vuoto, joka aiheutti häiriöitä vedenjakeluun.

1.2 Onnettomuuskohde, tapahtumapaikka ja sääolosuhteet

Sortunut vesitorni oli tilavuudeltaan 2000 kuutiometriä ja sen katon korkeus maanpinnasta oli noin 30 metriä. Torni oli rakennettu vuonna 1976 ja sen materiaalina oli käytetty teräsbetonielementtejä, joista osa oli esi- tai jälkijännitettyjä.



Kuva 1. Sortunut vesitorni kuvattuna vuonna 2003. (Kuva: Antti Laukkarinen / Jyväskylän Energia Oy)

Bild 1. Foto av det rasade vattentornet från 2003.

Picture 1. The collapsed water tower in 2003.

Vesitorni sijaitsi Jyväskylässä Kangasvuoren kaupunginosassa. Torni oli rakennettu metsän keskelle Kangasvuori nimisen mäen korkeimmalle kohdalle. Rakennuspaikka on merkitty kuvaan 2. Tornin läheisyydessä ei ollut rakennuksia tai muita rakennelmia. Tornille johti Suluntieltä huoltotie, ja sen lähistöllä kulki kuntoilijoiden suosimia reittejä.



Kuva 2. Vesitornin sijainti on merkitty kuvaan nuolella. Samaa aikaan sortuman kanssa rikkoutui runkovesilinja. Rikkokohta on merkitty ympyrällä. (Kartta: KTJ/Oikeusministeriö/MML)

Bild 2. Vattentornets läge har märkts ut med en pil på bilden. I samband med raset gick stamvattenlinjen sönder. Avbrottsplatsen har märkts ut med en cirkel.

Picture 2. The location of the water tower is indicated with an arrow. A water trunk line ruptured as the water tower collapsed. The rupture is marked with a circle.

Tapahtuma-aikana lämpötila oli noin +4 °C ja oli lähes tyynä.

1.3 Tapahtumien kulku

Tornin sortuminen ilmeni vesilaitoksen valvomossa siten, että tiedonsiirtoyhteys tornista katkesi kello 6.07. Valvomon ohjausjärjestelmään tuli ilmoitus tietoliikennehäiriöstä sekä paineenlaskusta.

Paikalle lähetettiin päivystäjä selvittämään tietoliikennehäiriön syytä sekä paikantamaan paineenlaskun syyksi arvioitua putkirikkoa. Ilmoitukset ja toimet on kirjattu valvomon päiväkirjaan kello 6.15. Samaa aikaan valvomoon tuli asiakassoittoja, joissa kerrottiin että alueella oli kuulunut kovaa ryminää ja tuntunut maan tärinää.

Alueelle mennyt päivystäjä paikansi putkirikon Suluntieltä läheltä tornille johtaneen tien risteystä. Vesitornille johtanut 400 mm valurautaputki oli revennyt ja tulvi tielle. Kun vesitornia oltiin putkirikon vuoksi menossa erottamaan verkostosta, paljastui tornin sortuminen. Havainto tehtiin kello 7.10.

Vesitornin sortuma ja putkirikko yhdessä aiheuttivat ongelmia vedenjakelussa. Vauriokohta saatiin erotettua verkostosta ja paineet palautettua kello 11.09. Tämän jälkeen vedenjakelu toimi paineantureiden ohjatessa pumppuja, ja häiriö ei enää aiheuttanut haittaa asiakkaille.



Kuva 3. Ilmakuva sortuneesta tornista. (Kuva: Keski-suomalainen)

Bild 3. Flygbild av det rasade tornet.

Picture 3. Aerial view of the collapsed tower.

1.4 Pelastustoiminta ja raivaus

1.4.1 Hälytykset

Vesilaitoksen valvomo teki hälytykset oman organisaation johdolle ja hätäkeskukselle sen jälkeen, kun päivystäjä ilmoitti tornin sortumisesta. Hätäkeskuksen hälytysselosteen mukaan ilmoitus sortumasta on tullut 8.23. Tuolloin vesilaitos pyysi apua alueen eristämiseen ja lisävahinkojen estämiseen.

Hätäkeskus hälytti kohteeseen kaksi Keski-Suomen pelastuslaitoksen yksikköä, joista toinen oli raivausauto. Lisäksi hälytys välitettiin päällikköpäivystäjälle.

1.4.2 Toiminta onnettomuuspaikalla

Torni oli sortunut ja vahingot syntyneet, kun viranomaiset saapuivat paikalle. Viranomaisten tehtäväksi jäi alueen eristäminen ja sen varmistaminen, ettei sortuneen tornin kappaleiden alle ollut jäänyt henkilöitä.

1.5 Poliisin toiminta

Poliisi hälytettiin sortumakohteeseen kello 8.23. Lisäksi poliisi sai vaurioon liittyvän tehtävän Suluntielle kello 8.42, kun putkirikko aiheutti liikennehäiriön. Poliisi osallistui alueen eristämiseen ja koirapartion avulla sen varmistamiseen, ettei sortuneen tornin alle ollut jäänyt ihmisiä.

1.6 Onnettomuudesta aiheutuneet vahingot

1.6.1 Henkilövahingot

Onnettomuudessa välttyttiin henkilövahingoilta. Torni sortui varhain aamulla, jolloin paikalla ei ollut työntekijöitä eikä aluetta yleisesti käyttäneitä kuntoilijoita. Kangasvuoren vesitornin välittömässä läheisyydessä ei ollut muita rakennuksia tai rakennelmia.

1.6.2 Materiaali- ja keskeytysvahingot

Vesitorni tuhoutui sortumassa korjauskelvottomaksi. Tornin katolla sijaitti masto, jossa oli tukiasemia ja väestöhälyttimiä. Masto ja laitteet vaurioituivat sortumassa.

Samaan aikaan tornin sortuman kanssa syntyi putkirikko, jossa rikkoutui halkaisijaltaan 400 mm valurautainen vesijohto ja Rasinkankaan jakelualueelle painetta alentanut laite.

Sortuman ja siihen liittyvien raivaustöiden aiheuttamien menetysten kokonaisarvo oli noin 2 500 000 euroa.

Tornin sortuma ja vesijohdon katkeaminen aiheutti 5 tunnin vedenjakeluhäiriön alueella, jolla asuu noin 7 000 ihmistä ja sijaitsee muun muassa teollisuutta. Verkoston paine palautui pumppujen avulla normaaliksi, kun putkirikon aiheuttama vuoto saatiin erotettua verkostosta.

1.6.3 Ympäristövahingot

Tornin välittömässä läheisyydessä ollut maasto kärsi vuotoveden ja maastoon sinkoutuneiden elementtien vaikutuksesta. Vesimassa ja torninkappaleet siirsivät maata sekä katkoivat ja kaatoivat puita. Muuta merkittävää ympäristövahinkoa ei syntynyt.

1.7 Tiedottaminen

Jyväskylän vesihuollosta huolehtivalla Jyväskylän Energia Oy:llä on vakiintuneet toimintatavat vedenjakelun häiriöistä tiedottamiseen. Näitä menettelyitä käytettiin onnettomuudesta johtuneista vedenjakelun häiriöistä kertomiseen. Koska onnettomuus oli häiriön syynä poikkeava ja herätti suurta kiinnostusta, teki Jyväskylän Energia Oy tilanteesta mediatiedotteen heti tapahtuma-aamuna.

Onnettomuuden laajuus ja tuhot selvisivät nopeasti ja tiedottamisen painopiste siirtyi syiden selvittämiseen. Onnettomuuden syyn selvittämisestä tiedottaminen tehtiin Jyväskylän Energia Oy:n ja Onnettomuustutkintakeskuksen yhteistyönä. Onnettomuustutkintakeskus antoi tutkinnan kuluessa julkisen ilmoituksen elementtirakenteisiin vesitorneihin liittyvästä turvallisuusuhkasta sekä tiedotteen vetymurtumasta.

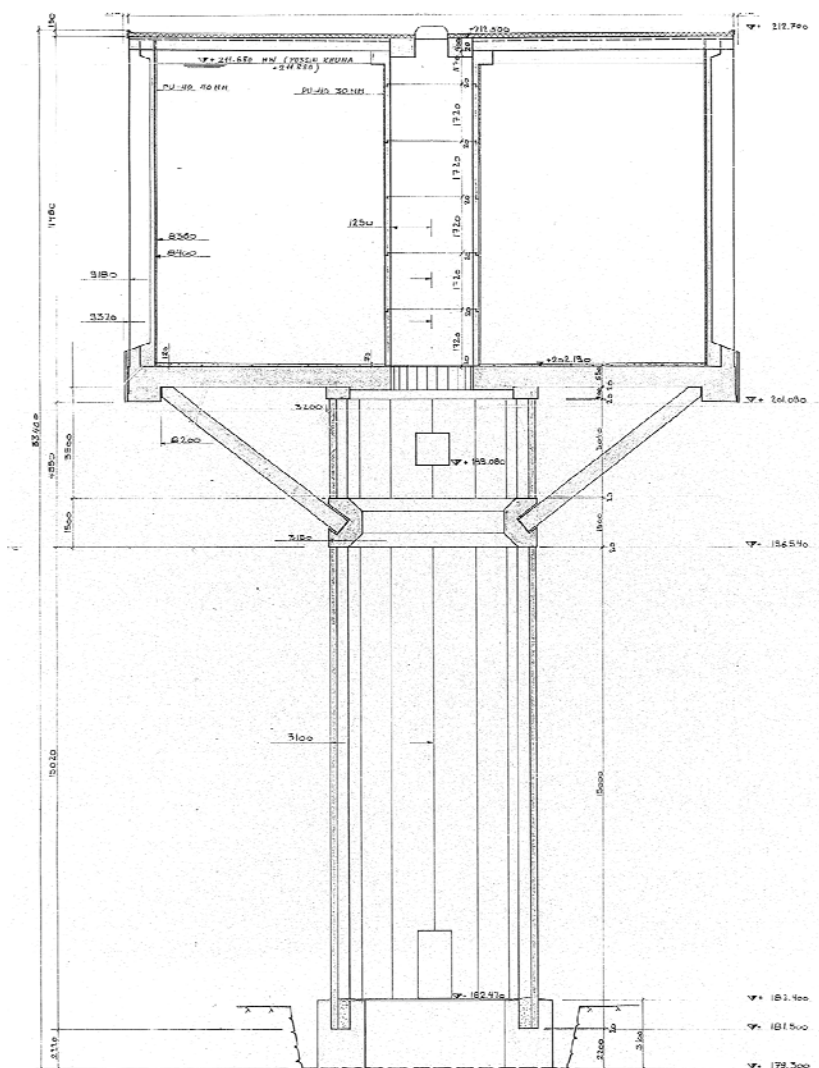
2 TAPAHTUMAN TAUSTATIEDOT

2.1 Vedenjakelujärjestelmä ja sen ohjaus

2.1.1 Vesitorni

Vesitorni oli valmistunut vuonna 1976 ja se oli tehty silloin uutta elementtitekniikkaa käyttäen. Vesisäiliön tilavuus oli 2 000 m³. Säiliön katto oli noin 30 m ja pohja 19 m maanpinnan yläpuolella. Säiliön korkeus oli 10 m ja halkaisija 17 m.

