



Tutkintaselostus

B 2/2000 Y

Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000

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.

ALKUSANAT

Supermarketin myymälätilan sisäkatto putosi Pudasjärvellä 27.12.2000 kello 21.24. Katon vaurioituminen aiheutti välittömän vaaratilanteen myymälässä työskennelleille kahdelle siivoojalle sekä noin 7 Mmk aineellisen vahingon.

Onnettomuustutkintakeskus asetti 28.12.2000 onnettomuuksien tutkinnasta annetun lain (373/1985, muutos 97/1997) 5 §:n 3 momentin nojalla tutkintalautakunnan tutkimaan tapausta suuronnettomuuden vaaratilanteena.

Tutkintalautakunnan kokoonpano oli seuraava:

puheenjohtaja	diplomi-insinööri Kai Valonen Onnettomuustutkintakeskus
jäsen	pelastusylitarkastaja, diplomi-insinööri Pentti Kurttila Oulun lääninhallitus
jäsen	komisario Vesa Teivaanmäki Pudasjärven kihlakunnan poliisilaitos

Pelastustoiminnan asiantuntijana tutkinnassa on toiminut palopäällikkö **Kari Kuosmanen** Pudasjärven palolaitokselta. Rakennustekniikan asiantuntijana on toiminut erikoistutkija, diplomi-insinööri **Markku Korttesmaa** VTT Rakennustekniikasta.

Tässä tutkintaselostuksessa esitetään tapahtumat sisäkattovaurion aikaan, pelastustoiminnan kulku, tutkinnan eri vaiheet ja analysoidaan onnettomuuteen vaikuttaneet syyt. Lopuksi esitetään suosituksia, jotka toteuttamalla vastaavanlaisia onnettomuuksia voitaisiin mahdollisesti välttää tai lieventää niiden seurauksia. Tutkinnan ensisijaisena tarkoituksena on yleisen turvallisuuden parantaminen, joten syyllisyys- ja vahingonkorvauskysymyksiin ei ole otettu kantaa.

Tutkintalautakunta on muun muassa suorittanut tarvittavat paikkatutkimukset Pudasjärvellä, tutkinut rakennukseen ja sen rakentamiseen liittyviä asiakirjoja, kuullut asianosaisia sekä selvittänyt vertailun vuoksi muutamaa muuta samankaltaista kattovauriota. Paikkatutkinnassa tutkintalautakuntaa avusti Pudasjärven kihlakunnan poliisi ja Pudasjärven kunnan palokunnan palomiehet. Lisäksi tutkintaan ovat osallistuneet Oulun alueen teknisen rikostutkimuskeskuksen tutkijat.

Tämä tutkintaselostus on ollut lausunnolla ympäristöministeriössä, sisäministeriössä ja Pudasjärven kunnassa. Saadut lausunnot ovat tutkintaselostuksen lopussa liitteessä 1.

Tutkintamateriaalia on siirretty lähdeliitteiksi. Niitä säilytetään Onnettomuustutkintakeskuksessa.

Tämä tutkintaselostus on myös Onnettomuustutkintakeskuksen Internet-sivuilla osoitteessa www.onnettomuustutkinta.fi.

TIIVISTELMÄ

Pudasjärvellä tapahtui 27.12.2000 kello 21.24 onnettomuus, jossa KKK-supermarketin sisäkatto ja kaikki siihen kiinnitetyt lämpö-, kylmälaite- ja vesiputket, ilmanvaihtokanavat sekä sähköjohdot hyllyineen putosivat. Myymälä oli suljettu noin 20 minuuttia aikaisemmin, joten päivän viimeiset asiakkaat olivat poistuneet hetkeä aikaisemmin.

Onnettomuushetkellä myymälässä oli kaksi siivoajaa, jotka työskentelivät myymälän eri päissä. He kuuluivat myymälän lihatiskin puoleisen pään katosta napsahtelua ja voimistuvaa ryminää. Sen jälkeen katto ja siinä roikkuvat somistelevyt alkoivat nytkähdellä alaspäin. Tällöin toinen siivoajista juoksi takaoven kautta ulos ja toinen suojautui tuulikaappiin. Siivoajien päästyä suojaan sisäkatto asennuksineen irtosi koko myymälän 1 710 m² kerrosalan alueelta. Putoaminen tapahtui siivoajien kertoman mukaan noin minuutissa, mutta pienempiä romahduksia tapahtui vielä päivienkin kuluttua. Onnettomuudesta aiheutui noin 7 Mmk vahingot.

Onnettomuuden syy oli se, että sisäkattoa ja siihen tehtäviä ripustuksia suunniteltaessa ja toteutettaessa kukaan rakennus- ja suunnittelutyössä mukana olleista ei kiinnittänyt riittävästi tai lainkaan huomiota kokonaisuuteen. Jokainen osapuoli keskittyi vain omaan työhönsä eikä puuttunut muuhun. Kaikki aliurakoitsijat olivat kokeneita ja ammattitaitoisiksi tiedettyjä, mikä mahdollisesti vaikutti siihen, että kaiken uskottiin olevan kunnossa. Sisäkattoon ja ripustuksiin liittyvä suunnittelu ja toteutus oli jaettu, kuten rakennusosalalla on yleistä, useille eri yrityksille.

Välitön tekninen syy oli se, että sisäkaton 50x50 mm rimojen ja kattoristikoiden välisen naulaliitoksen kapasiteetti ei ollut riittävä sisäkatoista aiheutuvien kuormien kannattamiseen. Liitoksissa oli pääsääntöisesti kaksi 90x3,1 mm konenaulaa, jolloin liitosten ominaiskapasiteetiksi ripustuskuormia vastaan saadaan rakennusalan normien mukaan laskettuna 326 N/m². Tutkintalautakunnan laskelmien mukaan tietyllä tutkitulla alueella ripustuskuormia oli sisäkaton omapaino mukaan laskettuna keskimäärin 447 N/m². Lisäksi sisäkaton pienille alueille kohdistui suuria, ripustuksista aiheutuvia, pistemäisiä kuormia. Kelvolliselta rakenteelta edellytetään, että varmuuskertoimet huomioituna kapasiteetin tulee olla yli 1,5-kertainen kuormiin nähden.

Toteutettu naulaliitos oli suunnitelmien vastainen, sillä rakennesuunnittelija oli suunnitellut liitokseen kolme 100x3,4 mm lankanaulaa. Suunniteltu liitos ei ollut kuitenkaan tarkoituksenmukainen, sillä lähes kaikilla työmailla käytetään nykyisin konenauloja, joista pisimmät ovat käytännössä 90 mm pituisia. Lisäksi riman ja kattoristikon liitosalue on niin pieni, että normien mukaan siihen ei voi kiinnittää kolmea naulaa. Suunnitellun naulaliitoksen ominaiskapasiteetti ripustuskuormia vastaan olisi ollut 677 N/m², joka ei sekään olisi ollut riittävä pistemäisiä kuormia vastaan.

Tutkimuksissa kävi ilmi, että konenaulojen kapasiteetista on alalla epätietoisuutta, minkä vuoksi tutkintalautakunta suosittelee paineilmanaulaimella ammuttavien naulojen tutkimuksen lisäämistä. Samalla Suomen rakentamismääräyskokoelmaan tulisi lisätä ohjeet siitä, miten kyseisiin nauloihin tulisi suunnittelutyössä suhtautua. Tutkintalautakunta suosittelee myös, että sallittavat ripustuskuormat tulisi vaatia merkittäväksi rakennusten käyttö- ja huolto-ohjeisiin. Lisäksi rakennusvalvonnan resursseja tulisi lisätä, teknisen avun saantia helpottaa ja lupakäytäntöjä yhdenmukaistaa. Lisäksi tutkintalautakunta esittää paloluokka- ja pääsuunnittelijavaatimusten täsmentämistä.

SUMMARY

COLLAPSING OF CEILING OF SUPERMARKET AT PUDASJÄRVI, FINLAND, ON 27 DECEMBER, 2000

On 27 December 2000 at 21.24 hours an accident occurred in a KKK Supermarket at Pudasjärvi, Finland. In the accident the ceiling of the supermarket and the heating pipes, refrigeration-apparatus pipes, water pipes, ventilation ducts, electric wires and shelves fixed in the ceiling, collapsed. The last customers had left a while ago as the supermarket had been closed about 20 minutes before the accident.

At the time of the accident there were two cleaning ladies in the supermarket, working in its different ends. They heard a clicking sound and then a steadily strengthening crashing sound from the ceiling in the meat counter end of the market. Then the ceiling and the dressing boards hanging therefrom started to jerk downwards. At this moment one of the cleaning ladies ran outside through the back-door while the other one hid in a wind box. The cleaning ladies having escaped safely, the ceiling with its installations collapsed over the entire 1710 m² surface area of the market. According to the cleaning ladies, the collapsing occurred in about one minute, with further minor collapses taking place even several days thereafter. The corresponding damage and loss were assessed at about FIM 7 million.

The accident was caused by a total negligence or insufficient consideration of the entity in the planning, design and building of the ceiling and the mountings and suspensions therein. All participating workers and experts only carried out their own specific tasks without worrying about the remaining questions. In fact all subcontractors were known as experienced and highly professional, which probably contributed to the general conviction of everything being in order. As is the regular practice in building business, the planning, design and realization of a ceiling and its mountings and suspensions were contracted to several different enterprises.

The direct technical cause of the accident was the insufficient capacity of the nail joint between the 50x50 mm ceiling strips and the roof trusses, to carry the loads of the ceiling. As a rule the nail joints featured two 90x3.1 mm machine nails that ensure the joints a specific capacity of 326 N/m² to resist suspension loads, as calculated in conformity with the norms and standards adopted in the building business. However according to the calculations made by the Accident Investigation Board of Finland, in a certain studied area the suspension loads including the dead weight of the ceiling, totalled 447 N/m² on average. In addition some smaller areas of the ceiling were charged by important concentrated loads generated by the suspensions. An adequate structure necessarily has to feature an over 1.5-fold capacity as related to the loads, with consideration of the safety coefficients.

The nail joints had been realized as contrary to the plans, as the planner of the structure had equipped the joint with three 100x3.4 mm French nails. However in practice the planned joint failed to be viable, as in our days almost all work sites use machine nails with a maximum length of up to 90 mm. Furthermore the joint area between the strip and the roof truss is not big enough - in terms of the relevant norms and standards - to permit three nails to be fixed therein. The spe-



cific capacity of the designed nail joint to resist suspension loads would have been 677 N/m² which would also have been insufficient for the carrying of the concentrated loads.

The investigations conducted yielded an uncertainty prevailing in the building business as for the capacity of the machine nails. Therefore the Accident Investigation Board recommends further studies to be made on nails shot by a pneumatic nail machine. Furthermore the Building Regulations in Finland (Suomen rakentamismääräyskokoelma) should also include instructions for an assessment of the nails in question in the planning and design phase. Moreover the Accident Investigation Board recommends that the resources engaged in supervision of building work be increased, possibly needed technical support be ensured, and the licence granting practices be harmonized. Finally the Accident Investigation Board proposes that the requirements adopted in the fire resistance rating and the responsibilities of the principal planner, be defined in detail.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT.....	I
TIIVISTELMÄ.....	II
SUMMARY.....	III
1 TAPAHTUMAT.....	1
1.1 Yleiskuvaus.....	1
1.2 Tapahtumapaikka.....	1
1.3 Myymälärakennus.....	2
1.4 Tapahtumaolosuhteet.....	4
1.5 Tapahtumat 27.12.2000.....	4
1.6 Vahingot.....	5
1.6.1 Henkilövahingot.....	5
1.6.2 Aineelliset vahingot.....	5
2 PELASTUSTOIMINTA, TIEDOTTAMINEN JA RAIVAUS.....	7
2.1 Pudasjärven palolaitoksen toiminta.....	7
2.1.1 Hälytykset.....	7
2.1.2 Toiminta onnettomuuspaikalla.....	7
2.1.3 Palokunnan osallistuminen onnettomuuden tutkintaan.....	8
2.2 Onnettomuudesta tiedottaminen.....	9
2.3 Onnettomuuspaikan raivaus ja myymälän korjaus.....	9
3 ONNETTOMUUDEN TUTKINTA.....	10
3.1 Tutkinnan aloittaminen.....	10
3.2 Paikkatutkimukset.....	10
3.3 Rakennukseen liittyvät asiakirjat.....	12
3.3.1 Rakennusvalvonta-asiakirjat.....	12
3.3.2 Piirustukset ja laskelmat.....	13
3.3.3 Muut asiakirjat.....	14
3.4 Poliisitutkinta.....	15
3.5 Muut tutkimukset.....	16
4 ANALYYSI.....	17
4.1 Rakennuksen suunnittelu ja toteuttaminen.....	17
4.1.1 Rakennushankkeen osapuolet.....	17
4.1.2 Sisäkaton kiinnitystyön ja siihen tehtyjen ripustusten koordinointi.....	18
4.2 Sisäkaton kiinnitys.....	21



4.2.1	Suunniteltu naulaliitos	21
4.2.2	Toteutettu naulaliitos	23
4.2.3	Naulauksen laatu	23
4.3	Sisäkattoon tehtyjen ripustusten aiheuttamat kuormat	26
4.4	Muut sisäkattovaurioon mahdollisesti vaikuttaneet seikat.....	28
4.5	Pelastustoiminnan analysointi	31
5	ONNETTOMUUDEN SYYT	33
6	MUITA SUOMESSA TAPAHTUNEITA SISÄKATTOVAURIOITA	35
7	TUTKINTALAUTAKUNNAN SUOSITUKSET	38
7.1	Naulaliitoksia koskevien normien päivittäminen	38
7.2	Suurimpien sallittujen katon hyötykuormien määrittäminen	39
7.3	Rakennusvalvonnan tehostaminen	40
7.4	Naulalevyristikoiden käyttö P2-luokan rakennuksissa.....	41
7.5	Pääsuunnittelijavaatimusten täsmentäminen	43
7.6	Muita ehdotuksia ja huomioita	43

LIITTEET

Liite 1. Lausunnot

Liite 2. Leikkauskuva myymälärakennuksen yläpohjarakenteesta

Liite 3. Seuraukset tällaisen onnettomuuden tapahtuessa myymälän aukioloaikana

Liite 4. VTT:n laskelmat ristikoiden taipumista aiheutuvista voimista

LÄHDELIITTELUETTELO

VALOKUVALIITE

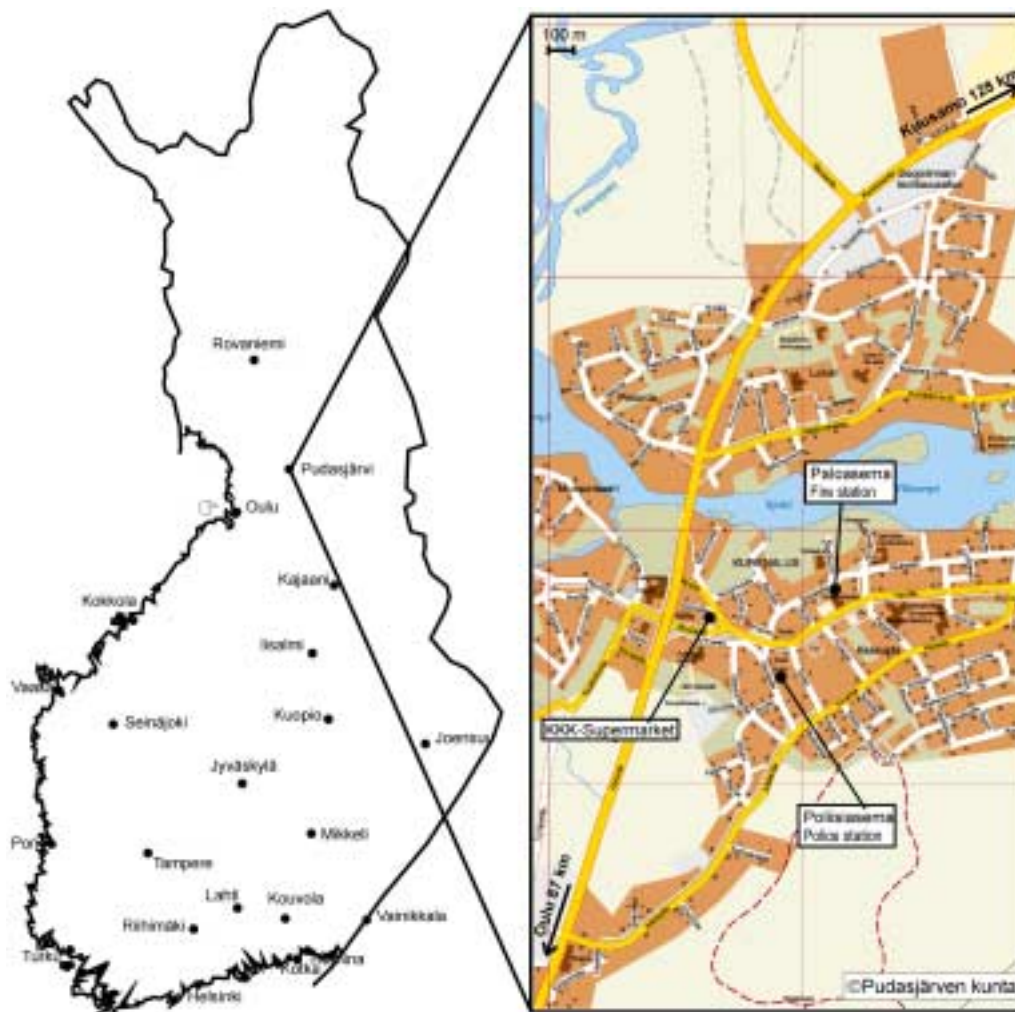
1 TAPAHTUMAT

1.1 Yleiskuvaus

KKK-supermarketin myymälätilan sisäkatto ja siihen kiinnitetyt LVISA¹-asennukset hyllyineen putosivat Pudasjärvellä 27.12.2000 kello 21.24. Kauppa oli suljettu noin 20 minuuttia aikaisemmin, joten asiakkaille ei aiheutunut vaaraa. Myymälässä oli onnettomuushetkellä kaksi siivoajaa, jotka kuitenkin ehtivät suojautua.

1.2 Tapahtumapaikka

Onnettomuus tapahtui Pudasjärven kunnassa, joka sijaitsee Oulun läänissä, Pohjois-Pohjanmaan maakunnan koillisosassa. Myymälärakennus on Pudasjärven keskustan tuntumassa, osoitteessa Sähkötie 1 (kuva 1).



Kuva 1. Pudasjärven KKK-supermarketin sijainti.

Figure 1. Location of Pudasjärvi KKK Supermarket.

¹ LVISA = lämpö, vesi, ilmanvaihto, sähkö ja automaatio.

1.3 Myymälärakennus

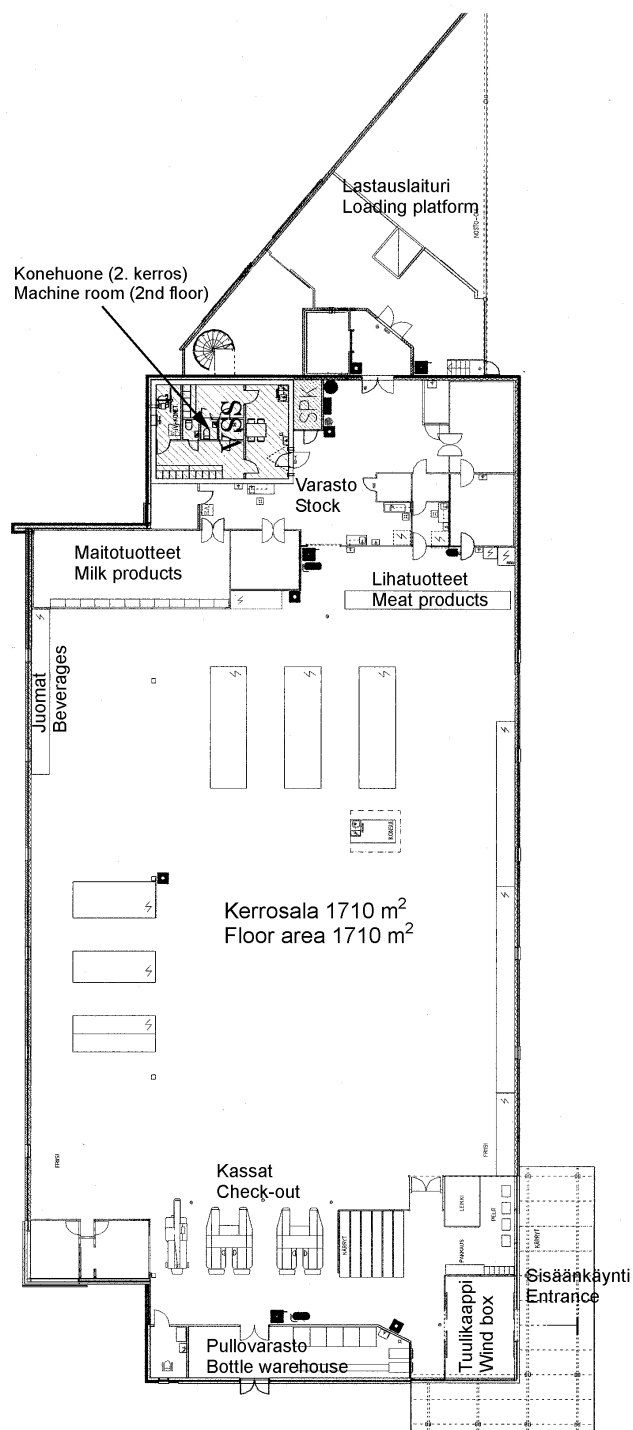
Myymälärakennukselle on myönnetty Pudasjärven kunnan valvontalautakunnassa rakennuslupa arkkitehtisuunnitelmien perusteella 29.9.1998, jonka jälkeen suunnittelua jatkettiin ja rakentaminen aloitettiin. Urakoitsija luovutti rakennuksen tilaajan käyttöön 10.8.1999.

Kyseessä on yksikerroksinen ullakollinen puurunkoinen rakennus, jonka yläpohja on puuristikkorakenteinen. Ulkoseinissä on puu/tiiliverhous (kuva 2). Rakennuksen kerrosala on 1 710 m² ja tilavuus 10 260 m³. Rakennuksen paloluokka on P2 ja suojaustaso 2 eli rakennuksessa on automaattinen paloilmoin ja tavallinen alkusammutuskalusto. Konehuone sijaitsee väestönsuojan päällä. Myymälätilan sisäkorkeus on kuusi metriä. Kuvassa 3 on esitetty myymälärakennuksen pohjapiirros.



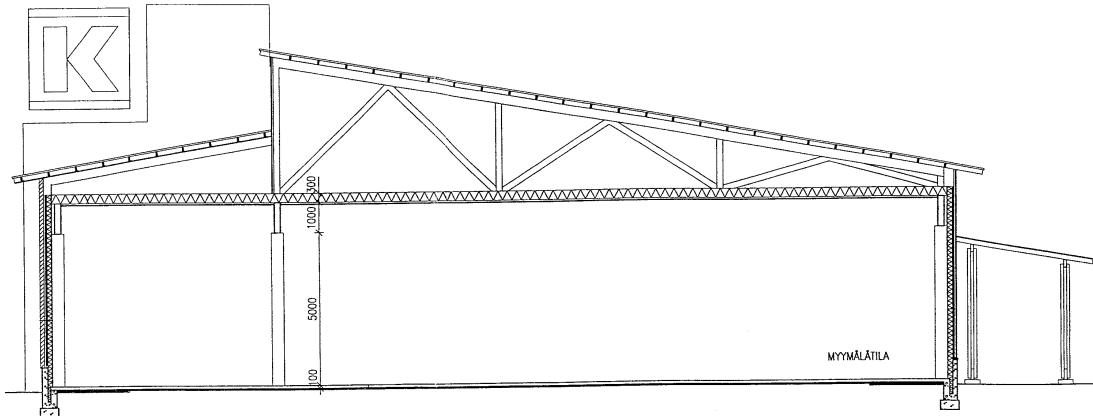
Kuva 2. Noin kuukausi onnettomuuden jälkeen otettu kuva Pudasjärven KKK-supermarketin ulkopuolelta. Katto koostuu kahdesta eri kokoisesta, eri tasossa olevasta ja vastakkaisesti suuntiin kallistetuista lappeista. Katon osien välissä kulkee rakennuksen pitkäsuuntainen pilareilla tuettu liimapuupalkki. Sisäpuolinen katto on yhtenäinen ja vaakatasossa. Kattovaurio ei näy myymälän ulkopuolelle.

Figure 2. Exterior of Pudasjärvi KKK Supermarket about one month after the accident. The roof structure consists of two different-size slanting parts inclining in opposite directions on different levels. Between the roof parts there is a pillar-supported laminated beam travelling in the longitudinal direction. The monolithic ceiling again is horizontal. The damage is not visible on the exterior of the building.



Kuva 3. Pudasjärven KKK-supermarketin pohjapiirros. Sisäkatto ja LVISA-asennukset hyllyineen irtosivat koko ulkoseinien rajaamalta alueelta. Alimmas ne tulivat myymälän keskiosassa.

Figure 3. Layout of Pudasjärvi KKK Supermarket. The ceiling and the heating pipes, refrigeration-apparatus pipes, water pipes, ventilation ducts, electric wires and shelves collapsed over the entire area delimited by the external walls. Deepest down they collapsed in the centre part of the supermarket.



Kuva 4. Pudasjärven KKK-supermarketin rakennuslupapaperuksista otettu poikkileikkaus. Kuvasta poiketen rakennuksen ulkoseinillä ei ole pilari-palkkirakennetta ja kattoristikot ovat erilaiset.

Figure 4. Cross-section of Pudasjärvi KKK Supermarket as yielded by the relevant building licence drawings. Unlike the structure in the figure, the exterior walls of the building do not feature a column-rafter structure, and the roof trusses are different.

1.4 Tapahtumaolosuhteet

Tapahtuma-aikaan satoi kevyttä pakkaslunta, jota kertyi päivän aikana noin 5 cm. Ilman lämpötila oli $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja suhteellinen kosteus 91 %. Tuuli oli heikkoa. Lunta oli maassa ilalla noin 10 cm. Lumen vesiarvoksi myymälärakennuksen katolla mitattiin $9,3\text{ kg/m}^2$.

