



## Tutkintaselostus

B2/2006Y

# **Kauppakeskuksen katon sortumisvaara Savonlinnassa 31.3.2006**

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  
Toimistosihteeri / 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

Muut onnettomuudet / Övriga olyckor / Other accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Accident Investigator Kai Valonen

---

ISBN 951-836-211-4  
ISSN 1239-5323

Multiprint Oy, Helsinki 2007

## TIIVISTELMÄ

Perjantaina 31.3.2006 kello 4.45 havaittiin Savonlinnalaisen kauppakeskuksen kattoa kannattavien jännebetonipalkkien ylälaipoissa murtumia. Vauriot arvioitiin niin vakaviksi, että myymälä tyhjennettiin ihmisistä. Myymälässä oli vaurion havaitsemishetkellä vain myymälään tavaratäydennyistä tuonut autonkuljettaja ja neljä marketin henkilökuntaan kuulunutta.

Tavaraa myymälään tuonut autonkuljettaja havaitsi lattialla olleet betonin murut. Murut vaikeuttivat pumppukärryn työntämistä ja sen vuoksi hän alkoi tarkastella, mitä lattialla oli. Autonkuljettaja kertoi havaitsemistaan murusista myymälän työntekijälle. Työntekijät menivät yhdessä autonkuljettajan kanssa katsomaan kohtaa, jossa betonin murusia oli. He näkivät murusten yläpuolella olevassa katon betonisessa kannatuspalkissa murtuman.

Kauppakeskus oli suljettuna viikonlopun ajan, jonka aikana pahiten vaurioituneet palkit tuettiin ja rakennustarkastaja antoi luvan liikkeen avaamiseen maanantaina.

Syynä katon kannatuspalkkina käytetyn jännebetonipalkin (HI-palkin) ylälaipan murtumiseen oli raudoituksen suunnittelussa ja palkin mitoitusarkastelussa olevat puutteet, puutteelliset raudituspiirustukset ja ongelmat raudoituksen sijoittamisessa palkkeja valmistettaessa. Taustatekijänä puutteisiin suunnittelussa ja mitoitusarkasteluissa oli yksityiskohtaisten ohjeiden puuttuminen, virheelliset laskentaotaksumat, kuormituksiin nähden palkin pieni korkeus ja leveys sekä tiedonkulun puute suunnittelijoiden välillä. Valmistuksessa toteutunut raudoituksen sijoittelu ei vastaa voimassa olleiden betoninormien rakenneluokan 1 sijaintitoleransseja.

Vastaavanlaisten vaaratilanteiden ehkäisemiseksi tutkintalautakunta suosittelee, että HI-palkeille tulisi laatia yksiselitteiset suunnitteluohjeet sisältäen korjausohjeet, yli kymmenen vuotta vanhat HI-palkit tulisi tarkastaa sekä betonitehtaiden laadunvalvontaa ja auditointia sekä suunnitelmien toteutumisen seuranta tulisi kehittää.

## SAMMANDRAG

### RISK FÖR TAKRAS I KÖPCENTRUM I NYSLOTT 31.3.2006

Fredagen den 31.3.2006 klockan 4.45 upptäcktes sprickor i övre flänsen i de bärande spännbetongbalkarna i taket till ett köpcentrum i Nyslott. Skadorna uppskattades vara så allvarliga att affären utrymdes. I affären fanns vid tidpunkten för upptäckten av skadan endast en chaufför som kört ett parti varor till affären och fyra anställda.

Chauffören som lämnat in varorna upptäckte betongbitar på golvet. Bitarna gjorde det svårt att skjuta gaffellyftvagnen, varför han tittade efter vad som fanns på golvet. Chauffören underrättade affärens anställda om betongbitarna och de gick tillsammans till platsen för att ta en närmare titt. I den bärande betongbalken alldeles ovanför de nedfallna bitarna syntes sprickor.



Köpcentrumet var stängt under veckoslutet, och under veckoslutet stödde man de mest skadade balkarna, och byggnadsinspektören gav tillstånd att öppna affären på måndagen.

Orsaken till sprickorna i den bärande spännbetongbalken (HI-balken) i taket var brister i planeringen av armeringen och balkens dimensioneringskontroll, bristfälliga armeringsritningar och problem vid armeringens placering vid tillverkningen av balkarna. Bristerna i planeringen och dimensioneringskontrollen berodde på avsaknaden av detaljerade anvisningar, felaktiga kalkyleringsantaganden, balkens ringa höjd och bredd i förhållande till belastningen samt bristande informationsutbyte mellan konstruktörerna. Armeringens placering motsvarar inte heller lägestoleranserna enligt gällande betongnormer för konstruktionsklass 1.

För att förhindra motsvarande farosituationer rekommenderar undersökningskommissionen att entydiga projekteringsanvisningar med reparations anvisningar för HI-balkar utarbetas, HI-balkar som är mer än tio år gamla inspekteras och kvalitetsövervakningen och -revisionen av betongfabriker samt uppföljningen av hur planerna genomförs utvecklas.

## **SUMMARY**

### **THREAT OF COMMERCIAL CENTRE ROOF COLLAPSE IN SAVONLINNA ON 31 MARCH 2006**

On Friday 31 March 2006 at 4.45 p.m., ruptures were detected within the ridge region in the upper flanges of the pre-stressed concrete beams supporting the roof. These defects were estimated to be severe enough to warrant the evacuation of the building, which was done. Upon the defects' detection, only a driver transporting supplies to the store and four store employees were inside.

The driver detected grains of concrete on the floor. Since these were impeding him from pushing his roller cart, he began examining them. The driver informed a member of the store personnel about the grains. Together with the driver, the store employees examined the location of the grains, finding that a rupture had formed in the concrete support beam located above.

The commercial centre remained closed for a weekend, during which the beams that had sustained the most damage were shored up. Following this, a building inspector granted permission for the store to reopen on Monday.

The reasons for the rupture of the upper flange of the pre-stressed beam (HI beam) were failings in the design of the iron mounting and in the beam fitting inspection, inadequate iron mounting drawings and problems regarding the positioning of the irons during beam construction. A lack of detailed instructions, erroneous calculation estimates, low beam height and width with regard to load, and a lack of communication between the designers were the underlying factors for the inadequacies in design and fitting inspection. The positioning of reinforcing bars in the fabrication does not comply with the positioning tolerance of construction class 1 of the valid concrete standards.

To prevent similarly dangerous situations, the investigation commission recommends that unambiguous design instructions, including repair instructions, be drafted for HI beams, over ten-year-old HI beams be inspected, and that quality control, auditing and plan realisation monitoring in concrete factories be developed.

## ALKUSANAT

Savonlinnalaisen marketin kattoa kannattavien jännebetonipalkkien ylälaipoissa havaittiin 31.3.2006 murtumia. Vauriot arvioitiin niin vakaviksi, että myymälä tyhjennettiin. Myymälässä oli vaurion havaitsemishetkellä vain myymälään tavaratäydennystä tuonut autonkuljettaja ja neljä marketin henkilökuntaan kuulunutta. Onnettomuustutkintakeskus käynnisti samana päivänä onnettomuuksien tutkinnasta annetun lain (373/1985) 5 §:n nojalla tutkinnan, arvioi tapahtuneen suuronnettomuuden vaaratilanteeksi ja asetti tutkintalautakunnan 6.4.2006.

Tutkintalautakunnan puheenjohtajaksi määrättiin johtava tutkija Esko Värhti Onnettomuustutkintakeskuksesta ja jäseniksi pelastusjohtaja Anssi Parviainen ja tekniikan tohtori Matti V. Leskelä. Paikkatutkinnassa tutkintalautakunnan apuna oli poliisin Itä-Suomen läänin teknisen rikostutkimuskeskuksen Savonlinnan yksikön kaksi tutkijaa.

Tutkintalautakunnan tehtävänä oli selvittää jännebetonipalkkien murtumiseen vaikuttaneet tekijät ja olosuhteet sekä antaa suosituksia, joita toteuttamalla vastaavat rakenteiden vaurioitumiset voitaisiin välttää.

Tässä tutkintalautakunnan laatimassa tutkintaselostuksessa esitetään tapahtumien kulusta muun muassa vaurioiden havaitseminen sekä sen seurauksena tehdyt toimenpiteet. Taustojen selvittämiseksi tutkintaselostuksessa käsitellään myös marketin rakentamiseen, jännebetonipalkkien suunnitteluun ja valmistamiseen, kunnossapitoon ja huoltoon sekä olosuhteiden muuttumiseen liittyviä seikkoja. Tutkintaselostuksen ensimmäinen ja toinen luku perustuvat tutkintalautakunnan keräämään tutkinta-aineistoon ja ovat tutkintaselostuksen niin sanottua faktaosaa. Analyysi, johdopäätökset ja suositukset ovat sen sijaan tutkintalautakunnan näkemys oleellisista onnettomuuteen ja yleisesti turvallisuuteen vaikuttavista seikoista.

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

Tutkintaselostus on ollut lausunnolla ympäristöministeriön asunto- ja rakennusosastolla, sisäasiainministeriön pelastusosastolla, sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosastolla, Hätäkeskuslaitoksessa, Savonlinnan kaupungilla, Etelä-Savon pelastuslaitoksessa, Etelä-Savon hätäkeskuksessa, Suomen kuntaliitossa, Rakennustarkastusyhdistyksessä, Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI:ssa, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL:ssä ja Rakennusteollisuus RT ry: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.

Tutkintaselostus on internetissä osoitteessa [www.onnettomuustutkinta.fi](http://www.onnettomuustutkinta.fi).

## FÖRORD

Den 31.3.2006 upptäcktes sprickor i övre flänsen i de bärande spännbetongbalkarnas åsområde i taket till ett köpcentrum i Nyslott. Skadorna uppskattades vara så allvarliga att affären utrymdes. I affären fanns vid tidpunkten för när skadan upptäcktes endast en chaufför som kört in ett parti varor till affären och fyra anställda. Centralen för undersökning av olyckor inledde samma dag med stöd av 5 § i lagen om undersökning av storolyckor (373/1985) en undersökning, uppskattade att det inträffade utgjorde en risksituation som kunnat leda till en storolycka och tillsatte en undersökningskommission 6.4.2006.

Till ordförande för undersökningskommissionen utsågs ledande utredare Esko Värttiö från Centralen för undersökning av olyckor och till medlemmar räddningskommendör Anssi Parviainen och teknologie doktor Matti V. Leskelä. Vid utredningen på platsen fick kommissionen handräckning av två utredare från Östra Finlands tekniska brottsutredningscentralens enhet vid polisinspektionen i Nyslott.

Undersökningskommissionens uppgift var att utreda de faktorer och omständigheter som orsakat sprickorna i spännbetongbalkarna samt att ge rekommendationer i syfte att undvika motsvarande skador på konstruktioner.

I denna undersökningsrapport, som upprättats av undersökningskommissionen, redogörs för händelseförloppet och bl.a. upptäckten av skadorna samt de åtgärder som vidtagits. För att klarlägga bakgrunden till det inträffade behandlas i undersökningsrapporten också faktorer som hänför sig till byggandet av köpcentrumet, planeringen och tillverkningen av spännbetongbalkarna, service och underhåll samt förändringar i omständigheterna. Det första och andra avsnittet i undersökningsrapporten baserar sig på det undersökningsmaterial som undersökningskommissionen samlat in och utgör undersökningsrapportens s.k. faktadel. Analysen, slutledningarna och rekommendationerna utgör däremot undersökningskommissionens uppfattning om de väsentliga faktorer som bidragit till olyckan och inverkat på säkerheten i allmänhet.

Syftet med undersökningen av olycksfall är att förbättra säkerheten, varför skuld- och skadeståndsfrågor inte behandlas. Undersökningsrapporten har till sitt innehåll och sin utformning inte sammanställts med tanke på att användas vid en rättegång. De slutledningar och säkerhetsrekommendationer som läggs fram i undersökningsrapporten utgör inget antagande avseende skuld eller skadeståndsskyldighet.

Undersökningsrapporten har varit på remiss hos miljöministeriets bostads- och byggnadsavdelning, inrikesministeriets räddningsavdelning, social- och hälsovårdsministeriets arbetarskyddsavdelning, Nödcentralverket, Nyslotts stad, Södra Savolax räddningsverk, Södra Savolax nödcentral, Finlands Kommunförbund, Byggnadsinspektionsföreningen RTY, Fastighetsägarna och byggherrarna i Finland RAKLI, Finlands Byggnadsingenjörsförbund RIL och Byggnadsindustrin RT rf. Därtill har parterna haft möjlighet att kommentera utkastet till undersökningsrapporten. Utlåtandena och kommentarerna har beaktats i den slutliga undersökningsrapporten. Utlåtandena finns i bilaga 1.

Undersökningsmaterialet finns i arkivet i Centralen för undersökning av olyckor.

Undersökningsrapporten har lagts ut på webbadressen [www.onnettomuustutkinta.fi](http://www.onnettomuustutkinta.fi).

## INTRODUCTION

On Friday 31 March 2006, ruptures were detected in ridge region of the pre-stressed concrete roof beams in the upper flanges in a store in Savonlinna. These defects were estimated to be severe enough to warrant the evacuation of the building, which was done. Upon the defects' detection, only a driver transporting supplies to the store and four store employees were inside. On the same day, the Accident Investigation Board of Finland launched an investigation by virtue of the Accident Investigation Act (3.5.1985/373), evaluating this occurrence as a serious incident and appointing an investigation commission on 6 April 2006.

Chief Accident Investigator Esko Värhtiö of the Accident Investigation Board was appointed Chairman of the investigation commission, and Rescue Director Anssi Parviainen and Doctor of Technology Matti V. Leskelä as its members. The commission was assisted during on-site investigation by two researchers from the Savonlinna unit of the County of Eastern Finland Technical Crime Investigation Centre.

The task of the investigation commission was to investigate the factors and circumstances that led to the failure, and to provide a recommendation that could be used to avoid similar structural damage.

This investigative report, drafted by the investigation commission, details, for instance, the detection of the damage and the measures resulting from the damage based on the course of events. To clarify the underlying factors, it also considers factors relating to the construction of the store, the design and construction of the pre-stressed beams, maintenance and servicing, and changes in conditions. The first and second section of the report are based on investigative material assembled by the commission, and comprise the report's factual section. On the other hand, the analysis, conclusions and recommendations comprise the commission's view on the factors causing the incident as well as general safety factors.

