



Tutkintaselostus

B 2/2005 Y

Marketin sisäkaton putoaminen Sysmässä 27.4.2005

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

Onnettomuustutkintakeskus
Centralen för undersökning av olyckor
Accident Investigation Board

Osoite / Address: Sörnäisten rantatie 33 C **Address:** Sörnäs strandväg 33 C
FIN-00580 HELSINKI 00580 HELSINGFORS

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

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

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

Internet: www.onnettomuustutkinta.fi

Henkilöstö / Personal / Personnel:

Johtaja / Direktör / Director	Tuomo Karppinen
Hallintopäällikkö / Förvaltningsdirektör / Administrative Director	Pirjo Valkama-Joutsen
Osastosihteeri / Avdelningssekreterare / Assistant	Sini Järvi
Toimistos sihteeri / Byråsekreterare / Assistant	Leena Leskelä
Ilmailuonnettomuudet / Flygolyckor / Aviation accidents	
Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Air Accident Investigator	Esko Lähteenmäki
Erikoistutkija / Utredare / Air Accident Investigator	Hannu Melaranta
Raideliikenneonnettomuudet / Spårtrafikolyckor / Rail accidents	
Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Rail Accident Investigator	Esko Värhtiö
Erikoistutkija / Utredare / Rail Accident Investigator	Reijo Mynttinen
Vesiliikenneonnettomuudet / Sjöfartsolyckor / Marine accidents	
Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Marine Accident Investigator	Martti Heikkilä
Erikoistutkija / Utredare / Marine Accident Investigator	Risto Repo

ISBN 951-836-166-5
ISSN 1239-5323

Multiprint Oy, Helsinki 2005

TIIVISTELMÄ

Keskiviikkona 27.4.2005 kello 9.29 puolet Sysmän S-Marketin myymälän sisäkatoista putosi noin kymmenessä sekunnissa. Onnettomuushetkellä rakennuksessa oli kaikkiaan 25 henkilöä, joista yhdeksän oli vaurioituneella 400 neliömetrin alueella. Kukaan ei kuitenkaan loukkaantunut.

Sisäkatto jouduttiin uusimaan. Samoin uusittiin muun muassa sisäkattoon kiinnitetyt valaisimet asennuskiskoineen ja kaapeleineen, kylmälaiteputket, ilmanvaihtokanavat ja alle jääneitä kalusteita. Myös ylös jäänyt sisäkaton osa vahvistettiin. Onnettomuudesta aiheutuneet kustannukset olivat yhteensä noin 270 000 euroa. Alueellinen osuuskauppa tarkastutti myös muiden myymälä- ja ravintolarakennustensa sisäkatot ja tarvittaviin korjauksiin ryhdyttiin.

Onnettomuuden välitön syy oli se, että myymälärakennuksen sisäkaton koolauksen rimojen naulakiinnitys kattoristikoihin oli liian heikko. Liitoksiin oli naulattu paineilmanaulaimella pääsääntöisesti kaksi naulaa, joiden kapasiteetti ei riittänyt kannattamaan sisäkaton ja siihen tehtyjen ripustusten painoa.

Naulaliitosyksityiskohtaa ei ollut rakentamisen aikana vuonna 1997 suunniteltu, eli kyseiseen liitokseen kohdistuvia kuormia ei ollut arvioitu eikä kiinnityksen riittävyyttä varmistettu. Piirustuksissa ei ollut esitetty, miten kyseinen liitos tulisi toteuttaa, joten rakennusurakoitsija kiinnitti rimat totutun tavan mukaan.

Tutkintalautakunta ei anna uusia turvallisuussuosituksia, koska tutkintaselostus jo sellaisenaan antaa tietoa siitä, miten vastaavanlaiset onnettomuudet on mahdollista välttää. Onnettomuuden tekniset syyt ovat selkeät ja useita turvallisuutta parantavia toimenpiteitä on jo tehty rakentamisajankohdan 1997 jälkeen. Kattorakenteisiin liittyviä turvallisuutta parantavia suosituksia on jo annettu aikaisemmissa Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostuksissa. Erityisen kattavasti vastaavia asioita on käsitelty tutkintaselostuksessa B 1/2000 Y Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Kyseisessä onnettomuudessa rakenne ja syyt olivat pääosin samoja kuin Sysmän onnettomuudessa.

Ympäristöministeriö on käynnistänyt onnettomuusrakennuksen valmistumisen jälkeen useita turvallisuutta parantavia toimenpiteitä, joihin ovat osallistuneet monet alan järjestöt ja yritykset. Käytännön toimenpiteitä ovat olleet muun muassa uusi maankäyttö- ja rakennuslaki monine yksityiskohtineen, naulojen ulosvetotutkimus, kiinteistöalan keskeisten toimijoiden muodostaman yhteistyöryhmän perustaminen, selvityshenkilön asettaminen, turvallisuuden parantamisen seuranta sekä useat kirjeet kuntien rakennustarkastajille.

Tutkintalautakunta haluaa muistuttaa kuitenkin koko rakennusalaa siitä, että turvallisuuden huomioon ottaminen tulee olla pysyvä osa kaikkien alalla toimivien työtä.



SAMMANDRAG

INNERTAK RASADE I STORMARKNAD I SYSMÄ 27.4.2005

Onsdagen 27.4.2005 klockan 9.29 rasade hälften av innertaket i S-market Sysmä på cirka tio sekunder. Då olyckan skedde fanns sammanlagt 25 personer i byggnaden, av vilka nio på det skadade området, som omfattade 400 kvadratmeter. Ingen skadades vid olyckan.

Innertaket måste byggas om. Samtidigt byttes armaturerna som var fästa vid innertaket tillsammans med monteringsckenor, kablar, kylanläggningsrör och luftkonditioneringskanaler samt den inredning som blev under det fallande taket. Den del av butikens innertak som inte rasade förstärktes. Olycksfallet orsakade extra kostnader på cirka 270 000 euro. Regionandelslaget lät också inspektera innertaken i sina övriga butiks- och restauranglokaler och vidtog nödvändiga reparationsåtgärder.

Olyckans direkta orsak var att de spikförband, som fäster ribborna i innertakets skålning vid takstolarna, var för svaga. Förbanden hade i regel två spikar, som spikats med tryckluftsdreven spikpistol. Dessa spikar hade inte kapacitet att bära innertaket och de installationer som hängts upp i innertaket.

Spikförbandet hade inte detaljkonstruerats vid byggnadens uppförande år 1997, dvs. de krafter som förbandet utsätts för hade inte beräknats och ingen kontroll av att fästet är tillräckligt hade utförts. I ritningarna fanns inga specifikationer för förbandets utförande och därför fäste byggtreprenören ribborna på sedvanligt sätt.

Undersökningskommissionen ger inga nya säkerhetsrekommendationer eftersom undersökningsrapporten i sig ger information om hur motsvarande olycksfall kan förebyggas. Olycksfallet har klara tekniska orsaker och flera åtgärder som förbättrar säkerheten har vidtagits efter att byggnaden färdigställdes år 1997. Rekommendationer för förbättring av säkerheten i anslutning till takkonstruktioner har getts i tidigare undersökningsrapporter som Centralen för undersökning av olyckor publicerat. Motsvarande frågor har behandlats särskilt utförligt i undersökningsrapporten B 1/2000 Y Innertak rasade i stormarknad i Pudasjärvi 27.12.2000 (endast på finska). Byggnaden i Pudasjärvi hade en liknande takkonstruktion som byggnaden i Sysmä och olyckorna hade också i huvudsak samma orsaker.

Efter den tidpunkt då den olycksdrabbade byggnaden färdigställdes har miljöministeriet initierat många åtgärder för förbättrad säkerhet, och många organisationer och företag i branschen har bidragit till dem. De praktiska åtgärderna omfattar bland annat en ny detaljrik markanvändnings- och bygglag, en undersökning av spikars vidhäftningshållfasthet, en ny samarbetsgrupp med representanter för de viktigaste aktörerna i fastighetsbranschen, en ny utredare, uppföljning av säkerhetens förbättring samt många brev till kommunernas bygginspektörer.

Undersökningskommissionen vill emellertid påminna hela byggbranschen om att säkerhetstänkandet och säkerhetsfrågor skall vara en integrerad del av det dagliga arbetet för alla aktörer i branschen.

Sammandrag, förord och bildtexterna i rapporten är också på svenska.



SUMMARY

COLLAPSE OF THE INNER CEILING STRUCTURES OF A LOCAL SUPER-MARKET IN SYSMÄ ON 27 APRIL, 2005

On Wednesday 27.4.2005 at 9.29, half of Sysmä S-Market's inner ceiling structure collapsed. The collapse took approximately 10 seconds. During the accident there were 25 people in the building, nine of whom were in the damaged 400-square-metre area. Nobody was injured in the accident.

The inner ceiling had to be renewed. Lighting fixtures, installation bars and cables, cooling equipment pipes, air ducts, and damaged fixtures underneath were also renewed. The part of the inner ceiling that did not collapse was reinforced. Total costs caused by the accident were approximately 270 000 euros. The local co-operative company had the inner ceilings of all their shops and restaurants inspected and the necessary repairs were made.

The cause of this accident was the nail joints that joined the inner ceiling battens to the roof trusses. These joints were not strong enough. The joints had mostly two nails nailed with a compressed air nail gun. The load capacity of the nails was not adequate for the weight of the inner ceiling and the masses attached to it.

The nail joint details had not been designed in 1997 when the building was built. The loads were not evaluated and the load capacity of this type of joint was not ensured. The drawings did not indicate how the joint should be made. For this reason, the contractor used a method that was familiar and used before.

The investigation board does not give safety recommendations, because the investigation report as such gives information on how to avoid similar accidents in the future. The technical causes of this accident are clear, and several improvements have been made since the building was built in 1997. Recommendations for improving ceiling structure safety have been given in previous investigation reports by the Accident Investigation Board. A detailed investigation of a similar matter is reported in investigation report B 1/2000 Y Collapsing of Ceiling of Supermarket at Pudasjärvi on 27 December, 2000. In that accident, the structure and the causes were mostly the same as in this accident in Sysmä.

The Ministry of the Environment has started several projects to improve safety after this building was built. Many organisations and companies working in the construction industry have participated in the projects. Practical measures among other things have been the new detailed Land Use and Building Act, researching extracting forces of nails, setting up a co-operation group for those operating in the building industry, appointing a co-ordinator, monitoring improvements in safety, and several letters to municipal building inspectors.

The investigation board wishes to remind the construction industry that safety must be a permanent part of work for everyone working in the industry.

The summary, introduction and the legends for the figures in the report are also in English.

ALKUSANAT

Sysmässä sattui 27.4.2005 onnettomuus, jossa noin puolet marketin sisäkattoa putosi. Rakennuksen myymäläosassa oli tapahtumahetkellä 21 ihmistä, joista kukaan ei loukkaantunut. Onnettomuustutkintakeskus käynnisti samana päivänä onnettomuuksien tutkinnasta annetun lain (373/1985) 5 §:n nojalla tutkinnan, arvioi tapahtuneen suuronnettomuuden vaaratilanteeksi ja asetti tutkintalautakunnan 6.5.2005.

Tutkintalautakunnan puheenjohtajaksi määrättiin johtava tutkija Esko Värttiö Onnettomuustutkintakeskuksesta ja jäseniksi valtiotieteiden maisteri Kari Ylönen, diplomi-insinööri Seppo Suuriniemi ja diplomi-insinööri Kai Valonen. Paikkatutkinnassa tutkintalautakunnan apuna oli Päijät-Hämeen teknisen rikostutkimuskeskuksen kaksi tutkijaa.

Tutkintalautakunnan tehtävänä oli selvittää katon putoamiseen vaikuttaneet tekijät ja olosuhteet sekä antaa suosituksia, joita toteuttamalla vastaavat rakenteen peittämiset voitaisiin välttää.

Tässä tutkintalautakunnan laatimassa tutkintaselostuksessa esitetään tapahtumat onnettomuuden sattuessa ja muun muassa omatoimisen pelastautumisen ja pelastuslaitoksen toimenpiteet. Taustojen selventämiseksi tutkintaselostuksessa esitetään marketin kattorakenteet ja niihin tehdyt muutokset. Samoin esitellään rakentamisorganisaatio ja rakennushankkeen eteneminen. Tutkintaselostuksen ensimmäinen ja toinen luku perustuvat tutkintalautakunnan keräämään tutkintaineistoon ja ovat tutkintaselostuksen niin sanottua faktaosaa. Analyysi, johtopäätökset ja suositukset ovat sen sijaan tutkintalautakunnan näkemys oleellisista onnettomuuteen ja yleisesti turvallisuuteen vaikuttavista seikoista.

Tutkinnan tarkoituksena on turvallisuuden parantaminen, joten tutkinnassa ei oteta kantaa syyllisyys- tai vahingonkorvauskysymyksiin.

Tutkintaselostus on ollut lausunnolla ympäristöministeriön asunto- ja rakennusosastolla, sisäasiainministeriön pelastusosastolla, sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosastolla, Hätäkeskuslaitoksessa, Sysmän kunnassa, Päijät-Hämeen pelastuslaitoksessa, Hämeen hätäkeskuksessa, Suomen kuntaliitossa, Rakennustarkastusyhdistyksessä, Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI:ssa, Suomen kiinteistöliitossa, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.:ssä ja Suomen Konsulttitoimistojen Liitto SKOL r.y.:ssä. Lisäksi asianosaiset ovat saaneet kommentoida tutkintaselostusluonnosta. Lausunnot ja kommentit on otettu huomioon tutkintaselostusta viimeisteltäessä. Saadut lausunnot ovat liitteessä 1.

Tutkinta-aineisto on Onnettomuustutkintakeskuksen arkistossa. Lähdeluettelo on tämän tutkintaselostuksen lopussa.

Tutkintaselostus on internetissä osoitteessa www.onnettomuustutkinta.fi.



FÖRORD

I Sysmä inträffade 27.4.2005 en olycka, där omkring hälften av innertaket i en stormarknad rasade. Vid tidpunkten för olycksfallet befann sig 21 personer i byggnadens butikslokaler. Ingen skadades i olyckan. Med stöd av 5 § i lagen om undersökning av storolyckor (373/1985) inledde Centralen för undersökning av olyckor en undersökning samma dag. Centralen bedömde att händelsen var ett olyckstillbud som kunde ha lett till storolycka och utsåg en undersökningskommission 6.5.2005.

Till ordförande för undersökningskommissionen utsågs ledande utredare Esko Värttiö från Centralen för undersökning av olyckor och till medlemmar politices magister Kari Ylönen, diplomingenjör Seppo Suuriniemi och diplomingenjör Kai Valonen. Vid undersökningen av olycksplatsen assisterades undersökningskommissionen av två utredare från centralen för teknisk brottsutredning i Päijänne-Tavastland.

Undersökningskommissionens uppdrag var att utreda de faktorer och omständigheter som bidrog till att innertaket rasade samt att ge rekommendationer för förebyggande av motsvarande ras av konstruktioner.

I denna undersökningsrapport som undersökningskommissionen sammanställt presenteras händelsernas förlopp under olyckan och bland annat människornas egna räddningsåtgärder och räddningsverkets åtgärder. För att klargöra olyckans bakgrund presenteras stormarknadens väggkonstruktioner och förändringarna i dem. Även byggorganisationen och byggprojektets framskridande presenteras. Undersökningsrapportens första och andra kapitel bygger på det material som undersökningskommissionen samlat in och utgör en del av rapportens så kallade faktadel. Analysen, slutsatserna och rekommendationer däremot är undersökningskommissionens syn på väsentliga faktorer som förknippas med olycksfallet och säkerheten i allmänhet.

Syftet med undersökningen är att förbättra säkerheten och därför tar undersökningen inte ställning till frågor som gäller skyldighet eller skadestånd.

Undersökningsrapporten har remitterats för utlåtanden till miljöministeriets bostads- och byggnadsavdelning, inrikesministeriets räddningsavdelning, social- och hälsovårdsministeriets avdelning för arbetarskydd, Nödcentralsverket, Sysmä kommun, Päijänne-Tavastlands räddningsverk, Tavastlands nödcentral, Finlands kommunförbund, Byggnadsinspektionsföreningen r.f., Fastighetsägarna och byggherrarna i Finland RAKLI r.f., Finlands fastighetsförbund, Finlands byggnadsingenjörförbund RIL r.f. och Finlands konsultbyråers förbund SKOL r.f. Dessa aktörer har också haft möjlighet att kommentera utkastet till undersökningsrapporten. Utlåtandena och kommentarerna har beaktats när undersökningsrapporten slutfördes. Utlåtandena som mottagits finns i bilaga 1 (på finska).

Undersökningsmaterialet finns i arkivet i Centralen för undersökning av olyckor. Källförteckningen finns i slutet av denna undersökningsrapport.

Undersökningsrapporten har lagts ut på webbadressen www.onnettomuustutkinta.fi.

INTRODUCTION

An accident happened in Sysmä on 27.4.2005, where approximately half of a supermarket's inner ceiling structure collapsed. There were 21 people in the premises at that time, none of whom were injured. The Accident Investigation Board started an investigation according to the law on accident investigation (373/1985) 5 §, assessed the accident as a serious incident, and appointed an Investigation Commission on 6.5.2005.

Chief Accident Investigator Esko Värttiö of the Accident Investigation Board of Finland was selected as the chairman of the Investigation Commission. Master of Social Sciences Kari Ylönen, Master of Science (Tech) Seppo Suuriniemi and Master of Science (Tech) Kai Valonen were selected as the members of the commission. The investigation board was helped during on-site investigation by two researchers from the Päijät-Häme technical crime investigation centre.

The goal of the investigation was to find out what factors and conditions caused the ceiling structure to collapse and to give recommendations on how to avoid similar accidents in the future.

The investigation report made by the Investigation Commission describes the events of the accident, how the people rescued themselves, and how the rescue department operated in the situation. The ceiling structures and changes made to them are presented as background information. The building organisation and progress of the building project are also described. The first and second sections of this investigation report are based on the material collected by the investigation board. They form the so-called fact part of this report. The analysis, conclusions, and recommendations are the board's opinions of the critical factors that caused the accident and of general matters relating to safety.

The purpose of this investigation is to improve safety and no conclusions are made concerning responsibilities or compensation for damages.

This investigation report has been reviewed by the Housing and Building Department of the Ministry of the Environment, the Department for Rescue Services of the Ministry of the Interior, the Department for Occupational Safety and Health of the Ministry of Social Affairs and Health, the Emergency Response Centre Administration, the municipality of Sysmä, the Päijät-Häme Rescue Department, the Häme Emergency Response Centre, the Association of Finnish Local and Regional Authorities, the Building control association, the Finnish Association of Building Owners and Construction Clients RAKLI, the Finnish Real Estate Federation, the Association of Finnish Civil Engineers, and the Finnish Federation of Consulting Firms SKOL. All parties involved have also had a chance to comment on this report. The statements and comments have been taken into account when finishing this report. The statements are in Appendix 1.

The investigation material is in the archive of the Accident Investigation Board of Finland. The list of sources is attached to the end of this investigation report (in Finnish).

The investigation report is also on the web pages at www.onnettomuustutkinta.fi.



SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	I
SAMMANDRAG.....	II
SUMMARY.....	III
ALKUSANAT.....	V
FÖRORD	VI
INTRODUCTION	VII
1 ONNETTOMUUS.....	1
1.1 Yleiskuvaus.....	1
1.2 Onnettomuuskohteen kuvaus, tapahtumapaikka ja sääolosuhteet.....	1
1.3 Tapahtumien kulku	2
1.4 Pelastustoiminta ja raivaus.....	5
1.4.1 Hälytykset.....	5
1.4.2 Toiminta onnettomuuspaikalla	6
1.5 Poliisin toiminta.....	6
1.6 Onnettomuudesta aiheutuneet vahingot	7
1.6.1 Henkilövahingot	7
1.6.2 Materiaalivahingot.....	7
1.6.3 Ympäristövahingot	7
1.7 Tiedottaminen	7
2 ONNETTOMUUDEN TUTKINTA.....	9
2.1 Rakennus.....	9
2.2 Olosuhteet.....	13
2.3 Onnettomuuteen liittyvät organisaatiot ja henkilöt.....	14
2.3.1 Kiinteistö ja myymälätoiminta	14
2.3.2 Rakentamiseen liittyvät organisaatiot	14
2.4 Pelastustoimen organisaatio ja toimintavalmius	15
2.5 Tallenteet	17
2.5.1 Kameravalvonta	17
2.5.2 Pelastustoimen tallenteet.....	18
2.6 Asiakirjat	19
2.7 Säädökset, määräykset ja ohjeet	20
2.8 Muut tutkimukset.....	21



2.8.1	Koolauksen ja alapaarteen väliset naulaliitokset	21
2.8.2	Sisäkattoon kiinnitetyt ripustukset.....	24
2.8.3	Muiden tekijöiden arviointi.....	26
3	ANALYYSI.....	28
3.1	Onnettomuuden analysointi	28
3.2	Pelastustoiminnan analysointi	29
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
4.1	Toteamukset	31
4.2	Onnettomuuden syyt.....	32
5	SUOSITUKSET.....	33
6	TOTEUTETUT TOIMENPITEET	34
LIITTEET		
Liite 1. Lausunnot		
Liite 2. Ympäristöministeriön kirje kuntien rakennustarkastajille 8.7.2005, Sisäkattojen rakenteellinen turvallisuus		
Liite 3. Ympäristöministeriön VTT:llä teettämä tutkimus <i>Konenaulojen ulosvetolujuus</i>		

LÄHDELUETTELO

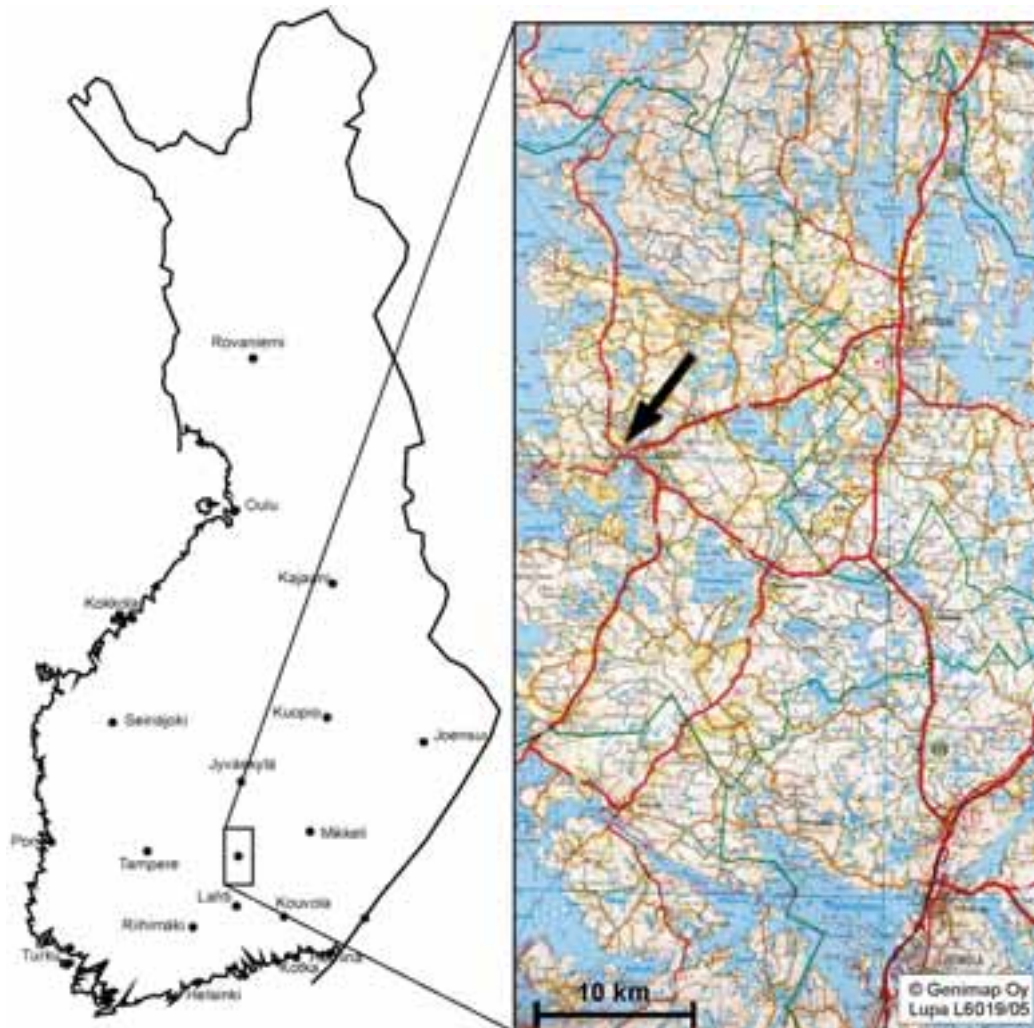
1 ONNETTOMUUS

1.1 Yleiskuvaus

Keskiviikkona 27.4.2005 kello 9.29 puolet Sysmän S-Marketin myymälän sisäkatoista putosi alas noin kymmenessä sekunnissa. Onnettomuushetkellä rakennuksessa oli kaikkiaan 25 henkilöä, joista yhdeksän oli vaurioituneella 400 neliömetrin alueella. Onnettomuudesta ei aiheutunut henkilövahinkoja.

1.2 Onnettomuuskohteen kuvaus, tapahtumapaikka ja sääolosuhteet

Sysmä on Etelä-Suomen läänin Päijät-Hämeen maakunnan koillisosassa Päijänteen itäpuolella. Myymälärakennus on Sysmän keskustassa.



Kuva 1. Sysmän S-Marketin sijainti.

Bild 1. S-Market i Sysmä, läge.

Figure 1. Location of the S-Market in Sysmä.



Kuva 2. Myymälä etupihan puolelta kuvattuna. Sisäänkäynti on vasemmalla ja varaston ovi oikealla.

Bild 2. Butiken från gården. Ingången är till vänster och dörren till lagret till höger.

Figure 2. A picture of the supermarket, taken from the front car park. The entrance is on the left and storage area door on the right.

Lämpötila tapahtumahetkellä oli +7 °C. Sää oli poutainen, melkein selkeä ja tyyni. Ilman suhteellinen kosteus oli 50 %.

1.3 Tapahtumien kulku

Keskiviikkona 27.4.2005 myymälä avattiin aamulla kello 7.00. Henkilökunnasta oli aamulla töissä marketpäällikkö ja seitsemän muuta henkilöä. Henkilömäärä oli inventaari- on vuoksi tavallista suurempi.

Noin kello 9.15 myymälään tuli kalusteasentaja asentamaan hedelmä- ja vihannesosastolle uusia kalusteita. Ollessaan hedelmäosastolla asentaja kuuli yläpuoleltaan kovan pamauksen. Asentaja katseli sisäkattoa etsien syytä äänelle, mutta ei havainnut mitään erikoista.

Myös kassalla 2 ollut myyjä kuuli pamauksen. Hän kertoi ajatelleensa, että ääni liittyi asentajan työhön, eikä kiinnittänyt siihen sen enempää huomiota. Muut henkilökuntaan kuuluvat eivät olleet myymälän tässä osassa eivätkä kuulleet pamausta.

Varastotiloissa ollut marketpäällikkö havaitsi sattumalta valvontakameran näytöltä hedelmäosastolla olleen kameran kuvakulman muuttuneen. Hän lähti saman tien tarkistamaan syytä kuvakulman muuttumiselle.

Asentaja oli tällä välin käynyt autollaan ja palannut takaisin hedelmäosastolle. Hän kuuli toisen, edellisen pamauksen kanssa samankaltaisen äänen yläpuoleltaan, näki sisäkaton putoavan ja juoksi sisäänkäynnin kautta ulos.

Marketpäällikkö oli juuri ehtinyt myymälän puolelle katon alkaessa pudota, mutta hän ei vielä siinä vaiheessa nähnyt mitään poikkeuksellista. Vasta saavuttuaan hedelmäosastolle johtavalle käytävälle neljä sekuntia myöhemmin hän huomasi katon putoavan.

Sisäkatto putosi noin kymmenessä sekunnissa, jonka jälkeen ei enää tapahtunut romahduksia. Sisäkatto pysyi pudotessaan lähes yhtenäisenä levynä. Se oli kooltaan rakennuksen pituussuunnassa 31 metriä ja leveyssuunnassa 13 metriä. Sisäkatto irtosi kassojen puoleisessa päässä laajennusosan rajasta, etupihan puoleisesta seinästä sekä myymälän keskilinjalla olevan pilaririvin kohdalta, mutta varaston puoleisessa päässä sisäkatto jäi ylös väliseinän varaan.

Sisäkatto jäi suurimmassa osassa myymälää 2,1 metrin korkuisten kalustehyllysten varaan, kassojen kohdalla 2,8 metrin korkuisten pylväsmäisten asennuskourujen varaan ja osittain sähkökaapeleiden ja kylmälaiteputkien varaan. Alimmillaan sisäkatto oli hedelmäosaston kohdalla noin 1,8 metrin korkeudella, mutta ripustukset kuten valaisimet, ilmanvaihtokanavat ja käytäväopasteet olivat selvästi alempana. Sähköt eivät katkenneet ja valot jäivät päälle niihin valaisimiin, jotka säilyivät ehjinä.



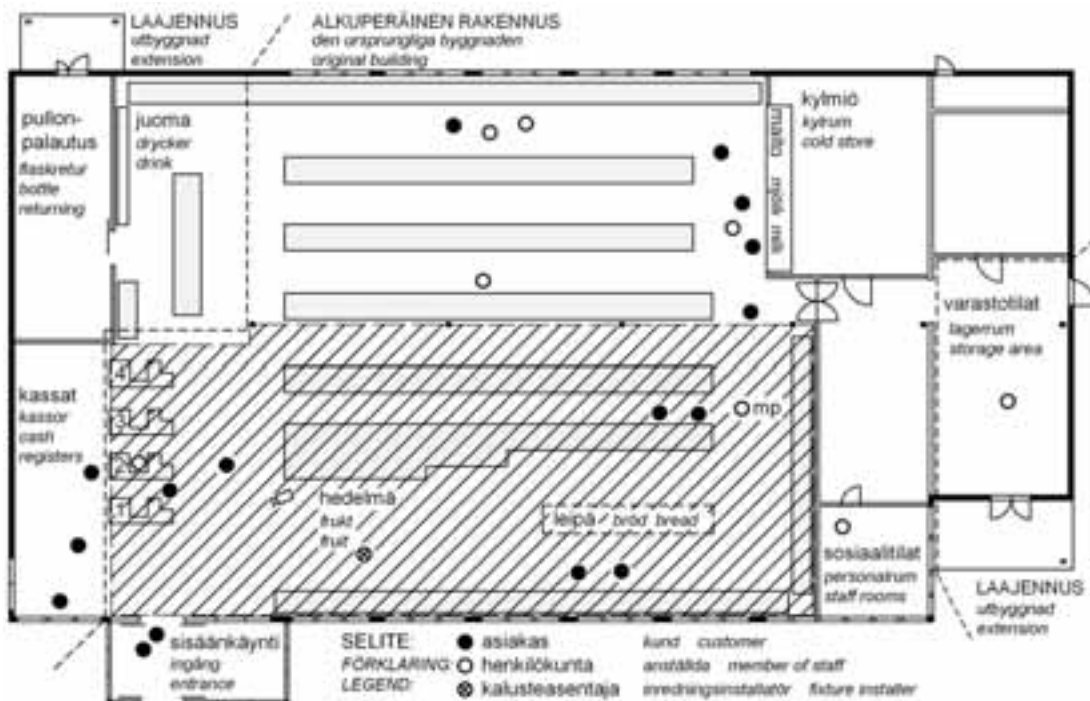
Kuva 3. Pudonnut sisäkatto katsottuna sisäänkäynnin luota. Keskellä kalusteita, joita kalusteasentaja oli asentamassa.

Bild 3. Det rasade innertaket sett från ingången. I mitten syns den inredning som installatören höll på att installera när olyckan inträffade.

Figure 3. The ceiling seen from the entrance. The fixture installer was installing the fixtures seen in the middle.

Rakennuksessa oli kaikkiaan 25 henkilöä:

	Myyvälässä			Tuuli- kaapissa	Rakennuksen- takaosassa	Yht.
	Ehjällä alueella		Vaurio- alueella			
	Kassoilla	Takaosassa				
Henkilökunta	-	4	2	-	2	8
Asentaja	-	-	1	-	-	1
Asiakas	3	5	6	2	-	16
Yhteensä	3	9	9	2	2	25



Kuva 4. Myymälärakennuksen pohjapiirros, johon on merkitty rakennuksessa olleiden henkilöiden sijoittuminen sisäkaton putoamisen alkaessa. Vaurioalue on esitetty vinoviivituksella. Putoaminen alkoi läheltä kalusteasentajaa.

Bild 4. Planritning över butiksbyggnaden. Positionerna för de personer som befann sig i lokalen när inbertaket började rasa är markerade på ritningen. Det skadade området anges med snedstreck. Raset började nära inredningsinstallatören.

Figure 4. Floor plan of the building marked with locations of people inside the building when the inner ceiling started to collapse. The damaged area is indicated with lines. The ceiling started to collapse near to where the fixture installer was working.

Myyvälässä olleet 14 asiakasta olivat 55–81 vuoden ikäisiä. Kukaan ei ollut liikuntarajoitteinen. Myymälän sisäänkäynnin luona tuulikaapin puolella oli sisään tulossa äiti, jolla oli alle kolmevuotias lapsi ostoskärjyssä.

Myyvälässä olleista 21 henkilöstä 11 poistui myymälän takaosassa olevasta pariovesta varastotilojen kautta ulos ja kymmenen myymälän sisäänkäynnin kautta. Molempien ovien lähistöllä pudonnut katto jäi niin korkealle, että turvallinen poistuminen oli mahdol-

lista. Varaston puolelle siirtyneet asiakkaat seurasivat poistumisreittein valinnassa henkilökunnan antamaa esimerkkiä, mutta kolme asiakasta pyrki palaamaan samaa reittiä kuin sisään tullessaan. Yksi myymälän takaosassa ehjällä puolella ollut asiakas poistui maito-osastolta varaston puolelle johtavan oven vierestä edelleen pudonneen katon alle ja sieltä leipä- ja hedelmäosastojen kautta ulos. Kaksi pudonneen katon alla lähellä varaston ovea ollutta asiakasta poistui myös sisään tullessaan käyttämäänsä reittiä, vaikka muita henkilöitä poistui heidän ohitse toiseen suuntaan.