1.5 Tapahtumat 27.12.2000

Keskiviikko 27.12.2000 oli joulun pyhien jälkeen ensimmäinen arkipäivä, joten Pudasjärven KKK-supermarket oli avoinna kello 9-21. Myymälä suljettiin kello 21.00, jonka jälkeen viimeiset asiakkaat poistuivat. Myymälää suljettaessa henkilökunnasta paikalla oli kaksi kassatyöntekijää ja kaksi siivoojaa. Kassatyöntekijät tekivät päivän työnsä loppuun ja poistuivat myymälän varaston ja takaoven kautta noin kello 21.15.

Siivoojista toinen työskenteli kassojen läheisyydessä ja toinen myymälän toisessa päässä lihatiskin luona. Kellon ollessa 21.23 lihatiskin luona työskennellyt siivooja kuuli napsahtelua ja sen jälkeen jonkinlaista ryminää. Ryminään hän ei suuremmin kiinnittänyt huomiota, koska sitä saattoi kuulua muulloinkin, jos toinen siivooja siirtelee tavaroita. Sen sijaan katon suunnasta kuuluva napsahtelu kuulosti oudolta. Nopeasti napsahtelun alkamisen jälkeen juomahyllyjen lähellä oleva vihreä friisi² alkoi nytkähdellä alaspäin samaan tahtiin juomahyllyn ja maitokaapin yläpuolelta kuuluvien napsahdusten kanssa. Siivooja poistui myymälästä nopeasti varastoon ja sitä kautta ulos. Varaston läpi juostessaan hän kuuli myymälästä erittäin kovaäänistä ryminää ja pauketta.

² Myymälätilan kattoon, pääsääntöisesti seinien vierustoille oli kiinnitetty eri värisiä kennolevystä valmistettuja somistelevyjä, joita kutsutaan friiseiksi.

Kassan luona työskennellyt siivooja kuuli kattovaurion alkaessa myymälän toisesta päästä ryminää. Hän katsoi pitkin myymälän käytävää kohti maitohyllyä, mutta ei havainnut heti mitään erityistä. Ryminä kuitenkin jatkui, minkä vuoksi hän katsoi samaan suuntaan uudelleen ja näki maitohyllyn yläpuolella, lähellä myymälän keskilinjaa, olleen vihreän friisin nytkähtelevän alaspäin ja kallistuvan oikealle. Ryminä ja pauke voimistuvat ja katto alkoi tulla alaspäin keskellä rakennusta myymälän takaosassa. Siivoja ajatteli ensin poistuvansa nopeasti takaovesta, myymälän ja varaston läpi. Katon vajoaminen kuitenkin kiihtyi, minkä vuoksi siivooja päättikin juosta ulko-oven lähelle tuulikaappiin. Tuulikaapissa hän meni penkin alle suojaan, koska ei päässyt lukitusta ulko-ovesta ulos. Myymälässä jatkui kova meteli, sillä ryminän lisäksi hälyttimet kytkeytyivät päälle.

Ulos paennut siivooja meni tapahtuman jälkeen myymälän pääsisäänkäynnin luokse katsoakseen ikkunasta sisälle. Hän näki myymälän sisäkaton romahtaneen ja joidenkin putkien tulleen katosta myymälätilaan. Nähtyään, että toinen siivooja on kunnossa ja kyyhöttää lukitun tuulikaapin nurkassa, hän lähti juosten noin 300 metrin päässä olevalle poliisiasemalle ilmoittamaan tapahtuneesta.

Tuulikaappiin suojautunut siivooja odotti, että katon vajoaminen loppuu ja lähti sen jälkeen toista keskikäytävää pitkin myymälän toiseen päähän ja edelleen varaston kautta ulos. Sisäkatto oli jäänyt hyllyjen varaan, mutta muun muassa valaisimia, sähkökaapeli-hyllyjä ja ilmanvaihtokanavia oli tullut lattialle asti. Sen vuoksi hän joutui välillä ryömi-mään. Ilmassa oli tällöin runsaasti muun muassa katon eristeenä olleen puhallusvillan pölyä, joka vaikeutti hengittämistä. Lattioilla oli lisäksi rikkoutuneista putkista valunutta vettä. Myös tämä siivooja juoksi ulos päästyään poliisiasemalle, jossa toinen siivooja oli jo ilmoittanut tapahtuneesta poliisille.

Siivoojien kertoman mukaan sisäkaton romahtaminen tapahtui arviolta alle minuutissa. Sen jälkeen pienempiä jälkiromahduksia tapahtui vielä useiden päivienkin kuluttua.

1.6 Vahingot

1.6.1 Henkilövahingot

Rakennuksen tiloissa oli tapahtumahetkellä kaksi siivoojaa. Molemmat havaitsivat ajoissa katon vaurioitumisen alkavan, joten he ehtivät suojaan putoavan katon alta. Henkilö-vahinkoja ei siis aiheutunut.

1.6.2 Aineelliset vahingot

Kattoristikoista irtosivat 50x50 mm kokoiset 600 mm jaolla olleet rimat, niiden välissä ollut 50 mm mineraalivilla, höyrynsulkumuovi ja sen päällä ollut noin 250 mm kerros puhallusvillaa. Edelleen irtosivat rimoihin 400 mm jaolla kiinnitetyt 22x100 mm laudat ja lautoihin kiinnitetty polyester-pinnoitettu poimulevy (pelti). Sisäkattorakenteen mukana alas putosivat myymälän valaisimet, ilmanvaihtokanavat, kylmälaitteiden putket hyllyineen, sähköjohdot hyllyineen, vesijohdot, lämpöputket ja myymälän sisustukseen kuuluvat friisit ja opastetaulut. Myös myymälän lattialla olleet hyllystöt ja kylmälaitteet vaurioi-



tuivat siten, että ne vaihdettiin uusiin. Pelti, sisäkaton puutavara, villa ja kaikki niihin kiinnitetyt LVISA- ja muut laitteet toimitettiin osin kaatopaikalle ja osin muualle hyötykäyttöön, eli kaikki jouduttiin uusimaan. Kattoristikot ja vesikatto eivät vaurioituneet.

Onnettomuudesta aiheutui noin 7 miljoonan markan välittömät kokonaiskustannukset, joista 1,8 Mmk oli myyntivaraston menetyksiä, 2,5 Mmk katon korjauskustannuksia, 1,5 Mmk myymälälaitteiden vaurioita ja 2 Mmk keskeytyskustannuksia.

Supermarket avattiin jälleen käyttöön 10.5.2001.

2 PELASTUSTOIMINTA, TIEDOTTAMINEN JA RAIVAUS

2.1 Pudasjärven palolaitoksen toiminta

2.1.1 Hälytykset

Oulun hätäkeskukselle tuli hälytys KKK-supermarketin automaattiselta paloilmoittimelta 27.12.2000 kello 21.24.25. Hälytys välittyi Pudasjärven kunnan palolaitokselle, josta onnettomuuspaikalle hälytettiin palokunnan osalähtö. Lähtöön kuului yksi sammutusyksikkö ja johtoauto, joiden henkilövahvuus oli yhteensä 0+2+3³.

Paikalle kello 21.27.07 saavuttuaan esimiespäivystäjä totesi, että kaupan sisäkatto oli pudonnut lähes kokonaan. Koska tällöin ei vielä ollut tietoa siitä, oliko kohteen sisällä ketään ja aineelliset vahingot vaikuttivat suurilta, hän käski hälyttämään paikalle myös palopäällikön. Palopäällikkö saapui kohteeseen kello 21.35, jolloin hän otti johtovastuun. Samalla hän sai tiedon myös siitä, että myymälää siivoamassa olleet siivoajat olivat päässeet omin avuin ulos ja edelleen poliisilaitokselle.

Koska tulipalovaara myymälässä oli ilmeinen, palopäällikkö hälytti paikalle vielä kaksi yksikköä. Tällöin paikalle hälytettyjen yksiköiden määrä vastasi palokunnan peruslähtöä, kun paikalla oli kolme sammutusyksikköä, johtoauto ja tarkastusauto, joiden kokonaisvahvuus oli 2+3+8.

Hätäkeskus ilmoitti asiasta kiinteistöhuollolle kello 21.28, poliisille kello 21.38, sähkölaitokselle kello 21.40, vesiosuuskunnalle 21.58 ja paloinfo⁴-järjestelmällä tiedotusvälineille kello 22.05.

2.1.2 Toiminta onnettomuuspaikalla

Kun oli todettu, että sisään myymälään ei ollut jäänyt ketään, pelastustoiminnan johtajana toiminut Pudasjärven palopäällikkö (P1) antoi yksiköille tehtäväksi ehkäistä lisävahinkoja, lähinnä tulipalon syttyminen. Yksiköt vartioivat kohdetta ulkopuolelta ovien ja ikkunoiden läpi siihen asti kunnes sähkö, vesi ja lämpö oli kytketty pois. Sisään ei voinut heti mennä, sillä pienempiä sortumia tapahtui vielä kymmenien minuuttien jälkeenkin. Lisäksi epävarmuutta aiheutui siitä, että kylmälaitteiden jäähdytysaineena käytettävän kylmäkaasuseoksen ominaisuuksista ja vuodoista ei ollut varmaa tietoa. Sen vuoksi palopäällikkö käski palotarkastajaa (P2) selvittämään, mikä on kylmälaitteiden tila ja paljonko kylmäkaasua on päässyt vuotamaan myymälätilaan. Asia saatiin selvitettyä noin tunnissa, kun paikalle pyydettiin laiteasentaja, joka asensi putkistoon sulut. Tällöin selvisi, että

³ Esimerkiksi merkinnällä 0+2+3 tarkoitetaan pelastusalalla sitä, että henkilövahvuuteen ei kuulu yhtään päällystöviranhaltijaa, kaksi kuuluu alipäällystään ja kolme miehistöön.

⁴ Paloinfo on hätäkeskusten käyttämä tiedottamisjärjestelmä, joka lähettää matkapuhelinverkon tekstiviestinä keskeisimmille tiedotusvälineille tiedon niitä mahdollisesti kiinnostavista tapahtumista. Järjestelmä on otettu käyttöön, kun pienimpiä hätäkeskuksia lakkautettiin eikä keskitetyillä hätäkeskuksilla ollut mahdollisuuksia vastata lukuisiin tiedotusvälineiden kyselyihin. Järjestelmä lienee kaikkien osapuolten kannalta toimiva.

kauppanimeltään Forane FX70 nimistä kylmäkaasuseosta oli päässyt ilmaan noin 150 kg, joka on noin puolet kokonaismäärästä.

Kylmäkaasuseos ei ole hengitettynä vaarallista, mutta sen ominaisuutena on hapen syrjäyttäminen ilmasta. Muita kylmäaineeseen liittyviä vaaroja ovat nesteytetyn kaasun iholle suihkuamisesta aiheutuva paleltumavammavaara ja lämpöhajoamisessa vapautuvat palavat ja myrkylliset höyryt. Tuote ei ole kemikaalilainsäädännön mukainen vaarallinen aine.

Kohde saatiin teknisesti vaarattomaksi noin tunnin kuluessa, jonka jälkeen palokunta jatkoi vielä kohteen vartiointia niin, että viimeinen yksikkö poistui kello 0.21. Palokunnan poistuttua kohde- ja palovartiointia jatkoi vartiointiliike, sillä murto- ja paloilmoitinjärjestelmät olivat rikkoutuneet kattovaurion yhteydessä.

Palokunta oli heti paikalle saapumisen jälkeen tehnyt havainnon, että myymälän sisäänkäynnin vieressä oli uuden vuoden juhlintaan tarkoitettuja ilotulitteita, jotka eivät olleet varastoituna SFS standardin edellyttämässä ilotulitteille tarkoitettussa kaapissa. Ilotulitteet aiheuttivat lisäonnettomuusvaaran, jonka palokunta torjui kantamalla ilotulitteet pikaisesti pois sortuma-alueelta. Ilotulitekauppias kuljetti tulitteet muualla sijaitsevaan turvalliseen varastoon.

Palopäällikkö oli käynyt kaupassa muutamaa tuntia ennen onnettomuutta ja sopinut seuraavana päivänä tehtävästä ilotulitteiden tarkastuksesta. Tuolloin ilotulitteet olivat vielä asianmukaisesti varastoituna. Ilotulitteiden kauppias oli kuitenkin kuljettanut kaupan sulkemisen jälkeen paikalle lisää ilotulitteita täydentääkseen varastoa seuraavaa päivää varten. Hän jätti laatikot varastointikaapin viereen ja lähti käymään muualla. Kun ilotulitekauppias palasi myöhemmin illalla paikalle tarkoituksenaan siirtää tulitteet kaappiin, katto oli jo romahtanut ja ilotulitteet kannettu ulos.

Ilotulitteiden kauppialla oli myyntiin tarvittavat luvat.

Palokunta palasi onnettomuuspaikalle vielä seuraavana päivänä ja totesi tilanteen olevan stabiili.

2.1.3 Palokunnan osallistuminen onnettomuuden tutkintaan

Tutkintalautakunta aloitti paikkatutkimukset noin puolenpäivän aikaan 28.12.2000, jolloin Pudasjärven palopäällikkö oli mukana ja auttoi tutkimuksissa. Hänet nimettiin myöhemmin tutkintalautakunnan asiantuntijaksi.

Illan ja yön aikana palokunta auttoi tutkinnassa siten, että se rakensi puutavarasta tukia pudonneen sisäkaton alle ja irrotti sisäkatoista noin 6 m² koepalan. Koepalasta voitiin tutkia tarkemmin sisäkaton kiinnityksen rakennetta. Sisäkattoon tehdystä aukosta voitiin myös nähdä kattoristikoiden alapaarteiden alapintoja, mikä muutoin oli mahdotonta.

Palokunta auttoi tutkimuksissa myös 26.1.2001, jolloin se muun muassa järjesti tutkintalautakunnalle henkilönostimen alapaarteiden ja rimojen välisen liitoksen tarkempaa tutkimista varten.

2.2 Onnettomuudesta tiedottaminen

Oulun hätäkeskuksen paloinfo-järjestelmä lähetti tiedon kattovauriosta keskeisille tiedotusvälineille kello 22.05. Sen jälkeen Suomen tietotoimisto uutisoi asian, joten seuraavan aamun eli 28.12.2000 sanomalehdet kirjoittivat asiasta lyhyesti. Onnettomuustutkintakeskus sai tiedon onnettomuudesta Oulun lääninhallituksesta kello 8.20, jonka jälkeen päätettiin perustaa tutkintalautakunta.

Ennen tutkintalautakunnan kokoontumista tiedotusvälineiden kysymyksiin vastasivat Pudasjärven palopäällikkö sekä onnettomuuspaikalla aamusta asti ollut lautakunnan poliisijäsen. Aamupäivän aikana tiedotusta päätettiin jaksottaa siten, että tutkintalautakunta antaa lehdistötiedotteen kello 15.00 mennessä. Lehdistötiedotteessa kerrottiin lyhyesti mitä oli tapahtunut ja se, että molemmat rakennuksessa olleet siivoojat selvisivät onnettomuudesta vahingoittumattomina. Lisäksi tiedotteessa kerrottiin lyhyesti, miten tutkinta on käynnistetty ja miten sitä jatketaan. Tiedotteen antamisen jälkeen tutkintalautakunnan puheenjohtaja jatkoi tiedottamista vastaamalla tiedotusvälineiden onnettomuuteen liittyviin kysymyksiin.

Ennen tutkintalautakunnan lehdistötiedotetta Onnettomuustutkintakeskus antoi erillisen lehdistötiedotteen, jossa ilmoitettiin tutkintalautakunnan kokoonpano.

Tämän tutkintaselostuksen julkaisupäivänä tutkintalautakunta antoi tiedotusvälineille lehdistötiedotteen, jossa kerrottiin tutkintaselostuksen valmistumisesta ja esitettiin sen sisältö tiivistettynä.

2.3 Onnettomuuspaikan raivaus ja myymälän korjaus

Onnettomuutta seuraavana päivänä myymälään tuotiin sähkölämmittimiä lisävahinkojen estämiseksi. Myymälässä olleiden elintarvikkeiden siirto aloitettiin 2.1.2001 ja kaikki saatiin siirrettyksi 11.1. mennessä. Samaan aikaan, eli 2.1. aloitettiin myös pudonneen sisäkaton alapuolinen tuenta, joka tehtiin purun ja raivauksen helpottamiseksi. Tällöin muun muassa kylmälaitteet voitiin jättää vielä paikoilleen myymälään. Tuenta oli valmis 19.1., jonka jälkeen pudonneen katon päällä oli mahdollista kulkea. Puhallusvillan imu aloitettiin 24.1. ja pudonneen katon purku 26.1. Purkutyö saatiin päätökseen 2.2.

Uuden sisäkaton rakentaminen aloitettiin 28.2.2001 ja myymälä otettiin jälleen käyttöön 10.5.2001.

3 ONNETTOMUUDEN TUTKINTA

3.1 Tutkinnan aloittaminen

Onnettomuustutkintakeskuksen päivystäjä sai puhelimitse tiedon onnettomuudesta Oulun lääninhallituksen pelastusosastolta 28.12.2000 kello 8.20. Ilmoituksen perusteella Onnettomuustutkintakeskus tulkitsi onnettomuuden suuronnettomuuden vaaratilanteeksi ja päätti perustaa tutkintalautakunnan. Tutkintalautakunnan tuleva puheenjohtaja tavoitettiin Kuusamosta, jolloin hän lähti kohti onnettomuuspaikkaa. Oulun lääninhallituksesta lähti paikalle rakennusalan tutkinnon suorittanut pelastusylitarkastaja ja paikalla olivat jo pudasjärveläinen komisario ja palopäällikkö. Tutkintalautakunta ja tutkintaan osallistunut palopäällikkö kokoontuivat ensi kerran puolenpäivän aikaan ja aloittivat paikkatutkinnan.

3.2 Paikkatutkimukset

Tutkintalautakunta tutustui ensin yleisesti rakennukseen ja siihen, mitä oli tapahtunut. Tällöin käytiin muun muassa rakennuksen ullakkotilassa ristikoiden alapaarteiden päällä olevalla kulkusillalla, josta katon vaurioituneen osan rakenne oli mahdollista nähdä. Tällöin todettiin, että koko ristikon alapuolinen sisäkattorakenne villoineen oli irronnut kattoristikoista. Sisäkatto oli pudonnut kohdasta riippuen noin 0,5-4,0 metrin päähän ristikoista ja vajoaminen jatkui vielä seuraavinakin päivinä. Alhaaltapäin katsottuna pudonnut katto oli lähes yhtenäinen, joten ristikoiden alapaarteiden alapinnan ja siihen kiinnitetyn puutavaran liitosta ei vielä tässä vaiheessa voitu tutkia tarkemmin. Tilanearvion jälkeen oli selvää, että tärkeä osa tutkintaa tulee olemaan sisäkattoon ripustettujen kuormien määrittäminen. Sen vuoksi tutkintalautakunta aloitti myymälätilan järjestelmällisen tutkinnan ja dokumentoinnin, jolloin kaikki nähtävissä olevat ripustetut kuormat kirjattiin. Samalla kiinnitettiin huomiota kaikkiin muihin seikkoihin, joilla on voinut olla vaikutusta onnettomuuteen. Valo- ja videokuvauksen suoritti tutkintalautakunnan pyynnöstä Pudasjärven kihlakunnan poliisi.

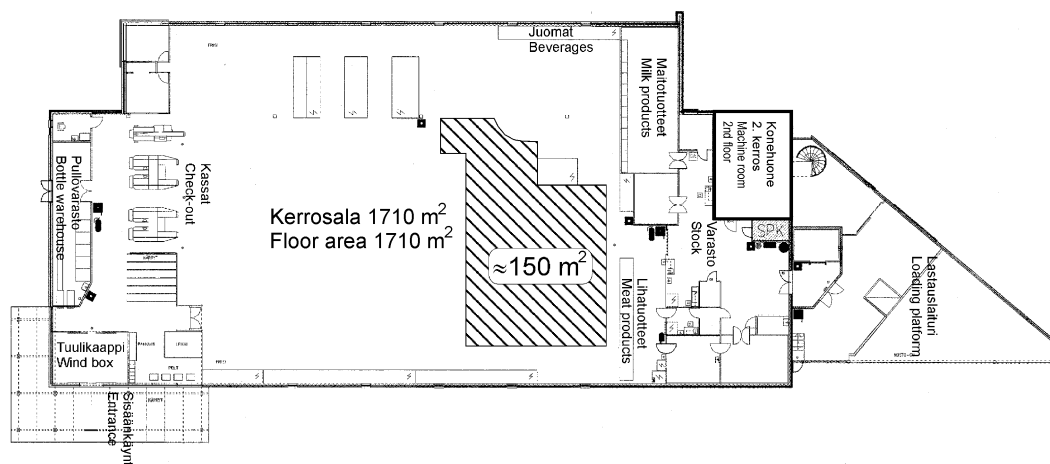
Illalla tutkintalautakunta pyysi Pudasjärven palokuntaa irrottamaan alas pudonneesta katosta yhden poimulevyn, sen kohdalla olevat laudat ja 50x50 mm rimat. Katosta irrotettiin yhden pellin eli 0,9x6,0 m² kokoinen koepala, josta jäi kattoon saman kokoinen aukko. Koepalasta todettiin, että 50x50 mm rimat oli kiinnitetty kattoristikoihin pääsääntöisesti kahdella 90 mm pituisella kampanaulaa muistuttavalla sähkösinkityllä liimakärsikällä konenaulalla. Naulassa olleet poimut olivat tosin niin loivat ja täynnä liimaa, että kyseistä naulaa ei voida pitää kampanaulana. Myöhemmin tutkinnassa kävi kuitenkin ilmi, että suurin osa liitoksista olikin tehty sileällä kuumasinkityllä liimakärsikällä naulalla, joten koepala ei antanut todellista kuvaa naulaliitoksista. Puutavarasta todettiin silmä-määräisesti, että ristikoissa, rimoissa ja laudoissa käytetty puutavara oli erittäin laadukasta.

Kattoon tehdystä aukosta oli mahdollista tutkia ristikoiden alapaarteita hieman laajemmaltakin alueelta. Tällöin todettiin, että alapaarteisiin oli pääsääntöisesti osunut kaksi naulaa, ja että mitään ripustuksia ei oltu tehty kattoristikoista. Siitä voitiin päätellä, että

muun muassa ilmanvaihtokanavat, sähköjohtojen ja kylmälaiteputkien hyllyt oli kiinnitetty todennäköisesti pellin alla olleisiin lautoihin tai rimoihin. Myöhemmin todettiin, että kaikki kiinnitykset oli tehty noin 50 mm pituisilla täkkipulteilla tai ruuveilla välittömästi pellin alla olevaan laudoitukseen.

Kun kaikki tuolloin nähtävissä olleet yksityiskohdat oli dokumentoitu, paikkatutkinat lopetettiin 29.12.2000. Tutkintalautakunta palasi onnettomuuspaikalle 25.1.2001, jolloin vaurioitunut sisäkatto oli tuettu alapuolelta, puhallusvilla oli poistettu osin ja purkutyöt oli aloitettu. Tällöin 50x50 mm rimojen naulakiinnitystä oli mahdollista tutkia lähes koko katon alueelta. Tutkintalautakunta kartoitti, mitä ja kuinka monta naulaa liitoksissa oli käytetty ja kuinka hyvin naulat olivat osuneet kattoristikoihin. Tutkimuksia tehtiin pääasiassa konehuoneen läheisyydessä, jossa sisäkattoon ripustetut kuormat olivat suurimmat ja josta sortuma oli myymälässä työskennelleiden siivoojien mukaan alkanut. Lisäksi tutkintalautakunta teki vetokokeita satunnaisesti kattoristikoihin kiinni jääneille nauloille ja tutki edelleen kattoa kuormittavia ripustuksia, jotka eivät aikaisemmin olleet nähtävissä.

Rimojen ja kattoristikoiden välisissä liitoksissa todettiin käytetyn kahta erilaista kokenaulatyyppejä. Toinen, yleisemmin käytetty, oli tunnetun valmistajan (Senco) sileä kuumasinkitty liimakärkinen 90x3,1 mm naula. Noin 150 m² alueella oli käytetty todennäköisesti Kaukoidässä valmistettua poimutettua liimakärkistä sähkösinkittyä 90x3,1 mm naulaa. Alue, jolla poimutettua naulaa oli käytetty on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Vinoviivoitetulla alueella oli käytetty rimojen ja kattoristikoiden välisessä liitoksessa poikkeavaa naulatyyppejä. Asialla ei kuitenkaan todennäköisesti ollut vaikutusta onnettomuuteen.

Figure 5. In the striped area an exceptional nail type was used in the joints between the strips and the roof trusses. But this fact had probably no effect whatsoever on the accident.

Paikkatutkimuksissa tutkintalautakuntaa avustivat Oulun alueen teknisen rikostutkimuskeskuksen tutkijat.

3.3 Rakennukseen liittyvät asiakirjat

3.3.1 Rakennusvalvonta-asiakirjat

Tutkintalautakunta sai Pudasjärven rakennusvalvontatoimistosta sinne arkistoituja piirustuksia, joissa oli arkkitehtipiirustukset ja muun muassa yläpohjan rakenneleikkaus, jossa on esitetty rakennesuunnittelijan suunnittelema naulaliitos (liite 2.). Lisäksi arkistoituna oli piirustus rakennuslupaan liittyvistä piirustuksista poikkeavasta yläpohjan rakenteesta, jossa kipsilevy on rakennuksen jäykistämisen vuoksi korvattu poimulevyllä (kuva 6). Rakennusvalvontatoimistossa ei ollut rakennukseen liittyviä rakennelaskelmia.

Tutkintalautakunta vertasi rakennusvalvontatoimistossa arkistoituna olleita piirustuksia Keskolta saatuihin piirustuksiin ja totesi, että pääpiirustuksia lukuun ottamatta piirustusten uusimmat versiot oli toimitettu rakennusvalvontatoimistoon.