Since the goal of accident investigation is to improve safety, no conclusions are drawn concerning responsibility or compensation for damages. With regard to content and style, this report has not been drafted in a manner suitable for use in litigation. Its conclusions and safety recommendations do not serve as assumptions concerning responsibility or compensation for damages.

This investigation report has been reviewed by the Housing and Building Department of the Ministry of the Environment, the Rescue Department 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 City of Savonlinna, the rescue services of South Savo, the South Savo Emergency Response Centre, the Association of Finnish Local and Regional Authorities, the Building Inspection Association, the Finnish Premises and Construction Association (RAKLI), the Finnish Association of Civil Engineers and the Confederation of Finnish Construction Industries. In addition, the opportunity was presented to the interested parties to provide comments on the report. These statements and comments were taken into account when finalising the report. The submitted statements can be found in Appendix 1.

The investigation material is in the archive of the Accident Investigation Board of Finland. The investigation report is also on the web pages at [www.onnettomuustutkinta.fi](http://www.onnettomuustutkinta.fi).



## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	III
SAMMANDRAG.....	III
SUMMARY .....	IV
ALKUSANAT .....	VI
FÖRORD .....	VII
INTRODUCTION .....	VIII
1 VAARATILANNE.....	1
1.1 Yleiskuvaus .....	1
1.2 Onnettomuskohde ja tapahtumapaikka.....	1
1.3 Tapahtumien kulku.....	3
1.4 Pelastustoiminta ja raivaus.....	4
1.4.1 Hälytykset.....	4
1.4.2 Toiminta onnettomuuspaikalla .....	4
1.5 Poliisin toiminta .....	4
1.6 Onnettomuudesta aiheutuneet vahingot.....	5
1.6.1 Henkilövahingot.....	5
1.6.2 Materiaalivahingot .....	5
1.6.3 Ympäristövahingot.....	5
1.7 Tiedottaminen .....	5
2 VAARATILANTEEN TUTKINTA.....	6
2.1 Rakennus .....	6
2.2 Olosuhteet.....	11
2.3 Vaaratilanteeseen liittyvät organisaatiot ja henkilöt.....	11
2.3.1 Kiinteistö ja myymälätoiminta .....	11
2.3.2 Rakentamiseen liittyvät organisaatiot .....	11
2.4 Pelastustoiminnan organisaatiot ja niiden toimintavalmius.....	12
2.5 Tallenteet .....	13
2.5.1 Kameravalvonta.....	13
2.5.2 Pelastustoimen tallenteet .....	13
2.6 Asiakirjat.....	13
2.7 Säädökset, määräykset ja ohjeet .....	13
2.8 Muut tutkimukset .....	14



3	ANALYYSI.....	18
3.1	Vaaratilanteen analysointi.....	18
3.2	Pelastustoiminnan analysointi.....	21
4	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	22
4.1	Toteamukset.....	22
4.2	Onnettomuuden syyt.....	22
5	TOTEUTETUT TOIMENPITEET.....	24
6	SUOSITUKSET.....	25

#### LIITTEET

Liite 1. Lausunnot

Liite 2. Palkin H102 jännitysanalyysi

Liite 3. Betonituote-lehden 2/84 artikkeli SBK:n jännebetoni-palkkitutkimuksen tuloksista

Liite 4. Ympäristöministeriön kirje YM 11/629/2006 kunnanhallituksille ja kuntien rakennusvalvontaviranomaisille, 6.7.2006

## 1 VAARATILANNE

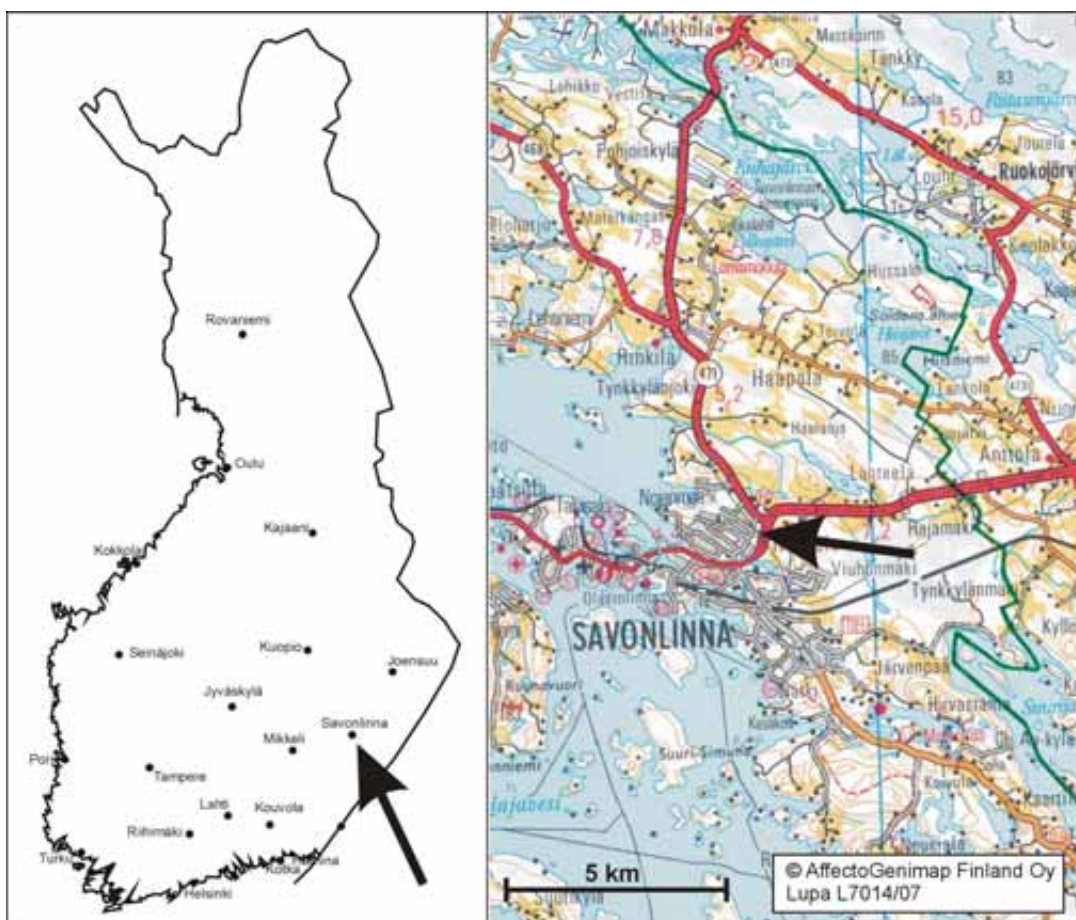
### 1.1 Yleiskuvaus

Perjantaina 31.3.2006 aamulla kello 4.45 havaittiin savonlinnalaisen kauppakeskuksen kattoa kannattavien jännebetonipalkkien ylälaipoissa murtumia. Vauriot arvioitiin niin vakaviksi, että myymälä tyhjennettiin. Myymälässä oli vaurion havaitsemishetkellä vain myymälään tavaratäydennystä tuonut autonkuljettaja ja neljä marketin henkilökuntaan kuulunutta. Henkilövahinkoja ei tullut

Kauppakeskus oli suljettuna viikonlopun ajan, jonka aikana pahiten vaurioituneet palkit tuettiin ja rakennustarkastaja antoi luvan liikkeen avaamiseen maanantaina.

### 1.2 Onnettomuuskohte ja tapahtumapaikka

Savonlinna on Itä-Suomen läänin Etelä-Savon maakunnan itäosassa Saimaan rannalla. Myymälärakennus on kaupungin itäreunalla.



Kuva 1. Kauppakeskuksen sijainti.

Bild 1. Köpcentrumets läge.

Figure 1. Store location.



*Kuva 2. Kauppakeskus etupihan puolelta kuvattuna. (Kuva poliisin tekniikka.)*

*Bild 2. Köpcentrumet fotograferat från entréplan. (Foto polisens teknik.)*

*Figure 2. A photo of the commercial centre taken from the front yard. (Photo: Police Technical Department.)*



*Kuva 3. Kauppakeskus lastauslaitureiden puolelta kuvattuna. (Kuva poliisin tekniikka.)*

*Bild 3. Köpcentrumet fotograferat från lastbryggorna. (Foto polisens teknik.)*

*Figure 3. A photo of the commercial centre taken from the side on which the loading platform is located. (Photo: Police Technical Department.)*

### 1.3 Tapahtumien kulku

Varhain perjantaiamuna 31.3.2006 havaitsi tavaraa myymälään tuonut autonkuljettaja lattialla olleet betonin murut. Murut vaikeuttivat pumppukärryn työntämistä ja sen vuoksi hän alkoi tarkastella, mitä lattialla oli.

Autonkuljettaja kertoi havaitsemistaan murusista pukutiloihin matkalla olleelle, töihin tulossa olleelle myymälän työntekijälle. Työntekijä meni pukutilaan kertomaan asiasta toiselle työntekijälle ja pyysi häntä kanssaan katsomaan, mitä myymälässä oli vialla.

Työntekijät menivät yhdessä autonkuljettajan kanssa katsomaan kohtaa, jossa betonin murusia oli. He näkivät murusten yläpuolella olevassa katon kannatuspalkissa murtuman.



*Kuva 4. Murtuma palkissa. Kuvassa näkyy myös autonkuljettajan tuoma tavaralava. (Kuva poliisin tekniikka.)*

*Bild 4. Sprickor i balken. På bilden syns också den lastpall som chauffören haft med sig. (Foto polisens teknik.)*

*Figure 4. Rupture in the beam. The picture also displays the pallet delivered by the driver. (Photo: Police Technical Department.)*

He menivät välittömästi ulko-ovelle ja kielsivät töihin tulossa olleita muita työntekijöitä menemästä sisälle. He soittivat myös saman tien myymälän huoltomiehelle, joka myös kielsi menemästä sisälle ja aikoi tulla heti paikalle. Työntekijät yrittivät soittaa prismajohtajallekin, mutta eivät saaneet häntä kiinni.

Huoltomies oli paikalla hiukan ennen viittä. Hän kävi työntekijöiden kanssa tarkastamassa tilanteen ja arvioi tilanteen niin vakavaksi, että asiasta pitää ilmoittaa prismajohtajalle ja hätäkeskukseen.

Kun prismajohtajaa ei saatu puhelimella kiinni, lähetti huoltomies paikalla olleet kaksi työntekijää noutamaan tätä. Ollessaan matkalla paikalle prismajohtaja soitti huoltomiehelle ja kehotti muun muassa ilmoittamaan pelastusviranomaisille.

Huoltomies soitti hätäkeskukseen ja ilmoitti tapahtuneesta. Lisäksi huoltomies soitti rakennus- ja laajennusvaiheen aikana rakennuttajakonsulttina toimineelle sekä rakennusliikkeen työnjohtajalle, jotta nämä tulisivat paikalle arvioimaan vauriot ja mahdollisesti tarvittavat tuenta- ja muut varotoimet.

## **1.4 Pelastustoiminta ja raivaus**

### **1.4.1 Hälytykset**

Kauppakeskukseen tavaraa toimittanut autonkuljettaja havaitsi betonimuraa lattialla ja teki siitä ilmoituksen henkilökunnalle. Henkilökunta teki hätäilmoituksen: ”katto alkaa sortua” Etelä-Savon hätäkeskukseen kello 5.25. Etelä-Savon hätäkeskus hälytti 5.27 paikalle Etelä-Savon pelastuslaitoksen Savonlinnan paloasemalta päivystävän palomestarin ja hälytysohjeen mukaiset pelastusyksiköt sekä poliisin. Myös Etelä-Savon pelastuslaitoksen palopäällikkö (P2) hälytettiin paikalle.

### **1.4.2 Toiminta onnettomuuspaikalla**

Pelastuslaitoksen saapuessa paikalle vaara-alue oli eristetty eikä vaara-alueella ollut ihmisiä. Pelastuslaitoksen päätehtävänä oli lisävahinkojen estäminen. Päivystävä palomestari oli yhteydessä rakennustarkastajaan ja häntä pyydettiin saapumaan tapahtumapaikalle. Päivystävän palomestarin käskystä tehtiin ilmoitukset Onnettomuustutkintakeskukselle, lääninhallitukselle ja sisäasiainministeriön päivystävälle pelastusviranomaiselle.

## **1.5 Poliisin toiminta**

Poliisi eristi alueen ja aloitti paikkatutkinnan sekä rakennuksen sisä- että ulkopuolella. Poliisi kuvasi vaurioituneet rakenteet ja rakennuksen vesikatton, otti näytteitä lumesta, mittasi vesikatolla olleen lumen paksuuden ja painon sekä tarkasti kattokaivojen toimivuuden.

## **1.6 Onnettomuudesta aiheutuneet vahingot**

### **1.6.1 Henkilövahingot**

Tapauksesta ei aiheutunut henkilövahinkoja.

### **1.6.2 Materiaalivahingot**

Aluksi kauppakeskuksen kolmessa HI-palkissa havaittiin vaurioita. Nämä kolme palkkia olivat vaurioituneet niin, että raudoitustankojen suojana ollut betonia tippui kauppakeskuksen lattialle. Tarkemmassa tarkastelussa kahdessakymmenessä muussakin palkissa havaittiin pienempiä halkeamia.

### **1.6.3 Ympäristövahingot**

Sortumisvaara ei aiheuttanut ympäristövahinkoja.

## **1.7 Tiedottaminen**

Pelastuslaitos ja kauppakeskuksen edustajat järjestivät tapahtumasta ensimmäisen tiedotustilaisuuden kauppakeskuksen tiloissa kello 8.00.

Aamuyhdeksän aikaan kauppakeskuksen johto tiedotti tapahtumasta lyhyesti ja kertoi, että liike pidetään suljettuna ainakin perjantain ja lauantain.

Kauppakeskuksen johto järjesti tiedotustilaisuuden kello 15.00. Tilaisuudessa oli mukana myös pelastustoimen, poliisin, rakennusvalvonnan ja Onnettomuustutkintakeskuksen edustajat.

Tutkintalautakunta antoi kiinteistön omistajalle tietoa tutkinnassa tehdyistä havainnoista, jotta se osaisi ottaa ne huomioon korjaussuunnitelmaa tehdessä.

Tutkintalautakunta kertoi 17.11.2006 liikkeen johtajalle tutkimuksessa ja laskelmissa selvinneistä tuloksista sekä varoitti liiasta lumikuormasta ennen palkkien korjaamista.