Marketpäällikkö poistui katon pudotessa myymälästä varaston puolelle tarkoituksenaan painaa paloilmoitinkeskuksen paloilmotuspainiketta. Paloilmoitinkeskuksessa kuitenkin vilkkui valo, jonka marketpäällikkö tulkitsi merkiksi siitä, että tieto onnettomuudesta oli jo lähtenyt hätäkeskukseen. Kyseessä oli laitevikailmoitus. Marketpäällikkö pyysi toista henkilökuntaan kuuluvaa soittamaan hätänumeroon ja lähti itse ulkokautta myymälän sisäänkäynnille. Siellä hän käski asiakkaita ulos ja esti uusia menemästä sisään. Lisäksi hän pyrki katsomaan, että oliko kukaan jäänyt pudonneen katon alle, mutta ei havainnut siellä ketään.

Myymälässä asiakkaana ollut myymälästä varaston puolelle poistunut mieshenkilö palasi myymälään ja varmisti, ettei kukaan ollut jäänyt pudonneen sisäkaton alle.

1.4 Pelastustoiminta ja raivaus

1.4.1 Hälytykset

Hämeen hätäkeskus sai kalusteasentajan soittaman ensimmäisen hätäilmoituksen kello 9.30.13. Puhelun aikana selvisi hyvin tapahtumapaikka, tapahtuneen laatu sekä se, ettei ollut varmaa tietoa alle jääneistä. Soittaja käytti puhelun aikana muun muassa seuraavia ilmaisuja: "sisäkatto romahti alas – aika isolta alueelta – ei ihan lattiaan asti, mutta reilusti romahtanut – ei ole tietoa alle jääneistä vielä". Hätäpuhelu kesti minuutin ja 15 sekuntia.

Heti ensimmäisen hätäpuhelun alkamisen jälkeen kello 9.30.18 automaattisen paloilmotuksen laitevikailmoitus välittyi hätäkeskukseen. Toinen hätäkeskuspäivystäjä otti ilmoituksen käsittelyyn tietämättömänä meneillään olevasta hätäpuhelusta. Ohjeiden mukaisesti hän soitti kello 9.30.39 kohteen huoltomiehelle, joka lupasi lähteä paikalle selvittämään vikailmoituksen syytä.

Henkilökuntaan kuuluva soitti toisen hätäpuhelun kello 9.31.12 ensimmäisen hätäpuhelun ollessa vielä kesken. Puhelun otti vastaan kolmas hätäkeskuspäivystäjä. Soittajan kerrottua onnettomuuspaikan hätäkeskuspäivystäjä osasi yhdistää hätäpuhelun ja laitevikailmoituksen toisiinsa. Puhelu kesti minuutin ja viisi sekuntia.

Ensimmäisen hätäpuhelun vastaanottanut päivystäjä kutsui hätäkeskuksen vuoromestarin paikalle ja kertoi hänelle tapahtuneesta. He havaitsivat laitevikailmoituksen ja meneillään olevan hätäpuhelun liittyvän samaan tapahtumaan ja jäivät odottamaan puhelun päättymistä.

Toisen hätäpuhelun päätyttyä päivystäjät vaihtoivat puheluista saamiaan tietoja keskenään ja sopivat, että toisen hätäpuhelun vastaanottanut päivystäjä jatkaa tehtävän käsittelyä ja tekee hälytykset. Päivystäjä valitsi tehtäväksi "ihmisen pelastaminen, ihminen puristuksissa". Hätäkeskuksen tietojärjestelmässä kyseiselle tehtävälle suunniteltu pelastustoimen muodostelma eli vaste oli pelastusjoukkue¹, mutta päivystäjä muutti vastetta suunniteltua pienemmäksi poistaen siitä Hartolan VPK:n. Sairaankuljetuksen vastena oli yksi sairaauto.

Päivystäjä hälytti kello 9.33.49 GSM- ja viranomaisverkon (Virve) tekstiviesteillä Sysmän palopäällikön, Sysmän VPK:n ja Sysmän yksityisen sairaankuljetuksen. Kello 9.34.26 päivystäjä antoi hälytysilmoituksen puheena Virven sairaankuljetuksen ja pelastuksen puheryhmissä. Heinolan kihlakunnan järjestyspoliisin partiolle hätäkeskus ilmoitti tapahtuneesta kello 9.34.47 ja Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen päällystövarallaolijalle (PH P1) kello 9.37.13.

PH P1 oli yhteydessä Sysmän palopäällikköön (SY P1) ja sai tietää, että sortuman alle ei ollut jäänyt ihmisiä ja että SY P1 johtaa pelastustoimintaa. PH P1:n paikalle tuloa ei tässä vaiheessa pidetty tarpeellisena, mutta hänen tehtäväkseen sovittiin ilmoittaa tapauksesta lääninhallituksen päivystäjälle ja Onnettomuustutkintakeskukseen.

1.4.2 Toiminta onnettomuuspaikalla

Sysmän palopäällikkö (SY P1) oli hälytyksen tullessa 500 metrin päässä kohteesta olevalla paloasemalla ja oli kohteessa kahdessa minuutissa kello 9.35.50. Heti kohteeseen saavuttuaan palopäällikkö sai paikalla olleilta tiedon, ettei kukaan ole jäänyt pudonneen sisäkaton alle. Hartola-Sysmä sairaankuljetus Oy:n sairaauto S395 oli kohteessa kello 9.36.17.

Sysmän VPK:n hälytysosastoon kuuluvat sammutusmiehet miehittivät pelastusyksiköt SY11 ja SY12 vahvuudella esimies ja viisi palomiestä. SY11:n lähtöaika oli 3 min 28 s ja SY12:n 6 min 3 s. Ajoaika kohteeseen oli vähän yli minuutin, joten SY11 oli kohteessa kello 9.38.27 ja SY12 kello 9.41.00.

Kohteessa palokunta tarkisti vielä kerran rakennuksen sisätilat, avusti paikalle tullutta huoltomiestä sähköjen pois kytkemisessä sekä eristi alueen yhdessä poliisin kanssa.

1.5 Poliisin toiminta

Heinolan kihlakunnan Sysmän palvelutoimistossa työskennellyt ylikonstaapeli kuuli Heinolan poliisipartiolle annetun ilmoituksen ja ilmoitti tälle valmiudestaan lähteä kohteeseen. Kello 9.37.18 partio ilmoitti hätäkeskukseen, että Sysmässä työskentelevä yli-

¹ Pelastustoiminnan muodostelmia ovat sisäasiainministeriön toimintavalmiusohjeen (A:71/2003) mukaan pelastusyksikkö, pelastusjoukkue ja pelastuskomppania. *Pelastusyksikkö* koostuu johtajasta, kuljettajasta sekä vähintään yhdestä ja enintään kolmesta työparista. *Pelastusjoukkue* koostuu johtajasta, vähintään kolmesta ja enintään viidestä pelastusyksiköstä. *Pelastuskomppania* koostuu johtajasta, pelastustoiminnan johtajaa avustavasta esikunnasta, vähintään kolmesta ja enintään viidestä pelastusjoukkueesta.

konstaapeli hoitaa asian ja että Heinolan partio menee kohteeseen vain tarvittaessa. Ylikonstaapeli oli kohteessa noin kello 9.40.

Kaksi tutkijaa Päijät-Hämeen teknisestä rikostutkimuskeskuksesta Lahdesta hälytettiin paikalle kello 10.19 ja he olivat paikalla kello 12.10. Tutkijat avustivat tutkintalautakuntaa onnettomuuspaikan ja pudonneen katon osien dokumentoinnissa.

1.6 Onnettomuudesta aiheutuneet vahingot

1.6.1 Henkilövahingot

Onnettomuudesta ei aiheutunut henkilövahinkoja.

1.6.2 Materiaalivahingot

Onnettomuudessa pudonnut 400 neliömetrin kokoinen sisäkatto jouduttiin uusimaan. Samoin uusittiin muun muassa sisäkattoon kiinnitetyt valaisimet asennuskiskoineen, sähkökaapelit, kylmälaiteputket, ilmanvaihtokanavat ja myymäläopasteita. Kalusteista jouduttiin uusimaan hedelmä- ja vihanneskaluste, kylmä hedelmä- ja vihannestiski, vihannestiski, leipätiski ja hyllyjä. Lisäksi jouduttiin korjaamaan kylmätiskejä ja hyllyjä.

Onnettomuudesta aiheutuneet kustannukset olivat 270 000 euroa, johon sisältyivät noin 36 000 euron vaihto-omaisuuden ja 55 500 euron myyntikatteen menetykset.

1.6.3 Ympäristövahingot

Ympäristövahinkoja ei aiheutunut. Rakennuksessa ei ollut erityistä ympäristövahingon vaaraa.

1.7 Tiedottaminen

Osuuskauppa Hämeenmaa antoi tapahtuneesta tiedotteen pian onnettomuuden jälkeen ja tiedotti tapahtuneesta onnettomuuspaikalla kello 11.30. Pelastuslaitoksen puolesta tiedottamisesta huolehti ennen puoltapäivää paikalle tullut pelastuslaitoksen päällystövarallaolija PH P1.

Poliisi pyysi seuraavana päivänä maakuntalehtien välityksellä kaupassa olleita ilmoittautumaan, jotta sisällä olleiden lukumäärä ja sijainti onnettomuushetkellä saataisiin selville.

Onnettomuustutkimuskeskuksen johtava tutkija (sittemmin lautakunnan puheenjohtaja) antoi 28.4.2005 rakennuksen omistajalle alustavan arvion sisäkaton putoamisen teknisestä syystä sekä 9.5.2005 korjauksen suunnittelijalle tietoa viimeisistä suunnitteluohjeista, jotta ne voitaisiin ottaa huomioon katon korjauksessa.

Tutkintalautakunta asetettiin 6.5.2005. Lautakunnan asettamisesta tiedotettiin Onnettomuustutkintakeskuksen internet-sivuilla.

Tutkintalautakunta lähetti 9.5.2005 ympäristöministeriölle kirjeen, jossa tutkintalautakunta pyysi kiinnittämään huomiota esiin tulleeseen ongelmaan sisäkaton naulakiinnityksen lujuudessa. Tutkintalautakunta tähdensi erityisesti, että konenaulojen tartuntalujuus on mahdollisesti arvioitu liitosten lujuutta laskettaessa liian suureksi (vrt. RIL 120-2004, kohta 5.31). Kirje julkaistiin myös Onnettomuustutkintakeskuksen internet-sivuilla.

Tutkinnan valmistuttua tiedotusvälineille annettiin sisällöltään tämän tutkintaselostuksen tiivistelmää vastaava tiedote.

2 ONNETTOMUUDEN TUTKINTA

Onnettomuustutkintakeskuksen päivystäjä sai tiedon sisäkaton putoamisesta Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen päällystövarallaolijalta (PH P1) 27.4.2005 kello 9.53.

Onnettomuustutkintakeskuksen tutkija oli onnettomuuspaikalla kello 13.30.

Onnettomuustutkintakeskus asetti 6.5.2005 tutkintalautakunnan tutkimaan onnettomuutta suuronnettomuuden vaaratilanteena. Tutkintalautakunnan puheenjohtajaksi määrättiin johtava tutkija Esko Värttiö Onnettomuustutkintakeskuksesta sekä jäseniksi valtiotieteiden maisteri Kari Ylönen, diplomi-insinööri Seppo Suuriniemi ja diplomi-insinööri Kai Valonen.

2.1 Rakennus

S-Market Sysmä toimii puurakenteisessa vuonna 1997 rakennetussa yksikerroksisessa rakennuksessa, jossa on myymälätilojen lisäksi varasto- ja henkilöstötiloja. Myymälärakennuksen pohjapiirros on esitetty kuvassa 4. Rakennusta laajennettiin molemmista päistään vuonna 2002. Rakennuksen koko on 1 131 kerrosneliometriä, josta laajennuksen osuus on 243 m². Rakennuksen pituus on 46,5 m ja leveys 24,8 m.

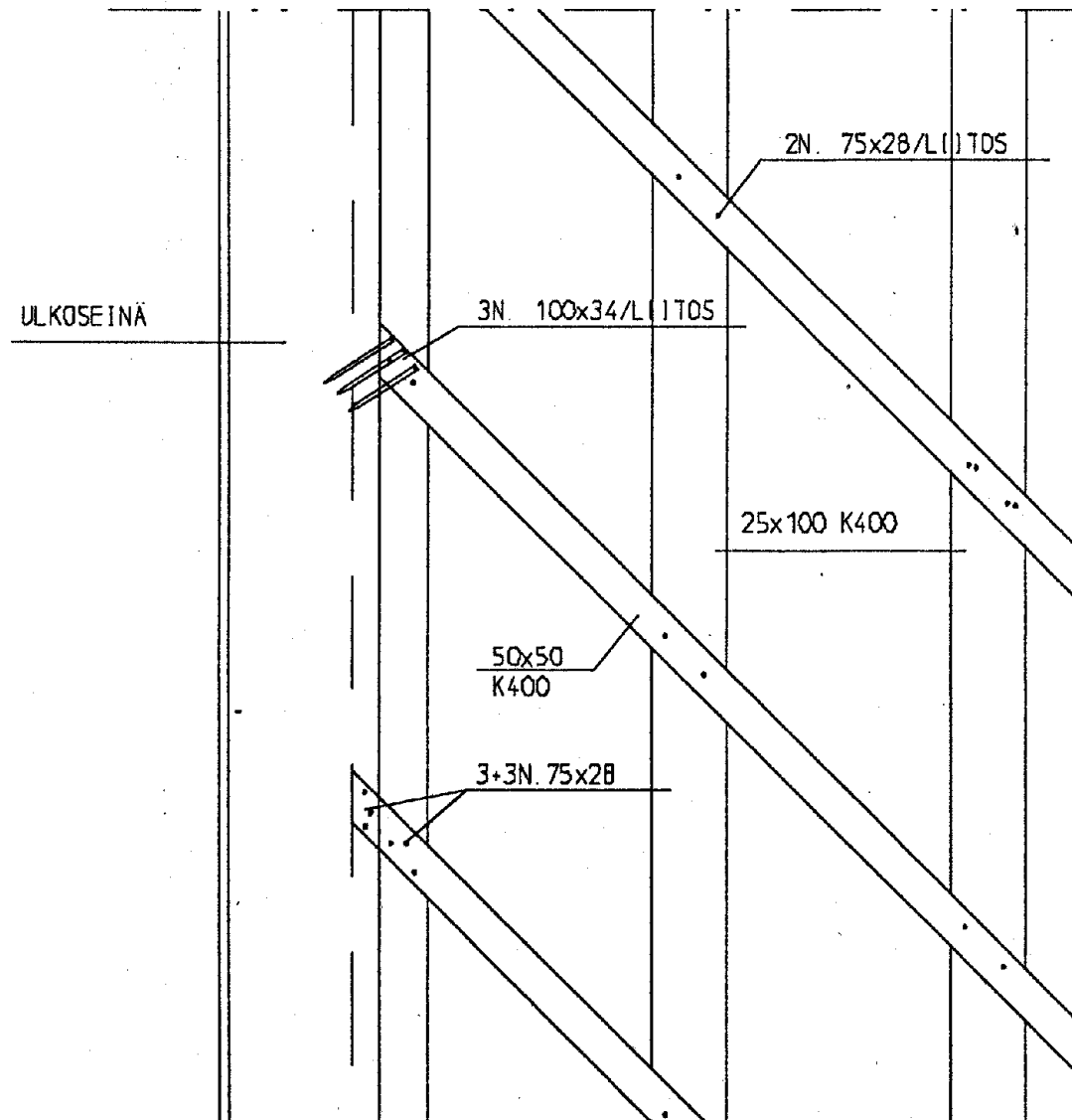
Rakennus on kaksilaivainen. Elementtirakenteiset ulkoseinät ovat pystykuormia kantavia ja levymäisiä koko rakennusta jäykistäviä rakenteita. Rakennuksen pituussuunnassa keskellä on teräspilarilinja ja pilarien varassa pääkannattajat. Katon kannattajina ovat vaurioituneella puolella 13,4 m ja ehjäksi jääneellä puolella 11,5 m pituiset puiset nauvalevyristikot. Sisäkatto oli loiva harjakatto; huonekorkeus ulkoseinän puolella oli 3,6 m ja rakennuksen keskilinjalla 4,4 m.

Ulkoseinät tukeutuivat yläpäästään vaakasuunnassa sisäkattoon, joka oli suunniteltu levyrakenteeksi siirtämään vaakakuormat rakennuksen jäykistäville kuorman suuntaisille ulkoseinille.

Ristikoiden alapaarteen alapinnassa oli höyrynsulkumuovi, jonka yläpuolella oli lämmöneristeenä puhallusvilla. Puhallusvillan paksuus oli rakennepiirustusten mukaan 300 mm, mutta silmämääräisesti arvioiden puhallusvillaa oli paikoitellen tätä enemmän.

Ristikoiden alapaarteen alapintaan höyrynsulun alapuolelle oli kiinnitetty 50 mm x 50 mm rimoista koostuva koolaus kirkkailla 90 mm x 3,0 mm (mitattu tutkinnassa) konenauloilla. Onnettomuudessa nämä naulat luistivat ulos ristikoiden alapaarteesta. Useimmissa rimojen ja ristikoiden liitoksissa oli kaksi naulaa. Koolaus oli 400 mm jaolla ja 45 asteen kulmassa kattoristikoihin nähden. Rimojen jatkokset oli tehty limiliitoksien avulla limittäiset rimat 2–3 konenaulalla yhteen. Ristikoiden kohdalla olevissa jatkoksissa molemmat rimat oli naulattu kiinni alapaarteeseen. Osa limiliitoksista ei ollut ristikoiden kohdalla.

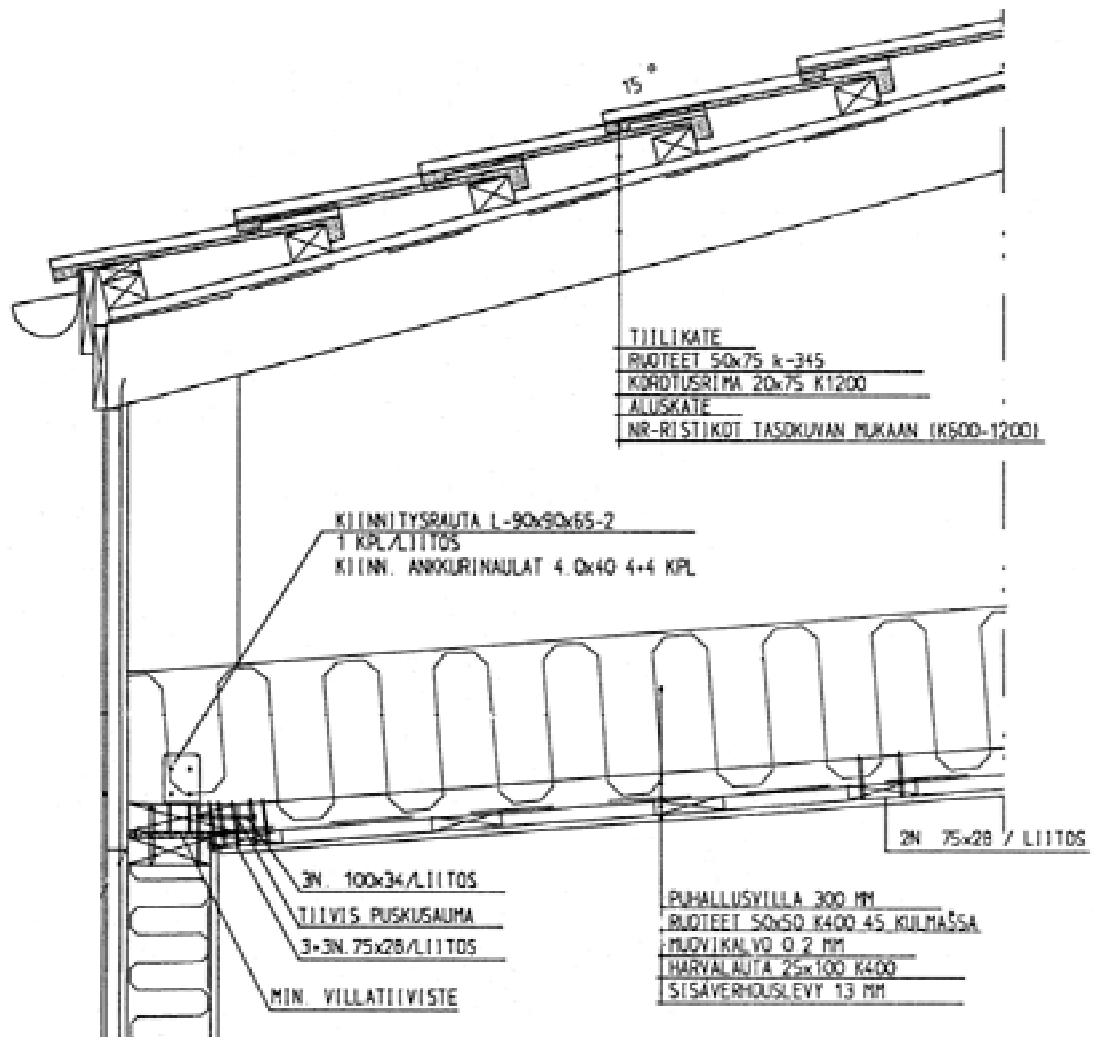
Koolauksen alapuolella oli kattoristikoiden suuntainen 22 mm x 100 mm harvalaudoitu 400 mm jaolla. Laidoitus oli kiinnitetty koolaukseen kampakuvioituilla liimakärsillä 63 mm x 2,8 mm konenauloilla. Harvalaudoituksen liitoksissa oli pääsääntöisesti käytetty 2–3 naulaa. Sisäkaton verhouksena olleet kattoristikoiden suuntaiset 1 200 mm x 2 600 mm kokoiset, 13 mm paksuiset kipsilevyt oli kiinnitetty harvalaudoitukseen kipsilevyruuveilla 45 mm x 2,3 mm (noin 36 kpl/levy).



Kuva 5. Yksityiskohta katon tasopiirustuksesta.

Bild 5. Detalj av takets genomskärning.

Figure 5. A detail of the ceiling drawing.



Kuva 6. Leikkaus suunnitellusta sisäkattorakenteesta. Toteutettu rakenne poikkesi suunnitelmasta siten, että harvalaudoitusta oli ristikoiden suuntainen ja laudan paksuus oli 25 mm sijaan 22 mm. Lisäksi höyrynsulkumuovi oli 50 mm x 50 mm rimojen yläpuolella ja naulaus oli tehty käsin naulattavien langanaulojen sijaan konenauloin.

Bild 6. Genomskäring av den planerade innertakskonstruktionen. Den konstruktion som faktiskt byggdes avvek från planen genom att glespanelen går parallellt med takstolarna och panelerna har en tjocklek på 22 mm i stället för 25 mm. Dessutom har ångspärrplasten installerats ovanför 50 x 50 mm ribborna. Spikförbanden har utförts med maskinspik i stället för med handspikad trådspik.

Figure 6. A cutaway drawing of the inner ceiling structure design. The actual structure had sparse boarding in the direction of the roof trusses and the board thickness was 22 mm instead of 25 mm. Furthermore, the steam trap plastic was above the 50 mm x 50 mm battens and the nailing was done with a compressed air nail gun instead of manual nailing.



Kuva 7. Pudonnut sisäkatto yläpuolelta. Höyrysulku ja puhallusvilla on poistettu katon päältä.

Bild 7. Det rasade innertaket från ovasidan. Den ångspärr och lösull som fanns på innertaket har avlägsnats.

Figure 7. The inner ceiling seen from above. The steam trap and blowing wool insulation have been removed from above the ceiling structure.

Naulauksen varassa olleen sisäkaton oma paino oli tutkintalautakunnan punnitusten ja laskelmien mukaan eristeineen vähintään 20 kg/m^2 . Kattoristikoiden väli oli suurimmalta osalta 1,2 m ja siihen nähden 45 asteen kulmassa olleen rimoituksen 0,4 m. Sisäkaton omasta painosta kohdistui kuhunkin liitokseen kuorma $0,68 \text{ m}^2$:n alueelta ominaisarvoltaan 133 N (noin 13,5 kg). Sen lisäksi sisäkattoon oli ripustettu ilmastointikanavia, asiakkaiden opastukseen liittyviä tauluja, valaisimia sekä kaapelikouruja, joissa oli kaapeleita, lämmitysputkia ja kylmälaiteputkia. Tutkintalautakunnan laskelmien mukaan ripustusten keskimääräinen kuorma on vain murto-osa sisäkaton omasta painosta, mutta ripustuksista aiheutuvat pistekuormat ovat huomattavia. Esimerkiksi ilmastointiputkiston aiheuttama pistekuorma oli keskimäärin yli 11 kg kullekin kannattimelle.

Katossa oli kuusi ristikkoväliä, joiden leveys on ikkunajaon ja runkotolpituksen vuoksi 1 200 mm:n sijaan 600 mm. Kuormitusalueen pienenemisen seurauksena nämä ristikot taipuvat suunnitelmien mukaisen enimmäiskuormituksen vaikutuksesta noin 7 mm vähemmän kuin muut ristikot. Tutkintalautakunnan laskelmien mukaan taipumaero aiheutti 50 mm x 50 mm rimojen naulauskohtiin enimmillään noin 30 N (3 kg) vetorasituksen. Koska sisäkatto toimi myös osana rakennuksen kokonaisjäykistystä nauloihin kohdistui ajoittain myös leikkausrasituksia.

Rakennuksen ullakkotilassa ei ollut kulkusiltoja, vaikka liikkuminen siellä oli mahdollista ja jopa tarpeen tarkastus- ja huoltotöiden vuoksi.

Laajennuksen yhteydessä silloisen päätyseinän alaosa kassojen kohdalta purettiin pois. Tällöin vanhan osan sisäkaton reuna kiinnitettiin ainoastaan laajennusosan sisäkaton kipsilevyverhoukseen, mutta ei lainkaan sisäkaton tai rakennuksen rungon puurakenteisiin. Tämän seurauksena vaakakuormat eivät enää voineet siirtyä uudelle päätyseinälle alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Vanhan päätyseinän yläosaan mahdollisesti edelleen kohdistuvien pystykuormien siirtyminen perustuksille ei käynyt selville tutkintalautakunnan käytössä olleesta suunnitelma-aineistosta eikä rakenteita silmämääräisesti tarkastellen, koska uuden osan sisäkatto pysyi ylhäällä. Kassojen yläpuolella olevan vanhan osan ensimmäisen kantavan kattoristikon etäisyys laajennusosan rajasta on noin 1,2 m. Laajennuksen puolella ensimmäinen ristikko on aivan puretun seinän vieressä.

Vuonna 2002 tehdyn laajennuksen yhteydessä poistettiin keskellä rakennusta olevalla pilarilinjalla ollut kuuden metrin pituinen kantava seinä. Sen yläpään tasoon tehtiin palkkirakenne, johon tuettiin vanhalta osalta viisi kattoristikkoa sekä kaikki uudet kattoristikot. Tällöin muutettiin myös vanhojen ristikoiden rakennetta sopivaksi palkkiin tukeutumista varten. Muutostyön aikana ristikoita tuettiin väliaikaisesti. Tuentaa varten ristikoiden alapaarretta vahvistettiin naulaamalla sen molemmille puolille 50 mm x 100 mm lankut.

Syksyllä 1997 havaittiin, että kattotiilirivit eivät olleet pysyneet suorina. Sen jälkeen katon liikkeitä seurattiin ja havaittiin, että ristikoiden yläpaarre oli nurjahtanut sivulle enimmillään 67 mm. Laajennuksen jälkeen syksyllä 2002 ristikoiden yläpaarre oikaistiin ja tuettiin koko rakennuksen alueella.

2.2 Olosuhteet

Lämpötila tapahtumahetkellä oli +7 °C. Sää oli poutainen, melkein selkeä ja tyyni. Ilman suhteellinen kosteus oli 50 %. Katolla ei ollut lunta.

Kattoristikon alapaarre oli yläpohjan lämmöneristeen ympäröimä, minkä vuoksi sen lämpötila ei ole vaihdellut kovin paljon vuodenaikojen mukaan. Kosteus sen sijaan on vaihdellut vuodenaikojen ja ulkoilman kosteuspitoisuuden mukana.

Myymälätilassa oli koneellinen ilmanvaihto. Ilman sisään puhallus tapahtui sisäkattoon kiinnitetyissä kanavissa olleiden venttiilien kautta ja poisto myymälän takaosassa olleen lämmön talteenottojärjestelmän kautta. Tilaan oli pyritty saamaan tasapainotila, eli että ei syntyisi ali- tai ylipainetta.

2.3 Onnettomuuteen liittyvät organisaatiot ja henkilöt

2.3.1 Kiinteistö ja myymälätoiminta

Sysmän S-Market kuuluu alueellisen Osuuskauppa Hämeenmaan päivittäistavaratoimialaan.

Osuuskauppa Hämeenmaalla on kiinteistöpäällikkö, joka vastaa sen omistamista kiinteistöistä sekä niiden rakennuttamisesta.

Marketilla on oma marketpäällikkö sekä aluepäällikkö. He vastaavat liikkeen myymälätoiminnasta.

2.3.2 Rakentamiseen liittyvät organisaatiot

Rakentaminen

Rakennushankkeen käynnisti syksyllä 1996 Osuuskauppa Hämeenmaa, jonka edustajana rakennushanketta johti ja valvoi kiinteistöpäällikkö. Rakennuttaja tilasi kouvolaalaiselta arkkitehtitoimistolta luonnossuunnitelmat. Näiden valmistuttua rakennuttaja käynnisti urakkakyselyn, johon sisältyi sekä suunnittelu että rakentaminen (KVR-urakka). Hankkeen KVR-urakoitsijaksi valittiin tammikuussa 1997 joutsalainen rakennusliike. Työmaan vastaavana mestarina oli kokenut rakennusmestari. Urakkaan ei kuulunut kylmälaite-suunnittelu, jonka tilaajana oli rakennuttaja.

Luonnossuunnittelun tehnyt arkkitehtitoimisto jatkoi rakennuksen arkkitehtisuunnittelijana. Suunnittelun tilasi KVR-urakoitsija. Rakennesuunnittelijana toimi vääksyläinen insinööritoimisto, LVI-suunnittelijana joutsalainen toimisto ja -urakoitsijana hartolalainen yritys. Sähköurakoitsijana ja myös -suunnittelijana toimi lahtelainen yritys. Kattoristikot suunnitteli tampereläinen insinööritoimisto sysmääläisen ristikkotoimittajan toimeksiantona.

Laajennus

Laajennus toteutettiin alkuvuonna 2002. Osuuskauppa Hämeenmaan tilaamana suunnittelijana toimi lahtelainen arkkitehtitoimisto. Urakoitsijana toimi rakennusliike Kuhmoisista ja sen alaisuudessa rakennesuunnittelija Kuhmoisista, LVI-suunnittelija Joutsasta ja sähkösuunnittelija Heinolasta. Uudet kattoristikot ja muutoksia vanhoihin suunnitteli sama insinööritoimisto kuin myymälää rakennettaessa.

Ristikoiden yläpaarteiden nurjahdustuenta

Kattoristikoiden yläpaarteiden nurjahdustuentaan liittyvän suunnittelun teki syksyllä 2002 henkilö, joka on kummassakin rakennusvaiheessa kattoristikot toimittaneen yrityksen palveluksessa. Korjaustyön toteutti ensimmäisen rakennusvaiheen KVR-urakoitsija.

2.4 Pelastustoimen organisaatio ja toimintavalmius

Omatoiminen varautuminen

Alueellinen osuuskauppa on tehnyt järjestelmällisesti kiinteistöjensä pelastussuunnitelmia (aikaisempi nimitys suojelusuunnitelma) vuodesta 2001 alkaen. Pelastussuunnitelman muoto ja sisältö perustuvat tapauskohtaiseen tarveharkintaan. Osuuskauppa on toimittanut yksiköille tarvittaessa esitetyt suunnitelman, jonka yksikön päällikkö on täydentänyt paikallisiin olosuhteisiin soveltuvaksi.

Sysmän marketin pelastussuunnitelmaa oli päivitetty vuoden 2004 aikana tarkoituksena allekirjoittaa uusittu suunnitelma marraskuussa 2004. Suunnitelman viimeistely oli kuitenkin viivästynyt eikä se ollut vielä valmis onnettomuuden tapahtuessa.

Osuuskauppa Hämeenmaa järjesti pelastussuunnitelmien päivitykseen liittyen vuoden 2004 syys-lokakuussa kaikkia toimipaikkoja koskevan alkusammutuskoulutuksen. Sysmän marketin henkilökunnalle tarkoitetun koulutustilaisuuden järjesti tilaustyönä pelastuslaitos. Koulutukseen sisältyi luento-osuus mahdollisista riskitekijöistä ja onnettomuustilanteista, hätäilmoituksen tekemisen harjoittelua sekä käytännön harjoituksena sammutuspeitteen ja jauhesammuttimen käyttöä. Koulutukseen osallistui puolet henkilökunnasta eli viisi henkilöä.

Rakennus oli varustettu asianmukaisilla poistumisopasteilla ja turvavaloilla. Viimeisin palotarkastus oli tehty 8.10.2004. Palopäällikön tekemässä tarkastuksessa ainoa huomautus koski pelastussuunnitelman keskeneräisyyttä.

Hätäkeskus

Hätäpuhelimet Sysmän kunnan alueelta ohjautuvat Hämeen hätäkeskukseen Hämeenlinnaan. Valtiollinen Hämeen hätäkeskus on aloittanut toimintansa 30.11.2004 toimialueenaan yhteensä noin 370 000 asukkaan Kanta- ja Päijät-Hämeen maakunnat. Hätäkeskuksessa on käytössä ELS-hätäkeskustietojärjestelmä. Hätäkeskuksen työvuoron kirjavahvuus on vuoromestari ja 6 hätäkeskuspäivystäjää. Arkipäivisin vuorovahvuus on kuitenkin yleensä tätä suurempi eli vuoromestari ja 7–8 päivystäjää.