Rakennusvalvonta-asiakirjoista kävi ilmi, että helsinkiläinen arkkitehtitoimisto oli hakenut 18.9.1998 päivätyllä hakemuksella Kesko Oy:n puolesta lupaa rakentaa myymälärakennus ja siihen liittyvät paikoitus- ja lastaustilat. Tätä ennen Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus oli myöntänyt Kesko Oy:lle poikkeuslupapäätöksen, joka mahdollisti rakennuskaavasta poikkeavan rakentamisen. Rakennuslupa myönnettiin Pudasjärven kunnan valvontalautakunnassa 29.9.1998. Ennen luvan myöntämistä lausunnon lupahakemuksesta olivat antaneet Pudasjärven kunnan terveystarkastaja ja palotarkastaja.

Rakentamisen aloituspalaveri pidettiin 11.12.1998, jonka jälkeen aloitettiin rakentaminen. Tuolloin rakennusvalvontatoimistoon toimitettiin ilmoitukset siitä, kuka toimii työmaan vastaavana työnjohtajana ja kuka vesi- ja viemäryönjohtajana.

Rakennusvaiheessa rakennusvalvontaviranomainen teki seuraavat katselmukset:

<u>Päivämäärä</u>	<u>Katselmus</u>	<u>Valmiusaste</u>
20.4.1999	Perustuskatselmus	40 %
3.5.1999	Rakennekatselmus	50 %
19.5.1999	Rakennekatselmus	60 %
30.7.1999	Käyttöönottokatselmus	95 %
9.8.1999	Käyttöönottokatselmus	99 %
17.8.1999	Loppukatselmus	100 %

Lisäksi rakennuksella tehtiin väestösuojan käyttöönottotarkastus 9.8.1999, jolloin paikalla oli Pudasjärven rakennustarkastaja ja palopäällikkö.

rakennekerrokset:	Pinta työselityksen mukaan
0.5mm	Muovipinnoitettu, konesaumattu teräslevykate/ RT85-10087 Teräslevyn perusaine on Z1A-275N, konesaumattava laatu Pinoitteet: yläpinnassa Pural- tai Pur-käsittely, alapinnassa tehtaan vakiokäsittely
25mm	Laudat 25*100 k140 Räystäillä, harjalla ja läpimenojen ympärillä 1000mm leveä kaista umpilaudoitusta
22mm	Laudat 22*100 ristikoiden päällä
	Aluskate
	Tehdasvalmisteiset NR-kattoristikot rakennesuunnitelmien mukaan
250mm	Puhallus-mineraalivilla
0.2mm	Muovikalvo, saumat 200mm limittäin Reunat teipataan seinän muovikalvoon
50mm	Rimat 50*50 k600, rimaväleissä mineraalivilla 25kg/m ²
22mm	Laudat 100*22 k400
20mm	Polyester-pinnoitettu poimulevy
	Pinta huoneselityksen mukaan
ohjeet:	Yläpohjan onteloon asennetaan kylmän tilan savunilmaisimia erikoissuunnitelmien mukaan
ominaisuudet:	paloluokka REI30
Käyttöalue:	Yläpohja yleensä

Kuva 6. Myymälärakennuksen yläpohjan rakenne. Kuvassa mainittuja ullakon savunilmaisimia ei oltu rakennusluvassa vaadittu eikä näin ollen myöskään asennettu.

3.3.2 Piirustukset ja laskelmat

Tutkintalautakunta sai rakennuksen omistajalta kopiot kaikista rakennukseen liittyvistä piirustuksista, joita ovat muun muassa arkkitehti-, rakenne-, lvi-, kylmälaite- ja sähköpiirustukset. Piirustusten perusteella on voitu tutkia katon rakennetta ja laskea sisäkattoon

ripustettuja kuormia. Tutkintalautakunta on verrannut rakennuksen yksityiskohtia piirustusten vastaaviin kohtiin. Eroavaisuuksia piirustusten ja toteutettujen yksityiskohtien välillä ei ole havaittu muilta osin kuin siinä, että alun perin pilari-palkkirakenteinen ulkoseinien runko on suunnitteluvaiheessa muutettu levyrakenteiseksi. Samalla kipsilevyinen sisäkatto muutettiin profiililevykatoksi, jonka tarkoituksena on toimia rakennuksen jäykistykseenä. Profiilipellin osuus jäykistyksestä oli suunnitelman mukaan 70 % ja kattoristikoiden alapaarteisiin kiinnitettyjen teräsjäykisteiden 30 %. Katosta tehtiin osa rakennuksen jäykistystä siksi, että suunnittelijan oli tarkoitus tehdä rakennuksesta "laatikko", jossa vaakasuuntaiset tuulikuormat siirretään jäykisteiden avulla rakennuksen ulkoseinille ja sitä kautta perustuksille.

Onnettomuudessa putosi rakennuksen jäykisteenä toiminut sisäkatto, minkä seurauksena rakennuksen vakavuus oli heikentynyt. Tutkintalautakunta otti tammikuun 2001 alussa yhteyden kunnan rakennustarkastajaan ja ilmoitti vakavuusongelmasta. Rakennustarkastaja ilmoitti asiasta edelleen rakennuksen omistajalle, joka oli luvannut huolehtia asiasta.

Rakennesuunnittelijan laatimassa vesikaton tasopiirustuksessa kattoristikoiden lumikuormaksi oli määritetty $2,1 \text{ kN/m}^2$ ja omaksi painoksi noin $1,0 \text{ kN/m}^2$. Ristikkokaavioissa oli esitetty suurempi lumikuorma niille alueille, joihin lumi voi kinostua.

Piirustuksessa on maininta, että ristikot tehdään ristikkovalmistajan suunnitelmien mukaan, mikä on tavanomaista nykyrakentamisessa. Ristikoiden pystyyn tukeminen ja asentaminen oli esitetty vesikaton tasopiirustuksissa. Ristikkosuunnittelija toimitti ristikoiden rakennepiirustukset rakennesuunnittelijalle.

Urakoitsijaksi valittu oululainen rakennusliike tilasi ristikot kuhmolaiselta yritykseltä, jonka ristikkosuunnittelijana toimi kemiläinen insinööritoimisto. Ristikkosuunnittelija jakoi rakennesuunnittelijan ilmoittaman oman painon $1,0 \text{ kN/m}^2$ siten, että alapaarteelle kuormaksi määriteltiin $0,3 \text{ kN/m}^2$ ja yläpaarteelle $0,7 \text{ kN/m}^2$. Myymälän leveämmän laivan ristikoiden jänneväli on 22,4 m ja korkeus 5,23 m. Varsinaisen kantavan ristikon korkeus oli 3,0 metriä ja sen päälle laitettiin 12,12 m pitkä ja 2,21 m korkea ristikko, joka oli vain kuormana kantavalle ristikolle. Ristikko tehtiin kaksiosaiseksi kuljettamisen helpottamiseksi. Ristikoille laskettu suurin taipuma on 73 mm.

3.3.3 Muut asiakirjat

Tutkintalautakunnalla on ollut käytettävissään KKK-supermarketin pelastustoimilain mukainen turvallisuussuunnitelma, jossa on pyritty luomaan edellytykset omatoimiselle suojelulle äkillisissä onnettomuus- tai kriisitilanteissa. Turvallisuussuunnitelma on huolellisesti ja hyvin laadittu. Suunnitelmassa on pohdittu, millaisia ovat todennäköisimmät onnettomuudet tai muut uhkakuvat, jotka rakennuksen käyttäjien olisi syytä ottaa huomioon. Katon romahtaminen on kuitenkin sellainen uhka, jota suunnitelmaa laadittaessa ole ymmärrettävistä syistä otettu huomioon. Romahduksessa rakennusta uhkasi tulipalo, jonka aiheuttamaa toimintaa on suunnitelmassa pohdittu kattavasti. Onnettomuus tapahtui myymälän ollessa suljettuna. Rakennuksessa oli tällöin vain kaksi henkilöä eikä

suunnitelman mukaisiin toimiin tarvinnut ryhtyä. Mahdollisia seurauksia tällaisen onnettomuuden tapahtuessa aukioloaikana on käsitelty liitteessä 3.

Turvallisuussuunnitelmassa on arvioitu myymälässä käyvien ihmisten määrää. Arvion mukaan vilkkaimmat tunnit ovat kello 16.00-18.00 välisenä aikana. Tuolloin asiakasmäärän tunnissa arvioidaan olevan enimmillään 200-250 henkilöä, joista yhtä aikaa sisällä noin 100 henkilöä. Lisäksi sisällä rakennuksessa on suunnitelman mukaan henkilökuntaa 13 henkilöä, joten suurimmaksi kiinteistöä yhtä aikaa käyttäväksi henkilömääräksi on suunnitelmassa mainittu 120.

Onnettomuuspäivänä vilkkain tunti oli kello 13-14, jona aikana kassatapahtumia oli 119. Myymälän sulkemista edeltävän tunnin aikana ja hieman sulkemisajan jälkeen kassatapahtumia oli yhteensä 69. Kauppiaalta saatujen tietojen mukaan keskimääräinen asiakkaiden määrä on noin 1,3-kertainen kassatapahtumiin nähden ja keskimääräinen kaupassa vietetty aika 15 minuuttia. Tällöin kello 13 ja 14 välisenä aikana myymälässä on samaan aikaan ollut keskimäärin 39 asiakasta ja kello 20:n ja sulkemisen välisenä aikana noin 22 asiakasta. Henkilökuntaa myymälässä on samaan aikaan yleensä 15.

Joulun aikaan kassatapahtumia oli vilkkaimmillaan 250/tunti. Tuolloin asiakkaita voidaan arvioida olleen myymälässä samaan aikaan 81 ja lisäksi henkilökuntaa 15. Tällä perusteella voidaan todeta, että turvallisuussuunnitelmassa esitetyt arviot suurimmista samaan aikaan myymälässä olevista henkilömääristä ovat todellisten tilanteiden mukaisia.

3.4 Poliisitutkinta

Pudasjärven poliisilaitokselle tuli illalla 27.12.2000 kaksi hengästynyttä naista kertomaan KKK-supermarketin katon romahtamisesta. Tapahtumapaikalle lähti välittömästi vuorossa oleva hälytyspartio. Lisäksi tilanteen vakavuuden ilmettyä vapaavuorolta hälytettiin tutkijapari suorittamaan alustavaa tapahtumaselvitystä. Palokunta oli eristänyt tapahtumapaikan.

Tapahtumasta kirjattiin välittömästi poliisin tietojärjestelmään ilmoitus numero 6600/S/10283/00.

Alustavaa paikkatutkintaa tehtiin seuraavana päivänä tutkintalautakunnan apuna. Samaan aikaan poliisin taktinen tutkija selvitteli tapahtumaa poliisitutkintana kuulustelemalla todistajia.

Tapahtuman selvittelyn yhteydessä kävi hyvin pian ilmi, että tapahtuneeseen ei näyttänyt liittyvän kenenkään ulkopuolisen henkilön tahallista tekoa tai sellaista tuottamuksellisuutta, minkä vuoksi asiassa olisi ollut syytä epäillä rikosta. Jo alkuvaiheissa oli käynyt ilmi, että onnettomuus ei ollut johtanut henkilövahinkoihin. Näin ollen esitutkintaa ei ollut tarvetta käynnistää.

Tutkinnanjohtaja kirjasi edellä olevin perustein poliisitutkinnan onnettomuuden osalta päättyneeksi 27.3.2001.

Onnettomuuspaikalla ilmeni, että liiketilaan perustetussa ilotulitteiden myyntipisteessä oli lattialla 25-30 kiloa ilotulitteita. Kyseisestä räjähdeasetuksen vastaisesta säilytyksestä kirjattiin rikosilmoitus numero 6600/R/94/01. Siltä osin kuultiin vastaavaa hoitajaa rikoksesta epäiltynä. Ilmeni, että vastaava hoitaja (liiketiloissa toiminut erillinen yrittäjä) oli liikkeen mentyä kiinni ollut täydentämässä ilotulitevarastoaan. Hän toimitti myymälään yhden kuorman ilotulitteita, jätti ne lattialle räjähdekaapin viereen ja lähti käymään muualla. Kun hän palasi uudelleen myymälään jatkaakseen työtään, sisäkatto oli jo romahtanut.

Tutkinnanjohtaja katsoi teon kokonaisuudessaan niin vähäiseksi, että vastaavalle hoitajalle annettiin esitutkintalain (449/1987) 2 §:n mukainen huomautus eikä esitutkintaa enää jatkettu.

3.5 Muut tutkimukset

Tutkintalautakunta kuuli muun muassa rakennustyön valvojaa, rakennusurakoitsijaa, rakennesuunnittelijaa, sähköurakoitsijaa, lvi-urakoitsijaa, rakennusvalvontaviranomaisia, alakattourakoitsijaa, naulatoimittajaa, kiinteistöhuoltoyritystä, ilmanvaihtoautomaatiikka-toimittajaa ja –asentajaa sekä supermarketin kauppiasta.

Pudasjärven poliisi on lisäksi kuulustellut myymälässä onnettomuushetkellä työskennelleitä kahta siivoojaa, juuri ennen onnettomuutta poistuneita kahta kassatyöntekijää, kiinteistöhoitajaa, kauppiasta sekä eräitä myymälän rakennustyössä mukana olleita henkilöitä. Tutkintalautakunnalla on ollut käytettävissään poliisin kuulustelupöytäkirjat.

Myymälää valvotaan videokameroilla, joiden kuva tallentuu videonauhalle. Tutkintalautakunta otti videonauhurin ja siinä olleen kasetin talteen onnettomuutta seuraavana päivänä. Kun nauhaa yritettiin katsoa, kävi kuitenkin ilmi, että onnettomuuspäivän tapahtumat eivät olleet nauhalla. Myymälässä on sellainen käytäntö, että kassahenkilökunta vaihtaa videonauhuriin joka päivä uuden kasetin siten, että sama kasetti tulee käyttöön jälleen seuraavan viikon samana viikonpäivänä.

Onnettomuuspäivänä aamuvuorossa ollut työntekijä vaihtoi keskiviikkopäivän kasetin koneeseen. Videonauhalla löytyy kuvatalennetta kuitenkin vain edellisen viikon keskiviikolta, mikä osoittaa sen, ettei laite ole ollut päällä tapahtumavuorokautena. Tutkinnassa on käynyt ilmi, että kauppiaan ja henkilökunnan vaihtuessa laitekohtainen opastus ja koulutus on jäänyt saamatta ja laitteen käyttöruutiini on jäänyt vaillinaiseksi. Kauppias on vaihtunut rakennuksen valmistumisen jälkeen yhden kerran.

4 ANALYYSI

4.1 Rakennuksen suunnittelu ja toteuttaminen

4.1.1 Rakennushankkeen osapuolet

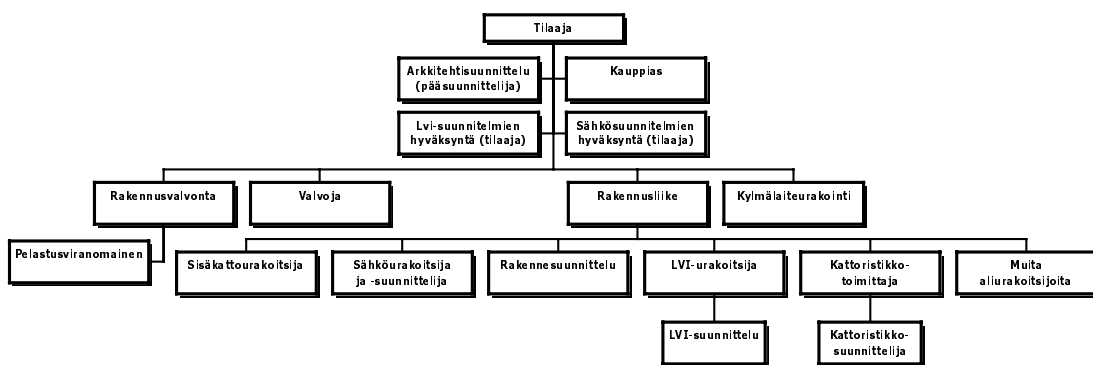
Rakennushankkeen laittoi alulle Kesko Oy, joka teetti helsinkiläisellä arkkitehtitoimistolla suunnitelmat Pudasjärvelle rakennettavasta ”kahden K:n” KK-marketista. Näiden suunnitelmien perusteella haettiin rakennuslupaa Pudasjärven rakennusvalvontatoimistosta, minkä jälkeen hankkeelle alettiin etsiä urakoitsijaa. Kesko Oy teki tarjouskilpailun jälkeen hankkeesta KVR-urakkasopimuksen oululaisen rakennusliikkeen kanssa. Lyhenne KVR tarkoittaa kokonaisvastuurakentamista, jossa urakan saanut rakennusliike suorittaa rakentamisen suunnitteluineen alusta loppuun saakka. Ennen urakan sopimista tilaaja esittää omat vaatimuksensa, joiden perusteella urakoitsija tekee tai teettää muun muassa tarvittavat rakenne-, lvi- ja sähkösuunnitelmat ja toteuttaa rakentamisen. Tilaaja luonnollisesti seuraa rakentamisen etenemistä, mutta tavoitteena on saada käyttöön sovittuun ajassa sovitunkaltainen rakennus ilman, että rakentamiseen tarvitsee juurikaan osallistua. Tässä tapauksessa urakkasopimus sisälsi koko rakennusurakan arkkitehtisuunnitelmia sekä kylmälaite-suunnitelmia ja -asennuksia lukuun ottamatta. Kylmälaite-suunnitelmat ja -asennukset Kesko Oy tilasi erikseen kiiminkiläiseltä kylmälaiteurakoitsijalta. Lisäksi Kesko Oy oli suoraan yhteydessä lvi- ja sähköurakoitsijoihin ja hyväksyi suunnitelmat todettuaan niiden täyttävän tarjouspyyntöasiakirjoissa esitetyt toiminnalliset vaatimukset. Keskolta rakennuttamiseen osallistuivat pääsääntöisesti Helsingissä työskentelevät projektipäällikkö, lvi-asiiantuntija ja sähköasiiantuntija sekä Oulussa työskentelevät aluepäällikkö ja isännöitsijä.

Rakentamisen aikana tilaaja pyysi tarjoustaan ”kahden K:n” marketin muuttamiseksi palvelutasoltaan paremmaksi ”kolmen K:n” KKK-supermarketiksi. Rakennusurakoitsija tarjosi kyseisen muutoksen lisätyönä, jonka Kesko Oy hyväksyi. Se aiheutti muun muassa pieniä muutoksia varastotiloihin, yhden kassan lisäyksen ja lisäyksiä kylmälaitteisiin.

Kesko Oy oli tilannut rakennustyön valvontapalvelut Oulussa toimipaikkaansa pitävältä yritykseltä. Valvojan tehtävänä on huolehtia, että suunnitelmat on koko ajan olemassa ja että rakentaminen tehdään niiden ja rakennustöiden yleisten laatuvaatimusten mukaan. Valvoja on siis tilaajan palkkaama ja pyrkii näin ollen valvomaan tilaajan etua. Käytännössä valvontatyö suoritettiin siten, että valvojaksi nimetty henkilö kävi rakennustyömaalla noin kerran viikossa. Kerran kuukaudessa järjestettiin työmaakokouksia, joissa valvoja toimi sihteerinä. Puheenjohtajana oli yleensä tilaajan edustaja. Kokouksissa todettiin rakennustyön edistyminen ja keskusteltiin mahdollisista ongelmista. Urakoitsija teetti rakenne-, lvi- ja sähkösuunnitelmat, joten urakoitsija toimitti ne työmaalle. Valvoja sai samassa yhteydessä niistä kopion. Valvojina toimi yrityksen kolme eri henkilöä, joista yksi oli nimetty päävalvojaksi, yksi toimi lvi- ja yksi sähkötyöiden valvojana. Valvojalle ei kuulunut suunnitelmien hyväksyminen.

Urakoitsijana toiminut oululainen rakennusliike jakoi omaa urakkaansa siten, että se teki aliurakkasopimukset lvi- ja sähköurakoista suunnitelmiseen. Rakennesuunnittelu tilattiin oululaiselta insinööritoimistolta. Kattoristikot rakennusliike tilasi kuhmolaiselta ristikko-toimittajalta, jolle ristikot suunnitteli kemiläinen suunnittelutoimisto. Lisäksi sisäkattotyö, johon sisältyi rakennuksen teräsvannejäkisteiden, höyrysulun ja 50x50 mm rimojen kiinnitys kattoristikoihin, 50 mm mineraalivillan asennus rimojen väliin, harvalaudoituksen naulaus rimoihin ja profiilipellin ruuvaus lautoihin, tilattiin sisäkattourakoihin erikoistuneelta oulunsalolaiselta yritykseltä.

Tutkintalautakunnan näkemys rakennustyön organisoitumisesta on kuvattu oheisessa kaaviossa:



4.1.2 Sisäkaton kiinnitystyön ja siihen tehtyjen ripustusten koordinointi

Sisäkatto ripustuksineen on melko laaja kokonaisuus, jonka toteuttamiseen osallistui useita henkilöitä ja aliurakoitsijoita. Kunkin osapuolen toiminta ja/tai ajattelumalli on asian havainnollistamiseksi esitetty oheisessa luettelossa. Kyseessä on tutkintalautakunnan keskeisimpiä havaintoja ja näkemyksiä tapahtumien kulusta sisäkaton toteutukseen liittyen. Eri osapuolet on esitetty satunnaisessa järjestyksessä.

Tilaaaja (Helsinki/Oulu):

- Ei osallistunut sisäkaton kiinnitysten ja kattoon tehtävien ripustusten suunnitteluun tai toteutukseen lainkaan.
- Ilmoitti suunnittelijalle lattian hyötykuorman ja hyllyjen aiheuttamat pistekuormat, mutta ei katon ripustuskuormia.
- Hyväksyi ripustuksia tekevien aliurakoitsijoiden suunnitelmat vain rakennuksen käyttäjän näkökulmasta.

Arkkitehtisuunnittelija (Helsinki):

- Ei osallistunut sisäkaton kiinnitysten ja kattoon tehtävien ripustusten suunnitteluun tai toteutukseen lainkaan.
- Kävi harvoin työmaalla.

Valvoja (Oulu):

- Ei kiinnittänyt huomiota sisäkaton naulakiinnitysten ja kattoon tehtävien ripustusten suunnitteluun tai toteutukseen.



- Piti mahdollisesti sisäkaton rimojen kiinnitystä suhteellisen vähäpätöisenä seikkana muun muassa siksi, että ei ollut tietoinen katon osuudesta rakennuksen jäykistyksestä. Lisäksi saattoi mieltää sisäkaton lähinnä "verhoiluksi", joka ei vaadi niin tiukkaa valvontaa kuin rakenteisiin liittyvät yksityiskohdat.
- Kävi paikalla noin kerran viikossa.

Rakennusurakoitsija/työmaan vastaava mestari (Oulu):

- Oli paikalla lähes koko ajan.
- Oli antanut sisäkaton teon aliurakoitsijalle.
- Ripustukset tekivät aliurakoitsijat lukuun ottamatta friiisejä ja opastetauluja, joiden kiinnityksen tekivät urakoitsijan omat miehet.
- On ollut tietoinen sisäkattotyön etenemisestä ja seurannut sitä jatkuvasti.
- Ei kuitenkaan ole puuttunut sisäkaton kiinnitysten ja ripustusten yksityiskohtiin, koska on luottanut siihen, että entuudestaan tutut ja ammattitaitoisiksi koetut aliurakoitsijat tietävät mitä tekevät.
- Kertoi maininneensa, että ripustukset tulee tehdä kattoristikosta.

Rakennesuunnittelija (Oulu):

- Teki koko rakennuksen rakennesuunnitelmat, jonka yhtenä pienenä osana oli sisäkaton kiinnitys.
- Suunnitteli liitokseen kolme 100 mm kirkasta lankanaulaa, joita ei käytännössä enää käytetä paineilmanaulaimien yleistyttyä. Lisäksi kolme naulaa on normien mukaan liian monta liitoksen kokoiselle alueelle (ks. kohta 4.2.1 Suunniteltu naulaliitos). Myös käytännössä kolmen naulan kiinnittäminen on hankalaa.
- Ei tiennyt eikä selvittänyt, mitä kattoon tullaan ripustamaan. Suunnitellun naulaliitoksen ominaiskapasiteetti on 677 N/m^2 (69 kg/m^2). (Laskelmat esitetty kohdassa 4.2.1 Suunniteltu naulaliitos.)
- Ei käynyt sisäkattoa tehtäessä paikalla.

Sisäkattourakoitsija (Oulunsalo):

- Teki rimojen kiinnityksen kokemustensa perusteella parhaalla tai mielestään ainoalla järkevällä tavalla eli kahdella konelaulalla/liitos. Kolmea naulaa ei edes harkittu, koska kolmen naulan arveltiin/tiedettiin halkaisevan rimat helposti.
- Ei osannut epäillä, että liitoksen kapasiteetti voisi olla riittämätön, sillä rimat "kestivät ison miehen roikkua".
- Luotti laadukkaiksi tietämiinsä nauloihin ja siihen, että niillä on naulamyyjältä saamiensa tietojen mukaan moninkertainen tartuntalujuus muihin nauloihin verrattuna.
- Edellä mainittujen syiden vuoksi ei todennäköisesti katsonut piirustuksissa esitettyä rakennesuunnittelijan suunnittelemaa naulaliitosta. Rimojen kiinnitysten naulamäärä on ilmeisesti melko harvoin esitetty suunnitelmissa.
- Ei tiennyt eikä ottanut selvää, mitä kaikkea sisäkattoon tullaan ripustamaan.

Sähkö-, Ivi- ja kylmälaiteurakoitsijat (Oulu/Kiiminki):

- Kiinnittivät tarvittavat ripustukset kuten heidän mielestään on tavallista, eli ruuvi kiinnitetään poimulevyn läpi puuhun. Kiinnitystavan valintaan saattoi vaikuttaa se, että muita kiinnitysvaihtoehtoja ei heitä varten oltu järjestetty, mutta eivät toisaalta olleet sellaista vaatineetkaan.