## 2 VAARATILANTEEN TUTKINTA

Onnettomuustutkintakeskuksen päivystäjä sai tiedon onnettomuudesta 31.3.2006 kello 6.20 Savonlinnan palopäälliköltä. Päivystäjä ilmoitti siitä välittömästi raideliikenteen johdettavalle tutkijalle, joka käynnisti tutkinnan pyytämällä lisätietoja paikanpäältä sekä palomestariilta että poliisin tekniikan tutkijalta.

Onnettomuustutkintakeskuksen kaksi tutkijaa olivat paikalla kello 14.30.

### 2.1 Rakennus

Kauppakeskus toimii pilari-palkkirunkoperiaatteen mukaisesti toteutetussa rakennuksessa, joka on rakennettu vuonna 1992. Rakennuksessa on hypermarketin myymälätilojen ja sosiaali- ja varastotilojen ohella tiloja myös huonekaluliikkeellä, alkoholiliikkeellä, apteekilla, automarketpankilla sekä vakuutusyhtiöllä. Rakennuksen pohjapiirros on esitetty kuvassa 4. Rakennusta laajennettiin vuonna 2002 molemmilta sivuilta. Rakennuksen alkuperäinen koko oli 8 837 kerrosneliometriä ja laajennuksen jälkeen 9 253 kerrosneliometriä.

Rakennuksen kattorakenne muodostuu pilarien kannatuksella olevista jännebetonipalkeista, HI-palkeista, sekä niiden kannatuksella olevista esijännitetyistä betonielementeistä, TT-laatoista. TT-laattojen yläpuolella on mineraalivillalämpöeriste ja kumibitumikate.





Kuva 5. Rakennuksen asemapiirros laajennuksen jälkeen. Piirrookseen on lisätty pahiten vaurioituneen palkin sijoitus.

Bild 5. Byggnadens planritning efter tillbyggnad. På ritningen har den mest skadade balkens läge märkts ut.

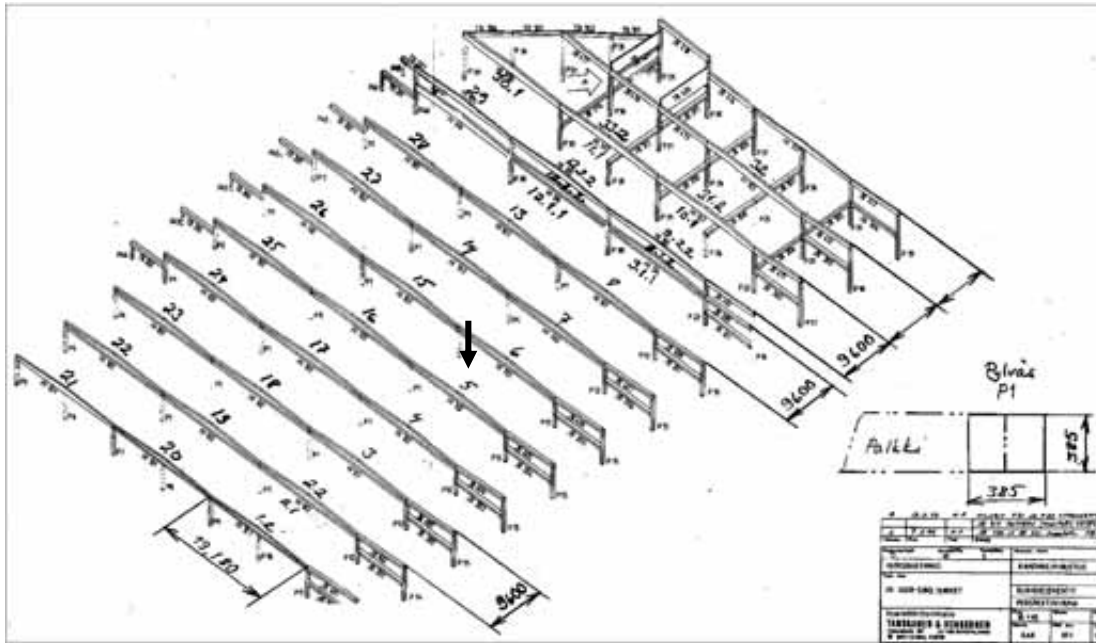
Figure 5. The building's layout after the extension. The location of the most damaged beam is indicated by an arrow in the image.

### Palkin tutkimukset

Taipuman selvittämiseksi pahiten vaurioituneen palkin alapinnan etäisyys lattiasta mitattiin etäisyyssmittarilla kolmesta kohtaa ennen ja jälkeen lumen poistamisen katolta. Lisäksi mitattiin etäisyys kolmen muun palkin kohdalta samalla tavoin. Eniten vaurioituneen palkin alapinnan etäisyys lattiasta kasvoi lumen poiston jälkeen 5–6 mm. Muissa

palkeissa ero oli 5–8 mm. Edellä olevat etäisyysmitan muutokset vastaavat palkin normaalia taipumaa.

Seuraavaksi kaikki HI-palkit tarkastettiin ja kuvattiin. Havaitut vauriot kirjattiin.

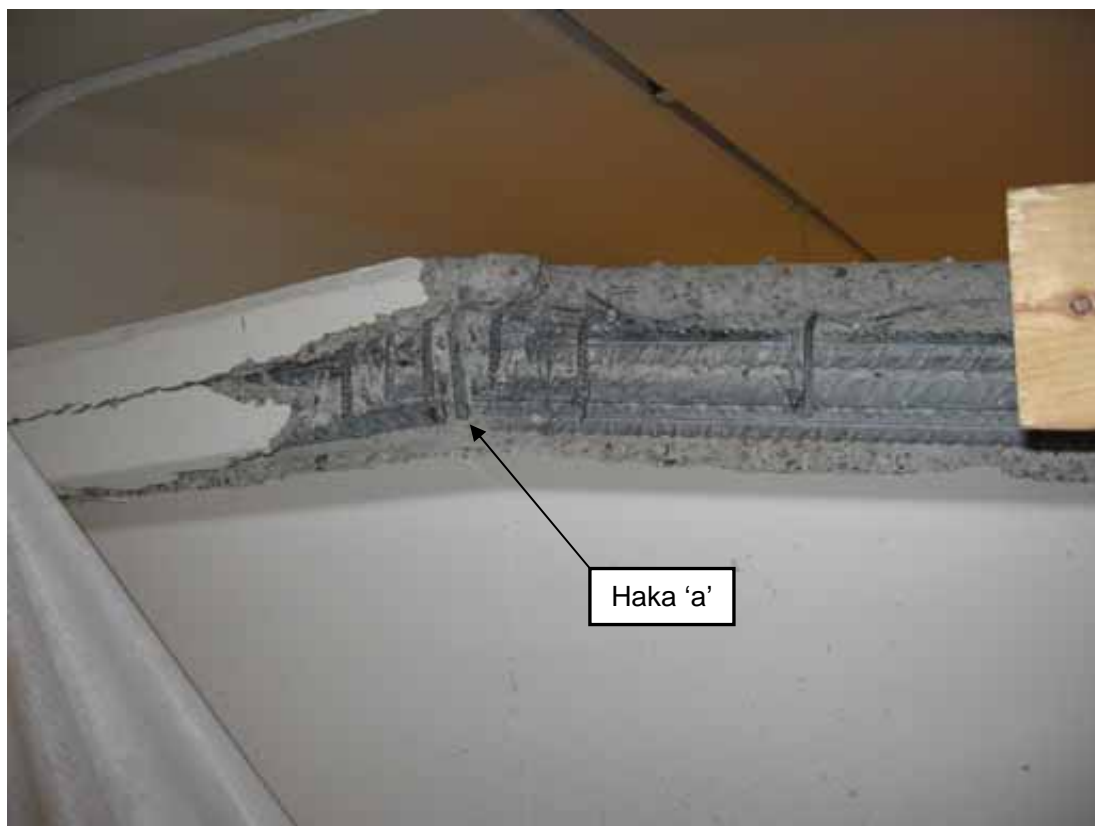


Kuva 6. Palkkikaavio. Eniten vaurioitunut palkki on merkitty numerolla 5.

Bild 6. Schema över balkarna. Den mest skadade balken är utmärkt med siffran 5.

Figure 6. Beam graph. The most damaged beam is marked with the number 5.

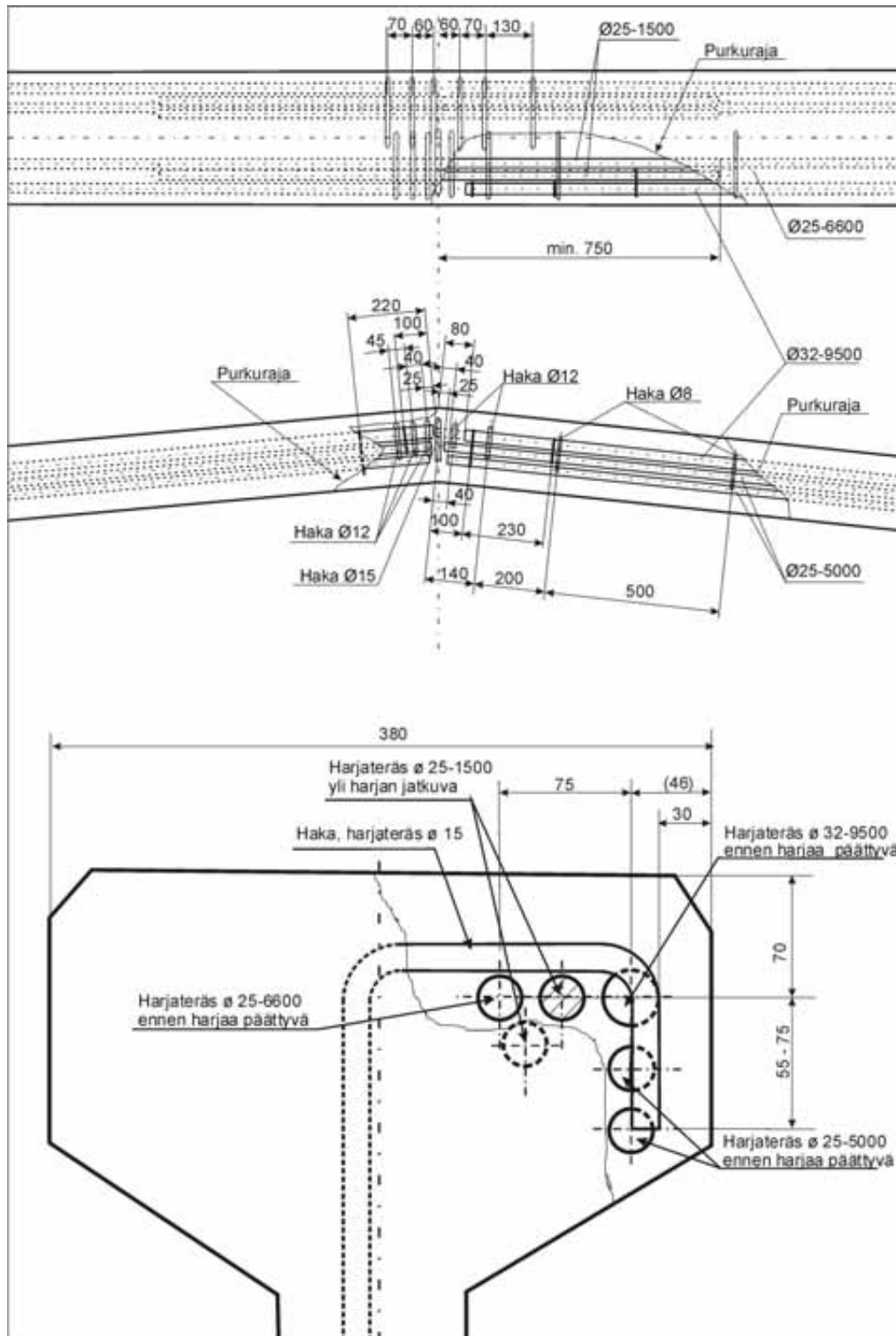
Eniten vaurioitunutta palkkia purettiin vauriokohdalta palkin ylälaipan raudoituksen sijainnin ja järjestyksen selvittämiseksi.



*Kuva 7. Eniten vaurioituneen palkin ylälaippa purkamisen jälkeen. Haka 'a' jää päätan-  
kojen päiden väliin.*

*Bild 7. Övre flänsen i den mest skadade balken efter demontering. Hake 'a' finns mellan huvudstänger-  
nas ändar.*

*Figure 7. The upper flange of the most damaged beam dismantled. Stirrup 'a' is located between the ends  
of the main bars.*



Kuva 8. Havainnekuva eniten vaurioituneen palkin ylälaipan terästen sijoituksesta. Kuvaan piirretty haka Ø15 on merkitty kuvassa 7 tunnuksella haka 'a'.

Bild 8. Illustration av placeringen av armeringen i övre flänsen i den mest skadade balken. Den hake på Ø15 som ritats in på bilden har på bild 7 utmärkts med beteckningen hake 'a'.

Figure 8. Illustrative diagram of the observed locations of the reinforcing in the upper flange of the most damaged beam. The drawn stirrup (Ø15) is marked with 'a' in figure 7.

Betonin puristuslujuuden selvittämiseksi palkeista porattiin kuusi Ø 44 mm koelieriötä. Niistä tutkittiin betonin puristuslujuus VTT:llä. Näytteiden puristuslujuustulokset olivat välillä 53,5–59,5 MN/m<sup>2</sup>. Palkin piirustuksessa betoniksi oli merkitty K60-1, jonka loppulujuus on 60 MN/m<sup>2</sup>.

## 2.2 Olosuhteet

Perjantaiamuna 31.3.2006 kello 5.00 oli -2 °C pakkasta, täyspilvistä, mutta poutaa, tuuli 3 m/s kaakosta ja ilman suhteellinen kosteus oli 97 %. Edellisen kerran oli satanut hiukan lunta edellisestä yöstä kello kolmesta lähtien päättyen torstaiyönä kello 21 jälkeen. Katolle oli kertynyt lunta aika tasaisesti noin 50 cm paksuudelta (lumen määrä esitetään tarkemmin kohdassa 2.8). Sää lauhtui iltapäivällä plussan puolelle ja lauantaina satoi vettä.