Säiliön yläpohja, seinät ja lattia olivat lämpöeristettyjä. Seinien ja pohjalaatan lämpöeristeet olivat kantavan rakenteen sisäpuolella. Altaan vesitiiveyden varmisti pvc-kyllästetty polyesterikangaspussi. Se oli lämmöneristyskerrosten sisäpuolella ja oli kiinnitetty yläreunastaan altaan seinärakenteeseen. Säiliön rakenneperiaate näkyy kuvassa 4.



Kuva 4. Tornin alkuperäinen leikkauskuva.

Bild 4. Ursprungligt tvärsnitt av tornet.

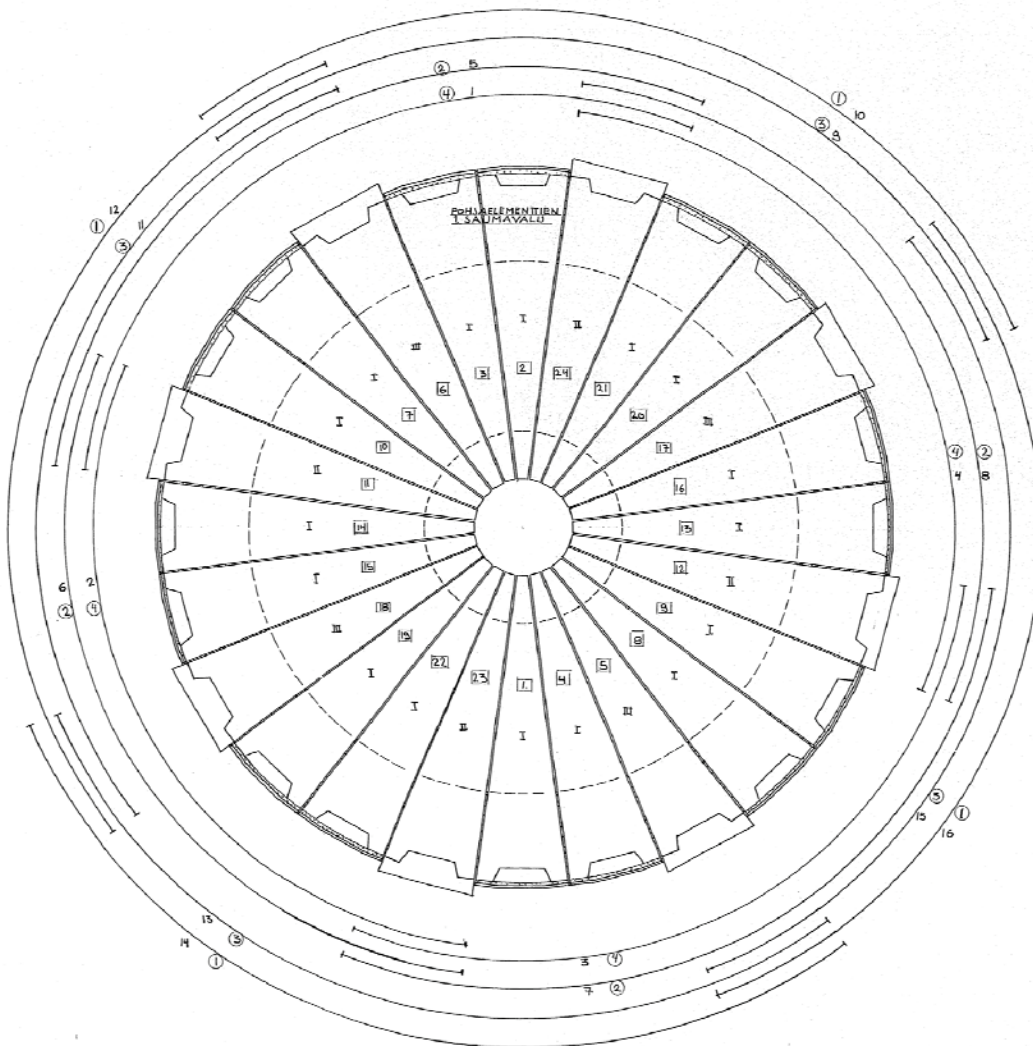
Picture 4. The original cross-section of the tower.

Tornin perustus ja varsi

Varren ulkohalkaisija oli 6,4 m ja se oli perustettu kallion varaan paikalla valetulle perusmuurille. Varren alaosan teräsbetoniset seinäelementit olivat 200 mm paksuja. Näiden elementtien päällä sijaitsevaan rengaspalkkiin tukeutuivat vinot pilarit, jotka kannattelivat säiliön lattiaelementtejä niiden ulkoreunoilta.

Varren alaosan ja vesisäiliön lattiaelementtien välissä oli varren jatko-osa, jonka yläosassa oli elementtirakenteinen teräsbetonirengas. Säiliön lattiaelementit tukeutuivat pystysuunnassa tähän renkaaseen ja ulkoreunalla vinojen pilarien tukemaan rengaspalkkiin. Varren jatko-osan seinäelementit ja sisempi rengas olivat jännittämättömiä teräsbetonirakenteita.

Tornin säiliön pohja



Kuva 5. Pohjalaatan elementtikaavio alkuperäisistä rakennepiirustuksista.

Bild 5. Elementschema för grundplattan från de ursprungliga byggnadsritningarna.

Picture 5. The precast element chart of the ground slab, as presented in the original detail drawing.

Lattiaelementit olivat kiilamaisia jälkijännitettyjä teräsbetonirakenteita. Elementtien muodostamaa lattiaa havainnollistaa kuva 5.

Säiliön keskiosan puoleisessa päässä oli lattiaelementtien alapinnassa paksunnos, joka osaltaan esti elementin liukumista pois sisemmän rengaspalkin päältä. Palkki saattoi toimia vetorenkaana säiliön pystytysvaiheessa, mutta valmiin ja täytetyn säiliön pohjalaattatasoon vetovoimista se kykeni ottamaan vain pienen osan. Säiliön ulkoreunalla lattiaelementeissä oli laatan yläpuoliset ulokkeet, jotka toimivat vaakatukena säiliön seinäelementtien alapäälle.

Lattiaelementeissä oli ulkokehällä alapuoliset paksunnokset, jotka oli puristettu toisiaan vasten jälkijännitettyjen teräsnippujen avulla. Tällöin lattian ulkoreunaan muodostui rengaspalkki, jonka injektiojäteet näkyvät kuvassa 5 ulosvedettynä. Niiden keskeinen tehtävä oli ottaa vastaan säiliön lattiatasoon syntyvät vaakavoimat. Palkki tukeutui pystysuunnassa varren yläosan vinoihin pilareihin.

Rengas jännitettiin käyttäen neljää renkaan kiertävää tyyppimerkinnältään KA-44 injektointijännettä. Kirjaimet KA viittaavat tietyn yrityksen markkinoimaan jänneteräsmenettelmään ja numero 44 jänneterästen lukumäärään. Jokaisessa jänneteräsnipussa oli neljä jatkosta jännittämisen aiheuttamien kitkavoimien pienentämiseksi. Kaikki jänteet vedettiin molemmista päistä. Jänteiden sijaintia palkin ulkokehällä esittää kuva 6.

Injektiojanteen rakenne on esitetty kuvassa 7. Tangot oli sijoitettu peltiseen suojaputkeen, joka on täytetty injektiomassalla tankojen jännittämisen jälkeen. Yhdessä jänteessä oli 44 kpl poikkileikkaukseltaan 40 mm² jännitettäviä tankoja, joiden lujuus oli Fe 1450/1600.

Rengaspalkin ulkopintaan oli kiinnitetty 70 mm paksu teräsbetoninen kuorielementti. Lattiaelementin ja kuorielementin väli oli täytetty saumavalulla. Sauman yläreunaan oli suunniteltu elastinen saumamassa. Vastaava saumamassa oli suunniteltu seinäelementin ja lattiaelementin välisen pystysauman yläosaan. Muuta täyttöä näihin saumoihin ei ollut suunniteltu.

ELASTINEN SAUMAMASSA JOKA
SORTUMAPAIKALLA
HAVAITU LIIAN OHUEKSI JA
PUHKIHAPERTUNEESI.
VUONNA 2002
"LÄHES KAIKKI SAUMAT ON
HAVAITU HALJENNEIKSI".

POHJANAUHA, SUPERLONIA

EI HAVAINTOJA
SUUNNITELMASSA ESITETYSTÄ
SAUMAMASSASTA

KUORIELEMENTTIEN SAUMAVÄL
(C 40/45 I) n. 60 ... 70 mm,
SORTUMAPAIKALLA TEHTYJEN
HAVAINTOJEN PERUSTEELLA
SAUMAVÄL ON IRRONNUT
POHJAELEMENTEISTÄ MONIN PAIKOIN
JA JO KAUAN AIKAA SITTEN

INJEKTIOJÄNTEET

KUORIELEMENTTI 70 mm (C 30/35 I)
VUODEN 2012 KESÄLLÄ TEHDYSSÄ
KUNTOARVIOSSE ON HAVAITU
KUORIELEMENTTIEN
PAKKASRAPAUTUMISVAURIOITA

HUOM! AVOIN SAUMA, MAHDOLLINEN
VUOTOREITTI POHJAELEMENTTIEN
KONSOLIN YMPÄRI JÄNNETERÄKSIIN AS

ESIJÄNNITETTY SEINÄELEMENTTI
(C 40/45 I)

SEINÄELEMENTTEJÄ TUKEVAT
KUMILEVYLAAKERIT
VAAKASAUMASSA 21 mm JA
PYSTYSAUMASSA 19 mm

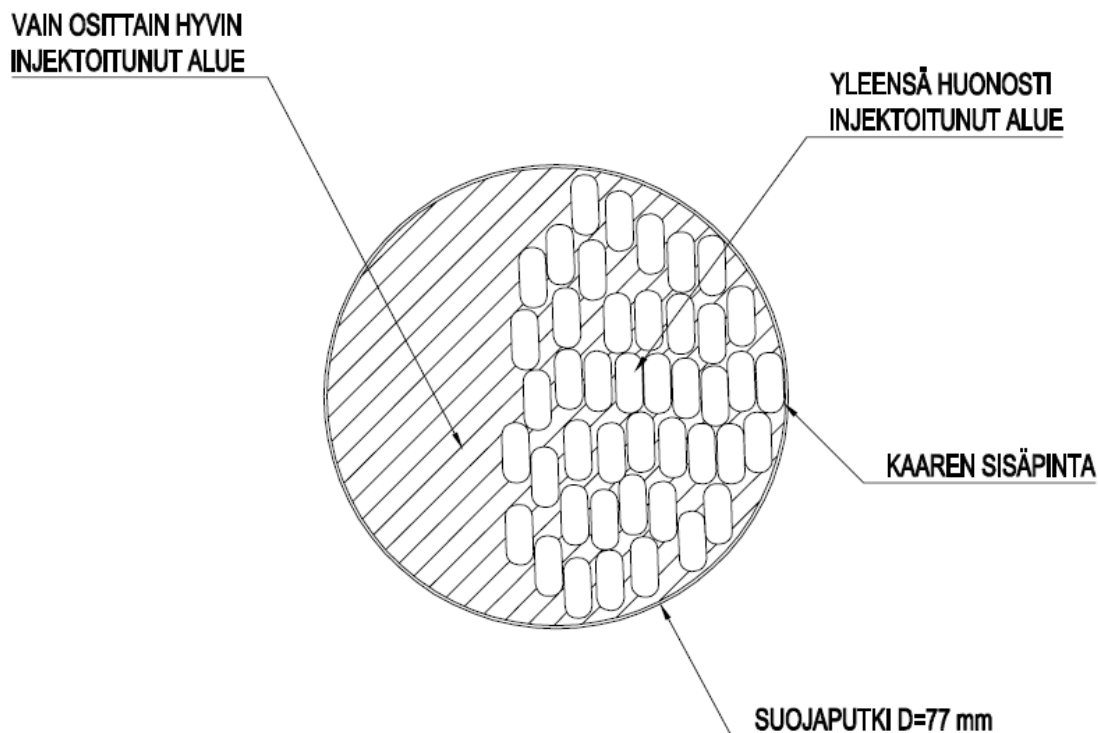
JÄLKIJÄNNITETTY POHJAELEMENTTI
TYPPI I (C 40/45 I)

