



Väli­raportti

B1/2010Y

Urheiluhallin katon romahtaminen Järvenpäässä 23.2.2010

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.

Onnettomuustutkintakeskus
Centralen för undersökning av olyckor
Accident Investigation Board

Osoite / Address: Sörnäisten rantatie 33 C **Address:** Sörnäs strandväg 33 C
FIN-00500 HELSINKI 00500 HELSINGFORS

Puhelin / Telefon: (09) 1606 7643
Telephone: +358 9 1606 7643

Fax: (09) 1606 7811
Fax: +358 9 1606 7811

Sähköposti: onnettomuustutkinta@om.fi tai etunimi.sukunimi@om.fi
E-post: onnettomuustutkinta@om.fi eller förnamn.släktnamn@om.fi
Email: onnettomuustutkinta@om.fi or first name.last name@om.fi

Internet: www.onnettomuustutkinta.fi

Henkilöstö / Personal / Personnel:

Johtaja / Direktör / Director Veli-Pekka Nurmi

Hallintopäällikkö / Förvaltningsdirektör / Administrative Director Pirjo Valkama-Joutsen
Osastosihteeri / Avdelningssekreterare / Assistant Sini Järvi
Toimistosihteeri / Byråsekreterare / Assistant Leena Leskelä

Ilmailuonnettomuudet / Flygolyckor / Aviation accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Air Accident Investigator Hannu Melaranta (vv.)
Erikoistutkija / Utredare / Air Accident Investigator Markus Bergman
Tii-Maria Siitonen

Raideliikenneonnettomuudet / Spårtrafikolyckor / Rail accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Rail Accident Investigator Esko Värttiö
Erikoistutkija / Utredare / Rail Accident Investigator Reijo Mynttinen

Vesiliikenneonnettomuudet / Sjöfartsolyckor / Marine accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Marine Accident Investigator Martti Heikkilä
Erikoistutkija / Utredare / Marine Accident Investigator Risto Repo

Muut onnettomuudet / Övriga olyckor / Other accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Accident Investigator Kai Valonen

ALKUSANAT

Pääosin salibandyn pelaamiseen käytetyn urheiluhallin katto romahti Järvenpäässä 23.2.2010. Hallissa olleista 15 henkilöstä kaksi loukkaantui lievästi.

Onnettomuustutkintakeskus asetti 1.3.2010 tutkintalautakunnan tutkimaan tapahtunutta. Tutkintalautakunnan puheenjohtajaksi nimettiin johtava tutkija DI Kai Valonen ja jäseniksi kehityspäällikkö DI Tapio Leino ja tutkija VTM Kari Ylönen.

Seuraavien viikkojen aikana tapahtui useita muita kattovaurioita, joita päätettiin käsitellä samassa tutkinnassa. Työn laajentumisen vuoksi tutkintalautakuntaan nimettiin uusiksi jäseniksi erikoistutkija DI Markku Korttesmaa ja erityisasiantuntija DI Seppo Suuriniemi. Uusien jäsenten työ kohdistui muiden kuin Järvenpään onnettomuuden tutkintaan.

Järvenpään paikkatutkinta tehtiin yhdessä Itä-Uudenmaan rikostutkintakeskuksen tutkijoiden kanssa. Tutkintaan antoivat apua myös Keski-Uudenmaan pelastuslaitos ja Rajavartiolaitos. Hittausliitoksia koskeva tutkimus teetettiin VTT:llä.

Tutkintalautakunta esittää tässä väliraportissa Järvenpään onnettomuuden tapahtumat ja taustatekijät. Väliraportti on osa myöhemmin valmistuvaa kokonaisuutta, jossa kaikki käsiteltävänä olevat tapaukset vedetään yhteen. Tärkein osa tutkintakokonaisuutta tulee olemaan turvallisuussuositukset, joita toteuttamalla vastaavanlaisia tapauksia voitaisiin välttää.

Onnettomuustutkinnan 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 johdopäätökset ja turvallisuussuositukset eivät muodosta olettamusta syyllisyydestä tai vahingonkorvausvelvollisuudesta.

Väliraportti ja sen verkkoliitteet julkaistaan internetissä osoitteessa www.onnettomuustutkinta.fi.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	3
1 URHEILUHALLIN KATON ROMAHTAMINEN JÄRVENPÄÄSSÄ 23.2.2010	5
1.1 Yleiskuvaus.....	5
1.2 Tapahtumien kulku.....	6
1.3 Pelastustoiminta ja poliisin toiminta	8
1.4 Olosuhteet	9
1.5 Onnettomuudesta aiheutuneet vahingot	10
1.6 Rakennus.....	10
1.6.1 Rakenteen kuvaus	11
1.6.2 Hallin suunnittelu ja toteutus	12
1.6.3 Havainnot katon romahtamisen jälkeen	14
1.6.4 Rakenteen yksityiskohtien tutkinta	19
1.6.5 Näytteiden tutkinta	22
1.6.6 Romahdusta edeltäneet havainnot.....	22
1.7 Analyysi	22
1.8 Vaurion syyt	24
1.9 Vastaavien onnettomuuksien estäminen	24

LIITTEET

Liite 1. Järvenpään urheiluhallin kuormat

Liite 2. Järvenpään urheiluhallissa havaitut muut suunnitteluvirheet ja puutteet

VERKKOLIITTEET

Verkkoliite 1. Järvenpään urheiluhallin pääkannattajien liitosten mitoitus

Verkkoliite 2. Järvenpään urheiluhallin ristikkorakenteiden mallinnus

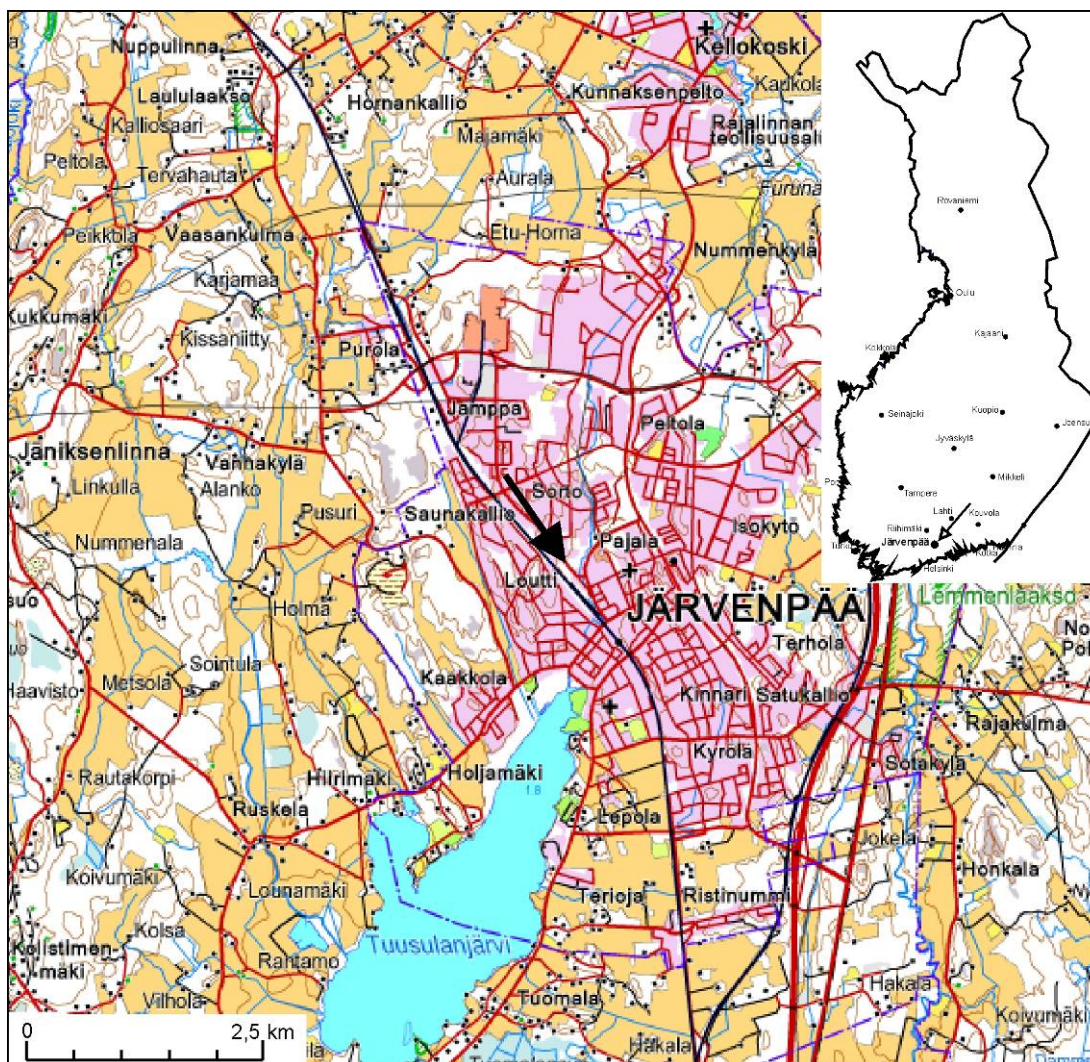
Verkkoliite 3. Järvenpään urheiluhallin hitsausliitosten tutkinta, VTT-R-05508-10

(Julkaistaan Onnettomuustutkintakeskuksen internet-sivuilla www.onnettomuustutkinta.fi)

1 URHEILUHALLIN KATON ROMAHTAMINEN JÄRVENPÄÄSSÄ 23.2.2010

1.1 Yleiskuvaus

Järvenpäässä tapahtui 23.2.2010 onnettomuus, jossa urheiluhallin katosta kaksi kolmasosaa sortui äkillisesti. Onnettomuuden tapahtuessa hallin sisällä oli 15 henkilöä, joista kaksi loukkaantui lievästi.



Kuva 1. Tapahtumapaikka. (Kartta: KTJ/Oikeusministeriö/MML)



Kuva 2. Onnettomuushalli. Kuva on otettu onnettomuutta seuraavana päivänä.

1.2 Tapahtumien kulku

Urheiluhallin ovet avattiin onnettomuuspäivänä kello 10. Paikkakunnalla oli hiihtoloma-
viikko, ja asiakasmäärä oli normaalia pienempi.

Onnettomuuden tapahtuessa hallissa oli 15 henkilöä. Kaksi hallin henkilökuntaan kuulu-
vaa miestä oli eteläpäädyssä olevan pääoven vieressä vastaanotto- ja kahviotiloissa.
Heidän lähellään oli virvoitusjuomayhtiön laiteasentaja. Neljä poikaa oli pelaamassa sa-
libandyä pääovelta katsoen hallin oikealla puolella olleella salibandykentällä pääoven
puoleisessa päädyssä. Yksi mies oli juuri tullut salibandykentälle sen keskiosaan. Hänen
pelikaverinsa oli vielä pukuhuoneessa. Sulkapallokentillä oli kuusi miestä pelaamassa
pareittain kentillä 2, 3 ja 5.