Pelastuslaitos

Sysmän kunnan pelastustoimesta on vastannut vuoden 2004 alusta alkaen Päijät-Hämeen liiton yhteydessä toimiva alueellinen Päijät-Hämeen pelastuslaitos. Alueen pelastustoimen tulee päättää pelastustoimen valmiudesta pelastuslain (13.6.2003/468) 13 §:n mukaan palvelutasopäätöksessään. Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen voimassa olevan palvelutasopäätöksen mukaan Sysmän keskustaajama kuuluu II-riskialueeseen ja siellä on pidettävä alle 5 minuutin lähtövalmiudessa yksi pelastusyksikkö vahvuudella 1 + 3. Sisäasiainministeriön toimintavalmiuseräohjeen (A:71/2003) mukaan II-riskialueella pelastusyksikön tulisi saavuttaa onnettomuuskohteeseen pääsääntöisesti 10 minuutin kuluessa hälytyksestä (palokunnan toimintavalmiuserä).

Sysmässä sopimuspalokuntana toimii Sysmän VPK. Pelastuslaitoksen ja VPK:n välisen sopimuksen mukaan VPK:n hälytysosaston vahvuus tulee olla vähintään 20 henkilöä, joista kymmenen on oltava savusukelluskelpoisia. VPK:n hälytysosaston vahvuus on 42 henkilöä. Hälytyksiin on saatu vuorokaudenajasta riippuen keskimäärin 15–18 henkilöä. Pelastuslaitoksen hätäkeskukselle ilmoittamissa vasteissa Sysmän VPK:n oletetaan saavan liikkeelle kaikissa tilanteissa kaksi yksikköä. Sysmän VPK:n koulutuksen saaneet yksikönjohtajat toimivat vuorolistan mukaan esimiespäivystäjinä. Toimintavalmiusohjeen mukaan pelastusyksikön johtajana voi toimia vapaaehtoiseen tai sivutoimiseen henkilöstöön kuuluva yksikönjohtajan koulutuksen saanut henkilö.

Hätäkeskuksen vasteiden mukaan Sysmän keskustaajaman alueella pelastusjoukkueeseen kuuluu Sysmän VPK:n lisäksi Hartolan VPK. Pelastusjoukkueen johtajana tulee olla päätoiminen päällystöviranhaltija. Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen Heinolan toiminta-alueella pelastusjoukkueen johtajana toimii vuorolistan mukaan Sysmän ja Hartolan palopäälliköt sekä Heinolan neljä päällystöviranhaltijaa.

Pelastuskomppanian johtajana Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen alueella toimii päällystövarallaolija (PH P1). Varallaolossa ovat mukana vuorolistan mukaan Lahden toiminta-alueen päällikköviranhaltijat. Hätäkeskuksen vasteiden mukaan Sysmän keskustaajaman alueella pelastuskomppaniaan kuuluvat Sysmän ja Hartolan VPK:ien lisäksi Heinolan, Luhangan ja Asikkalan palokunnat.

Pelastusmuodostelmien johtajien toimintavalmiusajat Sysmän keskustaajaman Il-riskialueelle ovat seuraavat:

Lähtö	Johtaja	Toimintavalmiusaika
Pelastusyksikkö	Sysmän päivystävä esimies (SY P5)	Alle 8 min; varallaoloon osallistuvat koulutuksen saaneet sopimuspalokuntalaiset vuorolistan mukaan
Pelastusjoukkue	Heinolan toiminta-alueen päällystövarallaolija (HE P3)	1–8 min, kun Sysmä P1 paikalla tai varallaolossa 15–30 min, kun Hartola P1 varallaolossa 25–30 min, kun Heinolan päällystöviranhaltijat varallaolossa
Pelastuskomppania	Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen päällystövarallaolija (PH P1)	50–60 min; varallaolijat asuvat Lahti–Hollola–Orimattila-alueella

Naapurikuntien palokuntien etäisyydet Sysmän keskustaajamasta ovat seuraavat:

Kunta	Palokunta	Etäisyys	Huom.
Hartola	Hartolan VPK	22 km	
Heinola	Heinolan vakainainen	43 km	
Luhanka	Luhangan VPK	43 km	Keski-Suomen pelastuslaitoksen alueella
Asikkala	Asikkalan PVPK	46 km	
Joutsa	Joutsan VPK	42 km	Keski-Suomen pelastuslaitoksen alueella; ei ole kirjattu vasteisiin

Pelastuskomppanian kokoaminen kestää pitkien etäisyyksien johdosta 45–50 minuuttia.

Lääkinnällinen pelastustoimi

Sysmän kunnan alueella sairaankuljetuksesta vastaa yksityisen Hartola-Sysmä Sairaankuljetus Oy:n sairausauto S395. Yhtiöllä on käytössä Sysmässä myös vara-auto S396, jota ei ole kirjattu hätäkeskuksen vasteisiin, mutta jonka S395:n henkilökunta voi hälyttää puhelinsoitolla.

Suuronnettomuustilanteessa lähimmät Hämeen hätäkeskuksen käytössä olevat sairausautot löytyvät Hartolasta (22 km), Heinolasta kaksi autoa virka-aikana ja yksi virkaajan ulkopuolella (43 km), Asikkalasta (46 km), Padasjoelta (62 km) sekä useita sairausautoja Lahdesta (75 km). Keski-Suomen hätäkeskuksen kautta on mahdollista saada sairausauto Joutsasta (42 km) ja Etelä-Savon hätäkeskuksen kautta Pertunmaalta (55 km).

Sysmän terveyskeskuksella on käytössä virka-aikana lääkärijohtoinen valmiusryhmä.

Lääkärijohtoisen pelastushelikopteri MediHelin lentoaika Vantaalta Sysmään on noin 45 minuuttia ja pelastushelikopteri Ilmarin Varkaudesta noin 40 minuuttia. Pelastushelikoptereita ei ole kirjattu Sysmän vasteissa yhteenkään onnettomuustyyppiin, vaan niiden käyttö perustuu tapauskohtaiseen harkintaan.

2.5 Tallenteet

2.5.1 Kameravalvonta

Myymlä rakennuksessa oli käytössä digitaalisesti tallentava valvontakamerajärjestelmä. Kamerajärjestelmän kellonaika ei ollut oikea, mutta tallenteiden todelliset kellonajat on saatu selville vertaamalla tallenteissa ollutta yksityiskohtaa hätäkeskuksen tallenteisiin.

Tutkintalautakunnalla on ollut käytössään neljän tapahtumien kannalta merkittävän kameran tallenteet. Tallenteista on ollut apua muun muassa sisällä olleiden henkilöiden paikkojen määrittämisessä. Tallenteiden juoksevan kellonajan perusteella voitiin todeta, että sisäkaton putoamiseen kului aikaa kaikkiaan noin yhdeksän sekuntia siitä, kun hedelmäosastolla olleen kameran heilahtelu kertoi katon putoamisen alkamisesta. Myymälän varaston puoleisessa päädyssä olleen kameran tallenteesta saattoi myös jossain määrin seurata tapahtumien kulkua välittömästi katon putoamisen jälkeen. Tallenteesta voitiin nähdä muun muassa myymälän varaston puoleisessa päädyssä olleiden henkilöiden poistuminen.

Yksi valvontakameroista oli asennettu hedelmäosastolle hyllyjen päätylinjan kohdalle kattovalaisimien asennuskiskoon. Kamera oli suunnattu kassojen ja sisäänkäynnin väliselle alueelle. Kameran tallenteen mukaan kamera heilahti voimakkaasti kello 9.28.58 siten, että kameran suuntaus jäi parin sekunnin heilahtelun jälkeen normaalia alemmaksi. Kuusi sekuntia kameran heilahtamisen jälkeen tallenteesta näkyy ulko-ovea kohti kävelevä asentaja katsomassa sisäkattoa. Asentajan kertoman perusteella on ilmeistä, että hänen kuulemansa ensimmäinen pamaus ja kameran heilahtaminen tapahtuivat samaan aikaan.

Kello 9.29.36 eli 38 sekuntia ensimmäisestä pamauksesta kamera alkoi heilahdella uudelleen voimakkaasti. Neljä sekuntia myöhemmin kameran tallenteesta näkyi ulos juokseva asentaja. Siitä sekunnin kuluttua kamera ei enää välittänyt kuvaa monitorille syynä joko sähkönsyötön tai tietoliikennekaapelin katkeaminen. Asentajan kertoman perusteella on ilmeistä, että hänen kuulemansa toinen pamaus ja sisäkaton putoamisen alkaminen tapahtuivat samaan aikaan.

Myyvälän ehjäksi jääneessä osassa juomaosastolla ollut kamera kuvasi alaviistoon kassojen puoleisen päädyn suuntaisesti kohti kassoja. Kameran tallenteesta näkyi kello 9.29.40 ulos juoksevan asentajan hahmo. Tallenteesta näkyi myös samanaikaisesti myymäläsalin kiiltävästä lattiasta heijastuva kassojen kohdalla olevien valaisimien liikkuminen. Myös kassojen päällä olevan friisin vasen alakulma tuli näkyviin saman sekunnin aikana. Kello 9.29.42 kuvaan tuli näkyviin kattoon ripustettu valokisko valaisimien. Kameran tallenteiden perusteella on ilmeistä, että sisäkaton aaltomaisena liikkeenä edennyt putoaminen oli saavuttanut myymälän kassojen puoleisen päädyn kello 9.29.40 eli neljässä sekunnissa toisesta pamauksesta.

Myyvälän varaston puoleisessa päädyssä ollut kamera kuvasi päädyn suuntaisesti pudonneelta alueelta kohti ehjäksi jäänyttä aluetta. Kameran tallenteesta näkyy muun muassa marketpäällikön tulo myymälän puolelle ja kulku kohti hedelmäosaston käytävää. Kello 9.29.40 hän käveli pois kameran kuvasta suoraan kohti putoavaa kattoa. Tästä kahden sekunnin kuluttua myymälän varaston puoleisessa päädyssä ehjäksi jääneellä puolella oleva henkilökuntaan kuuluva käänsi katseensa kohti kattoa ja alkoi liikkua kohti varaston ovea. Kello 9.29.44 kamera heilahti voimakkaasti ja siitä sekunnin kuluttua kameran kuvan yläosassa näkynyt käytäväkyltti alkoi pudota alaspäin. Kello 9.29.46 valaisimien asennuskiskot tulivat kuvaan näkyviin. Kameran tallenteiden perusteella on ilmeistä, että sisäkaton aaltomaisena liikkeenä edennyt putoaminen oli saavuttanut myymälän varaston puoleisen päädyn kello 9.29.45 eli yhdeksässä sekunnissa toisesta pamauksesta.

Neljäs kamera kuvasi myymälärakennuksen varastotiloja. Kameran tallenteesta näkyi muun muassa myymälästä poistuneiden henkilöiden toiminta varaston puolella ja se, että joku ulkopuolinen tulee myymälärakennukseen varaston ulko-ovesta kahden lapsen kanssa ilmeisesti vain ihmettelemään tapahtunutta. Samoin tallenteesta näkyy palopäällikön ja huoltomiehen saapuminen.

2.5.2 Pelastustoimen tallenteet

Tutkintalautakunnalla on ollut käytettävissään hätäkeskuksen hätäpuhelutallenteet, Virve-radioverkon tallenteita, hälytysseleste ja ELS-hätäkeskustietojärjestelmän tapahtumaloki sekä pelastustoimen johtajan laatima onnettomuusseleste.

Hätäpuhelutallenteista selvisivät muun muassa hätäpuhelujen alkamisajat ja sisällöt. Virve-radioverkon tallenteista selvisivät muun muassa puheella annettujen hälytysten sisältö ja ensiksi kohteeseen saapuneen palopäällikön tilanneselostus.

Hälytysselesteesta selvisi yksiköiden liikkumiseen liittyvät ajat. Hätäkeskustietojärjestelmän tapahtumalokista selvisi muun muassa päivystäjän tekemät toimenpiteet sekä se, että ensimmäinen hätäpuhelu alkoi viisi sekuntia ennen kuin kohteen automaattisen paloilmottimen laitevikailmoitus hälytti hätäkeskuksessa. Onnettomuusselesteeseen pelastustoimen johtaja oli kirjannut palokunnan toiminnan.

2.6 Asiakirjat

Tutkintalautakunta sai eri rakentamisvaiheisiin liittyvää suunnitelma-aineistoa käyttöönsä rakennuttajalta, Sysmän rakennustarkastajalta sekä myymälän vuonna 1997 rakentaneelta urakoitsijalta. Aineisto kattaa eri rakentamisvaiheiden suunnitelmat erityisesti yläpohjan osalta samoin kuin kattoristikoiden nurjahdustuentasuunnitelmat. Urakkasopimusaineistoa ja työmaakokouspöytäkirjoja oli saatavilla lähinnä vuoden 1997 rakentamisen osalta. Saadusta aineistosta ei kuitenkaan ilmene, miten erilaiset ripustukset oli ajateltu kiinnitettäväksi kattoon.

Rakentaminen

Rakennuslupa oli myönnetty 14.1.1997.

Rakennusteknisten töiden suorittamista varten kohteesta oli laadittu normaalin käytännön mukaiset arkkitehti-, LVIS- ja rakennesuunnitelmat. Kohteen rakennesuunnittelija laati kattoristikosuunnittelua varten kattoristikokaaviot kuormitustietoineen. Niiden mukaan suunnitellen ristikoiden kantavuus oli riittävä. Kattoristikoiden alapaarteelle kohdistuvaksi kuormaksi oli suunnitelmissa annettu $0,8 \text{ kN/m}^2$ (80 kg/m^2).

Sisäkaton suunnitelmissa oli piirretty 50 mm x 50 mm rimoitus kiinnitettäväksi kattoristikoiden alapaarteeseen alhaalta päin nauloin, mutta naulat olivat jääneet määrittelemättä. Sisäkaton muiden liitosten naulaukset oli esitetty suunnitelmissa, ja muun muassa rimojen kiinnittäminen jäykistäviin seiniin oli suunniteltu tehtäväksi lankanauloin. Sisäkaton oman painon ja siihen kiinnitettyjen ripustuksen lisäksi nauloihin kohdistui myös vaakasuuntaista leikkausrasitusta, sillä sisäkatto suunniteltiin toimimaan vaakavoimia jäykistäville seinille siirtävänä levynä.

Tutkintalautakunnalla oli käytössä myös rakentamista koskevat urakka-asiakirjat sekä työmaakokouspöytäkirjat. Pöytäkirjojen mukaan rakennesuunnittelija ei ollut mukana yhdessäkään kokouksessa. Muukin yhteydenpito rakennesuunnittelijan ja työmaan välillä oli hyvin vähäistä, jolloin rakennesuunnittelija oli mukana hankkeessa ainoastaan toimittamiensa piirustusten välityksellä.

Laajennus

Vuoden 2002 alkupuolella toteutetun toisen rakennusvaiheen suunnitelmissa oli esitetty lähinnä perustus- ja sokkelirakenteet sekä kantavan puurungon rakenteet. Sisäkaton rakenteista ja kiinnityksistä ei ollut suunnitelmia eikä niitä ollut myöskään vanhan ja uuden sisäkaton liittämistä toisiinsa. Kassojen vieressä olleen vanhan päätyseinän alaosan purkamisesta ja uudesta tuennasta puuttuivat myös suunnitelmat.

Suunnitelmissa oli esitetty rakennuksen keskelle pilarilinjalle palkki, joka ulottui viimeisen vanhan pilarin kohdalta uudelle päätyseinälle. Palkin kohdalla oli aikaisemmin kantava seinä, joka poistettiin. Tämän seurauksena kassojen edessä yläpuolella olleen viiden kattoristikon tuenta muuttui. Sitä varten oli suunnitelmissa esitetty ristikon pään muutokset, mutta työnaikaista purku- tai tuentasuunnitelmaa ei ollut laadittu.

Laajennuksen rakentamista koskevaa suunnittelu- tai työmaakokousaineistoa ei ollut tutkintalautakunnan käytössä lukuun ottamatta tarkastusmuistiota 30.9.2002.

Kattoristikoiden yläpaarteiden nurjahdustuenta

Yläpohjan korjaaminen tehtiin syksyllä 2002. Siihen liittyvissä suunnitelmissa oli esitetty yläpaarteiden nurjahdustuenta ja tuentavoimien siirto ristikoiden alapaarten tasoon jäykistävinä pystyrakenteina toimiville seinille.

Suunnitelma-aineiston lisäksi tutkintalautakunnalla oli käytössä Sysmän kunnan rakennustarkastajan lausunnot korjaukseen ryhtymisen tarpeellisuudesta sekä korjaustöiden hyväksymisestä.

2.7 Säädökset, määräykset ja ohjeet

Suomessa oli jo vuonna 1997 mahdollista suunnitella puurakenteita joko suomalaisiin ympäristöministeriön laatimiin viranomaisohjeisiin tai yhteiseurooppalaisiin Eurocode-esistandardeihin perustuen. Eurocode 5:n esistandardiin ENV 1995-1-1 perustuva Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisema ohjeen RIL 205-1997 ensimmäinen painos ilmestyi marraskuussa 1997, ja toinen painos joulukuussa 2003. Piirustusmerkintöjen perusteella kohteen kaikissa suunnitteluvaiheissa käytettiin suomalaisia suunnitteluohjeita ja kuormitusmääräyksiä.

Ympäristöministeriön julkaisemista Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kuuluvista kuormitusmääräyksistä B1² oli vuonna 1997 voimassa painos vuodelta 1982. Seuraava painos on vuodelta 1998 ja se on edelleen voimassa. Kummankin mukaan rakenteiden omapaino lasketaan rakennusaineiden ja -tarvikkeiden keskimääräisten tiheyksien ja rakenneosien nimellismittojen mukaan pysyvänä kuormana. Määräys B1 ei käsittele varsinaisesti taloteknisiä tai muita ripustuskuormia, mutta näiden osalta voidaan soveltaa rakennusosien oman painon määrittämisperiaatteita. Vesikatolle kohdistuva lumikuorma on 1,8 kN/m². Ullakkotila ristikoiden alapaarteiden yläpuolella ei ole varsinaista henkilökuormille suunniteltavaa tilaa. Ihminen voi kuitenkin liikkua siellä ja kuormittaa painollaan rakenteita, jolloin ne tulee suunnitella B1:n mukaan pystysuoralle pistekuormalle suuruudeltaan 1,0 kN (100 kg). Mahdollista on myös suunnitella ullakkotilaan kulkusilloja ja ohjata ihmiset kulkemaan niitä pitkin.

Vuonna 1997 tapahtuneen rakentamisen aikana puurakenteiden ja niihin liittyvien nau-lausten suunnittelua varten oli voimassa ympäristöministeriön puurakenteita koskeva ohje B10 vuodelta 1990 ja laajennuksen aikana sama ohje vuodelta 2001.

² Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, Määräykset, Osa B1 Rakenteiden varmuus ja kuormitukset, 1982.

Ohjeeseen B10 perustuvan Suomen Rakennusinsinöörien Liiton ohjeen RIL 120 painoksia on ilmestynyt vuosina 1991, 2001 ja 2004.

Rakentamisen aikaan voimassa olleiden ohjeiden B10 ja RIL 120 mukaan naulan kärjen puoleisen osan ominaistartuntalujuus puuhun lasketaan kaavasta

$F_k = f_u d (L - 1,5d)$, jossa

f_u = tartuntakerroin, pyöreällä naulalla $f_u = 1,6$, joka kerrotaan sileillä nauloilla pitkäaikaiskuormituksessa luvulla 0,5

d = naulan halkaisija (tässä tapauksessa 3,0 mm)

L = naulan tartuntapituus kärjen puoleiseen puuhun (tässä tapauksessa 40 mm).

Riman 50 mm x 50 mm läpi ristikon alapaarteeseen naulatun sileän konenaulan 90 mm x 3,0 mm tartuntalujuuden ominaisarvo F_k on 85 N (≈ 9 kg). Käytettäessä materiaalivarmuuskerrointa 1,3 saadaan tartuntalujuuden laskenta-arvoksi 65 N (≈ 7 kg). Ohjeessa B10 annettujen naulojen keski- ja reunaetäisyyksien mukaan riman ja alapaarten liitokseen saa sijoittaa enintään kaksi naulaa, jonka halkaisija on 3,0 mm. Samassa ohjeessa todetaan myös, että mikäli liitokseen tulee laskelmien mukaan yksi tai kaksi naulaa, lisätään liitoksen naulamäärää yhdellä.

Rakentamismääräyskokoelman ohje B10 ei kiellä sileän naulan käyttöä vetorasitettuna pitkäaikaisille kuormille mutta Eurocode 5:n esistandardiin ENV 1995-1-1 perustuvan ohjeen RIL 205 jo vuoden 1997 painos kieltää tällaisen liitoksen. Ohjeessa RIL 120 on vuoden 2004 painoksessa ensimmäistä kertaa maininta, että sileitä nauloja ei pidä käyttää vetorasitettuna pitkäaikaisille kuormille. Lisäksi konenaulojen tartuntakerrointa on alennettu siten, että profiloitujen konenaulojen tartuntalujuus lasketaan sileiden tai kuumasinkittyjen naulojen arvoilla ellei tartuntalujuutta ole määriteltä kyseiselle naulalle erikseen testaamalla. Sama laskentatapa koskee myös liimakärkisiä nauloja.

2.8 Muut tutkimukset

2.8.1 Koolauksen ja alapaarten väliset naulaliitokset

Heti tutkinnan alussa kävi selväksi, että koolauksen ja kattoristikon alapaarten välinen liitos on pettänyt koko pudonneella alueella, joten tutkimuksissa päätettiin kiinnittää siihen erityistä huomiota.

Nalaus oli tehty pääosin huolellisesti. Muutamista koolausrimojen kiinnityskohdista puuttuivat naulat kuitenkin kokonaan. Joissakin liitoksissa osa nauloista oli niin lähellä kattoristikon alapaarten reunaa, että naulauskohdassa oli halkeama.



Kuva 8. Irronneita koolauksen naulaliitoksia.

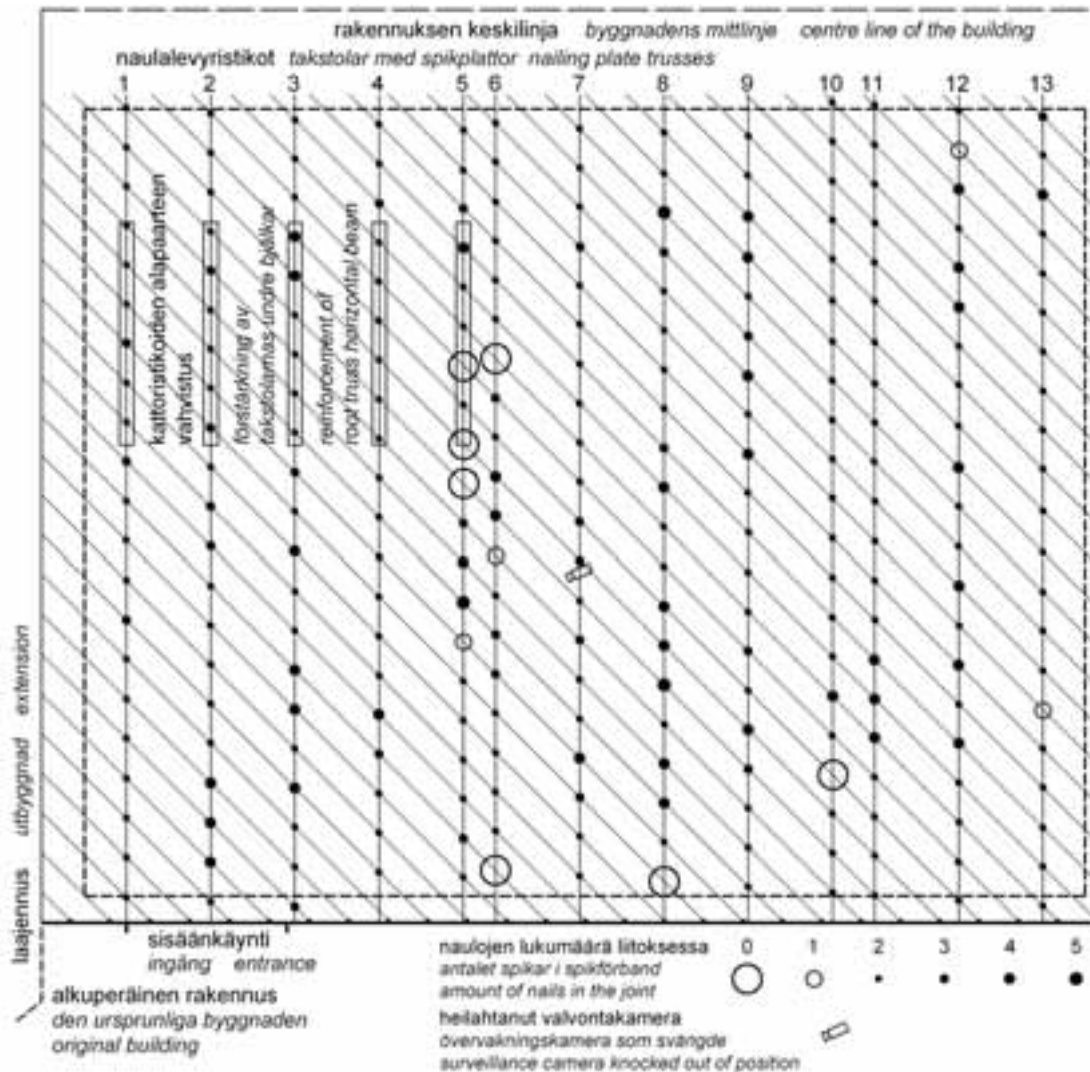
Bild 8. Spikförband som lossnat i skälningen.

Figure 8. Detached batten nailings.

Rimoja silmämääräisesti arvioitaessa voitiin havaita liitosten nauhausten onnistuneen hyvin. Liitoksissa oli käytetty kirkkaita konenauloja 90 mm x 3,0 mm. Useimmissa liitoksissa oli kaksi tai kolme naulaa. Monissa liitoksissa nauhojen välinen etäisyys oli huomattavan pieni. Rimat 50 mm x 50 mm oli jatkettu limiliitoksiin, liitoksissa rimat oli nauhattu yhteen 2–3 konenaulalla 90 mm x 3,0 mm. Jos limiliitos oli kattoristikon alapaarteen kohdalla, oli molemmat rimat nauhattu kiinni alapaarteeseen.

Ulkoseinään nähden 45 asteen kulmassa olleiden rimojen päät oli nauhattu samoilla konenauloilla. Nauloja oli käytetty 2–3 kussakin liitoksessa. Kuvan 8 oikeassa alakulmassa näkyy ulkoseinään liittynyt riman pää, joka on haljennut nauhauksen kohdalta. Halkeaminen tapahtui mahdollisesti vasta katon putoamisen yhteydessä.

Kassojen puoleisessa päädyssä oli laajennuksen yhteydessä purettu alkuperäisen ulkoseinän tolpat pois huonekorkeuden osalta. Samassa yhteydessä oli sisäkaton rimoihin liittyvää rakennetta muutettu siten, että rimojen päät oli niputettu yhteen 50 mm x 50 mm rimalla. Tämä rima ei kuitenkaan ollut kiinni missään puurakenteessa vaan ainoastaan laajennuksen sisäkaton verhoukseen käytetyssä kipsilevyssä.



Kuva 9. Koolauksen naulaliitokset. Tutkitun alueen raja merkitty katkoviivalla.

Bild 9. Skålningens spikförband. Det undersökta områdets gränser är markerade med streckad linje.

Figure 9. The batten nailings. The area investigated is marked with a broken line.

Tutkintalautakunta tutki vaurioalueen kassojen puoleisesta reunasta alkaen 13 kattoristikon alapuolelta tehty naulaliitokset. Tutkittu alue käsitti liitokset ulkoseinän läheisyydestä yli 11 metrin päähän ulkoseinästä. Alueen koko oli 160 neliometriä.

Alueen 13 kattoristikossa oli kussakin 20 liitosta eli yhteensä alueella oli 260 liitosta. Jos rimoituksen limiliitos oli kattotuolin kohdalla, käsiteltiin sitä yhtenä liitoksena. Alueen 260 liitoksessa oli yhteensä 614 pitäväksi arvioitua naulaa jakautuen liitoksittain seuraavasti:

Naujojen määrä liitoksessa	0	1	2	3	4	5
Liitosten määrä	7	4	182	27	37	3
Osuus liitoksista [%]	2,7	1,5	70,0	10,4	14,2	1,2

Keskimäärin nauloja oli 2,36 kpl/liitos. Keskimäärin yksi liitos kannatteli 0,615 neliömetrin aluetta, jolloin yhdelle naulalle tuli 0,26 neliömetrin paino ja nauloja oli 3,84 kappaletta neliömetrillä.

Edellä mainittuun pitäväksi arvioitujen naulojen määrään ei ole otettu mukaan epäonnistuneita naulauksia. Alapaarteissa olleiden jälkien perusteella naulauksen jäljiltä vajavaisiksi liitoksiksi arvioitiin seuraavat yhdeksän liitosta:

Liitosten määrä	Naulojen määrä	Epäonnistuneet naulaukset	Pitävien naulojen määrä
1	2	1 osunut alapaarteen jatkokseen	1
1	2	1 lohkaissut alapaarteen	1
4	3	1 lohkaissut alapaarteen	2
1	3	2 lohkaissut alapaarteen	1
1	4	3 lohkaissut alapaarteen	1
1	4	1 lohkaissut alapaarteen	3

Edellä esitetyille neljälle yhden pitävän naulan liitokselle löytyy selitys nauлаusten epäonnistumisista. Sen sijaan seitsemää kokonaan ilman nauлаusta jäänyttä liitosta nauлаusten epäonnistumiset eivät selitä. Epäonnistuneita nauлаuksia tarkastelualueella oli 12 eli 1,9 % kaikista nauлаuksista.

Tutkitulla alueella ei ollut yhtään nauлаa jäänyt kiinni alapaarteeseen vaan kaikki olivat irronneet kärjen puoleisesta päästään. Muualla kannan puoleisesta päästä irronneita nauлоja havaittiin kaksi.

Tutkitun alueen viiden kattoristikon alapaarteeseen oli tehty rakennuksen laajennuksen yhteydessä vahvistus työnaikaista alapuolista tuentaa varten (kuva 9). Sisäkattoa ei ollut siinä yhteydessä purettu alta päin vaan muutokset on tehty yläpuolelta. Ristikoiden alapaarteiden kylkeen molemmille puolille oli naulattu 90 mm konenauлоilla 100 mm x 50 mm lankut. Ensimmäisen ja viidennen kattoristikon kohdalla lankkujen rakennuksen keskilinjan puoleiset päät olivat noin 7–9 mm alempana kuin alapaarteen alapinta. Naulausjälkien perusteella kyseisillä kohdilla on ollut molemmissa alapaarteissa kolme koolauksen liitosta, jotka ovat olleet jo lankkuja kiinni naulatessa ainakin tuon 7–9 mm irti.

Lankkuja naulatessa paineilmanaulainta ei ilmeisesti ole saatu vaakasuoraan, vaan naulat ovat suuntautuneet alaviistoon. Useissa kohdissa naulat olivat tulleet näkyviin alapaarteen alapinnasta. Vaikka nauлаuksia oli myös rimojen kohdalla, rimoissa ei ollut naulan jälkiä.

2.8.2 Sisäkattoon kiinnitetyt ripustukset

Sisäkattoon oli kiinnitetty runsaasti sekä kiinteistön LVIS-järjestelmiin että myymälätoimintaan liittyviä ripustuksia. Kaikkien ripustusten yksityiskohtaiseen tarkasteluun ei tutkinnassa ollut mahdollisuuksia, joten tässä esitetään ripustukset suuruusluokkatarkkuudella. Tutkintalautakunnan havaintojen mukaan lähes kaikki ripustukset oli kiinnitetty

ruuveilla kipsilevyn läpi 22 mm:n paksuiseen harvalaudoitukseen. Joitain ripustuksia (esimerkiksi ilmastointiputkiston kannattamia) oli kiinnitetty pidemmillä ruuveilla aina koolaukseen saakka. Mitään merkkejä kiinnitysten ruuvausten yltämisestä kattoristikoiden alapaarteisiin saakka ei havaittu. Seuraavassa käsitellään pudonneella 400 m² alueella olleita ripustuksia:

Ilmanvaihtokanavat

Tuloilma jaettiin sisäkattoon kiinnitetyn kanaviston avulla myymälän eri osiin ja ilma poistui myymälän varaston puoleisessa päädyssä olleen lämmön talteenottojärjestelmän kautta. Tuloilmakanaviston pääkanava oli myymälän keskilinjan vieressä ehjäksi jääneellä alueella. Pudonneen sisäkaton alueella oli kuusi tuloilmakanaviston haaraa. Näistä neljä oli toistensa kanssa identtisiä alkuperäisen rakentamisen yhteydessä tehtyjä ja kaksi laajennuksen yhteydessä tehtyjä.

Pudonneen katon alueella tuloilmakanaviston kokonaispaino oli noin 260 kg ja sitä kannatteli 22 kannatinta. Kannattimien välinen etäisyys oli keskimäärin 3 metriä ja keskimääräinen yhden kannattimen kattoon aiheuttama pistekuorma oli yli 11 kg.

Sähköasennukset

Myymälän yleisvalaisimina olivat loisteputkivalaisimet. Valaisimet oli kiinnitetty myymälän pitkittäissuuntaisten käytävien kohdalla kulkeviin asennuskiskoihin 3,3 metrin korkeuteen. Pudonneella alueella oli 60 loisteputkivalaisinta yhteispainoltaan 150 kg.

Valaisimien asennuskiskoa pudonneen katon alueella oli 200 metriä yhteispainoltaan 230 kg. Asennuskiskon kannattimet oli tehty kierretangosta ja sen päähän laitetusta koukusta. Koukku oli kiinnitetty ruuvilla kipsilevyn läpi harvalautaan. Asennuskiskossa oli arviolta 140 kannatinta yhteispainoltaan 70 kg.

Kaapelihyllyä pudonneen katon alueella oli 40 metriä painoltaan kannattimineen 100 kg.

Asennuskiskoilla ja kaapelihyllyillä oli sähkö- ja muita kaapeleita yhteensä 200 kg.

Loisteputkivalaisimien asennuskiskoihin oli asennettu viisi turvavalaisinta, jotka painoivat yhteensä 3 kg. Kuusi suoraan kipsilevyyen kiinnitettyä paloilmaisinta painoi johdotuksiin yhteensä alle 3 kg.

Äänentoistojärjestelmän kaiuttimet oli kiinnitetty valaisimien asennuskiskoihin. Pudonneella alueella oli kuusi kaiutinta. Yksi kaiutin painoi 2,5 kg ja kaikki kaiuttimet johdotuksiin 17 kg.