## 2.3 Vaaratilanteeseen liittyvät organisaatiot ja henkilöt

Prisma Savonlinnan omistaa Osuuskauppa Suur-Savo. Prisma Savonlinnan suojelutoiminnasta vastaa prismajohtaja. Apunaan hänellä ovat apulaissuojelujohtaja sekä kiinteistön huoltomies.

### 2.3.1 Kiinteistö ja myymälätoiminta

Savonlinnan Prisma on maakunnalliseen Osuuskauppa Suur-Savoon kuuluva hypermarket, jossa myydään päivittäistavaroiden lisäksi muun muassa pukeutumiseen, asumiseen ja vapaa-aikaan liittyviä tuotteita.

Osuuskauppa Suur-Savolla on toimitusjohtaja ja marketkaupan johtaja, jotka vastaavat muun muassa osuuskaupan omistamista kiinteistöistä ja niiden rakennuttamisesta. Suur-Savon Savonlinnassa omistamalla kiinteistöillä on yhteinen huoltomies. Ulkopuolinen vartiointiliike hoitaa kiinteistön vartiointia ja ulkopuolinen siivousliike siivouksen.

Savonlinnan Prismalla on oma prismajohtaja, joka vastaa liikkeen myymälätoiminnasta.

### 2.3.2 Rakentamiseen liittyvät organisaatiot

#### Rakentaminen

Rakennushankkeen käynnisti Osuuskauppa Suur-Savo jonka edustajana rakennushanketta johti kaupallinen johtaja. Rakennuttaja tilasi mikkeliäiseltä arkkitehtitoimistolta arkkitehtisuunnitelmat, jonka jälkeen rakennuttaja teki hankkeesta urakkakyselyn ns. KVR<sup>1</sup>-urakasta. Urakoitsijaksi valittiin savonlinnalainen rakennusurakoitsija, joka vastasi kaikista aliorakoista. Pääurakoitsija sekä kohteen valvoja (= rakennuttajakonsultti) arvioivat ja valitsivat aliorakoitsijat yhteistyössä.

---

<sup>1</sup> KVR-urakka sisältää sekä suunnittelun että rakentamisen.

Elementtiurakoitsijaksi valittiin kerimäkeläinen betonielementtitehdas, joka hankki ali-hankintana teräsbetonipilarit ja -palkit outokumpulaiselta betonielementtitehtaalta. HI-palkit outokumpulainen betonielementtitehdas teetti iisalmelaisella betonielementtitehtaalla. Koko rakennuksen ja palkkien rakennesuunnittelusta vastasi savonlinnalainen insinööritoimisto, ja palkkien raudoituksen suunnitteli kuopiolainen insinööritoimisto.

## **2.4 Pelastustoiminnan organisaatiot ja niiden toimintavalmius**

### **Omatoiminen varautuminen**

Rakennuksesta oli laadittu pelastussuunnitelma 14.12.2005 ja henkilökunta oli koulutettu toimimaan eri uhkatilanteiden varalle. Pelastussuunnitelma on laadittu market-ketjun ohjeistuksen mukaisesta suunnitelmasta, jota prismajohtaja on täydentänyt paikallisiin olosuhteisiin sopivaksi.

Henkilöstö oli perehdytetty suunnitelmaan ja se oli kaikkien saatavilla. Henkilöstölle oli myös annettu koulutusta Pohjois-Savon pelastuslaitoksen ja Suur-Savon Osuuskaupan toimesta.

Riskeiksi on määritelty palo, ryöstö/sieppaus, murto, varkaus, tuotepetos, petos, ilkivalta, pommiuhka, kiristys/uhkailu, pahoinpitely, tapaturma, sairastuminen, atk-järjestelmään kohdistuvat riskit, ympäristövahinko, ongelmajätteet, maaperän saastuminen, sähkökatko sekä putkistovuoto/rikkoutuminen.

### **Hätäkeskus**

Hätäpuhelut Savonlinnan alueelta ohjautuvat Etelä-Savon hätäkeskukseen Mikkeliin. Hätäkeskuksen vuorovahvuus on vuoromestari ja neljä päivystäjää. Hätäkeskuksessa on käytössä ELS-hätäkeskustietojärjestelmä.

### **Pelastuslaitos**

Savonlinnan pelastustoimen toiminta on osa Etelä-Savon pelastuslaitosta. Savonlinnan toimipisteessä työskentelee yhteensä 30 henkilöä, 7 henkilöä kussakin vuorossa. Jatkuvassa valmiudessa on pelastusyksikkö vahvuudella 1+3, nostolavayksikkö 0+1 sekä kaksi sairaankuljetusautoa vahvuudella 0+2. Päivystävä palomestari on osan aikaa koti-varallaolossa ja osan aikaa paloasemalla.

Savonlinnan kunnan pelastustoimesta vastaa Etelä-Savon pelastuslaitos, jonka pääpaikka on Mikkeliin. Etelä-Savon pelastuslaitoksen riskianalyysin mukaan kauppakeskuksen alue kuuluu II-riskialueeseen, jossa pelastusyksikön tulee saavuttaa onnettomuuskohteeseen 10 minuutin kuluessa hälytyksestä. Savonlinnan paloaseman vuoron päivystysvahvuus on 1+1+6.

## **2.5 Tallenteet**

### **2.5.1 Kameravalvonta**

Kiinteistössä oli digitaalisesti tallentava kameravalvontajärjestelmä. Valvontajärjestelmä ei tallentanut vaurion havaitsemiseen oleellisesti liittyviä tapahtumia. Kuitenkin valvontakuvien perusteella voitiin rajata tapahtuma-ajankohta tietyille aikavälille ja määrittää havaitsemisaika.

### **2.5.2 Pelastustoimen tallenteet**

Etelä-Savon hätäkeskus on kirjannut hätäilmoitus- ja hälytystiedot hälytysselesteeseen ja pelastustoiminnan johtaja on täyttänyt tapahtumasta onnettomuusselosteen. Molemmat selosteet on tallennettu pelastustoimen tietojärjestelmään ja ne ovat olleet tutkintalautakunnan käytettävissä.

## **2.6 Asiakirjat**

Tutkijoilla oli käytettävissään rakentamiseen liittyvää suunnitelma-aineistoa. Aineisto kattaa suunnitelmat erityisesti rakennuksen yläpohjan kantavista rakenteista.

### **Rakentaminen**

Rakennuslupa oli myönnetty 30.10.1991 arkkitehtisuunnitelmien perusteella.

Rakennuksesta oli laadittu pääpiirustukset ja rakennepiirustukset. Pääpiirustuksessa oli esitetty palkkien jänneväli ja korkeus. Rakennesuunnittelija määritteli kantavien rakenteiden mitat arkkitehdin pääpiirustusten perusteella.

Ulkomitoiltaan määriteltyjen HI-palkkien raudoituksen suunnitteli betonielementtitehtaan raudoitussuunnittelija.

### **Laajennus**

Rakennusta laajennettiin vuonna 2002, jolloin myymäläosan kattorakenteisiin ei tehty muutoksia. Lastauslaiturin ja tavarantoimitusosan katolle lisättiin muutostyön yhteydessä kylmälaitteiden lauhduttimia.

## **2.7 Säädökset, määräykset ja ohjeet**

Rakenteet oli suunniteltu vuonna 1990 voimassa olleiden Suomen rakentamismääräyskokoelman osien B (RakMK osat B: rakenteiden lujuus) mukaisia vaatimuksia ja ohjeita noudattaen:

- Kuormitukset: RakMK B1: Rakenteiden varmuus ja kuormitukset 1982 (tai RIL<sup>2</sup> 144-1990: Rakenteiden kuormitusohjeet)

---

<sup>2</sup> RIL = Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

- Betonirakenteiden kestävyys: RakMK B4: Betonirakenteet. Ohjeet 1987. Muutos 1990 (tai Suomen Betoniyhdistys ry:n ohje by15, Betoninormit 1990: RakMK B4).

Kuormitusohjeiden RIL 144-1990 perusteella mitoituksessa käytettävä Savonlinnan alueen peruslumikuorman arvo on  $1,8 \text{ kN/m}^2$ . Sitä on voitu käyttää suunnittelussa korottamattomana, koska kauppakeskuksen katto on lumen kerääntymisen kannalta lähes tasakatto (harjapalkkien lappeen kaltevuus on 1:16).

## 2.8 Muut tutkimukset

### Katolla olleen lumikuorman mittaus

Poliisin tekniikan tutkijat mittasivat tutkintalautakunnan puheenjohtajan pyynnöstä katolla olleen lumikuorman välittömästi saavuttuaan paikalle, kello 7.15. Lunta oli katolla tasaisesti siten, että katon laaksokohdissa oli enimmillään 55 cm ja harjakohdilla 45 cm. Lumessa ei näkynyt selkeitä kerrostumia, eikä pohjalla ollut vettä. Punnitsemalla 20 cm x 20 cm pylväs (korkeus 55 cm) painoksi saatiin 4,6 kg, eli lumen paino oli  $115 \text{ kg/m}^2$ .



*Kuva 9. Poliisin tekniikan tutkijat punnitsivat katolla olleen lumen 55 cm paksulta kohdalta. Pohja oli kuiva. (Kuva poliisin tekniikka.)*

*Bild 9. Polisens tekniska utredare vägde snön på taket vid det ställe där snön var 55 cm tjock. Underlaget var torrt. (Foto polisens teknik.)*

*Figure 9. Investigators from the police's Technical Department measured the snow on the roof at a location where it was 55 cm deep. The base was dry. (Photo: Police Technical Department.)*

Myös tutkintalautakunnan tutkijat tarkastivat katolla olevan rakenteen, oliko lumen alla vettä ja toimivatko kattokaivot.





*Kuva 10. Myös Onnettomuustutkintakeskuksen tutkijat mittasivat lumen paksuuden ja tutkivat lumen koostumusta. (Kuva poliisin tekniikka.)*

*Bild 10. Utredarna vid Centralen för undersökning av olyckor mätte också snöns tjocklek och undersökte snöns konsistens. (Foto polisens teknik.)*

*Figure 10. The Accident Investigation Board investigators also measured the depth of the snow and investigated its composition. (Photo: Police Technical Department.)*



*Kuva 11. Kuva katolta, kun lumi oli vielä lähes koskematon. Kattokaivot näkyvät tummina kohtina. (Kuva poliisin tekniikka.)*

*Bild 11. Bild av taket när snön ännu var nästan orörd. Takbrunnarna syns som mörka punkter. (Foto polisens teknik).*

*Figure 11. Photograph from the roof when the snow cover was still almost intact. Roof drains can be seen as dark spots. (Photo: Police Technical Department.)*

### HI-palkkien jännitysanalyysi

Liitteen 1 sisältämässä kattokannattajan jännitysanalyysissä tarkastellaan, onko vaurioiden palkkien yleissuunnittelussa merkittävää alimitoitusta tai epäjohton mukaisuutta. Alimitoitusta ei voitu havaita, mutta huomiota kiinnitettiin ylälaipan huomattavan suureen tankoraudoitukseen, sen jatkamiseen harjan kohdalla ja rauditusdetaljien kyseenalaisuuteen. Jännitysanalyysissä esitetään arvio murtumien syntymissyylle, joka liittyy raudituksen detaljisuunnittelun epäjohton mukaisuuteen. Jännitysanalyysin perusteella ei ole mitoituksellisia perusteita ylälaipan tankoraudituksen suunnitelman mukaiselle määrälle. Jännittämisen aikana ylälaipassa esiintyy vetoa, joka palkin korkeudesta riippuen usein aiheuttaa halkeilua ja ylälaippa on raudoitettava tätä vastaavasti. Halkeiluraudituksen määrä riippuu kuormitusotaksumista.

On ilmeistä, että raudituksen suunnittelijan mitoitustarkasteluissa jännevoiman päästämisen aikaisessa kuormitustapauksessa ei ole ollut mukana palkin omaa painoa, joka alkaa vaikuttaa välittömästi, kun jännevoima aktivoituu palkissa.

Oman painon pois jättämisestä johtuen laskennassa saadaan todellista paljon suurempia vetojännityksiä ylälaippaan. Nämä jännitykset ovat halkeilemattoman poikkileikkauksen mukaisesti laskettaessa lineaariseen kimmoteoriaan perustuvan jännitysanalyysin

perusteella yli kolminkertaisia betonin ominaisvetolujuuteen verrattuna. Tällaisia vetojännityksiä ei todellisuudessa voi esiintyä ja ylälaippaa on raudoitettu vastaamaan kyseistä näennäistä vetovoimaa, jonka oletetaan halkeilun alkaessa siirtyvän raudoitukselle.

Palkin oman painon poisjättämisestä aiheutuva vetorautoitus on siten runsaasti ylimitoitettu. Samaan raudoitukseen on myöhemmin rakennuksen käyttöaikana kohdistunut puristusvoima ja raudoituksen detaljit vaikuttavat betonissa esiintyviin paikallisiin jännityksiin aiheuttaen halkaisuvoimia.

### 3 ANALYYSI

#### 3.1 Vaaratilanteen analysointi

Kauppakeskukseen tavaraa toimittanut autonkuljettaja havaitsi vaurion kattopalkissa ja pyysi paikalle henkilökunnan, joka teki arvion tilanteesta ja teki hätäilmoituksen. Paikalle pyydettiin myös hypermarketin johtaja sekä rakennustarkastaja. Alue eristettiin välittömästi ja henkilöstö evakuoitiin vauriopalkkien läheisyydestä. Kauppakeskus pidettiin myös suljettuna viikonlopun ajan. Näillä toimenpiteillä varmistettiin alusta alkaen se, että ihmisille ei aiheutunut vahinkoa eikä asiakkaita joutunut vaaralle alttiiksi.

Hätäilmoitus tehtiin sen jälkeen, kun vaurioiden suuruus oli selvillä, reilun puolen tunnin päästä vaurion havaitsemisesta. Hätäkeskus teki tiedon saatuaan tarvittavat hälytykset, ja pelastuslaitoksen saavuttua paikalle aloitettiin vaurioituneen palkin sekä muiden palkkien tarkempi tutkinta. Paikalle kutsuttiin myös rakennusliikkeen edustaja, joka teki suunnitelman palkkien tukemiseksi ja lisävahinkojen ehkäisemiseksi. Palkit tuettiin välittömästi ja tuennat korjattiin viikonlopun aikana vastaamaan pitempiä aikaista käyttöä.