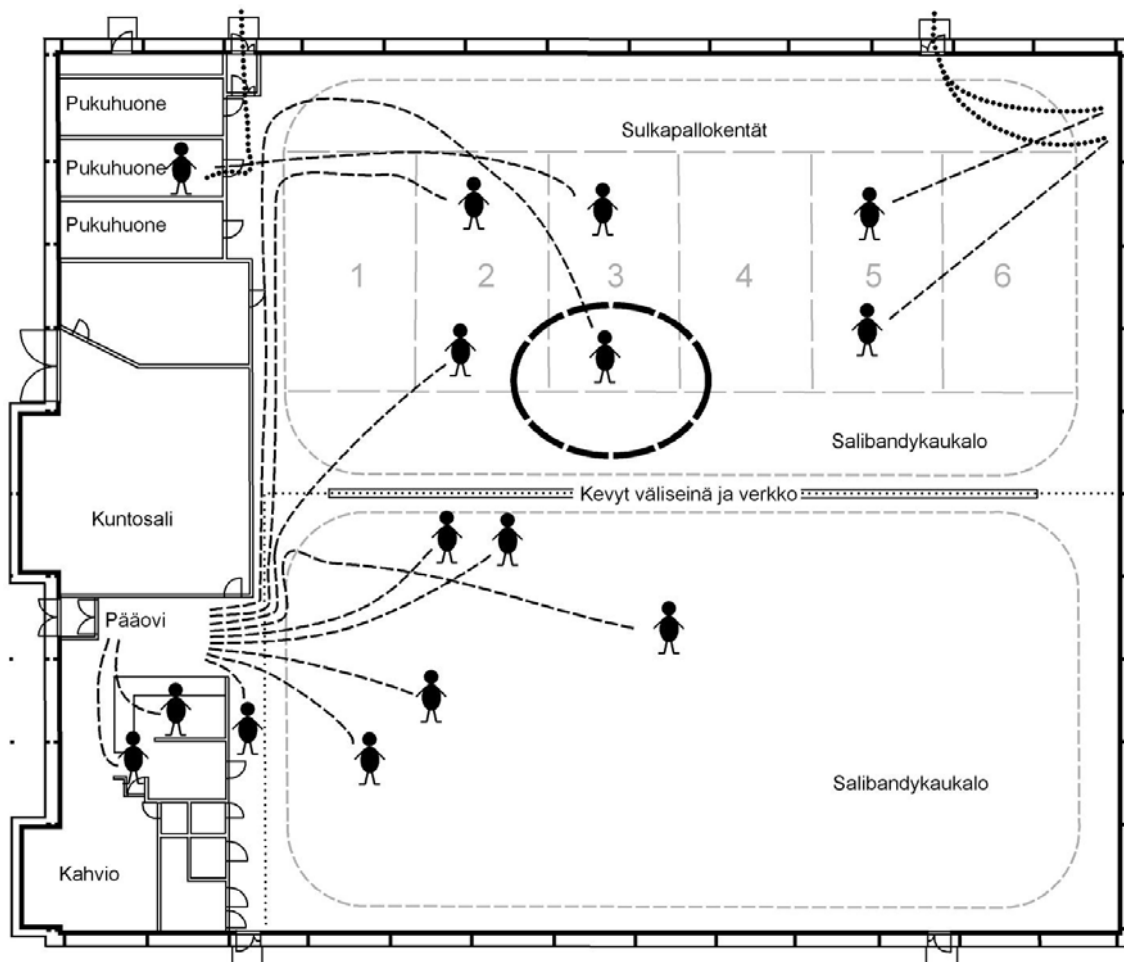
Hallissa sisällä olleiden mukaan hallin katon keskiosasta sulkapallokenttien puolelta
kuului kova pamaus. Kaikki pelikentillä olleet kuulivat äänen. Pamauksen jälkeen oli ollut
parin sekunnin tauko, jonka jälkeen kuului toinen vastaavanlainen pamaus ja hallin katto
alkoi painua alas.

Hallin keskiosan katto romahti alas muutamassa sekunnissa. Hallin molemmat päädyt
jäivät pystyyn. Hallissa olleiden mukaan sortuma näytti alkaneen pääovelta katsoen hal-
lin keskilinjan vasemmalta puolelta, vähän rakennuksen keskiosasta pääovelle päin.

Kahviossa ja salibandykentällä olleet kahdeksan henkilöä poistuivat suoraan lähistöllä
olleen pääoven kautta. Sulkapallokentällä 5 olleet kaksi henkilöä väistivät putoavaa kat-
toa hallin takapäädyn suuntaan. He yrittivät poistua sulkapallokenttien puoleisesta va-
rauloskäynnistä, mutta ovi ei auennut, joten he päättivät jäädä odottamaan pelastuslai-
toksen tuloa.

Pukuhuoneen ovella ollut henkilö vetäytyi takaisin pukuhuoneeseen ja soitti hätäkeskuk-
seen. Yksi sulkapallon pelaajista juoksi samaan pukuhuoneeseen.

Sulkapallokentällä olleet kolme henkilöä juoksi kuntosalin seinän viereen ja jäi osittain katosta putoavien tavaroiden alle. Kaksi heistä loukkaantui, mutta kaikki pystyivät poistumaan kontaten ja kävelen pääoven kautta omatoimisesti.



Kuva 3. Henkilöiden sijainnit ja poistumisreitit. Katkoviiva tarkoittaa kiireellistä ja välitöntä poistumista ja pisteviiva pienellä viiveellä tapahtunutta kiireetöntä poistumista. Hallissa olleet havaitsivat sortuman alkaneen kuvan keskiosaan merkityssä kohdassa.



Kuva 4. Hallin katto painui lattiaan asti hallin keskilinjalla (kuvassa vasemmalla), mutta seinän viereen jäi tilaa. Kuva on kadun puoleisesta osasta. (Kuva: poliisi.)



Kuva 5. Halli ja sen ympäristö helikopterista kuvattuna. Alaosassa on Järvenpään lukio ja yläosassa päärata. Pohjoinen on kuvassa oikealla. (Kuva: rajavartiolaitos.)

1.3 Pelastustoiminta ja poliisin toiminta

Itä- ja Keski-Uudenmaan hätäkeskus sai ensimmäisenä hallin sisältä ulos tuleen laiteasentajan tekemän hätäilmoituksen kello 13.24.03. Ilmoituksen mukaan hallin katto oli juuri romahtanut alas. Ilmoittaja pystyi kertomaan tarkan katuosoitteen. Noin neljän mi-

nuutin pituisen puhelun aikana soittaja arvioi sisälle mahdollisten jääneiden määräksi 1–4 henkilöä. Kaikkiaan hätäkeskukseen tuli neljä hätäilmoitusta, joista yksi tuli hallin sisältä pukuhuoneessa olleelta.

Hätäkeskuspäivystäjä valitsi tehtävätyypiksi *räjähdys/sortuma - suuri* ja hälytti Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen määrittelyn mukaisesti komppanialähdön kello 13.24.57. Komppanialähtö tarkoitti tässä tapauksessa sitä, että onnettomuuspaikalle hälytettiin kymmenen pelastusyksikköä ja lisäksi tukiyksiköitä. Sairasautoja hälytettiin kymmenen.

Ensimmäisenä paikalle tuli kello 13.30.21 pelastusyksikkö Järvenpään paloasemalta, joka on 1,5 kilometrin päässä onnettomuuspaikalta. Palomiehet opastivat hallin sisällä vielä olleet kaksi miestä turvallista reittiä ulos radan puolella takakulmassa olleen oven kautta. Oven avaamiseen tarvittiin rautakankea. Muille kiireellisille pelastustoimille ei ollut tarvetta.

Poliisista paikalle tuli useita yksiköitä sekä järjestyspoliisista että tutkinnasta. Tekniseen tutkintaan osallistui sekä Keski-Uudenmaan että Itä-Uudenmaan tekninen rikostutkimuskeskus. Tutkintalautakunnalla on ollut käytössään poliisin ottamat valokuvat.

1.4 Olosuhteet

Urheiluhallissa oli tavanomainen arkipäivä sillä poikkeuksella, että asiakasmäärä oli hiihtolomaviikon vuoksi jonkin verran pienempi kuin muulloin vastaavaan vuodenaikaan. Hallissa oli onnettomuuden aikaan yhteensä 15 henkilöä, joista yksitoista oli pelikentillä.

Sääolosuhteet

Onnettomuuden aikaan tuuli koillisesta ja tuulen nopeus oli noin 7 metriä sekunnissa. Aamupäivällä tuulen nopeus oli alhaisempi. Sää oli täysin pilvinen ja ulkoilman lämpötila oli noin –10 astetta. Sää oli lauhtumassa, sillä varhain aamulla lämpötila oli ollut alle –20 astetta. Ilmanpaine laski aamuyöstä alkaen ja oli onnettomuuden aikaan 993 hPa. Ilman suhteellinen kosteus oli hieman alle 90 %.

Katon lumikuorma

Talven aikana oli ollut poikkeuksellisen pitkä pakkasjakso. Lämpötila Järvenpäässä oli pysytellyt kahden kuukauden ajan pakkasella, eikä lumi ollut liukunut katolta alas kertaakaan tänä ajanjaksona. Lunta ei myöskään ollut poistettu katolta.

Tutkintalautakunnan jäsen ja yksi poliisimies mittasivat katolla olleen lumen paksuuden noin kolmen tunnin kuluttua onnettomuudesta. Mittaukset tehtiin pelastuslaitoksen puomitikasautosta painamalla mittatikku kohtisuoraan katon lapetta vasten. Kussakin kohdassa mittauksia suoritettiin useita kertoja halkaisijaltaan noin puolen metrin alueelta. Katon pinta kaivettiin näkyviin molemmilta lappeilta yhdestä paikasta. Katon pinnalla ei ollut jäätä. Suurin osa lumesta oli tiiviiksi pakkautunutta. Tiiviin lumen pinnalla oli muutama senttimetri uutta lunta.

Lumen massan määrittämiseksi kolmannen mittauspaikan kohdalta otettiin eri lumen kerroksia mahdollisimman hyvin edustava näyte 50 litran vetoiseen astiaan. Lumen massaksi vaaka näytti 15,5 kg, josta lumen keskimääräiseksi tiheydeksi saatiin 310 kg/m^3 .

Kadun puoleisella lappeella lunta oli laajalla alueella noin 35–40 cm, josta edellä esitetyn lumen keskimääräisen tiheyden perusteella lumikuorma oli suuruusluokkaa $100\text{--}130 \text{ kg/m}^2$. Räystäään ja harjan lähellä lumen määrä oli tätä vähäisempi.

Radan puoleisella lappeella lunta oli mitatulla alueella noin 45–55 cm, josta edellä esitetyn tiheyden avulla saadaan lumikuormaksi $140\text{--}170 \text{ kg/m}^2$. Kohdassa, jossa onnettomuuspaikalta otetuista kuvista mittaamalla näyttäisi lunta olleen noin 70 cm, lumikuorma on voinut olla yli 200 kg/m^2 .