- Ripustaminen suoraan kattoristikoihin olisi vaikeuttanut työtä merkittävästi, koska ristikon alapuolelle oli jo kiinnitetty rimat, harvalaudoitus ja profiilipelti. Kiinnitykseen olisi tarvittu erittäin pitkiä ruuveja, koska profiilinharjan ja alapaarteen välinen etäisyys oli 92 mm. Myös 45 mm levyisiin alapaarteisiin osuminen olisi tuottanut vaikeuksia. Käytännössä ainoa siinä vaiheessa käyttökelpoinen tapa olisi ollut ripustusten teko alapaarteiden päälle laitettaviin poikkipuihin.
- Ripustettavien laitteiden kiinnitystyö tarvikkeineen kuului kyseisten urakoitsijoiden urakkaan.
- Ajattelivat, että heidän tehtävänsä on huolehtia omien asennustensa pysymisestä katossa. Katon pysyminen on muiden asia.
- Ripustuksia tehneet eivät muista rakennusurakoitsijan vaatineen ripustusten tekemistä ristikoihin.

Rakennusvalvontaviranomainen (Pudasjärvi):

- Ei paneutunut rakenteiden yksityiskohtiin.
- Oli paikalla vain tarvittavia katselmuksia tehtäessä. Ei siis ollut tietoinen sisäkattotyön etenemisestä.

Sisäkaton kestävä rakenne oli seurausta siitä, että kukaan edellä mainituista ei joko tullut ajatelleeksi kokonaisuutta, ei halunnut osallistua kokonaisuuden hallintaan tai luuli, että joku muu on asiaa jo miettinyt. Sisäkatto ripustuksineen rakentui siis siten, että kukin osapuoli luotti toisten ammattitaitoon ja kokemukseen. Sen vuoksi jokainen keskittyi tiukasti vain oman osa-alueensa toteuttamiseen. Kaikki osapuolet olivat alallaan tunnettuja ja kokeneiksi tiedettyjä. Tässä tapauksessa mahdollisesti juuri se johti siihen, että työmaalla uskottiin asioiden etenevän hyvin ilman valvontaa ja puuttumista työn suoritukseen.

Onnettomuuden syyn kannalta tärkeä yksityiskohta on 50x50 mm rimojen naulaus kattoristikoihin. Naulausta suorittavat henkilöt alkoivat naulata rimoja kuten aiemmissakin kohteissaan ja kuten alalla on yleistä kahdella 90 mm pituisella konenaulalla. Piirustuksissa kyseiseen kohtaan oli merkitty kolme 100 mm lankanaulaa. Piirustukset olivat työmaalla käytettävissä, mutta sekä naulaajat että työtä seuranneet muut henkilöt pitivät toteutettua naulaustapaa erittäin tavallisena, lujana ja itsestään selvänä. Lisäksi on todennäköistä, että sisäkattoon tulevia ripustuksia ei mietitty tarkemmin eikä katon merkitystä rakennuksen jäykisteenä tultu ajatelleeksi. Todennäköisesti sen vuoksi kukaan paikalla olleista ei ymmärtänyt naulaliitoksen tärkeyttä eikä tutkinut piirustuksiin merkittyä naulausta lainkaan.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan varsinaista päätöstä suunnitelmiin merkitystä naulaustavasta poikkeamisesta ei tehnyt kukaan. Naulaustavan muutoksesta ei ole merkintää työmaakokouspöytäkirjoissa. Rakennustyön vastaava työnjohtaja ei toiminut naulaajien välittömänä esimiehenä. Hän ja valvoja todennäköisesti luottivat vakaasti kokeneen sisäkattotyöryhtymän ammattitaitoon, eivätkä näin ollen pitäneet tarpeellisuutta miesten työhön lainkaan.

Myös kattoon tehtävät ripustustyöt tehtiin itsenäisesti ja käyttäen aikaisemmilta työmailta tuttua kiinnitystapaa. Ripustuksia ei oltu erikseen suunniteltu.

4.2 Sisäkaton kiinnitys

Sisäkaton rakenne on ylhäältä alaspäin edeten sellainen, että ristikoiden alapaarteisiin on ensin kiinnitetty höyrysulku. Sen jälkeen ristikoihin on naulattu 50x50 mm rimat 600 mm välein. Rimojen väliin on asennettu mineraalivillalevyt ja sen jälkeen rimoihin on naulattu 22x100 mm laudat 400 mm jaolla. Lautoihin on sen jälkeen kiinnitetty ruuveilla polyester-pinnoitettu poimulevy. Lopuksi ullakolle oli asennettu puhallusvilla. Yläpohjan rakenne on esitetty kuvassa 6. Välittömästi paikatutkintaa aloitettaessa havaittiin, että kattoristikot olivat paikoillaan ja kaikki niihin kiinnitetty oli pudonnut alas. Siitä syystä tutkintalautakunta on perehtynyt ristikoiden ja 50x50 mm rimojen välisen naulakiinnityksen toteutukseen ja lujuteen.

Naulaliitoksen lujuteen vaikuttavia seikkoja on naulan tartuntalujuus, naulan läpimeno kannan puoleisesta puusta ja naulan vetolujuus. Tutkintalautakunta totesi onnettomuuspaikalla, että kaikki naulat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta olivat irronneet siten, että naula oli tullut ulos naulan suuntaisesti sen kärjen puoleisesta puusta (kattoristikosta). Yhtään naulaa ei ollut katkennut (naulan vetolujuus) eikä naulan kanta ollut tullut rimojen läpi muualla kuin yksittäisissä rimojen jatkoskohdissa, joissa puu oli haljennut todennäköisesti jo naulatessa. Sen vuoksi liitoksen laskennallisessa tarkastelussa riittää tartuntalujuuden laskenta ja arviointi.

4.2.1 Suunniteltu naulaliitos

Liitteessä 2 esitettyyn rakennesuunnittelijan laatimaan rakenneleikkaukseen on kattoristikoiden ja niihin kiinnitettävien 50x50 mm rimojen liitokseen merkitty laitettavaksi 3 kappaletta 100 mm pituisia ja halkaisijaltaan 3,4 mm olevia tavallisia kirkkaita lankanauloja. Suomen rakentamismääräyskokoelman puurakenteita koskevan osan B10 mukaan naulan ominaistartuntalujuus⁵ lasketaan kaikille naulatyypeille kaavalla

$$F \leq f_u d(L - 1,5d)$$

jossa f_u on rakentamismääräyskokoelman taulukossa annettu kerroin, jonka suuruus tavalliselle nelikulmaiselle naulalle on 1,6 N/mm². Kerroin f_u kerrotaan kuorman aikaluokassa⁶ A sileän naulan kyseessä ollessa 0,5:llä, eli käytettäväksi f_u :n arvoksi saadaan 0,8 N/mm². Kaavan L on naulan tunkeuma sen kärjen puoleiseen puuhun (kattoristikoon) ja d on naulan halkaisija millimetreinä. Kaavaa käytettäessä edellytetään, että naulat lyödään vähintään 45° kulmassa liitospintaan ja puun syyn suuntaan nähden. Ehto toteutuu tarkasteltavana olevassa liitoksessa, koska kaikki naulat olivat jatkoksia lukuun ottamatta noin 90° kulmassa sekä liitospintaan että syiden suuntaan nähden.

⁵ Tartuntalujuudella tarkoitetaan naulalaskelmissa sitä voimaa, millä naula irtoaa kärjen puoleisesta puusta naulan suuntaisesti vedettäessä. Ominaislujuudella taas tarkoitetaan sitä lujutta, joka 95% todennäköisyydellä ylitetään. Suunnitteluperusteena on kuitenkin käytettävä lujutta murtorajatilassa, joka saadaan jakamalla ominaislujuus osavarmuuskertoimella $\gamma_m = 1,3$.

⁶ Kuormitukset jaotellaan keston perusteella aikaluokkiin. Aikaluokka A tarkoittaa pitkäaikaista yli 1,5 kuukautta vaikuttavaa voimaa, jollaisesta esimerkkinä voidaan mainita tässäkin tapauksessa vaikuttava omapaino.

Kun naulan tunkeuma on 50 mm, kaavaan sijoittamalla saadaan yhden naulan tartuntalujuudeksi 122 N ($\approx 12,4$ kg). Kolmen naulan tartuntalujuus on kolminkertainen, joten rakennesuunnittelijan suunnitteleman yhden liitoksen nauhojen laskennallinen tartuntalujuus on 366 N ($\approx 37,3$ kg). Kattoristikoiden jakoväli on 900 mm ja niihin kiinnitettyjen rimojen 600 mm, josta laskettuna liitoksia on yhteensä $1,85 \text{ kpl/m}^2$. Tällöin suunnitelmien mukaan ristikoihin kiinnitettyjen rimojen normien mukaiseksi ominaiskapasiteetiksi saadaan $1,85 \text{ kpl/m}^2 \times 366 \text{ N} = 677 \text{ N/m}^2$ ($\approx 69,0 \text{ kg/m}^2$). Kun ominaiskapasiteetti jaetaan osavarmuuskertoimella 1,3, saadaan laskentakapasiteetiksi murtorajatilassa 521 N/m^2 ($\approx 53,1 \text{ kg/m}^2$).

Rakennesuunnittelija oli siis suunnitellut rimojen kiinnityksen tehtäväksi kolmella $100 \times 3,4$ mm lankanaulalla, joiden ominaiskapasiteetti edellä esitettyjen laskelmien perusteella on noin 69 kg/m^2 . Hän ei selvittänyt lainkaan, mitä kyseiseen kattoon tullaan ripustamaan eikä hänelle toimitettu mitään ripustustietoja. Suunnittelija ei merkinnyt piirustuksiin mainintoja suurimmista sallituista ripustuksista. Työmaan aloituspalaverissa, jossa olivat läsnä muun muassa rakennuttajan, valvojan, rakennusurakoitsijan ja rakennesuunnittelijan edustajat, rakennuttaja ilmoitti, että lattiakuorma on noin 1000 kg/m^2 ja hyllyjen pistekuorma noin 2000 kg. Kattoon kiinnitettävistä ripustuskuormista ei tällöin kuitenkaan ollut puhetta.

Suunnitelman mukaan jokaiseen liitokseen oli tarkoitus lyödä kolme halkaisijaltaan 3,4 mm olevaa naulaa. Alue, jolle naulat oli tarkoitettu lyötäväksi, oli kooltaan 45×50 mm. Rakentamismääräyskokoelman osaa B10 *Puurakenteet* voidaan tulkita niin, että vetokuormituksen kyseessä ollessa naulan etäisyyden puun reunasta kuten myös nauhojen välisen etäisyyden tulee olla vähintään 5 x naulan halkaisija. Kun naulan halkaisija on 3,4 mm, reunaeräisyyden tulisi olla 17 mm. Tällöin kattoristikon ja riman liitokseen olisi sallittua naulata tartuntalujuutta tarkasteltaessa enintään kaksi naulaa, sillä muussa tapauksessa naulat tulevat joko liian lähelle toisiaan tai liian lähelle puun reunaa. Suunnittelija kertoi, että heidän kokemuksensa mukaan kolme $100 \times 3,4$ mm naulaa oli mahdollista lyödä kyseisenlaiseen liitokseen ilman puun halkeamisongelmia vaikka se normien vastaista olikin.

Jos naulaliitoksen ajatellaan vastaanottavan leikkausvoimaa, rakentamismääräyskokoelman ohjeen mukaan naulan reunaeräisyyden tulee olla 10 x naulan halkaisija. Tällöin kyseiseen liitokseen ei voida suunnitella yhtään naulaa. Koska sisäkatto oli suunniteltu toimimaan rakennusta jäykistävänä osana, naulaliitoksiin kohdistui myös leikkausvoimaa.

Rakennesuunnittelija ei naulaliitosta suunniteltaessa huomionnut myöskään sitä, että naulauksessa on jo useiden vuosien ajan lähes kaikissa kohteissa käytetty paineilmamantolainta, jossa suurin naulan pituus on käytännössä 90 mm. Suunnittelijan on täytyntä tuntea nykyaikainen rakennustapa ja tietää, että suunniteltuja 100 mm pituisia vasaralla lyötäviä lankanauhoja ei todennäköisesti tulla käyttämään. Suunnittelijan toimintaan on varmaankin vaikuttanut se, että rakennusalan normit eivät ota erikseen kantaa liimalla varustetun tai uritetun konenaulan kapasiteettiin.

4.2.2 Toteutettu naulaliitos

Sisäkaton rimat oli kiinnitetty kattoristikoihin pääsääntöisesti paineilmanaulaimella ammutulla kahdella liimakärkisellä tunnetun valmistajan (Senco) sileällä kuumasinkityllä 90x3,1 mm naulalla. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ei ole mainintoja liiman vaikutuksesta naulan tartuntalujuuteen, joten liitoksen kapasiteetti on syytä laskea samalla tavalla kuin liimattomalla naulalla tehdyn liitoksen. Tartuntalujuus voidaan laskea kuten edelläkin kaavalla

$$F \leq f_u d(L - 1,5d)$$

jossa f_u on pyöreälle naulalle 1,6 N/mm². Jos kuormitus on luonteeltaan pitkäaikaista, f_u kerrotaan kertoimella 0,5 (aikaluokka A), joten laskettaessa on käytettävä kerrointa 0,8 N/mm². Kun käytetään naulan halkaisijana d arvoa 3,1 mm ja tunkeumana kärjen puoleiseen puuhun 40 mm, saadaan yhden naulan ominaistartuntalujuudeksi 88 N (\approx 8,9 kg). Kun jokaisessa liitoksessa on pääsääntöisesti kaksi naulaa ja liitoksia on 1,85 kpl/m², saadaan kattoristikoiden ja rimojen välisten liitosten ominaiskapasiteetiksi 326 N/m² (\approx 33,2 kg/m²). Kun ominaiskapasiteetti jaetaan osavarmuuskertoimella 1,3, saadaan laskentakapasiteetiksi murtorajatilassa 251 N/m² (\approx 25,6 kg/m²).

Tartuntalujuuden kaavassa olevalle f_u :lle annetaan rakentamismääräyskokoelman taulukossa kuumasinkitylle naulalle arvo 3,1 N/mm², joka aikaluokka A huomioon otettuna olisi 1,55 N/mm². Tätä arvoa ei laskelmissa voida käyttää, sillä kyseistä naulaa ei voida pitää "perinteisen" kuumasinkityn naulan kaltaisena. Edellä mainitussa taulukossa on erikseen maininta siitä, että naulan tulisi olla nelikulmainen. Lisäksi kuumasinkityn konenaulan pinnankarheus on melko vähäinen ja sekin peittyi liimakerrokseen. Kyseisellä f_u :n arvolla laskettuna liitosten ominaiskapasiteetiksi neliometriä kohden saataisiin selvästi edellä laskettua suurempi ominaiskapasiteetti eli 628 N/m² (\approx 64,1 kg/m²).

Noin 150 neliömetrin alueella rimat oli kiinnitetty kuten muuallakin pääsääntöisesti kahdella naulalla, mutta naula oli erilainen. Syy erilaisen naulan käyttöön oli kuulemisten perusteella se, että sisäkattourakoitsijan omat naulat olivat väliaikaisesti loppuneet, minkä vuoksi nauvoja lainattiin rakennusurakoitsijalta. Kyseiset naulat olivat sähkösinkittyjä liimakärkisiä todennäköisesti Kaukoidässä valmistettuja konenauvoja, joiden koko oli 90x3,1 mm. Niiden varressa oli toisista nauloista poiketen loiva poimutus, joka oli kuitenkin niin loiva, että naulaa ei voida pitää rakentamismääräyskokoelmassa mainittuna kampanaulana. Tutkimuksissa ei ole saatu viitteitä siitä, että näiden eri naulatyyppien kapasiteetit olisivat oleellisesti toisistaan poikkeavat. Alue, jossa katto oli kiinnitetty näillä rakennusurakoitsijan nauloilla on esitetty kuvassa 5. Raskaimmat kattoon tehdyt ripustukset eivät olleet tällä alueella. Lisäksi onnettomuuden silminnäkijöiden kertoman mukaan kattovaurio ei ole alkanut tältä alueelta.

4.2.3 Naulauksen laatu

Naulaus oli pääsääntöisesti onnistunut melko hyvin, mutta tutkintalautakunta havaitsi muutamia puutteita, jotka ovat saattaneet vaikuttaa vaurion alkamiseen. Yksittäisetkin

puutteet naulauksessa saattavat tällaisessa rakenteessa kasvattaa vaurioriskiä merkittävästi. Koska poimulevy oli rakennuksen jäykistämisyyistä lujasti kiinni harvalaudoituksessa, katosta muodostuu luja yhtenäinen levy. Jos tällainen levy irtoaa yhdestä kohdasta, kyseisen alueen kuormitus siirtyy lisäkuormitukseksi viereisille naulaliitoksille. Kun viereiset naulaliitokset irtoavat ylimääräisen kuorman vaikutuksesta, tapahtuu jatkuva sortuma, jonka seurauksena yhtenäinen kattolevy irtoaa kokonaisuudessaan. Jos sattuu niin, että suurimmat ripustuskuormat ovat juuri sillä alueella, jolla naulauksessa on puutteita, romahdusvaara on ilmeinen. Muulla katon alueella naulaustyön pienillä virheillä, joita työn luonteesta johtuen aina esiintyy, ei ole merkitystä.

Toteutetussa rimojen naulauksessa havaittiin seuraavia puutteita:

- Rimat oli jatkettu tukien, eli 45 mm levyisten kattoristikoiden kohdalla. Naulat jouduttiin tällöin ampumaan vinoon aivan puun pään tuntumaan, minkä seurauksena rimat olivat useimmiten halkeilleet (ks. kuvaliite kuva 7). Parempi tapa olisi ollut kiinnittää rimat kattoristikoihin kunnolla muualta kuin niiden päästä ja jättää jatkoskohta kattoristikoiden väliin.
- Edellä mainitut jatkokset olivat useiden rimojen osalta saman ristikon kohdalla. Tällöin tiettyihin kohtiin muodostui alueita, joiden lujuus ei ollut yhtä suuri kuin muualla. Esimerkiksi rakennuksen keskivaiheille muodostui "sauma", josta romahduksessa muuten yhtenäisenä pysynyt katto repeytyi.
- Saman liitoksen naulat olivat osassa liitoksista hyvin lähellä (jopa alle 5 mm) päässä toisistaan, mikä heikentää liitoksen kapasiteettia.
- Kun riman ja alapaarteen liitos sattui teräsjäykisteen kohdalle, naulausta ei voitu tehdä lainkaan.
- Konehuoneen seinän lähellä, jossa naulausta suurten ripustuskuormien vuoksi erityisesti tutkittiin, naulaus oli jonkin verran puutteellinen. Tutkintalautakunta tutki liitokset noin 20 m² alueelta. Kyseisellä alueella kuudessa prosentissa liitoksista ei ollut yhtään onnistunutta naulaa ja kahdeksassa prosentissa oli vain yksi onnistunut naula. Lisäksi kahdessa prosentissa liitoksista puu oli haljennut samaan syyhyn ammuttujen naulojen vuoksi siten, että naulojen kapasiteetti oli menetetty. Tutkitulla 20 m² alueella oli kaksoisristikko, jolloin osa epäonnistuneista nauloista oli ristikoiden väliin osuneita.

Edellä mainittuja puutteita arvioitaessa on otettava huomioon, että esimerkiksi reikävanteiden kohdalle naulan ampuminen on lähes mahdotonta tai että jokaisessa naulaustyössä pieni osa nauloista saattaa mennä ohi tai puu halkeilla. Sitä varten naulaliitosten mitoituksessa tulee olla varmuutta, joka ottaa huomioon pienet naulauksen puutteet.

Tutkintalautakunta kiinnitti huomiota myös siihen, että ristikoista irronneiden naulojen kärjen liimassa oli hyvin vähän tai ei ollenkaan naulanreikästä liimaan tarttunutta puuta. Kun tutkintalautakunta teki muualla kokeita, joissa vedettiin liimakärkisiä nauloja irti puusta, naulojen liimaan jäi enemmän pientä puupuraa. Tutkintalautakunta päätteli, että

siihen voi johtaa seuraavat syyt: puutavara on ollut kosteaa, naulojen liima on ollut viallista tai sitä on ollut liian vähän tai pitkäaikainen kuormitus murtaa liiman eri tavalla kuin nopea veto.

Rimat olivat hyvälaatuisia, eikä niiden kosteutta ole muutoinkaan syytä epäillä. Kattoristikoiille taas on määrätty tietty suurin sallittu kosteus ja ne tehdään valikoidusta puutavaraista. Niidenkään kosteutta ei ole syytä epäillä, sillä niitä ei paikalle tuonin jälkeen säilytetty työmaalla kosteissa olosuhteissa vaan ne nostettiin heti ylös. Naulat ovat tutkintalautakunnan saamien tietojen mukaan yleensä hyvin tasalaatuisia, joten liimavikakin on epätodennäköinen. Sen sijaan tietoa liimakärkisen naulan käyttäytymisestä pitkäaikaisen kuormituksen vaikuttaessa on saatavilla todella vähän. Tutkintalautakunnan epäilyjen mukaan puupurujen vähäinen määrä nauloissa voi johtua siitä, että pitkäaikainen (pysyvä) kuorma on aiheuttanut liimassa muun muassa muoveille tyypillistä virumista. Tällöin venymä liimassa on kasvanut vähitellen, kunnes liiman lujuus on menetetty. Siinä tapauksessa murtuminen tapahtuu liimassa puun ja naulan välissä, kun se nopeasti vedettäessä tapahtunee liiman ja puun välisen rajapinnan kohdalla.

Tutkinnan yhteydessä on esitetty epäilyjä, joiden mukaan naulaliitoksen kapasiteettiin olisi vaikuttanut se, että naulat oli naulattu täysin pystysuoraan ”vinoon naulaamisen” sijasta. Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan vinoon naulaaminen sinänsä parantaa tartuntalujuutta, mutta kapasiteettia vähentää vinoon naulattaessa se, että puu halkeaa useammin ja suurempi osa nauloista menee ohi kokonaan tai osittain naulan kärjen puoleisesta puusta. Vinoon naulattaessa tartuntapitoisuus kärjen puoleisessa puussa jää pienemmäksi kuin pystysuoraan naulattaessa.

Lisäksi on esitetty arveluja, että nauлаustapa olisi virheellinen, koska joidenkin nau latoimittajien ilmoittamien ”nyrkkisääntöjen” mukaan naulan pituuden tulisi olla noin 2-2,5 kertaa kiinnitettävän puun paksuus. Tämä ”nyrkkisääntö” ei kyseisissä liitoksissa toteutunut, sillä naulan pituus oli 90 mm ja kiinnitettävän puun paksuus 50 mm. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa samaan asiaan liittyvä ajatus on esitetty siten, että naulan tunkeuma sen kärjen puoleiseen puuhun tulisi olla vähintään 8 x naulan halkaisija. Naulakoolla 90x3,1 mm se merkitsisi vähintään 24,8 mm tunkeumaa, joka toteutuu. Näillä ”nyrkkisäännöillä” pyritään ilmeisesti varmistamaan nau loille jonkinlainen kapasiteetti, vaikka tartuntaluujuuksia ei laskettaisi lainkaan. Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan näille säännöille ei ole käyttöä silloin, kun naulaliitoksen tartuntalujuutta laske taan niiden laskentaan tarkoitettuja kaavoja käyttäen.

Tutkintalautakunta suoritti 25.1.2001 onnettomuuspaikalla vetokokeita satunnaisesti kattoristikoihin kiinni jääneille nau loille. Naulat olivat jääneet ristikoihin sen vuoksi, että ne eivät olleet osuneet kunnolla rimoihin tai ne olivat peräisin rimojen jatkoskohdasta, jossa naulat ovat olleet hyvin lähellä puun päätä. Ristikoihin oli jäänyt myös muutama rima, mutta ne olivat sisäkaton putoamisen seurauksena irronneet noin 5 mm päähän ristikoista.

Vetokokeiden avulla pyrittiin selvittämään, kuinka suuri tartuntalujuus juuri tässä rakenteessa käytetyillä nau loilla oli. Koetta varten tutkintalautakunnalla oli käytössään nau lojen vetämiseen tarkoitettu yksinkertainen mittalaite, jonka viisarinäyttö ilmaisee vedettä-

vän naulan tartuntalujuuden kilogrammoina. Näytön oikeellisuuden tarkistamiseksi tutkintalautakunta kiinnitti mittalaitteen tartuntaleukoihin eri painoisia punnuksia.

Vetokokeen tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Vetokokeen tulokset. Kaikkien naulojen tunkeuma kärjen puoleiseen puuhun eli kattoristikoon oli yli 40 mm.

<i>Naula nro.</i>	<i>Tartuntalujuus [kg]</i>	<i>Naula nro.</i>	<i>Tartuntalujuus [kg]</i>
1	13-23	10	53
2	18	11	3
3	23	12	3
4	18	13	98
5	113	14	83
6	43	15	23
7	3	16	23
8 ja 9 (vedetty samaan aikaan)	78		

Kokeen tulosten hajonta oli erittäin suuri, minkä vuoksi niistä ei saa luotettavaa kuvaa naulojen tartuntalujuuksista. Useimmat naulat olivat selvästi päässeet liikkumaan onnettomuuden seurauksena ja menettäneet tällöin kapasiteettiaan. Lähes kaikki naulat olivat pudonneet sisäkaton mukana, joten vetokokeeseen soveltuvia nauloja ei ristikoissa ollut juuri lainkaan. Lisäksi voidaan kysyä, että miksi juuri nämä muutamat naulat ovat jääneet ristikoihin kiinni. Eli onko niillä mahdollisesti jostain syystä suurempi tartuntalujuus kuin irronneilla nauoilla? Tulosten luotettavuutta vähentää myös se, että vetokokeissa kuormitus on hetkellinen, kun todellisessa tilanteessa se on pysyvä ja pitkäaikainen. Lisäksi mittalaite oli tarkoitukseen liian järeä, sillä naulat irtosivat useimmiten heti vetoa aloitettaessa.