Kylmälaiteputkistot

Kylmälaitteille oli kaksi kupariputkea, joista ohuemmassa virtasi kylmäainetta nesteenä ja paksummassa paluuputkessa kaasuna. Putkiston päälinja oli ehjäksi jääneellä puolella lähellä rakennuksen keskilinjaa. Päälinja haarautui pudonneella alueella oleviin kylmälaitteisiin. Pudonneen alueen putkisto painoi yhteensä 90 kg.

Myymlätoimintaan liittyvät ripustukset

Hedelmä- ja vihannesosastolta leipäosastolle johtavalla käytävällä oli viidessä rivissä kymmenen mainostaulua. Kukin taulu painoi 3 kg ja oli kiinnitetty kattoon kahdella ketjulla.

Seuraavalla kahdella käytävällä oli päistään ripustetut käytävätaulut painoltaan 11 kg. Kattoon oli kiinnitetty myös vähäisempiä opasteita yhteispainoltaan 15 kg.

Hedelmä- ja vihannesosastolla oli kaksi kohdevalaisinta yhteispainoltaan 10 kg. Valvontakamera muuntajineen painoi yhden kilon. Seinän vieressä olevien hyllyjen ja kassojen päälle oli ripustettu kevytrakenteiset friisit yhteispainoltaan 10 kg.

Ripustukset yhteensä

Yhteensä pudonneella 400 m² alueella oli ripustuksia vähintään 1 200 kg, mikä tarkoittaa keskimäärin 3 kg/m² sisäkaton oman painon ollessa vähintään 20 kg/m². Sisäkaton ylhäällä pysymistä arvioitaessa keskimääräistä kuormaa selvästi merkittävämpiä ovat kuitenkin yksittäiset pistekuormat, jotka naulaliitoksen kohdalla ollessaan voivat jäädä kokonaan yhden naulaliitoksen kannatettavaksi.

Pistekuormien arviointi

Pistekuormista aiheutuvan kriittisimmän kiinnityksen löytämiseksi tutkintalautakunta tarkasteli kahta havaintojen perusteella putoamisen alkamiskohdaksi arvioitua kohtaa. Toinen oli heilahtaneen valvontakameran kohdalla ja toinen kohdalla, josta kalusteasentaja sanoi kuulleen pamauksen.

Heilahtaneen valvontakameran kohdalla oli pitkittäisen loisteputkivalaisinlinjan asennuskiskon ja poikittaisen kaapelihyllyn leikkauskohta. Kohdassa oli kolme kannatinta 80 cm alueella lähes suorassa linjassa vierekkäisiin harvalautoihin kiinnitettynä. Tutkintalautakunnan laskelman mukaan näille kolmelle kannattimelle kohdistui kaikkiaan yli 19 kg:n kuorma koostuen valaisimien, asennuskiskon, kaapelihyllyn, kannattimien, valvontakameran ja sen muuntajan, pistorasian, jakorasian, sähköjohtojen ja yhden paloilmaisimen painosta. Koska kattoristikko sattui olemaan aivan keskimmäisen harvalaudan kohdalla, kohdistui tämä laskettu pistekuorma yhden kattoristikon kahteen vierekkäiseen alakaton liitokseen.

Hedelmäosastolla oli pitkittäisen loisteputkivalaisinlinjan ja ilmastointikanavan leikkauskohta. Samalla kohtaa oli myös yksi mainostaulu, jonka toinen kannatin oli aivan valaisimien asennuskiskon ja ilmastointikanavan kannattimien vieressä. Näille kolmelle vierekkäiselle kahteen vierekkäiseen lautaan kiinnitetyle kannattimelle kohdistui tutkintalautakunnan laskelmien mukaan yli 17 kg:n kuorma.

2.8.3 Muiden tekijöiden arviointi

Aikaisempien katto-onnettomuuksien tutkinnoissa mahdollisina onnettomuuteen vaikuttavina muina tekijöinä on mainittu muun muassa ilmanvaihdon aiheuttama alipaine, ve-

sikaton kosteusvauriot, sisäkattorakenteisiin tiivistynyt kosteus sekä ilmanvaihtokanaviston mahdollinen resonointi. Mitään merkkejä näiden tekijöiden vaikutuksesta ei ollut.

Edellä mainittujen kuormitusten lisäksi naulaliitoksiin voi aiheutua kuormaa ullakolla kulkeemisesta suoraan sisäkaton päällä. Tämä pahimmillaan yhteen liitokseen kohdistuva kuorma voi suurimmillaan olla lähes ihmisen koko paino, eli 100 kg. Ullakolla on muun muassa korjaus- ja laajennustöiden yhteydessä liikuttu, mutta siitä ei ole tietoa, että sisäkaton päällä olisi kuljettu.

3 ANALYYSI

3.1 Onnettomuuden analysointi

Sisäkaton koolauksen naulaus ristikoihin oli jäänyt määrittelemättä rakennepiirustuksissa, joten naulaus oli tehty ”kuten vastaavat liitokset yleensä”. Kiinnityksessä pääasiassa käytetyn kahden naulan liitoksen tartuntalujuuden laskenta-arvo oli Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeen B10 mukaan laskettuna 130 N. Pelkästä sisäkaton omasta painosta (20 kg/m^2) naulaliitokselle kohdistuvan voiman ominaisarvo oli 136 N, ja kuormitusmääräysten B1 mukainen laskenta-arvo 163 N. Ne molemmat olivat suurempia kuin liitoksen laskentalujuus, joten naulaliitoksen tartuntalujuus oli liian pieni pelkälle sisäkaton omalle painolle.

Muutamissa koolausriman ja ristikon alapaarteen liitoskohdissa oli ollut vain yksi pitävä naula tai naulaus puuttui kokonaan. Kun naulaus puuttui, viereisille liitoksille kohdistui vielä kymmeniä prosentteja edellä esitettyjä suuremmat kuormat.

Sisäkaton omapainon lisäksi liitosta rasittivat sisäkatoista ripustetut asennukset, kattoristikoiden erisuuret taipumat sekä ullakkotilassa mahdollisesti liikkuvien ihmisten paino. Asennukset aiheuttivat ennen kaikkea paikallisia kuormituskeskittymiä. Yksittäinen asennuksen ripustus saattoi sijaita juuri koolausriman ja ristikon alapaarteen välisen naulausliitoksen kohdalla, jolloin koko asennusripustus kuormitti vain tätä naulaliitosta. Asennuksista yhdelle liitokselle tuleva suurin ripustuskuorma oli tällöin ainakin 100 N (10 kg), mutta jopa 200 N (20 kg). Sisäkattoon kiinnitettävien asennusten kuormista tai ripustusten suunnittelusta ei ole hankkeen asiakirjoissa merkintöjä. Oletus, että ripustukset kiinnitettäisiin esimerkiksi pitkillä ruuveilla kattoristikoiden alapaarteeseen ei ole realistinen, koska ristikkolinjat eivät olleet alapuolelta nähtävissä ja alapaarre oli vain 42 mm leveä.

Kattoristikoiden välien vaihtelusta seuraavista noin 7 mm taipumaeroista syntyvä maksimirasitus oli likimäärin 30 N eli noin 20 % kahden naulan liitoksen lujuudesta. Laajenuksen uusien ristikoiden viruma oli todennäköisesti aiheuttanut samaa suuruusluokkaa olevan taipumaeron uuden ja vanhan sisäkaton välille.

Jos ihminen astuu lähelle naulaliitosta, kohdistuu hänen painonsa (1 kN) lähes yksinomaan yhdelle liitokselle. Laskentakuorma on tällöin noin kuusinkertainen suhteessa kahden naulan liitoksen laskentalujuuteen.

Seuraavassa taulukossa on esitetty laskentalujuuden ja laskentakuorman vertailu. Laskenta-arvot sisältävät osavarmuuskertoimet, joten suunnittelussa tulee verrata, että lujuus on laskentakuormaa suurempi, eli suhde on suurempi kuin 1. Alle yhden olevat suhdeluvut kertovat kuinka ”alimittainen” liitos on eri kuormitustilanteissa. Viimeisessä kuormitustilanteessa liitoksen laskentalujuus on kaksinkertainen, koska kuorma on lyhytaikainen. Toisaalta hyötykuorman osavarmuuskertoimen on tällöin 1,6, kun taas pysyvän kuorman osavarmuuskertoimen on 1,2.

Kuormitustilanne	Kuorma	Liitokseen kohdistuva laskentakuorma	Liitoksen laskentalujuus	Lujuuden ja kuorman suhde
Sisäkaton omapaino	20 kg/m ²	160 N	130 N	0,81
Sisäkaton omapaino + ripustuskuorma keskimäärin	23 kg/m ²	184 N	130 N	0,71
Sisäkaton omapaino + suurin ripustuskuorma	20 kg/m ² + 10 kg	278 N	130 N	0,47
Sisäkaton omapaino + henkilökuorma	20 kg/m ² + 1 000 N	1 760 N	260 N	0,15

Sisäkatto toimi vaakakuormia siirtävänä levynä osana koko rakennuksen jäykistystä. Vaakakuormien aiheuttamaa naulojen leikkauskuormitusta ei ole tämän tutkimuksen yhteydessä tarkasteltu, koska sillä ei ollut oleellista vaikutusta sisäkaton putoamiseen.

Kattoristikon alapaarre oli yläpohjan lämmöneristeen ympäröimä, minkä vuoksi sen lämpötila ei vaihdellut kovin paljon vuoden aikojen mukaan. Kosteus sen sijaan vaihteli vuodenaikojen ja ulkoilman kosteuspitoisuuden mukana. Tämän seurauksena saattoivat siileät naulat ”pumpata” vähitellen itseään ulos puusta.

Käytetty sisäkattorakenteen kiinnitystapa toimi siten, että yksittäisen liitoksen ylikuormittuessa naulat liukuivat ulos ristikon alapaarteesta ja samalla siirtyi lisää kuormaa viereisille liitoksille. Liitoksen pettäessä kokonaan sen kuorma siirtyi vipuvarsiperiaatteella kasvaneena viereisille liitoksille. Tämä aiheutti uusien liitosten pettämissen ja näin sortuma eteni läpi koko yhtenäisen sisäkaton.

Vaurion alkamiskohta

Putoaminen alkoi hedelmäosastolta 15 metrin päässä rakennuksen kassojen puoleista päädyistä eli 10 metrin päässä laajennus- ja alkuperäisosan rajasta. Tämä perustuu kalusteasentajan kertomaan, valvontakameroiden tallenteisiin ja ripustuskuormien tutkintaan. Putoaminen ei näin ollen alkanut laajennusosan ja alkuperäisen rakennuksen liitoskohdasta vaikka siinä oli rakenteellisia puutteita.

3.2 Pelastustoiminnan analysointi

Kalusteasentaja ja yksi henkilökuntaan kuuluva tekivät hätäilmoitukset nopeasti, mutta rauhallisesti. Hätäilmoituksissa he pystyivät kertomaan kohteen tarkan nimen ja sijainnin sekä onnettomuuden laadun riittävällä tavalla.

Hätäkeskuksessa ensimmäisen hätäilmoituksen vastaanottanut päivystäjä ei tehnyt hälytyksiä, vaan jäi odottamaan toisen puhelun päättymistä. Tästä aiheutui noin minuutin viive. Toisen hätäpuhelun vastaanottanut päivystäjä otti tehtävän käsittelyyn ja aiheutti lisää viivettä muuttamalla tietojärjestelmään kirjattua vastetta. Yksiköiden hälyttäminen tapahtui noin 3,5 minuuttia ensimmäisen ja noin 2,5 minuuttia toisen hätäilmoituksen al-



kamisesta. Häätokeskuslaitoksen tavoitteena on saada kiireelliset hälytykset tehtyä 90 %:ssa tehtävistä alle 90 sekunnissa.

Alle mahdollisesti jääneistä ihmisistä ensimmäisessä ilmoituksessa käytettiin sanoja "ei oo mitään tietoa alle jääneistä vielä" ja toisessa "mä en tiiä, onko täällä ketään alla" sekä "ei oo kuulemma jäänyt ketään alle". Molemmissa hätäilmoituksissa kuvattiin tapahtunut termeillä "katto romahti alas". Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan vasteisiin kirjattu pelastusjoukkue olisi ollut sopiva pelastusmuodostelma, ja siten vasteen pienentäminen oli etupainotteisuusperiaatteen vastainen toimenpide. Vasteeseen oli kirjattu vain yksi sairausauto, ja olisikin ollut paikallaan tehdä heti ensimmäisen hälytyksen jälkeen lisähälytyksiä seuraavien sairausautojen saamiseksi paikalle.

Koska kukaan ei loukkaantunut, eikä palolaitoksen kiireellisiä toimenpiteitä tarvittu, hälytysviiveellä ja vasteen pienuudella ei ollut tässä tapauksessa lopputuloksen kannalta merkitystä.

Oman pelastautumisen jälkeen myymäläpäällikkö opasti hätäilmoituksen tekemisessä, osallistui yhdessä muun henkilökunnan kanssa asiakkaiden ohjaamiseen pois rakennuksesta sekä aloitti rakennuksen eristämisen. Varaston puolella eristäminen ei täysin onnistunut, vaan muun muassa ulkopuolisia lapsia päästettiin rakennuksen sisään katsomaan vahinkoja.

Sysmän VPK:n lähtöaika oli hyvä ja sen tekemän sopimuksen mukainen.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Toteamukset

1. Sysmässä tapahtui keskiviikkona 27.4.2005 kello 9.29 onnettomuus, jossa noin 400 m² vuonna 1997 rakennetun S-Marketin myymäläosan sisäkattoa putosi alas. Rakennuksessa oli 25 henkilöä, joista kukaan ei loukkaantunut.
2. Myymälässä ollut kalusteasentaja teki ensimmäisen hätäilmoituksen, jonka lisäksi hätäkeskukseen tuli automaattisen paloilmoittimen laitevikailmoitus ja yksi myymälähenkilökuntaan kuuluvan soittama hätäilmoitus.
3. Hätäkeskus hälytti paikalle Sysmän palopäällikön, Sysmän VPK:n ja sairausauton. Pelastustoimintaa ei kuitenkaan tarvittu, sillä kaikki rakennuksessa olleet pääsivät hyvin poistumaan.
4. Sisäkaton rakenne oli sellainen, että puisten kattoristikoiden alapaarteen alapintaan oli kiinnitetty nauloilla 50 mm x 50 mm rimat 400 mm jaolla. Naulat olivat 90 mm pitkiä ja 3,0 mm paksuja paineilmanaulaimella naulattavia kirkkaita kokenauloja. Useimmissa liitoksissa oli kaksi naulaa.
5. Onnettomuus tapahtui, koska mainitut 50 mm x 50 mm rimojen ja kattoristikoiden alapaarteen väliset naulaliitokset pettivät. Katon putoaminen alkoi hedelmäosastolta, 15 metriä myymälän kassojen puoleisesta päädyistä.
6. Naulaliitokseen kohdistuvana pysyvänä kuormituksena oli pääasiassa katon omapaino, joka koostui rimoituksesta, sen alapintaan kiinnitetystä harvalaudoituksesta ja kipsilevyistä sekä lämmöneristeestä.
7. Pistemäistä kuormitusta aiheutui ripustuksista, joita olivat muun muassa valaisimet ja sähköjohdot, ilmanvaihtokanavat ja myymälän opastetaulut. Talviaikaan naulaliitoksiin aiheutui kuormitusta myös epätasaisen ristikkojaon aiheuttamien taipumaerojen vuoksi.
8. Normien mukaan laskettu kyseisten naulojen ominaistartuntalujuus oli 85 N yhtä naulaa kohden. Jo pelkästään katon omapainosta kahden naulan liitoksen yhteen naulaan kohdistui noin 67 N ominaiskuorma, jonka lisäksi voimia tuli ripustuksista.
9. Naulaliitoksen kapasiteetti oli selvästi liian pieni, sillä osavarmuuskertoimet huomioituna kelvollisen rakenteen tulee kestää ominaiskuormat yli 1,5-kertaisesti.
10. Alimitoitettu liitos oli seurausta siitä, että rakennusta suunniteltaessa ei sisäkaton kuormia ollut arvioitu eikä naulaliitosta suunniteltu. Liitos toteutettiin totutun tavan mukaisesti, joka on tuttu esimerkiksi asuntorakentamisesta.

11. Vastaavanlaiset onnettomuudet on mahdollista jatkossa välttää siten, että rakennesuunnittelija suunnittelee sisäkaton kiinnitykset osana muuta rakennesuunnittelua. Suunnittelun avulla voidaan perustellusti päätyä käyttämään naulojen sijaan esimerkiksi ruuveja. Sallitut kuormat tulisi merkitä rakennuksen huoltokirjaan.
12. Suunnitelmien yksityiskohtien noudattamista rappeuttaa se, että suunnittelijat merkitsevät usein suunnitelmiin käsin naulattavia naulakokoja. Urakoitsijat käyttävät kuitenkin konenauloja, jotka ovat yleensä pienempiä. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon käytännön työtavat ja suunnitella liitokset heti niiden mukaisiksi.
13. Tutkintaselostuksen valmistumishetkellä paras suomalainen naulaliitosten suunnitteluohje on RIL120-2004, jota tulisi soveltaa. Kyseisen ohjeen mukaan profiloitujen konenaulojen eli kampa- ja kierrenaulojen ominaistartuntalujuutena tulee käyttää sileiden tai kuumasinkittyjen naulojen arvoja, ellei arvoa ole kokeellisesti määritetty juuri kyseiselle naulalle.
14. Saman ohjeen mukaan sileitä eli profiloimattomia nauloja ei tule käyttää tartunta-kuormitettuna pysyville kuormille.

4.2 Onnettomuuden syyt

Onnettomuuden välitön syy oli se, että myymälä rakennuksen sisäkaton koolauksen rimojen naulakiinnitys kattoristikoihin oli liian heikko. Liitoksiin oli pääsääntöisesti naulattu paineilmanaulaimella kaksi naulaa, joiden kapasiteetti ei riittänyt kannattamaan sisäkaton ja siihen tehtyjen ripustusten painoa.

Naulaliitosyksityiskohtaa ei ollut rakentamisen aikana vuonna 1997 suunniteltu eli kyseiseen liitokseen kohdistuvia kuormia ei ollut arvioitu eikä kiinnityksen riittävyttä varmistettu. Piirustuksissa ei ollut esitetty, miten kyseinen liitos tulisi toteuttaa, joten rakennusurakoitsija kiinnitti rimat totutun tavan mukaan.

5 SUOSITUKSET

Tutkintalautakunta ei anna uusia turvallisuussuosituksia, koska tutkintaselostus jo sellaisenaan antaa tietoa siitä, miten vastaavanlaiset onnettomuudet on mahdollista välttää. Lisäksi onnettomuuden tekniset syyt ovat selkeät ja useita turvallisuutta parantavia toimenpiteitä on jo tehty rakentamisajankohdan 1997 jälkeen. Toimenpiteitä on esitetty luvussa 6 Toteutetut toimenpiteet. Tutkintalautakunta haluaa muistuttaa kuitenkin koko rakennusalaan siitä, että turvallisuuden huomioon ottaminen tulee olla pysyvä osa kaikkien alalla toimivien työtä.

Turvallisuutta parantavia suosituksia on annettu aikaisemmissa Onnettomuustutkimuskeskuksen tutkintaselostuksissa. Erityisen kattavasti vastaavia asioita on käsitelty tutkintaselostuksessa B 1/2000 Y Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Kyseisessä onnettomuudessa rakenne ja syyt olivat pääosin samoja kuin Sysmän onnettomuudessa.

6 TOTEUTETUT TOIMENPITEET

Pudonneen sisäkaton korjaus

Marketin pudonneen sisäkaton tilalle rakennettiin uusi sisäkatto, joka saatiin pienehköin muutoksin aikaisempaa kestävämmäksi. Uuden katon koolaukseksi laitettiin 50 mm x 50 mm sahatavaran sijaan 100 mm x 32 mm sahatavaraa. Tällöin liitokseen voitiin naulata kahden naulan sijaan kolme naulaa ja naulojen tartuntapituus oli suurempi. Nauloina käytettiin kampanaulaksi kutsuttuja kuumasinkittyjä 90 mm pituisia konenauloja, joiden kampakuviointi on kuitenkin hyvin loiva eikä vastaa kampanaulalle asetettuja vaatimuksia. Toisaalta uusimman puurakenteiden suunnitteluohjeen mukaan konenaulojen kapasiteetti tulee joka tapauksessa laskea sileiden tai kuumasinkittyjen naulojen kaavoilla pintakuviointista riippumatta.

Ylös jääneen sisäkaton vahvistus

Myymälän katosta noin puolet jäi ylös, mutta onnettomuuden jälkeen oli selvää, että myös sen osan naulaliitosten lujuus on riittämätön. Rakennusurakoitsija kehitti varsin kestävän ja suhteellisen helposti tehtävissä olevan korjaustavan.

Sisäkaton ylhäällä pysyminen varmistettiin katon läpi menevillä M6-kierretangoilla. Alapäästään tanko menee sisäkaton alapintaan kiinnitetyn 45 mm x 95 mm lankun läpi. Lankut ovat rakennuksen pituussuuntaisesti ja niiden jako on 1,5 metriä. Kierretanko on laitettu lankkujen läpi jokaisen kattoristikkovälin keskeltä. Yläpäästään tanko menee kattoristikoiden alapaarteen päälle asetetun palkin läpi. Palkki on tehty kahdesta 1,5 metriä pitkästä syrjälleen laitetusta 50 mm x 100 mm lankusta laittamalla lankkujen väliin kaksi 10 mm paksua vaneripalaa ja naulaamalla lankut vanerin läpi yhteen. Näin syntyneen palkin lankkujen välisestä 10 mm raosta tanko menee ylös. Palkit ovat hieman vinoasti limittäin siten, että niistä muodostuu suora rivi sisäkaton alapuolelle laitettujen lankkujen kohdalle. Tankojen ylä- ja alapäissä on vahvat aluslevyt ja mutterit, joilla katto on kiristetty kiinni.

Kauppaketjun toimenpiteet muiden liiketilojen turvallisuuden selvittämiseksi

Suomen Osuuskauppojen Keskuskunta (SOK) on lähettänyt alueosuuskauppojen toimitusjohtajille ja kiinteistövastaaville sekä eri liiketoimintaketjujen toimitusjohtajille suosituksen rakenteiden tarkistamisesta. Suosituskirjeessä kerrotaan perustiedot tutkittavana olleesta onnettomuudesta ja annetaan varsin hyvät yleisohjeet muiden kohteiden tarkastamiseksi.

Osuuskauppa Hämeenmaa on antanut oman alueensa yli 30 kiinteistönsä alakattojen kiinnitysratkaisut suunnitteluyrityksen tarkastettavaksi. Selvityksissä on löydetty puutteita, joista oleellisimpien korjaamiseen on ryhdytty. Yhtenä puutteena voidaan mainita Hartolan myymälärakennus, johon myös tutkintalautakunta tutustui. Kyseinen rakennus on rakenteiltaan samanlainen kuin Sysmän myymälä, joten sama naulaliitos havaittiin puutteelliseksi myös siellä. Selvityksessä havaittiin 50 mm x 50 mm rimojen olevan jopa

yli 5 mm irti alapaarteen alapinnasta. Tutkintalautakunnan mielestä havainto osoittaa naulojen vetäytyneen jo jonkin verran ulos ja liitoksen kapasiteetin olevan selvästi riittämätön.

Rakenteiden tarkastusten lisäksi Osuuskauppa Hämeenmaassa on vireillä pelastussuunnitelmien kehittäminen ja henkilökunnan turvallisuuskoulutuksen lisääminen. Sysmän S-Marketin pelastussuunnitelma on päivitetty ja allekirjoitettu kesällä 2005.

Rakennusalan toimenpiteitä onnettomuuksien estämiseksi

Rakentamisesta vastaava viranomainen eli ympäristöministeriö on käynnistänyt onnettomuusrakennuksen valmistumisen jälkeen useita turvallisuutta parantavia toimenpiteitä, joihin ovat osallistuneet monet alan järjestöt ja yritykset. Ohessa on ympäristöministeriön laatima luettelo kyseisistä toimenpiteistä:

- Uusi maankäyttö- ja rakennuslaki tuli voimaan vuonna 2000. Laissa on monia parempaan rakentamisen laatuun tähtääviä kohtia, mm. rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimisvelvoite, pääsuunnittelija, vastaava rakennesuunnittelija, aloituskoous, laadunvarmistusselvitys, vastaava työnjohtaja ja erityisalan työnjohtaja, rakennustyön tarkastusasiakirja, ulkopuolinen tarkastus, käyttö- ja huolto-ohje, rakennuksen jatkuva kunnossapitovelvoite. Lain toimivuudesta on tehty selvitys. Selvitys "Maankäyttö- ja rakennuslain toimivuus; arvio laista saaduista kokemuksista" on julkaistu 2005 ympäristöministeriön Suomen ympäristö -julkaisusarjassa, nro 781.
- Pudasjärvellä putosi supermarketin myymälätilan sisäkatto 27.12.2000. Tapauksen perusteella YM teetti VTT:llä paineilmanaulaimella ammuttavien naulojen ulosvetolujuuksia koskevan tutkimuksen 2002-2005. Tulokset on otettu huomioon Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry:n uusituissa puurakenteiden suunnittelua koskevissa ohjeissa (RIL 120-2004).
- Rauhalahden kylpylän sisäkaton putoamisen 2003 jälkeen YM julkaisi alaslaskettujen kattojen turvallisuudesta tiedotteen 25.9.2003. YM lähetti ko. putoamisen perusteella kuntien rakennustarkastajille kirjeen 24.9.2003. Kirjeessä kiinnitettiin huomiota alaslaskettujen kattojen turvallisuuteen erityisesti olosuhteiltaan erittäin vaativissa tiloissa. Kirje sisälsi suositukset.
- Ympäristöministeri Jan-Erik Enestam kutsui 17.11.2003 kiinteistö- ja rakennusalan keskeisiä toimijoita tapaamiseen keskustellakseen rakenteellisen turvallisuuden takaamisesta kaikissa rakennuksissa, taustalla olivat neljä vuonna 2003 tapahtunutta rakennesortumaa. Tapaamisen ja sen yhteydessä antamiensa julkilausumien perusteella Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry, Rakennusteollisuus RT ry, Suomen Kuntaliitto ja Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry perustivat em. yhteistyöryhmän käsittelemään rakennusten rakenteellisen turvallisuuden kehittämistä "nollatoleranssin" pohjalta. Yhteistyöryhmän käynnisti keväällä 2004 olemassa olevien rakennusten tarkastusten tapahtuneiden sortumien perusteella. Tarkastuksen kohteena olivat myös sisäkatot.
- Yhteistyöryhmä raportoi YM:ää tehdyistä tarkastuksista sekä esitti toimintalinjauksen rakenteellisen turvallisuuden parantamiseksi kesällä 2004. YM kutsui työryhmän toimijoiden kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen selvityshenkilön syventämään esitettyjä linjauksia. Selvityshenkilö Tapani Mäkikyrö luovutti selvitystyönsä ympäristöministeri Enestamille 17.11.2004. Yhteistyöryhmä päätti selvitystyön luovutuksen jälkeen jatkaa työskentelyään rakenteellisen turvallisuuden parantamiseksi ja on käynnistänyt käytännön toimintaohjeen laatimisen Mäkikyrön selvitystyön pohjalta.

Toimintaohjeessa yksilöidään käytännön tasolla eri osapuolten tehtäviä Mäkikyrön esittämässä erityismenettelyssä. Ohjetta on sen valmistumisen jälkeen tarkoitus testata ja pilotointi 2005. Koekäyttöversio julkistetaan RIL kotisivuilla 15.9.2005.

- Rakenteellisessa turvallisuudessa esille tulleet puutteet on otettu huomioon Suomen rakentamismääräyskokoelman osan A1 Rakentamisen valvonta ja tekninen tarkastus, määräykset ja ohjeet, uudistamisessa. Ko. ministeriön asetusluonnos on lähetetty lausunolle 12.5.2005. Lausuntojen käsittely on kesken. Valmistuneet onnettomuustutkintojen tulokset ja onnettomuustutkinnan niiden perusteella antamat suositukset ovat olleet aiheena ko. ehdotuksen lukuisille säädöstarkastuksille. Ehdotus sisältää myös selvitysmies Tapani Mäkikyrön ympäristöministeriölle 17.11.2004 luovuttaman raportin keskeiset hallintoon vaikuttavat ehdotukset ja niistä saadut lausunnot.
- Kansallisen rakennuspoliittisen ohjelman seurannan II vaiheessa 2005-2007 toimintalinjauksiin on lisätty rakenteellisen turvallisuuden parantaminen seurannan I vaiheen väliraportissa esitetyn mukaisesti. Valtioneuvosto käsitteli ko. väliraporttia iltakoulussa 6.4.2005. Seuranta varten ympäristöministeriö on asettanut työryhmän, jonka puheenjohtajana on kehittämisjohtaja Helena Säteri.
- Sysmän marketin sisäkaton putoamisen jälkeen YM laati 27.4.2005 tiedotteen otsikolla "Ympäristöministeri Enestam: Myös sisäkattojen turvallisuudesta huolehdittava". YM kiinnitti kiinteistö- ja rakennusalan huomiota sisäkattojen rakenteelliseen turvallisuuteen kirjeellä 10.5.2005. Kirjeessä esitettiin, että alan keskeiset toimijat ryhtyisivät tarvittaviin toimiin sisäkattojen rakenteellisen turvallisuuden varmistamiseksi suunnitteilla, rakenteilla ja käytössä olevien rakennusten kohdalla.
- YM:n toimeksiannosta VTT laati keväällä 2005 julkaisun "Konenaulojen ulosvetolujuus, VTT working papers 27" 20.5.2005. Julkaisu on ladattavissa YM:n www-sivuilta minkä lisäksi sitä on jaettu alan toimijoille. Samalla YM informoi Metsäteollisuus ry:tä konenaulausten tartuntalujuuksista tehdystä tutkimuksesta ja sen tuloksista. Metsäteollisuus ry toimii eurooppalaisen EUROCODE suunnittelustandardin kansallisena toimialayhteisönä.
- YM kiinnitti kuntien rakennustarkastajien huomiota sisäkattojen rakenteelliseen turvallisuuteen kirjeellään 8.7.2005. Kirje sisältää suositukset ja on ladattavissa YM:n www-sivuilta.

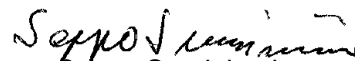
Hätäkeskuksen tehtäväluokittelun päivitys

Onnettomuuden tapahtuessa Hätäkeskuslaitoksen ja viranomaisten laatimassa tehtäväluokittelussa ei ollut rakennussortumaa, joten esimerkiksi tässä tapauksessa hätäkeskuspäivystäjä valitsi tehtäväksi "ihmisen pelastaminen, ihminen puristuksissa". Tehtäväluokittelua on päivitetty siten, että aikaisempi luokka "räjähdys" on muutettu luokaksi "räjähdys/sortuma (pieni, keskisuuri, suuri)".



Helsingissä 9.11.2005


Esko Värtti


Seppo Suuriniemi


Kai Valonen


Kari Ylönen

1. Ympäristöministeriön lausunto

Asia Lausunto tutkintaselostuksen B 2/2005Y luonnoksen suositusosasta

Ympäristöministeriöllä ei ole huomautettavaa onnettomuustutkintakeskuksen Sysmässä 27.4.2005 tapahtuneen sisäkaton putoamisen johdosta laatiman tutkintaselostuksen suositusosaan.

Suunnittelun tulosryhmän päällikkö
ylitarkastaja

Teppo Lehtinen

Rakennusneuvos

Jaakko Huuhtanen

2. Sisäasiainministeriön pelastusosaston lausunto

Sisäasiainministeriön pelastusosasto on tutustunut raporttiin eikä sillä ole huomautettavaa raporttiin.

Toimistoinsinööri

Pekka Rajajärvi

3. Sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosaston lausunto

Asia: **Lausunto tutkintaselostuksen B2/2005Y "Marketin sisäkaton putoaminen Sysmässä 27.4.2005" luonnoksen suositusosasta**

Sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosasto toteaa, että tutkintaselostuksen kohdan 5 "Suositukset" mukaan tutkintalautakunta ei aio antaa tutkinnan perusteella uusia turvallisuus suosituksia, koska useita sisäkattojen rakentamisen turvallisuutta parantavia toimenpiteitä on jo tehty marketin rakentamisajankohdan 1997 jälkeen ja vastaavanlaisiin tilanteisiin sopivia, turvallisuutta parantavia suosituksia on annettu aikaisemmissa Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostuksissa.

Työsuojeluosasto toteaa lausuntonaan, että sillä ei ole huomauttamista tutkintalautakunnan näkemykseen olla antamatta uusia suosituksia.

Osastopäällikkö
Ylijohtaja

Mikko Hurmalainen

Yli-insinööri

Esa Virtanen

Liite 1/2 (5)

4. Häätäkeskuslaitoksen lausunto

MARKETIN SISÄKATON PUTOAMINEN SYSMÄSSÄ 27.4.2005

Hätäkeskuslaitoksella ei ole lausuttavaa otsikossa mainitun onnettomuuden tutkintaselostuksen luonnoksen suositusosaan.

Aikanaan eräissä tutkintaselostuksissa todettiin Häätäkeskuslaitoksen ja viran-omaisten laatimasta tehtävälukittelusta puuttuvan rakennussortumiin sopiva vaste. Tehtävälukittelua on päivitetty, ja siihen on lisätty omaksi kohdakseen luokka räjähdys/sortuma (pieni, keskisuuri, suuri).

Hätäkeskuslaitoksen johtaja

Jyrki Landstedt

Toimiala-asiantuntija

Lauri Lempinen

5. Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen lausunto

LAUSUNTO SYSMÄN MARKETIN SISÄKATON PUTOAMISEN RAPORTTILUONNOKSESTA

Onnettomuustutkintakeskus, asiamiehenään tutkintalautakunnan puheenjohtaja Esko Värttiö, on pyytänyt lausuntoa Sysmässä 27.4.2005 tapahtuneen marketin sisäkaton putoamisesta tehdystä raporttiluonnoksesta.

Pelastuslaitoksella ei ole huomauttamista itse raporttiluonnoksesta mutta haluaa täydentää pelastustoimien kulkua onnettomuuspaikalla:

Olin kyseisenä päivänä PH P1 ja sain hälytyksen kello 9.37.