Suomen ympäristökeskuksen mukaan lumikuorma katolla Tuusulanjärven alueella oli onnettomuuden aikaan 166 kg/m^2 .

1.5 Onnettomuudesta aiheutuneet vahingot

Sisällä olleista henkilöistä kaksi loukkaantui lievästi¹. Usean henkilön silmiin ja hengityselimiin meni puhallusvillapölyä.

Halli tuhoutui korjauskelvottomaksi. Uuden vastaavanlaisen hallin rakentamiskustannukset ovat hallin omistajan mukaan noin 2,5 miljoonaa euroa.

Onnettomuudesta ei aiheutunut ympäristövahinkoja.

1.6 Rakennus

Urheiluhalli oli rakennettu vuonna 2001. Hallissa oli kuntosali, kabinetti- ja saunaosasto, toimistohuone, varastohuone, yleisövässat, lämmönjakohuone, ilmanvaihtokonehuone kahvio sekä kaksi salibandykenttää, joista toisen sisällä oli kuusi sulkapallokenttää. Tiiloissa toimi autokoulu muutamana päivänä viikossa.

¹ Loukkaantumisten määrittelyssä käytetään vakiintunutta ilmailuonnettomuustutkinnan käytäntöä, joka perustuu kansainvälisen siviili-ilmailusopimuksen liitteeseen 13. Kuolleeksi määritellään henkilö, jonka onnettomuudessa saama vamma johtaa kuolemaan 30 päivän kuluessa onnettomuudesta. Vakavasti loukkaantunut on henkilö, jolla on:

- vamma, joka vaatii yli 48 tunnin mittaista sairaalahoitoa, joka alkaa seitsemän päivän kuluessa vamman saamisesta
- luunmurtuma (lukuun ottamatta vähäisiä murtumia sormissa tai varpaissa taikka nenässä)
- vakavaa verenvuotoa tai vakavia hermo-, lihas- tai jännevammoja
- sisäelinvammoja
- toisen tai kolmannen asteen palovammoja tai palovammoja, joiden laajuus on yli 5 % ihosta
- tartuntaa aiheuttaville aineille altistumisesta aiheutunut tulehdus
- säteilyvamma
- syövyttävälle tai myrkyllisille aineille altistumisesta aiheutunut vamma.

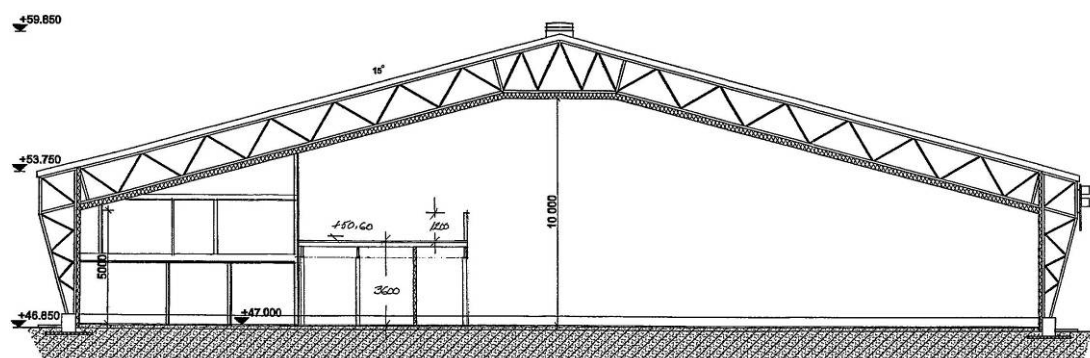
Lievästi loukkaantunut on henkilö, jolla on yllä lueteltuja vähäisempiä vammoja, jotka kuitenkin vaativat hoitoa sairaalan ensiavussa, onnettomuuspaikalla tai lääkärin vastaanotolla tai aiheuttavat sairaspöissaoloja.

Hallin omistajan mukaan suurin sallittu henkilömäärä hallissa oli 1 400 henkilöä, jonka mukaisesti hallissa oli järjestetty yli tuhannen hengen tilaisuuksia. Hakemusta kokoon-tumistilaksi ei rakennusvalvontaviranomaisen mukaan ollut tehty eikä suurinta sallittua henkilömäärää ollut virallisesti määritelty. Keskeiseksi poistumistieksi oli rakentamisvai-heessa suunniteltu suuret laakaovet. Niiden sisäpuolelle oli kuitenkin rakennettu ka-peammin ja osin sisäänpäin avautuvin ovin varustettu kuntosali, jolle rakennuslupa haetiin jälkikäteen. Kuntosalin rakentamisen jälkeenkin paloturvallisuusmääräysten mukaan laskettu suurin sallittu henkilömäärä olisi ollut selvästi yli tuhat.

1.6.1 Rakenteen kuvaus

Rakennuksen pituus oli 52,5 metriä, leveys 42,5 metriä ja harjakorkeus noin 12,5 metriä. Hallin sisäkorkeus sivuseinien kohdalla oli 5 metriä ja hallin keskilinjalla 10 metriä. Hal-lissa oli harjakatto, jonka kaltevuus oli 15 astetta.

Kantavana runkona oli 14 teräsrakenteista 2-nivelkehää, jotka koostuivat ristikkoraken-teisista pilarielementeistä, harjaelementistä ja kahdesta kattoa kannattelevasta 1,5 met-riä korkeasta ristikkoelementistä. Pilariosat olivat seinien ulkopuolella. Pääkannattajien kokonaispituus ja samalla hallin jänneväli, jolta kertyy lumikuormaa, oli noin 45 metriä (kuva 6). Kehäväli oli neljä metriä. Harjan kohdalla alapaarteiden päällä oli rakennuksen ullakon pituinen kulkusilta.



Kuva 6. Hallin leikkauskuva.

Rakennuksen päädyissä oli tikapuita muistuttavat vierendeel-pääty pilarit. Kattotasossa oli päädyissä jäykistysristikot. Kattopintaa kannattelivat 150 mm korkuiset teräshattuor-ret. Teräsorsien pituudet vaihtelivat yksiaukkoisesta (4 metriä) kaksiaukkoisiin (8 met-riä).

Alakattoa tukivat puiset alaspäin käännetyt T-orret, jotka toimivat myös ristikoiden kie-pahdussiteinä. T-orret oli ripustettu ristikkojen alapaarteeseen hitsatuista teräslapuista läpimpultiliitoksen avulla. Katon ulkopinta oli muovipintaista teräsohutlevyä, jonka profiilin korkeus oli 31 mm. Myös sisäkatto oli ohutlevyä. Yläpohjan lämmöneristys oli ristikoiden alapaarten tasossa.

Seinät olivat vain itsensä kantavia paneelielementtejä, joiden pinnat olivat teräsohutte-levyä ja niiden välissä oli villaeriste. Elementin paksuus oli 125 millimetriä. Pitkillä seinälin-

joilla oli yksi vaakasuuntainen tukipalkkilinja. Lattia oli maanvarainen teräbetonilaatta. Laatan päällä oli pelialustana saumattu muovimatto. Lattiavalun alla oli teräskehärakenteisiin kuuluvat vetotangot.

1.6.2 Hallin suunnittelu ja toteutus

Hallin omistajana oli kolmen yksityishenkilön omistama urheiluhallitoimintaa harjoittava yritys. Omistajat tilasivat hallin pystytettynä kotimaiselta hallitoimittajalta vuonna 2000. Hallien toimittaminen oli kyseisen toimittajan pääliiketoimintaa, jota se oli tehnyt enenevässä määrin perustamisajankohdasta eli vuodesta 1989 lähtien. Yritys oli toimittanut rakenteeltaan vastaavanlaisia halleja satoja. Yrityksen omistusjärjestelyt ovat sittemmin muuttuneet ja hallien rakenne on pääosin erilainen.

Toimittajan suunnittelijat huolehtivat rakennesuunnittelusta pois lukien perustussuunnittelu, jonka teki alihankintana toinen suunnittelyyritys. Teräsrakenteet suunnitelleella suunnittelijalla oli konetekniikan diplomi-insinöörin koulutus ja Teräsrakenneyhdistyksen myöntämä teräsrakennesuunnittelijan pätevyys. Hän oli suunnitellut tällaisia halleja yli 15 vuoden ajan.

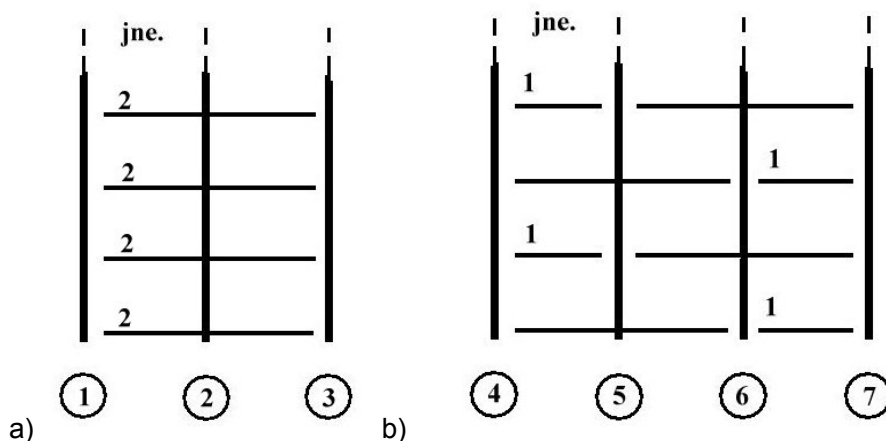
Teräsrakenteet valmisti hallitoimittajan konepajapiirustusten mukaisesti kotimainen konepaja. Pystytyksen teki alihankintana eri yritys. Näiden eri yritysten yhteistyö oli jatkuvaa, joten vastaavalla tavalla on rakennettu lukuisia muita halleja. Hallitoimittajalla oli tarjolla erikokoisia halleja asiakkaan toiveiden mukaan. Kukin halli suunniteltiin erikseen, vaikka aikaisempia suunnitelmia käytettiin hyödyksi. Kuitenkin esimerkiksi samankokoisia maneesoja toimitettaessa samoja suunnitelmia saatettiin käyttää sellaisenaan. Joissakin tapauksissa aikaisempia rakennesuunnitelmia korjattiin kertoimien avulla, kun esimerkiksi lumikuormavaatimus oli rakennuspaikan sijainnista johtuen erisuuruinen.

Teräsrakenteiden pystytystapa oli sellainen, että kehät koottiin maassa mahdollisimman isoiksi kokonaisuuksiksi, jonka jälkeen ne nostettiin lohkoina ylös ja liitettiin ruuviiliitoksilla. Alapaarteissa käytettiin kahta paksuudeltaan 24 mm ja lujuusluokaltaan 10.9 olevaa ruuvia. Kattoa tukevana rakenteena käytettiin hallin päätyjen alueella (esimerkiksi kehien 1–3 väleissä, kuva 7a) 2-aukkoisia hattuorsia. Keskimmäisten lohkojen alueella (esimerkiksi kehien 4–7 välit, kuva 7b) käytettiin 1- ja 2-aukkoisia orsia limitettyinä siten, että lumikuorma jakautui kehille tasan. Eri lohkojen väliin (esimerkiksi kehäväli 3–4) asennettiin yksiaukkoiset hattuorret. Asennustavalla voitiin minimoida korkealla tehtävän työn osuus.