KUMILEVYLAAKERIT 19 mm

Kuva 6. Rengaspalkin poikkileikkaus, joka on piirretty sortuman tutkinnan yhteydessä. Vesitornille tehdyssä kesän 2012 kuntoarviossa on mainittu pohjalaatastalon saumojen vuotojäljet. (Kuva pohjautuu osin Jyväskylän Energia Oy:n tilaamaan tutkimukseen)

Bild 6. Tvärsnitt av ringbalken, som har ritats i samband med utredningen av raset. Vid konditionsgranskningen på sommaren 2012 nämndes spår av läckage i grundplattornas fogar.

Picture 6. Cross-section of the ring-shaped girder, drawn during the investigation of the collapse. When the condition of the water tower was assessed in the summer of 2012, leak marks were observed on the ground slab seams.



Kuva 7. Injektiojännteen poikkileikkaus. Kuva pohjautuu osin Jyväskylän Energia Oy:n tilaamaan tutkimukseen)

Bild 7. Tvärsnitt av injekteringsspänningen.

Picture 7. Cross-section of a grouted tendon.

Säiliön seinät

Säiliön seinät oli valmistettu esijännitetyistä teräsbetonielementeistä. Ne tukeutuivat yläpäästään vaakasuunnassa kattoelementteihin ja alareunassa rengaspalkkiin. Seinäelementtien välisiin pystysaumoihin oli suunnitelmassa esitetty saumavalut ja sauman pintaan elastiset saumamassat.

Säiliön sisällä ollut varren yläosa muodostui teräsbetonisista rengaselementeistä, joiden päällä oli rengasmaisen teräsbetoninen palkkielementti. Huoltoreitti tornin katolle kulki varren sisällä.

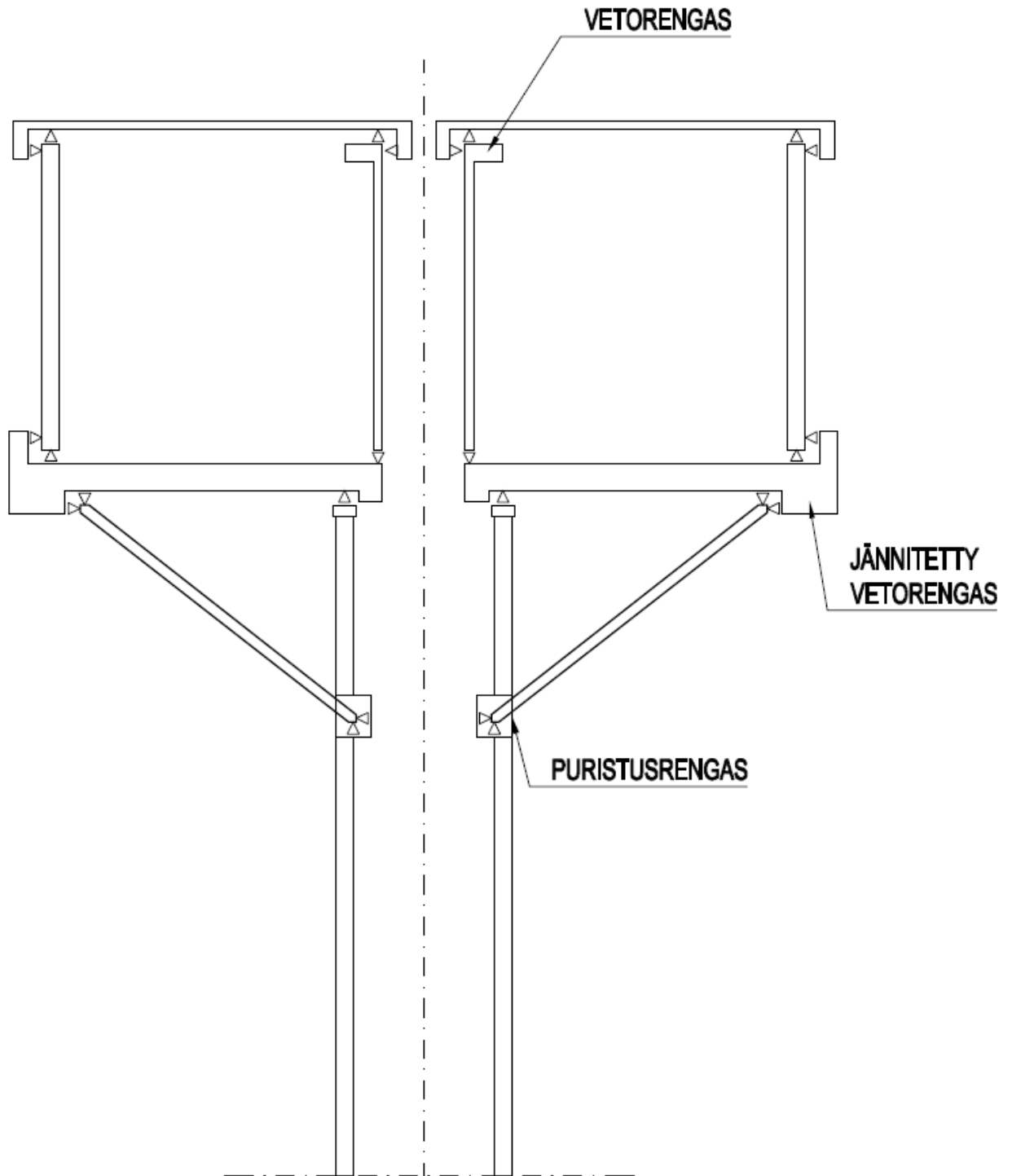
Säiliön katto

Kattoelementit olivat esijännitettyjä teräsbetonielementtejä. Ne tukeutuivat sekä pystyettä vaakasuunnassa säiliön sisäosan vetorenkaseen. Kattoelementit tukeutuivat ulkoreunastaan pystysuunnassa säiliön ulkoseinään ja siirsivät sen aiheuttaman vaakasuuntaisen tukireaktion säiliön keskellä sijainneeseen rengaspalkkiin.

Säiliön katolla oli kaksi säiliön yläosan tuuletusta hoitavaa ilmanvaihtoputkea. Vesitornin katolle oli vuonna 2002 asennettu 6 m korkea tukiasemamasto, jonka paino oli 1 100 kg.

Tornin rakenteellinen toimintaperiaate

Täyden säiliön vesimassa muodosti pääosan tornin rakenteille kohdistuvista kuormista. Vesitornin rakenteiden suunniteltua toimintaa ja kuormien siirtymistä rakenteissa eteenpäin havainnollistaa kuva 8.



Kuva 8. Tornin rakenteellinen toimintaperiaate.

Bild 8. Tornets strukturella funktionsprincip.

Picture 8. The tower's structural operating principle.

Suunnitellun rakenteen luotettavuus

Säiliön sortumisessa keskeinen rakenne oli säiliön pohjalaatan ulkoreunan jälkijännitetty rengaspalkki, jonka todettiin katkenneen. Suunnitelmien mukaan palkissa oli neljä KA-44 injektiojännettä lujuusluokaltaan Fe 1450/1600 eli jänteiden myötölujuus oli 1 450 N/mm² ja murtolujuus 1 600 N/mm². Kohteen rakennelaskelmien ja myös piirustuksen mukaan kunkin jänteen maksimi hetkellinen vetovoima ankkurin kohdalla oli 2 160 kN.

Kitkan aiheuttaman jännevoiman alentumisen rajoittamiseksi jokainen säiliön ulkoreunaa kiertävä jänne jaettiin neljään osaan ja vedettiin kunkin osan molemmista päistä. Lopulliseksi pitkäaikaiseksi vetovoimaksi jäi keskimäärin 1 860 kN eli neljään jänteeseen yhteensä 7 440 kN. Kunkin jänteen terästen yhteinen poikkileikkausala oli 1 760 mm², jolloin neljän jänteen yhteinen poikkileikkausala oli 7 040 mm². Niiden myötölujuus oli 10 208 kN ja murtolujuus 11 264 kN.

Kohteen alkuperäisten laskelmien ja myös tehtyjen tarkistuslaskelmien mukaan katkenneen rengaspalkin maksimi vetovoima oli käyttörajatilassa noin 6 400 kN, kun säiliö oli täynnä. Punosten myötölujuutta vastaavaksi varmuuskertoimeksi tulee tällöin noin 1,60 eli alkuperäistä punostusta voidaan pitää laskennallisesti riittävänä.

Vesitornin kantava ulkoseinä oli altis sateen tuomalle kosteudelle ja se sijaitsi säiliön lämpöeristeiden ulkopuolella eli ulkoilman lämpötilassa. Elementtirakenteissa tiiveyden kannalta keskeisiä osia ovat elementtien saumat. Elastista saumamassaa pidettiin säiliön rakentamisajankohtana yleisesti luotettavana estämään veden kulkeutumisen rakenteen sisään. Tämänhetkisen tietämyksen mukaan elastisen saumamassan ei voida olettaa toimivan luotettavana tiivisteinä vuosikymmenien ajan.

Alkuperäisessä piirustuksessa oli merkitty seinäelementin ja sitä tukevan pohjalaatan reunapalkin pystysauman yläreunaan elastinen saumamassa, mutta sauman alaosa ja myös siihen liittyvä vaakasauma oli merkitty jätettäväksi tyhjäksi.