Tutkintalautakunnan mielestä vetokokeiden tulokset eivät anna vastauksia kysymykseen, mikä on ollut naulojen todellinen tartuntalujuus. Tutkintalautakunta esittää tämän tutkintaselostuksen lopussa naulatutkimuksen tehostamista. Tutkimuksissa olisi mahdollista saada tietoa erilaisten naulojen tartuntalujuuksista eri olosuhteissa. Tällä hetkellä luotettavaa tietoa ei ole saatavissa.

4.3 Sisäkattoon tehtyjen ripustusten aiheuttamat kuormat

Pudasjärven supermarketin sisäkaton sortuma alkoi rakennuksessa olleiden siivoojien mukaan maitokaappien yläpuolelta. Tutkintalautakunta laski tältä alueelta sisäkattoon kohdistuvat kuormat toteutuspiirustusten perusteella ja punnitsemalla mm. friisien painot. Sähkösuunnittelijalta tutkintalautakunta sai laskelmat, joissa oli laskettu kaapelihyllyjen ja niillä olleiden kaapeleiden painot.

Tällä noin 90 m² suuruisella alueella olivat koko myymälän suurimmat kuormat, koska kookkaimmat putket, kanavat ja painavimmat kaapelihyllyt lähtivät seinän takana olevasta konehuoneesta tai sähköpääkeskuksesta. Painavimmat ilmanvaihtokanavat, lämpöputket ja vesijohdot sijaitsivat alueen juomahyllyjen puoleisessa reunassa kun taas lihatiskin puoleisessa reunassa sijaitsivat painavimmat kaapelihyllyt ja kylmälaitteiden

putket ja niiden kaapelit hyllyineen. Valaisimet, friisit ja kylmälaiteputkien päähyllyltä kahteen suuntaan jakautuneet kylmälaiteputket hyllyineen sijaitsivat aivan maitokaappien etureunan yläpuolella rakennuksen poikittaissuunnassa.

Oulun alueen teknisen rikostutkimuskeskuksen tutkijat mittasivat putkien, ilmanvaihtokanavien, sähkökaapelihyllyjen ja kylmälaiteputkia kannattavien hyllyjen kannatusvälit. Lämpöeristetyt lämpö- ja vesijohtoputket oli kiinnitetty Jirva-kiskoon, joka oli kiinnitetty kolmella ruuvilla profiilipellin läpi harvalaudoitukseen. Jirva-kiskojen keskinäinen väli oli 220-250 cm. Suurimmat ilmanvaihtokanavat oli kannatettu metallivanteilla, jotka oli kiinnitetty kahdella kierretangolla harvalaudoitukseen. Metallivanteiden keskinäinen etäisyys oli pääkanavien osalta 280-480 cm. Alan kirjallisuudessa 800 mm kanavien suositeltu kannakeväli on enintään 300 cm.

Sähkökaapeleita ja kylmälaiteputkia kannattavat hyllyt oli kiinnitetty säännöllisesti 240 cm välein. 50 cm leveät hyllyt oli kannatettu kahdella kierretangolla ja 30 cm leveät hyllyt yhdellä kierretangolla. Valaisimet kiskoineen oli kannatettu kierretangoilla 200 cm välein.

Sisäkaton omaksi painoksi siihen kiinnitettyine asennuksineen laskettiin $45,6 \text{ kg/m}^2$ eli 447 N/m^2 , kun kuorma jaettiin tasan koko tälle 90 m^2 tutkitulle alueelle. Neliökuorma muodostui seuraavasti:

- oma paino eristeineen $20,0 \text{ kg/m}^2$
- ilmanvaihtokanavat $8,2 \text{ kg/m}^2$
- lämpö- ja vesijohtoputket $4,5 \text{ kg/m}^2$
- kylmälaiteputket hyllyineen $7,3 \text{ kg/m}^2$
- valaisimet ja kaapelihyllyt $4,5 \text{ kg/m}^2$
- friisit $1,1 \text{ kg/m}^2$

Tasaista neliökuormaa merkittävämpiä kuormia olivat sisäkattoon kiinnitettyjen putkien, kanavien, kaapeleiden ja hyllyjen pistemäisistä ripustuksista aiheutuvat kuormat. Pistemäisiä kuormia muodostuu laskennallisesti arvioiden noin $2,5 \text{ m}^2$ suuruisille alueille konehuoneen seinän viereen, maitokaappien etureunan yläpuolelle, maitokaappien juomahyllyjen puoleiseen reunaan ja lihatiskin maitokaapin puoleiseen päähän. Kun tällaisille pienille alueille sattui useita eri ripustuksia, niistä muodostui yhteen laskien $2,23\text{--}2,66 \text{ kN}$ ($227\text{--}271 \text{ kg}$) kuorma $2,5 \text{ m}^2$ alueelle.

Suurin yksittäinen pistekuorma $1,18 \text{ kN}$ (120 kg) aiheutui kylmälaiteputkien ja niitä kannattavien hyllyjen painosta. Kuorma jakautui kahdelle vierekkäiselle 50 cm etäisyydellä toisistaan olleille kierretangolle.

Ilmanvaihtokanavista aiheutui suurimmillaan noin $0,82 \text{ kN}$ (83 kg) suuruinen pistekuorma kahdelle 80 cm päässä toisistaan olleille kierretangoille. Lämpö- ja vesijohtoputkista aiheutui noin metrin pituiselle Jirva-kiskolle $0,57 \text{ kN}$ (58 kg) kuorma.

Lisäksi pistekuormia aiheutui kylmähuoneisiin ja –laitteisiin menevien pystysuorien putkien, kanavien ja kaapeleiden painoista, jotka pääsääntöisesti roikkuvat yläpuolisista päälinjoista tai kaapelihyllyistä. Näitä kuormia ei ole luotettavasti pystytty laskemaan.

Lihatiskin päälle oli rakennettu metallisäleistä alaslaskettu katto, joka oli ripustettu etureunastaan sisäkaton profiilipelistä. Katon painoa ei edellä olevissa laskelmissa ole otettu huomioon, mutta voidaan arvioida metallisälekaton painoksi noin 10 kg/m².



Kuva 7. Kuva myymälän sisältä ennen onnettomuutta. Kattovaurion todennäköinen alkamiskohta.

Figure 7. Interior of supermarket before the accident; view of the probable point of starting of the collapse.

Tutkintalautakunnan havaintojen mukaan kauppias ei ollut ripustanut sisäkattoon mitään mainoksia, joulukoristeita tai muuta sellaista, joka olisi mahdollisesti vaikuttanut kattovaurioon. Tutkintalautakunta selvitti myös sitä mahdollisuutta, että ilmanvaihtokanaviin olisi kertynyt kondensoitunutta vettä, mutta mitään tällaista ei havaittu.

4.4 Muut sisäkattovaurioon mahdollisesti vaikuttaneet seikat

Rakennusaikainen ristikkovaurio

Pudasjärven supermarketin rakennusvaiheessa 29.3.1999 tapahtui onnettomuus, jossa 15 kattoristikkoa putosi alas. Onnettomuudessa loukkaantui kolme katolta pudonnutta henkilöä.

Onnettomuus tapahtui ajankohtana, jolloin työvaiheena oli kattoristikoiden asentaminen. Kaksiosaisien ristikoiden alaosat olivat tuolloin väliaikaisten lautojen avulla tuettu paikoilleen. Niiden päälle oli nostettu kaksi nippua kattoristikoiden yläosia (yhteensä 14 kpl) ja kaksi tai kolme nippua lautoja. Nosto oli tehty, koska nosturiautolla oli ollut kiire pois työmaalta.

Kun ristikoiden alaosia asennettiin lopullisesti paikoilleen, väliaikaisia lautatukia piti irrottaa. Tuet irrotettiin kahdesta ristikosta, jolloin kaksi ristikkoa kaatui päällä olevan kuorman vaikutuksesta ja kaatoivat myös viereiset 13 ristikkoa. Kyseiset 15 ristikon alaosaa putosivat alas ja rikkoutuivat. Niiden tilalle toimitettiin uudet ristikot, joten vauriosta ei jäänyt pysyvää haittaa. Rakennusaikaisella ristikkovauriolla ei ole mitään teknistä yhteyttä myöhemmin tapahtuneeseen sisäkaton putoamiseen.

Samalla kun rakennesuunnittelija selvitti, mitä ristikkojen putoamisen jälkeen tulisi tehdä, hän havaitsi useiden ristikoiden naulalevyjen olevan muutamia millimetrejä irti ristikosta. Sen vuoksi hän teki ristikoiden korjaussuunnitelman, jonka mukaisesti naulalevyliitoksia vahvistettiin vanerilevyillä. Korjaustarve ei johtunut ristikoiden putoamisesta, vaan virheet olivat ilmeisesti olleet liitoksissa ristikoiden valmistamisesta saakka. Pienillä ristikoissa olleilla virheillä ja niiden korjauksilla ei ollut vaikutusta sisäkatto-onnettomuuteen.

Ilmanvaihdosta aiheutunut alipaine

Tutkintalautakunta selvitti myös sitä, onko ilmanvaihtojärjestelmässä mahdollisesti ollut sellainen vika, joka olisi saanut aikaan myymälään tavallista suuremman alipaineen.

Onnettomuushetkellä, kuten tavallisestikin, ilmanvaihtojärjestelmää ja lämmitystä ohjattiin automatiikalla. Tällöin tavallista suurempi alipaine voi aiheutua myymälätilaan vain, jos tuloilman sulkupelti menee tai jää jostain syystä kiinni. Automatiikka pitää sähkömoottorilla ohjattua sulkupeltiä auki aina silloin, kun tuloilmaa tarvitaan. Ainoa tilanne, jolloin sulkupelti voisi tällaisessa tilanteessa olla kiinni, on rikkoutunut moottori tai siihen yhteydessä olevien hammaspyörien rikkoutuminen. Moottori ja hammasrattaat todettiin kuitenkin ehjiksi onnettomuuden jälkeen tehdyssä tarkistuksessa.

Jos poistoilmapuhallin jää täysteholle siten, että tuloilmaa ei saada muualta kuin rakennuksen vuotokohdista, puhallin alkaa kasvattaa ulkoilman ja myymälätilan välistä paineroa. Vuotokohtia ovat muun muassa ovien ja ikkunoiden raot, ilmanvaihtojärjestelmän osat sekä muut ilmaraot rakenteissa. Myymälätilan paine alenee niin kauan kunnes syntyy sellainen tasapainotila, että puhaltimen ulos siirtämä ilmamäärä vakiintuu yhtä suureksi kuin rakennuksen vuotokohdista tulevan ilman määrä. Koska rakennuksen vuotojen suuruus on hankala määrittää ja ilmapirran pienentyessä joudutaan puhaltimen toiminta-alueen ulkopuolelle, mahdollisen alipaineen suuruutta on vaikea luotettavasti laskea. Tutkintalautakunta on keskustellut mahdollisen alipaineen suuruudesta useiden ilmanvaihtoalan ihmisten kanssa. Tällöin on todettu, että alipaine voisi suurimmillaan aiheuttaa tällaisessa rakennuksessa jonkinlaista vastusta ovien avaamiseen eli ehkä joidakin kilogrammoja neliometriä kohti, mutta ei kuitenkaan kymmeniä. Joissain pienemmissä teollisuusrakennuksissa, joissa on tehokkaat ilmanvaihtojärjestelmät, selvästi suurempi alipaine on mahdollinen. Tällaisessa rakennuksessa alipaine ei tutkintalautakun-

nan käsityksen mukaan voi olla niin merkittävä, että se voisi yksinään olla syynä sisäkattovaurioon. Lisäksi on otettava huomioon, että todennäköisesti rakennuksen elinaikana tulee sellainen tilanne, jossa tuloilman sulkupellin moottorin käyttöikä täyttyy ja sulkupelti jää kiinni poistoilmapuhaltimen käynnissä olosta huolimatta. Tällöinkään rakenteet eivät saisi rikkoutua.

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan ei ole syytä epäillä, että automatiikassa olisi ollut sellainen vika, joka olisi aiheuttanut alipaineeseen johtavan virhetoiminnan. Automatiikan lokitiedostoon on onnettomuushetkellä (kello 21.24) tallentunut vain grillin poistoilmapuhaltimeen liittyvä ristiriitahälytys, joka johtunee johtojen tai antureiden vaurioitumisesta.

Kaksi viikkoa ennen onnettomuutta Pudasjärven supermarketin konehuoneeseen tunkeutui yöaikaan murtautuja, joka käänteli ilmanvaihtojärjestelmään liittyviä kytkimiä ja irrotti joitakin johtoja. Tutkintalautakunta selvitti varmuuden vuoksi, olisiko myymälätilaan tällöin voinut syntyä vaikuttanut alipaine, jolla olisi ollut jotain vaikutusta katon myöhempään vaurioitumiseen. Ilmanvaihtoautomatiikan tallentamien tietojen mukaan kyseinen tunkeutuja oli laittanut myymälän ja takatilan poistoilmapuhaltimet täys- tai puoliteholle. Samaan aikaan tuloilmapuhallin on ollut pysähdyksissä ja tuloilmapelti kiinni. Merkittävää alipainetta ei ole kuitenkaan voinut syntyä, koska kun laitteet ovat yöaikaan pysähdyksissä, kiertoilmapelti on auki ja osa poistoilmasta ohjautuu myymälätilaan.

Ilmanvaihtokanavien värähtely

Kiinteistöhuoltoyrityksen henkilöt kertoivat tutkintalautakunnalle, että he olivat havainneet halkaisijaltaan 800 mm olevassa poistoilmakanavassa poikkeuksellisen suurta tärinää ja jonkinlaista rämisevää ääntä. Heidän mukaansa kanavat tärisivät suuren ilmavirran vuoksi, eli kyseessä ei ollut esimerkiksi puhaltimen moottorista aiheutuva resonanssi. Myös myymälähenkilökunta kertoi havainneensa liikettä ilmanvaihtokanavissa. Havainnot olivat noin puolen vuoden ajalta ennen onnettomuutta.

Muita havaintoja tärinästä ei ole saatu, joten sen tarkempi selvittäminen on hankalaa. Tutkintalautakunnan mielestä tärinällä voi olla vaikutusta naulojen tartuntalujuuteen varsinkin tällaisessa tilanteessa, jossa naulaliitokseen kohdistuu pysyvä vetokuormitus. Tosin ilmanvaihtokanavat on ripustettu sisäkattoon suhteellisen taipuisilla kierretangoilla, jotka eivät todennäköisesti välitä tärinää täysimääräisenä naulaliitoksille.

Onnettomuus tapahtui kello 21.24 ja ilmanvaihtokoneet oli ohjelmoitu pysähtymään kello 21.30. Siksi ei ole mahdollista, että onnettomuuteen olisi vaikuttanut koneiden pysähtymisestä mahdollisesti aiheutuva resonanssi tai alipaineen muutos.

Pitkästä jännevälisestä johtuvat ristikoiden taipumat

Kattoristikoiden jänneväli (l) on pitkä, 22,4 metriä. Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen mukaan suurin taipuma yläpohjarakenteissa saa olla l/200, eli tässä tapauksessa 112 mm. Ristikkosuunnittelijan laskelmien mukaan, kun lumesta, tuulesta ja omapainosta aiheutuvat ominaiskuormat on huomioitu, ristikon laskennallinen taipuma on 73 mm.

Konehuoneen seinän kohdalla rimojen kiinnityskohta ei painu, mutta ristikot painuvat. Rimojen kiinnityskohtien eri painumaeroa on pyritty pienentämään asentamalla 900 mm etäisyydelle konehuoneen seinästä kaksi ristikköä rinnakkain.

Tutkintalautakunnan asiantuntija laskee, kuinka suuria kuormia naulaliitoksiin kohdistuu, kun kattoristikot painuvat lumi ja/tai tuulikuorman vaikutuksesta. Laskelmat on liitteessä 4. Kaksoisristikoiden taipuma on laskelmissa 25 mm ja yksittäisen ristikon 50 mm. Suurinta laskennallista taipumaa eli 73 mm ei ole käytetty, koska konehuoneen seinä ei ulotu aivan ristikon keskelle. Lisäksi ristikoiden todellinen taipuma ei ole yleensä laskennallisen suuruinen, koska ristikoiden tuet jäykistävät rakennetta.

Laskelmat osoittavat, että pelkästään ristikoiden eri suuruisista taipumista voi aiheutua muun muassa kaksoisristikon kohdalle olevalle naulaliitokselle jopa 550 N ($\approx 56,0$ kg) vetokuormitus.

Onnettomuusaikaan lumikuormaa oli hyvin vähän, joten ristikoiden taipumasta aiheutuneet kuormat eivät ole vaikuttaneet sisäkaton irtoamiseen. Sen sijaan on mahdollista, että edellisen runsaslumisen talven aiheuttamat suuret taipumat ovat aiheuttaneet naulaliitoksiin sellaisia kuormia, jotka ovat aiheuttaneet liitosten kapasiteetin vähenemistä.

Laskelmien mukaiset kuormat ovat joka tapauksessa niin merkittäviä, että ne on otettava huomioon, kun suunnitellaan tällaisia suurella jännevälillä olevia rakennuksia.

Rakennusaikainen kiire

Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan supermarketin rakennustyötä jouduttiin tekemään kiireessä. Suunnitellun aikataulun mukaista rakennustyön aloittamista viivästyttivät rakentamisen alkuvaiheessa erittäin kireät pakkaset. Lisäksi viivästyttä aiheutui rakennusaikaisesta ristikkovauriosta. Vastoin käymisten seurauksena rakennuksen luovutuspäivämääräksi sovittiin 10.8.1999 alkuperäisen heinäkuun alun sijaan.

Rakennustyön aikaisen kiireen vaikutusta rakennustyön onnistumiseen on vaikea arvioida. Aikataulusta myöhästymisestä on oltu huolissaan työmaakokouksissa ja se luonnollisesti aiheuttaa urakoitsijoille ja työmaalla työskenteleville henkilöille paineita. On kuitenkin todettava, että rakennushankkeiden viivästyminen ei ole koskaan rakennuttajan edun mukaista, joten paineita aikataulun mukaiseen rakennuksen valmistumiseen on jokaisella työmaalla.

Sisäkaton kiinnittämiseen aikatauluvaikeudet vaikuttivat niin, että rakennusurakoitsija tilasi työn aliurakkana. Alkuperäisenä ajatuksena oli, että urakoitsija tekisi työn itse.

4.5 Pelastustoiminnan analysointi

Palolaitoksen toiminta

Onnettomuus tapahtui pelastustoiminnan kannalta hyvällä paikalla, sillä paloasema sijaitsee alle 500 m päässä supermarketista.

Pudasjärven palokunta sai automaattisen paloilmottimen tekemän hälytyksen Oulun hätäkeskukselta kello 21.24, jolloin kohteeseen hälytettiin Pudasjärven hälytysohjeen mukaisesti palokunnan osalähtö⁷. Hälytysohjeen mukaan automaattihälytyksiin hälytetään osalähtö lukuun ottamatta terveyskeskusta, vanhainkotiä, erästä hoivakotiä, lämpökeskusta, kirkkoa sekä erästä puualan yritystä. Niihin hälytetään sisäasiainministeriön ohjeen A 42 mukaisesti peruslähtö. Käytäntö on tällainen, koska automaattisilla paloilmottimilla varustetut kohteet ovat lähellä ja apua saadaan nopeasti lisää. Varautumista automaattisilta paloilmottimilta tullessiin hälytyksiin vaikeuttaa yleisesti se, että arviolta yli 90 prosenttia niiltä tulleistä hälytyksistä on turhia.

Onnettomuuspaikalle tultuaan esimiespäivystäjä käski hälyttämään paikalle palopäällikön, koska mahdollisista henkilövahingoista ei vielä ollut tietoa ja aineelliset vahingot näyttivät suurilta. Palopäällikkö saapui paikalle nopeasti, jonka jälkeen hän hälytti paikalle vielä kaksi yksikköä. Tällöin paikalle hälytettyjen yksiköiden määrä vastasi hälytysohjeen mukaista palokunnan peruslähtöä.

Paikalla olleiden yksiköiden määrä oli tilanteeseen nähden riittävä, eli aluelähtöä ei ollut syytä hälyttää. Jos kohteessa olisi jouduttu pelastamaan henkilöitä tai olisi syttynyt tulipalo, aluelähtö olisi todennäköisesti hälytetty. Sen toimintavalmiusaika olisi ollut noin yksi tunti.

Sairaanhoito ja -kuljetus

Terveyskeskus sijaitsee lähellä, noin 900 m päässä. Sen palveluja ei kuitenkaan tarvittu.

Pudasjärven terveyskeskuksessa on valmiusryhmä, johon kuuluu lääkäri, sairaanhoitaja ja perushoitaja. Valmiusryhmä on valmiudessa 24 tuntia vuorokaudessa ja sen lähtöaika on noin 10 minuuttia.

Sairaankuljetusautoja Pudasjärvellä on kaksi. Päivällä molemmat ovat välittömässä lähtövalmiudessa. Öisin ja viikonloppuisin on varmuudella yksi auto 15 minuutin lähtövalmiudessa, mutta käytännössä muun muassa omistajien, terveyskeskuksen ja palokunnan miehityksellä toinenkin auto on lähes jatkuvassa valmiudessa.

Suurempia onnettomuuksia varten sairaanhoitopiirissä on suunnitelmat lääkinnällisestä pelastustoimesta alueellaan. Lähimmät avustavat sairaankuljetusajoneuvot ovat noin tunnin päästä hälytyksestä Pudasjärvellä.

⁷ Pudasjärven palolaitoksen vahvuudet ja valmiusajat:
Osalähtö: 0+1+2, lähtöaika alle 5 minuuttia,
Peruslähtö: 1+2+10, lähtöaika alle 5 minuuttia,
Aluelähtö: 1+3+9+45, toimintavalmiusaika noin yksi tunti.

5 ONNETTOMUUDEN SYYT

Onnettomuuden syy oli se, että supermarketin sisäkattoa ja siihen tehtäviä ripustuksia suunniteltaessa ja toteutettaessa kukaan rakennus- tai suunnittelutyössä mukana olleista ei kiinnittänyt riittävästi tai lainkaan huomiota kokonaisuuteen. Eri alirakoitsijat tekivät sisäkaton osalta seuraavat työt: sisäkaton kiinnitys, sähköjohtohyllyjen, -johtojen ja valaisimien ripustus, ilmanvaihtokanavien ripustus, lämpö- ja vesijohtojen ripustus sekä kylmäaineputkien ja niiden hyllyjen ripustus. Rakennusliike teki omana työnään myymälän friisien ja opasteiden ripustukset. Lisäksi rakennesuunnittelija oli jo aiemmin osallistunut sisäkaton tekoon suunnittelemalla sisäkaton rakenteen, mukaan lukien kattoristikoiden ja rimojen välisen naulaliitoksen. Kukin edellä mainitusta keskittyi vain omaan osuuteensa, jolloin kokonaisuudesta tuli rakenteellisesti kestävätkin. Eri osapuolet eivät puuttuneet toistensa työhön mahdollisesti siksi, että kaikki olivat omilla aloillaan kokeneita ja ammattitaitoisiksi tunnettuja.

Onnettomuuden välitön tekninen syy oli se, että sisäkaton 50x50 mm rimojen ja kattoristikoiden välinen naulaliitos irtosi, kun kuormitus ylitti liitoksen lujuuden. Kiinnitys oli tehty niin, että liitokseen oli ammuttu paineilmanaulaimella pääsääntöisesti kaksi 90x3,1 mm naulaa. Sisäkattoon oli sen jälkeen kiinnitetty ilmanvaihtokanavia, sähköjohtohyllyjä, kylmälaiteputkia, vesi- ja lämpöputkia, valaisimia, friisejä ja opasteita. Ripustettuja kuormia oli eniten myymälän maitohyllyn luona lähellä sähköpääkeskusta ja konehuonetta, mistä vaurion on todettu alkaneen. Konehuoneessa on ilmanvaihtoon, kylmälaitteisiin ja lämmitykseen liittyviä laitteita, joten suuri osa putkista lähti juuri sieltä. Kaikki ripustukset oli tehty myymälän rakennusvaiheessa.

Tutkintalautakunnan Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti tekemien laskelmien mukaan sisäkaton naulaliitosten ominaiskapasiteetti ripustuskuormia vastaan oli 326 N/m^2 ($\approx 33,2 \text{ kg/m}^2$). Ripustuskuormia konehuoneen läheisyydessä tutkitulla 90 m^2 alueella oli sisäkaton omapaino mukaan laskettuna keskimäärin 447 N/m^2 ($45,6 \text{ kg/m}^2$). Ominaiskuorma oli siis keskimäärinkin selvästi ominaiskapasiteettia suurempi. Suurimman riskin rakenteen kestävyydelle kuitenkin aiheuttavat suuret ripustuksista aiheutuvat pistekuormat pienellä alueella. Suurin yksittäinen tällainen kuorma oli kahden 500 mm päässä toisistaan olevien ripustuksien kautta kattoon kohdistuva noin $1,18 \text{ kN}$ (120 kg) kuorma. Kelvolliselta rakenteelta edellytetään, että varmuuskertoimet huomioituna laskennallisen kapasiteetin tulee olla yli 1,5-kertainen kuormiin nähden.

Toteutettu naulaliitos oli suunnitelmien vastainen, sillä rakennesuunnittelija oli suunnitellut liitokseen kolme $100 \times 3,4 \text{ mm}$ lankanaulaa, jotka todellisuudessa oli korvattu kahdella $90 \times 3,1 \text{ mm}$ konenaulalla. Suunniteltu liitos ei kuitenkaan ollut käytännössä tarkoituksenmukainen, koska lähes kaikilla työmailla käytetään nykyisin konenauloja, joista pisimmät ovat käytännössä 90 mm pituisia. Lisäksi ristikon ja riman välinen liitosalue on niin pieni, että normien mukaan siihen ei voida naulata kolmea naulaa. Naulaustyötä tehneet henkilöt eivät ottaneet suunnittelijoihin yhteyttä naulamutoksen vuoksi. Siihen saattoi olla syynä se, että kahdella konenaulalla tehty kiinnitys katsottiin työmaalla lähes itsestäänselvydeksi eikä piirustuksiin kiinnitetty mitään huomiota. Suunnitellun naulaliitoksen



toksen ominaiskapasiteetti ripustuskuormia vastaan olisi ollut 677 N/m^2 ($\approx 69 \text{ kg/m}^2$), joka ei sekään olisi ollut riittävä pistemäisiä kuormia vastaan.