Kuva 8 esittää erään toisen vastaavanlaisen hallin asennustapaa. Siinä näkyy sekä kolmen (päätylohko) että neljän kehän muodostamia lohkoja, jotka on nostettu pystyyn. Lohkojen väleihin ei ole vielä asennettu kaikkia 1-aukkoisia hattuorsia.

Järvenpään hallin pääkannattajien rakenneanalyysi oli tehty ei-kaupallisella 2D-ristikkoanalogiaan perustuvalla tietokoneohjelmalla. Siinä kaikki sauvaelementit kuvattiin päistään nivelellisinä vetoa ja puristusta kestävinä putkipalkkeina. Ohjelmaan ei syötetä solmupisteiden koordinaatteja vaan sauvojen alku- ja loppupisteiden numerot sekä sauvan pituuden x- ja y-komponentit. Nämä lähtötiedot ovat laskennan kannalta riittävät,

mutta epähavainnolliset ja lähes mahdottomat tarkastaa. Ohjelma ei sisällä rakenneosien tai liitosten mitoitusvaan se tehtiin käsin. Suunnittelussa tehdyssä rakennepuhtausanalyysissä ei ole käsitelty sauvojen taivutusta, vääntöä, epäkeskeisyyksiä tai rakennuksen pituussuuntaisia rasituksia tai kuormia. Näitä ilmiöitä on osin käsitelty käsin laadituissa mitoituslaskelmissa. Ristikkoanalogian käyttöä on käsitelty tutkintalautakunnan verkkoliitteessä 2.



Kuva 7. Katto-orsien sijoittelu pääkannattajakehien väleihin ylhäältä katsottuna: a) päädyissä ja b) keskellä.



Kuva 8. Vastaavanlaisen hallin asennustapa.

Rakenteen omana painona oli suunnittelussa käytetty arvoa $0,3 \text{ kN/m}^2$ ja lumikuormana normien mukaan Järvenpäässä sovellettavaa arvoa $2,0 \text{ kN/m}^2$. Romahtaneen hallin suunnitelmat koskivat ilmeisesti alun perin eri hallia, koska pilareiden ristikon jako-osia oli suunnitelmassa seitsemän, kun niitä oli todellisessa rakenteessa kuusi. Lähes kaikkien sauvojen nurjahduspituudet oli esitetty suunnitelmissa todellisia lyhyemmiksi.

Rasitetuin pääkannattajakehä oli päädyistä seuraava kehä hallin molemmissa päissä, koska se oli 2-aukkoisten orsien keskituki. Sen kehän kuormituksia laskettaessa olisi pitänyt ottaa huomioon keskitukivaikutus, jonka vuoksi kuormitus oli tasaisesti jakautuneeseen kuormaan verrattuna 1,25-kertainen. Sitä ei ollut otettu huomioon, mutta sortuma ei tapahtunut näiden kehien alueella.

Rakennusvalvonta

Rakentamisen viranomaisvalvonnasta vastasi Järvenpään rakennusvalvonta. Rakennusvalvonta piti rakennusta suuren koon ja rakenteiden vuoksi sellaisena, että valvonnassa oli syytä olla tarkempi kuin valvottaessa sellaista rakennushanketta, jossa jänneväli oli lyhyempi ja rakenne tutumpi. Rakennusvalvontaviranomainen vaati tavanomaisen asiakirjojen lisäksi rakennushankkeeseen ryhtyvältä teräsrakennesuunnittelijan pätevyystodistuksen ja teräsrakennetoimittajan laatutodistuksen. Rakennusvalvonta sai nämä asiakirjat.

Rakennusvalvonnan ensisijaisena pyrkimyksenä oli varmistaa rakennushankkeessa mukana olleiden pätevyys niin, että näillä oli edellytykset vaatimukset täyttävään rakentamiseen. Rakentamisen aikainen valvonta perustui pääosin vastaavan työnjohtajan pitämään rakennustyöpöytäkirjaan, jota rakennusvalvonnan mukaan pidettiin huolellisesti. Rakennusvalvonta piti myös joitakin katselmuksia, joista rakenteisiin liittyi rakennekatselmus. Sen merkinnät olivat vähäiset, eikä romahdukseen johtaneita puutteita havaittu. Katselmukset olivat luonteeltaan lyhyitä käyntejä työmaalla, joissa rakentamisen vaihe todetaan silmämääräisesti ja muun muassa rakennustyöpöytäkirjan perusteella tarkastellaan mahdollisia puutteita tai ongelmia.

1.6.3 Havainnot katon romahtamisen jälkeen

Rakennuksen päädyt ja kaksi niistä seuraavaa kehäväliä jäivät pystyyn (kuva 9). Sortuman tähän rajautumiseen todennäköisesti vaikutti se, että rakennuksen päädyistä alkoivat 2-aukkoiset hattutorret, joista kaikki päättyivät sortumissauman kohdalle. Sortuman puolelle jatkuvat hattutorret olivat yksiaukkoisia, ja ne jäivät roikkumaan toisesta päästään.

Katon junaradan puoleinen lape (kuvassa 9 takana) jäi katon sortuessa kadun puoleisen lappeen alle. Kehät olivat symmetrisiä, joten taaempi lape näyttää sortuneen edellä. Se viittaa sortuman alkukohdan sijaintiin radan puolella. Samaan viittaa radan puoleiselta lappeelta mitatut suuremmat lumen paksuudet.

Sortuneen rakennuksen purkutöiden aloitus viivästyi, ja se tehtiin huhtikuun 2010 puolivälissä. Rakennuksen purkutöiden yhteydessä tarkastettiin pilarin ja alapaarteen väliset liitokset, kattorakenteet sekä eristeiden ja katon ohutlevyjen purkamisen jälkeen lopuksi myös itse kattokannattajat. Rakennuksen rungossa todettiin seuraavia vaurioita:

- Rakennuksen pilareissa sisäpaarteen profiili oli monissa pilareissa puristunut kasaan kattokannattajan ja pilarin diagonaalien väliltä (kuva 10), ja pilari oli taitunut kyseisen liitoksen kohdalta.

- Kattokannattajan diagonaaleja oli repeytynyt paarreputkista pienahitsin sivusta. Osa paarteen pinnasta oli leikkautunut irti (kuva 11).
- Kattokannattajien diagonaaliliitoksissa näkyi myötövuaurioita ja erilaisia plastisia muodonmuutoksia (kuvat 12 ja 13).
- Kattokannattajien hitsausliitoksissa oli joitakin alimittaisia tai puutteellisia hitsejä, joista osat ovat irronneet, mutta joista ei kuitenkaan voi todeta sortuman alkaneen (kuva 14).
- Katon hattuorsissa oli sortumissaumojen kohdilla reunarepeytymiä, kiinnitysruuvien katkeamisia ei voitu havaita.



Kuva 9. Halli ylhäältä päin kuvattuna. (Kuva: pelastuslaitos 12.3.2010.)

Kaikki kattokannattajien alapaarteiden pultiliitokset olivat ehjiä, ja pulttien lujuusluokka oli kaikissa tarkastetuissa pulteissa 10.9. Joissakin alapaarrelliitoksissa havaitut vauriot hitseissä voivat olla syntyneet katon sortumisesta ja lattiaan iskeytymisestä. Myös ylös jääneiden kehien pilareissa oli havaittavissa kuvan 10 mukaisia kokoonpuristumia.

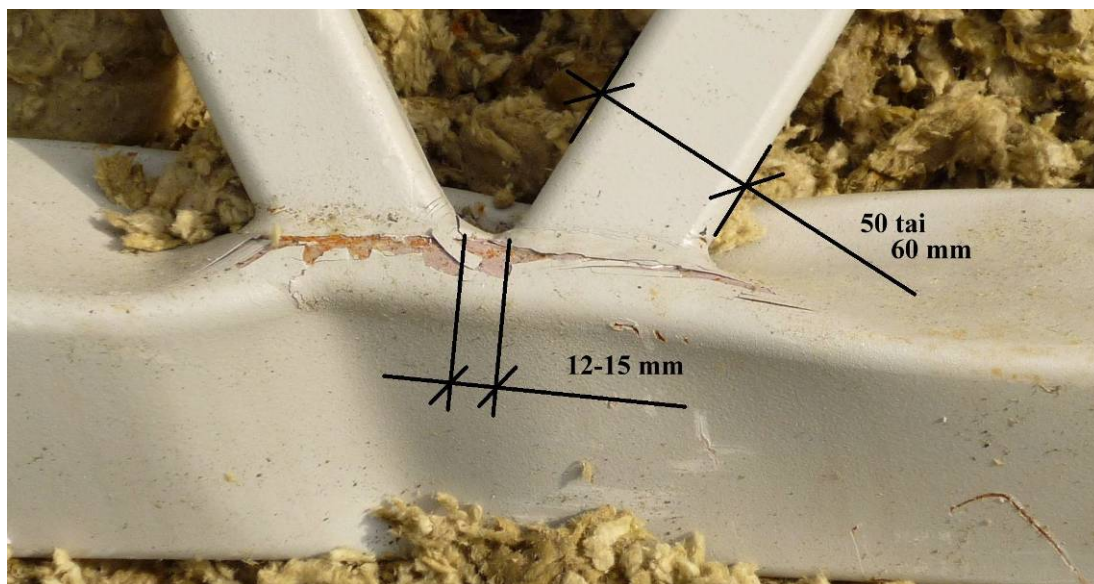
Rakenteista ei havaittu pilarien nurjahtamista ja kiepahtamista, sillä kaikki kehät olivat kohdillaan omassa tasossaan. Myöskään kattokannattajien kiepahtamisia (nurjahtamista sivusuuntaan) tai yksittäisten sauvojen nurjahtamisia ei havaittu. Poikkeuksena tähän olivat vauriot, joiden voitiin päätellä johtuvan katon putoamisesta ja iskeytymisestä maahan. Muita pääkannattajien hitsausliitosten pettämisiä ei havaittu kuin niitä, jotka olivat seurausta katon putoamiselle.



Kuva 10. Useimmat pilarit olivat puristuneet kasaan sen ja alapaarteen välisestä liitoksesta.



Kuva 11. Paarteista repeytyi irti diagonaaleja siten, että pala paartetta (tumma reikä) leikkautui irti ja jäi kiinni diagonaalien päähän. (Ari Rinne © 2010)



Kuva 12. Parreputken vaurioitunut diagonaaliliitos myötökuvioineen. Liitoksen vapaaväli oli 12–15 mm.



Kuva 13. Parreputken vaurioitunut diagonaaliliitos myötökuvioineen. Parreputki on olennavasti taittunut vasta katon sortuessa.