Sortumapaikalla tehdyt havainnot

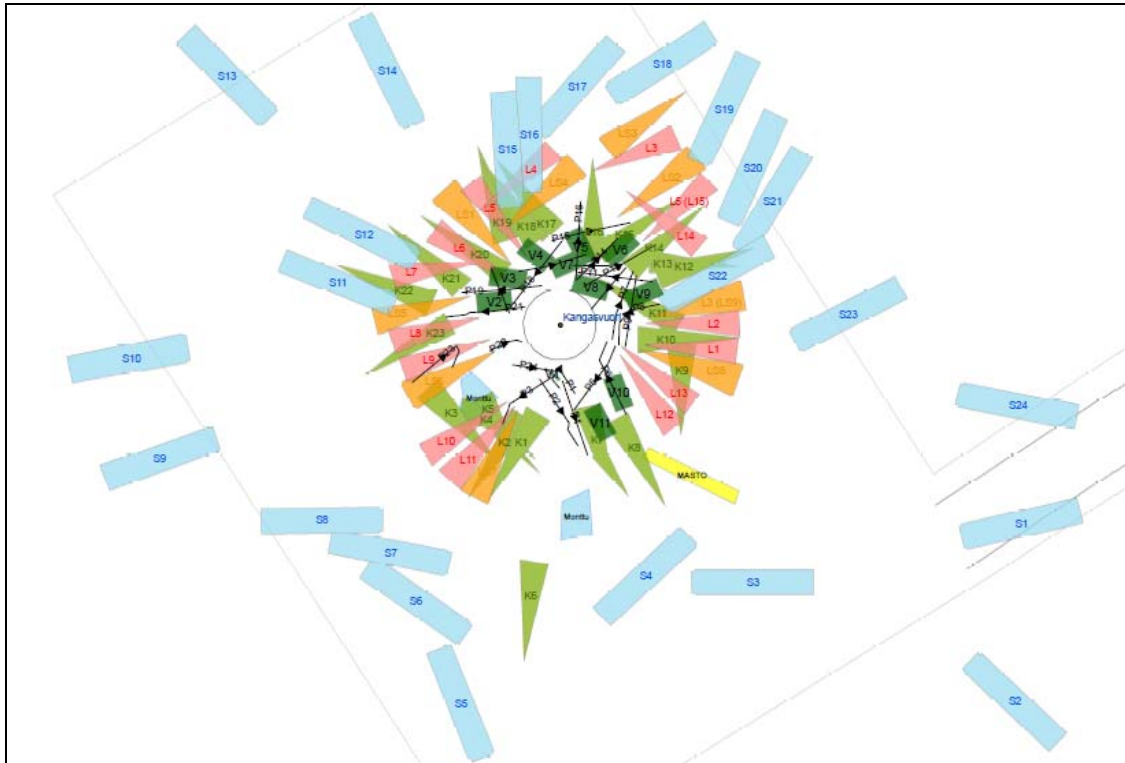
Vesisäiliön elementit olivat levinneet sortuman yhteydessä laajalle alueelle. Pisimmillään raskaat elementit sijaitsivat noin 50 metrin päässä tornista.

Vesisäiliön seinäelementit olivat lentäneet kauimmaksi. Elementtien alkuperäinen yläreuna oli yleensä lähinnä tornia alareunan ollessa poispäin tornista. Elementit makasivat maassa pääasiassa niin, että niiden sisäpuoli oli alaspäin.

Kattoelementit olivat pääosin kierähtäneet ympäri siten, että säiliön keskellä ollut elementtien pää oli nyt kauimpana tornista.

Säiliön pohjaelementit olivat yleensä pudonneet suuntaansa muuttamatta maahan. Säiliön eteläpuolella oli kohta, jossa elementit olivat siirtyneet säiliön ulkoseinäkaaren suunnassa etäälle toisistaan. Tällä samalla kohdalla lattiaa tukeneet vinopilarit olivat murtuneet irti tornin varresta muista poiketen myös sivusuunnassa vaurioita aiheuttaen.

Tornin eteläpuolella, samalla sektorilla kuin poikkeavat pilarien murtumat sekä lattiaelementtien suurempi välimatka, oli maassa veden virtauksen aiheuttama kuoppa. Suurin elementtikasauma sijaitsi säiliön pohjoispuolella. Elementtien sijainti raunioissa on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Piirros maastoon levinneistä elementeistä.

Bild 9. Ritning av de element som spriddes ut i terrängen.

Picture 9. A drawing of the elements scattered in the surrounding area.

Säiliön seinäelementit olivat vaurioituneet sortumassa varsin vähän. Kattoelementeissä oli havaittavissa putoamisen seurauksena lohkeamia ja osa pilareista oli vaurioitunut pahoin sortumassa. Pohjalaatan sisärengaselementti oli lentänyt tornin pohjoispuolelle ja vaurioitunut kappaleiksi.

Kattotasossa säiliön keskellä sijainnut rengaselementti oli pudonnut lähes vahingoittomattomana pystyyn jääneen tornin varsiosan sisään. Säiliön pohjan rengaselementin ulkopuolella olleet kuorielementit olivat vaurioituneet niin pahoin, että niiden alkuperäistä sijaintia ei pystytty tunnistamaan.

Säiliön eteläsivulla oli maassa vesivirran tekemä kuoppa, jonka lähellä ei ollut pudonneita elementtejä vaan ne olivat siirtyneet säiliön ulkoseinän suunnassa sivulle päin. Myös poikkeavasti vaurioituneet vinopilarit sijaitsivat tällä kohdalla.

Tästä voitiin päätellä rengaspalkin ilmeinen katkeamiskohta, jossa jänneterästen vetovoima yhdessä vedenpaineen kanssa avasi seinään pystyhalkeaman. Se avautui nopeasti seinässä säiliön yläosaan saakka erityisesti halkeamasta ulos virtaavan veden aiheuttaman paineen vuoksi.

Tornin rakenteiden kunto sortumahetkellä

Vesitornin rakenteille suoritettiin aistinvarainen arviointi niiden kunnon kartoittamiseksi ja rakenteista otettiin näytteitä, jotka analysoitiin. Säiliön rakenteiden kuntoarvioita oli tehty vuosina 2002 ja 2012. Näistä kuntoarvioista oli tehty raportit. Vesitornin vesikatto oli kunnostettu vuonna 2003 ja samassa yhteydessä tornille oli rakennettu tietoliikennemasto ja teleoperaattorien laitetilat.

Sortuman jälkeen tehdyistä tarkasteluista, tutkitusta rakenteista ja aiempien raporttien huomioista voidaan todeta seuraavat havainnot:

Betoni

Rakenteiden betoni oli yleensä säilynyt hyväkuntoisena. Paikallista hyvin pinnallista karbonatisoitumista ja pakkavaurioitumiseen viittaavaa säröilyä oli jonkin verran havaittavissa esimerkiksi kattoelementtien sisäpään alueella rakenteen pinnassa.

Rakenneteräks

Säiliön pohjalaatan puristusrenkaan kuorielementtien kiinnityksiin käytetyissä teräsosissa oli silmin havaittavissa pintaruostetta. Yhden tarkastetun kiinnityslevyn tartunnat olivat poikki ruostuneita.

Saum

Elementtien saumoissa oli vaurioita, jotka mahdollistivat veden pääsyn rakenteeseen. Saumojen vauriot olivat olleet havaittavissa jo kuntotutkimuksissa.

Kuvassa 6 näkyvän seinäelementin alapään ja sitä vaakasuunnassa tukevan lattiaelementin konsolin välisen liitoksen elastinen saumamassa oli havaittu laajasti vaurioituneeksi ja huonosti toimivaksi jo vuoden 2002 kuntotutkimuksessa.

Betoniteräks

Betoniteräksissä oli havaittavissa ruostumista vain vähäisessä määrin. Sitä oli esimerkiksi kattoelementeissä tornin sisäosan puoleisessa päässä alueella, jossa terästen suojabetonikerros oli elementtien valmistusvaiheessa jäänyt pieneksi.

Injektointimassa

Jännepunosten injektointibetoni oli osittain rapautunutta, ja injektointi ei ollut alunperinkään täyttänyt koko injektoitavan putken tyhjää tilaa eikä varsinkaan jänteiden täyttämää putken osaa. Injektointiputki oli ruostunut ja siinä oli korroosion aiheuttamia reikiä.

Jänneteräks

Jännitetyissä tangoissa oli silmin havaittavissa pinnallista ruostumista. Ruostumista oli eniten ylimmissä jänneteräsniipuissa, jotka olivat joutuneet alttiiksi rakenteeseen valuneelle vedelle. VTT:n suorittamissa materiaalitutkimuksissa paljastui, että jänneteräksiin

oli syntynyt säröjä. Säröilyn oli aiheuttanut viivästynyt vetymurtuma. Säröilyn aiheuttanut vety on todennäköisesti syntynyt pinnallisen ruostumisen yhteydessä.

Jänneteräokset olivat vaurioituneet eniten ylimmässä jänteessä ja vähiten alimmassa. Tankojen katkeamiskohdille tehtiin silmämääräinen arviointi, jossa havaittiin että ylimmän tankonipun kokonaisvaurioaste oli 40 % poikkileikkauksesta, toiseksi ylimmän 27 %, toiseksi alimman 5 % ja alimman 0 %. Ylimmässä tankonipussa yksittäisen tangon vaurioitumisaste oli enimmillään noin 95 % tangon poikkileikkauksesta. VTT teki vetokokeen kolmelle tankonäytteelle, joista eniten säröytyneen murtolujuudeksi jäi noin 50 % ehjän tangon lujuudesta.

2.1.2 Verkoston ja ohjauksen kuvaus

Sortunut vesitorni oli osa Seppälä-Kangasvuori jakelualueetta. Sortuneen tornin kanssa samalla jakelualueella sijaitsee kaksi paineenkorotusasemaa, joissa kummassakin oli kolme pumppua. Toinen paineenkorotusasemista on pääasiassa käytössä ollut Seppälänkangas ja toinen verkoston laajentumisen varalle rakennettu Laukaantie.

Paineenkorotusasemilla oli kullakin kolme pumppua, joista kunkin tuotto oli 180 m³ tunnissa ja nostokorkeus 70 metriä. Pumppuja pyörittivät 55 kW sähkömoottorit, joita ohjattiin taajuusmuuttajilla. Normaalisti pumpuista oli käytössä yksi kerrallaan. Pumppuja ohjattiin valvomosta.

Seppälänkankaan paineenkorotusasemalta vesitornille johti halkaisijaltaan 400 mm valurautainen runkoputki. Aseman pumppujen teho oli mitoitettu siten, että ne pystyivät paineajolla itsenäisesti ylläpitämään verkostossa tarvittavaa käyttöpainetta. Vesitorni toimi normaalitilanteissa painetta ja kulutushuippuja tasaavana paisunta-astiana.

Seppälänkankaalta vettä johdettiin runkolinjan lisäksi paineenalentajan kautta Rasinkankaan alueelle.

Vesitornin pinnankorkeutta mitattiin laitteistolla, joka lähetti tiedot säännöllisesti valvomoon. Pinnanmittaukseen käytetty laite oli tyypiltään MSP 90. Anturi oli kiinnitetty mitattavan pinnan yläpuolelle ja mittaus perustui ultraääneen.

Verkoston painetta ja virtaamia mitattiin molemmilla pumppaamoilla ja myös tämä tieto välitettiin valvomoon. Valvomossa tietoa hyödynsi käyttöohjelmisto, joka puolestaan lähetti käskyjä ohjattaville laitteille. Liikennöinti tapahtui molempiin suuntiin radiomodeemien avulla.