Onnettomuushetken lumikuorma ei vielä aiheuttanut välitöntä sortumavaaraa, mutta jos lumikuorma olisi lisääntynyt täyteen ominaisarvoon, olisi palkkien vaurioituminen jatkunut. Tästä aiheutunut palkin ylälaipan murtuminen olisi voinut aiheuttaa TT-laattojen tukipinnan häviämisen, joka voi johtaa palkkien stabiiliuden menetykseen.

Murtuma havaittiin 23 palkissa (33 palkista). Laajemmin vaurioituneita oli kolme. Laajemmin vaurioituneissa ylälaipan betonipeite oli kokonaan murtunut terästen ympäriltä. Muissa vaurioituneissa palkeissa näkyi ylälaipan alapinnassa erimittaisia halkeamia.

Vauriot ovat sen tyyppisiä, että kaikki palkit on korjattava riittävän kantokyvyn saavuttamiseksi.

#### HI-palkit

Jännitysanalyysin perusteella palkkien teoreettinen mitoituskestävyys on riittävä, edellyttäen, että raudoituksen yksityiskohtien suunnittelulla olisi varmistettu teoreettisen kestävyuden kehittyminen. Kuitenkin palkissa on huomattavan suuri ylälaipan raudoitus, jonka olemassaoloa ei voida mitoituslaskelmuin perustella. Raudoitusta on tarvittu osittain kompensoimaan palkin jännittämisen aikaisia oletettuja vaikutuksia, mutta yhtä hyvin kattamaan jännepunoksien ja jännittämättömien tankojen vetovoimaa murtorajatilassa (tavoitteena sitkeän murtorajatilatoiminnan takaaminen).

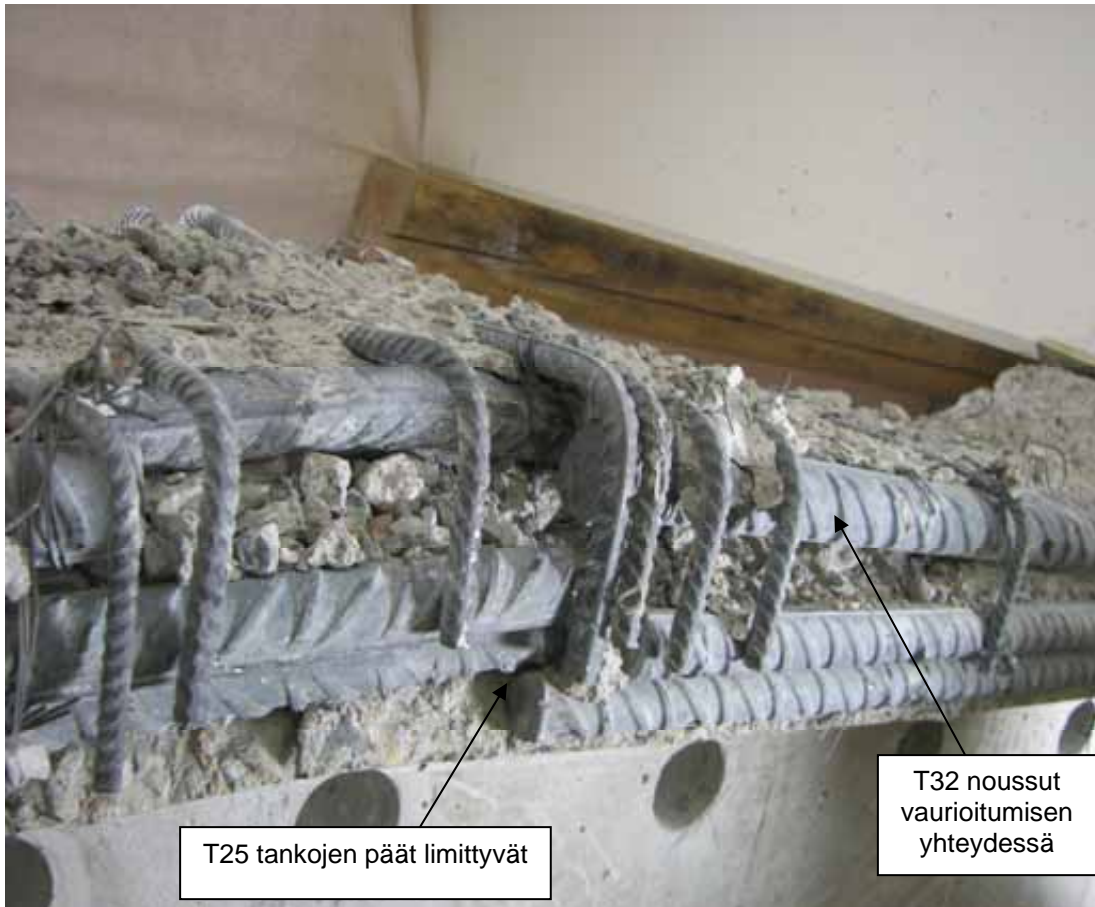
Harjan kohdan raudoituksen yksityiskohtien suunnittelussa on seuraavia puutteita:

- Suurien tankojen jatkokset on suunniteltu liian lyhyitä jatkospituuksia käyttäen. Tämän vuoksi vain osa jatkoksen aiotusta voimasta voi siirtyä. Puuttuva osa yrittää siirtyä jatkettavien tankojen väliin jäävän puristetun betonin kautta tai jos tankojen päät

ovat alunperin olleet kontaktissa tai lähes kiinni toisissaan, epäkeskisesti tangon poikkileikkaukseen vaikuttavan jännitysresultantin välityksellä.

- Suurien tankojen sitominen avoimilla haoilla, joiden kärjet eivät ankkuroidu mihinkään, ei voi toimia tarkoituksenmukaisesti.
- Harjan kohdalla olevien suurten tankojen vastakkain olevien päiden puristaessa toisiaan epäkeskisesti tai välissä olevaa betonia syntyy betoniin halkaisuvaikutuksia, jotka hävittävät hakojen vähäisenkin sitomisvaikutuksen ja tankojen nostovoima lohkaisee laipasta tankojen ulkopuolisen osan irti.
- Jäljelle jäävä tehollinen betonipoikkileikkaus on riittämätön vaadittavan taivutuskestävyyden säilyttämiseen.
- Oleellinen murtumisen aiheuttaja on puristusterästen suuri määrä ja harjan kohdalla tapahtuva tankojen jatkaminen, jota ei tarkasteltavassa tapauksessa voi toteuttaa mitenkään halkaisuvaikutuksia tuottamatta. Raudoitus on lisäksi altis työvirheille (kuva 12), jotka aiheuttavat myös halkaisuvaikutuksen.

Myös valmistuksessa on ollut vaikeuksia saada suunniteltu raudoitus sijoitettua palkin ylälaippaan siten, että riittävät suojaetäisyydet olisi saavutettu ja tangot sijoitettua haluttuun asemaan toisiinsa nähden.



Kuva 12. HI-palkin harjan kohdan tyypillinen raudituksen järjestely. Tällaisesta raudituksen järjestelystä aiheutuu voimakas halkaisuvaikutus. Kuva on otettu välittömästi betonin poistamisen jälkeen ennen korjausta ja tangot ovat murtumisen jälkeisessä muuttumattomassa asemassaan. Uumassa olevat reiät on porattu korjaushakojä varten ennen betonin poistamista.

Bild 12. Typisk armering vid åsen av HI-balken. Ett sådant arrangemang av armeringen medför en kraftig klyvningseffekt. Fotot har tagits omedelbart efter att betongen avlägsnats före reparationen och stängerna är i den position som de haft efter att de brustit. Hålen i balklivet har borrats för reparationshakarna innan betongen avlägsnades.

Figure 12. Typical reinforcement assembly for HI beams on the ridge. Such reinforcement detailing results in a strong spalling effect for the concrete. This photograph was taken immediately after the concrete was removed but before repair work started; the bars are in their unchanged post-rupture positions. The holes in the web were drilled for repair stirrup hooks before the concrete was removed.

HI-palkeille ei ole ollut olemassa tuotetta koskevia yksikäsitteisiä suunnitteluohjeita, joiden mukaisesti harjan kohtaa tulisi tarkastella. Rakentamismääräyskokoelman B4-osan kohtia 2.5.2.3 ja 2.5.2.4 on yleisesti tulkittu virheellisesti, koska rajatilamitoituksen rakenteelliset ohjeet päätankojen sitomisesta haoilla on kirjoitettu epäselvästi.

Ohjeiden kohdassa 2.5.2.3 (Palkit) on:

"Päätangot, joita käytetään hyväksi puristusraudoituksena, tulee sitoa haoilla kohdan 2.5.2.4 (Pilarit) mukaisesti."

Ohjeiden kohdassa 2.5.2.4 on:

"Puristettu pääraudoitus sidotaan irtohailla, hitsatuilla sidetangoilla tai jatkuvilla kierrehailla, joiden halkaisijoista ja väleistä noudatetaan seuraavia ohjeita: Irtohakojen halkaisija on vähintään 0,25 kertaa ja väli enintään 15 kertaa päätankojen halkaisija. Haan katsotaan sitovan ne päätangot, joiden etäisyys haan nurkasta on enintään 20 kertaa haan halkaisija. Muut päätangot, joita on käytetty hyväksi puristusraudoituksena, sidotaan välihailla, joiden väli saa olla enintään 2 kertaa päähakojen väli."

Edellä lainatut kohdat olivat jo vuoden 1990 betoninormeissa ja ovat edelleen voimassa. Näitä kohtia on tulkittu ikään kuin ne olisivat myös kääntäen voimassa. Eli, jos ylälaipan betonin laskennallinen puristuskestävyys on riittävä ja tankoja ei tarvittaisi lisäkestävyyden tuottamiseen, ei tankoja sitovia hakoja tarvittaisi. Näissäkin tapauksissa etenkin paksut tangot ottavat vastaan puristusvoimia, joten ne tarvitsevat kunnollisen sidonnan.

Loppukutistuman perusarvo oli Suomen Betoniyhdistyksen ohjeen by15 (1990) taulukon 2.3 mukaan 0,45 ‰ (kuiva ilma) ja nykyisessä ohjeessa 0,6 ‰. Muutoksella ei ole ollut vaikutusta tarkasteltavassa tapauksessa. Virumatarkastelussa käytettävät arvot eivät ole muuttuneet tarkasteluajankohdasta tähän päivään.

Kesällä 1979 Suomen betonteollisuuden keskusjärjestön VTT:ltä tilaama jännebetonipalkkitutkimuksessa oli tarkoitus tutkia raudoitusten toteuttamista ja raudoitteiden kehittämistä.<sup>3</sup> Tutkimus on jäänyt aikanaan kesken, mutta siinä esitettyjä raudoitusideoita on alettu soveltamaan käytäntöön.

### 3.2 Pelastustoiminnan analysointi

Hätäilmoitus tehtiin 40 minuuttia vaurion havaitsemisen jälkeen. Koska kauppakeskus oli suljettuna ja alue eristetty hätäilmoituksen viivästymisellä ei ollut vaikutusta pelastustoi-  
mien onnistumiseen.

Hätäkeskus teki hälytyksen pelastuslaitokselle kahdessa minuutissa ja tehtäväksi määriteltiin *Vahingontorjunta - keskisuuri*. Pelastuslaitoksen saatua hälytyksen paikalle saapui vahvennettu pelastusyksikkö, jonka johtajana toimi päivystävä palomestari. Palomestari pyysi paikalle myös alueen palopäällikön. Pelastuslaitoksen tehtävänä oli lisävahinkojen estäminen ja henkilöturvallisuuden varmistaminen. Hälytettävien yksiköiden määrä sekä toiminta olivat riittävät, koska varsinaista sortumavaaraa ei ollut.

Pelastuslaitoksen toimintavalmiusaika oli 8 min ja se on tässä tapauksessa riittävä ja toimintavalmiusohjeen mukainen.

Pelastuslaitos ja kauppakeskuksen johto antoivat vaaratilanteesta tiedotteen tiedotusvälineille ja järjestivät kaksi tiedotustilaisuutta. Tiedottaminen oli riittävää.

Paikalle hälytettiin pelastuslaitos, poliisi ja rakennusvalvontaviranomainen ja viranomaisyhteistyö niiden kesken toimi hyvin.

---

<sup>3</sup> Lähde: Betonituote-lehti 2/84, s. 47. (Artikkeli liitteenä 3.)

## **4 JOHTOPÄÄTÖKSET**

### **4.1 Toteamukset**

1. Vaurion havaitsemishetkellä lumikuorma oli 63 % suunnittelussa käytetystä ominaiskuormasta.
2. Vaurion havaitsemishetken lumikuorma ei aiheuttanut välitöntä sortumisvaaraa.
3. Lumi poistettiin katolta 1,5 vuorokaudessa.
4. Suurempia vaurioita sisältäneitä palkkeja oli kolme.
5. Tarkemmissa tutkimuksissa havaittiin vaurioita lähes kaikissa palkeissa.
6. Jännitysanalyysin perusteella kauppakeskukselle annettiin ohje, että katolle ei saa antaa kertyä lunta yli 20 cm ennen kuin palkit on korjattu.
7. Palkkien raudoituspiirustuksessa kiinnitti huomiota ylälaipan huomattavan suuri raudoitustankojen määrä ylälaipan poikkileikkauksalaan verrattuna. Kyseistä tankomäärää ei voida sijoittaa poikkileikkaukseen voimassa olleiden RakMK B4 ohjeiden vaatimukset toteuttavasti.
8. Tämä näkyi myös pahiten murtuneesta palkista, kun betoni oli lohkeillut kokonaan pois.
9. Palkkien valintaan, suunnitteluun ja valmistukseen osallistui useita eri tahoja, joiden välillä kokonaiskuva suunnittelun perusteista ei ollut selkeä.
10. Yksikäsitteisiä ohjeita palkkien suunnittelusta ei ole, vaan valmistajien käyttämällä suunnittelijoilla on erilaisia suunnittelun apuvälineitä ja menetelmiä.
11. Betoniteollisuudella ei ole ollut yksikäsitteisiä raudoitusohjeita ja eri tehtailta on erilaisia palkkien raudoitusmenetelmiä.
12. Kesällä 1979 Suomen betoniteollisuuden keskusjärjestön VTT:ltä tilaama jännebetonipalkkitutkimuksessa oli tarkoitus tutkia raudoitusten toteuttamista ja raudoitteiden kehittämistä.
13. Tutkimus on jäänyt aikanaan kesken, mutta siinä esitettyjä raudoitusideoita on alettu soveltamaan käytäntöön.