Otin yhteyden Sysmän P3:een ja sain tietää että sortuman alle ei ole jäänyt ihmisiä, ja että hän johtaa pelastustoimintaa kohteessa eikä pitänyt tarpeellisena PH P1:n tuleamista kohteeseen.

Samalla sovittiin, että PH P1 ilmoittaa onnettomuudesta Etelä-Suomen läänin vuorossa olevalle päivystäjälle ja Onnettomuustutkintakeskukselle.

Tiedottamispaineen kasvettua Sysmässä sovittiin, että PH P1 lähtee myös Sysmään ja itäisen alueen P3 Heinolasta. Olimme Sysmässä hieman ennen puoltapäivää ja hoidimme pelastustoimien tiedottamisen.

Apulaispelastusjohtaja

Juhani Naskali

6. Rakennustarkastusyhdistyksen lausunto

Marketin sisäkaton putoaminen Sysmässä 27.4.2005

Tutkintaselostus on laadittu seikkaperäisesti ja hyvin asiantuntevasti. Haluamme kuitenkin kommentoida seuraavia kohtia:

2.3.2 Rakentamiseen liittyvät organisaatiot

Rakentaminen

Rakennuttajan valvontaa ei ole eritelty.

KVR-urakoitsijan organisaation pätevyyttä (vastaava työnjohtaja ja rakennusliikkeen valvoja) ei ole eritelty.

Rakennusvalvontaviranomaisen toiminta on lakisääteistä. Jos viranomaisen pätevyys tai resurssit eivät olleet riittäviä, miten viranomainen varmistui toteutuksen asianmukaisuudesta (esim. ulkopuolisen asiantuntijan tarkastus).

Laajennus

Katso edellinen kohta.

2.6 Asiakirjat

Mitä asiakirjoja ja miltä osapuolilta niitä pyydettiin? Työmaapäiväkirja ei ollut käytettävissä. Oleellisia asiakirjoja olivat myös suunnittelusopimukset. Todellisista rakentamisaikaisista vastuista kertoisi tieto, milloin esimerkiksi rakennesuunnittelupalkkio kokonaisuudessaan maksettiin.

Rakentaminen

Oliko työmaakokouspöytäkirjoissa merkintöjä rakennesuunnittelupuutteista?

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Toteamukset

10. Viittaus totuttuun tapaan on virheellistä menettelyä puolusteleva.
12. Suunnittelua voi rapauttaa myös se, että KVR-urakoitsijat hyväksyvät puutteellisia suunnitelmia. Yritettiinkö lainkaan saada rakennesuunnittelijaa täydentämään puutteita tai ottamaan kantaa muutoksiin? Sanonta "urakoitsijat vaihtavat" viittaa luonnonvoimaiseen ilmiöön. Todellisuudessa KVR-urakoitsijakin on vastuullinen osapuoli. Kohdan viimeinen väite on erittäin hyvä.

4.2 Onnettomuuden syyt

Viimeinen lause antaa viitteitä siitä, että vastaavankaltaisia onnettomuuksia voi tapahtua muuallakin. Kauppaketjuja tulisi vielä kertaalleen muistuttaa heille rakennushankkeisiin ryhtyvänä ja ryhtyneinä kuuluvasta huolehtimisvastuusta.

Rakennustarkastusyhdistys RTY ry

Lauri Jääskeläinen
varapuheenjohtaja

Timo Niiranen
tarkastusinsinööri

Liite 1/4 (5)

7. Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI:n lausunto

Lausunto suosituksista tutkintaselostuksiin B 2/2005 Y luonnos 28.9.2005

Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry:ltä on pyydetty lausuntoa luonnoksesta suosituksiksi tutkintaselostuksiin "Marketin sisäkaton putoaminen Sysmässä 27.4.2005".

Suosituksukset ja toteutetut toimenpiteet

Tutkintalautakunta viittaa suosituskohdassa tutkintaselostukseen sellaisenaan ja toteutettuihin toimenpiteisiin.

Tutkintaselostus on näkemyksemme mukaan asiallisesti tehty eikä meillä ole siihen huomautettavaa.

Tehdyt toimenpiteet on esitetty otsikossa hieman harhaanjohtavasti vain ympäristöministeriön toimenpiteinä rakennusalan onnettomuuksien estämiseksi. Vaikka ympäristöministeriöllä onkin alan viranomaisena keskeinen rooli turvallisuuden varmistamisessa, niin monet toimenpiteet on tehty alan järjestöjen toimesta näiden johdolla, kustannuksella ja työpanoksella. Erityisesti järjestöt ovat toimineet asian tiedottajina.

Juhani Reen
Toimitusjohtaja

Raimo Seppälä
Tekninen johtaja

8. Suomen Rakennusinsinöörin Liiton lausunto

Asia Lausunto Sysmässä tapahtuneen marketin sisäkaton putoamisesta laaditusta tutkintaselostuksesta

Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry valtakunnallisena ja puolueettomana rakennetun ympäristön asiantuntijajärjestönä kiittää mahdollisuudesta lausua asiakohdassa mainitusta tutkintaselostuksesta ja toteaa lausuntonaan seuraavaa:

Onnettomuustutkintakeskus on RILin näkemyksen mukaan tarttunut varsin vakavaan ja ongelmalliseen epäkohtaan ottaessaan tarkasteluunsa suurten markettien sisäkattojen turvallisuuden, joista on jo aiheutunut vakavia vaaratilanteita kiinnitysten pettäessä. Eräänä keskeisenä ongelmatekijänä on pidettävä sitä, että alaslaskettujen kattojen kiinnityksiä ei ole katsottu kuuluvaksi rakennesuunnittelun piiriin, vaan ne on toteutettu "kirvesmiestyönä" ilman varsinaisia lujuslaskelmia. Myös Rakennusmääräyskokoelman osassa B 10 havaittu virhe on saattanut olla osasyllinen joihinkin onnettomuuksiin.

Onnettomuuksien jälkeen on onnettomuustutkintakeskuksen antamien suositusten pohjalta ympäristöministeriö tehnyt paljon asian korjaamiseksi ja RIL on omalta osaltaan tiedottanut naulaliitosten ongelmista jäsenkuntaansa ja esittänyt oikeiden mitoitusmenetelmien käyttöä

ja ollut mukana rakenteellista turvallisuutta käsitelleessä työryhmässä ja laatinut erityismenettelyohjeen rakenteellisen turvallisuuden parantamiseksi.

Onnettomuustutkintakeskus on antanut varsin kattavan listan suosituksista Pudasjärvellä sattuneen onnettomuuden tutkintaselostuksen yhteydessä, eikä näin ollen katso aiheelliseksi antaa uusia suosituksia Sysmän tutkintaselostuksen yhteydessä.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL katsoo kuitenkin, että tässä yhteydessä voisi vielä esittää suosituksen, että suurten yleisötilojen, kuten suurten markettien, kylpylöiden jne. alaslaskettujen kattojen suunnittelun ja mitoituksen tulisi kuulua osaksi varsinaista rakennesuunnittelua. Mitoituksen yhteydessä tulisi myös dokumentoida lähtötiedot ja mitoitusmenetelmät, jotta jälkikäteen voitaisiin todeta, mille kuormituksille se on suunniteltu.

Lisäksi tulisi huoltokirjaan kirjata alaslaskettujen kattojen sallitut kuormat, jotta ei vahingossa jälkikäteen niitä ylitettäisi.

Kunnioittaen
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Jyrki Keinänen
toimitusjohtaja, dipl.ins.

Pentti Hautala
tekninen johtaja, dipl.ins.

Ympäristöministeriön kirje kuntien rakennustarkastajille 8.7.2005

Viite Tutkintalautakunnan ilmoitus 9.5.2005 ympäristöministeriölle

Asia Sisäkattojen rakenteellinen turvallisuus

Sysmässä sijaitsevan marketin laajennusosan sisäkatto, noin 400 m², putosi alas 27.4.2005. Katto jäi roikkumaan myyntihyllyjen varaan, jolloin alueella olleet ihmiset pelastautuivat hyllyjen välisiä käytäviä pitkin. Onnettomuustutkintakeskus asetti 6.5.2005 tutkintalautakunnan tutkimaan tapausta suuronnettomuuden vaaratilanteena. Ympäristöministeriö sai lautakunnalta 10.5.2005 ilmoituksen, jossa ministeriötä pyydettiin ryhtymään toimenpiteisiin sisäkattojen kiinnitysten ja niihin kohdistuvien kuormitusten tarkastamiseksi sekä kiinnittämään huomiota esiin tulleeseen ongelmaan sisäkaton naula-kiinnityksen lujuudesta. Etenkin konenaulojen tartuntalujuus on mahdollisesti arvioitu liitosten lujutta laskettaessa liian suureksi.

Ympäristöministeriö lähetti ilmoituksen johdosta 10.5.2005 kirjeen Suomen Kuntaliitolle, Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry:lle, Rakennusteollisuus RT ry:lle, Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry:lle sekä Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry:lle. Kirjeessä ministeriö muistutti siitä, että maankäyttö- ja rakennuslain 166 §:n mukaan rakennus on pidettävä sellaisessa kunnossa, että se jatkuvasti täyttää terveellisyys-, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset. Ministeriö esitti, että mainitut tahot, jotka vuonna 2003 muodostivat yhteistyöryhmän rakennusten rakenteellisen turvallisuuden parantamiseksi, kiinnittäisivät jäsenistönsä huomiota tehtyyn esitykseen ja ryhtyisivät tarvittaviin toimiin sisäkattojen rakenteellisen turvallisuuden varmistamiseksi suunnitteilla, rakenteilla ja käytössä olevien rakennusten kohdalla. Samalla ministeriö julkisti asiasta tiedotteen. Tiedotteessa kerrottiin, että ministeriö tulee täydentämään Rauhahahden kylpylän alakaton romahtamisen yhteydessä kuntien rakennustarkastajille annettuja ohjeita sisäkattojen osalta kirjeellä.

Ympäristöministeriö teetti VTT:llä vv. 2002-2004 konenaulausten tartuntalujuuksien selvittämiseksi tutkimuksen, jonka julkaisu [1] on ladattavissa ympäristöministeriön www-sivuilta. Tutkimuksessa paineilmanaulaimissa käytettävien profiloitujen tai liimakärkisten naulojen ulosvetolujuudet eivät saavuttaneet RakMK:n osassa B10 esitettyjä kampa- tai kierrenaulojen tartuntalujuuksia. Lisäksi todettiin, että naulan ulosvetolujuus pienenee merkittävästi, jos liitos kuivuu valmistuksen jälkeen.

Tutkimustulokset on otettu huomioon vuonna 2004 uusitussa Suomen Rakennusinsinööriliiton julkaisussa RIL-120-2004, Puurakenteiden suunnitteluohjeet:

"Liimakärkinaulojen ja profiloitujen konenaulojen tartuntalujuus lasketaan sileiden tai kuumasinkittyjen naulojen kaavoilla ja arvoilla, jollei tartuntalujuutta ole määritetty kyseiselle naulalle erikseen testaamalla".

Tämän lisäksi on tutkimuksen perusteella tuotekohtaisia tartuntalujuusarvoja puun kuivumisvaikutuksen vuoksi pienennettävä sileillä nauloilla kertoimella 0,4 ja profiloituilla 0,7:llä, kun lujuusarvot on määritetty vakiokosteudessa standardin EN 1382:1999 mukaan.

Liite 2/2 (4)

Ympäristöministeriö kiinnittää rakennusvalvontaviranomaisten huomiota yleisötiloihin rakennettujen sisäkattojen mahdollisiin riskeihin. Kysymys on turvallisuuden kannalta merkittävästä rakenteesta, johon tulee suhtautua sille kuuluvalla vakavuudella ja huolella. Rakennustarkastajien toivotaan virkatehtäviensä yhteydessä opastavan tällaisten tilojen suunnittelijoita ja rakentajia riittävän turvallisiin ratkaisuihin. Tarvittaessa voidaan edellyttää suunnitelman ulkopuolista tarkastusta.

Sisäkattojen kiinnitykset ovat henkilöturvallisuuden kannalta verrattavissa kantaviin rakenteisiin. Tällaisten rakenteiden suunnittelussa, rakentamisessa sekä korjaamisessa ja kunnan valvonnassa tulee noudattaa seuraavia toimintaperiaatteita:

- Sisäkattojen rasitusolosuhteet (rakenteellinen ja rakennusfysikaalinen) on selvitettävä suunnitteluvaiheessa. Sisäkatoista on laadittava rakennesuunnitelmat, joihin sisältyvät rakennepiirustukset ja –laskelmat.
- Vastaavan rakennesuunnittelijan on tarkastettava vaativien kuormitus- ja ripustusratkaisujen suunnitelmat ja varmennettava tarkastus allekirjoituksellaan. Rakennesuunnitelmat tulee toimittaa rakennusvalvontaviranomaiselle. Tiedot sallittavista kuormituksista sekä niiden paikoista liitetään käyttö- ja huolto-ohjeeseen.
- Laaja-alainen sisäkatto on suunniteltava ja rakennettava niin, ettei mahdollinen virhe tai vaurio muodosta jatkuvan sortuman vaaraa. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi jakamalla kattoalue tarpeeksi pieniin rakenteellisesti erillisiin osiin.
- Katon suunnittelusta enimmäiskuormituksesta on aina voitava saada tieto. Työmaalla on sisäkatoista oltava rakennesuunnitelma, josta ilmenevät katon suunniteltu enimmäiskuorma ja sen ripustukset. Rakennuksen käytön aikana sisäkaton sallittavista kuormista ja niiden paikoista ilmoitetaan rakenteessa kuormakilvellä. Kuormakilpi sijoitetaan rakennukseen näkyvälle paikalle.
- Myös sisäkaton rakentamisesta tulee pitää tarkastusasiakirjaa. Tarkastusasiakirjassa varmennetaan toteutuksen suunnitelmanmukaisuus ja siihen merkitään kaikki tarkastukset, kokeet ja mittaukset, jotka ovat tarpeen rakenteen turvallisuuden varmentamiseksi.
- Rakennuksen käytön aikaisessa lisäripustusten asentamisessa on oltava yhteydessä rakennesuunnittelijaan, mikäli kuormia ei käyttö- ja huolto-ohjeesta todettavien perusteiden voida pitää niin vähäisinä, ettei uusia laskelmia tarvita. Jos sisäkaton kuormitukset tai rakenteet merkittävästi muuttuvat ja voivat vaikuttaa rakennuksen käyttäjien turvallisuuteen, tulee muutoksille hakea rakennuslupa.

Sisäkattorakenne voidaan toteuttaa myös niin, että rakenteeseen on jo ennakkoon suunniteltu erillinen kannatinjärjestelmä, joka mahdollistaa sisäkaton käytön kiinnityksiin ja ripustuksiin. Tämä on tarpeen erityisesti tapauksissa, joissa sisäkaton kuormitus käytön aikana vaihtelee johtuen mm. käyttövasta tai sisustusratkaisuista. Naulausten sijaan on sisäkatoissa muutoinkin suositeltavaa käyttää ruuvausta, pultteja tai muita riittävän varmoja ratkaisuja, kun kattoon kohdistuu merkittäviä ripustuskuormia.

Vastuu rakennuksen kunnossapidosta on ensisijaisesti kiinteistön omistajalla. Sisäkaton turvallisuuteen voidaan tarvittaessa puuttua. Rakennustarkastaja voi edellyttää tällaisen kiinteistön omistajaa selvittämään sisäkaton ripustusten tai katon muun kiinnityksen kestävyys. Tarvittaessa on mahdollista vaatia rakennuksen omistajaa esittämään kustannuk-

sellaan rakennusta koskeva kuntotutkimus turvallisuuden johdosta ilmeisen välttämättömien korjaustoimenpiteiden selvittämiseksi (MRL 166 §).

Rakenteellisista riskeistä tiedottaminen on tärkeää. Kunnan rakennusvalvontaviranomainen voi muun ohjauksen ja neuvonnan yhteydessä tiedottaa asiasta sopivaksi katsomallaan tavalla. Kiinnittämällä kiinteistönomistajien huomiota asiaan voidaan ennalta ehkäistä onnettomuuksia.

Lisätietoja tässä kirjeessä käsitellyissä asioissa antavat ympäristöministeriössä allekirjoittaneen *Teppo Lehtisen* lisäksi rakennusneuvos *Jaakko Huuhtanen* sekä rakennusneuvos *Heikki Aho* rakennusvalvonnan osalta.

Rakentamisen tulosalueen päällikkö,
Kehittämisjohtaja

Helena Säteri

Suunnittelun tulosryhmän päällikkö,
ylitarkastaja

Teppo Lehtinen

Lisätietoja (etunimi.sukunimi@ymparisto.fi) antavat:

Jaakko Huuhtanen

Heikki Aho

Teppo Lehtinen

LIITTEET

Liite 1: Onnettomuuksien tutkinnasta annetun asetuksen (79/96) 10§ mukainen ilmoitus 9.5.2005

Liite 2: Ympäristöministeriön kirje sisäkattojen rakenteellisesta turvallisuudesta 10.5.2005

VIITTEET

[1] *Kevarinmäki, A.*, 2005. Konenaulojen ulosvetolujuus. VTT: VTT working papers 27, 36 s. ladattavissa [www-osoitteesta: www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi) > Maankäyttö ja rakentaminen > Hyvä ja kestävä rakennus > Kantavat rakenteet

JAKELU

kuntien rakennustarkastajat
alueelliset ympäristökeskukset

TIEDOKSI

ympäristöministeriön osastot ja rakentamisen tulosalue
rakennusten rakenteellisen turvallisuuden yhteistyöryhmä:

Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry

Rakennusteollisuus RT ry

Suomen Kuntaliitto

Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Asuntokiinteistöliitto AKL ry

Asuntokiinteistö- ja rakennuttajaliitto ASRA ry

Liite 2/4 (4)

Kilpailuvirasto
Kuluttajavirasto
Maa- ja metsätalousministeriö
Maaseutukeskusten Liitto
Metsäteollisuus ry
Onnettomuustutkintakeskus
Opetusministeriö
Oulun yliopisto
Rakennusmestarit ja –insinöörit AMK RKL ry
Rakennusinsinöörit ja –arkkitehdit RIA ry
Rakennustarkastusyhdistys ry
Rakennustietosäätiö
Senaattikiinteistöt
SFS-Sertifointi Oy, rakennustuotteiden laadunvalvonta
Suomen Arkkitehti liitto SAFA ry
Suomen Betoniyhdistys ry
Suomen Jääkiekkoliitto ry
Suomen Kiinteistöliitto ry
Suomen Konsulttiyhdistys SNIL ry
Suomen Palloiluliitto
Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto ry
Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto
TE -keskukset
Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto
Teknolohiateollisuus ry
Teräsrakenneyhdistys ry
Turvatekniikan keskus TUKES
Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Wood Focus Oy

LIITE 3

Ympäristöministeriön VTT:llä teettämä tutkimus
Konenaulojen ulosvetolujuus



Konenaulojen ulosvetolujuus

Ari Kevarinmäki

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6579-7 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7006

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 3, PB 1801, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7006

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1801, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7006

Tekijä Kevarinmäki, Ari		
Nimeke Konenaulojen ulosvetolujuus		
Tiivistelmä <p>Tutkimuksessa määritettiin paineilmanaulaimissa käytettävien naulojen ulosvetolujuuksia. Nauloja oli neljää eri tyyppiä ja kahta eri paksuutta. Kokeita tehtiin kuusisahatavaralla (<i>Picea abies</i>) kolmessa eri kosteuspitoisuudessa kahdella eri tiheysluokalla. EN 1382 testausmenetelmän mukaisia ulosvetolujuuden lyhytaikaiskokeita tehtiin yhteensä 100 kpl ja lisäksi tehtiin 15 kpl pitkäaikaiskokeita (maks. 18 kk) vaihtelevissa kosteussykleissä 50–80 %:n kuormitusasteilla.</p> <p>Eurocode 5:ssä (EN 1995-1-1) annettu sileän naulan ulosvetolujuus oli EN 1382 standardin mukaan tehtyjen kokeiden mukaan selkeästi varmallalla puolella. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin, että jos liitos kuivuu valmistuksen jälkeen, ulosvetolujuus pienenee merkittävästi. Käytännön tilannetta vastaavissa kokeissa, joissa naulaus suoritettiin RH85:ssä tasaannutettuun puuhun (ulkokuiva) ja liitos kuormitettiin RH40 tasaannutuksen jälkeen (sisäkuiva), sileän naulan ulosvetokapasiteetti oli keskimäärin vain 43 % EN 1382:n mukaan RH65:ssä tasaannutettuna valmistetun ja testatun naulan ulosvetolujuudesta.</p> <p>Pitkäaikaiskokeisiin sisältyneiden kuormanlisäysten yhteydessä 73–84 %:n kuormitusasteilla tapahtuneet murtumiset osoittivat, että edeltänyt alemman tason pitkäaikainen kuormitus vaihtelevissa kosteusolosuhteissa oli heikentänyt tartuntalujuutta. Tämän vuoksi seuraavaa Eurocode 5 versioita pitäisi täydentää esim. seuraavasti: mikäli pysyvän ja pitkäaikaisen aikaluokan kuormien osuus naulan ulosvetokapasiteetin mitoitusarvosta on suurempi kuin 1/3, tartuntakapasiteetin laskennassa käytettävälle k_{mod} -kertoimelle ei saa käyttää suurempaa arvoa kuin 0,7 ($k_{mod} \leq 0,7$).</p> <p>VTT suosittelee ulosvetolujuuden eurooppalaisen testausstandardin EN 1382:1999 puun tasaannutuksia koskevien ohjeiden korjaamista siten, että naulaus suoritetaan RH85:ssä tasaannutettuun puuhun ja koekappaleet tasaannutetaan tämän jälkeen 40-prosenttisessa ilman suhteellisessa kosteudessa 20 °C:n lämpötilassa ennen testaamista. Tämä voitaisiin myös esittää vaatimuksena nauloja koskevassa tuotestandardissa EN 14592. Mikäli naulalle on määritetty tuotekohtainen ulosvetolujuus EN 1382:1999 standardin mukaan RH65 tasaannutettuna, kokeellista tartuntalujuutta $f_{ax,k}$ pitäisi redusoida sileillä nauloilla kertoimella 0,4 ja profiloituilla nauloilla kertoimella 0,7.</p>		
Avainsanat annular ringed shank nail, glue-tipped nail, pneumatic nail, machine driven nail, nail, withdrawal strength		
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT		
ISBN 951-38-6579-7 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinnumero R4SU00129
Julkaisu-aika Toukokuu 2005	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 24 s. + liitt. 12 s.
Projektin nimi Konenaulojen ulosvetolujuustutkimus	Toimeksiantaja Ympäristöministeriö	
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Julkaisija VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author Kevarinmäki, Ari	
Title Withdrawal strength of machine driven nails	
Abstract The withdrawal strength of nails used in pneumatic nailing machine was studied. Four different types of nails and two different nail diameters were tested. The tests were carried on using Norway spruce (<i>Picea abies</i>) wood in three different moisture contents and two different density classes. One hundred short-term withdrawal strength tests were carried out according to EN 1382, in addition 15 long-term tests were done (max 18 months) in cyclic humidity conditions under load levels of 50–80 %.	
According to Eurocode 5 (EN 1995-1-1), the withdrawal strength of plain shank nails is well on the safe side when compared to the results of the tests done according to EN 1382. It was observed however, that if the connection dries after nailing, the withdrawal strength decreases considerably. In realistic test conditions, where the nailing is done on wood conditioned to RH85% (external dry) and the connection is tested after conditioning to RH40% (internal dry), the withdrawal strength of plain shank nails was only 43 % of the strength based on EN 1382 of connections conditioned to RH65% before and after nailing.	
In the long-term tests, the most of failures occurred during the short-term increase phase of load with the load levels of 73–84%. This demonstrated that the previous loading history decreased the withdrawal strength in cyclic humidity conditions. For this reason, the next version of Eurocode 5 (EN 1995-1-1) should be supplemented for example as follows: In case the share of the permanent and long-term loads is over 1/3, the withdrawal capacity is calculated with a modification factor k_{mod} equal or lower than 0,7 ($k_{\text{mod}} \leq 0,7$).	
VTT recommends that the test standard for withdrawal strength EN 1382:1999 is modified so that the conditioning of wood is done to RH85% before nailing and after it is conditioned to RH40% before testing at a temperature of 20°C. This requirement could also be mentioned in the product standard for nails EN 14592. In case the nail type specific withdrawal capacity is determined according to EN 1382:1999 conditioned to RH65%, the experimental withdrawal strength $f_{\text{ax,k}}$ should be reduced by a factor of 0,4 for plain shank nails and by a factor of 0,7 for profiled nails.	
Keywords annular ringed shank nail, glue-tipped nail, pneumatic nail, machine driven nail, nail, withdrawal strength	
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1801, FI-02044 VTT, Finland	
ISBN 951-38-6579-7 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Project number R4SU00129
Date May 2005	Language Finnish, engl. abstr.
	Pages 24 p. + app. 12 p.
Name of project Withdrawal capacity of machine driven nails	Commissioned by Ministry of the Environment
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)	Publisher VTT Information Service P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Alkusanat

Tämä julkaisu on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa ympäristöministeriön toimeksiannosta vuosina 2002–2004 tehtyjen konenaulojen ulosvetolujuustutkimusten loppuraportti.

Tutkimuksen taustalla oli Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostuksessa (2001) "Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000" antamat suositukset:

- *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 lisätä suunnittelijoiden avuksi ohjeet siitä, miten paineilmanaulaimella ammuttaviin liimakärkisiin ja erilaisiin pintakuvioituihin nauloihin tulisi suunnittelutyössä suhtautua. [B2/00Y/S2].*

Kiitän tutkimuksen valvojaa rakennusneuvos Jaakko Huuhtasta (ympäristöministeriö) työn käynnistämistä ja ohjaamisesta. Lisäksi kiitän työtekniikko Mats Rundtia ja vastaava tutkimusavustaja Kyösti Niskasta laboratoriokokeiden suorituksesta.

Espoossa 20.5.2005

Ari Kevarinmäki

Sisällysluettelo

Alkusanat	5
Symboliluettelo	7
1. Yleistä	8
2. Lyhytaikaiskokeet	9
2.1 Naulat	9
2.2 Puutavara	10
2.3 Koekappaleet	10
2.4 Kuormitusjärjestelyt	11
2.5 Koetulokset	13
2.6 Koetulosten tarkastelu	14
3. Pitkäaikaiskokeet	16
3.1 Materiaalit	16
3.2 Koekappaleet	16
3.3 Kuormitusjärjestelyt	17
3.4 Olosuhteet	19
3.5 Koetulokset	19
3.6 Koetulosten tarkastelu	21
4. Suunnitteluohjesuositukset	23
Lähdeluettelo	24
Liitteet	
Liite A: Naulojen myyntipakkauksissa esitetyt tuotetiedot	
Liite B: Mitatut puun kosteudet ja tiheydet	
Liite C: Mitatut tartuntapituudet	
Liite D: Mitatut voima-siirtymäriippuvuudet	
Liite E: Pitkäaikaiskokeiden kosteus- ja lämpötilaolosuhteet	

Symboliluettelo

F	voima
F_{\max}	murtokuorma
d	naulan paksuus
f_1	tartuntalujuusparametri (ENV 1995)
f_{ax}	ulosvetolujuus (EN 1995)
f_u	tartuntalujuuskerroin (RakMK B10)
k_{mod}	kuorman vaikutusajan ja rakenteen kosteuden vaikutuksen huomioon ottava lujuusparametrien muuntokerroin
l_p	naulan tartuntapituus kärjen puoleisessa puussa
n	lukumäärä
v	variaatiokerroin
ρ	puun tiheys
ρ_k	ominaistiheys
ρ_{ω}	kosteuspitoisuudessa ω määritetty puun tiheys
ρ_0	kuivatiheys
ω	puun kosteuspitoisuus

1. Yleistä

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa määritettiin paineilmanaulaimissa käytettävien naulojen ulosvetolujuuksia EN 1382 standardin mukaisella testausmenetelmällä. Nauvoja oli neljää eri tyyppiä ja kahta eri paksuutta. Kokeita tehtiin kolmessa eri puun kosteuspitoisuudessa kahdella eri puun tiheysluokalla. Ulosvetolujuuskokeita tehtiin yhteensä 100 kpl. Kussakin koesarjassa oli 5 tai 10 samanlaista naulatestiä.

Tutkimuksen toisessa osassa testattiin paineilmanaulaimissa käytettävien naulojen ulosvetolujuutta pitkäaikaisessa kuormituksessa vaihtelevissa kosteusolosuhteissa. Nauvoja oli kolmea eri tyyppiä ja kahta eri paksuutta. Pitkäaikaiskuormitettuja nauvoja oli yhteensä 15 kpl. Kosteussyklitys tapahtui vaihtelemalla ilman suhteellista kosteutta noin 4 viikon sykleissä RH40- ja RH85-arvoissa. Kuormitus aloitettiin 50–60 %:n kuormitusasteella nauhan lyhytaikaisesta ulosvetolujuudesta ja kuormitusta nostettiin RH40-sykliden jälkeen kahdessa tai kolmessa vaiheessa niin, että lopullinen kuormitusaste oli noin 80 %. Viimeisten naulojen kuormitukset lopetettiin 18,5 kuukauden kuluttua kokeen aloituksesta. Naulojen ulosvetomurtojen ajankohdat kirjattiin ylös.

Kaikissa koekappaleissa käytettiin kuusisahatavaraa (*Picea abies*). Tutkimukseen kuului puumateriaalin valinta ja tasaannutus, koekappaleiden valmistus ja tasaannutus, lyhytaikaiset ulosvetolujuuskokeet, pitkäaikaiskokeiden koejärjestelyjen rakentaminen ja portaittaiset kuormitukset kosteussyklityksessä, murtumisajankohtien seuranta, puun kosteus- ja tiheysmittaukset sekä tulosten raportointi ja analysointi.

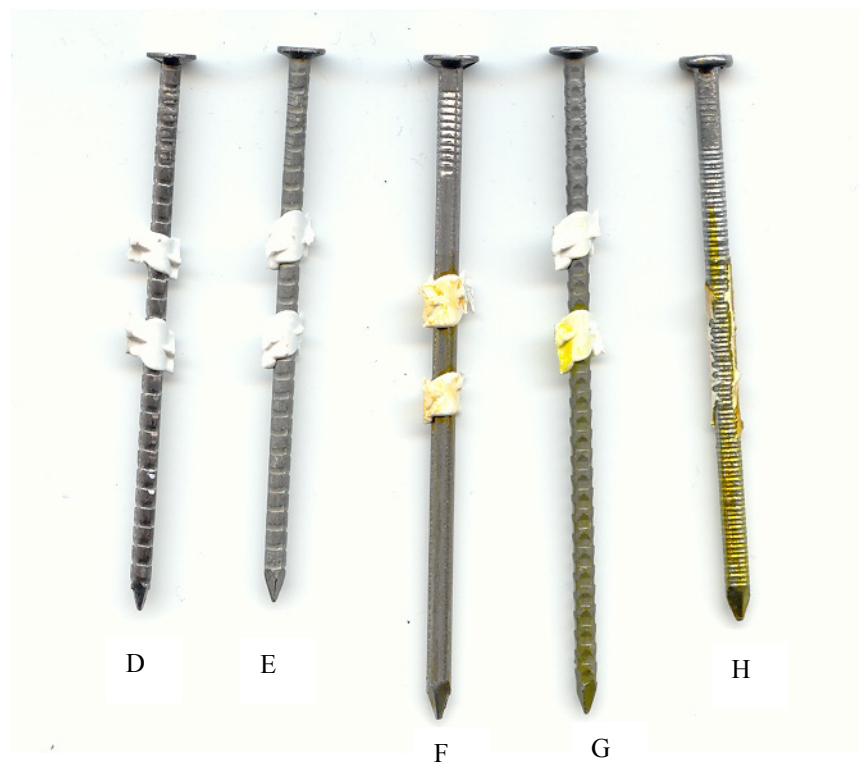
Tutkimuksen lopputuloksena esitetään konenaulojen ulosvetokapasiteetin mitoittamista koskevat VTT:n suositukset. Suositukset koskevat sekä Suomen rakentamismääräyskoelman (RakMK) osan B10 että Eurocode 5:n mukaista suunnittelua.

2. Lyhytaikaiskokeet

2.1 Naulat

Koekappaleissa käytettiin viittä erilaista naulaa (ks. kuva 1). Naulat hankittiin rauta-kaupoista. Naulalaatikoissa esitetyt tuotetiedot on esitetty liitteessä A. Nauloista on jäljempänä käytetty merkintöjä D–H, jotka on määritelty valmistajien antamien tuotekuvauksien mukaan seuraavasti :

- D: CN-konenaula 75 x 2,8 kirkas
- E: CN-konenaula 75 x 2,8 kuumasinkitty
- F: Nelikulmanaula 90 x 3,1 kirkas
- G: Liimakärkinaula 2,8 x 90 kuumasinkitty
- H: Kampanaula 75 x 3,1 kuumasinkitty.



Kuva 1. Tutkimuksessa käytetyt konenaulat ja niiden merkintä (D–H).

CN-konenaulat (D ja E) ja liimakärkinaulat (G) olivat poikkileikkaukseltaan pyöreitä ja niihin oli stanssattu noin 2,5 mm välein poikittaisia kiilamaisia uria, jotka avautuivat viistosti naulan kantaan päin ja olivat toisesta päästä reunaltaan pystysuoria. Liimakärkinaulan liimavyöhykkeen pituus oli noin 55 mm naulan kärjestä lukien.

Kampanaulat (H) olivat 34° naulaimeen tarkoitettuja paperisidosnauloja, kun kaikki muut tutkimuksessa käytetyt naulat olivat muovisidosnauloja, jotka oli tarkoitettu 22° naulaimeen. Poikkileikkaukseltaan pyöreään kampanaulaan oli stanssattu rengasmaisia uria noin 1,25 mm:n välein. Urien syvyys oli pieni: vain 0,2–0,3 mm. Kampanaulojen kärkeä oli pinnoitettu liimamaisella aineella kärjestä paperisidokseen saakka. Nelikulmanaulassa (F) oli kaikilla neljällä sivulla pienet naulan pituussuuntaiset urat.