Rakennesuunnittelija oli kertomansa mukaan olettanut, että kaikki suurehkot ripustukset kiinnitetään suoraan kattoristikoihin. Asiaa ei kuitenkaan oltu merkitty piirustuksiin.

6 MUITA SUOMESSA TAPAHTUNEITA SISÄKATTOVAURIOITA

Tutkintalautakunta on tutustunut myös muutamaa muuhun Suomessa tapahtuneeseen vastaavaan sisäkaton putoamiseen. Pudasjärven onnettomuus aiheutti rakennusosalalla työskentelevien keskuudessa kiinnostusta, jonka seurauksena tutkintalautakunta sai vihjeitä muualla Suomessa tapahtuneista kattovaurioista. Osa näistä vaurioista oli sellaisia, että niissä katon pääkannattajat olivat romahtaneet, mutta joukosta paljastui myös tapauksia, joissa oli kysymys sisäkaton putoamisesta. Tutkintalautakunta selvitti lyhyesti vain sisäkattojen putoamistapauksien pääpiirteitä mahdollisten yhteneväisyyksien havaitsemiseksi Pudasjärven myymälärakennukseen nähden. Tiedot perustuvat pääosin kyseisten tapausten kuntien viranomaisten, hankkeiden rakennuttajien tai urakoitsijoiden tietoihin.

Yhteistä näille tapahtumille on, että niissä ei ole sattunut henkilövahinkoja, ne ovat sattuneet rakentamisen aikana tai varsin pian valmistumisen tai muutostöiden jälkeen ja ne on korjattu nopeasti. Tapauksista on saatavissa varsin vähän tietoa ja onnettomuuksien syyt ovat jääneet tutkimatta ja dokumentoimatta tarkemmin muutamaa tapausta lukuun ottamatta.

Limingan koulutuskeskuksen työpajan sisäkaton putoaminen

Rakennuttajalta saatujen tietojen mukaan uudisrakennuksen työpajan sisäkatto putosi alas 1990-luvun alussa. Rakennus oli ollut käytössä muutaman vuoden ennen vahingon tapahtumista. Naulalevyristikoihin oli kiinnitetty rakenteeltaan samanlainen sisäkatto kuin Pudasjärven myymälässäkin, mutta profiilipellin sijasta oli käytetty kipsilevyverhousta. Sisäkatto eristeineen putosi alas, kun rimojen ja kattoristikon välinen liitos petti. Rakennuttajan mukaan pääasiallisena syynä vahinkoon oli, että sisäkaton varaan oli ripustettu jälkeensä purunpoistoputkisto, jota ei oltu otettu suunnittelussa huomioon. Myöskin 600 mm jaolla olleiden 50x50 mm rimojen ja ristikoiden alapaarteiden välisen konenaulatun liitoksen kapasiteetti oli jäänyt riittämättömäksi.

Kiuruveden kaupungin teollisuustalon sisäkaton putoaminen

Kiuruvedellä putosi teollisuushallin sisäkatto vuonna 1985 viikonlopun aikana lähes kokonaan alas. Sisäkaton koko oli 36x18 metriä eli 648 m². Sisäkaton rakenne oli samanlainen kuin Pudasjärven myymälässäkin, mutta profiilipellin sijasta oli käytetty kipsilevyverhousta. Ristikoihin oli kiinnitetty 600 mm jaolla 50x50 mm rimat 90x3,1 mm pyöreillä, sileillä konenauloilla, joita oli pääsääntöisesti kolme kappaletta liitoksessa. Sisäkaton irtoaminen tapahtui rimojen ja ristikoiden välisestä liitoksesta kuten Pudasjärvelläkin.

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Rakennetekniikan laboratorio on antanut lausunnon sortuman syistä. Sisäkaton kuormana oli omanpainon lisäksi vain normaali valaistuksesta aiheutuva kuorma ja vähäinen määrä ilmanvaihtoputkia. Laskelmien mukaan osavarmuuskertoimet huomioiden liitoksessa olisi pitänyt olla 3,1 naulaa käytetyn kolmen naulan sijasta. VTT:n lausunnon mukaan murtumiseen on vaikuttanut pääasiallisesti kaksi asiaa; liitos on mitoitettu todellisia kuormia pienemmille kuormille ja naulojen

reunaetäisyydet ja keskinäiset etäisyydet ovat suurimmassa osassa liitoksia liian pienet. Lausunnon mukaan kumpikaan edellä mainituista syistä yksin ei olisi voinut aiheuttaa sortumaa. Tämän tapauksen laskennallisessa tarkastelussa käytettiin sortumajankohdan mukaisia suunnitteluarvoja, jotka olivat tartunnalle 1,6-kertaiset nykyisiin arvoihin verrattuna. Nykyiset arvot ovat olleet käytössä vuodesta 1990.

Naulaliitokset eivät täyttäneet naulojen keskinäisille etäisyyksille ja reunaetäisyyksille puurakenteiden suunnitteluohjeissa annettavia arvoja. Tämän asian vaikutusta ei voida luotettavasti kuitenkaan selvittää.

Kunnan viranomaisilta saadun tiedon mukaan sisäkaton putoamisen syyksi epäiltiin myös teollisuushallissa toimineen metallialan yrityksen toiminnasta aiheutunutta voimakasta värinää, joka kulkeutui rakenteisiin.

Sisäkaton putoaminen Oulussa

Säästökuoppa Oy:n Jukolankujan myymälän sisäkattoa putosi alas marraskuussa 2000 noin 200 m² alueelta. Myymälärakennusta on rakennettu useassa eri vaiheessa usean eri rakentajan toimesta. Viimeisimmin vuonna 1999 tehdyn laajennuksen yhteydessä uusittiin myös rakennusryhmän vanhoille osille ilmanvaihto. Sortuma tapahtui noin 45 metrin pituisella alueella, johon lisättiin 1999 2-4 ilmanvaihtokanavaa, lämpöputkia ja sähkökaapeleita. Linjastot oli kiinnitetty sisäkattoon riittävän hyvin, mutta sisäkaton kiinnitys kattoristikoihin oli jäänyt varmistamatta. Linjaston leveys oli noin kaksi metriä ja lvisuunnittelijan laskelmien mukaan sen omapaino oli 110 kg/juoksumetri.

Sisäkaton rakenne muodostui kipsilevyverhouksesta ja 50x50 mm rimoista, jotka olivat 400 mm jaolla. Rimat oli kiinnitetty kattoristikoihin yhdellä tai kahdella 100x3,4 mm kokoisella lankanaulalla. Sisäkatto eristeineen ja höyrysulkuineen sortui kuten Pudasjärvellä tuoden alas myös kaikki sisäkattoon kiinnitettyt lvis-asennukset. Rakennusvaurioita tutkineen rakennekonsultin selvityksen mukaan sortuman syynä on mitä ilmeisimmin ollut alapuolisten rimojen kiinnityksen riittämätön tartuntakapasiteetti lvis-linjaston aiheuttamalle lisäkuormalle. Joltain osin liitoksen peittäminen johti jatkuvaan sortumaan, joka kuitenkin pysähtyi.

Katon putoamisesta aiheutui kolmen miljoonan markan vahingot.

Myymälän sisäkaton putoaminen Kittilässä

Tammikuussa 1998 putosi myymälärakennuksen sisäkattoa alas noin 70 m² Kittilässä noin kaksi kuukautta uudisrakennuksen valmistumisen jälkeen. Kerrosalaltaan noin 1150 m² suuruudessa myymälärakennuksessa on kaksi eri liikettä, joista pienempi on noin 150 m². Sisäkaton putoaminen lvis-asennuksineen tapahtui pienemmän liikkeen puolella. Urakoitsijalle aiheutui noin 200 000 markan suuret korjauskustannukset.

Urakoitsijalta saadun selvityksen mukaan sisäkaton rakenteena oli levyverhous ja harvalauditus, joka oli kiinnitetty 63x2,8 mm liimakärkisillä konenauloilla kertopuuristikoihin.

Putoamisen syytä selvitettäessä kävi ilmi, että rakennusaikana sortuman kohdalla kaapelihyllyyn oli tarttunut saksinostimen työtaso, mikä oli aiheuttanut harvalaudoituksen osittaisen irtoamisen. Sisäkatto pysyi kuitenkin paikoillaan yli kaksi kuukautta ennen kuin putoaminen tapahtui. Sisäkattoa korjattaessa todettiin, että pienemmässä liikkeessä on huomattava alipaine, jota siellä ei ennen sisäkaton putoamista ollut esiintynyt. Alipaine aiheutui suuremman myymälän puoleisen poistoilmakanavan palopellin sulkeutumisesta, joka ei ollut johtunut lämmön vaikutuksesta. Ilmanvaihtokone pyrki ottamaan kaiken poistoilman pienemmästä liikkeestä.

Urakoitsijan käsityksen mukaan alipaine aiheutti sisäkaton lopullisen sortuman.

VTT:n Rakennustekniikan tutkimuksen mukaan naulaliitoksen kapasiteetti oli riittävä.

Myymälän sisäkaton putoaminen litissä

Vuonna 1993 saneerattiin ja laajennettiin vanhaa myymälärakennusta. Myymälän vanhalle osalle lisättiin entisen sisäkaton lastulevyverhouksen päälle kipsilevy poistamatta tai korjaamatta vanhoja rakenteita. Sisäkattoon kiinnitettiin lisää myös kylmälaiteputkistoja. Lastulevyn alla ollut ruodelaudoitus oli kiinnitetty kattorakenteisiin nauloilla joiden tunkeutuma kattokannattajiin oli noin 2 cm. Vuonna 1994 myymälän sisäkattoa putosi noin 10 m² alalta. Sisäkaton irtoaminen tapahtui ruodelaudoituksen ja kattokannattajien liitoksesta.

Teollisuushallin sisäkaton putoaminen Suomussalmella

Teollisuushallin yläpohjan sisäverhous koostuu ristikoiden alapaarteisiin naulatusta harvalaudoituksesta 22x100 mm. Tähän laudoitukseen on kiinnitetty naulaamalla 2x13 mm kipsilevy. Yläpohjan lämpöeristeenä on puhallusvilla.

Hallin sisäkattoa sortui alas noin 30 m² alalta 29.7.2000. Sortumassa rimoitus ja kattolevyt irtosivat kattoristikoista. Sortuma tapahtui nosto-oven läheisyydessä. Nosto-oven käyttö aiheuttaa rakenteeseen jonkin verran iskuja oven pysähtyessä yläasentoon. Sortuminen johtui naulauksen pettämisestä. Naulaus ei ollut laudoituksen jatkoskohdista kaikilta osin onnistunut vaan lautojen päät olivat halkeilleet.

Liikuntahallin sisäkaton putoaminen Suomussalmella

Liikuntahallin yläpohjan sisäverhous on rakennettu siten, että kannattajien alapintaan on kiinnitetty naulaamalla 50x50 mm koolaus 600 mm jaolla. Kolauksen välissä akustovilla 50 mm. Koolauksen alapintaan on naulattu suojaksi 45x45 mm rimoitus 100 mm jaolla.

Liikuntahalli rakennettiin 1986. Liikuntahallin katon sisäverhousta sortui alas alle vuoden kuluttua rakennuksen valmistumisesta. Sortuneen alueen laajuus oli noin 10 m². Sortuman syyksi todettiin epäjatkuvuus ja siitä johtunut naulauksen irtoaminen.

7 TUTKINTALAUTAKUNNAN SUOSITUKSET

7.1 Naulaliitoksia koskevien normien päivittäminen

Ympäristöministeriön julkaiseman Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa *B10 Puurakenteet* on ohjeet naulaliitosten suunnitteluun. Ohjeissa määritellään muun muassa kuinka pieni naulojen välinen etäisyys voi olla, kuinka kauas puun reunasta naulat on lyötävä ja kuinka suuri on naulan tartuntalujuus. Tartuntalujuus määräytyy laskentakavasta 5.7, jossa lähtöarvoina ovat naulan tunkeuma kärjen puoleiseen puuhun, naulan halkaisija sekä ohjeen taulukosta 5.6 saatava kerroin f_u . Kertoimen f_u arvoon vaikuttaa naulatyyppi sekä naulaan kohdistuvan kuormituksen kesto (aikaluokka). Naulatyyppi-vaihtoehtoina taulukossa on seuraavat naulatypit:

- Pyöreä naula
- Nelikulmainen naula
- Kierrenaula
- Kampanaula
- Kuumasinkitty naula (nelikulmainen)

Ohjeen alussa mainitaan, että ohjeen naulat voivat olla ns. perinteisiä käsin vasaralla lyötäviä lankanauloja tai konenauloja. Nykyisin naulat ammutaan lähes joka työmaalla paineilmanaulaimella, jossa käytetään monenlaisia muun muassa liimalla varustettuja ja esimerkiksi sellaisia nauloja, joissa on kampanaulan määritelmästä poikkeava kampanomainen kuviointi. Ohjeessa ei oteta lainkaan kantaa siihen, mitä vaikutusta liimalla on naulan tartuntalujuuteen. Naulavalmistajat ilmoittavat esitteissään ja nauloja myydessään nauloille tavallisiin nauloihin verrattuna erittäin suuria tartuntalujuuksia, mutta objektiivista tietoa asiasta ei ole suunnittelijoiden tai naulojen käyttäjien käytävissä. Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan naulanvalmistajien esittämät arvot tai lujuuskäyrät on laadittu vetämällä nauloja lyhytaikaisen kuorman avulla irti koekappaleesta. Kokeet eivät kuitenkaan anna sellaisia tuloksia, joita voisi suoraan soveltaa kaikissa käytännön liitoksissa. Kyseisissä tuloksissa ei ole huomioitu kaikkia asiaan vaikuttavia seikkoja kuten esimerkiksi pitkäaikaisen tai vaihtelevan kuormituksen vaikutusta.

Koska naulavalmistajat esittävät konenauloille muun muassa ulkomaisten tutkimusten nojalla moninkertaisia tartuntalujuusarvoja ja näiden naulojen käyttö rakennusalalla on erittäin laajaa, alalla esiintyy epätietoisuutta näitä nauloja kohtaan. Toisaalta tiedossa on, että normissa ei ilmoiteta esimerkiksi liimakärkisille nauloille muita nauloja suurempia kapasiteetteja. Epätietoisuuden poistamiseksi ja suunnittelun yhdenmukaistamiseksi tutkintalautakunta suosittaa seuraavaa:

Paineilmanaulaimilla ammuttavien erilaisten naulojen tutkimusta tulisi lisätä. Tutkimuksissa tulisi selvittää mm. liiman ja erilaisten pintakuviointien vaikutusta naulojen kapasiteettiin mm. muuttuvia ja pitkäaikaisia kuormituksia vastaan.
[B2/00Y/S1]

Suomen rakentamismääräyskokoelman naulaliitoksia käsittelevään osaan tulisi liittää suunnittelijoiden avuksi ohjeet siitä, miten paineilmanaulaimella ammuttaviin liimakärkisiin ja erilaisiin pintakuvioituihin nauloihin tulisi suunnittelutyössä suhtautua. [B2/00Y/S2]

On mahdollista, että liimakärkisten naulojen käyttöön liittyy joitain erityisesti huomioon otettavia asioita kuten esimerkiksi kapasiteetin pieneneminen lämpötilan muuttuessa, mahdollinen liiman lujuuden menettäminen rakennusvaiheessa liitokseen kohdistuvien iskujen vuoksi tai puun laadun vaikutus. Lisäksi ongelmia saattaa aiheutua esimerkiksi siitä, että rakenteiden taipumat aiheuttavat naulaliitokseen sellaisen kuorman, joka johtaa liiman lujuuden yhtäkkiseen menettämiseen. Tällaiset seikat tulisi myös kirjata ohjeeseen tutkimusten tulosten mukaisesti.

Tutkimuskeskuksen mielestä konenaulojen ja erityisesti liimakärkisten naulojen käyttöön liittyy niin paljon edellä kuvatun kaltaisia epävarmuustekijöitä, että niihin tulisi nykyisin saatavilla olevien tietojen perusteella suhtautua suunnittelutyössä kuten sellaisiin nauloihin, joissa liimaa ei ole. Jos näin on, se tulisi kirjata selvästi Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeeseen.

7.2 Suurimpien sallittujen katon hyötykuormien määrittäminen

Ympäristöministeriö on maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 13 §:n ja asetuksen 66 §:n nojalla antanut rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjetta koskevat määräykset ja ohjeet (A4). Ne koskevat myös rakennuksen korjaus- ja muutostöitä. Määräyksissä ja ohjeissa edellytetään laadittavaksi kiinteistön käyttö- ja huolto-ohjeet sisältäen mm. kiinteistön huollon ja kunnossapidon lähtötiedot ja tilojen käyttäjille annettavat ohjeet. Ohjeet eivät kuitenkaan edellytä minkäänlaista mainintaa tai ohjetta kattoon ripustettavaksi sallituista kuormista.

Nykyisin rakennukset muuttuvat nopeasti yhteiskunnan kehityksen mukana ja tiloihin tulee lisää esimerkiksi kylmälaitteita ja paistopisteitä. Lisäykset eivät välttämättä vaadi rakennusvalvonnalta toimenpidelupaa vaan kauppiaat tilaavat itsenäisesti työn suoraan asianomaiselta urakoitsijalta suunniteltuihin. Myymälärakennuksissa kauppiaat omistavat itse esim. kylmälaitteet.

Jotta kattorakenteiden kapasiteettia ei ylitettäisi myöhemmin rakennusta käytettäessä tai kun rakennuksen käyttötarkoitusta muutetaan, tutkimuskeskus suosittaa seuraavaa:

Ympäristöministeriön tulisi täydentää määräystä ja ohjetta rakennusten käyttö- ja huolto-ohjeista niin, että hyötykuormat ja sallittavat ripustuskuormat veloitettaisiin esittämään laadittavassa ohjeessa ainakin sen tyyppisissä rakennuksissa, jossa rakennuksenkäyttöänsä aikana toiminnan tai kuormituksen muutokset ovat mahdollisia. [B2/00Y/S3]

Laadittavassa käyttö- ja huolto-ohjeessa tulisi esittää sallittavat kuormat ja toimenpiteet erilaisten LVISA-järjestelmien ja muiden kuormien lisäämisen varalta niin selvästi, että

rakennusalaan tuntematon käyttäjä voi käynnistää tarvittavat toimet MRA 50 §:ssä mainittujen rakennukselle asetettavien olennaisten teknisten vaatimusten täyttämiseksi.

7.3 Rakennusvalvonnan tehostaminen

Rakennustyö tehtiin ennen maankäyttö- ja rakennuslain uudistusta. Mikäli rakennustyö olisi tehty uuden lain voimassa ollessa, työtä aloitettaessa olisi nimetty pääsuunnittelija, jonka tehtävänä on huolehtia mm. rakenteellisen kokonaisuuden onnistumisesta. Tässä tapauksessa pääsuunnittelija olisi mahdollisesti ollut helsinkiläisestä arkkitehtitoimistosta, joka oli toimittanut arkkitehtipiirustukset rakennuslupaa haettaessa. Vaihtoehtoja pääsuunnittelijaksi olisivat voineet olla rakennesuunnittelija tai joku erikseen tehtävään nimettävä.

Uuden lain henki on sellainen, että vastuu suunnittelun kokonaisuudesta ja sen laadusta keskitetään pääsuunnittelijalle, jonka ammattitaidosta rakennusvalvontaviranomainen pyrkii varmistamaan hyväksymällä tehtävään sopivan taustan omaavan henkilön. Pudasjärven supermarketin sisäkaton putoaminen liittyi niinkin "vähäpätöiseen" yksityiskohtaan kuin sisäkaton rimojen naulakiinnitykseen. Sen vuoksi on todennäköistä, että pääsuunnittelijan olemassaolo ei olisi estänyt onnettomuutta. Myös lisälmen uimahallin kattorakenteissa 29.3.2000 tapahtuneen vaurion⁸ synty oli sellainen, että rakennustyössä mukana olleilta jäi oleellinen yksityiskohta huomaamatta.

Virheellisten rakenteiden havaitsemismahdollisuuksien lisäämiseksi tutkintalautakunta toistaa lisälmen uimahallin kattovaurion tutkinnan yhteydessä annetun suosituksen B1/00Y/S2:

Rakennusvalvonnalla tulisi olla koko maassa sellaiset resurssit, että vähintäänkin vaativimpien ja kansalaisten turvallisuuden kannalta oleellisten kohteiden rakennusratkaisuihin ja niiden varmuuteen voitaisiin perehtyä huolellisesti. [B1/00Y/S2]

Lisäksi rakennusvalvontaviranomaisille tulisi antaa sellaiset ohjeet, että rakennusten rakenteelliseen turvallisuuteen pitää kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Erityisen tärkeää olisi pyrkiä tunnistamaan virheellisiä tai alimitoitettuja rakenteita sellaisista rakennuksista, joiden vaurioitumisesta voi aiheutua vaaraa suurelle määrälle ihmisiä. Tärkeitä kohteita ovat muun muassa kattorakenteet sekä rakennusten jäykistysratkaisut.

Kuntien rakennusvalvontaviranomaisten tulisi siis omaksua tärkeä tehtävä rakennuksissa oleskelevien ihmisten turvallisuuden varmistajana. Tutkintalautakunnan arvion mukaan liian monessa kunnassa rakennusvalvontaviranomaiset toimivat vain alueen rakentamisen yleisinä valvojina, piirustusten arkistoina ja pakollisten katselmusten suorittajina.

Syitä rakennusvalvontaviranomaisten tehtävän rajautumiseen liian suppeaksi on taloudellisten resurssien väheneminen muun muassa lamavuosien takia sekä rakennusratkai-

⁸ Onnettomuustutkintakeskuksen julkaisu B 1/2000 Y Uimahallin katon liimapuupalkin rikkoutuminen lisälmessä 29.3.2000, julkaistu 30.11.2000.

suojen analysointiin soveltuvan henkilöstön puuttuminen. Suunnitelmat laatii usein suunnittelutoimistoissa työskentelevät insinöörit tai diplomi-insinöörit, jolloin esimerkiksi rakennustarkastajana työskentelevällä rakennusmestarilla ei useinkaan ole osaamista tai auktoriteettia perustella suunnitelmiin muutoksia. Tällöin rakennustarkastajan kannalta yksinkertaisin, mutta valvonnan kannalta tehoton toimintatapa on luottaa suunnittelijoihin ja hyväksyä suunnitelmat niihin enempää perehtymättä. Asian parantamiseksi tutkintalautakunta suosittaa seuraavaa:

Kuntien rakennusvalvontaviranomaisilla tulisi olla jokin helppo mahdollisuus saada tärkeiden kohteiden tarkastuksessa apua joko muista kunnista, valtakunnalliselta organisaatiolta tai yksityisiltä asiantuntijoilta. [B2/00Y/S4]

Kynnys avun pyyntöön tulisi olla riittävän alhainen. Nykyisin laki antaa mahdollisuuden vaatia rakennusluvan hakijalta asiantuntijalausuntoa siitä, täyttääkö suunniteltu ratkaisu lain vaatimukset. Tällaisen mahdollisuuden käyttöä rajoittanee se, että kunnan rakennusvalvontaviranomaisen epävarmuus omasta ammattitaidostaan ei liene hyvä syy vaatia rakentajaa esittämään mahdollisesti kalliitakin lausuntoja.

Rakennusvalvonnan kehittämiseksi tutkintalautakunta esittää vielä seuraavaa:

***Rakennusvalvontaa tulisi kehittää niin, että eri kuntien lupakäytännöt yhdenmu-
kaistuisivat ja erikoisosaamista olisi kaikkien kuntien käytettävissä. [B2/00Y/S5]***

Muun muassa pelastusalalla on juuri vireillä lakiesitys, jossa kuntien pelastuslaitoksia on tarkoitus yhdistää suuremmiksi pelastustoimialueiksi. Paikallista rakennusvalvontaa ja palvelua tarvitaan, mutta liian pienten yksiköiden ongelma saattaa olla se, että osaamista/resursseja vaativiin ja tavallisesta poikkeavien lupien käsittelyyn ei ole. Nykyinen järjestelmä on johtanut vaihteleviin käytäntöihin, mikä ei takaa välttämättä rakennusten olennaisten teknisten vaatimusten täyttymistä koko maassa. Lisäksi pienissä kunnissa ongelmaksi saattaa tulla se, että asioita ei kyetä hoitamaan riittävän objektiivisesti.

7.4 Naulalevyristikoiden käyttö P2-luokan rakennuksissa

Rakennuslupapiirustusten mukaan Pudasjärven supermarket on suunniteltu tehtäväksi P2-luokan rakennuksena, jonka suojaustaso on 2, eli rakennuksessa on automaattinen paloilmoin ja tavallinen alkusammutuskalusto. Kantavien rakenteiden luokkavaatimukseksi on määritelty R30 eli kantavien rakenteiden on kestävä sortumatta 30 minuuttia palon alkamisesta. Pintakerrosvaatimukseksi on asetettu seinien ja katon osalta 1/I ja savunpoiston määräksi 1% lattiapinta-alasta. Seinien ja katon pintakerrosvaatimus 1/I tarkoittaa, että seinien tai katon pintakerros ei syty tai sytty vain vaikeasti eivätkä pintakerrokset myötävaikuta lainkaan tai myötävaikuttavat vain vähäisessä määrin palon leviämiseen eikä pintakerrokset suuressa määrin muodosta savua. Rakennuslupapiirustuksissa rakennuksen paloturvallisuus on Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksen E1 vaatimusten mukainen. Tosin savunpoistoluokkuina toimivien ikkunoiden sijainti olisi voinut olla parempi, sillä ne olivat jääneet myymäläkalusteiden taakse. Vi-



ranomaisilla ei ollut lupapiirustusvaiheessa käytettävissä myymälän kalustopiirustuksia, minkä vuoksi ikkunoiden jäämistä kalusteiden taakse ei voitu havaita.