Kuva 14. Vaurioitunut jatkoshitsausliitos pääkannattajan yläpaarteessa harjan kohdalla.

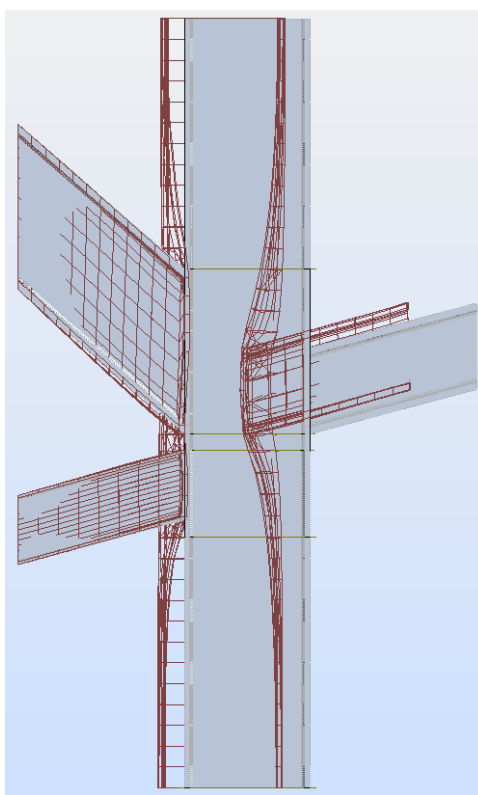


Kuva 15. Katon sortumisesta aiheutuneita vaurioita alapaarten liitoksessa.

1.6.4 Rakenteen yksityiskohtien tutkinta

Pääkannattajan alapaarteen ja pilarin välinen liitos

Onnettomuuden jälkeen oli havaittavissa, että pääkannattajan alapaarteen ja ristikkopilarin sisäpaarteen välinen liitos oli vaurioitunut. Alapaarteet olivat painaneet usean pilarin sisäpaarteen putkiprofiiliin kasaan (kuvat 10 ja 16). Pääkannattajan alapaarteen putkiprofiilin mitat olivat 100x100x8 mm ja pilarin putkiprofiilin koko 150x150x6,3 mm. Alapaarre oli hitsattu putkiprofiilin pintaan. Suunnilleen samaan kohtaan liittyvät myös ristikkopilarin kaksi diagonaalia (kuvat 10 ja 16). Liitoksesta ei ollut mitoitustuloksia eikä liitoksissa ollut jäykistelevyjä.



Kuva 16. Ristikkopilarin sisäpaarteen ja kattokannattajan alapaarteen liitos. Alapaarre on kuvassa oikealla.

Suurin alapaarteessa esiintynyt puristusvoiman laskenta-arvo oli tutkintalautakunnan tekemän rakennemallin mukaan noin 1 200 kN. Tämä suurin kuormitus syntyi tilanteessa, jossa kattoon kohdistui suurin normeissa määritelty kuorma. Rautaruukin putkipalkkikäsikirjan mukaan laskien alapaarteen ja putkipilarin liitoksen kestävyys oli 98,7 kN, jolla kuormalla rajoittavaksi tekijäksi tuli putkipilarin pinnan myötääminen. Liitoksen kestävyysien laskenta on esitetty verkkoliitteessä 1.

Tutkintalautakunta laati liitoksesta lisäksi rakennemallin, jonka avulla arvioitiin pilarin putkiprofiilin joustoa. Näin selvitettiin sitä, mitä vaikutusta putkiprofiilin kokoonpuristumi-

sella oli pääkannattajan alapaarteen puristusvoimaan. Kokoonpuristumista mallinnettiin vaakajousella, jolle määriteltiin liitoksen alkujäykkyyttä kuvaava jousivakio.

Tarkastelun tuloksena oli, että putkipalkin kokoonpuristumisella ei ollut merkittävää vaikutusta pääkannattajan alapaarteen puristusvoimaan. Siten pilarin ja alapaarteen liitoksen kestävyyttä oli mahdollista tutkia erikseen, kuten putkipalkkikäsikirjan mukaisessa tarkastelussa oli tehty. Tarkastelussa voitiin todeta, että liitoksen kestävyys oli huomattavasti todellista puristusvoimaa alempi.

Pääkannattajan diagonaalien liitokset

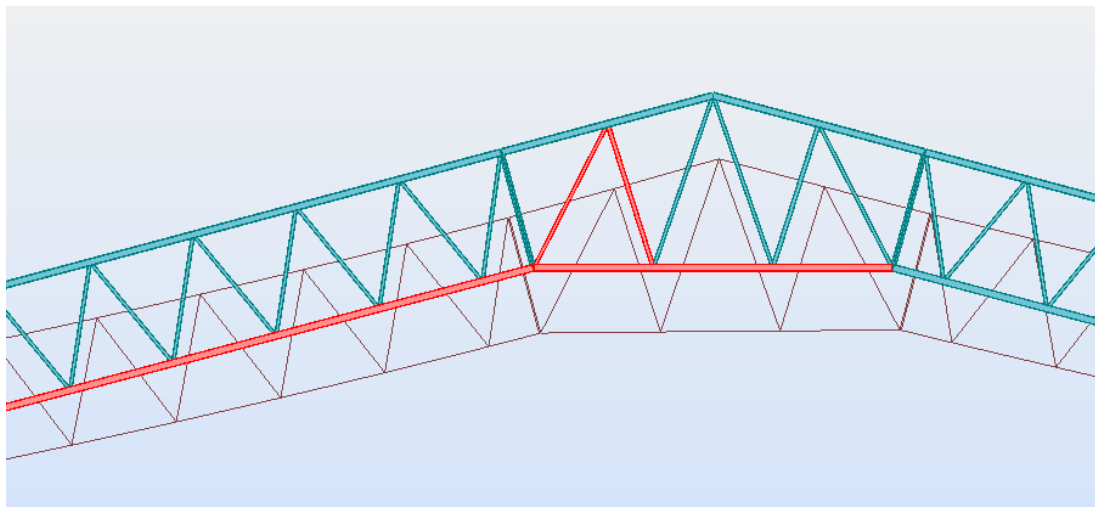
Edellä kuvattu pilarin sisäpaarteen putkiprofiilin painuminen kasaan aiheutti muutosta kattokannattajan ja pilarin väliseen kulmaan. Kulmamuutos aiheutti 45 metrin pituiseen kattokannattajaan lisää taipumista ja muutoksia rakenneosien rasituksiin. Tätä taipumista ei ollut otettu huomioon teräsrakenteiden suunnittelussa. Tutkintalautakunnan rakennemallin mukaiset rasitetuimmat pääkannattajan kohdat on esitetty punaisella kuvassa 17.

Tutkintalautakunnan rakenneanalyysin mukaan pilariprofiilin kokoonpuristumisen vaikutus pääkannattajan harjan kohdan taipumaan oli suhteellisen pieni, jos putkipilarille arvioitu jousivakio säilyy vakiona. Todellisuudessa pilarin kokoonpuristumisjäykkyys muuttuu putken pinnan myötäessä. Taulukossa 1 on kokeiltu eri jousivakioiden vaikutusta pääkannattajan diagonaaleissa vaikuttaviin voimiin.

Taulukko 1. Pilarin kokoonpuristumisen vaikutukset pääkannattajassa.

Laskelmissa sovellettu pilari/alapaarteliitoksen jäykkyys	Pääkannattajan harjan taipuma [mm]	Alapaarteen vetovoima putkessa 100x100x3		Harjalementin diagonaalien rasitukset	
		Lapeella [kN]	Harjalem. [kN]	50x50x3 [kN]	60x60x3 [kN]
Alkuperäinen ideaalinen kokoonpuristumaton rakenne	15,7	303	184	-136	119
Pilarin ja alapaarteen välissä alkujäykkyys k	17,7	321	200	-141	122
Liitoksessa käytetty jousivakiolle arvoa k/2	18,6	339	216	-146	126
Liitoksessa käytetty jousivakiolle arvoa k/10	25,2	465	332	-179	149

Kattokannattajan alapaarteet lappeen puolivälistä harjalle oli tehty rakenneputkesta 100x100x3. Muualla ainepaksuutena oli ollut joko 6 tai 8 mm. Kattokannattajan diagonaaleista neljännes oli tehty putkiprofiileista 60x60x3, esimerkiksi kuvassa 17 oikealle laskeva punainen diagonaalisauva. Noin puolet diagonaaleista oli tehty 50x50x3 putkiprofiileista, esimerkiksi kuvassa 17 oikealle ylviistoon nouseva punainen diagonaali. Loput oli tehty isommista putkiprofiileista.



Kuva 17. Katon pääkannattajan eniten rasitetut diagonaalit ja paarteet (punaisella).

Diagonaalien pituudella on oleellinen vaikutus niiden kestävyteen nurjahduksen suhteen. Kattokannattajan tasakorkealla osalla diagonaalien nurjahduspituutena voitiin käyttää arvoa 1,67 metriä. Kun diagonaalisauvojen teräsmateriaali oli teräslajia S355, saatiin 60x60x3 mm diagonaalisauvojen vetokestävyudeksi 241 kN ja puristuskestävyydeksi 170 kN. Vastaavasti 50x50x3 mm diagonaalisauvojen vetokestävyudeksi saatiin 199 kN ja puristuskestävyydeksi 111 kN. Harjaelementissä diagonaalit olivat pidempiä, ja niiden puristuskestävyys on pienempi.

Diagonaalit liittyivät hitsausliitosten välityksellä yläpaarteeseen ja alapaarteeseen. Edellä esitetyt diagonaalien kestävydet antoivat lähtökohdan arvioida diagonaalien liitosten kestävyksiä. Rautaruukin putkipalkkikäsikirjan mukaan lasketut liitosten kestävydet on esitetty taulukossa 2. Laskelmat ovat verkkoliitteessä 1.

Taulukko 2. Putkiliitosten kestävydet, kun paarteeseen liittyy diagonaalit 50x50x3 ja 60x60x3. Paarteen ainepaksuus on 3 mm.

Murtotapa	Kestävyys [kN]
Paarteen pinnan myötö	64,9
Paarteen leikkauslävistyminen	135,6

Taulukon 2 kestävyysarvoista nähdään, että ohuiden diagonaalisauvojen liitokset oli tehty tavalla, jossa liitoksen kestävyys oli selvästi pienempi kuin itse diagonaalisauvan nurjahduskestävyys.

Diagonaalien ja paarteiden välisissä liitoksissa diagonaalien vapaaväli (kuva 12) oli noin 15 mm, mikä on pienempi kuin Rautaruukin putkipalkkikäsikirjan mukaan tulisi olla. Pieni vapaaväli korostaa liitoksen herkkyyttä paarteen pinnan leikkautumiselle, jolloin liitoksen kestävyys voi olla paljon laskettua huonompi. Kuvissa 12 ja 13 näkyy paarteen pinnan myötökuvioita niissä tapauksissa, missä paarteen pinnan myötö ei ole johtanut irtileikkautumiseen.