2.2 Puutavara

Koekappaleita varten puutavaraliikkeestä valittiin ulkokuivaa 50 x 150 mm² kuusisahatavaraa, jonka syrjät höylättiin niin, että koekappaleaihioden leveydeksi tuli 145 mm. Koekappaleaihiot sahattiin 1 400 mm pituisiksi ja ne jaettiin kahteen tasaannutuserään. Toista erää varastoitiin noin 6 viikon ajan VTT:n vakioilmastointihuoneessa olosuhteissa RH 85 % ja T 20 °C (B-sarjat) ja toista erää vastaavasti RH65 %:n vakioilmastointihuoneessa (A- ja C-sarjat).

Koekappaleaihioden valinnassa noudatettiin EN 28970 standardin mukaista menetelmää 2, kun puun tiheyden vaadittava ominaisarvo oli lujuusluokan C24 mukainen 350 kg/m³ (AK-, BN- ja CK-koesarjat) tai lujuusluokan C40 mukainen 420 kg/m³ (AR-koesarja). Kuormituskokeiden jälkeen kustakin koekappaleesta sahattiin puun kosteus- ja tiheysnäyte. Standardien ISO 3130 ja ISO 3131 mukaan määritetyt puun kosteudet ja tiheydet on esitetty liitteessä B.

2.3 Koekappaleet

Koekappaleet valmistettiin naulaamalla paineilmanaulaimella kunkin 1 400 mm pituisen koekappaleaihion syrjään 10 konenaulaa. Naulojen välinen etäisyys oli 80–130 mm, reunaetäisyys 25 mm ja päätyetäisyys vähintään 100 mm. Naulat sijoitettiin siten, että niiden kohdalla puussa ei ollut oksia. Naulojen kannat pyrittiin jättämään pitkälle siten, että 2,8 mm paksujen naulojen tartuntapituus puussa olisi 50 mm (17,9*d*) ja 3,1 mm paksujen naulojen vastaavasti 55 mm (17,7*d*). D-, E-, F- ja G-naulat naulattiin Holz Her Typ 3542 -merkkisellä paineilmanaulaimella ja H-naulat Senko SN325 -naulaimella.

Naulaus suoritettiin siten, että lankun päällä käytettiin hahloon sahattua tarvittavan paksuista vanerivälikettä, jonka hahlon läpi naula ammuttiin. Koenaulausten perusteella naulaimissa käytettävät ilmanpaineet säädettiin niin, että naulan kanta saatiin jäämään mahdollisimman tarkkaan vanerivälikkeen pinnan tasoon. Naulauksen jälkeen vanerikapulat poistettiin halkaisemalla. Paineilmanaulauksen jälkeen naulojen tartuntapituuksia ei korjattu millään tavalla, esim. lyömällä tai vetämällä. Ennen testausta mitattiin todelliset naulan kannan etäisyydet puun pinnasta. Nämä mittaustulokset on esitetty liitteessä C.

Koesarjat ja niissä käytetyt naulat sekä koekappaleiden kosteustasaannutukset on esitetty taulukossa 1. Koekappalekohtainen naulojen numerointi on esitetty liitteessä C. Valmistuksen jälkeen koekappaleita säilytettiin RH65 (A-sarjat), RH40 (B-sarjat) tai RH85 (C-sarjat) vakioilmastointihuoneissa testaamiseen saakka, 6–7 viikon ajan.

Taulukko 1. Koesarjat ja niiden kosteustasaannutukset.

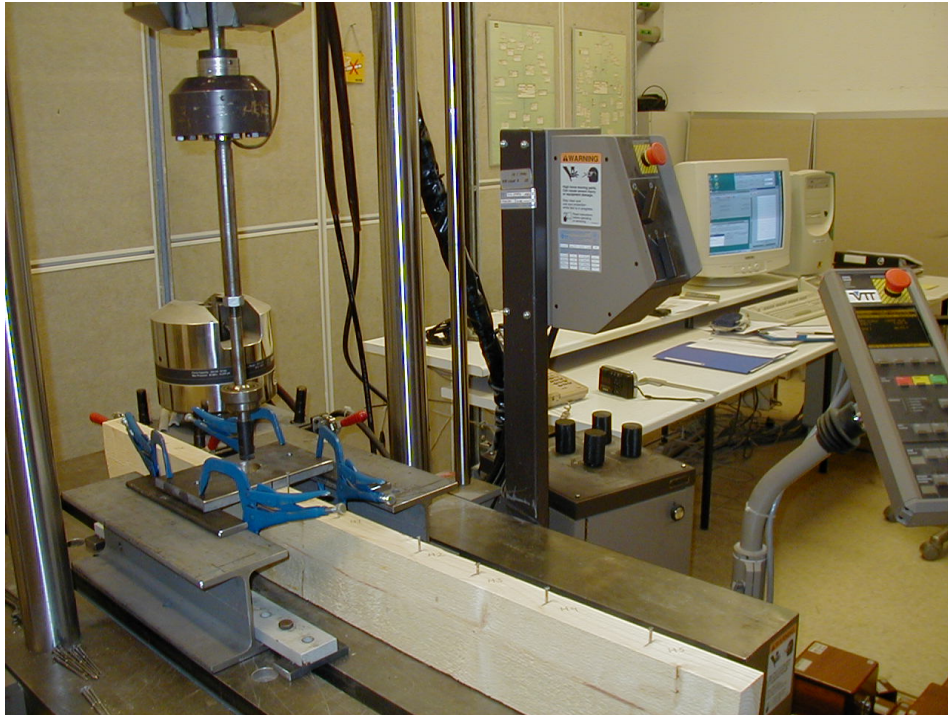
Koesarja	<i>n</i>	puu	naulat: lkm koekappaleessa x tunnus	valmistus	testaus
AK	5	C24	2F + 2D + 2E + 2G + 2H	RH65	RH65
AR	1	C40	5F+ 5H	RH65	RH65
BN	2	C24	BN1: 10F ja BN2: 5G + 5H	RH85	RH40
CK	2	C24	CK1: 5F + 3G + 2H ja CK2: 5F+ 2G + 3H	RH65	RH85

2.4 Kuormitusjärjestelyt

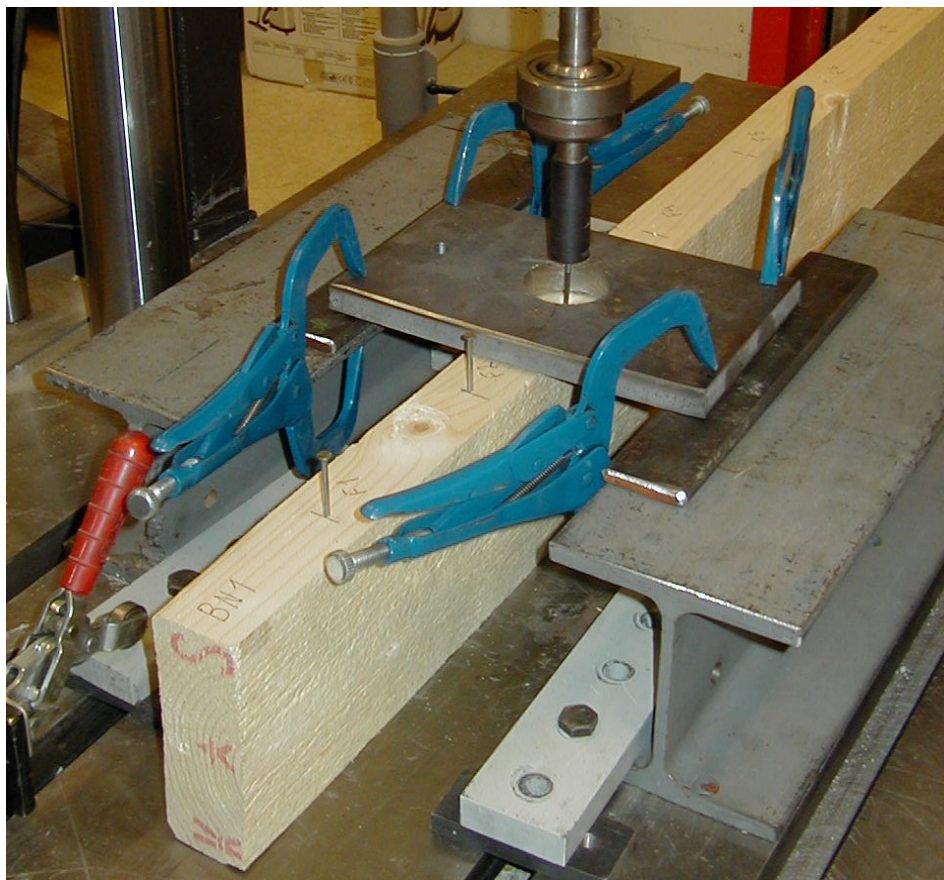
Ulosvetokokeet tehtiin EN 1382 standardin mukaisesti tasaisella kuormitusnopeudella voimaohjattuna. AR-koesarjassa kuormitusnopeus oli 15 N/s, AK-, CK- ja BNG-koesarjoissa 12 N/s, ja BNF- ja BNH-koesarjoissa 7 N/s. Kaikissa kokeissa murtokuorma saavutettiin 60–120 sekunnin kuluttua siitä, kun kuormitus aloitettiin. Kokeissa mitattiin voima ja vetosylinterin liike.

Kuormitusjärjestelyt on esitetty kuvissa 2 ja 3. Koekappale tuettiin aina testattavan naulan ympäriltä keskeisesti 150 mm leveällä teräslatalla, jonka keskellä oli halkaisijaltaan 55 mm:n reikä. Tukipisteen etäisyys naulasta oli tällöin kaikissa suunnissa vähintään 25 mm.

Ulosvetokokeet tehtiin Instron 8502 -merkkisellä hydraulisella aineentestauslaitteella. Testauslaitteen vetosylinteriin oli kiinnitetty erillinen voima-anturi, jonka mittaustarkkuus oli ± 1 N. Siirtymät mitattiin vetosylinteriin kiinnitetyllä ± 5 mm:n induktiivisella anturilla. Kuormitus toteutettiin tietokoneohjattuna ja mittaustulokset tallennettiin tietokoneen muistiin 1 sekunnin välein.



Kuva 2. Kuormitus- ja mittausjärjestelyt.



Kuva 3. Koekappaleen tuenta- ja kiinnitysjärjestelyt.

2.5 Koetulokset

Mitatut voima-siirtymäriippuvuudet on esitetty liitteessä D. Käyrissä esiintyvät alkusiirtymät ja heikommat alkujäykkyudet johtuivat vetosylinterin kiinnityspään ja naulan kannan välisestä alkuraosta ja kontaktipinnan muokkautumisesta. Kaikkien kokeiden murtotapa oli ulosvetomurto, jossa naulan tartunta pettää. Naulojen myötäämistä tai puun halkeamista ei havaittu.

Taulukossa 2 on esitetty ulosvetokapasiteettien keskiarvot (F_{\max}), variaatiokertoimet v ($v = \text{keskihajonta}/F_{\max}$) sekä kokeissa saadut tartuntalujuusparametrin keskiarvot ($f_{1,\text{mean}}$). Tartuntalujuusparametrin keskiarvo on laskettu EN 1382:n mukaan:

$$f_{1,\text{mean}} = \frac{F_{\max}}{d \cdot l_p} \quad (1)$$

missä d on naulan halkaisija ja l_p on mitattu tartuntapituus puussa (koesarjan keskiarvo).

Taulukko 2. Koetulokset.

Koesarja	Naula	ω (%)	$\rho_{\omega,65}$ (kg/m ³)	l_p (mm)	F_{\max} (kN)	v (%)	$f_{1,\text{mean}}$ (N/mm ²)
AK-D	CN kirkas	13,7	373	51,23	793	10,0	5,53
AK-E	CN ks	13,7	373	51,78	1421	15,4	9,80
AK-F	sileä kirkas	13,7	373	54,54	1213	9,2	7,17
AK-G	liimakärki ks	13,7	373	50,44	1329	16,0	9,41
AK-H	kampa ks	13,7	373	54,90	947	19,4	5,56
AR-F	sileä kirkas	14,1	476	53,42	1625	7,4	9,81
AR-H	kampa ks	14,1	476	49,84	1344	12,1	8,70
BN-F	sileä kirkas	10,6	355	53,97	468	5,7	2,80
BN-G	liimakärki ks	10,8	356	51,24	908	10,8	6,33
BN-H	kampa ks	10,8	356	58,64	677	7,9	3,72
CK-F	sileä kirkas	15,2	359	55,57	1239	18,0	7,19
CK-G	liimakärki ks	15,2	359	51,06	1326	7,5	9,27
CK-H	kampa ks	15,2	360	54,68	971	25,7	5,73

2.6 Koetulosten tarkastelu

Taulukossa 3 on esitetty koetulosten vertailu suunnitteluohjeissa ENV 1995-1-1:1993 (Eurocode 5, esistandardi), EN 1995-1-1:2004 (Eurocode 5) ja RakMK osan B10:ssä annettuihin naulan ulosvetolujuuksiin. Vertailu on tehty ominaislujuuksilla. H-koesarjoissa käytettyjä konenauloja markkinoidaan kampanauloina, joten niitä on vertailtu RakMK B10:n yhteydessä kampanauloille annettuihin arvoihin. Muita koetuloksia on vertailtu sileille tai kuumasinkityille nauloille annettuihin arvoihin. RakMK osan B10:ssä annetut naulan ulosvetolujuudet ovat samoja aikaluokissa B ja C eivätkä ne riipu kosteusluokasta. RH85:ssä tasaannutetut liitokset on tarkasteltu Eurocode 5:n yhteydessä käyttöluokassa 2.

Koesarjojen ulosvetolujuuden ominaisarvot on laskettu seuraavasti:

$$f_{1,k,test} = f_{1,mean} (1 - k_n V) \left(\frac{\rho_k}{\rho_{\omega,65}} \right)^2 \quad (2)$$

missä $V = \max(v; 0,1)$,

$k_n = 2,33$, kun $n = 5$ ja $k_n = 1,92$, kun $n = 10$ (EN 1990:2002),

ρ_k on puun tiheyden ominaisarvo ko. lujuusluokassa ja

$\rho_{\omega,65}$ koesarjan puun tiheyden keskiarvo RH65:ssä.

Mikäli koesarjan keskihajonta on ollut suurempi kuin 15 %, ominaislujuus on laskettu myös tilanteessa, jossa koesarjasta on otettu pois paras ja huonoin tulos. Taulukossa 3 on esitetty näin lasketuista ominaisarvoista suurempi. Esitetty ominaislujuuden laskenta ja naulan ulosvetolujuuden tiheyskorjaus vastaavat Eurocode-normeja (ENV 1991, EN 1990, ENV 1995 ja EN 1995).

Taulukosta 3 voidaan havaita, että suunnitteluohjeissa annetut naulan ulosvetolujuudet ovat konenauloille sovellettuna yleensä konservatiivisia. RakMK:n osassa B10 kampanauloille annetut tartuntalujuudet ovat kuitenkin aivan liian korkeita arvoja tutkimuksessa käytetyille kampanauloille. Pahimmassa tapauksessa kokeellisesti määritetty ominaislujuus oli vain 41 % B10:ssä annetusta ominaisarvosta (koesarja BN-H). Eurocode 5:ssä on annettu vain sileän naulan ulosvetolujuus, joka riippuu sahatavaran lujuusluokasta. Tehtyjen kokeiden mukaan puun tiheydellä on merkittävä vaikutus ulosvetolujuuteen – ei kuinkaan niin suuri vaikutus kuin Eurocode-mitoituksessa oletetaan.

Tutkimuksessa havaittiin, että jos liitos kuivuu valmistuksen jälkeen, ulosvetolujuus pienenee selvästi. Varsin normaalia käytännön tilannetta vastaavissa B-koesarjan kokeissa saatiin 19 %, 30 % ja 57 % pienemmät ulosvetolujuudet kuin vastaavissa

testausstandardin mukaisissa A-sarjan kokeissa. B-koesarjojen voidaan katsoa vastaavan tilannetta, jossa naulaus suoritetaan ulkokuivaan puuhun (RH85) ja kuormitettuna liitos sijaitsee lämmitetyssä sisätilassa (RH40). Puun kuivuminen pitäisi siis ottaa suunnittelussa erikseen huomioon, mikäli mitoituksessa käytetään EN 1382:1999 standardin mukaisella kosteuspitoisuudella testaamalla määritettyjä ulosvetolujuuksia.

Koetuloksista havaitaan myös, että kuumasinkityillä nauloilla oli selvästi vastaavia pinnoittamattomia nauloja parempi ulosvetolujuus. Kuumasinkityn CN-naulan (E) tartuntalujuus oli myös yhtä hyvä kuin vastaavan profiilin liimakärkinaulan (G) tartuntalujuus. Kampanaulana markkinoidun naulan (H) tartuntalujuus oli testausstandardin mukaisissa A-sarjan kokeissa kaikkein heikoin. Testattujen kampanaulojen urat olivat selvästi pienempiä ja tiheämpään sijoitettuja kuin käsinnaulaukseen tarkoitetuissa kampanauloissa yleensä käytetään. Lisäksi kampanaulojen uritukset olivat osittain täyttyneet paperisidoksen liimasta.

Taulukko 3. Koetuloksista laskettujen ominaislujuuksien vertailu suunnitteluohjeisiin. Koetuloksiin nähden epävarmalla puolella olevat suunnitteluohjeiden ominaisarvot on esitetty tummennettuna.

Koesarja	Naula	kost.lk	puu	l_p (mm)	$f_{1,k, \text{test}}$ (N/mm ²)	ENV 1995 $f_{1,k}$	EN 1995 $f_{ax,k}$	B10 $f_{u,k}$ *)
AK-D	CN kirkas	2	C24	51,23	3,93	2,21	2,45	1,47
AK-E	CN ks	2	C24	51,78	6,56	2,21	2,45	2,85
AK-F	sileä kirkas	2	C24	54,54	5,10	2,21	2,45	1,46
AK-G	liimakärki ks	2	C24	50,44	6,52	2,21	2,45	2,84
AK-H	kampa ks	2	C24	54,90	3,42	2,21	2,45	6,68
AR-F	sileä kirkas	2	C40	53,42	5,86	3,18	3,53	1,46
AR-H	kampa ks	2	C40	49,84	4,86	3,18	3,53	6,62
BN-F	sileä kirkas	1	C24	53,97	2,20	2,21	2,45	1,46
BN-G	liimakärki ks	1	C24	51,24	4,58	2,21	2,45	2,85
BN-H	kampa ks	1	C24	58,64	2,76	2,21	2,45	6,72
CK-F	sileä kirkas	3	C24	55,57	4,71	2,21	2,45	1,47
CK-G	liimakärki ks	3	C24	51,06	6,76	2,21	2,45	2,85
CK-H	kampa ks	3	C24	54,68	3,93	2,21	2,45	6,68

*) jaettuna koko tartuntapituudelle.

3. Pitkäaikaiskokeet

3.1 Materiaalit

Pitkäaikaiskokeiden koekappaleissa käytettiin kolmea erilaista naulaa. Naulat otettiin samoista pakkauksista kuin lyhytaikaiskokeiden naulat. Naulat olivat seuraavia tyyppisiä, joiden kuvaus on esitetty tarkemmin luvussa 2.1:

- D: CN-konenaula 75 x 2,8 kirkas
- F: Nelikulmanaula 90 x 3,1 kirkas
- H: Kampanaula 75 x 3,1 kuumasinkitty.

Koekappaleita varten puutavaraliikkeestä valittiin kaksi soiroa ulkokuivaa 50 x 150 mm² kuusisahatavaraa, jonka tiheys ρ_{RH65} olisi 350–380 kg/m³. Soirojen syrjät höylättiin niin, että koekappaleaihioden leveydeksi tuli 145 mm. Ennen naulojen kiinnittämistä koekappaleihiota varastoitiin noin 4 kk ajan VTT:n vakioilmastointihuoneessa olosuhteissa RH 85 % ja T 20 °C. Pitkäaikaiskokeiden päättyessä kummastakin koekappaleesta sahattiin puun kosteus- ja tiheysnäyte. Kokeiden päättyessä viimeisenä kosteussyklinä oli ollut 3 kk kestänyt RH 65 %. Standardien ISO 3130 ja ISO 3131 mukaan määritetyt puun kosteudet ja tiheydet on esitetty liitteessä B.

3.2 Koekappaleet

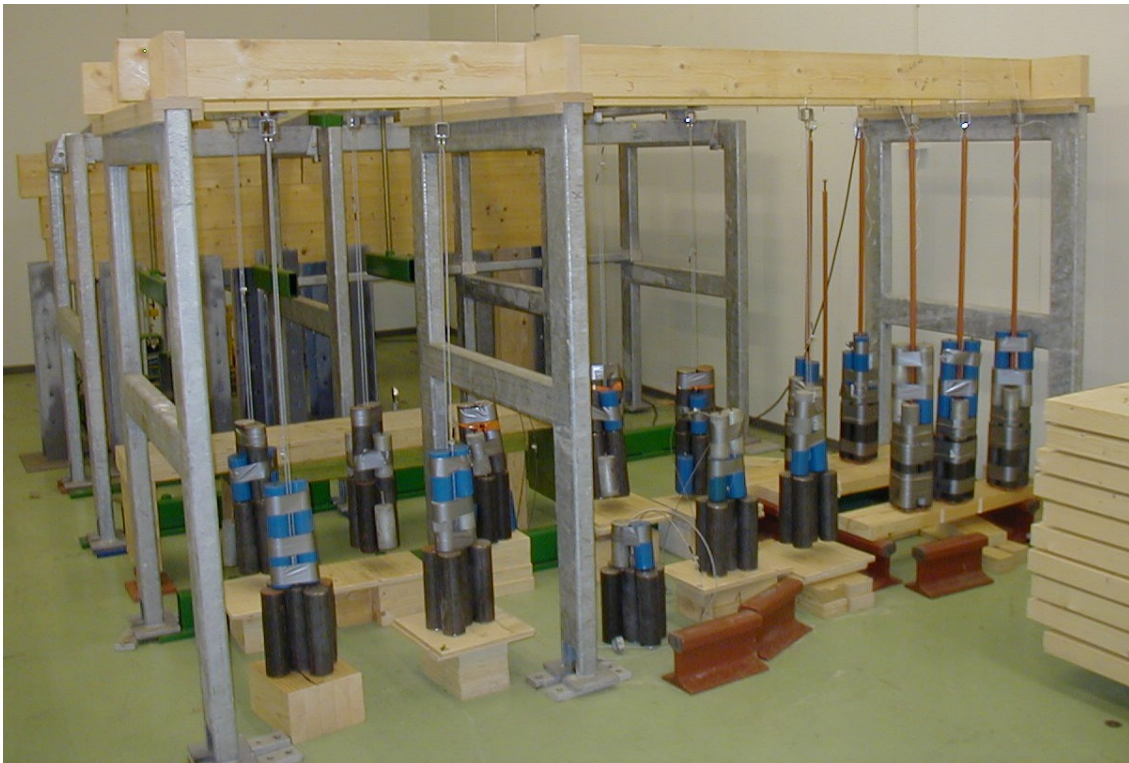
Koekappaleet valmistettiin naulaamalla paineilmanaulaimella testattavat naulat noin 3,5 m pituisten koekappaleaihioden syrjään. Naulojen välinen etäisyys oli vähintään 250 mm, reunaetäisyys 25 mm ja päätyetäisyys vähintään 300 mm. Naulat sijoitettiin siten, että niiden kohdalla puussa ei ollut oksia. Naulojen kannat pyrittiin jättämään pitkälle siten, että 2,8 mm paksujen naulojen tartuntapituus puussa olisi 50 mm (17,9*d*) ja 3,1 mm paksujen naulojen vastaavasti 55 mm (17,7*d*). D- ja F-naulat naulattiin Holz Her Typ 3542 -merkkisellä paineilmanaulaimella ja H-naulat Senko SN325 -naulaimella.

Naulaus suoritettiin siten, että lankun päällä käytettiin hahloon sahattua tarvittavan paksuista vanerivälikettä, jonka hahlon läpi naula ammuttiin. Koenaulausten perusteella naulaimissa käytettävät ilmanpaineet säädettiin niin, että naulan kanta saatiin jäämään mahdollisimman tarkkaan vanerivälikkeen pinnan tasoon. Naulauksen jälkeen vanerikapulat poistettiin halkaisemalla. Paineilmanaulauksen jälkeen naulojen tartuntapituuksia ei korjattu millään tavalla, esim. lyömällä tai vetämällä. Naulan kannan todelliset etäisyydet puun pinnasta mitattiin ennen kuormitusta. Mittaustulosten mukaiset naulakohtaiset todelliset tartuntapituudet on esitetty taulukoissa 4–6.

3.3 Kuormitusjärjestelyt

Pitkäaikaiskuormitukset toteutettiin VTT:n Tutkimushalli 1:n kosteushuoneessa teräspainoilla. Naulan kantaan kiinnitettiin hahloon sahattu 40 x 40 mm² teräspalkista sahattu rengas, jonka vastakkaiselle puolelle kiinnitettiin painot vaijerin tai terästangon avulla. Kuormitusjärjestelyt on esitetty kuvissa 4 ja 5. D- ja F-sarjan naulojen kuormitukset aloitettiin samanaikaisesti. H-sarjan naulojen kuormitukset aloitettiin 2 kk myöhemmin.

Aloituskormat valittiin siten, että naulan kuormitusaste olisi 50–60 % vastaavasta lyhytaikaiskokeen ulosvetolujuudesta. Referenssiarvona pidettiin lyhytaikaiskokeiden B-sarjojen tuloksia, joissa naulat oli naulattu RH85-kosteuden puuhun ja kuormitettiin RH40-tasaannutuksen jälkeen. D-sarjan nauloille ei ollut tehty B-sarjan lyhytaikaiskokeita. Vastaavan tyyppisillä nauloilla tehtyjen kokeiden perustella D-sarjan naulojen kosteustilan keskimääräiseksi lyhytaikaiseksi tartuntalujuusparametriksi arvioitiin $f_{1,mean} = 4,15 \text{ N/mm}^2$, joka on 75 % testatusta D-sarjan naulojen keskimääräisestä ulosvetolujuudesta RH65-kosteudessa puun tiheydellä $\rho_{RH65} = 373 \text{ kg/m}^3$.



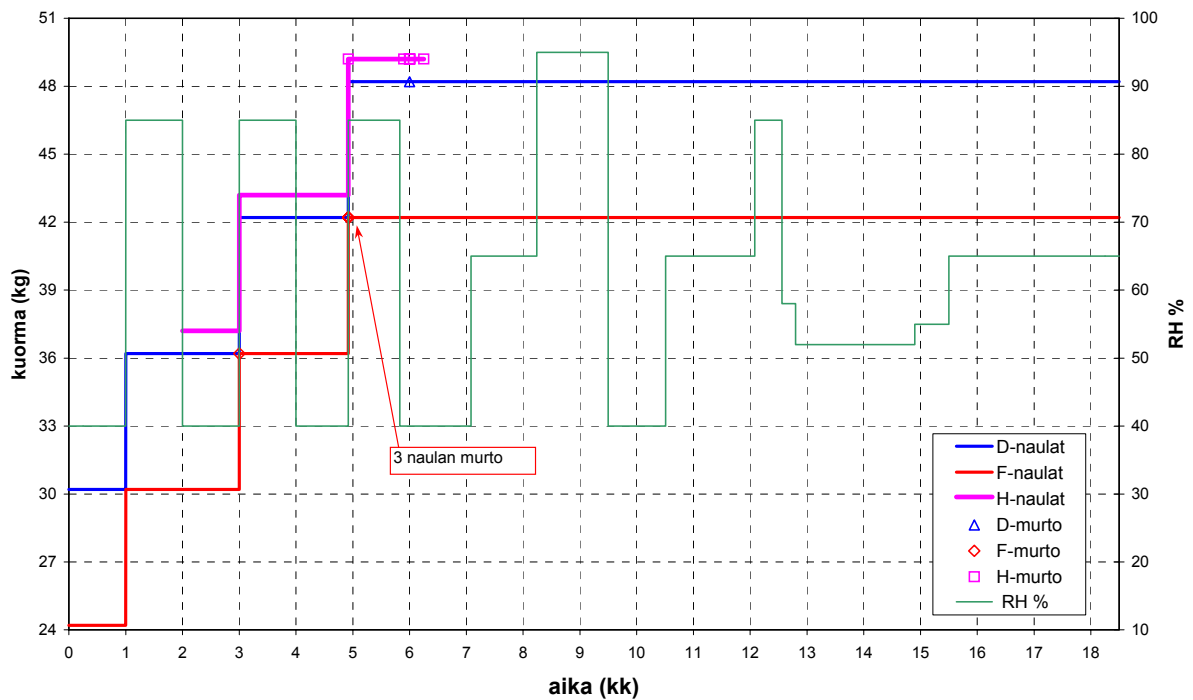
Kuva 4. Koejärjestelyt. Kuva on otettu 8 kk kuluttua kokeen aloituksesta.



Kuva 5. Ripustuskuorman kiinnitysjärjestely naulan kantaan.

Kolmen ensimmäisen kuivaussyklin jälkeen, 1, 3 ja 5 kk kuluttua kokeiden aloituksesta, D- ja F-sarjan naulojen kuormaa korotettiin 6 kg/kpl kullakin kerralla. Tällöin naulojen lopullisiksi kuormitusasteiksi tuli noin 80 % RH40:een kuivattujen liitosten keskimääräisestä lyhytaikaisuudesta. Murtumattomien D- ja F-sarjan naulojen kuormitukset lopetettiin 18,5 kuukauden kuluttua kokeiden aloituksesta. H-sarjan nauloille tehtiin vastaavasti kaksi kuormituksen nostoa. H-sarjan viimeisen naulan ulosvetomurto tapahtui noin 75 %:n kuormitustasolla 4,3 kuukauden kuluttua kokeen aloituksesta.

Naulojen ulosvetomurtumisen ajankohtaa tarkkailtiin kuormitusten aloitus- ja nostopäivinä vähintään 4 kertaa kokeen aloituksesta aikavälillä 0 h–6 h. Naulojen ripustuskuormat ja niiden nostoajankohdat on esitetty kuvassa 6. Kosteussykliä vaihtojen jälkeen naulojen kantavuudet tarkistettiin päivittäin 5 päivän ajan. Muutoin seuranta tehtiin vähintään kerran kolmessa vuorokaudessa.



Kuva 6. Kosteus- ja kuormitussyklit sekä naulojen murtoajankohdat.

3.4 Olosuhteet

Pitkäaikaiskokeiden kosteushuoneen ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila on esitetty liitteessä E siltä ajanjaksolta, jona kokeet tehtiin. Lämpötila oli $20 \pm 2,5$ °C. Kuvassa 6 on esitetty kosteussykliin keskimääräiset ilman suhteelliset kosteuspitoisuudet. Kokeet aloitettiin 4 viikkoa kestäneellä kuivalla RH40-syklillä ja tätä seurasi 4 viikon mittainen kostea RH85-sykli. Näitä syklityksiä jatkettiin 7 kk:n ajan. Tämän jälkeen kosteushuoneeseen tuli myös muuta käyttöä, ja huoneen kosteussyklitykset vaihtelivat RH40:n ja RH95:n välillä kuvan 6 mukaisesti.

3.5 Koetulokset

Naulojen tartuntamurtojen ajankohdat on esitetty kuvassa 6. Taulukoissa 4–6 on esitetty viimeisen ja sitä edeltäneen kuormitussyklin kestoajat. Kaikissa murtumiset olivat naulan tartunnan peittämisestä johtuvia ulosvetomurtoja. Naulojen myötäämistä tai puun halkeamista ei havaittu. Naulojen tartuntamurrot tapahtuivat joko kuormituksen nostovaiheessa tai välittömästi sen jälkeen 10 min kuluessa tai kostutussykliä seuranneen RH40-kuivasyklin alkuvaiheessa 4,5–6 viikon kuluttua siitä, kun kuormitusta oli viimeksi nostettu (ks. kuva 6).

Taulukoissa 4– 6 esitetyt nauhojen kuormitusasteet on laskettu seuraavasti:

$$\text{kuor.aste} = \frac{f_{1,long}}{f_{1,mean}} \quad (3)$$

kun

$$f_{1,long} = \frac{F}{d \cdot l_p} \left(\frac{\rho_{short}}{\rho_{RH65}} \right)^2 \quad (4)$$

joissa $f_{1,mean}$ on lyhytaikaiskokeessa määritetty naulan keskimääräinen tartuntalujuusparametri, kun naulaus oli tehty RH85-tasaannutettuun puuhun ja ulosvetokokeet RH40-tasaannutettuna,

F on pitkäaikaiskokeen kuorma,

d on naulan halkaisija,

l_p on naulan tartuntapituus puussa (ks. taulukot 4–6),

ρ_{short} on puun RH65-tasaannutettu keskimääräinen tiheys lyhytaikaiskokeissa, joissa $f_{1,mean}$ on määritetty (ks. taulukko 2) ja

ρ_{RH65} on puun RH65-tasaannutettu tiheys pitkäaikaiskokeessa (ks. liite B).

Taulukko 4. Kirkkaiden CN-naulojen 75 x 2,8 pitkäaikaiskokeiden tulokset.

koe	l_p (mm)	2. viimeinen kuormitus sykli			viimeinen kuormitus sykli		
		F (N)	kuor.aste	aika (d)	F_{max} (N)	kuor.aste	aika
D1	50,38	414	0,696	59	473	0,795	≥ 13,5 kk
D2	48,86	414	0,718	59	473	0,820	≥ 13,5 kk
D3	49,03	414	0,715	59	473	0,817	35 d
D4	50,00	414	0,701	59	473	0,801	≥ 13,5 kk
D5	50,66	414	0,692	59	473	0,791	≥ 13,5 kk
keskimäärin			0,70	59		0,80	11 kk

Taulukko 5. Sileiden nelikulmanauhojen 90 x 3,1 pitkäaikaiskokeiden tulokset.

koe	l_p (mm)	2. viimeinen kuormitus sykli			viimeinen kuormitus sykli		
		F (N)	kuor.aste	aika (d)	F_{max} (N)	kuor.aste	aika
F1	56,56	355	0,695	59	414	0,811	0-5 min
F2	54,52	355	0,721	59	414	0,841	0-5 min
F3	53,96	296	0,608	61	355	0,729	10 min
F4	55,46	355	0,709	59	414	0,827	0-5 min
F5	54,53	355	0,721	59	414	0,841	> 13,5 kk
keskimäärin			0,69	59		0,81	82 d

Taulukko 6. Kuumasinkittyjen kampanaulojen 75 x 3,1 koetulokset.

koe	l_p (mm)	2. viimeinen kuormitusyykli			viimeinen kuormitusyykli		
		F (N)	kuor.aste	aika (d)	F_{max} (N)	kuor.aste	aika
H1	53,86	424	0,660	59	483	0,752	42 d
H2	53,56	424	0,664	59	483	0,756	32 d
H3	52,21	424	0,681	59	483	0,776	35 d
H4	53,35	424	0,638	59	483	0,727	0-5 min
H5	53,23	424	0,639	59	483	0,728	35 d
keskimäärin			0,66	59		0,75	29 d

Kirkkailla D-sarjan 2,8 mm:n CN-nauloilla tapahtui yhden naulan ulosvetomurto viisi viikkoa sen jälkeen, kun kuormitus oli nostettu noin 82 %:n kuormitusasteelle. Tällöin oli kulunut 7 vuorokautta RH40-syklin alkamisesta. Muut neljä naulaa kantoivat kuormaa koko kokeen loppuajan noin 80 %:n kuormitustasolla 13,5 kuukauden ajan vaihtelevissa kosteuksissa (RH40–RH95). Kokeiden päättyessä nauloissa havaittiin ruostepilkkuja. Korkeissa kosteuspitoisuuksissa tapahtunut ruostuminen oli todennäköisesti parantanut naulojen tartuntalujuutta.