Arkkitehdin laatimissa ja rakennusvalvonnan hyväksymissä lupapiirustuksissa on rakennuksen keskellä ja ulkoseinälinjoilla kantavana rakenteena pilarit. Yläpohjan kantava rakenne on leikkauspiirustuksessa ja rakennetyypissä esitetty tehtäväksi luokkaan R30 kertopuuristikoilla, jotka tukeutuvat ulkoseinä- ja keskilinjalla olevien liimapuupalkkien varaan.

Rakennusvalvontaviranomaisen mukaan Pudasjärven kunnassa P2-luokan rakennuksessa ristikoita ei tarvitse mitoittaa paloluokkaan R30. Sen sijaan yläpohja voitiin tehdä paloluokkaan REI 30 alapuolista paloa vastaan ja kantavina rakenteina voivat toimia palosuojaamattomat naulalevyristikot. Rakennesuunnittelija oli erikseen toimittanut kunnalle yläpohjan rakennetyypin rakennuslupavaiheessa. Edelleen rakennesuunnittelija muutti arkkitehdin lupakuvissa esittämän ulkoseinien pilari-palkkirakenteen kantavaksi ulkoseinä-rakenteeksi. Kantava ulkoseinä on taloudellisesti edullisempi kuin pilari-palkkirakenne ja täyttää R30-vaatimuksen.

Rakennesuunnittelija oli erikseen tiedustellut yläpohjan paloluokka-asiaa, koska Suomessa on kuntia, jotka noudattavat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet kohdan 6 luokkavaatimuksia tarkasti eivätkä hyväksy puurakenteista naulalevyristikkoa P2-luokan rakennuksen yläpohjan kantavaksi rakenteeksi luokkaan R30. Luokkavaatimus on tarkistettava rakennesuunnittelijan mukaan aina P2-luokan rakennusten yläpohjan osalta jokaisesta kunnasta erikseen.

Suomessa suunnitellaan edelleen P2-luokkaisten rakennusten yläpohjarakenteet hyvin paljon materiaalivalmistajien tuotekuvastojen pohjalta esim. siten, että naulalevyristikoiden alapuolella on joko yksi kipsilevy (vanha E1 kohta 3.9.1: suojaverhous 10 minuuttia) tai kipsilevy on korvattu muovipinnoitetulla profiilipellillä kuten tässä Pudasjärven myymälässä. Pääsääntöisesti käytetään kahta kipsilevyä Gyprocin (eräs kipsilevyvalmistaja) tyyppihyväksynnän mukaisesti. Vanhat E1-määräykset kumoutuivat vuonna 1997 ja käsitteet suojaverhous ja palosuojaus täsmentyivät uudessa määräyksessä. Kumoutuneen määräyksen mukaan rakennusosat, joilta vaadittiin luokka B30 (nykyinen R30) saatiin korvata vastaavasti suojaverhotuilla rakenteilla (vanha E1 kohta 3.9.1). Tutkintalautakunnan arvion mukaan tämä vanha käytäntö on edelleen voimassa suurimassa osassa Suomen kuntia.

Tutkintalautakunta suosittaa rakentamistapojen yhdenmukaistamiseksi, että

Ympäristöministeriö täsmentää pikaisesti naulalevyristikoiden käyttömahdollisuudet ja edellytykset P2-luokan rakennuksen yläpohjan kantavina rakennusosina. [B2/00Y/S6]

7.5 Pääsuunnittelijavaatimusten täsmentäminen

Maankäyttö- ja rakennuslaki korostaa selvästi hyvää rakentamisen laatua, suunnittelijoiden pätevyyttä ja vastaavan työnjohtajan kelpoisuutta. Pääsuunnittelijan vastuu on perinteisesti pyritty sisällyttämään arkkitehdille, mutta käytännössä sitä on useissa rakennushankkeissa esim. talotehtaiden toimittamissa omakotitaloissa mahdoton pitkistä etäisyyksistä tms. johtuen säilyttää arkkitehdille.

Rakennushankkeissa saattaa esiintyä ongelmia rakennuttajan, pääsuunnittelijan, rakennuttajakonsultin ja urakoitsijoiden suunnittelijoiden toimenkuvien ja tehtävien rajauksissa minkä perusteella pääsuunnittelijalla ei ole tavallaan auktoriteettia lain mukaisen vastuun ottamiseen.

Pääsuunnittelijakäytäntöjen selkiyttämiseksi tutkintalautakunta esittää, että

Suomen rakentamismääräyskokoelman osaan A2 Rakennussuunnitelmat, määräykset ja ohjeet lisätään maankäyttö- ja rakennuslain edellyttämä pääsuunnittelijalta vaadittava koulutus vaatimustasoltaan erilaisiin kohteisiin, suunnittelijan vastuu ja tehtävien rajaus. [B2/00Y/S7]

Pääsuunnittelijaksi ei tulisi valita henkilöä, jolla ei todennäköisesti ole käytännössä mahdollisuutta huolehtia tehtävistään. Pääsuunnittelijana voisi olla muukin kuin arkkitehti, esim. omakotirakennuksilla vastaava työnjohtaja.

7.6 Muita ehdotuksia ja huomioita

Virhe Suomen rakentamismääräyskokoelmassa

Tutkintalautakunta havaitsi, että Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa B10 Puurakenteet on virhe. Vuoden 2001 alussa voimaan tulleen ohjeen sivulla 11 olevasta naulaliitoksen ominaistartuntalujuuden ensimmäisestä laskentakaavasta 5.10 puuttuu naulan halkaisijaa osoittava suure d . Ohjeessa kaava on esitetty muodossa:

$$F \leq f_u(L - 1,5d)$$

Oikein kirjoitettuna kaava on seuraava:

$$F \leq f_u d(L - 1,5d)$$

Virhe on saattanut aiheuttaa kaavaa soveltaville hankaluuksia, mutta rakenteiden turvallisuutta virheellisen kaavan käyttö ei vaaranna. Halkaisijaltaan yli 1 mm naulojen ominaistartuntalujuutta laskettaessa virheellinen kaava antaa liian pieniä kapasiteettiarvoja, jolloin seurauksena saattaa olla vain ylimitoitettuja liitoksia.

Tutkintalautakunta esittää, että virhe korjattaisiin mahdollisimman pian.

Ovien lukitus aukioloajan ulkopuolella

Myyvälätilan kassojen puoleisessa päässä työskennellyt siivooja suojautui onnettomuuden tapahtuessa tuulikaapin penkin alle. Hän ei päässyt ulos rakennuksen siinä päässä olevista ovista, koska pääsisäänkäynnin liukuovet oli lukittu riippulukolla.

Kun myymälä- ja muissa julkisissa rakennuksissa työskentelee henkilöitä aukioloaikojen ulkopuolella, on myös heidän poistumisensa turvattava tarkoituksenmukaisesti sijoitettua uloskäytävistä. Sen vuoksi turvalukkoja ei saisi kiinnittää ennen henkilökunnan poistumista. Lisäksi uloskäytävät ja poistumiseen liittyvät erikoisjärjestelyt on merkittävä turvallisuussuunnitelmaan ja tiedotettava henkilökunnalle.

Kalusteiden ja laitteiden sijoittaminen rakennuksiin

Pudasjärven supermarketin rakennuslupaa haettaessa viranomaisilla ei ollut käytettävissä kalusteiden sijoituspiirustuksia. Rakennuksen käyttöönottotarkastuksen yhteydessä havaittiin, että kalusteet ja friisit peittivät savunpoistoikkunat. Siinä vaiheessa muutosten vaatiminen on lähes mahdotonta.

Tutkintalautakunta esittää, että rakennuttajan tulisi esittää rakennuslupavaiheessa kalustussuunnitelmat. Näin voitaisiin ajoissa varmistua siitä, että uloskäytävillä johtavat kulkureitit olisivat tarkoituksenmukaisia ja rakennuksen henkilö- ja paloturvallisuuteen liittyvät uloskäytävien ja sammuttimien opasteet ja merkinnät olisivat havaittavissa sekä laitteet esteettömästi käytettävissä.

Edellä mainitut poistumisjärjestelyt ja kalusteiden sijoittaminen tulisi esittää rakennuslupavaiheessa. Asiasta huolehtiminen kuuluu maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen pääsuunnittelijan tehtäviin.

Oulussa 6.6.2001

Kai Valonen
tutkintalautakunnan puheenjohtaja

Pentti Kurttila
jäsen

Vesa Teivaanmäki
jäsen



SISÄASIAINMINISTERIÖ
Pelastusosasto

LAUSUNTO

Hannu Olamo

4.6.2001

SM-2001-1006/Tu-33

Onnettomuustutkintakeskus
Yrjönkatu 36
00100 HELSINKI

Lausuntopyyntö 20.4.2001

SUPERMARKETIN SISÄKATON PUTOAMINEN PUDASJÄRVELLÄ 27.12.2000

Tutkintaselostuksessa esitetyt suositukset vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi ja turvallisuuden parantamiseksi ovat sisäasiainministeriön mielestä erinomaisia.

Asiantuntemuksen merkitys korostuu vastaisuudessa entisestään, kun suurehkojen rakennusten suunnittelu tulee vastaisuudessa entistä useammin pohjautumaan oletetun palon kehittymiseen perustuvaan mitoitukseen eli ns. toiminnalliseen palomitoitukseen. Paikallisilla viranomaisilla on vain harvoin edellytyksiä arvioida näitä suunnitelmia.

Pelastushallinnossa on vireillä hanke koota pelastustoimi kunnista n. 20 alueelliseen kuntien johtamaan yksikköön. Näillä on ajateltu olevan huomattavasti nykyistä paremmat edellytykset hankkia asiantuntevaa henkilöstöä. Näin paikallisella rakennusvalvontaviranomaisella olisi tarjolla asiantunteva lausunnon antaja. Tämän lisäksi tarvitaan joskus erikoisasiantuntemusta tutkijoilta ja konsulteilta.

Kohdassa 7.6 on käsitelty kalusteiden ja laitteiden sijoittamista rakennukseen. Juuri näiden puutteiden havaitsemiseksi pelastustoimiasetuksen (857/1999) 14 §:n viimeinen momentti edellyttää tehtäväksi ns. erityisen palotarkastuksen. Lausunnosta ei selviä miten kyseinen ilmeistä vaaraa aiheuttanut järjestely marketissa on läpäissyt palotarkastukset. Muutoksen vaatiminen ei voi olla ongelma viranomaiselle vaan pikemminkin liiketoiminnan harjoittajalle. Ainakin pelastusviranomaisella on riittävät toimintavaltuudet.

Tekninen johtaja

Hannu Olamo

Yli-insinööri

Jyrki Karvonen

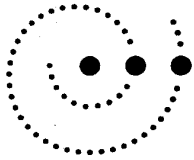
seitsemän ja 00/100

Postiosoite
PL 26
00023 VALTIONEUVOSTO

Käyntiosoite
Kirkkokatu 12
HELSINKI

Puhelin
Vaihe (09) 1601
Sähköposti:
etunimi.sukunimi@sm.intermin.fi

Faksi
(09) 160 4672



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET

Päiväys
Datum

Dnro
Dnr

4.6.2001

3/6212/2001

Onnettomuustutkintakeskus
Yrjönkatu 36
00100 Helsinki

Viite Kirjeenne 20.4.2001
Hänvisning

Asia LAUSUNTO TUTKINTASELOSTUKSEN B2/2000Y LUONNOKSESTA
Ärende

Ympäristöministeriö on tutustunut Pudasjärvellä 27.12.2000 tapahtunutta Supermarketin sisäkaton putoamista koskevan tutkintaselostuksen luonnokseen. Ympäristöministeriö esittää lausuntonaan luonnoksen suosituksista seuraavaa:

Naulaliitoksia koskevien normien päivittäminen

Paineilmanaulaimilla ammuttavien erilaisten naulojen tutkiminen on tarpeellista ottaen huomioon markkinoilla olevan suuren naulatyypivalikoiman. Erilaisten naulojen suuresta lukumäärästä johtuen ei ole mahdollista määrittää sellaisia suunnitteluarvoja, joiden voitaisiin katsoa kattavan kaikki markkinoilla olevat naulatyypit ja jotka voitaisiin ilmoittaa suunnittelunormeissa. Naulojen lujuusarvot tulisivatkin määrittää tuotekohtaisesti asianmukaisella testausohjelmalla. Edelleen lujuusarvojen hyväksymistä varten pitäisi olla sopiva menettely.

Suomen rakentamismääräyskokoelman betoni-, teräs- ja muurattuja rakenteita koskevissa ohjeissa vaaditaan erälle kuormia siirtäville rakenneosille käyttöselostetta edellytyksenä niiden käyttämiseen kantavissa rakenteissa. Käyttöseloste on puolueettoman tutkimuslaitoksen tekemiin tutkimuksiin perustuva selvitys tuotteen lujuusominaisuuksista ja käytön edellytyksistä. Käyttöselosteen myöntää ympäristöministeriön tähän tarkoitukseen hyväksymä toimielin. Puurakenteiden ohjeissa B10 ei ole vaadittu käyttöselostemenettelyä millekään puurakenteissa käytettävälle kantavalle rakenneosalle, mutta menettely soveltuisi periaatteessa nauloille ja muille puurakenteissa käytettäville kiinnikkeille. Ministeriö selvittää mahdollisuutta sisällyttää ohjeisiin B10 käyttöselostemenettely sellaisia tuotteita varten, joilla on merkittävä vaikutus turvallisuuteen mutta joista ei ole annettu ohjeita suunnittelunormeissa.

Suurimpien sallittujen katon hyötykuormien määrittäminen

Ympäristöministeriö kannattaa esitettyä suositusta siltä osin, että tieto kattoon ripustettavista sallituista kuormista pitäisi olla olemassa ja helposti saatavissa rakennuksen koko elinkaaren

ajan. Tietojen esityspaikkana kuitenkin mielestämme tilaan sijoitettava kuormakilpi olisi käyttökelpoisempi kuin rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje.

Rakennusvalvonnan tehostaminen

Nykyisen maankäyttö- ja rakennuslain säännöksillä tähdätään siihen, että rakentamisorganisaation itsensä toimesta tapahtuvaa rakentamisen valvontaa tehostetaan. Rakennusvalvontaviranomaisen tehtävänä on pääasiassa valvoa, että työmaan oma valvonta on järjestetty ja että se toimii asianmukaisesti. Rakennusvalvonnan tehostamiseen pyritään tätä kautta, koska rakennusvalvonnan nykyisten resurssien takia riittävän kattavaa työn valvontaa ei voi laskea pelkän viranomaisvalvonnan varaan.

Maankäyttö- ja rakennuslaissa on määritelty eräitä menettelyjä, joilla rakennusvalvontaviranomainen voi tarvittaessa saada tukea omalle osuudelleen valvontatyössä. Viranomainen voi sallia, että riittävän ammattitaitoinen henkilö tarkastaa työn suunnitelmanmukaisuuden. Valvontavastuut voidaan siten jakaa työmaan aloituskokouksessa niin, että suunnittelija huolehtii turvallisuuden kannalta olennaisista kantavien rakenteiden tarkastuksista. MRL 151 §:ssä on annettu rakennusvalvonnalle mahdollisuus vaatia rakennusluvan hakijaa esittämään asiantuntijalausannon siitä, täyttääkö esitetty suunnitteluratkaisu tai rakentaminen asetetut vaatimukset. Rakennusvalvonnalla on myös oikeus edellyttää rakennustöiden vaativille tai turvallisuuden suhteen kriittisille osille tehtäväksi laadunvalvontasuunnitelma. Rakennusvalvonnan tehtävänä on tällöin seurata laadunvalvontasuunnitelman toteutumista.

Naulalevyristikoiden käyttö P2-luokan rakennuksissa

Tutkijalautakunta on esittänyt naulalevyristikoiden käyttöön P2-luokan rakennuksissa liittyvän suosituksen, vaikka paloturvallisuuteen liittyvillä ratkaisuilla ei ollut yhteyttä tapahtuneeseen onnettomuuteen. Suosituksen perustelutekstissä puututaan sinänsä tärkeään asiaan, sillä epäselvyydet määräysten E1 tulkinnassa yhdistettynä käsitteiden sekoittamiseen ovat voineet jossain tapauksessa johtaa hyväksyttävän rakenteen hylkäämiseen ja jossain toisessa vaatimuksia täyttämättömän rakenteen hyväksymiseen.

Kantavien rakenteiden, tässä tapauksessa kattoristikoiden palonkesto arvioidaan rakenteiden alapuolelta vaikuttavaa paloa vastaan. Tässä arvioissa voidaan tarkastella yläpohjan koko rakennekokonaisuutta ottaen huomioon myös alakattorakenne. Jos ristikoiden palonkesto aika ei ole riittävä ja ne siksi täytyy suojata, suojaava rakenne ei ole suojaverhous vaan palosuojaus. Suojaverhouksen funktiona on pintojen syttymisherkkyyss- ja palonlevittämismominaisuuksille asetettujen vaatimusten täyttäminen ja alustan suojaaminen syttymiseltä eikä sen varsinainen tarkoitus olekaan lisätä kantavien rakenteiden palonkesto aikaa. Suojaverhoukselle on asetettu vain 10 minuutin palonkestovaatimus. Pelkästään suojaverhouksen vaatimukset täyttävä rakenne ei siten riitä varmistamaan 30 minuutin palonkesto aikaa yläpohjarakenteelle, jonka kantavana osana toimivat naulalevyristikot.

Suojaverhouksen ja palosuojauksen määritelmiä ei ole mitenkään muutettu siirryttäessä vanhoista E1-määräyksistä nykyisiin. Kantavien rakenteiden riittävä palonkesto aika voidaan edelleenkin varmistaa palosuojauksella. Tällaiseen ratkaisuun saattaa kieltämättä sisältyä riski siitä, että palo pääsee ohittamaan palosuojauksessa käytettävät rakenteet esim. räystäsrakenteiden tai palosuojauksessa olevien läpivientien tai epätiivien saumojen kautta. Jos tällaiset riskit on eliminoitu estämällä palon pääsy onteloon vaadittuna palonkesto aikana, ei ole nykyistenkään määräysten E1 mukaan estettä käyttää kattoristikoiden yläpohjarakenteessa, joiden kantaville rakenteille on asetettu 30 minuutin palonkestovaatimus.

Tapausten moninaisuudesta johtuen ei kuitenkaan ole mahdollista antaa yleisiä ja kaiken kattavia määräyksiä tai ohjeita kattoristikoiden käyttöedellytyksistä P2-luokan rakennuksissa. Kantavien yläpohjarakenteiden suunnittelu palonkestovaatimukset täyttäväksi vaatii rakenteiden yksityiskohtien tuntemista ja siten suunnittelu voi perustua vain kohdekohtaiseen harkintaan ja tapauskohtaisiin ratkaisuihin.

Kattoristikoiden käyttöön liittyviä kysymyksiä voitaisiin kuitenkin käsitellä määräyksiin E1 liittyvää ympäristöministeriön opasjulkaisua uusittaessa. Opasjulkaisu joudutaan uusimaan siinä yhteydessä, kun määräyksiin E1 seuraavan kerran tehdään muutoksia.

Pääsuunnittelijavaatimusten täsmentäminen

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan A2 uusiminen on meneillään. Uusissa määräyksissä ja ohjeissa A2 tullaan käsittelemään pääsuunnittelijan ja myös muiden suunnittelijoiden tehtäviä ja heille asetettavia kelpoisuusvaatimuksia.

Muut ehdotukset ja huomiot


Tutkijalautakunta on havainnut painovirheen ohjeiden B10 kaavassa 5.10. Ympäristöministeriö kiittää ilmoituksesta. Virhe korjataan, ensi vaiheessa Finlex-säännöstiedostossa olevaan ohjeiden internet-versioon, ja siitä tiedotetaan asianmukaisesti.

Kehittämiskohtaja
Rakennusneuvos



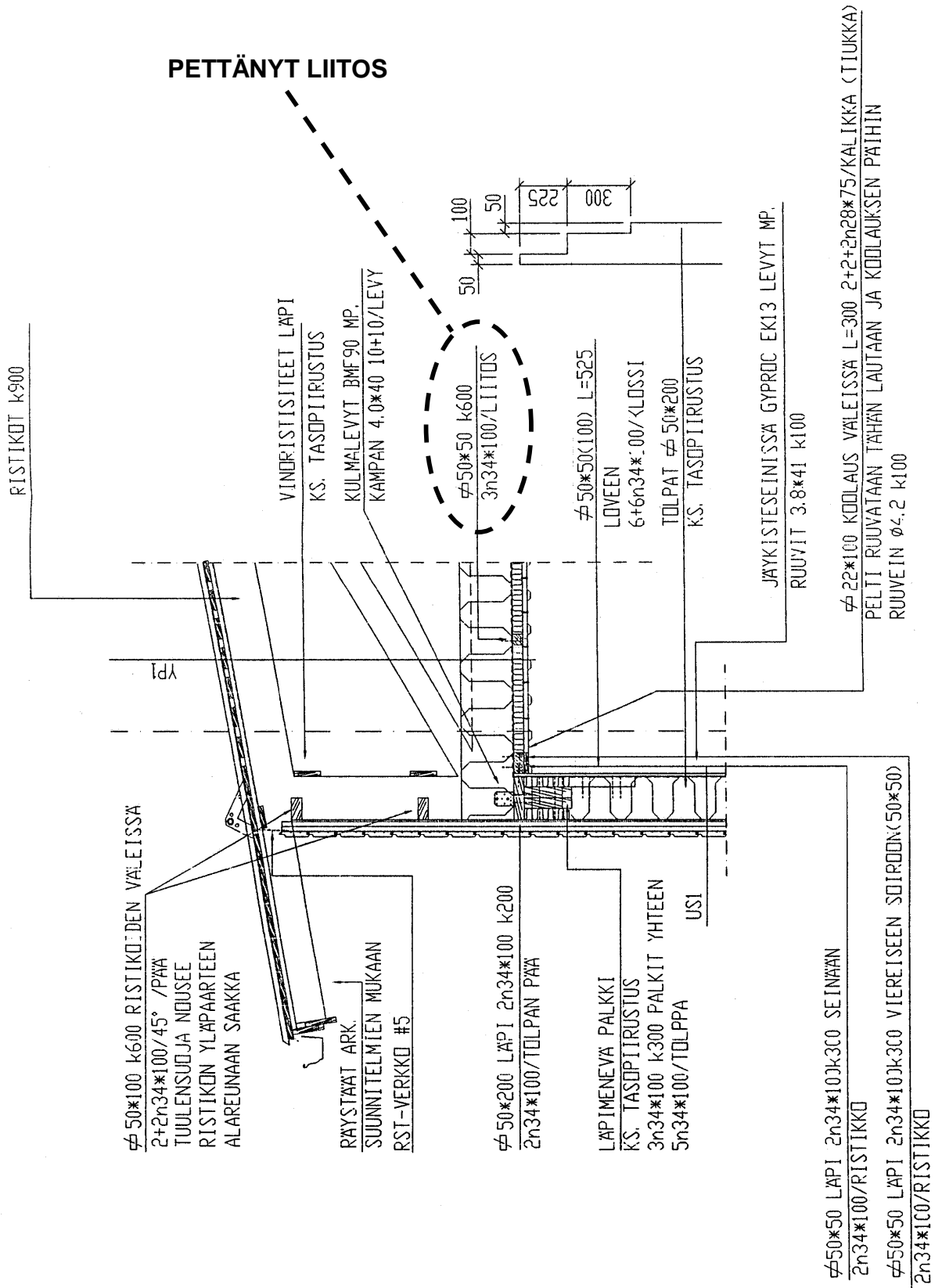
Risto Mäkinen

Yli-insinööri



Jaakko Huhhtanen

Leikkauskuva myymälärakennuksen yläpohjarakenteesta



SEURAUKSET TÄLLÄISEN ONNETTOMUUDEN TAPAHTUESSA MYYMÄLÄN AUKIOLOAIKANA

Henkilömäärä ja ihmisten käyttäytyminen äkillisissä vaaratilanteissa

Kriisitilanteissa ihmiset turvautuvat useimmiten tuttuihin ja läheisiin asioihin. Esimerkiksi kauppakeskuksen tulipalossa useat ihmiset pyrkivät lähimmän varauloskäynnin sijasta tavallisesti käyttämäänsä ulko-ovea kohti, vaikka heidän tällöin täytyisikin kulkea vaarallisen alueen läpi.⁹

On arvioitu, että kohteessa voi viikkaimmillaan olla suurimmillaan noin 120 henkilöä kerralla. Näin suuren henkilömäärän poistuminen olisi ollut erittäin hankalaa, sillä nopeasti putoava katto olisi aiheuttanut suuren ihmisvirran pääsisäänkäynnin suuntaan, sillä 75 % ihmisistä toimii vaistomaisesti opittujen mallien mukaisesti ja 10-20 %:lla saattaa olla paniikkireaktioita, täydellistä lamaantumista, liikuntakyvyttömyyttä tai apatiaa¹⁰. Tässä tapauksessa lähes kaikki olisivat pyrkineet poistumaan pääoven suuntaan.

Rakennuksesta poistuminen

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1 on määritelty vaatimukset poistumisesta palon sattuessa. Yleisenä vaatimuksena todetaan, että rakennuksesta tulee voida turvallisesti poistua tulipalossa tai muussa hätätilanteessa. Rakennuksessa tulee olla riittävästi sopivasti sijoitettuja, tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia uloskäytäviä niin, että poistumisaika rakennuksesta ei ole vaaraa aiheuttavan pitkä. Lisäksi uloskäytävien ja niihin johtavien tilojen ovien tulee olla hätätilanteessa helposti avattavissa. Liiketilojen uloskäytävät ja kulkureitit niille tulee yleensä varustaa turva- ja merkkivalaistuksella.

Tässä kohteessa oli määräysten mukaisesti rakennettu riittävä määrä uloskäytäviä, turva- ja merkkivalaistus sekä helposti avattavat ovet liikkeen aukioloaikana. Henkilöiden poistuminen olisi aukioloaikana ollut mahdollista olemassa olevista uloskäytävistä, mutta katon nopea sortuminen, sen aiheuttama paniikitila, ja em. ihmisten käyttäytyminen olisivat hankaloittaneet tilannetta. Lisäksi pudonnut materiaali olisi ollut suurena esteenä uloskäytävillä.