Jakelualueen vedenpainetta voitiin ohjata kahdella eri tavalla. Pinta-asetuksia käytettäessä vesitornin pinnankorkeutta pidettiin pumppujen avulla ennalta määriteltynä ja kellonaikaan sidottujen rajojen välissä. Tornin sortumishetki sattui kello 06 ja 07 väliseen aikaan, jolloin pumpput oli ohjattu käynnistymään 85 % täyttöasteella ja pysähtymään, kun täyttöaste on 95 prosenttia.

Paineasetuksia käytettäessä mitattu verkoston paine pyrittiin pitämään pumppuilla vakana. Vesitornin sortuessa käytössä olivat pinta-asetukset, ja sen sarruttua käyttöön

otettiin paineasetuksilla ohjaus, mikä oli ollut käytössä myös tornin tyhjennyksen ajan. Torni oli ollut tyhjennettynä pesua varten muutamia päiviä ennen sortumaa.

2.2 Olosuhteet

Tornin sortuminen tapahtui aikaisin lauantaiamuna. Torni sortui 3.11.2012 kello 6.07.

Tornin sortumisen aikaan Jyväskylän seudulla ei ollut lunta ja lämpötila oli noin +4 astetta. Sortumahetkellä oli lähes tyyntä.

Tiedossa ei ole, että paikalla olisi ollut ulkoilijoita tai muita henkilöitä.

2.3 Onnettomuuteen liittyvät organisaatiot

Vesihuoltolaitos

Jyväskylässä aloitettiin sähköntuotanto ja jakelu vuonna 1902. Vuodesta 1997 alkaen toiminnasta on huolehtinut kaupungin sataprosenttisesti omistama Jyväskylän Energia Oy. Yrityksen toimiala on laajentunut käsittämään kaukolämmön tuotannon ja jakelun 1960. Vesiliiketoiminnan Energialaitos osti omistajaltaan vuonna 2006. Vuonna 2009 Jyväskylä laajeni kuntaliitoksen myötä kattamaan myös entisten Korpilahden ja Jyväskylän maalaiskunnan alueet. Näiden liitosten yhteydessä myös vesilaitokset yhdistettiin.

Jyväskylän vesilaitoksen, ja myöhemmin Jyväskylän Energia Oy:n toimintaan, on tehty useita organisaatiomuutoksia viimeisten vuosien aikana. Lisäksi toimintaa ja investointeja on ohjannut kaupungin kasvu uusille alueille. Tilipäätöksessä vesihuoltoliiketoiminnan suurimmista riskeistä ensimmäisenä mainitaan vesihuoltoverkoston huono kunto.

Jyväskylän Energia Oy:n toiminta-alueella on kolme merkittävää talousveden tuotantolaitosta sekä neljä pienempää vedenottamo. Vesijohtoverkoston kokonaispituus on noin 800 kilometriä. Vuonna 2012 lasketun talousveden määrä oli 7,72 miljoonaa kuutiometriä.

Jyväskylän Energia Oy:llä on käytössään jatkuvasti miehitetty valvomo, jossa seurataan vedenjakelujärjestelmän toimintaa. Järjestelmässä esiintyvien vikatilanteiden varalle on päivystäjä, joka ryhtyy vaurioalueella tarvittaviin toimiin. Järjestelmä on luotu vesihuoltoverkostossa normaalisti esiintyvien vuoto- ja vikatilanteiden hallintaan.

Tornin suunnittelu ja rakentaminen

Elementti vesitornin rakenteen ideoi kokenut ja myös perinteisiä vesitorneja tehnyt elementtirakentaja. Vesitornin perusideana oli tehdä se teräsbetonielementeistä ja hoitaa säiliön tiiveys erillisellä pussilla. Tornin suunnittelijaksi saatiin ennakkoluuloton ja pätevä suunnittelija. Ensimmäinen valmistunut elementtitorni valittiin 1972 vuoden betonirakenteeksi.

Vaikka perusratkaisu oli kaikissa elementtitorneissa sama, suunniteltiin ne yksilöllisesti ja jokaiseen tuli muutos- ja parannustoimenpiteitä. Torneja tehtiin aluksi tilavuodeltaan

1 000 m³ kokoisiksi. Myöhemmin valmistettiin myös 2 000 m³ torneja, joista yksi oli Jyväskylässä sortunut. Elementtitorneja tehtiin kaikkiaan 19 kappaletta. Isompien ja pienempien vesitornien rakenteelliset toimintaperiaatteet poikkesivat osin toisistaan.

Tornit kokosi pääasiassa sama asennusryhmä. Ryhmä koostui ammattitaitoisista elementtiasentajista ja sitä johti työhön perehtynyt ja kokenut rakennusmestari. Asennustyö on ollut vaativaa ja käytetyt menetelmät tuolloin uusia.

Tornit suunnitteli insinööritoimisto, joka on toiminut suunnittelijana useissa muissakin haastavissa kohteissa. Toimisto oli arvostettu ja useista töistä palkittu. Suunnittelussa haettiin kuhunkin torniin sopivat yksilöllinen rakenneratkaisut. Tornien tilavuuden ja korkeuden kasvaessa lisääntyi niissä käytettyjen jännitettyjen rakenteiden määrä.

Vastaavia jännitettyjä rakenteita suunniteltiin tuolloin saman toimiston työnä myös muihin kohteisiin. Samaa KA-jännemenetelmää on käytetty ainakin silloissa. Toimiston suunnittelun pohjalta samaan aikaan tehty ja saman jännemenetelmän sisältänyt silta on aiemmin vaurioitunut purkukuntoon. Suunnittelija nosti tuolloin yhdeksi epäilemistään syistä jännemenetelmän ongelmat.

2.4 Viranomaisten ja muiden toimijoiden ennaltaehkäisevä toiminta

Vesitornin rakentamisen aikaan rakennusvalvonnan tehtävänä oli tarkastaa tehdyt suunnitelmat ja työmaalle tehdyin tarkastuskäynnein varmistaa rakentamisen toteutumisen suunnitelmien mukaan.

Kohteen valmistumisen jälkeen rakenteen kunnosta huolehtiminen on yksinomaan rakennuksen omistajan vastuulla. Kuntotutkimukset ovat rakennusalaalla varsin uusi käytäntö. Niitä tehdään rakennuksille nykyään jossakin määrin.

Vesitornin vuodesta 2006 omistaneella Jyväskylän Energia Oy:llä oli vesitorneihin liittyen ohjelma, jonka mukaan tornien kuntoa tarkasteltiin. Sortuneeseen torniin oli tehty kuntoarviot kesän ja syksyn 2012 aikana. Edellinen kuntoarvioraportti oli tehty vuonna 2002. Kuntoarviot suoritettiin pääasiassa aistinvaraisesti ja ainetta rikkomattomin menetelmin. Vesikatto oli kunnostettu vuonna 2003.

Sekä vuoden 2002 että vuoden 2012 kuntoarvioissa oli havaittu vaurioita betonielementeissä. Jälkimmäisessä kuntoarviossa suositeltiin betonirakenteiden kunnan tutkimista ja esitettiin selvitettäväksi näkyvien vaurioiden ohella myös terästen korroosioriskin laajuus. Tarkempia tutkimuksia ei ehditty tehdä ennen tornin sortumaa.

2.5 Pelastustoimintaan liittyvien organisaatioiden toiminta

Pelastusorganisaatio hälytettiin viiveellä vaikka ei tiedetty oliko syntynyt henkilövahinko ja. Viive syntyi, koska vauriota ei tunnistettu vaan sen hoitaminen aloitettiin tavanomaisen vesihuollon häiriön tapaan putkirikkona. Hälytys pelastusorganisaatiolle suoritettiin vasta kun tornin sortuma havaittiin.

Varsinaista pelastustoimintaa onnettomuudessa ei tarvittu.

2.6 Tallenteet

Vesitornissa oli pinnan korkeuden mittausta, jonka tiedot välitettiin valvomon ohjausjärjestelmään. Samalla jakelualueella sijainneiden pumppaamoiden painemittaustiedot ja pumppujen käyttötiedot tallentuivat myös tähän järjestelmään.

Valvomossa pidettiin päiväkirjaa tapahtumista.

2.7 Säädökset, määräykset, ohjeet ja muut asiakirjat

Kohteen rakennesuunnitelmissa ei ole kerrottu yksiselitteisesti niissä käytettyjä suunnittelunormeja. Esitettyjen suunnitteluperusteiden mukaan voi päätellä, että suunnitelmat on tehty rakentamissajan sallittujen jännitysten menetelmään perustuvien suomalaisten normien mukaan. Suomessa on uusittu rakentamismääräyksiä useita kertoja vuoden 1976 jälkeen ja tällä hetkellä ollaan siirtymässä yhteiseurooppalaisiin normeihin.

2.8 Muut tutkimukset

2.8.1 Vesitornin omistajan teettämä selvitys sortuman syistä

Jyväskylän Energia Oy tilasi Vahanen Oy:ltä sortuneen vesitornin rakenteiden tutkinnan. Vahanen Oy suoritti yhteistyössä tutkintaryhmän kanssa paikkatutkintaa ja näytteenoton sortumapaikalla sekä järjesti materiaalien testauksen jännitetyillä teräsrakenteilla lukuun ottamatta. Tutkintaryhmällä oli käytössään Vahanen Oy:n raportti. Tässä selostuksessa mainitut rakenteiden kuntotutkimustiedot ja silmämääräiset havainnot sortuma-alueelta ja sortuneista rakenteista perustuvat osittain Vahanen raporttiin.

2.8.2 Jänneterästen tutkinta

Jännitetyissä teräsrakenteissa käytetyt teräkset lähetettiin VTT:n tutkittavaksi. VTT suoritti tutkimukset näille teräsjäljenteille ja tutkimuksien tulokset olivat tutkintaryhmän käytävissä. Tutkimusraportti on liitteessä 2.

2.8.3 Ulkomaisia tutkimuksia ja havaintoja vastaavista jänneteräksistä

Jännitetyissä siltarakenteissa esiintyneisiin vaurioihin kiinnitettiin huomiota Saksassa 1990-luvun alussa tapahtuneen vahingotapauksen jälkeen. Tapahtuman seurauksena tutkittiin jänneteräksiä ja niillä raudoitettuja siltarakenteita.

Jänneterästen valmistusohjeisto eteni Saksassa aikanaan siten, että "vanhan tyylin" jänneteräksiä valmistettiin vuoteen 1965 saakka. Tämän jälkeen valmistettiin "uuden sukupolven" jänneteräksiä vuoteen 1978 saakka, minkä jälkeen tulivat uudet perusteellisesti muutetut ohjeet.

Hyvin lujissa jänneteräksissä St 145/160 havaittiin halkeamamuodostumista eli säröilyä. Halkeamia todettiin muodostuneen erityisesti staattisesti jännitettyihin nuorrutettuihin te-

räksiin. Kylmänä vedetyissä ja kuumavalssatuissa teräksissä ongelmaa ei ole havaittu. Säröilyriski poistui vuoden 1978 valmistusohjeiden päivityksen seurauksena.