Sileillä F-sarjan 3,1 mm paksuilla nauloilla kaikki murtumiset tapahtuivat kuormituksen noston yhteydessä tai välittömästi sen jälkeen enintään 10 min kuluessa. Kuormitusaste oli tällöin yhdellä naulalla 73 % ja muilla nauloilla noin 82 %. Yhden naulan kantavuus säilyi 84 %:n kuormitustasolla kokeen loppuun saakka 13,5 kk ajan. Naulaan muodostui tänä aikana ruostepilkkuja.

Kuumasinkityistä 3,1 mm paksuista H-sarjan kampanauloista yksi murtui kuormituksen nostovaiheessa noin 73 %:n kuormitusasteella. Muut 4 naulaa murtuivat noin 75 %:n kuormitustasolla 4,5–6 viikon kuluttua kuorman nostosta ja 4–14 vuorokauden kuluttua RH40-kuivatussyklin aloituksesta.

3.6 Koetulosten tarkastelu

Pitkäaikaiskokeet tehtiin normaaleja käyttöolosuhteita huomattavasti tiheämmillä kosteusyklityksillä. Noin 2 kuukautta kestäneen RH40+RH85-syklin voidaan katsoa vastaavan todellisessa rakenteessa vuotuisesti tapahtuvaa kosteusvaihtelua. Tällöin pitkäaikaisessa kuormituksessa tartunnasta murtuneiden naulojen (D3, H1, H2, H3 ja H5) koe-kuormituksen voidaan katsoa vastaavan RakMK B10 -ohjeiden aikaluokkaa A (kuorman kesto > 1,5 kk) tai Eurocode 5:n mukaista keskipitkää aikaluokkaa (1 vk–6 kk).

Kuorman nostovaiheissa 73–84 %:n kuormitusasteilla murtuneet naulat osoittivat, että edeltänyt alemman tason pitkäaikainen kuormitus vaihtelevissa kosteusolosuhteissa oli

heikentänyt naulan lyhytaikaista tartuntalujuutta. Tämä ilmiö pitäisi ottaa huomioon naulojen ulosvetokapasiteetin mitoituksessa. Pääosin pysyvällä kuormalla tartuntarasetun naulan muuttuvien kuormien kantavuus on huomattavasti heikompi kuin puurakenteiden ja niiden liitosten mitoituksessa yleensä oletetaan.

RakMK B10 -ohjeiden mukaan aikaluokassa A naulojen tartuntalujuudet kerrotaan 0,8:lla, sileiden naulojen arvot kuitenkin 0,5:llä. Kokeissa käytetyillä konenauloilla tehtyjen lyhytaikaiskokeiden tulosten perusteella myös D-sarjan CN-naulat ja H-sarjan kampanaulat on luokiteltava sileiksi nauloiksi. Sileiden naulojen aikaluokalle A asetettu 50 %:n kuormitusasterajoitus ylitettiin kaikkien naulojen pitkäaikaiskokeissa. Kuorman nostovaiheissa 73–84 %:n kuormitusasteilla tapahtuneet murtumiset ovat sopusuhteissa RakMK B10 -tartuntamitoitusohjeiden kanssa, sillä RakMK-ohjeissa tartuntalujuuden korottaminen aikaluokan B arvosta on kielletty hetkellisen aikaluokan C kuormituksen yhteydessä. Tämä sääntö vaikuttaa tehtyjen kokeiden mukaan relevantilta. Testaamalla määritettävät naulakohtaiset aikaluokan B tartuntalujuuden ominisarvot annetaan jakamalla kokeellisesti saatu lyhytaikainen ominisarvo kertoimella 1,3 (kuorm.aste = $1/1,3 = 0,77$).

Eurocode 5:n mukaisessa mitoituksessa keskipitkän aikaluokan tartuntalujuudet saadaan käyttöluokissa 1 ja 2 kertomalla lyhytaikaiskoetta vastaava ominisarvo kertoimella $k_{mod} = 0,8$. Pitkäaikaiskuormituksessa tartuntamurtuneiden naulojen kuormitusasteet (0,73–0,82) vastasivat kohtuullisesti tätä k_{mod} -kerrointa, kun otetaan huomioon, että viisi liitosta säilytti kantavuutensa 79–84 %:n kuormitusasteella 13,5 kk ajan. Eurocode 5:n mukaisessa mitoituksessa ei oteta kuitenkaan huomioon pitkäaikaiskuormituksessa tapahtuvaa naulan lyhytaikaisen tartuntalujuuden heikentymistä. Kuorman nostovaiheessa tapahtuneista viiden naulan tartuntamurrosta ainoastaan yhtä (F2) voidaan pitää pelkästään normaalin lujuushajonnan puitteissa tapahtuneena murtona. Pääosin pysyvillä tai pitkäaikaisilla kuormilla ulosvetorasitetun naulan tartuntamitoituksessa pitäisi käyttää niitä vastaavia k_{mod} -kertoimia myös lyhytaikaisemmissa kuormitusyhdistelmissä.

4. Suunnitteluohjesuositukset

VTT suosittelee tutkimustulosten perusteella alla esiteltyjä täydennyksiä RakMK-osan B10:n ja Eurocode 5:n mukaisiin naulojen ulosvetokapasiteetin mitoitusohjeisiin. Lisäksi VTT suosittelee ulosvetolujuuden eurooppalaisen testausstandardin EN 1382 puun tasaannutuksia koskevien ohjeiden korjaamista siten, että naulat asennetaan RH85:ssä tasaannutettuun puuhun ja koekappaleet tasaannutetaan tämän jälkeen (20 ± 2)°C:n lämpötilassa ja (40 ± 5) % ilman suhteellisessa kosteudessa ennen testaamista.

RakMK B10 Ohjeet 2001

- RakMK-osan B10 taulukossa 5.6 esitettyjen naulojen tartuntalujuuskertoimien sijasta on suositeltavampaa käyttää naulan käyttöselosteessa tuotekohtaisesti annettuja tartuntalujuuksia. Käyttöselosteen myöntää ympäristöministeriön tähän tarkoitukseen hyväksymä toimielin. *Ohje ko. toimielimille: Käyttöselosteessa annettavat tartuntalujuusparametrit määritetään puolueettomassa tutkimuslaitoksessa testaamalla SFS-EN 1382 standardia soveltaen siten, että naulaus suoritetaan RH85:ssä tasaannutettuun puuhun ja testaus RH40:ssä tasaannutettuna. Aikaluokan B ja C ominaisarvo on sama ja se saadaan jakamalla koetilannetta vastaava ominaisarvo kertoimella 1,3. Aikaluokan A arvot saadaan kertomalla aikaluokan B arvot 0,5:llä, jos $f_u < 1,6 \text{ N/mm}^2$ ja 0,8:lla, jos $f_u > 5,2 \text{ N/mm}^2$, väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti.*
- Liimakärkinäulojen ja profiloitujen konenaulojen tartuntalujuus lasketaan sileiden tai kuumasinkittyjen naulojen kaavoilla ja arvoilla, ellei kyseisellä naulalla ole käyttöselosteessa annettua tartuntalujuutta.

Eurocode 5 - ENV 1995-1-1:1993 ja EN 1995-1-1:2004

- Mikäli naulalle on määritetty tuotekohtainen ulosvetolujuus EN 1382:1999 standardin mukaan RH65:ssä tasaannutetulla puulla, tulee tartuntalujuusparametria $f_{1,k}$ (ENV 1995) tai $f_{ax,k}$ (EN 1995) redusoida sileillä nauloilla kertoimella 0,4 ja profiloituilla nauloilla kertoimella 0,7. Naula luokitellaan prEN 14592 standardin mukaisesti profiloituksi, jos sen ulosvetolujuusparametrin ominaisarvo $f_{ax,k} \geq 6 \text{ N/mm}^2$ RH65:ssä määritettynä puun tiheydellä $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$. Muussa tapauksessa naula luokitellaan sileäksi.
- Mikäli pysyvän ja pitkäaikaisen aikaluokan mitoituskuormien yhteenlaskettu osuus naulan ulosvetokuormituksen mitoitusarvosta on suurempi kuin 1/3, tartuntakapasiteetin laskennassa käytettävälle k_{mod} -kertoimelle ei saa käyttää suurempaa arvoa kuin 0,7 ($k_{mod} \leq 0,7$).

Lähdeluettelo

EN 1381. 1999. Timber Structures – Test methods – Withdrawal capacity of timber fasteners.

EN 1990. 2002. Eurocode - Basis of structural design.

EN 1995-1-1. 2004. Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.

EN 28970. 1992. Timber structures. Testing of joints made with mechanical fasteners. Requirements for wood density

ENV 1991-1. 1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 1: Basis of design.

ENV 1995-1-1. 1993. Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings.

ISO 3130. 1975. Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests.

ISO 3131. 1975. Wood - Determination of density for physical and mechanical tests.

prEN 14592. 2002. Timber structures – Fasteners – Requirements. Brussels CEN.

Onnettomuustutkintakeskus. 2001. Supermarketin sisäkaton putoaminen Pudasjärvellä 27.12.2000. Tutkintaselostus B 2/2000 Y. Helsinki. ISBN 951-836-052-9.

Suomen rakentamismääräyskokoelma B10 – Puurakenteet – Ohjeet 2001. Ympäristöministeriön asetus puurakenteista, annettu Helsingissä 6.10.2000.

Liite A: Naulojen myyntipakkauksissa esitetyt tuotetiedot

<p>D</p> <p>CN-KONENAULA HUGGEN SPIK/JAGGED NAIL</p> <p>75 x 2,8 22°</p> <p>KIRKAS / BLANK / BRIGHT 17-09-01 KPL/ST/PCS 3000 KESKO ART. 369133 03SL177528LTK</p>  <p>6 414543 638011</p>	<p>E</p> <p>CN-KONENAULA HUGGEN SPIK/JAGGED NAIL</p> <p>75 x 2.8 22°</p> <p>KUUMASINKITTY / VFZ / HDG 20-02-02 KPL/ST/PCS 3000 KESKO ART. 369140 03SL277528LTK</p>  <p>6 414543 680423</p>
<p>F</p> <p>NELIKULMANAULA FYRKANTSPIK</p> <p>KIRKAS BLANK KOODI 15L119031 KPL 3000 ST</p> <p>90 x 3.1</p> <p>1998</p>	<p>G</p> <p>Paineilmanauloja Täyskanta, muovisidos, liimakärki</p> <p>2,8 x 90 1200 kpl</p> <p>KUUMASINKITTY, TARRANAULA</p> <p>Tuoteno: T9028KS 18-09-02</p> <p>OY MECHELIN COMPANY AB Mekaanikonkatu 13, 00810 Helsinki Puh. 09-755151 Fax. 09-75515252 6 414543 651072</p> 
<p>H</p> <p>34° KONENAULA PAPER COLLATED STRIP NAIL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kuumasinkitty, kampa • Hot dipped, ring <p>75 x 3,1mm</p> <p>2500 Kpl Pcs</p>  <p>6 410404 625527</p> <p>Valmistuttaja / Manufactured for: Kesko Ltd / Tools, Finland</p> 	

Liite B: Mitatut puun kosteudet ja tiheydet

Lyhytaikaiskokeiden koekappaleet:

Tilaaaja: Ympäristöministeriö
Mittaus: Puun kosteus ja tiheys
Standardi: ISO 3130, ISO 3131

PVM. 21.2.2003
TYÖ: Naulojen ulosveto

Koekappaleen tunnus	Paksuus mm	Leveys mm	Pituus mm	Märkäpaino g	Kuivapaino g	Kosteus ω %	Tiheys ρ_{ω} kg/m ³	Tiheys ρ_0 kg/m ³
AK1	50,88	43,68	146,83	118,50	104,06	13,9	363	319
AK2	52,23	44,59	146,76	125,86	111,06	13,3	368	325
AK3	52,30	42,74	146,47	117,04	102,81	13,8	357	314
AK4	51,35	46,73	146,66	133,61	117,35	13,9	380	333
AK5	51,97	44,45	146,14	133,71	117,61	13,7	396	348
AR	51,78	43,44	146,62	157,05	137,70	14,1	476	418
BN1	51,95	43,22	145,42	112,79	101,99	10,6	345	312
BN2	50,57	43,50	145,42	111,02	100,23	10,8	347	313
CK1	52,38	42,39	147,02	117,49	102,19	15,0	360	313
CK2	51,69	42,79	147,13	119,93	103,96	15,4	369	319

Pitkäaikaiskokeiden koekappaleet:

Tilaaaja: Ympäristöministeriö
Mittaus: Puun kosteus ja tiheys
Standardi: ISO 3130, ISO 3131

PVM. 14.10.2004
TYÖ: Naulojen pitkäaikainen ulosveto

Koekappaleen tunnus	Paksuus mm	Pituus mm	Leveys mm	Märkäpaino g	Kuivapaino g	Kosteus ω %	Tiheys $\rho_{\omega} = \rho_{RH65}$ kg/m ³	Tiheys ρ_0 kg/m ³
Lankku A	51,71	52,21	145,56	142,13	126,25	12,6	362	321
Lankku B	51,91	52,76	145,67	147,48	131,15	12,5	370	329

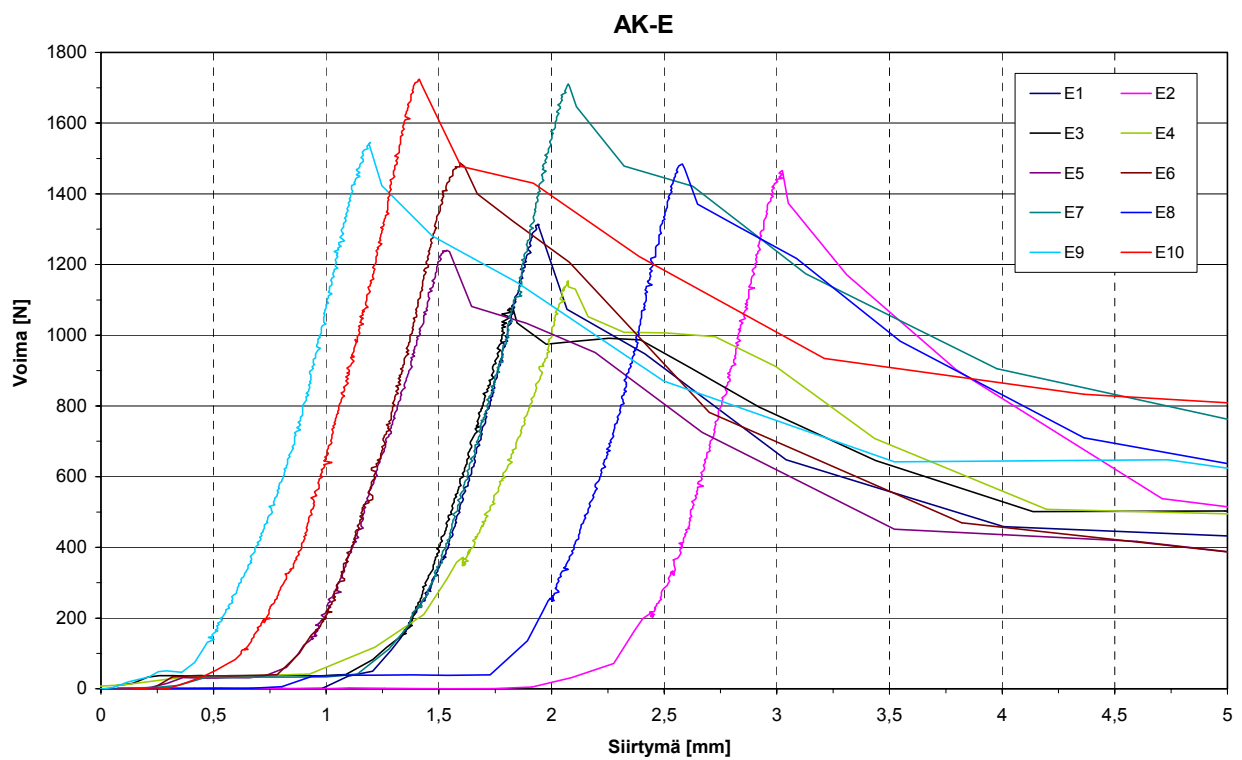
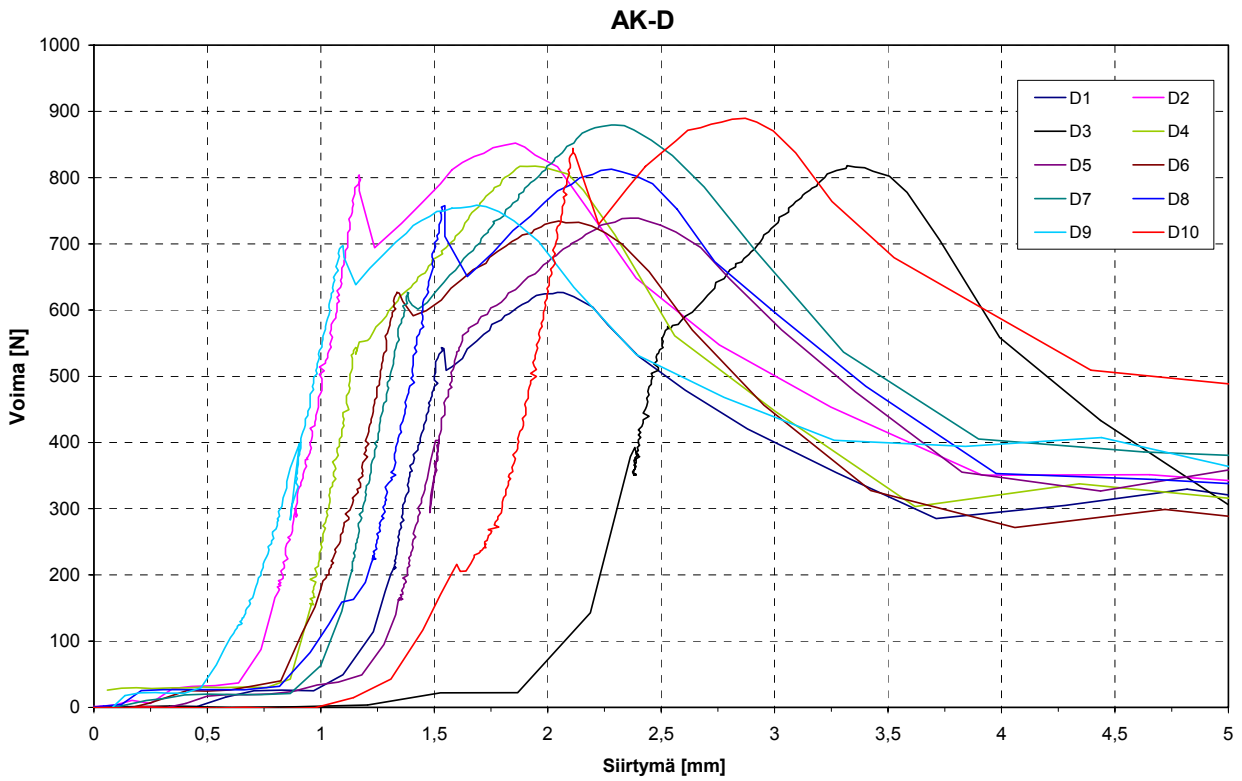
Lankussa A naulat nro: F1, F2, F3, F4, F5, H1, H2 ja H3

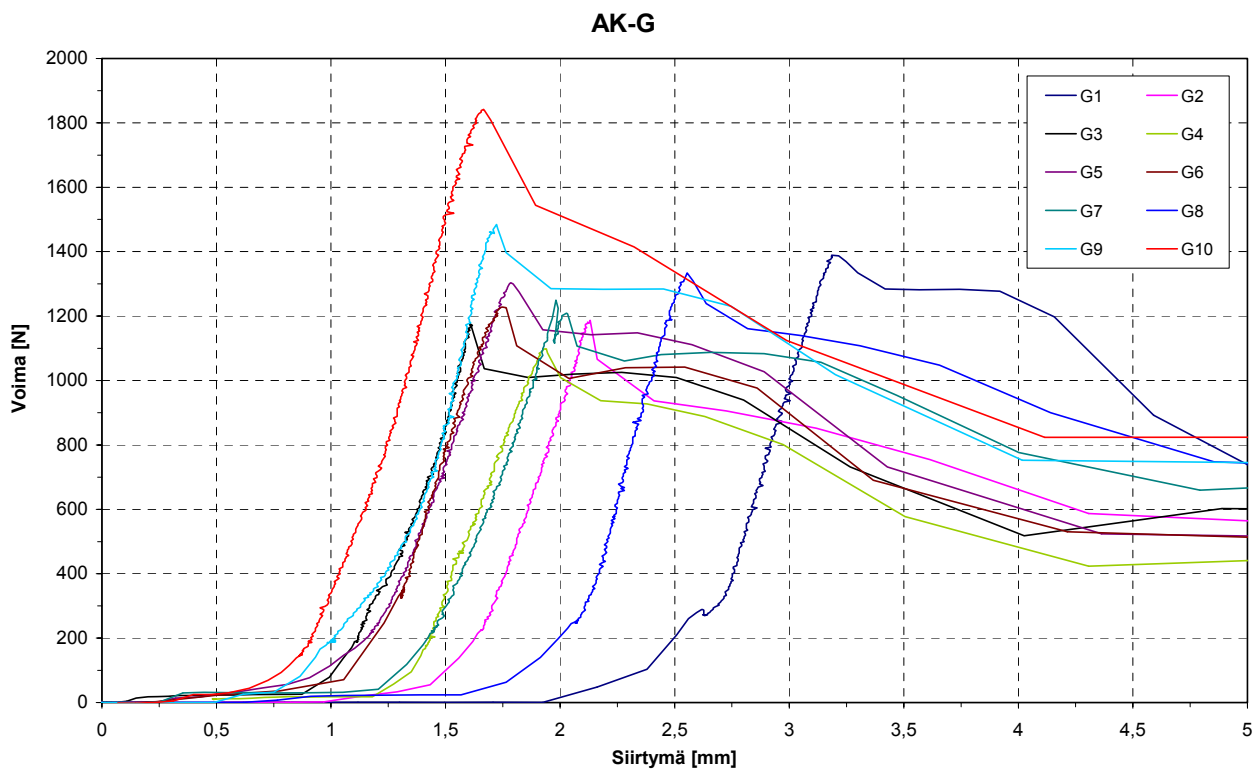
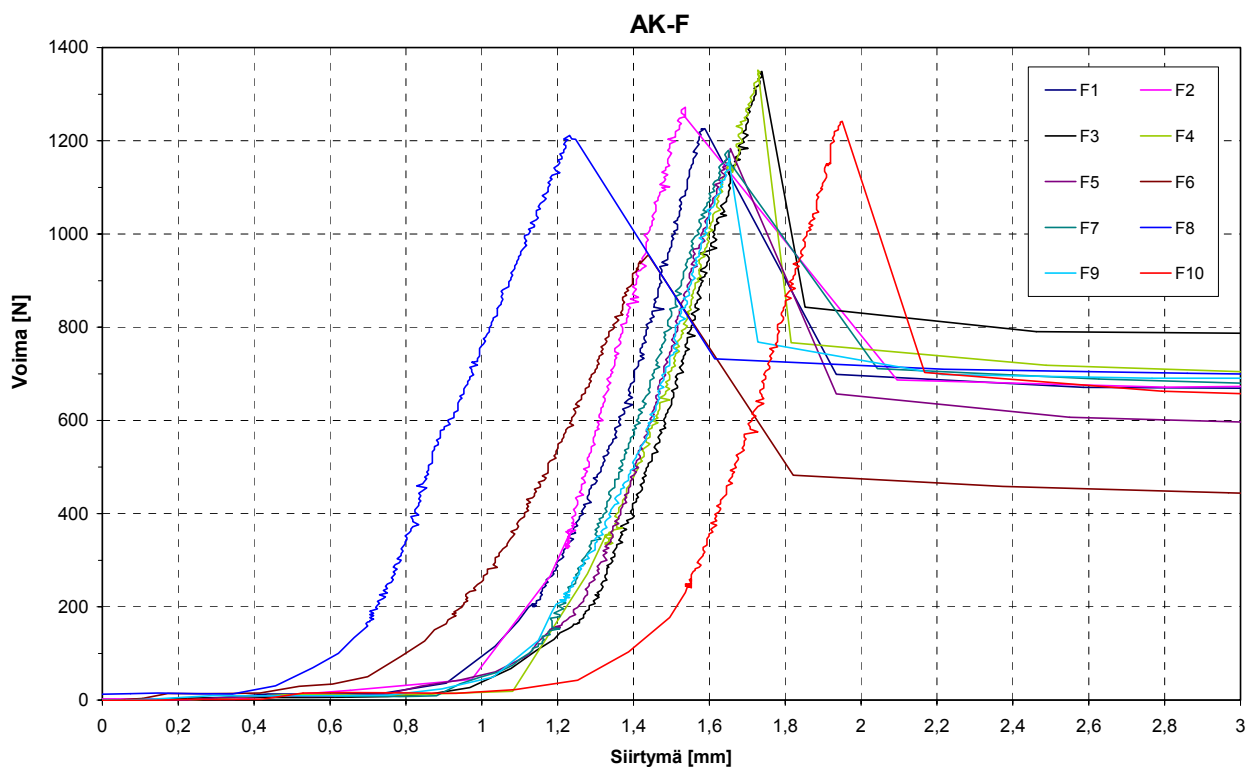
Lankussa B naulat nro: D1, D2, D3, D4, D5, H4 ja H5

Liite C: Mitatut tartuntapituudet

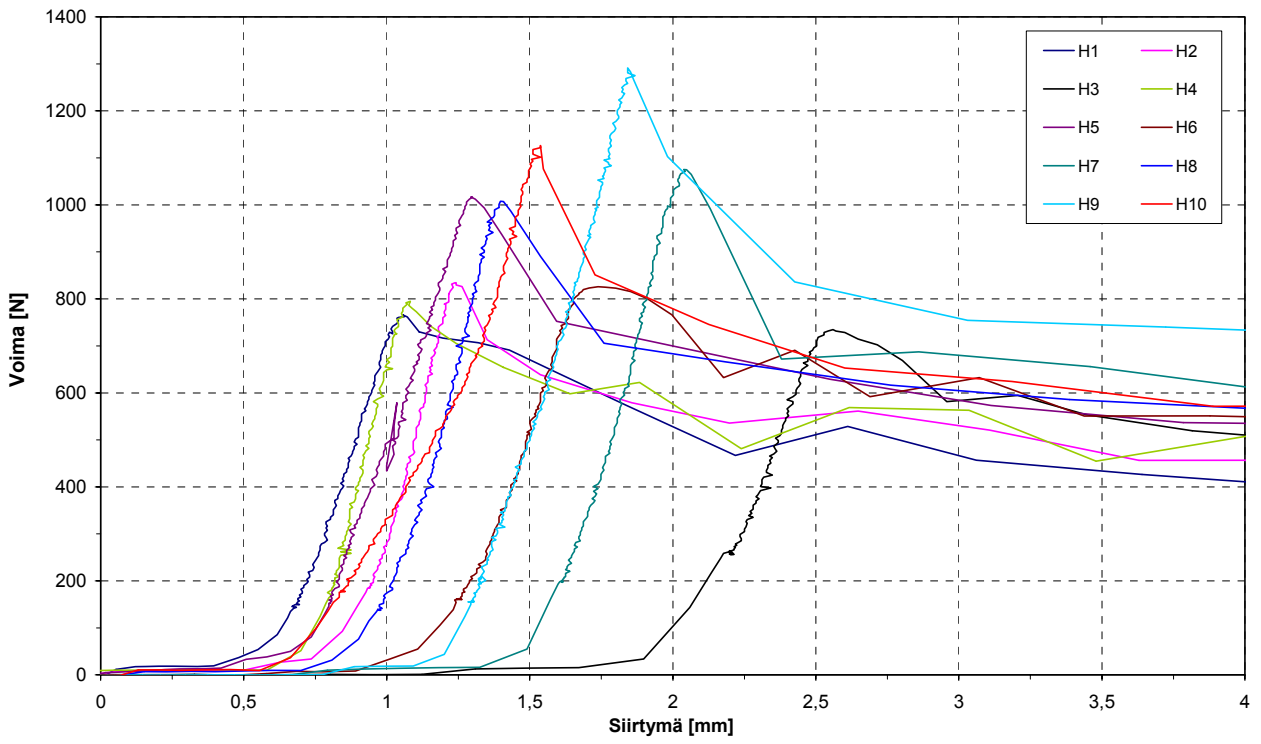
Mitatut etäisyydet puun pinnasta naulan kannan yläpintaan l_k ja sen mukaan lasketut tartuntapituudet l_p .										
Koekappale	naula nro	tavoite	mitattu	l_p	Koekappale	naula nro	tavoite	mitattu	l_p	
		l_k (mm)	l_k (mm)	(mm)			l_k (mm)	l_k (mm)	(mm)	
	F1	35	35,32	54,68		F1	35	35,84	54,16	
	F2	35	34,16	55,84		F2	35	37,08	52,92	
	D1	25	24,08	50,92		AR-	F3	35	36,79	53,21
AK1-	D2	25	23,22	51,78		F4	35	37,28	52,72	
	E1	25	23,43	51,57		F5	35	35,93	54,07	
(puu nro K1)	E2	25	23,82	51,18	(puu nro R2)	H1	20	20,34	54,66	
	G1	40	38,95	51,05		H2	20	22,01	52,99	
RH65	G2	40	40,27	49,73	RH65	H3	20	30,91	44,09	
	H1	20	23,89	51,11		H4	20	28,74	46,26	
	H2	20	19,97	55,03		H5	20	23,82	51,18	
	F3	35	34,91	55,09		F1	35	36,23	53,77	
	F4	35	35,71	54,29		F2	35	35,21	54,79	
	D3	25	23,47	51,53		F3	35	42,22	47,78	
AK2-	D4	25	23,80	51,20	BN1-	F4	35	35,52	54,48	
	E3	25	24,54	50,46		F5	35	35,34	54,66	
(puu nro K1)	E4	25	22,05	52,95	(puu nro N1)	F6	35	35,97	54,03	
	G3	40	38,86	51,14		F7	35	36,39	53,61	
RH65	G4	40	38,92	51,08	RH40	F8	35	34,93	55,07	
	H3	20	23,50	51,50		F9	35	35,02	54,98	
	H4	20	13,73	61,27		F10	35	33,50	56,50	
	F5	35	35,45	54,55		G1	40	38,81	51,19	
	F6	35	38,00	52,00		G2	40	38,61	51,39	
	D5	25	24,45	50,55		G3	40	37,88	52,12	
AK3-	D6	25	23,96	51,04	BN2-	G4	40	39,58	50,42	
	E5	25	23,00	52,00		G5	40	38,93	51,07	
(puu nro K1)	E6	25	20,39	54,61	(puu nro N1)	H1	20	18,19	56,81	
	G5	40	38,58	51,42		H2	20	19,32	55,68	
RH65	G6	40	39,87	50,13	RH40	H3	20	10,61	64,39	
	H5	20	17,10	57,90		H4	20	17,52	57,48	
	H6	20	21,57	53,43		H5	20	16,15	58,85	
	F7	35	35,49	54,51		F1	35	34,13	55,87	
	F8	35	32,96	57,04		F2	35	32,82	57,18	
	D7	25	23,37	51,63		F3	35	32,83	57,17	
AK4-	D8	25	24,07	50,93	CK1-	F4	35	34,36	55,64	
	E7	25	23,70	51,30		F5	35	33,92	56,08	
(puu nro K2)	E8	25	23,29	51,71	(puu nro K1)	G1	40	38,12	51,88	
	G7	40	41,17	48,83		G2	40	40,51	49,49	
RH65	G8	40	39,88	50,12	RH85	G3	40	39,05	50,95	
	H7	20	21,05	53,95		H1	20	13,32	61,68	
	H8	20	15,13	59,87		H2	20	21,07	53,93	
	F9	35	36,30	53,70		F1	35	36,28	53,72	
	F10	35	36,26	53,74		F2	35	36,96	53,04	
	D9	25	22,24	52,76		F3	35	34,34	55,66	
AK5-	D10	25	25,08	49,92	CK2-	F4	35	34,39	55,61	
	E9	25	24,40	50,60		F5	35	34,28	55,72	
(puu nro K2)	E10	25	23,58	51,42	(puu nro K2)	G4	40	38,61	51,39	
	G9	40	39,43	50,57		G5	40	38,36	51,64	
RH65	G10	40	39,72	50,28	RH85	H3	20	19,40	55,60	
	H9	20	22,92	52,08		H4	20	19,59	55,41	
	H10	20	22,10	52,90		H5	20	28,23	46,77	