Niissä kohdissa, joissa diagonaali kiinnittyi alapaarteeseen jatkoksen viereen, paarteeseen pintaan ei ollut mahdollista syntyä tyypillistä myötökuvioita eikä myötökestävyyden laskentakaava ole voimassa. Alin muu mahdollinen kestävyysarvo koskee paarteeseen pinnan leikkauslävistymisen kestävyyttä, joka on taulukon 2 mukaisesti 135,6 kN.

1.6.5 Näytteiden tutkinta

Tutkintalautakunta otti haltuunsa purkutyön yhteydessä teräsrakenteista kolme alapaarteeseen liitosta, kolme hitsattua jatkoskohtaa harjalta, yhden irronneen diagonaalin pään, yhden alapaarteeseen jatkoskohdan, yhden hattutorren kappaleen ja kolme yläpaarteeseen sormiliitosta. Näytteet toimitettiin VTT:lle, jonka hitsausliitoksia koskeva tutkimusraportti on verkkoliitteenä 3. Tutkimuksen mukaan hitsausliitoksissa oli vakavia hitsausvirheitä eikä hitsien voida sanoa edustaneen hyvää konepajakäytäntöä. Näytteiden tutkinnassa havaittiin muun muassa seuraavia seikkoja:

- vaurioituneita päittäishitsattuja putkipalkkien jatkohitsausliitoksia, joiden havaittiin murtuneen hitsausliitoksen kohdalta täysin tai lähes täysin auki
- vaurioituneita pienahitsattuja sormi/nivelliitoksia ja diagonaaliliitoksia, joissa hitsausliitosten havaittiin murtuneen täysin
- lievästi vaurioituneita pienahitsattuja diagonaaliliitoksia, joissa havaittiin putkipalkin hitsin läheisyydessä deformatiivista plastista hitsin säröilleen, ilman että hitsi oli murtunut irti
- vaurioituneita pienahitsattuja sormi/nivelliitoksia, joista putkipalkki oli repeytynyt irti, mutta itse hitsausliitos ei ollut murtunut.

Hitsausvirheet eivät selitä sortumaa tai ole olleet suoranaisesti syynä tapahtuman alkamiseen, koska murtumat hitsausliitoksissa on voitu paikkatutkinnassa päätellä syntyneen sortuman seurauksena.

1.6.6 Romahdusta edeltäneet havainnot

Rakennuksessa oli havaittu aikaisempina vuosina teräsrakenteiden maalin irtoamista, seinäelementtien pullistumista, runsasta veden kondensoitumista yläpohjaan ja yhden pilarin pullistumista ilmeisesti sisään joutuneen veden jäätymisen vuoksi. Näillä ongelmilla ei ollut vaikutusta sortumaan. Varoittavia ääniä tai sortumaa ennakoivia teräsrakenteiden myötäämisiä tai repeämiä ei ollut havaittu.

1.7 Analyysi

Rakenteen omana painona suunnittelussa käytetty arvo $0,3 \text{ kN/m}^2$ ei vastannut todellista tilannetta. Se vastasi suuruusluokaltaan kattopinnan, orsien ja muiden rakenteiden massaa, mutta siinä tapauksessa teräskehien ja päädyissä alakaton tasossa olevien jäykistysristikoiden paino jäi suunnitelmissa ottamatta huomioon. Lisäksi alakaton kuormitus oli kohdistettu väärin. Katon orsien mitoituksessa ei ollut otettu huomioon kaikkia rasituksia, ja tuulikuormien käsittely oli ollut puutteellista.

Rakenteen kestävyys puolestaan oli yliarvioitu siten, että lähes kaikkien sauvojen suunnitelmissa esitetyt nurjahduspituudet olivat todellisia lyhyemmät. Pääkannattajien mitoituksessa ei ollut otettu huomioon alapaarteiden nurjahtamista sivulle, minkä voi päätellä orsien pitkistä väleistä (2,4 metriä). Kestävyys oli lisäksi yliarvioitu 10–15 prosentin verran, koska suunnittelussa on käytetty kylmämuovatuille teräsprofiileille soveltumattoman nurjahdusluokan taulukkoarvoja

Suunnittelussa käytetty ristikkoanalogia johti siihen, että kehien rakenneanalyseissä ei ollut otettu huomioon ylä- ja alapaarteina toimivien putkipalkkien jatkuvuutta ja siten taivutusmomenteja. Niveliksi suunnitelmissa kuvattujen liitosten ongelmana oli se, että niiden toimimista nivelellisesti ei ollut varmistettu.

Yksittäinen merkittävä ongelma oli se, että pilarin ja kattokannattaja välinen liitos oli jäänyt mitoittamatta (kuvat 10 ja 16). Liitoksen kestävyys oli merkittävästi siihen kohdistuvia voimia pienempi, joten liitos myöti.

Diagonaalisauvojen liitosten kestävyys olivat pienempiä kuin diagonaalisauvan nurjahduskestävyydet, joten rakenteen ensimmäinen vaurio tapahtui todennäköisesti liitoksessa. Rakenteessa ei ollut sen jälkeen riittävää tukea eikä kuormilla ollut mahdollisuutta uudelleenjakautumiseen.

Liitoksia oli vaurioitunut siten, että osa paarteen pinnasta oli leikkautunut irti. Sen oli aiheuttanut diagonaalissa vaikuttanut suuri aksiaalivoima (vetovoima) ja vähäinen taivutusmomentti. Todennäköisimmin irtileikkautumiseen vaikutti liitoksen suuri jäykkyys siellä, missä diagonaalien etäisyys toisistaan oli pieni sekä siellä, missä olivat paarteiden pulttiliitoksilla toteutetut jatkoskohdat. Näissä kohdissa paarteen yläpinta ei päässyt taipumaan ja joustamaan. Erityisesti paarteen jatkoskohdissa liitos oli erittäin jäykkä, jolloin diagonaalissa vaikuttava vähäinenkin todellinen taivutusmomentti saattoi johtaa leikkausmurron alkamiseen. Diagonaalien ja paarteen pinnan irtileikkautuminen vastaa havaintoja äkillisestä vauriosta ja siitä aiheutuneesta äänestä.

Edellä esitetty diagonaaliliitoksen leikkautumiseen liittyvän kestävyysarvo 135,6 kN vastaa diagonaalissa vaikuttavaa rasitusta, jos katolla olisi täysi lumikuorma. Sortumatilanteessa lumikuorma oli pienempi. Todellinen kestävyysarvo on ilmeisesti ollut olennaisesti pienempi, koska laskentakaavassa oletetaan paarteen jatkuvan samalla tavoin molempiin suuntiin. Silloin diagonaalissa mahdollisesti vaikuttavaa taivutusmomenttia ei tarvitse ottaa huomioon. Leikkauslävistyskestävyys oli joka tapauksessa liian pieni kestämään todellisia rakennuksen katolla vaikuttaneita kuormituksia.

Tutkinnan aikana nousi esiin pohdintaa lämpötilaerojen vaikutuksista rakenteisiin. Sortuma tapahtui talvella, jolloin kantavat rakenteet olivat osin kylmässä ullakkotilassa ja osin lämpöeristeessä. Lämpötilaero rakenteen eri osissa oli kuitenkin selvästi pienempi kuin sisä- ja ulkolämpötilojen erotus, ja kaikki rakenteen osat lyhenevät kylmän sään vaikutuksesta. Muista kuormituksista aiheutui selvästi isompia jännityksiä ja muodonmuutoksia kuin lämpötilaeroista. Talviaikainen kylmyys ei lisännyt alapaarteen vaurioherkkyyttä, koska se aiheutti alapaarteeseen vetoa siellä, missä lumikuormasta aiheutui puristusta. On epätodennäköistä, että lämpötilaeroilla olisi ollut oleellista vaikutusta tapah-

tumaan, koska lämpötilaeroista aiheutuvat lisäjännitykset ovat olleet vähäisiä. Tätä tukee se, että paikatutkinnassa todetut vauriot olivat niissä kohdissa, joissa rakenne ei täyttänyt ohjeissa esitettyjä vaatimuksia.

1.8 Vaurion syyt

Rakennesuunnittelussa oli tehty virheitä aliarvioimalla kuormia, yliarvioimalla kestävyys- ja käyttämällä matalalle ristikolle huonosti soveltuvaa ristikkoanalogiaa. Suunnittelussa oli jäänyt mitoittamatta pilarin ja kattokannattajan välinen liitos. Myös kattokannattajan diagonaalien ja paarteiden välisten hitsausliitosten ja putkipalkin ainesvahvuuden mitoittaminen oli puutteellista.

Sortumaan johtanut vaurioituminen alkoi muodonmuutoksina pääkannattajakehän eri osissa, ja jatkui siten, että pääkannattajan diagonaaleja leikkautui irti alapaarteen pinnasta. Rakennuksen sortuminen johtui todennäköisesti diagonaalien liian suurista rasituksista, joita lisäsi putkipilarien sisäpaarteiden kokoon painuminen. Liitosten liian pieni kestävyys ja rasitukset pääkannattajan diagonaalisauvoissa aiheuttivat ohutseinäisen alapaarreputken pinnan irtileikkautumisen niissä kohdissa, joissa diagonaali liittyi alapaarteen jatkoksen viereen eikä paarteen pinta joutanut ja toiminut sitkeästi. Sitkeästi toimiva rakenne ei välttämättä sorru, mutta näin suunnitellussa rakenteessa yhdenkin liitoksen vaurioituminen ja irtoaminen laajenee laajamittaiseksi sortumaksi.

Rakennusvalvontaviranomainen tunnisti rakennuslupamenettelyn yhteydessä, että tämän suurehkon teräsrakenteisen hallin toteuttajien kelpoisuudesta tulisi varmistua tavanomaista tarkemmin. Suunnittelijan pätevyystodistuksen ja teräsrakennetoimittajan laatutodistuksen vaatiminen ei kuitenkaan riittänyt varmistamaan turvallista lopputulosta. Ulkopuolista tarkastusta ei vaadittu eikä sitä todettu, että yhden henkilön tuottamille suunnitelmille ei ollut ollut minkäänlaista tarkastusmenettelyä. Hallitoimittajan toimintamallina oli toistaa samoja rakenneratkaisuja kaikissa kohteissa, ja vastaavankaltaisia puutteita on todettu myös muissa halleissa.

Hitsausliitoksissa havaittiin puutteita, mutta niillä ei ollut suoranaista vaikutusta tapahtumaan.

1.9 Vastaavien onnettomuuksien estäminen

Suunnittelussa tapahtuvia virheitä voidaan pyrkiä havaitsemaan ja korjaamaan suunnittelun aikana erilaisilla tarkastusmenettelyillä. Sellaisia ovat esimerkiksi suunnittelevan yrityksen sisäiset menettelyt kuten valvotun laatujärjestelmän käyttö tai maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) mainittu ulkopuolinen tarkastus.