Vuoteen 1965 saakka valmistetuissa teräksissä säröilyä on havaittu pyöreissä, soikeissa ja suorakulmaisissa tangoissa. Vuosina 1965–1978 valmistetuissa teräksissä säröilyä on todettu ainakin yhden valmistajan ovaalinmuotoisissa Sigma Oval -tangoissa. Sortuneessa tornissa käytettiin näitä tankoja.

Vetymurtuman mahdollisuus on noussut esille myös ainakin Alankomaissa.

2.8.4 Prosessilaitteiden selvitys

Onnettomuustutkintakeskus pyysi prosessilaitteiden tarkasteluun virka-apua Säteilyturvakeskuksesta, jonka tavanomaisiin tehtäviin kuuluu ydintoimilaitosten prosessilaitteiden arviointi turvallisuuden näkökulmasta.

Säteilyturvakeskus arvioi turvallisuuden ja luotettavuuden näkökulmasta vesitornin putkistoa, automaatiojärjestelmää, pumppuja, mittalaitteita, ikääntymisen hallintaa, kunnossapitoa, dokumentaatiota ja niille asetettuja vaatimuksia.

Yhtenä sortumiseen johtavana selvitettävänä vaihtoehtona tunnistettiin säiliön katon nouseminen ylitäytön seuraksena. Sortumisen kannalta välttämätön virhe olisi tässä vaihtoehdossa ollut automaatiovirheen lisänä oleva ylivuotolinjan vikaantuminen. Ylivuotolinjan vikaantumismahdollisuudesta on esimerkkinä se, että syksyllä 2012 ylivuotolinjan tarkistuskaivossa oli merkittävä määrä kiviä, jotka tuolloin poistettiin. Automaatioon liittyvinä vikamahdollisuuksina tunnistettiin useamman pumpun yhtäaikaista käyntiä sekä mittaus- tai kalibrointivirheet.

Sitä mahdollisuutta ei selvityksessä voitu poissulkea, että säiliö olisi automaation virhe-toiminnan, ylivuotolinjan toimimattomuuden ja niitä seuranneen ylitäytön vuoksi voinut sortua. Tällä havainnolla on merkitystä muiden vesitornien turvallisuutta parannettaessa. Toisena sortumaan johtaneena vaihtoehtona selvityksessä esitettiin rakenteen vaurioitumista ikääntymisen, käyttövirheen tai valmistuvian vuoksi. Paikkatutkinnan havainnot vahvistivat rakennevauriovaihtoehdon oikeaksi.

3 ANALYYSI

3.1 Onnettomuuden analysointi

Analysoinnissa on käytetty Accimap-menetelmää¹ ja analyysitekstin jäsentely perustuu oheiseen tutkintaryhmän laatimaan kuvassa 10 esitettyyn Accimap-kaavioon.

Uusi tekninen ratkaisu

Betonielementtitoimittaja sai 1960-luvulla ajatuksen tuoda markkinoille kokonaistoimituksena elementtirakenteisia vesitorneja. Rakennerratkaisua kohtaan oltiin alalla jonkin verran epäileväisiä sillä uusiin ratkaisuihin voi aina sisältyä riskejä, joita ei ole mahdollista tunnistaa.

Tässä tapauksessa suunnittelijaksi löytyi osaava uusista ratkaisuista kiinnostunut suunnittelija. Elementtirakenteinen vesitorni oli kunnille kustannustehokas ja helppo kokonaistoimitus. Suunniteltu tuote täytti valmistusajankohdan lujustekniset vaatimukset ja läpäisi ongelmitta sen aikaiset rakennusvalvonnan tarkastukset. Elementtirakenteisia vesitorneja tehtiin Suomessa useita 1970-luvulla. Niissä käytettiin jännemenetelmää, jota oli käytetty myös siltojen rakentamisessa.

Käytetyn jänneteräksen materiaaliongelma

Jänteinä käytettiin lujia Sigma Oval -teräksiä, joissa oli vetymurtuman mahdollisuus. Ennen vuotta 1965 valmistetuissa lujissa teräksissä todettiin jääneen valmistuksessa vetyä, joka aiheutti teräksen säröilyä. Tämä johti valmistustekniikan muutoksiin.

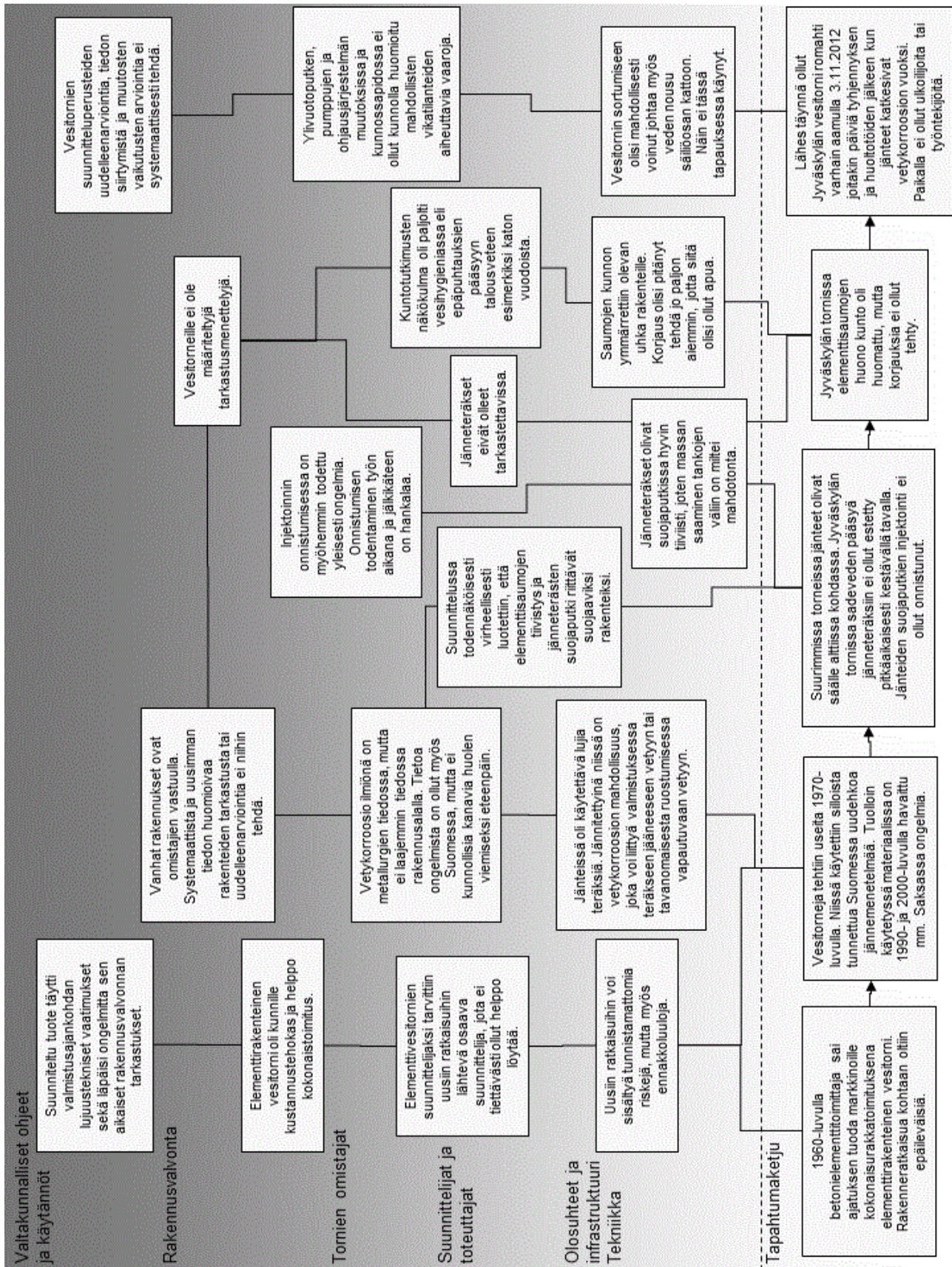
Muutamissa 1965–1978 valmistetuissa jänneterästyypeissä on esiintynyt vetymurtuman aiheuttamaa säröilyä. Onnettomuustornin jänneteräokset oli tyyppiä, jotka oli tunnistettu tälle niin sanotulle viivästyneelle vetymurtumalle alttiiksi. Viivästyneessä vetymurtumassa vety voi vapautua esimerkiksi tangon pinnassa tapahtuvan korroosion seurauksena ja toimia säröilyn aiheuttajana.

¹ Accimap on riskienhallintamenetelmä, joka on kehitetty onnettomuuksien estämiseen. Sitä voidaan kuitenkin käyttää onnettomuustutkinnassa tapahtumaketjun taustalla vaikuttaneiden tekijöiden analysointiin ja parhaiten vaikuttavien turvallisuussuosituksen valintaan ja kohdistamiseen.

Menetelmän mukaan riskialttiissa toiminnassa on monia eri päätöksentekotasolla olevia toimijoita, jotka tulisi pystyä onnettomuuden analysoinnin aikana tunnistamaan. Onnettomuuden ajatellaan olevan tapahtumaketju. Tapahtumaketjun kunkin tapahtuman kohdalla analysoidaan aluksi, mitkä tekniset ja suorittajaportaan inhimilliset seikat ovat vaikuttaneet kyseisen tapahtuman toteutumiseen. Analyysia jatketaan taso kerrallaan ylöspäin tavoitteena löytää ylemmiltä tasoilta alemman tason toimintaan vaikuttavia seikkoja.

Analyysin pohjalta laadittavassa Accimap-kaaviossa eri tasojen toimijat esitetään vaakasuorilla tasoilla ja kaavion alimpaan tasoon kuvataan vasemmalta oikeaan etenevä tapahtumaketju. Tapahtumaketju kuvataan yksittäisinä tapahtumina, jotka yhdistetään tapahtumaketjun etenemistä kuvaavilla nuolilla. Tapahtumien ja niitä selittävien eritasoisten tekijöiden väliset yhteydet kuvataan samaten nuolilla.

Lähde: J.Rasmussen ja I.Svedung, 2000, Proactive Risk Management in a Dynamic Society, Swedish Rescue Services Agency, Karlstad, Sweden.



Kuva 10. Tutkinnassa laadittu Accimap-kaavio.

Vetymurtuma ilmiönä on metallurgien tiedossa, mutta rakennusalalla sitä ei kovinkaan hyvin tunneta. Ilmiö on havaittu ja sitä on tutkittu esimerkiksi Saksassa ja Yhdysvalloissa.

Suomessa tietoisuus vetymurtumasta ja vaaroista ei ole levinnyt yleiseen tietoon rakennusalalla. Turussa vuonna 2010 vaurioituneen Myllysillan jälkiselvittelyissä oli esillä yhtenä vaihtoehtona, että vaurion taustalla voi olla rakenteessa käytetty esijännitysmenettelmä, joka oli tiettävästi jo huomattavasti aiemmin saanut Saksassa käyttökiellon siellä tapahtuneiden vaurioiden vuoksi. Myllysillassa ja sortuneessa vesitornissa käytettiin samaa KA-jännemenetelmää. Esitetty arvelu jännemenetelmän ongelmasta ei johtanut toimenpiteisiin, eikä tieto tavoittanut riskirakenteita sisältävien rakennelmien omistajia tai valvovia viranomaisia.