### **4.2 Onnettomuuden syyt**

Syynä HI-palkin ylälaipan murtumiseen oli raudoituksen suunnittelussa ja palkin mitoitustarkastelussa olevat puutteet, puutteelliset raudoituspiirustukset ja ongelmat raudoituksen sijoittamisessa palkkeja valmistettaessa.



Taustatekijänä puutteisiin suunnittelussa ja mitoitustarkasteluissa oli yksityiskohtaisten ohjeiden puuttuminen, virheelliset laskentaotaksumat, kuormituksiin nähden palkin pieni korkeus ja leveys sekä tiedonkulun puute suunnittelijoiden välillä.

Valmistuksessa toteutunut raudoituksen sijoittelu ei vastaa voimassa olleiden betoninormien rakenneluokan 1 sijaintitoleransseja.

## 5 TOTEUTETUT TOIMENPITEET

Sisäasiainministeriön pelastusosasto tiedusteli huhtikuun puolella välissä 2006 aluepelastuslaitoksilta riskikohteiden määrää ja arvioita lumen paksuudesta.

Ympäristöministeriö on kirjeellään YM 11/629/2006, 6.7.2006 kiinnittänyt kiinteistöjen omistajien huomiota vauriotapauksiin ja esittänyt, että kuntien rakennusvalvontaviranomaiset tiedottavat asiasta sopivaksi katsomallaan tavalla. (Liite 4)

Rakennusteollisuus RT/Betoniteollisuus on reagoinut tähän vauriotapaukseen ja aikaisemmin Kuopiossa sattuneeseen vastaavaan vaurioon lähettämällä jäsenyrityksilleen lisäohjeen HI-palkkien suunnittelusta, valmistuksesta ja asennuksesta (Jännitetyjen HI-palkkien suunnittelu ja valmistus 2.5.2006). Ohjeessa käsitellään palkkityyppien ja palkkien korkeuden valintaa, palkkien ylälaipan puristuserästen määrän rajoittamista, harjan kohdan raudoittamisvaatimuksia ja pääraudoituksen sitomista, palkkien uumareikien kokoa ja sijoittamista sekä valmistukseen ja kuljettamiseen liittyviä ohjeita. Ohjeissa korostetaan, että jännitetyt HI-palkit ovat 1-rakenneluokan rakenteita, joiden suunnitelmien laatijalla/tarkastajalla tulee olla FISE ry:n toteama betonirakenteiden AA-suunnittelijapätevyys.

Betoniteollisuus on kartoittanut jäsenyrityksiensä kanssa yhteistyössä rakennuksia, joiden palkeissa saattaa esiintyä käyttötilanteessa esiintyviä murtumisriskejä. Kriteereinä on pidetty jänneväliä, esiintyviä kuormituksia, uumareikien esiintymistä ja sijoittamista, harjan kohdan raudoitusdetaljeja ja betonin lujuutta jännevoiman laukaisun hetkellä.

Betonirakenteiden suunnitteluohjeet, sekä RakMK B4 että EN 1992-1-1, joka tulevaisuudessa korvaa kansalliset ohjeet, ovat sisältäneet sumean periaatteen puristusraudoituksen yksityiskohtien suunnittelusta, jota on voitu ja voidaan tulkita virheellisesti niin, että puristusraudoitusta ei tarvitse sitoa haoilla, jos sitä ei käytetä hyväksi kestävyyslaskennassa. Tähän on reagoitu niin, että Euroopan standardisointijärjestön CENin asiainkuuluvia tahoja on informoitu standardin virheellisestä kohdasta ja kehoitettu muuttamaan sitä. Asia on myös otettu huomioon kansallisesti ja siihen tullaan puuttumaan tulevassa normituksessa.

Kauppakeskuksen kaikki HI-palkit on tarkastettu, korjaussuunnitelma tehty ja korjaustyöt aloitettu.

Kauppakeskukselle on laadittu ohje katolla olevan lumen maksimimäärästä siihen saakka kunnes palkit on korjattu.

## 6 SUOSITUKSET

### S1 Palkin suunnitteluohje

*Ympäristöministeriön tulisi huolehtia siitä, että HI-palkeille laadittaisiin yksiselitteiset suunnitteluohjeet, jotka sisältäisivät myös ohjeet vaurioituneiden palkkien korjaamiseksi. [B2/06Y/S1]*

Ohjeissa tulee ottaa huomioon muun muassa:

- palkin erilaiset rasiustilat alkaen jännevoiman siirrosta käyttörajatilan pitkäaikaiseen rasiustilaan saakka, kriittiset jännitykset kussakin vaiheessa
- suurimmat sallitut puristusjännitykset alalaipassa jännittämisen aikana
- suurimmat sallitut käyttörajatilajännitykset ylälaipassa harjan kohdalla
- taivutuskestävyyden laskemisohe, periaatteena sitkeä murtuminen ja yliraudoittamisen estäminen
- raudoittamisohe: ylälaipan raudoittamisen vaatimukset, puristuserästen suurin sallittu määrä, tankojen sijoittamisen vaatimukset, tankojen päättäminen ja jatkaminen, harjan kohtaa koskevat erilliset ohjeet sekä hakojen vaatimukset (myös korjaus)
- uumareikien suunnitteluohje: reikien paikkojen rajoitukset, suurimmat sallitut reikäkoot ja reikien paikat sekä ohje reikien reunoilla esiintyvien, lineaarisesta jännitysanalyysistä poikkeavien, jännityksien arvioimisesta. Jos reikien koon ja sijainnin osalta poikkeaa annetuista suosituksista, tulee rakenne tutkia tarkemmilla menetelmillä.
- jos suunnitteluohjeista poiketaan tai rakenne on muuten riskialtis, kuuluu se RakMK A1:n erityismenettelyn piiriin ja siten sen suunnitelmat tulee tarkistuttaa ulkopuolisella asiantuntijalla.

### S2 Palkkien kunnan tarkastaminen

*Ympäristöministeriön tulisi yhteistyössä rakennusvalvontaviranomaisten ja betonialan toimijoiden kanssa huolehtia siitä, että kiinteistöjen omistajat teettäisivät yli kymmenen vuotta vanhoille HI-palkeille tarkastuksen. [B2/06Y/S2]*

Yli kymmenen vuotta vanhojen palkkien kunnan tarkastus suositellaan tehtäväksi, kun

- palkin korkeus on suositeltavaa korkeutta pienempi (poikkeaa betoniteollisuuden laaditusta mitoituskäyrästä)
- rakennukseen on tehty muutoksia, jotka voivat vaikuttaa lumikuorman suuruuteen
- rakenteisiin on tehty muutoksia, jotka vaikuttavat palkkien mitoituskuormiin
- palkeissa on suuria uumareikiä lähellä ylälaippaa.

Vastuu riskikohteiden tarkastuksesta on rakennuksen omistajalla, joka yhteistyössä päärakennesuunnittelijan ja rakennusvalvontaviranomaisten kanssa arvioi tarkastustarpeen.

### S3 Laadunvalvonta ja auditointi

*Ympäristöministeriön ja betonialan toimijoiden tulisi huolehtia siitä, että betonitehtaiden laadunvalvontaa ja auditointia kehitetään ja saatavissa olevaa ohjeistusta esimerkiksi betonivalmisteiden laatuerojen käsittelystä<sup>4</sup> noudatetaan kattavasti. [B2/06Y/S3]*

1–3 kertaa vuodessa tapahtuvan tehdaskäynnin yhteydessä ei voida havaita tilapäisiä poikkeamia laadussa. Omavalvontaa, suunnitelmien toteutumisen seuranta ja dokumentointia tulee kehittää.

#### Aikaisemmissa tutkintaselostuksissa annetut suositukset

Tutkintaselostuksessa B1/2005 Kauppakeskuksen katon sortumisvaara Kuopiossa 18.3.2005 annettiin kaksi suositusta:

*Piirustusten tulkinnanvaraisuus tulisi eliminoida ja jännebetonipalkkeja valmistaville elementtitehtaille pitäisi saada yksikäsitteinen tieto siitä, missä tarvitaan palkin ylälaipan tankojen sidontahakoja. [B1/05Y/S1]*

*Kantavuuskäyrien mukaisia palkkien korkeuksia ei tulisi ilman painavaa syytä pienentää. Jos käytetään matalampia palkkeja, niiden mitoitus ja raudoituksen suunnittelu tulisi tarkistuttaa harjapalkkien toimintatavat tuntevalla erityisasiantuntijalla. [B1/05Y/S2]*

Kyseiset samaa aihepiiriä koskevat suositukset tulevat otetuksi huomioon toteuttamalla uudet suositukset S1 ja S3.

Helsingissä 17.8.2007

  
Esko Värttiö

  
Anssi Parviainen

  
Matti V. Leskelä

<sup>4</sup> Betonivalmisteiden laatuerojen käsittely, Betonikeskus ry, Tassu-projekti, Syyskuu 2006.

## LAUSUNNOT



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ  
MILJÖMINISTERIET  
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

Päiväys  
Datum

Dnro  
Dnr

14.6.2007

YM5/629/2007

Onnettomuustutkintakeskus  
Sörnäisten rantatie 33 C  
00580 Helsinki

SAAPUNUT

20-06-2007

259/54

Vilte Lausuntopyyntönne 197/5Y 16.5.2007  
Hänvisning

Asia Lausunto tutkintaselostuksen B2/2006Y luonnoksesta  
Ärende

Onnettomuustutkintakeskus on pyytänyt ympäristöministeriön lausuntoa tutkintaselostuksen B2/2006Y luonnoksessa esitetyistä suosituksista. Tutkintaselostus koskee Savonlinnan Prisman 31.3.2006 ilmennyttä katon sortumavaaraa. Ympäristöministeriö toteaa lausuntoon esitetyistä suosituksista seuraavaa:

Suosituksessa B2/06Y/S1 esitetään laadittavaksi HI-palkeille yksiselitteiset suunnitteluohjeet. Tämä tapaus ja aikaisempi samantyyppinen kuopiolaisen kauppakeskuksen katon sortumavaara osoittavat tällaisten ohjeiden tarpeellisuuden. Ympäristöministeriö puoltaa ohjeiden laatimista siten, että ne käsittävät suosituksessa yksilöidyt asiat.

Toisessa suosituksessa B2/06Y/S3 esitetään, että yli kymmenen vuotta vanhojen HI-palkkien kunto tulisi tarkastaa, kun tietyt kriteerit täyttyvät. Kymmentä vuotta uudempien kohteiden katsottaneen sisältyvän YM:n kirjeessä (6.7.2006) ja Rakennusteollisuus RT:n tiedotteessa (2.5.2006) ohjeistettujen tarkastusten piiriin. Ympäristöministeriö puoltaa suositusta seuraavin huomautuksin:

- Luonnoksessa ei ole yksilöity tietolähdettä suositeltavan palkin korkeuden määrittämiseksi. Tutkintalautakunta lienee tarkoittanut edellä mainittua Rakennusteollisuus RT:n tiedotetta, joka on myös luonnoksen liitteenä. Siihen voitaisiin yksiselitteisyyden vuoksi viitata. Suluissa olevassa tekstissä mainitaan tilannearvion tekijänä rakennuksen pääsuunnittelija. Tässä lienee tarkoitettu rakennuksen päärakennesuunnittelijaa, joka myös mainitaan jäljempänä.

- Arvio riskikohteiden tarkastustarpeesta kuuluu ensi sijassa rakennuksen omistajalle. Sopivin asiantuntija hänelle on päärakennesuunnittelija, joka on vastannut rakennesuunnittelun kokonaisuudesta. Rakennusvalvonnalla ei ole toimivaltaa yleisesti kyseiseen tehtävään. Kuitenkin jos rakennuksen kunnossapitovelvollisuus laiminlyödyään, kunnan rakennusvalvontaviranomainen voi määrätä rakennuksen korjattavaksi (MRL 166 §). Viittaus rakennusvalvonnan yleiseen mukanaoloon tarkastustarpeen arvioinnissa tulisikin poistaa.

Kolmannessa suosituksessa B2/06Y/S3 esitetään betonitehtaiden laadunvalvonnan ja auditoinnin kehittämistä. Suositus on oikeansuuntainen, koska sisäisessä laadunvalvonnassa on usein parannettavaa. Suosituksessa viitataan ulkopuolisen tarkastuselimen tekemiin 1-3 vuosittaiseen tarkastuskäyntiin tehtaalla. Niiden yhteydessä ei todella voida, kuten luonnoksessa todetaan, havaita tilapäisiä poikkeamia laadussa. Pistokoetarkastuksiin perustuvan järjestelmän tavoite on kuitenkin muun muassa löytää sisäisen laadunvalvontajärjestelmän mahdolliset puutteet ja sitä kautta kehittää valmistajan omaa valvontaa.

Tulosalueen päällikkö  
Rakennusneuvos



Helena Säteri

Rakennusneuvos



Jaakko HUUHTANEN



SISÄASIAINMINISTERIÖ  
Pelastusosasto

24.5.2007

SM-2007-1697/Tu-33

Onnettomuustutkintakeskus  
Sörnäisten rantatie 33 C  
00580 Helsinki

SAAPUNUT

25-05-2007


210/54

Lausuntopyyntö 16.5.2007, 197/5Y

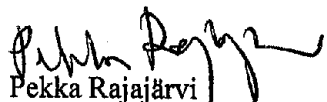
**KAUPPAKESKUKSEN KATON SORTUMAVAARA SAVONLINNASSA 31.3.2006**

Sisäasiainministeriön pelastusosastolla ei ole huomautettavaa  
tutkintaselostuksen B2/2006Y, Kauppakeskuksen katon sortumavaara  
Savonlinnassa 31.3.2006 esitettyihin selvityksiin.

Tekninen johtaja

  
Hannu Olamo

Toimistoinsinööri

  
Pekka Rajajärvi



SOSIAALI- JA  
TERVEYSMINISTERIÖ

Työsuojeluosasto

Onnettomuustutkintakeskus

Sörnäisten rantatie 33 C  
00580 Helsinki

Dno:  
STM/1746/2007

LAUSUNTO  
18.6.2007

SAAPUNUT

06-07-2007

282/54

Viite: Onnettomuustutkintakeskuksen lausuntopyyntö 16.5.2007 197/5Y

Asia: Lausunto tutkintaselostuksen B2/2006Y suositusosasta

Sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosaston käsityksen mukaan tutkintaselostuksessa esitetyt suositukset parantavat toteutuessaan rakennusten turvallisuutta ja samalla myös rakennusten käyttäjien työturvallisuutta.