Kokoontumis- ja liikehuoneistoissa joudutaan usein uloskäytäviä lukitsemaan aukioloaikojen ulkopuolella ns. turvalukoilla. Myös tässä kohteessa oli pääovet lukittu turvalukoilla heti sulkemisen jälkeen, ja poistuminen näistä ovista ei ollut mahdollista. Jatkossa olisi perusteltua, että turvalukojen sulkeminen kiellettäisiin ennen kaikkien henkilöiden poistumista kohteesta.

⁹ Dyregrov, katastrofipsykologian perusteet

¹⁰ Munnukka-Dahlqvist, Selviytyminen traumaattisesta kriisistä

Pudasjärven marketin kattoristikoiden erilaisista taipumista aiheutuvat naulaliitoksen veto-
rasitukset:

Lähtökohdana tarkastellaan (kuva 1) tapausta, jossa

- reunimmainen tuki on paikallaan,
- toinen tuki reunasta on taipunut matkan $\Delta/2$ (numerolaskuissa 25 mm) ja
- seuraavat tuet matkan Δ (numerolaskuissa 50 mm).



Kuva 1 Erilaiset taipumat, periaate

Jos ristikoiden alla on alusrakenne, joka ulottuu jatkuvana vähintään kolmen aukon yli, syntyy edellä kuvattujen tukien painumista tukien ja alusrakenteen välisiin liitoksiin joko veto- tai puristusrasituksia.

Liitokseen syntyvä voima voidaan laskea kaavasta

$$F = \alpha \frac{EI \cdot \Delta}{L^3} \quad (1)$$

missä

- EI on alusrakenteen taivutusjäykkyys,
- Δ on ristikon painuma reunimmaiseen ristikkoon verrattuna,
- L on ristikoiden keskinäinen etäisyys ja
- α on kerroin jonka suuruuteen vaikuttaa se, kuinka monen aukon yli alusrakenne menee jatkuvana ja se, kuinka mones ristikko on rakenteen päästä laskien.

Taulukossa 1 on annettu kertoimen α arvoja eri tapauksissa.

Taulukko 1. Kaavan (1) α -kertoimet. Jos kerroin on positiivinen, liitokseen syntyy vetovoima.

Tuki	Aukkojen lukumäärä		
	3	4	5
1	$-1/5 = -0,200$	$-3/14 \approx -0,214$	$-45/209 \approx -0,215$
2	$6/5 = 1,200$	$18/14 \approx 1,286$	$270/209 \approx 1,292$
3	$-9/5 = -1,800$	$-30/14 \approx -2,143$	$-453/209 \approx -2,167$
4	$4/5 = 0,800$	$18/14 \approx 1,286$	$288/209 \approx 1,378$
5		$-3/14 \approx -0,214$	$-72/209 \approx -0,344$
6			$12/209 \approx 0,057$

Taulukosta 1 huomataan, että suurin vetovoima syntyy tuen 2 kohdalla, jossa siis oli kaksi ristikkoa vierekkäin, kun aukkoja on 3 tai 4. Jos aukkoja on 5 kpl, suurin vetovoima syntyy tuelle 4.



Vetovoiman suuruusluokka-arviota varten valitaan $\alpha = 1,3$. Puun taivutusjäykkyyttä arvioitaessa valitaan kuorman aikaluokaksi B, joka on sama kuin lumikuorman aikaluokka, koska taipuma syntyy pääasiassa lumikuormasta.

Puun taivutusjäykkyydeksi saadaan

$$EI_{\text{puu}} = 6500 \cdot 50^4 / 12 = 3,39 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2.$$

Lisäksi alusrakenteeseen kuuluu jäykistävänä osana teräsohutlevy, jonka taivutusjäykkyydeksi 600 mm leveällä alalla on arvioitu

$$EI_{\text{teräs}} = 2,79 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2.$$

joten taivutusjäykkyydeksi saadaan

$$EI = 6,18 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2.$$

Kaavasta (1) saadaan suurimmaksi liitosta rasittavaksi vetovoimaksi

$$F = \alpha \frac{EI \cdot \Delta}{L^3} = 1,3 \frac{6,18 \cdot 10^9 \text{ Nmm}^2 \cdot 50 \text{ mm}}{900^3 \text{ mm}^3} = 550 \text{ N}.$$

Suunnitelman mukaisen liitoksen vetokapasiteetti (3 kpl kirkkaita lankanauvoja 100x34) kuorman aikaluokassa B on

$$F_k = 3 f_u d (L - 1,5d) = 3 \cdot 1,6 \cdot 3,4 (100 - 50 - 1,5 \cdot 3,4) = 730 \text{ N}.$$

Toteutetussa tapauksessa liitoksen vetokapasiteetti kuumasinkitsemättömällä konenaulalla toteutettuna on

$$F_k = 2 f_u d (L - 1,5d) = 2 \cdot 1,6 \cdot 3,1 (91 - 50 - 1,5 \cdot 3,1) = 360 \text{ N}.$$

ja kuumasinkityllä naulalla toteutettuna

$$F_k = 2 f_u d (L - 1,5d) = 2 \cdot 3,1 \cdot 3,1 (91 - 50 - 1,5 \cdot 3,1) = 700 \text{ N}.$$

Naulan pinta oli kuitenkin niin tasainen ja liimakerroksen peitossa, että naulaa ei voida pitää perinteisen kuumasinkityn naulan kaltaisena.

Edellisen perusteella saadaan yhteenvetona taulukon 2 mukaiset vertailuarvot, kun jaetaan las-kettu vetokuorma vetokapasiteetilla.

Taulukko 2. Vetokuorman suhde vetokapasiteettiin, kun kuormana on ristikoiden epätasainen painuminen

Suunniteltu liitos	Toteutettu liitos	
	Tavallinen naula	Kuumasinkitty naula
0,75	1,52	0,79



Jos liitosta rasittavana kuormana olisi ainoastaan edellä mainittu ristikoiden epätasaisesta taipumasta aiheutuva rasitus, pitäisi mitoituksessa käyttää tavanomaisia kuorman ja materiaalin osavarmuuskertoimia ja epätasaisena painumana ristikoiden todellista laskennallista taipumaa.

Liitos on pettänyt tuelta 2:

Tarkastellaan rasituksia, kun alusrakenne on irronnut toisen tuen kohdalta ristikosta.

Tällöin saadaan taulukon 3 mukaiset kaavan (1) kertoimet

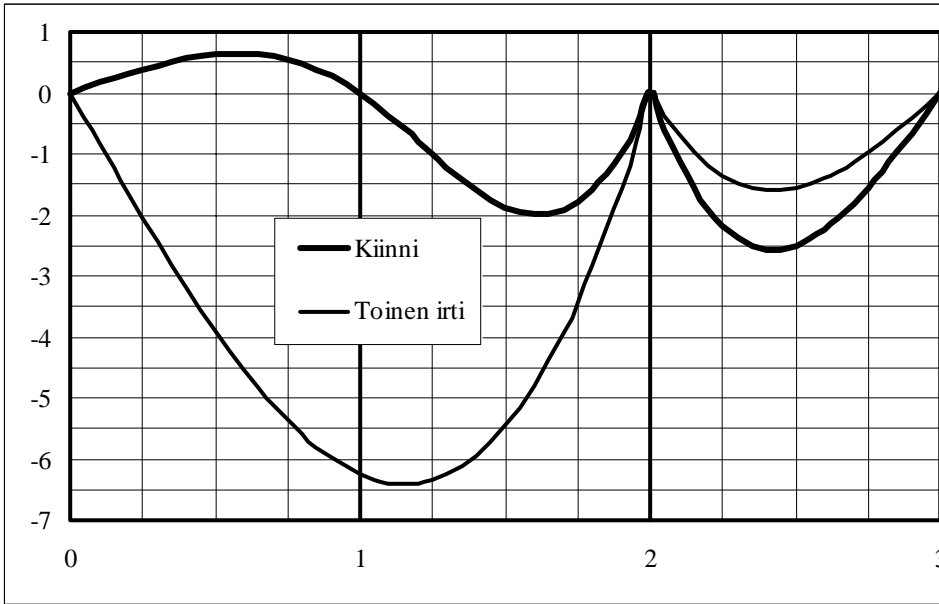
Taulukko 3. Kaavan (1) α -kertoimet, kun alusrakenne on irronnut toisesta tuesta. Jos kerroin on positiivinen, liitokseen syntyy vetovoima.

Tuki	Aukkojen lukumäärä		
	3	4	5
1	$1/4=0,250$	$6/23\approx 0,261$	$45/172\approx 0,198$
2	0	0	0
3	$-3/4=-0,750$	$-21/23\approx -0,913$	$-159/172\approx -0,924$
4	$2/4=0,500$	$18/23\approx 0,782$	$144/172\approx 0,837$
5		$-3/23\approx -0,130$	$-36/172\approx -0,209$
6			$6/172\approx 0,035$

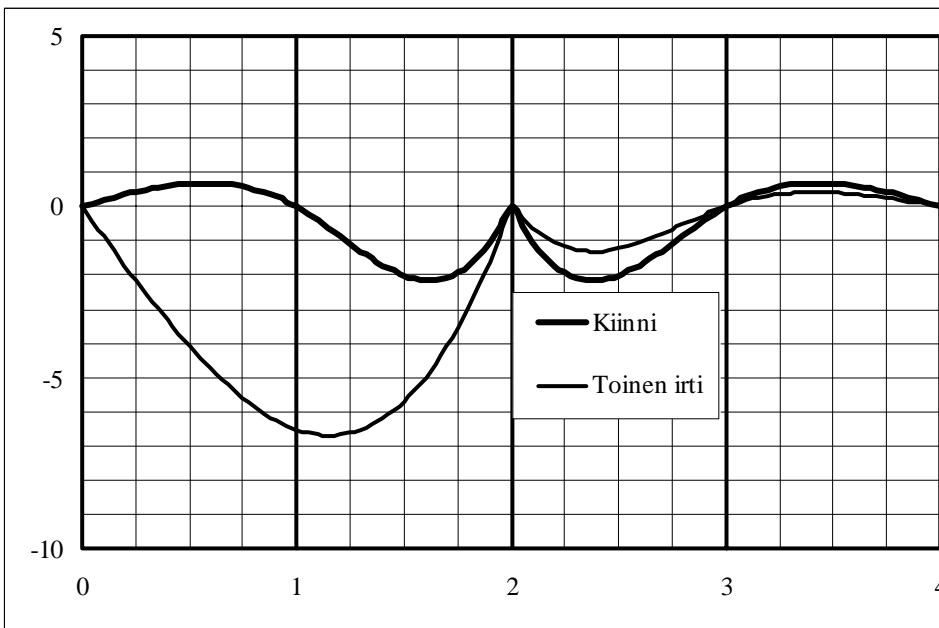
Vertaamalla taulukkoja 1 ja 3 huomataan, että siirtymästä Δ aiheutuva vetovoima pienenee kiinnityksen irrottua toisesta tuesta noin 2/3 osaan alkuperäisestä. Pysyvästä kuormasta aiheutuvat vetovoimat luonnollisesti kasvavat, koska liittimiä on vähemmän kannattamassa kuin alunperin.

Toisen tuen kohdalla on irtoamisen jälkeen rako, jonka suuruus on noin 6,5 mm.

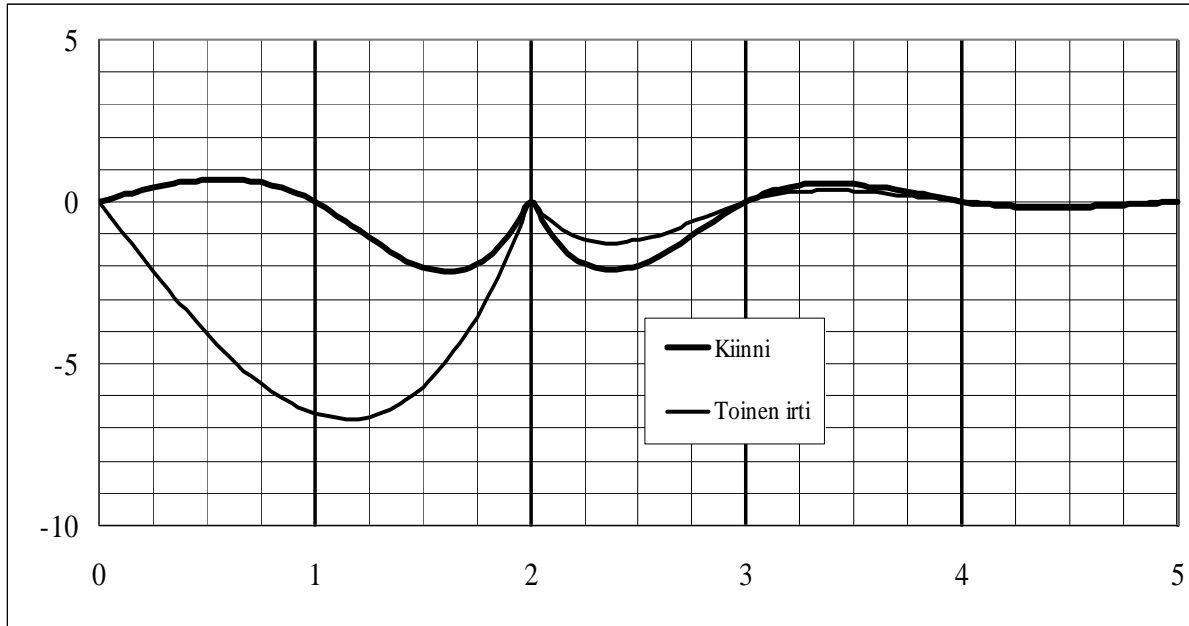
Taipumia on havainnollistettu kuvissa 2-4



Kuva 2. Alusrakenteen taipumat (mm), kun alusrakenne on joko kiinni tai irti toisesta tuesta. Paksut pystyviivat tarkoittavat tukien kohtia. Alusrakenne menee jatkuvana kolmen aukon yli.



Kuva 3. Alusrakenteen taipumat (mm), kun alusrakenne on joko kiinni tai irti toisesta tuesta. Paksut pystyviivat tarkoittavat tukien kohtia. Alusrakenne menee jatkuvana neljän aukon yli.



Kuva 4. Alusrakenteen taipumat (mm), kun alusrakenne on joko kiinni tai irti toisesta tuesta. Paksut pystyviivat tarkoittavat tukien kohtia. Alusrakenne menee jatkuvana viiden aukon yli.

LÄHDELIITTELUETTELO

Seuraavat lähdeliitteet on taltioituna Onnettomuustutkintakeskuksessa:

1. Päätös tutkinnan aloittamisesta B 2/2000 Y, 28.12.2000.
2. Ilmanvaihtojärjestelmän aika-asetukset ja hälytykset onnettomuutta edeltävältä ajalta.
3. Tutkintalautakunnan laskelmat sisäkaton ripustuksiin kohdistuneista kuormista.
4. Kattoristikoiden valmistuspöytäkirjat sekä vaurion jälkeen laaditut ristikoiden katselmuspöytäkirjat.
5. Pudasjärven supermarketin ilmanvaihtojärjestelmään liittyviä asiakirjoja sisältäen mm. poistoilmapuhaltimen ominaiskäyrät ja ohjausautomaatiikan asetukset.
6. Kylmälaitteiden kylmäaineena käytetyn kemikaalin tiedot (Forane FX70).
7. Tietoja kohteen sisäkaton kiinnityksessä käytetyistä nauloista.
8. Pudasjärven K-Supermarketin turvallisuussuunnitelma.
9. Suomen rakentamismääräyskokoelman osat A1 Rakennustyön valvonta ja B10 Puurakenteet.
10. Rakennuslupaan liittyviä asiakirjoja (mm. lupahakemus ja katselmuspöytäkirjoja).
11. Valokuvia.
12. Arkkitehti- ja rakennepiirustuksia.
13. Sähkö-, LVI- ja kylmälaitteisiin liittyvät järjestelmäselostukset.
14. Takuutarkastus- ja työmaakokouspöytäkirjat.
15. Sähkötyöselitys piirustuksineen sekä sähköteknisten järjestelmien käyttö- ja huoltosuunnitelmat.
16. LVI-piirustuksia, LVI-laitteiden käyttö- ja huoltosuunnitelma sekä ilmanvaihdon mittauspöytäkirjoja.
17. Kestra Kiinteistöpalvelut Oy:n (Kesko Oyj) kommentit 20.4.2001 päivättyyn tutkintaselostusluonnokseen (22.5.2001).
18. Ympäristöministeriön ja sisäasiainministeriön lausunnot 20.4.2001 päivätyn tutkintaselostusluonnoksen suositukseen.



Kuva 1. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Kuva pullohuoneen ovelta myymälän suuntaan. Toinen myymälässä työskennelleistä siivoojista oli siivouuskärryineen juuri tässä myymälän kassojen puoleisessa päässä.

Figure 1. Collapsing of Ceiling of Supermarket at Pudasjärvi, on 27 December, 2000. View from the bottle-room door towards the shopping space. One of the cleaning ladies was in this cash-register end of the market with her cleaning push-cart, at the time of the accident.



Kuva 2. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Katon mukana putosi paljon mm. ilmanvaihtoputkia, valaisimia, sähköjohtohyllyjä ja somistelevyjä. Kuvassa näkyy, kuinka tavaraa tuli aina kassojen liukuhihnoille asti.

Figure 2. Collapsing of Ceiling of Supermarket at Pudasjärvi, on 27 December, 2000. Along with the ceiling, many other structures collapsed, as well, e.g. ventilation ducts, lighting fixtures, electric wire shelves and dressing boards. As seen in the photo, there were objects collapsing all the way down to the conveyor belts at the cash registers.



Kuva 3. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Myymälän takaosan varaston katto. Oikealla on konehuone, josta vasemmalle myymälän suuntaan lähtee suuri määrä ilmanvaihtokanavia sekä vesi-, lämpö- ja kylmälaiteputkia. Kattovaurio on todennäköisesti alkanut juuri täältä alueelta.

Figure 3. Collapsing of Ceiling of Supermarket at Pudasjärvi, on 27 December, 2000. In the photo, ceiling of store in the rear end of the supermarket. From the machine room on the right, there is a great number of ventilation ducts, water, heating, and refrigeration apparatus pipes running in the shopping area direction to the left. It is probable that the collapsing of the ceiling started from this area.



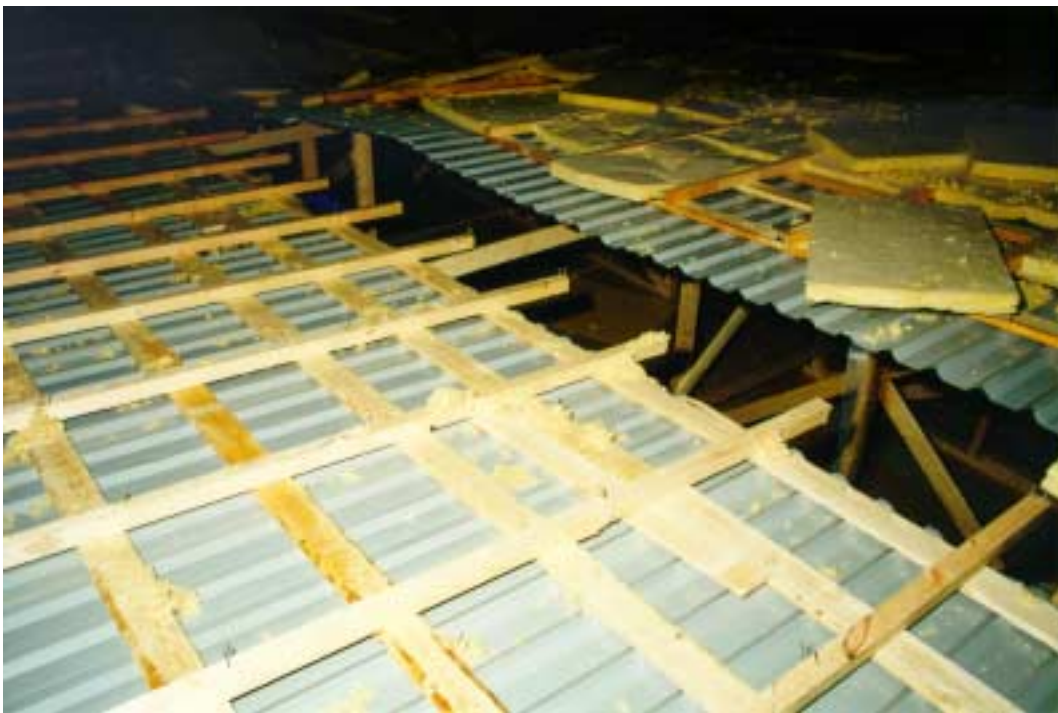
Kuva 4. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Kuvassa ripustuskuormia aiheuttaneita paksuja mustalla eristeellä peitetyjä kylmälaiteputkia sekä ilmanvaihtokanava oikealla. Lisäksi sähköpääkeskuksesta lähti paljon sähköjohtohyllyjen päälle asennettuja sähköjohtoja. Kaikki oli ripustettu kierretangoilla myymälän sisäkaton profiilipellin alla olevaan harvalaudoitukseen.

Figure 4. Collapsing of Ceiling of Supermarket at Pudasjärvi, on 27 December, 2000. In the photo, the thick refrigeration-apparatus pipes covered with black insulation material, having generated the suspension loads. To the right, the ventilation duct. In addition there were numerous electric wires running from the main distribution board and mounted on the electric-wire shelves. They were all suspended by twist bars in the coarse boarding under the profile sheet of the ceiling of the supermarket.



Kuva 5. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Sisäkaton rimojen naulauksessa havaittiin joitakin pienehköjä virheitä kuten ohimenneitä ja puuttuvia nauloja. Kuvan kohdassa lähes kaikkien rimojen jatkokset oli tehty saman kattoristikon kohdalle, jolloin kattoon syntyi heikompi epäjatkuvuuskohta.

Figure 5. Collapsing of Ceiling of Supermarket at Pudasjärvi, on 27 December, 2000. Some minor shortcomings were discovered in the nailing of the ceiling strips, e.g. passed nails and missing nails. View of point where the extensions of almost all strips were mounted in the same ceiling truss, creating thus a less resistant point of discontinuity in the ceiling.



Kuva 6. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Pudonneen sisäkaton päältä otettu kuva, josta näkyy katon rakenne. Sisäkatto on jo tuettu alhaaltapäin ja päältä on poistettu puhallusvilla, muovi ja osin myös rimojen väleissä olleet mineraalivillalevyt.

Figure 6. Collapsing of Ceiling of Supermarket at Pudasjärvi, on 27 December, 2000. View from above the collapsed ceiling, showing the structure of the ceiling. Here the ceiling is supported from below; however in the photo, with its blow wool, plastic and partly also the mineral wool plates between the strips having been removed from its top.



Kuva 7. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Kuvakollaasi naulauksista, joilla sisäkaton rimat oli kiinnitetty kattoristikoihin. Kuvat on otettu tutkintalautakunnan satunnaisesta katon kohdasta otetusta näytepalasta. Kuvasta ei kuitenkaan käy ilmi, mitkä nauloista ovat osuneet kattoristikkoon.

Figure 7. Collapsing of Ceiling of Supermarket at Pudasjärvi, on 27 December, 2000. Collection of photos of nailings fixing the ceiling strips to the ceiling trusses. The photos of a sample part of the ceiling were taken at random by the Accident Investigation Board. But the photos fail to show which nails had hit a ceiling truss.

Muiden kuin ilmailu-, rautatie- ja vesiliikenneonnettomuuksien ja vaaratilanteiden tutkintaselostukset vuosina 1993-2001

Numero	Onnettomuus	Julkaistu
1/1993 Y	Räjähdysonnettomuus Oy Forcit Ab:n tehtaalla Hangossa 7.6.1993	1998
4/1995 Y	Kuhmoisten hotellipalo 23.12.1995	1998
B 1/1996 Y	Massasäiliön kaatuminen Valkeakoskella 27.3.1996	1998
A 2/1996 Y	Katsojaonnettomuus Jyväskylän Suurajoissa 23.8.1996	1997
B 1/1998 Y	Tornan sillan sortuminen 6.8.1998 Imatralla	1999
B 2/1998 Y	Linja-auto-onnettomuus Nummi-Pusulassa 7.12.1998	1999
C 1/1998 Y	Tulipalo Merikylpylä Edenissä Oulussa 26.4.1998	≈
C 2/1998 Y	Tulipalo Siilinjärven Kuntoutumiskeskuksessa 27.9.1998	≈
C 1/1999 Y	Linja-auton tulipalo Kuljun moottoritiellä 13.2.1999	2000
A 1/1999 Y	Linja-auto-onnettomuus Heinolassa 17.4.1999 - <i>Erillistutkimus väitetyistä ongelmista ABS-jarruissa julkaistu 4.7.2000</i>	Väliaikainen 2000
A 2/1999 Y	Palvelutalo Viljamin palo Maaningalla 4.12.1999	Alustava 2000
B 1/2000 Y	Uimahallin katon liimapuupalkin rikkoutuminen lisälmessa 29.3.2000	2000
D 1/2000 Y	Linja-autojen palot Suomessa vuonna 2000	2001
B 2/2000 Y	Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000	2001
B 1/2001 Y	Marketin sisäkaton putoaminen Jyväskylässä 26.4.2001	≈

≈ = tutkinta on kesken

Onnettomuuksien numerointien selitykset:

- A = suuronnettomuudet (tutkintalautakunnan asettaa valtioneuvosto)
- B = suuronnettomuuden vaaratilanteet ja vakavat onnettomuudet (tutkintalautakunnan asettaa Onnettomuustutkintakeskus)
- C = onnettomuudet ja vaaratilanteet, joiden tutkintaan ei aseteta tutkintalautakuntaa. Tutkinnan suorittaa Onnettomuustutkintakeskuksen nimeämä tutkija tai tutkijat.
- D = onnettomuus tai vaaratilanne ei yksinään anna aiheutta tutkintaan, mutta samankaltaisten tapauksien toistuessa niitä voidaan tutkia kokonaisuutena.