Kosteuden pääsy jänteisiin

Kosteuden tunkeutuminen rakenteeseen edistää terästen ruostumista. Terästen pinnallinen ruostuminen puolestaan aiheuttaa vedyn vapautumista ja mahdollistaa viivästyneen vetymurtuman.

Onnettomuustornin saumat oli suunniteltu siten, että niiden tiivistyksestä vastasi elastinen saumamassa. Elastinen saumamassa menettää ominaisuuksiaan ikääntyessään ja sen kyky toimia tiivisteinä heikkenee. Onnettomuustornin saumojen tiivistykset oli havaittu vaurioituneiksi jo vuoden 2002 kuntoarviossa.

Alempana saumassa olivat vain kuormia siirtävät kumilaakerit ja muilta osin sauma oli tyhjä. Sadevesille avautui avoin vuotoreitti kuorielementin ja pohjalaatan väliseen saumaan, jossa sijaitsivat injektiojäteet.

Saumojen pitkäaikaiskestävyys

Suunnittelussa on todennäköisesti virheellisesti luotettu, että elementtisaumojen tiivistys ja suojaputki injektointineen riittävät suojaamaan jänteitä tornin elinkaaren ajan. Lisäksi suunnittelijan tiedossa ei tuolloin ollut viivästyneen vetymurtuman mahdollisuutta.

Kosteuden pääsy saumoihin oli todettu kuntoarvioissa, mutta sen kaikkia seurauksia ei pystytty arvioimaan. Kuntoarvioiden näkökulma oli pitkälle vesihygieniassa mutta vuotojen vaikutuksia kantaville rakenteille oli ymmärrettävästi hyvin vaikea päätellä tällaisessa erikoisrakenteessa.

Epäonnistunut injektointi

Sortuman jälkeisissä tutkimuksissa paljastui, että jänteiden suojaputken injektointi sementtilaastilla ei ollut onnistunut. Tyhjää tilaa oli jäänyt erityisesti alueelle, jossa jänteet olivat painautuneet tiiviisti toisiaan vasten. Injektiomassan ei ollut mahdollista kulkeutua kaikkiin väleihin, koska jänneteräokset olivat litteitä ja tiukasti toisiaan vasten puristuneita. Heikkoja injektioitumiskohtia oli myös putkessa alueella, jossa oli enemmän tyhjää tilaa. Injektoinnin epäonnistumisesta on tehty muuallakin havaintoja. Injektoinnin onnistumisen varmistaminen työn suorittamisen aikana ja myös jälkikäteen on varsin hankalaa. Injektointilaastin tarkoituksena on suojata teräksiä ruostumiselta ja saada jännenippu toi-

mimaan yhtenäisenä kokonaisuutena myös jännettä ympäröivän betonirakenteen kanssa.

Jänneterästen pettäminen

Yksittäinen tanko saattoi toimia varsin pitkän matkan yksinään ilman tartuntaa ja sen tuomaa kiinteää yhteistoimintaa viereisiin tankoihin. Tällöin tangossa vaikuttava veto-voima ei välttämättä alene paljoakaan vaikka siihen muodostuisi säröilyn aiheuttamaa poikkileikkauksen paikallista pienenemistä.

Tämän seuraukseni jänneiden pettäminen on voinut tapahtua siten, että ensin on katkennut yksittäinen tanko, jonka poikkileikkaus on särön vaikutuksesta alentunut merkittävästi. Tämän jälkeen tangossa vaikuttanut vetovoima on siirtynyt muille tangoille, joista joku merkittävästi säröillyt on katkennut ja prosessi on jatkunut tällä tavalla eteenpäin. Vesitorneissa jänneterästen pettämisen riskiä lisää se, että rakenteissa vaikuttaa enimmäiskuorma suuren osan tornien käyttöajasta.

Maastoon jääneistä jäljistä ja rakenneosien paikoista pääteltiin, että tornin sortumiseen johtanut jänneterästen pettäminen tapahtui tornin eteläsivulla. Eteläsivulla sijaitsevat rakenteet ovat alttiina suurimmalle olosuhteiden vaihtelulle ja auringon säteilylle. Tämä nopeuttaa rakenteiden ikääntymistä. Eteläsivulla rakenteiden lämpötila on yleensä korkein nopeuttaen korroosin syntymistä ja etenemistä.

Tyhjennyksen vaikutus

Vesitorni oli tyhjennetty puhdistusta varten vain muutamia päiviä ennen sortumaa. Tornien kuormitus vaihtelee normaalitilanteissa päivittäin tornin täyttöasteen mukaan. Tornin olessa tyhjänä, puuttuu sen rakenteilta normaalitilanteessa aina esiintyviä kuormia.

Esimerkiksi tornin seiniin ei kohdistu tyhjänä vaakasuuntaista ulospäin työntävää voimaa. Kuormien puuttuminen on voinut aiheuttaa elementtirakenteessa vähäisiä liikkeitä ja jännitysten uudelleen jakautumista. Tornin tyhjennys on voinut vaikuttaa viottuneille rakenteille kohdistuneisiin kuormiin mutta vaikutukset tuskin ovat olleet merkittäviä.

Mahdollinen ylitäyttö

Vesitornin sortumiseen olisi voinut johtaa myös veden nousu säiliön kattoon. Ylitäyttömahdollisuutta ja sen seurauksia ei ollut otettu riittävästi huomioon ylivuotoputken, pumppujen ja ohjausjärjestelmän muutoksissa vaan niiden mahdolliset viat olisivat voineet johtaa tornin sortumiseen. Tässä tapauksessa paikkatutkinnan havaintojen perusteella voitiin todeta, että tornin ylitäyttö ei ollut onnettomuuden syy.

Rakenteiden tarkastukset

Olemassa olevat rakennukset ovat omistajan vastuulla. Vesitorneille ei ole määritelty mitään erityistä tarkastusmenettelyä vaan tehdyt kuntoarviot ja -tutkimukset perustuvat usein tavanomaisten talorakenteiden ajatusmalliin, jolloin tällaisen erikoisrakenteen erityispiirteet jäävät ilman huomiota.

3.2 Pelastustoiminnan ja muiden viranomaisten toiminnan analysointi

Tornin sortuminen ei aiheuttanut erityistä pelastustoimien tarvetta. Tieto tornin sortumisesta välittyi viranomaisille viiveellä, jolla olisi ollut vaikutusta, jos ihmisiä olisi loukkaantunut sortuman yhteydessä. Nyt viiveellä ei ollut merkitystä.

Vesitornien rakenteisiin ei kohdistu rakentamisajankohdan jälkeen viranomaisvalvontaa. Vesitornin rakentamisen aikaan rakennusvalvonnan tehtävänä oli tarkastaa tehdyt suunnitelmat ja työmaalle tehdyin tarkastuskäynnein varmistaa rakentamisen toteutuminen suunnitelmien mukaan. Lähes 40 vuotta myöhemmin ilmenneet ongelmat eivät tuolloin olleet helposti ennakoitavissa. Tornin suunnitelmat ja toteutus läpäisivät sen aikaisen rakennusvalvonnan vaatimukset ongelmitta.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOTEAMUKSET

4.1 Toteamukset

1. Vesitorni sortui odottamatta 3.11.2012 kello 6.07. Betonielementtejä levisi ka-uimmillaan 50 metrin päähän. Tiedossa ei ole, että paikalla olisi ollut ketään. Henkilövahinkoja ei tullut.
2. Paikalle hälytettyjen viranomaisten tehtäväksi jäi onnettomuuspaikan eristäminen ja sen varmistaminen, ettei ketään ollut jäänyt sortuneiden osien alle.
3. Paikkatutkinnassa selvisi, että pettänyt rakenne oli säiliöosan alareunaa kiertänyt rengaspalkki. Palkissa oli käytetty jälkijännitysmenetelmää, joka oli vesitornin rakentamisen aikaan vuonna 1976 Suomessa melko uusi menetelmä.
4. Palkin pettäminen oli seurausta siitä, että jänneteräksiin oli päässyt valumaan elementtien saumojen kautta sadevettä. Vesi aiheutti korroosiota (ruostumista), josta vapautui vetyä. Jänteissä käytetty teräslaatu oli altis vetymurtumille, jotka aiheuttivat rakenteen merkittävän heikkenemisen.
5. Teräslaadun materiaaliongelma oli havaittu muun muassa Saksassa. Suomalaisille näitä rakenteita omistaneille tahoille tai niitä valvoneille viranomaisille tieto ei välittynyt.
6. Injektiojäteiden suojaputken täyteen saaminen on ilmeisen vaikeaa ja sen epäonnistumisesta on Suomessa muitakin havaintoja. Käytössä ei ole riittäviä menetelmiä sen varmistamiseksi, että injektointi onnistuu kunnolla.
7. Vesitornin omistajan tehtävänä oleva rakenteiden ikääntymisen hallinta ei ollut ollut suunnitelmallista. Tornissa oli materiaaleja, jotka ikääntyessään menettivät ominaisuuksiaan ja kykyään toimia suunnitellusti. Näitä materiaaleja ei ollut korjattu, ja esimerkiksi elementtisaumojen tiivistykseen käytetyt massat eivät estäneet veden valumista rakenteisiin.
8. Tutkinnassa selvitettiin myös sitä vaihtoehtoa, että sortuma olisi ollut automaatiovian ja ylivuotolinjan toimimattomuuden seurausta. Tässä tapauksessa näin ei ollut, mutta tämä mahdollisuus ja siihen liittyvät havainnot on syytä ottaa huomioon muiden vesitornien turvallisuutta parannettaessa.
9. Vesitornin ja siihen liittyneen verkoston laitteita ja ohjauksia oli muutettu useissa osissa, jolloin järjestelmän luotettavuutta ei ollut dokumentoidusti arvioitu kokonaisuutena eikä muutoksia peilattu alkuperäisiin suunnitteluperiaatteisiin.

4.2 Onnettomuuden syyt

Onnettomuuden välitön syy oli säiliöosan ulkoseinän alareunassa sijainneen rengasmaisen jännitetyn teräsbetonisen palkin katkeaminen. Rengaspalkki on jälkijännitetty ja sitä

koossa pitäneet terästangot katkesivat säröilyn seurauksena. Säröilyn aiheuttanut vauriomekanismi oli viivästynyt vetymurtuma.

Viivästynyt vetymurtuma oli mahdollinen, koska tornin jänneteräokset olivat tyypiltään sille alttiita. Vetymurtuman mahdollistanut vety vapautui todennäköisesti terästen pinnan ruostuessa. Ruostumista tapahtui, koska rakenteeseen pääsi valumaan vettä viallisten saumojen kautta.

Tornia suunniteltaessa ja toteutettaessa ei ollut tiedossa tiettyjen terästen alttius vety-murtumalle. Menetelmä oli uusi, ja tietoa rakenneosien pitkäaikaiskestävyydestä ei ollut käytettävissä. Jänneterästen kunnon tarkastaminen on tällaisessa rakenteessa vaikeaa.