Työsuojeluosasto haluaa kiinnittää huomiota kuitenkin siihen, että Onnettomuustutkintakeskuksen juuri valmistuneessa tutkintaselostuksessa S1/2006Y on esitetty suositus: Ympäristöministeriön tulisi kehittää yhdessä rakennusalan toimijoiden kanssa rakennuksille katsastusmenettely, jossa oleellisena sisältönä olisi rakenteiden turvallisuus. Nyt lausunnolla olevan tutkintaselostuksen suositus yli kymmenen vuotta vanhojen HI- palkkien tarkastamisesta olisi hyvä kytkeä em. tarkastusmenettelyyn kehittämiseen.

Osastopäällikkö, ylijohaja

  
Mikko Hurmalainen

Yli-insinööri

  
Esa Virtanen

K:\Lausunnot\2005-2006\TSO-lausunto HI-palkista 18.6.2007.doc



Postiosoite: ,  
Käyntiosoite:

Puhelin:  
Suorapuhelin:  
Telekopio:

Sähköposti:  
X400:



**SAVONLINNAN KAUPUNKI**  
Tekninen virasto  
Valvonta/rakennusvalvonta

30.05.07

**SAAPUNUT**

Onnettomuustutkintakeskus  
Esko Värhtiö  
Sörnäisten rantatie 33 C  
00580 Helsinki

0.1-06-2007

219/5R

Asia: LAUSUNTO KAUPPAKESKUKSEN KATON SORTUMISVAARA  
SAVONLINNASSA TUTKIMUSSELOSTUKSEN  
SUOSITUSOSAAN

Onnettomuustutkintakeskuksen lausuntopyyntö 197/5Y  
16.05.2007.

Rakennusvalvonta ilmoittaa lausuntonaan, että sillä ei ole  
huomauttamista suosituksen suhteen.



Rauno Sairanen  
rakennustarkastaja

**SAVONLINNAN KAUPUNKI**  
**RAKENNUSVALVONTA**

## **Liite 1/6 (13)**

### **Etelä-Savon hätäkeskuksen lausunto**

15.6.2007

Kauppakeskuksen katon sortumisvaara Savonlinnassa 31.3.2006

Etelä-Savon hätäkeskuksella ei ole lisättävää tai muutostoiveita kyseisen lausunnon olleen raportin osalta. Raportti kuvaa hätäkeskuksen toimintaa tapahtumien mukaisesti.

Heidi Lepistö

Rakennustarkastusyhdistys RTY ry

Lausunto 11.6.2007  
SAAPUNUT

11-06-2007

238/5Y

Onnettomuustutkintakeskus  
Sörnäisten rantatie 33 C  
00580 Helsinki

Lausuntopyyntö 197/5Y/16.5.2007 tutkintaselostuksen luonnoksen suositusosasta

**Kauppakeskuksen katon sortumisvaara Savonlinnassa 31.3.2006**

Rakennustarkastusyhdistys kommentoi kolmea esitettyä suositusta seuraavasti.

HI-palkeille tulisi laatia yksiselitteiset suunnitteluohjeet (B2/06Y/S1).

Suositukseen on kirjattu olennaiset asiat, jotka jännitettyjen HI-palkkien suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Päteville ja vastuuntuntoisille rakennesuunnittelijoille ne ovat tuttuja. 1980- ja 1990-lukujen taitteesta alkaen rakennusala on ollut jatkuvien muutosten keskellä, joilla on ollut kielteisiä vaikutuksia muun muassa rakennesuunnitteluun. Vaikutukset ovat tulleet esiin lukuisina kantavien rakenteiden vauriotapauksina. Tilanteen selkiyttämiseksi tarvitaan yksiselitteiset suunnitteluohjeet. Ne toimivat myös rakennesuunnittelijan tukena.

Suosituksessa tulee voimakkaammin korostaa aikaisemmassa suosituksessa B1/05Y/S2 esille tuotua jännitettyjen HI-palkkien suunnitelmien tarkastamista ulkopuolisella asiantuntijalla, jos suunnitteluohjeista poiketaan.

Yli kymmenen vuotta vanhat HI-palkit tulisi tarkastaa (B2/06Y/S2).

On tarpeellinen toimenpide, koska valmistajan ja suunnittelijan suunnitelmien säilyttämisvelvollisuus on rajoittunut kymmeneen vuoteen ja kyseisten palkkien tarkastaminen on ilmeisesti rajoittunut vain 10 vuotta taaksepäin valmistuneisiin kohteisiin. Tarkastuksissa tulee kiinnittää huomiota lumikuorman lisäksi rakentamisen jälkeisiin ripustuskuormien kasvamiseen (esimerkiksi nostinkuormat).

Maankäyttö- ja rakennuslain 166 §:n mukaan rakennus ympäristöineen on pidettävä sellaisessa kunnossa, että se jatkuvasti täyttää mm. turvallisuuden vaatimukset. Huolehtimisvelvollisuus tästä kuuluu rakennuksen omistajalle, joten hänen yhdessä pätevän rakenneasiantuntijan kanssa on arvioitava mahdolliset riskit. Rakennuksen pääsuunnittelijan kompetenssi ei riitä palkkien toimivuuden arviointiin (pääsuunnittelija on koulutukseltaan yleensä arkkitehti). Palkkeihin liittyvien riskien arviointi ei kuulu myöskään rakennusvalvontaviranomaisille. Yhteydenpito viranomaiseen on tärkeää siinä muodossa, että voidaan varmistua selvitysten riittävyys ja tekijöiden pätevyys.

Betonitehtaiden laadunvalvontaa ja auditointia tulisi kehittää (B2/06Y/S3).

## Liite 1/8 (13)

Tämän suosituksen yhteydessä haluamme korostaa selvitysmies Tapani Mäkikyrön esittämää Workshop työskentelyä. Jännitetyt rakenteet ovat vaativia, erityisosaamista edellyttäviä rakenteita. Etenkin niissä tapauksissa, joissa suunnitelmat ovat valmistuksen kannalta tavallista vaativampia, tulee kriittiset kohdat käydä rakennesuunnittelijan kanssa yhdessä läpi ennen kuin palkkien valmistukseen ryhdytään.

Rakennustarkastusyhdistys RTY ry



Lauri Jääskeläinen



Kauko Juutinen



Onnettomuustutkintakeskus  
Sörnäisten rantatie 33 C  
00580 Helsinki

Lausunto  
13.6.2007

SAAPUNUT

15-06-2007

250/57

Viite: Lausuntopyyntö 16.5.2007 197/5Y

## TUTKINTASELOSTUS SAVONLINNASSA 31.3.2006 TAPAHTUNEESTA KATON SORTUMAVAAARASTA

Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry:ltä on pyydetty lausuntoa yllä mainitusta tutkintaselostuksesta.

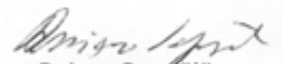
Tutkintaselostus on näkemyksemme mukaan asiallisesti tehty eikä sisällä merkittäviä puutteita. Tutkintaselostuksessa esitetyistä suosituksista ensimmäisenä olevaa palkin yksiselitteisten suunnitteluohjeiden laatimista pidämme tarkoituksenmukaisena.

Toisen suosituksena oleva palkkien kunnon tarkastaminen olisi syytä tehdä myös kymmentä vuotta nuoremmille palkeille, jos suosituksessa esitetyt edellytykset täyttyvät. Jos palkeissa on merkittäviä suunnittelu- tai rakentamisvirheitä, niin ne voivat ilmetä jo aiemmin. Tällöin voidaan virheistä vastuussa olevat tahot saada vastaamaan virheistä, jos ne ovat luonteeltaan törkeän tuottamuksellisia.

Kolmas suositus betonitehtaiden laadunvalvonnan kehittämisestä on erittäin tervetullut. Ulkopuolisella valvonnalla ei mitenkään voida havaita satunnaisia poikkeamia laadunvalvonnassa. Teräsbetonituotteet ovat myös laadunvalvonnaltaan sikäli vaikeita, että raudoituksen onnistumista tai epäonnistumista ei voida yksinkertaisesti havaita tuotteita rikkomatta. RAKLI on omalta osaltaan kehottanut jäsenistöään mm. HI-palkkien tarkastuksiin tiedotteilla heinä- ja syyskuussa 2006.



Jani Saarinen  
toimitusjohtaja



Raimo Seppälä  
tekninen johtaja

Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry

RAKLI – The Finnish Association of Building Owners and Construction Clients

OSOITE/ADDRESS

Annankatu 24, FI-00100 Helsinki, FINLAND

PUH/TEL.

+358 9 4767 5711

FAX

+358 9 4767 5700

S-POSTI/E-MAIL

rakli@rakli.fi

WWW

rakli.fi

NORDEA

125630-102544

T-TUNNUS/VAT N°

1070296-2



19.6.2007

SAAPUNUT

1 (2)

21-06-2007  
260/5Y

**Onnettomuustutkintakeskus**

Esko Värttiö

Sörnäisten rantatie 33 C

00580 Helsinki

**Asia:**

**Lausunto**

**Tutkintaselostus B2/2006Y Kauppakeskuksen katon sortumisvaara  
Savonlinnassa 31.3.2006**

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry kiittää lausuntopyynnöstä koskien asiakohdas-  
sa mainittua tutkintaselostusta ja esittää lausuntonaan seuraavaa:

**1. Yleistä**

Rakennusalan lama 1990-luvulla kosketti erityisesti rakennesuunnittelijoita, koska sen seurauksena alkoi rakennesuunnittelun raju hintakilpailu. Se johti osaltaan työmäärän mi-  
nimointiin ja suunnittelun tason laskuun. Tämä on osaltaan näkynyt myös viimeaikaisten  
rakennesortumien suurena määränä.

Suunnitteluprosessin ongelmana on usein myös se, että rakennesuunnittelija ei ole muka-  
na suunnittelun alusta alkaen. Kyseisessäkin tapauksessa pääpiirustuksissa oli määrätty  
palkkien jänneväli ja korkeus. Rakennesuunnittelija määritteli kantavien rakenteiden mitat  
arkkitehdin pääpiirustusten mukaan. Ulkomiitoiltaan määriteltujen HI-palkkien raudoituksen  
suunnitteli betonielementitehtaan raudoitussuunnittelija. Suunnittelussa ja toteutuksessa  
tapahtuneet virheet ovat sitten johtaneet vaurioiden syntymiseen. Yhteistyö rakennesuun-  
nittelijan kanssa jo suunnittelun alkuvaiheessa olisi mahdollistanut virheiden välttämisen.

Rakennushankkeet, joissa HI-palkkeja käytetään, ovat yleensä erittäin vaativia rakennus-  
hankkeita, ja ne kuuluvat siten vuonna 2006 voimaan astuneen RakMK A1:n mukaisen  
erityismenettelyn piiriin. Niiden suunnittelu ja valmistus edellyttävät erityismenettelyn mu-  
kaista toimintaa, joka osaltaan tulee minimoimaan onnettomuusriskiä.

**2. Kommentit tutkintaselostuksen yleiseen osaan**

Tutkintaselostus on perusteellinen ja asiantuntemuksella laadittu. Pienenä terminologise-  
na yksityiskohtana kaipaisi selvennystä sivun 12 viimeiseen lauseeseen. Onko tekstissä  
mainittu rakennuskonsultti rakennuttajakonsultti? Samassa lauseessa urakoitsijoiden si-  
jasta lienee valittu aliurakoitsijat.

**3. Kommentit esitettyihin suosituksiin**

**S1 Palkin suunnitteluohje**

Suosituksessa on mainittu olennoisimmat asiat, jotka tulee ottaa huomioon jännitettyjen HI-  
palkkien suunnittelussa, mutta alkuun esitämme lisättäväksi kohdan suositelluista palkkien  
mitoista.

- Raudoittamisohjeesta esitämme poistettavaksi sanan *mahdollinen*, ts ohjeessa  
tulee aina olla myös tankojen jatkamisohjeet. (kyseessä olevassa tapauksessa oli  
jatkettu vain neljä terästä kahdeksasta ja nekin vajailla jatkospituuksilla).

- Uumareikien suunnitteluohjeesta esitämme poistettavaksi sivulauseen – *jos rakennetta ei tutkita tarkemmilla menetelmillä*. Loppuun esitämme lisättäväksi lauseen: Jos reikien koon ja sijainnin osalta poiketaan annetuista suosituksista, tulee rakenne tutkia tarkemmilla menetelmillä.

Uutena kohtana esitämme seuraavaa:

- jos suunnitteluohjeista poiketaan tai rakenne on muuten riskialtis, kuuluu se RakMK A1:n erityismenettelyn piiriin ja siten sen suunnitelmat tulee tarkistuttaa ulkopuolisella asiantuntijalla.

## **S2 Palkkien kunnon tarkistus**

Suositus esitetään muutettavaksi kokonaisuudessaan seuraavaan muotoon:

*Tulee tarkastaa kaikki HI-palkit, joiden korkeus on pienempi kuin betonelementteollisuuden laatimien mitoituskäyrästöjen mukainen korkeus, mikäli tarkastusta ei ole jo aikaisemmin tehty.*

*Yli kymmenen vuotta vanhojen palkkien kunnon tarkistus tulee suorittaa, kun*

- *rakennukseen on tehty muutoksia, jotka voivat vaikuttaa kuormituksen suuruuteen, esim. laitekuormat, lumikuormat jne.*
- *palkeissa on suuria uumareikiä tai ne ovat lähellä ylälaippaa tai toisiaan.*

*Vastaavan rakennesuunnittelijan tulee tehdä selvitys riskikohteiden tarkastustarpeesta rakennuksen omistajan toimeksiannosta. Rakennustarkastusviranomaisiin on oltava yhteydessä selvityksen riittävyyden ja toimijoiden pätevyyden varmistamiseksi.*

Selvennyksenä toteamme, että Maankäyttö- ja rakennuslain 166§:n mukaan huolehtimisvelvollisuus rakennuksen turvallisuudesta kuuluu rakennuksen omistajalle. Pääsuunnittelijan tehtäviin ei kuulu palkkien toimivuuden arviointi ja yleensä pätevyyskään ei riitä siihen, joten arvioinnin tulee suorittaa pätevä rakennesuunnittelija, esim. hankkeen vastaava rakennesuunnittelija, jolle hanke on ennestään tuttu.