Lisää riskiä puutteellisista rakenteista syntyy silloin, kun samat rakenteet toistuvat useissa rakennuksissa. Turvallisuuden varmistamiseksi olisi eduksi, että ensimmäisille toteutettaville rakenteille tehtäisiin kattava tarkastus, mikä tarkoittaisi jonkinlaista tyyppihyväksyntää.

Uudistuotannon turvallisuuden varmistamisen lisäksi on kiinnitettävä huomiota olemassa olevaan rakennuskantaan, johon sisältyy onnettomuusriskejä. Näiden tunnistamiseen ja korjaamiseen ei ole muita vaihtoehtoja kuin rakennusten tarkastaminen. Siihen tulisi kuulua myös suunnitelmien tarkastus.

Rakennusvalvonta voidaan ymmärtää opastavaksi toiminnaksi, mutta myös mahdollisuudeksi tunnistaa erityisiä riskejä. Rakennusvalvontaviranomaisella ei yleisesti ole mahdollisuuksia perehtyä suunnitelmiin, joten valvonta on keskittynyt eri osapuolten pätevyyden selvittämiseen. Pätevyyksien selvittämisen lisäksi valvonnassa tulisi kiinnittää huomiota siihen, että suunnitelmien tarkastamiseksi on olemassa toimiva ja uskottava menettely. Erityisesti silloin, kun rakennushankkeeseen ryhtyvä ei ole ammattimainen rakennuttaja, sille pitäisi antaa selkeä viesti, että viranomaisvalvonta ei ole tae turvallisuudesta lopputuloksesta.

Liite 1. Järvenpään urheiluhalliin vaikuttavat kuormitukset

Rakenneanalyysissä on käsitelty seuraavia ominaiskuormitustapauksia:

- a) rakennuksen omapaino,
- b) lumikuorma koko katolla (kuva 1a),
- c) lumikuormatapaus 2 (kuva 1b), missä puolet lumesta liikkuvaa,
- d) rakennusta kaatava tuulikuorma vasemmalta (kuva 2), sekä sen vaihtoehtona
- e) rakennuksen pintojen normaalien suuntiin vaikuttava tuulikuormitus (kuva 3).

Kuormituksista puuttuu toisensuuntainen tuulikuormitus, eikä tuulikuormissa ole arvioitu rakennuksen tonttia ympäröiviä rakennuksia tai metsää. Kuormitukset on mitoituksessa yhdistelty käyttäen asianmukaisia Suomen RakMK:n osan B7 sääntöjä ja osavarmuuskertoimia. Kaikki edellä mainituissa kuormitustapauksissa käytetyt kuormat on laskettu kertyvän yhden kehävälän (4 m) levyiseltä alueelta. Kuormitusten käsittelyssä on ollut puutteita, joita käsitellään ohessa.

Rakenteen omana painona oli laskelmissa käytetty arvoa $0,3 \text{ kN/m}^2$. Katon paino oli toimituksen jälkeen kasvanut hieman alkuperäisestä katon eräiden rakennusfysikaalisten ongelmien korjauksen myötä (välikattoon oli lisätty eristyskalvoja ja jonkin verran eristettä), mutta käytetty arvo vastaa melko hyvin kattopintojen kokonaispainoa vaurion sattumisen aikaan. Paino sisältää eristeet ja suojakalvot, ohutlevyt (ulkopinta RAN 35R ja sisäpinta RAN 35B), kiinnikkeet ja ruuvit, pituussuuntaiset hattuurret noin 1,5 m välein sekä alakatossa sijaitsevat puiset T-orret noin 2,45 m välein (kuva 1).

Katon sisäpinta kannatetaan T-orsien avulla, ja katon ulkopintana oleva ohutlevy kannatetaan teräshattuorsien avulla. Molemmissa pinnoissa orret kiinnitetään pääkannattajaan parreputkien sivuihin hitsattujen reikälevyjen avulla. Alkuperäisissä lukuuslaskelmissa kaikki katon omapaino on syötetty pistekuormina yläpaarteen solmuihin.

Katon omassa painossa ei rakenneanalyysissä ole otettu huomioon teräsputkipalkeista tehdyn pääkannattajan omaa painoa eikä kattotasossa sijaitsevan jäykistysristikon painoa. Jäykistysristikko vaikuttaa niiden pääkannattajakehien (numerot 2 ja 13) kohdalla, josta löytyy määräävät kuormitukset. Rakenneanalyysi on tehty vain yhdelle kehälle, jonka pitäisi tällöin kuormitusmääräysten ja ohjeiden mukaan olla se kehä, mistä löytyy määräävät kuormitukset.

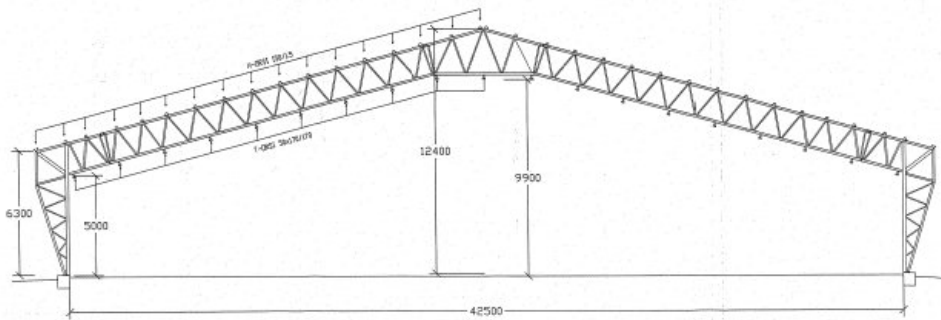
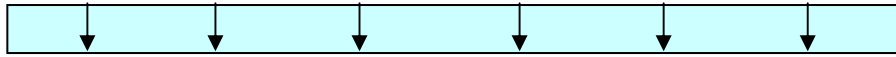
Lumikuorman ominaisarvona (Järvenpää) on käytetty arvoa $2,0 \text{ kN/m}^2$. Ominaisarvoa vastaavat rasitukset (kuva 1) tulee ohjeen RIL 144-1997 mukaan laskea alla esitetyillä kahdella tavalla:

Kuvassa 1 esitetyt kuormitusjakautumat perustuvat lumen liikkuvuuteen ja ovat seuraavat:

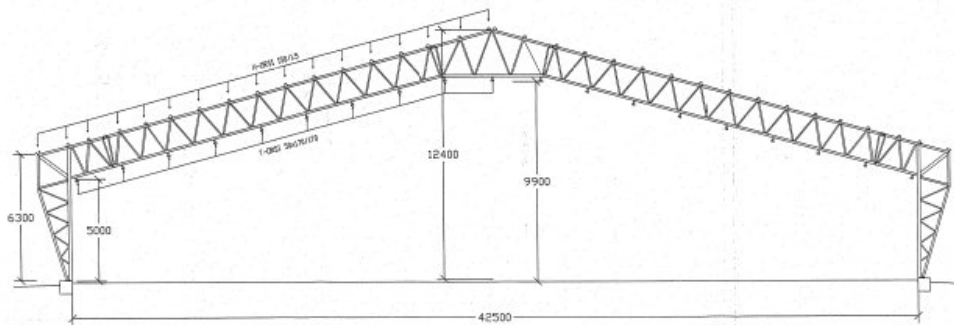
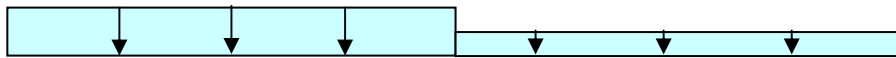
- a) oletetaan täyden pystysuoran lumikuorman jakautuvan katolla tasaisesti koko kattopinnalle (kuva 1a), tai
- b) oletetaan lumen jakautuvan toispuolisena lumikuormana siten, että toisella lappeella on täysi lumikuorma ja toisella vain puolet siitä (kuva 1b). Suomessa oletetaan lumikuormasta liikkuvaksi 50 %.

Liite 1

a)



b)



Kuva 1. a) tasaisesti jakautunut lumikuorma, b) toispuoleisesti jakautunut lumikuorma.

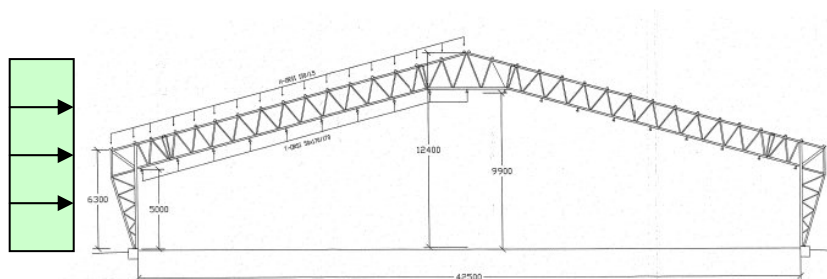
Kuvassa 1 esitettyjen perustapausten jakautumien ongelma on, etteivät ne ota huomioon katon kaltevuutta tai lumen paikallista kinostumista katon harjan läheisyyteen. Ohjeiden mukaan lumen kinostuminen tulee ottaa muotokertoimessa huomioon, mikäli katolla on erillisiä tuulen virtausta haittaavia esteitä. Rakennuksen harjaa ei Suomessa ole laskettu tällaiseksi esteeksi (muutoin kuin kaarikatoilla). Kinostuminen tulee erityisesti ottaa huomioon mm. kattopinnan mitoituksessa.

Lumen keskimääräinen paksuus sortuneen rakennuksen katolla oli enintään noin 45–50 cm, joka lumesta mitatun tiheyden (310 kg/m^3) perusteella vastaa tasaista kuormitusta $140\text{--}155 \text{ kg/m}^2$. Samaa aikaan muualla Uudellamaalla suoritetujen mittausten mukaan lumen tilavuuspaino katolla saattoi paikoitellen olla suurempikin, kun taas maan tasolla tehdyt mittaukset antoivat tyypillisesti pienempiä arvoja, koska lumen katolle kinostuminen aiheutti sen kokoonpuristumista.

Rakennuksen kattorakenteiden kestävyys on mitoitettu ominaislumikuorman arvolla 200 kg/m^2 (ilman osavarmuuslukuja), eli katolla olisi saanut olla lumikuormaa $1,6 \times 200 = 320 \text{ kg/m}^2$. Täten lumikuorma yksinään ei voi selittää kyseisen rakenteen sortumaa.

Tuulikuormitus (kaatava tuulikuorma, kuva 2) lasketaan kertomalla tuulenpaine rakennuksen sivupinta-alalla ja muotokertoimella. Tuulikuormitus on suunnitelmissa arvioitu rakenneanalyysiä varten Suomen RakMK:n ohjeiden mukaisesti, mutta käyttäen muotokerrointa 1,2, joka perustuu sellaisen tavanomaisen hallin mitoittamiseen, jonka seinäpinnat ovat sileitä.