5 TOTEUTETUT TOIMENPITEET

Onnettomuustutkintakeskus antoi 23.11.2012 ilmoituksen elementtirakenteisiin vesitorneihin liittyvästä turvallisuushkasta sen jälkeen, kun pettäneeksi rakenteeksi selvisi säiliöosan alareunan rengaspalkki. Ilmoituksessa ehdotettiin, että vastaavan jännitetyn rengaspalkin sisältävien tornien kuormitusta rajattaisiin toistaiseksi vesitornien täyttöastetta pienentämällä. Tieto ilmoituksesta levisi Kuntaliiton ja Vesilaitosyhdistyksen kautta nopeasti ja kattavasti, ja veden määrää vähennettiin monessa kunnassa.

Suomen Rakennusinsinöörien Liiton oppaan RIL 264-2013 "Vesitornien kunnonhallinta ja opas" on tarkoitus valmistua vuoden 2013 aikana. Siinä tullaan ottamaan huomioon Jyväskylän tornin sortumasta saadut kokemukset.

Liikennevirastossa on työryhmä, joka tutkii tilannetta ja valmistelee tulevia toimenpiteitä siltojen osalta.

6 SUOSITUKSET

6.1 Vetymurtumalle alttiita teräsrakenteita sisältävien rakenteiden tunnistaminen

Saksalaistutkimuksissa on yksilöity muutamia korkealujuuksisia teräslaatuja, jotka ovat alttiita viivästyneen vetymurtuman aiheuttamalle säröilylle. Näitä teräslaatuja on käytetty vesitorneissa ja silloissa ainakin KA-jännemenetelmää hyödynnettäessä. Tutkinnan yhteydessä ongelma rajautui ennen vuotta 1978 valmistettuihin korkealujuuksisiin teräslautuihin.

Ympäristöministeriön ja Liikenneviraston yhdessä kuntien kanssa tulisi kartoittaa vetymurtumalle alttiit rakenteet ja huolehtia, että niiden turvallisuudesta vastaavat tahot tekevät tarvittavat tarkastus- ja korjaustoimet. [Y2012-02/S1]

Jänneterästen kunnan tarkastaminen voi olla vaativaa ja kallista. Kuitenkin erityisesti silloin, jos rakenteisiin on mahdollisesti päässyt vettä, terästen kunnosta on varmistuttava ennen kuin rakenteen voidaan katsoa olevan turvallinen.

Jänneterästen alttius vetymurtumalle oli tunnistettu useissa EU-maissa ja sen hallitsemiseksi on tehty paljon töitä. Olisi hyvä, jos erityisesti rakenteiden turvallisuuteen liittyvää kansainvälistä tutkimusta seurattaisiin Suomessa järjestelmällisesti. Turvallisuuteen liittyvien havaintojen levittämiseksi tulisi olla käytännöt. Onnettomuustutkintakeskus on suositannut ympäristöministeriölle tällaisten käytäntöjen kehittämistä Järvenpään urheiluhallin katon romahduksen tutkintaselostuksessa B1/2010Y². Siltojen osalta vastaava tehtävä voisi sopia Liikennevirastolle.

6.2 Vesitornien turvallisuuden hallinta

Tutkinnassa ilmeni, että vesitornien ikääntymisen ja muutosten hallinnassa olisi kehittämistä.

Vesilaitosyhdistyksen tulisi yhdessä Kuntaliiton kanssa huolehtia siitä, että perustiedot Suomessa olevista vesitorneista kootaan yhteen. Näiden tietojen avulla tulisi viestiä vesihuoltolaitoksille kohdennetusti vesitornien asianmukaisesta kunnossapidosta, turvallisuudesta, hyvistä käytännöistä, teknisistä ongelmista ja niiden ratkaisuksista. [Y2012-02/S2]

Soveltuva tietojen kokoamispaikka voisi olla kehitteillä oleva vesihuollon tietojärjestelmä Veeti.

Rakenteiden kunnan arviointi ja parannustarpeiden kartoittaminen sekä näissä tarpeelliseksi nähtyjen toimien toteuttaminen tulisi tehdä määräajoin.

² Suositus B1/10Y/S1: Ympäristöministeriön tulisi kehittää yhdessä rakennusalan toimijoiden kanssa menettely, jossa tieto mahdollisista turvallisuuspuutteista saadaan leviämään kattavasti ja niin, että tieto toteutetuista toimenpiteistä saadaan kerättyä.

Järjestelmät tulisi tarkastaa keskeisiin suunnitteluperiaatteisiin peilaten merkittävien muutosten ja laajennusten yhteydessä. Samanlainen suunnitteluperustan arviointi tulisi muutoinkin suorittaa yhteiskunnan kannalta kriittisille järjestelmille määrävälein. Näin järjestelmän, laitteiden ja rakenteiden suunnitteluperustiedot päivittyisivät ja hiljainen tieto siirtyisi uusille käyttäjille.

Järjestelmät tulisi tehdä vikasietoisiksi niin, ettei rakenne- tai järjestelmäviat vaaranna henkilöturvallisuutta tai aiheuta merkittäviä aineellisia vahinkoja. Suunnittelussa tulisi suosia passiivisia turvallisuusominaisuuksia kuten riittäviä ja säännöllisesti huollettavia ylivuotoputkia.

6.3 Muita huomiota ja ehdotuksia

Jännitettyjen teräsnippujen injektointi ei ollut täysin onnistunut sortuneessa vesitornissa, mikä myötävaikutti vaurion syntymiseen. Injektoinnin on todettu osittain epäonnistuneen myös silloissa. Injektointi ja sen onnistumisen tarkastus tulisi suorittaa huolellisesti ja soveltuvia teknisiä menetelmiä käyttäen, jotta tulokset vastaisivat suunniteltua.

Helsingissä 16.9.2013

Kai Valonen

Taneli Rasmus

Seppo Suuriniemi

LÄHDELUETTELO

1. Päätös tutkinnan aloittamisesta
2. Lausunnot tutkintaselostusluonnoksesta
3. Vesitornin rakennesuunnitelmat
4. Vesilaitoksen valvomon tallenteet
5. Paikkatutkinnan valokuvat ja mittaustiedot
6. Tyhjennys- ja puhdistusraportti
7. Kohteen kuntoarviot 2002 ja 2012
8. Hälytysseleste ja onnettomuusseleste pelastustoimen onnettomuus- ja resurssitietokanta PRONTOSTa
9. VTT:n tutkimusseleste jänneterästen tutkinnasta
10. Jyväskylän Energia Oy:n Vahanen Oy:llä teettämä selvitys sortumasta
11. Säteilysurvakeskuksen lausunto vesitornin turvallisuusjärjestelyistä
12. Lehti- ja referenssitietoja elementtirakenteisista vesitorneista ja KA-jännemenetelmästä
13. Bundesanstalt fuer Wasserbau: BAW-Brief Nr. 3, November 2006
14. Guenter Rombach: Spannbetonbau 2006, kohta "Spannungsrissskorrosion"

Liite 1. Yhteenveto tutkintaselostusluonnoksesta saaduista lausunnoista

Ympäristöministeriö

Ympäristöministeriön mukaan rakennejärjestelmän arvioimiseksi olisi perusteltua esittää rakennedetaljeja yksityiskohtaisemmin ja laajemmin, vaikka vaurion syy onkin melko ilmeinen. Joidenkin rakenneosien kestävyys ei ole selostusluonnoksessa otettu kantaa. YM tukee suositusta, jonka mukaan vetymurtumalle alttiit rakenteet tulisi kartoittaa, vaikka se onkin hyvin haasteellista. Selvitys- ja huolehtimisvelvoite on maankäyttö- ja rakennuslain mukaan ”niiden turvallisuudesta vastaavalla taholla” eli kiinteistönomistajilla.

Liikennevirasto

Liikennevirasto esittää, että tutkintaselostuksessa otettaisiin voimakkaammin kantaa injektointien onnistumisen todentamiseen ja sen tekniseen suorittamiseen esimerkiksi ainetta rikkomattomiin menetelmiin perustuvien laitteiden käytöllä.

Kuntaliitto

Kuntaliitto nostaa esille, että siltojen ja vesitornien lisäksi voi olla myös muita rakenteita, joissa saattaisi ilmetä vastaavanlaisia ongelmia. Kuntaliiton mukaan tutkintaselostuksessa olisi hyvä esittää maininta siitä, että ovatko nykyiset määräykset ja suunnitteluohjeet ajan tasalla vastaavanlaisten onnettomuuksien välttämiseksi. Kuntien siltojen osalta Kuntaliitto toteaa, että yhtenäisiä suunnitteluohjeita ei ole ja että niiden rakenteellisen turvallisuuden valvonta jää maankäyttö- ja rakennuslain soveltamisalan ulkopuolelle. Kuntaliiton mukaan olisi tarvetta lisäohjeistukselle vetymurtumalle alttiiden rakenteiden tunnistamiseksi. Kuntaliitto katsoo, ettei se ole luonteva taho vesitornien perustietojen keräämiseen ja ylläpitämiseen, mutta kannattaa vesitornien perustietojen keräämistä vesihuollon tietojärjestelmä Veetiin. Kuntaliiton rooliin sopii tiedon ja hyvien käytäntöjen välittäminen kuntiin.

Vesilaitosyhdistys

Vesilaitosyhdistyksen mukaan tutkintaselostus on kirjoitettu kiitettävän selkeästi. Vesilaitosyhdistys esittää tutkintaselostukseen lisäykset, jotka liittyvät onnettomuuden jälkeiseen tiedonkulkuun ja tekeillä olevaan ”Vesitornioppaaseen”. Vesitornien perustietojen keräämisestä annetusta suosituksesta Vesilaitosyhdistys toteaa, että tiedot olisi hyvä kerätä tulevaan vesihuollon tietojärjestelmä Veetiin. Tätä Vesilaitosyhdistys on esittänyt myös vesihuollon tiedonhallinnan kehittämisprojektin hankeryhmässä.

Jyväskylän Energia Oy

Jyväskylän Energia Oy nostaa esiin, että sillä oli syksyllä 2011 laadittu ja aikataulutettu viiden vuoden kierto perustuva ohjelma, jonka mukaan vesitornien rakenteet tarkistetaan ja tarvittavilta osin kunnostetaan. Lausunnossa nostetaan myös esille, että suurin haaste 1970-luvulla oli pumppaamon ja vesitornin välisen tietoliikenteen toimintavarmuus, minkä vuoksi ylivuotoputken välityskykyyn on kiinnitetty jo tuolloin huomiota. Järjestelmään tehdyt muutokset eivät missään vaiheessa olleet niin merkittäviä, että ne olisivat voineet aiheuttaa ylivuotoputken kapasiteetin ylittymisen. Lausunnon mukaan pinnanmittauslaitteen luotettavuutta ei ole ollut syytä epäillä eikä prosessiturvallisuus ole vaarantunut. Lausunnossa pidetään ensiarvoisen tärkeänä, että prosessiviasta aiheutuvan ylitäytön mahdollisuus sortuman syynä on arvioitu ja poissuljettu.