Liite D: Mitatut voima-siirtymäriippuvuudet

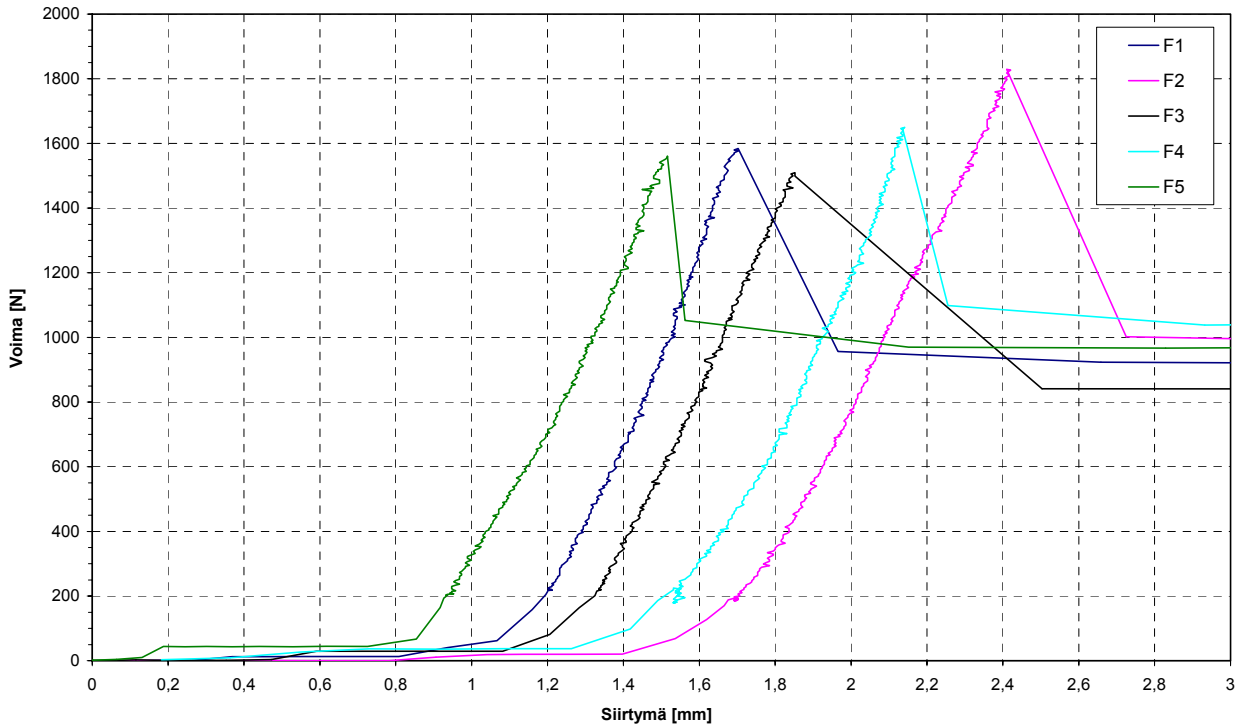


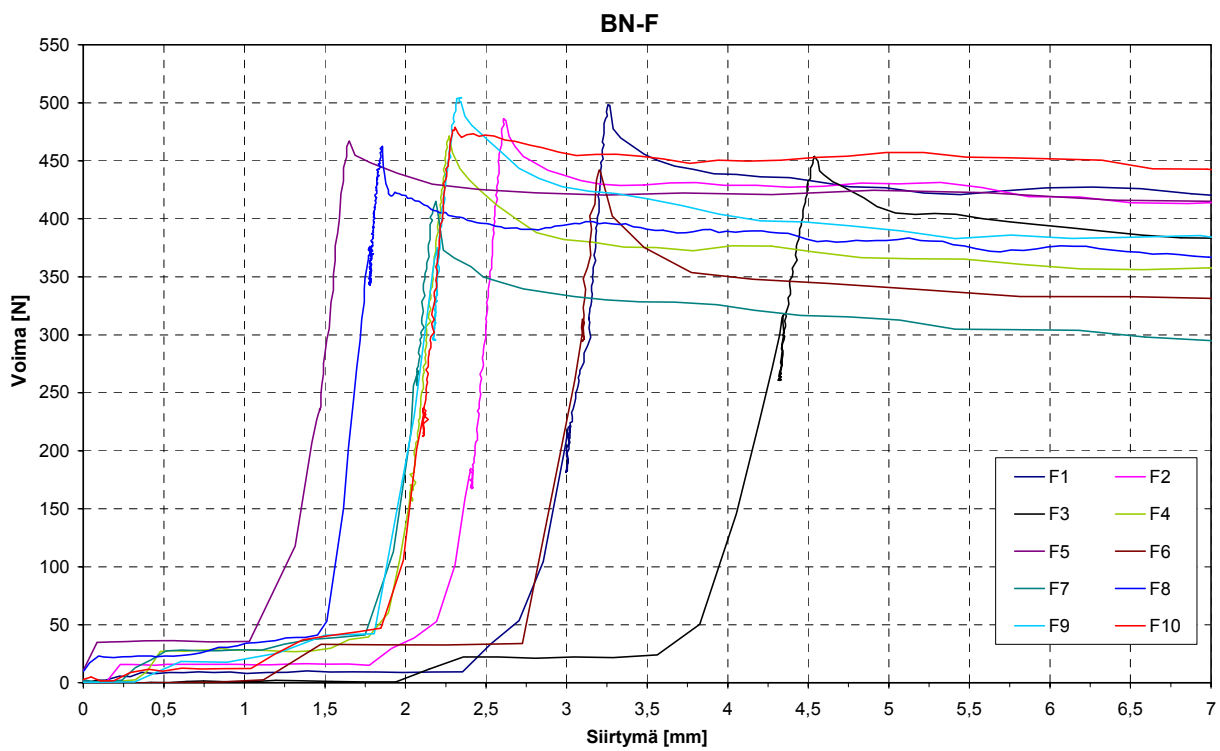
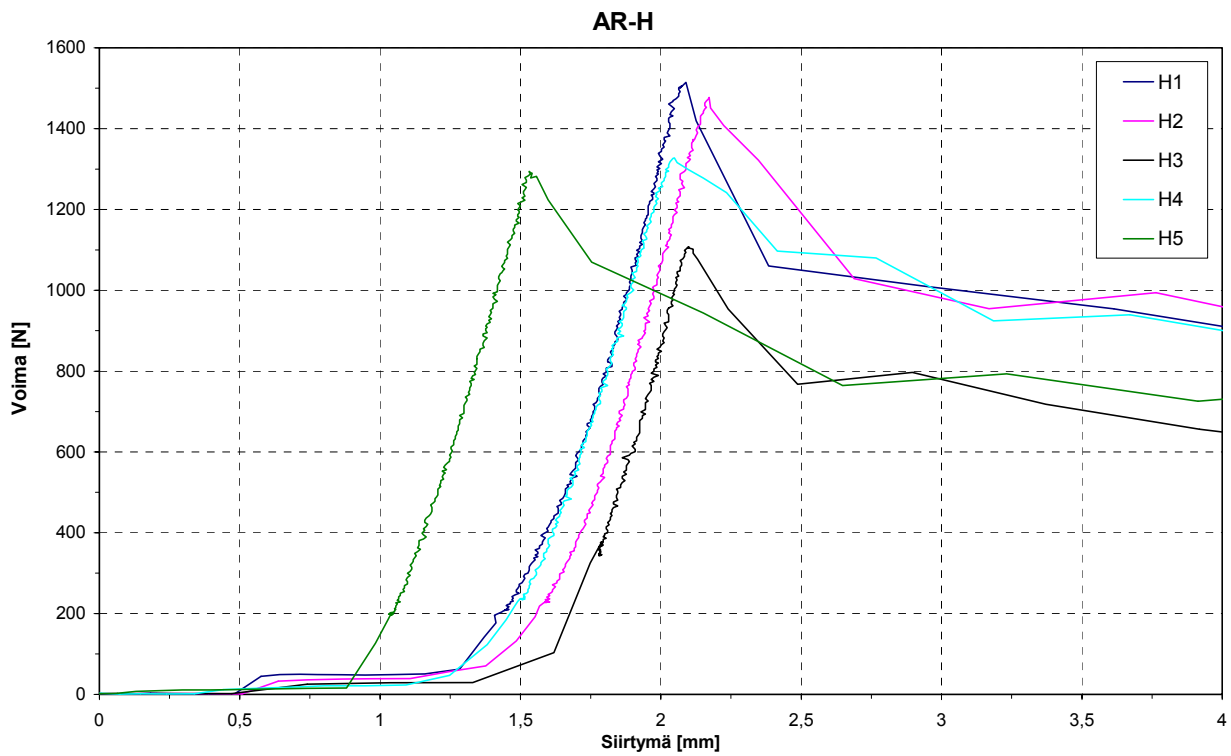


AK-H

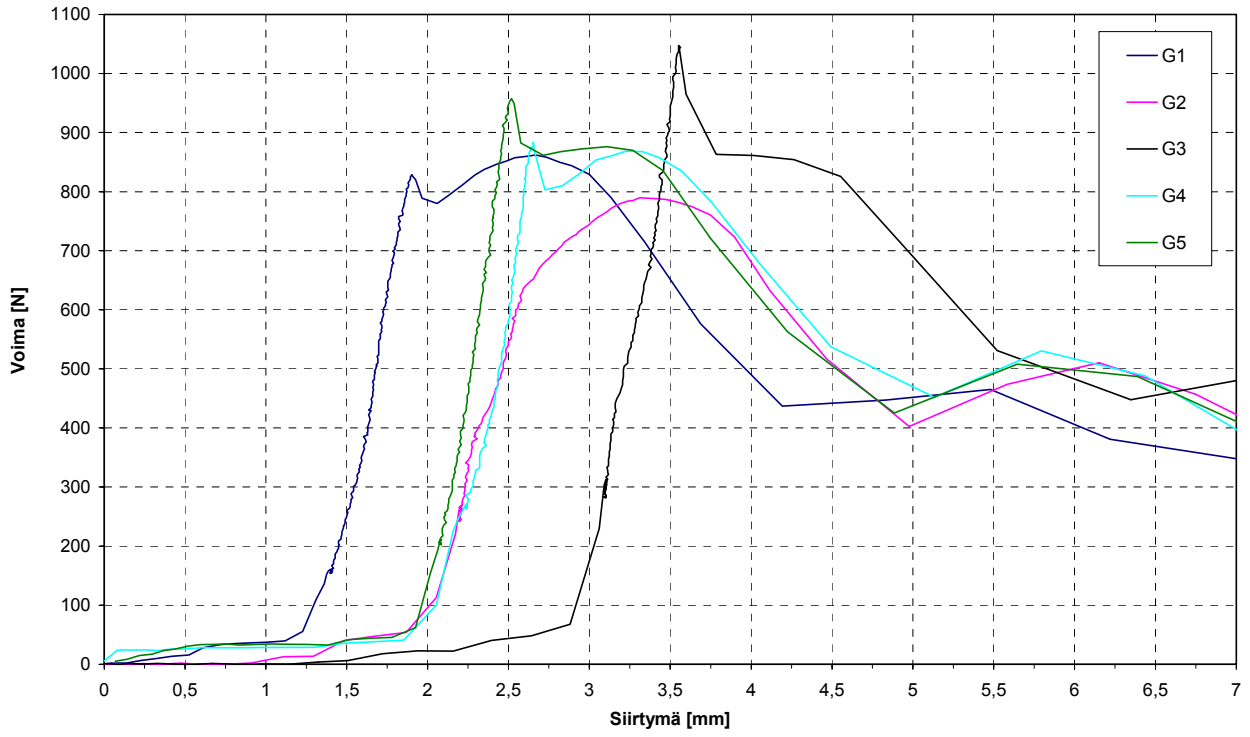


AR-F

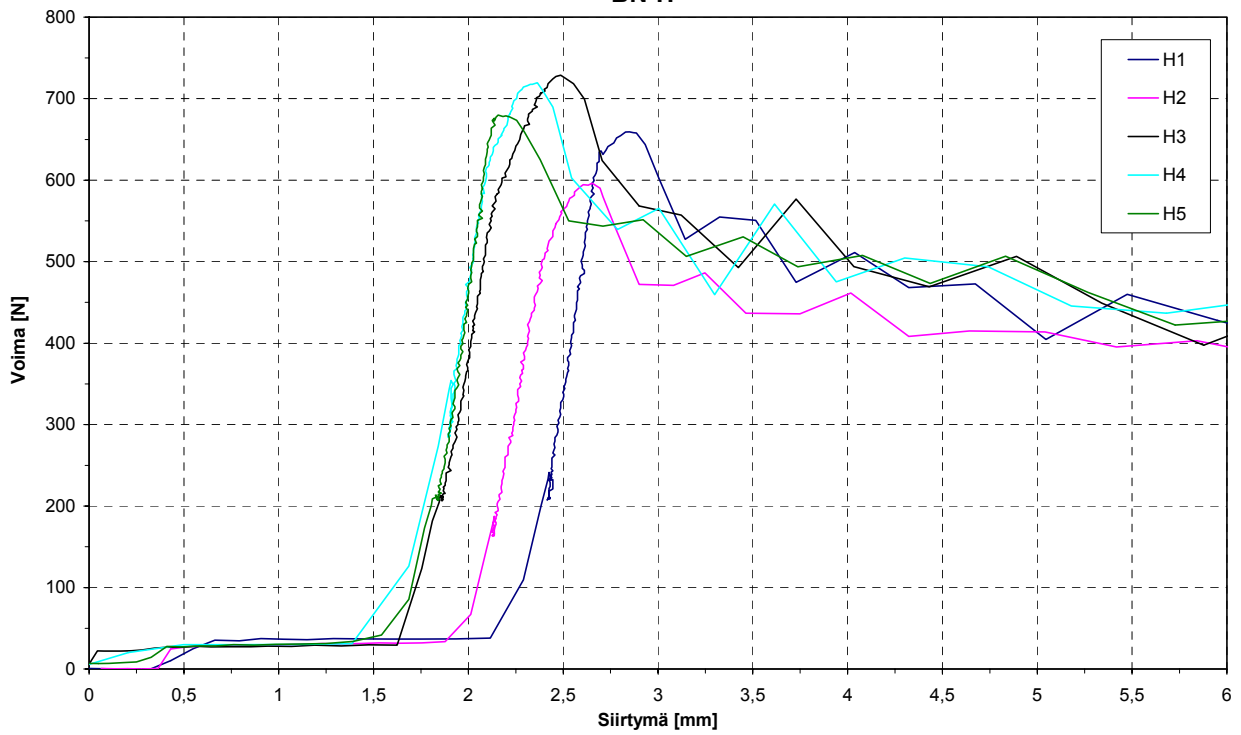


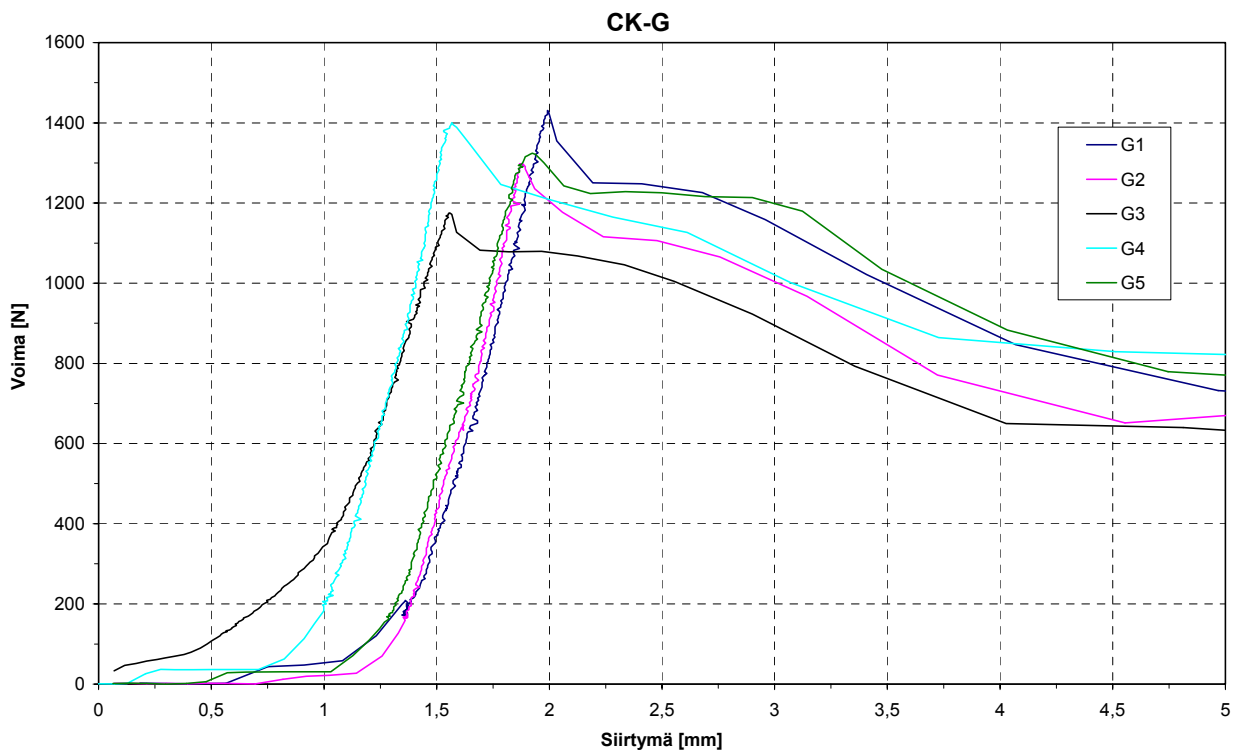
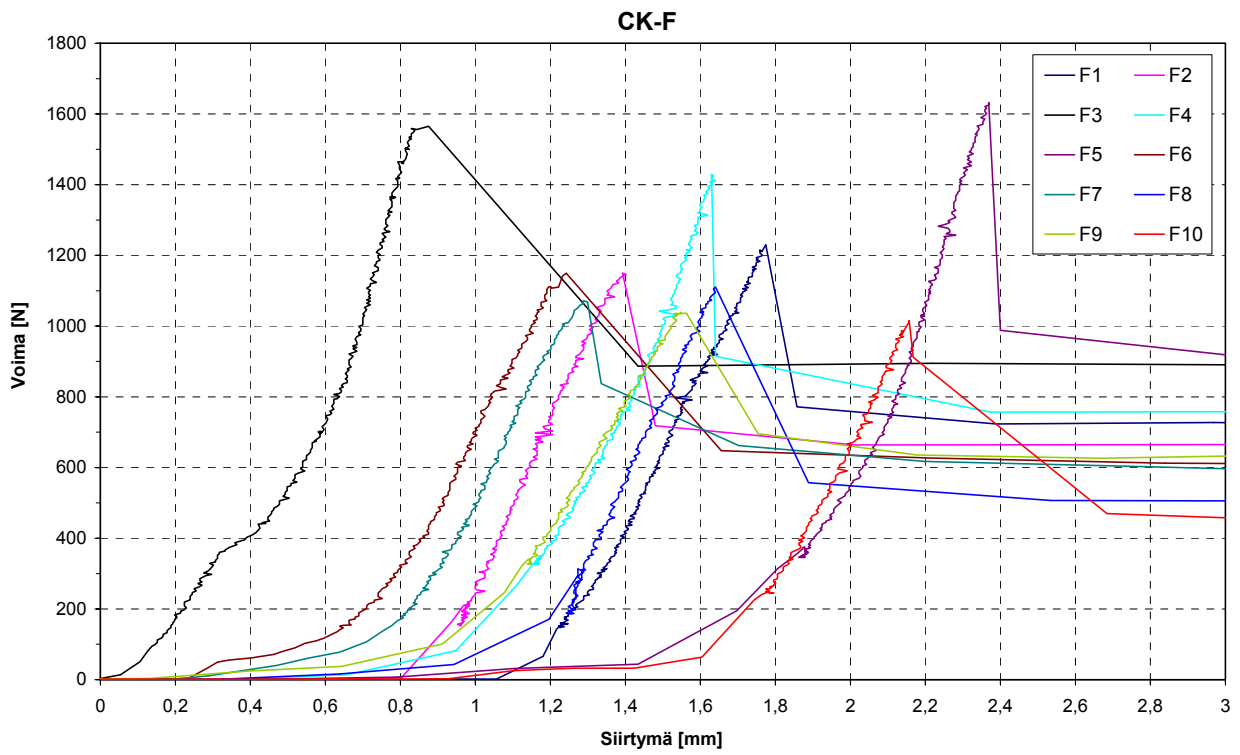


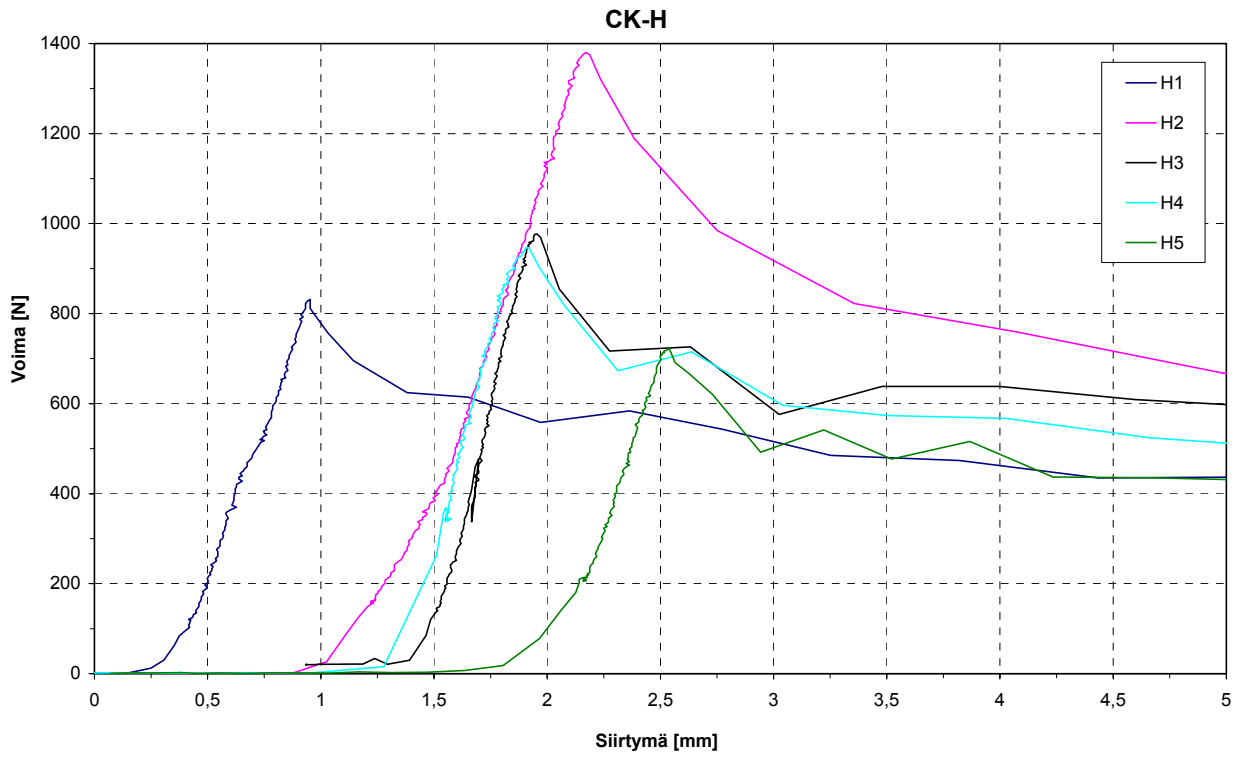
BN-G



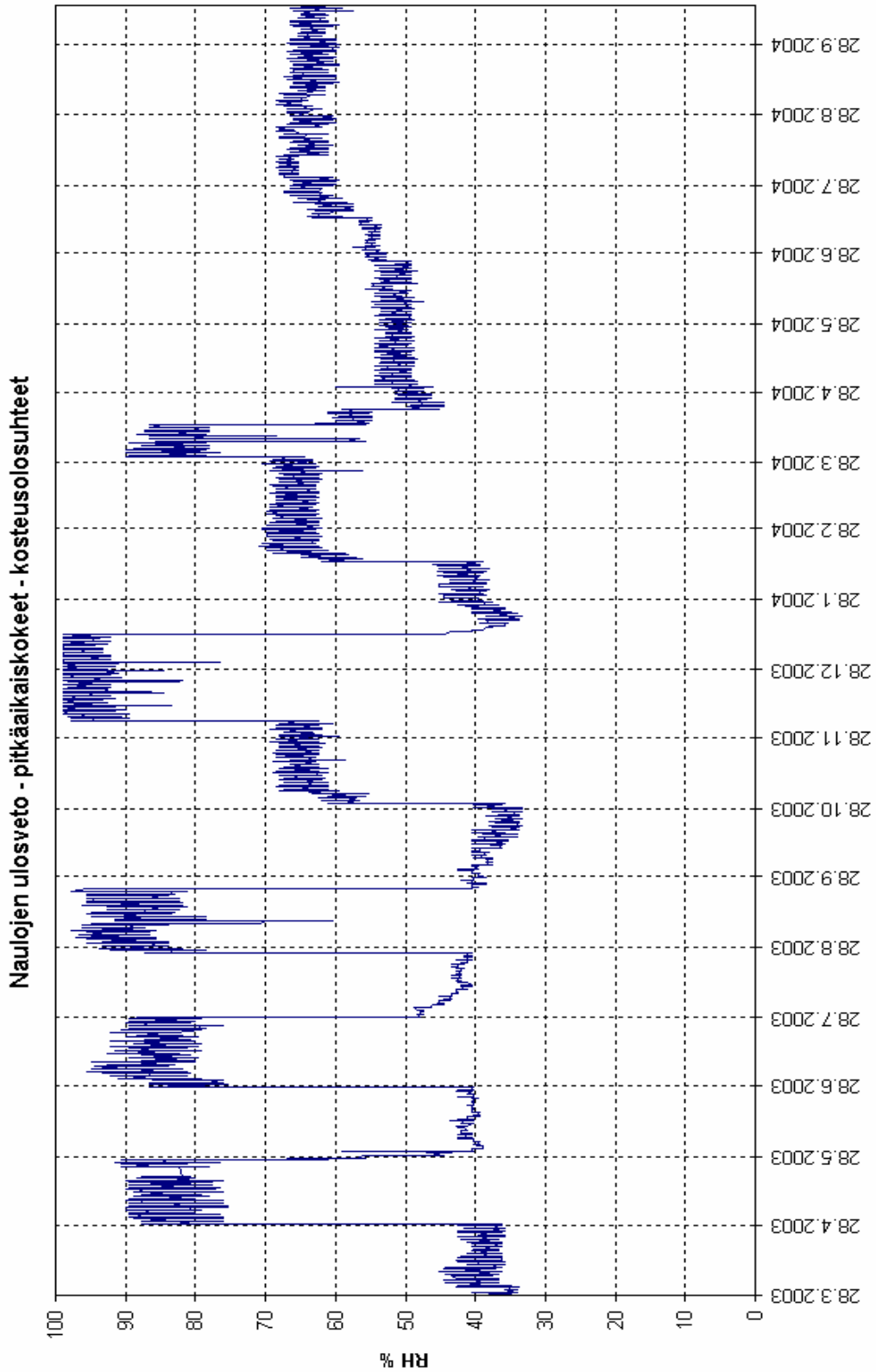
BN-H



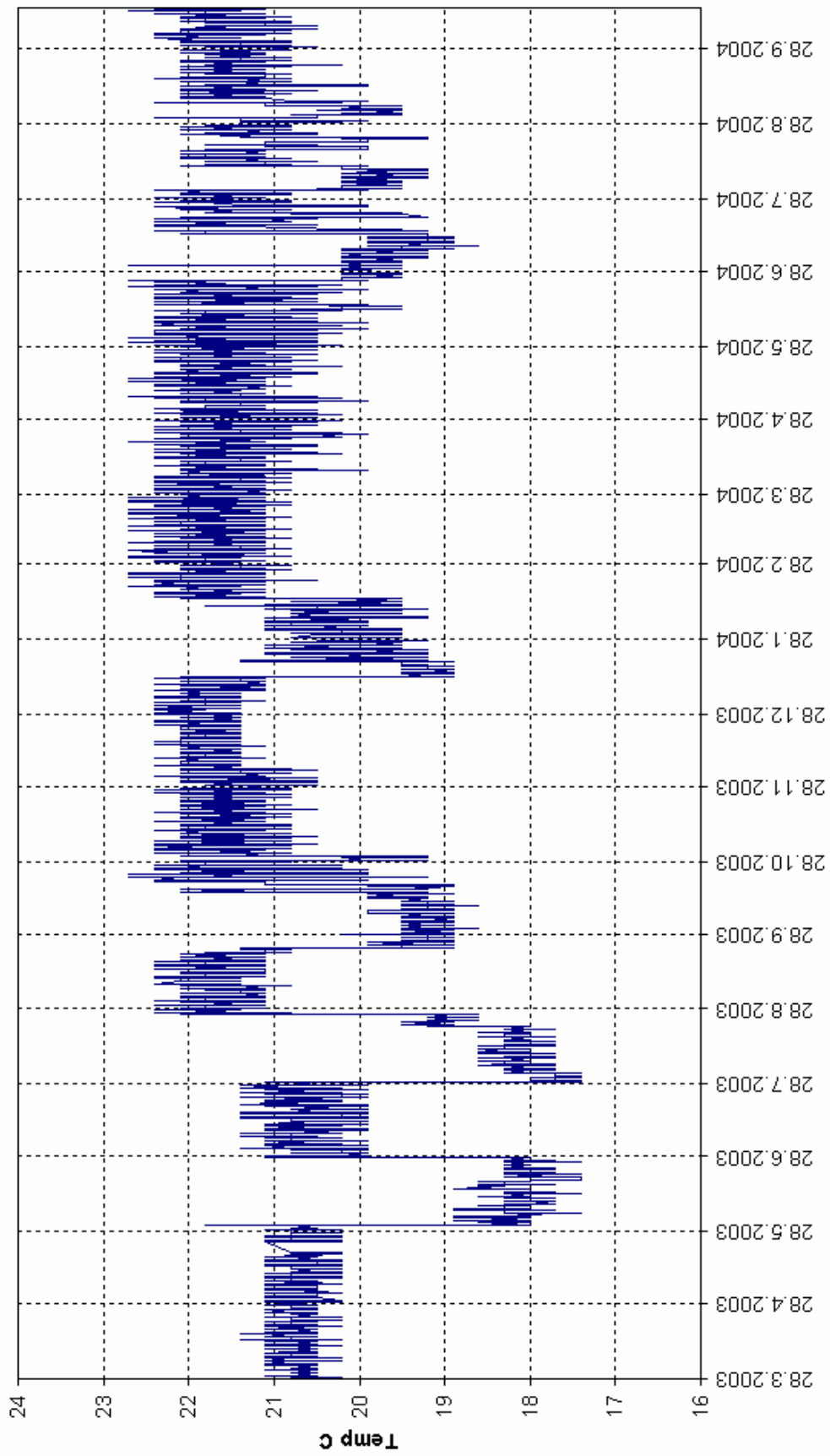




Liite E: Pitkäaikaiskokeiden kosteus- ja lämpötilaolosuhteet



Naulojen ulosveto - pitkäaikaiskokeet - lämpötila



VTT WORKING PAPERS

VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka – VTT BYGG OCH TRANSPORT – VTT BUILDING AND TRANSPORT

- 4 Hietaniemi, Jukka, Hostikka, Simo & Vaari, Jukka. FDS simulation of fire spread – comparison of model results with experimental data. 2004. 46 p. + app. 6 p.
- 6 Viitanen, Hannu. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet – betonin homeenkesto. 2004. 25 s.
- 7 Gerlander, Riitta & Koivu, Tapio. Asiantuntijapalvelu yritysten innovaatiojohtamisen kehittämiseksi Piilaakson osaamiseen tukeutuen. IMIT SV –hankkeen loppuraportti. 2004. 25 s. + liitt. 11 s.
- 11 Lakka, Antti. Rakennustyömaan tuottavuus. 2004. 26 s. + liitt. 15 s.
- 14 Koivu, Tapio, Tukiainen, Sampo, Nummelin, Johanna, Atkin, Brian & Tainio, Risto. Institutional complexity affecting the outcomes of global projects. 2004. 59 p. + app. 2 p.
- 15 Rönty, Vesa, Keski-Rahkonen, Olavi & Hassinen, Jukka-Pekka. Reliability of sprinkler systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2004. 89 p. + app. 9 p.
- 18 Nyssönen, Teemu, Rajakko, Jaana & Keski-Rahkonen, Olavi. On the reliability of fire detection and alarm systems. Exploration and analysis of data from nuclear and non-nuclear installations. 2005. 62 p. + app. 6 p.
- 19 Tillander, Kati, Korhonen, Timo & Keski-Rahkonen, Olavi. Pelastustoimen määräiset seurantamittarit. 2005. 123 s. + liitt. 5 s.
- 20 Hostikka, Simo & Mangs, Johan. MASIFIRE – Map Based Simulation of Fires in Forest-Urban Interface. Reference and user's guide for version 1.0. 2005. 52 p. + app. 2 p.
- 21 Kortesmaa, Markku & Kevarinmäki, Ari. Massiivipuu maalarakentamisessa. Suunnitteluohje. 2005. 76 s. + liitt. 6 s.
- 22 Ojanen, Tuomo & Ahonen, Jarkko. Moisture performance properties of exterior sheathing products made of spruce plywood or OSB. 2005. 52 p. + app. 12 p.
- 27 Kevarinmäki, Ari. Koneaulojen ulosvetolujuus. 2005. 24 s. + liitt. 12 s.

LÄHDELUETTELO

Seuraavat lähteet on taltioitu Onnettomuustutkintakeskukseen:

1. Päätös tutkinnan aloittamisesta, kirje 143/5Y, 6.5.2005
2. Onnettomuustutkintakeskuksen kirje ympäristöministeriölle 144/5Y, 9.5.2005
3. Ympäristöministeriön kirje YM3/629/2003, 10.5.2005
4. Ympäristöministeriön kirje kuntien rakennustarkastajille YM7/629/2005, 8.7.2005
5. Rakentamiseen liittyviä piirustuksia vuodelta 1997
6. Laajennukseen liittyviä piirustuksia vuodelta 2002
7. Kattoristikoiden yläpaarteen nurjahdustuentaan liittyviä piirustuksia vuodelta 2002
8. Valvontakameratallenteita (ei julkinen)
9. Hämeen hätäkeskuksen puherekisterin purku
10. Sisäkaton rakenteiden punnitustulokset
11. Lausunnot tutkintaselostusluonnoksesta:
 - Ympäristöministeriön asunto- ja rakennusosaston lausunto
 - Sisäasiainministeriön pelastusosaston lausunto
 - Sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosaston lausunto
 - Hätäkeskuslaitoksen lausunto
 - Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen lausunto
 - Rakennustarkastusyhdistyksen lausunto
 - Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLlin lausunto
 - Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.:n lausunto