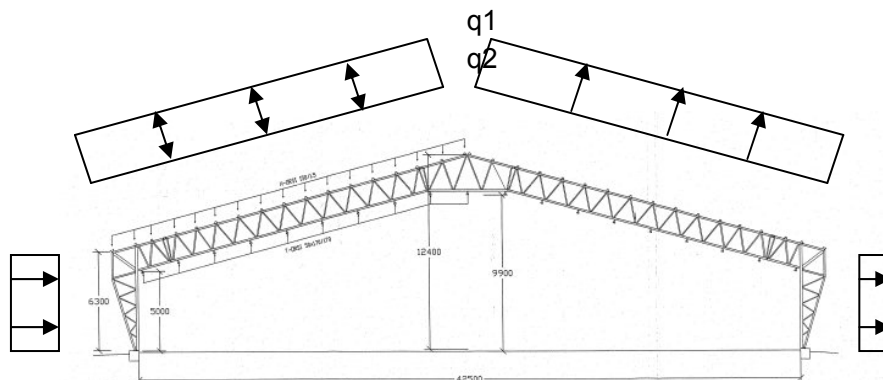
Järvenpään urheiluhallin seinissä ja päädyissä on ulkonevat pilarit (kuva 2), ja räystäät, jotka aiheuttavat esteen tuulen siirtymiselle rakennuksen sivuitse tai ylitse. Ohjeen RIL 144-1997 mukaan (rakenne poikkeaa taulukkoarvojen perusteena olevista rakenneratkaisuista), jos ei suoriteta tarkempia määrittämiä, kaatavan tuulikuorman muotokertoimen arvona harjakattoisille rakennuksille tulee soveltaa arvoa 1,3.



Kuva 2. Kaatava tuulikuormitus. Käytetään rakennuksen rungon ja stabiliteetin mitoituksessa.

Tuulen paineena maastoluokassa III (esikaupunkialue) tulee korkeudelle 8 m asti käyttää arvoa $0,456 \text{ kN/m}^2$, ja korkeudella 12,5 m tulee käyttää arvoa $0,526 \text{ kN/m}^2$, joiden keskiarvoa $0,49 \text{ kN/m}^2$ voi käyttää seinälle tulevana peruskuormana, ja se kerrottuna muotokertoimella 1,3 antaa tuulikuormaksi $0,637 \text{ kN/m}^2$. Laskelmissa käytetty kuormitus on $0,6 \text{ kN/m}^2$.

Toinen tuulikuormitustapaus - rasitukset osapintoihin. Kattopintoihin vaikuttava tuulikuormitus (kuva 3) on otettu huomioon käyttämällä tuulen puoleisella katon lappeella painekerrointa +0,7 ja suojan puoleisella katon lappeella painekerrointa -0,7. Laskelmissa ei pilareille ole määritetty samanaikaista tuulikuormaa. Laskelmissa käytetyt edellä mainitut painekertoimet eivät vastaa rakenneratkaisua.



Kuva 3. Tuulikuormitus pintoihin. Pintojen mitoituksessa paineet käsitellään erillisinä.

Liite 1

Ohjeen RIL 144-1997 kohdan 4.212b mukaan erillisiä pintoihin vaikuttavia painekertoimia voi käyttää rakennuksen rungon mitoitukseen. Ohjeen taulukosta 4.231b saadaan, kun (Järvenpäässä $h/L = \text{noin } 12,5/42,5 = 0,29$ ja kattokaltevuus, kulma $\alpha=15^\circ$) harjakaton ulkopuolisiksi painekertoimiksi tuulen puolella 0,0 tai -0,5 ja suojan puolella -0,5. Kattoon vaikuttava kokonaiskuormitus voidaan täten laskea paineiden q_1 ja q_2 erosta kertomalla sitä katon projektiopinta-alalla ja tuulen nopeuspaineella harjan kohdalla.

Rungon mitoituksessa kaikki osapintojen paineet vaikuttavat samanaikaisesti (vastaten esimerkiksi tuulitunnelikokeista saatavia osapintoihin kohdistuvia tuulen paineita). Täten edellä mainittujen katon osapintoihin vaikuttavien paineiden lisäksi pitäisi rungon mitoituksessa ottaa huomioon tuulen ja suojan puoleisiin seiniin vaikuttavat osapaineet (kuva 2), joiden painekertoimet löytyvät ohjeen RIL 144-1997 taulukosta 4.231a (tässä $L/B = 42,5/52,5 = 0,81$ ja korkeus $h = 12,5\text{m} \Rightarrow$ tuulenpuoleisen seinän painekerroin on +0,7 ja suojan puoleisen seinän -0,5). Kertoimilla kerrotaan tuulen nopeuspainetta rakennuksen harjan kohdalla (eli tuulen painetta, joka on $0,526 \text{ kN/m}^2$).

Osapintojen mitoittamiseen paikalliselle staattiselle tuulen paineelle tarvitaan painekertoimia C_p , jotka on esitetty ohjeen RIL 144-1997 kohdassa 4.232. Kuormituksia sovelletaan kyseisten katto- tai seinäpintojen paneelien, ohutlevyjen, orsien ja muiden rakenneosien, ja myös esimerkiksi räystäiden mitoitukseen. Paine kertoimen yhteydessä käytettävä tuulen paineen arvo valitaan rakennuksen harjakorkeuden h mukaan.

Tällaista pintoihin kohdistuvaa tuulikuormitusta ei ole laskelmissa käsitelty. Tuulikuormitustapauksissa ei myöskään ole otettu huomioon eniten rasitettujen kehien kohdalla vaikuttavia päätykenttien nosteita (RIL 144-1997, kuva 4.232b).

Huom! Kuvissa 2 ja 3 esitetyt tuulen painekuviot koskevat rakennuksen seiniä ja kattopintoja yleisesti. Kuormitus ei välttämättä jakaudu pääkannattajakehille tasan. Jakautuma riippuu hallin pituussuuntaisista rakenteista. Kuormien jakautuminen kehille tulee aina selvittää erikseen.

Sortuman aikaisista tuulikuormista tai tuulen suunnasta ei ole luotettavia havaintoja. Sortumapäivänä satoi lunta, ja lumisateen aikana yleensä tuulee, mutta mitään merkittäviä tuulennopeuksia ei ole raportoitu.

Liite 2. Järvenpään urheiluhallissa havaitut muut suunnitteluvirheet ja puutteet

Rakennesuunnitelmia tarkastettaessa, ja edellä olevia vertailulaskelmia valmisteltaessa ja tehtäessä havaittiin seuraavassa listassa luetellut suunnittelua koskevat virheet ja puutteet. Kyseisillä seikoilla ei näyttäisi olleen suoranaista vaikutusta itse sortumistapahtumaan. Ne luetellaan tässä tarkastuslistana muiden vastaavien rakennusten suunnitelmien ulkopuolista tarkastusta varten:

- a) Lumikuorman ominaisarvo on saatu viranomaiselta. Rakenneanalyysissä ei ole otettu huomioon kattotason hattuorsien jatkuvuutta, mikä käytännössä 2-aukkoisen orren tapauksessa merkitsee keskitukena toimivalle pääkannattajakehälle 1,25-kertaista lumikuormaa verrattuna laadittuun laskelmaan. Pääosin 2-aukkoisia samalta kehältä alkavia orsia löytyi kuitenkin vain hallin päädyistä, jotka pysyivät pystyssä.
- b) Orsien jatkuvuudesta johtuen osa kattopintaan vaikuttavista tuulikuormista pitäisi rakenneanalyysissä kertoa luvulla 1,25 (seinillä kerroin voi olla 1,0), kun tuuli vaikuttaa suoraan kattopintaan,
- c) Kattopintaa kannattelevien hattuorsien 150/1,5 mitoituksessa ei ole käsitelty profiilin kestävyttä keskituella. Laaditut laskelmat koskevat 1-aukkoisen katto-orren kenttämomenteja, ja ne on lisäksi laadittu väärin. Orsien kestävyys ei ole riittävä,
- d) Vesikaton suunnittelussa ei ole otettu laskelmissa huomioon 1 kN pistemäistä hyötykuormaa (RIL 144-1997, kohta 5.12),
- e) Kattopintana toimivan ohutlevyn taivutusmomenttikestävyys on laskelmilla todettu olevan riittävä, mutta ohutlevyn taipuma ylittää suunnitteluohjeissa annetun arvon.
- f) Pintapaineisiin perustuvaa tuulikuormitusta on sovellettu rakennuksen rungon suunnittelussa ilman seinäpintoihin vaikuttavia osapaineita.
- g) Rakennuksen kattotasossa toimivia jäykistysristikoita ei ole mitoitettu päädyn imukuormituksille, ja tarkastuslaskelmien perusteella on voitu todeta, etteivät reunimmaisat ristikkosauvat pysty kyseistä rasiitusta kantamaan,
- h) Käytännössä se tarkoittaa, että vastaava kuormitus siirtyy kattotason kautta rakennuksen toiseen pätyyn, missä se aiheuttaa vetovoimia. Kyseistä kuormitusta ei ole kuitenkaan otettu huomioon katon tai sen hattuorsien mitoituksessa,
- i) Alakaton tasossa toimivien jäykistysristikoiden parrevoimia ei ole otettu huomioon pääkannattajakehien mitoituksessa, eikä jäykistysristikon liitosten epäkeskeisyyksiä ole otettu huomioon rakenteiden mitoituksessa,
- j) Rakenneanalyysissä ei ole otettu huomioon kehien kahden pilarijalan välistä lyhyttä liitososaa pilarien liittyessä perustuksiin (jalkojen välillä iso leikkausvoima),
- k) Pääkannattajakehien alapaarteiden välisten puisten T-profiilien tai niiden liitosten mitoituksessa ei ole otettu huomioon kehien alapaarteiden nurjahdustukivoimia (puristusvoimia),
- l) Päätyjen vierendeel -tuulipilarien ulommalla pystysauvalla ei ole tuentoja sivusuunnassa tapahtuvan nurjahduksen suhteen (hoikkuus ylittää normikaavojen pätevyysalueen),
- m) Diagonaalien ja paarteiden välisistä hitsausliitoksista ei löydy laskelmia,

Liite 2

- n) Kattopellin tai alakaton taivutuskestävyydestä ei löydy selvityksiä,
- o) Alakaton puisia orsia tai orsien liitoksia ei ole tarkistettu/mitoitettu rakennuksen kehien stabiiliteetin (kiepahdussiteinä) suhteen,
- p) Päätypilarien liitoksista rakennuksen muihin kantaviin osiin ei ole esitetty mitoituksia/suunnitelmia,
- q) Perustuksista, tai pilarien pohjalevyistä päädyissä tai pitkillä sivuilla ei ole esitetty laskelmia, ja rakennemallissa kuvattu rakenneliitos perustuksiin poikkeaa todellisesta tilanteesta,
- r) Rakennuksen pohjan alla kulkevasta vetotangosta ei ole mitoituslaskelmia tai muitakaan selvityksiä,
- s) Rakenteiden lämpöpiteneemisestä tai -lyhenemisestä aiheutuvia rasituksia ei ole käsitelty suunnitelmissa.