## **S3 Laadunvalvonta ja auditointi**

Tähän esitämme lisättäväksi lauseen: Erityisen vaativissa kohteissa kriittiset kohdat ja asiat tulee erityismenettelyn mukaisesti käydä läpi yhdessä rakennesuunnittelijan kanssa, ennen kuin palkkien valmistukseen ryhdytään.

Neljäntenä suosituksena esitämme otettavaksi mukaan tarkastuksissa todettujen vaurioiden korjausohjeen seuraavasti:

## **S4 Vaurioituneiden palkkien korjaaminen**

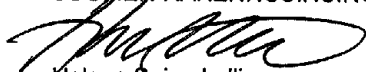
*Vaurioituneiden HI-palkkien korjaamiselle tulisi laatia ohjeet.*

Vaurioituneiden palkkien korjaussuunnitelma tulee teettää pätevällä rakennesuunnittelijalla.

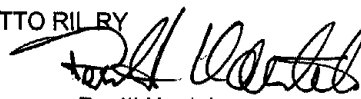
FISE Oy:n laatimassa rakennusvirhepankin kortissa RVP-S-BE-4 on esitetty eräs hyväksyttävä tapa korjata vaurioitunut HI-palkki.

Kunnioittaen

SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL RY



Helena Seimäkalio  
toimitusjohtaja, dipl.ins.



Pentti Hautala  
tekninen johtaja, dipl.ins.



Onnettomuustutkintakeskus  
Sörnäisten rantatie 33C  
00580 Helsinki

SAAPUNUT  
13.6.07/as

14-06-2007

247/57

**Lausunto Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostuksesta B2/ 2006Y, Kauppakeskuksen katon sortumisvaara Savonlinnassa 31.3.2006. Luonnos 16.5.2007.**

Kiitämme mahdollisuudesta lausua asian johdosta seuraavaa.

**Syyt palkkien murtumaan**

Palkkien murtumia ja niihin johtaneita syitä on tutkittu perusteellisesti sekä Onnettomuustutkintalautakunnan että muiden asiantuntijoiden ja teollisuuden toimesta. Raportti antaa oikean kuvan murtumien syistä. Käsittelemme mukaan pääasialliset syyt murtumaan ovat olleet

- virheelliset laskentaotaksumat
- liian pienen palkkipoikkileikkauksen valinta mitoitussuositusten vastaisesti
- puutteellinen hakarautaus ja raudituksen suunnittelu yleensä
- yksityiskohtaisten suunnitteluohjeiden puuttuminen

Suosittelusten mukaan palkin olisi pitänyt olla noin 100 mm leveämpi. Alan järjestön laatimien alustavien mitoituskäyrien mukaan palkin poikkileikkaukseksi olisi tullut valita 1330x480 mm, kun poikkileikkaukseksi valittiin 1350x 380 mm. Rakenne olisi kestänyt huomattavasti pienemmällä yläpaarten terästyksellä, jos palkin omapaino olisi otettu oikein huomioon. Palkin yläpinnan raudoituksena olisi riittänyt noin 6 T 20. Valittu rauditusratkaisu palkin harjan kohdalla oli myös altis työvirheille.

**Suositus ehdotukset**

**Ehdotus S1.** HI- palkeille tulisi laatia yksiselitteiset suunnitteluohjeet.

HI- palkkien tilaajien ja heidän suunnittelijoidensa tulisi noudattaa kaikissa tilanteissa teollisuuden antamia suosituksia palkkipoikkileikkauksen valinnassa. Esimerkiksi kustannussäästösyistä (usein näennäisiä) ei tule valita liian pieniä poikkileikkauksia.

Täydentävät suunnitteluohjeet ovat suurelta osin olemassa, kuten luonnoksen liitteestä 4 käy ilmi. (Jännitettyjen HI- palkkien suunnittelu ja valmistus. 2.5. 2006, Betonikeskus ry.). Nämä ohjeet ovat asiantuntijoiden yhteistyössä laatimat. Kuopion vastaavan palkkimurtuman jälkeen Suomen Betoniyhdistyksen uuteen oppikirjaan on myös otettu yhdeksi laskentaesimerkiksi HI- palkin mitoitus ja oikeaoppinen rauditus (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2005. BY 210. ss. 652-654. Suomen Betoniyhdistys ry).

Eurocodeihin siirtyminen mitoituksessa voi tuoda asiaan uutta ja pidämmekin tärkeänä laatia täydentävät suunnitteluohjeet Eurocodien mukaan.

Suunnittelun tilaamiseen ja suunnittelijoiden pätevyysiin tulee kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Suunnittelijan tulee myös varmistua siitä, että hänen käyttämänsä laskentaohjelmat toimivat oikein. Koko ketjun rakennuttaja- vastaava rakennesuunnittelija- valmisosasuunnittelija- valmistaja tulee olla toimiva ja kunkin osapuolen tulee hoitaa oma vastuunsa rakenteellisen turvallisuuden varmistamiseksi. Vastaavalta rakennesuunnittelijalta tulisi myös saada jonkin kuittaus/ merkintä valmisosasuunnittelun vastaanotosta tarkastusta ja hyväksyttämistä varten. Erittäin vaativissa kohteissa kannattamme suunnitelmien ulkopuolisen tarkastajan käyttöä.





Hyvään suunnitteluttamiseen kuuluu myös rakennuksen elinkaaren ennakointi ja huomioinnottaminen. Tämä tarkoittaa varautumista toiminnallisiin muutoksiin ja esimerkiksi uusien kone- ja laiteasennusten mukanaan tuomiin lisäkuormiin.

Vuoden 1992- jälkeen normit, valmistustekniikka ja 3D- suunnitteluohjelmat ovat kehittyneet. Suunnitelmat eivät kuitenkaan ole vastaavasti parantuneet, vaan niitä tehdään usein kiireellä ja alimitoitettuun resurssiin. Rakennesuunnittelun ja erityisesti valmisosasuunnittelun arvostusta tulisi saada nostettua ja suunnittelutoimistojen mahdollisuuksia henkilöstön täydennyskoulutukseen parannettua. Betoniteollisuus on myös kehittänyt suunnitteluprosessin ohjaukseen uutta ohjeistusta ( [www.betoni.com](http://www.betoni.com)).

#### **Ehdotus S2.** Yli 10 vuotta vanhat HI- palkit tulisi tarkastaa.

Koska saatavan vanhenemista koskeva lainsäädäntö ja kaikki Suomessa käytettävät yleiset sopimusehdot lähtevät siitä, että mikään vastuu ei ulotu yli kymmenen vuoden, tulee edellä olevan suosituksen kirjain ja henki olla siten, että kyseinen tarkastustoiminta tapahtuu kiinteistön omistajan johdolla ja vastuulla. Hän kutsuu kustannuksellaan tarpeelliset asiantuntijat selvittämään mahdolliset riskit ja vauriot. Kiinteistöjen omistajia tulee edelleen informoida asiasta. Vain heillä on mahdollisuus käynnistää tarkastukset. Tiedottaminen tulisi tapahtua ympäristöministeriön ja rakennusvalvonnan kautta.

Palkin rasitukseen nähden liiallinen mataluus, kokonaiskuormitukseen vaikuttavat muutokset ja isot reiät uumassa ovat vaurioriskiä lisääviä tekijöitä. Vaurioriski lienee suurimmillaan niissä kohteissa, jotka ovat valmistuneet lamavuosina 1992 – 1997.

Alle 10 vuotta vanhoista kohteista valmistajilla on piirustukset arkistossa ja näitä kohteita on jo tehotarkastettu viimeisen vuoden aikana.

Mahdollisten muiden riskillisten kohteiden korjaustarpeisiin ja -tapoihin ei ole otettu kantaa. Betoniteollisuus pyrki omalta osaltaan selvittämään eri korjausvaihtoehtoja ja tiedottamaan niistä.

#### **Ehdotus S3.** Betonitehtaiden laadunvalvontaa ja auditointia tulisi kehittää.

Betoninormien RakMk B4- mukaan valmistuksen tulee olla tarkastettua ja valmistajalla tulee olla ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen varmentama tehtaan sisäinen laadunhallintajärjestelmä. Käytännössä Inspecta Sertifiointi Oy tarkastaa kaikkien HI- palkkivalmistajien tuotantoa. Inspecta edellyttää, että kaikilla valmistajilla on kirjallinen dokumentoitu laatujärjestelmä. Käytössäoleva laadunvalvonnan tuoteryhmäohje RAK 15 on juuri uudistettu.

RT:n Tassu- projektissa laadittiin ohje; Betonivalmisosien laatu- ja tarkastus- ja käsittely. Betonikeskus ry. Syyskuu 2006. Ohjeessa on virhetyyppinä mukana myös HI- palkkien kyseinen halkeilu. Ohje löytyy nettisivuilta osoitteesta [www.rakennusteollisuus.fi/kehittaminen](http://www.rakennusteollisuus.fi/kehittaminen).

Käsityksemme mukaan valmistajien laadunvalvonta on periaatteessa kunnossa. Savonlinnan tapauksessa suurimmat puutteet olivat nimenomaan suunnitelmassa, ei tuotannon laadunvalvonnassa. Palkkivalmistajille tulee kuitenkin lisätä tietoa rakenteellisesta turvallisuudesta ja oikeista rauditusratkaisuksista sekä koulutusta ulkopuolisten suunnittelijoiden piirustusten tarkistamisesta.

Valmistajat voivat myös halutessaan ottaa enenevästi vastuuta valmistuspiirustusten laadinnasta, jolloin suunnittelun ja valmistuksen koordinaatio automaattisesti paranee.

Kunnioitavasti

Rakennusteollisuus RT/ Betonikeskus ry

Olli Hämäläinen

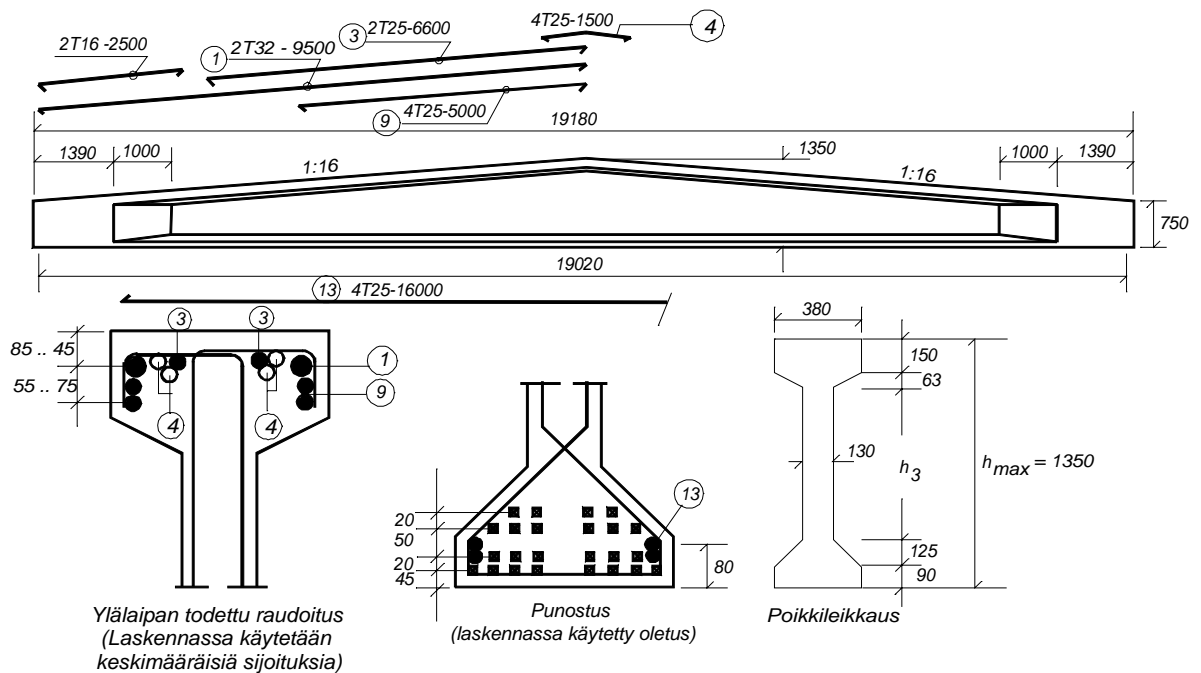
Arto Suikka

## SAVONLINNAN PRISMA, PALKIN H102 JÄNNITYSANALYYSI

**Rakenne:** Jännitetty harja-I-palkki, mitat, punostus ja rauditus kuvan 1 mukaisesti, harjakorkeus 1350 mm, lappeen kaltevuus 1:16, elementin paino 121 kN (vastaa tasaista kuormaa 6,2 kN/m), laskentajänneväli  $L = 19020$  mm

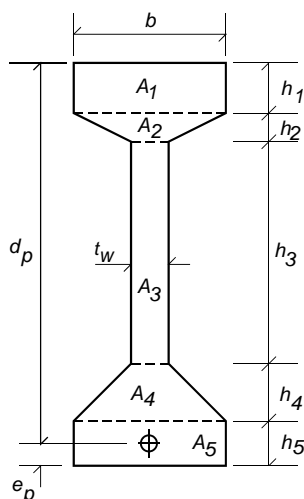
**Materiaalit:** Betoni K60-1 (laukaisulujuus K42), punokset St1560/1770 ( $f_{p0.2k} = 1560$  MPa), harjateräokset A500H ( $f_{sk} = 500$  MPa)

**Piirustuksen mukainen betonin suojakerros hakoihin:**  $c = 20$  mm



**Kuva 1** – Palkin H102 laskennassa käytetyt mittatiedot, jotka perustuvat rauditus- ja punostuskuvassa (piirustus 1002, joka on ainoa rakennepiirustus palkista) osoitettuihin tietoihin, jotka kuitenkin ovat riittämättömät osoittamaan raudituksen täsmällistä sijaintia. Raudituksen sijaintia määritettiin myös purkamalla murtunutta betonia eniten vaurioituneen palkin ylälaipasta.

**Jännitysanalyyssissä käytetty poikkileikkaus:**



Jännepunosten painopisteen paikka alareunasta mitattuna  $e_p = 102$  mm

Kuvan 1 mukaisen raudituksen sijoitus laskentaa varten ( $e_{si}$  = tankojen keskiöetäisyydet yläpinnasta: tangot (1) + (3)  $A_{s1} = 2590$  mm<sup>2</sup>,  $e_{s1} = 65$  mm, tangot (½ 9)  $A_{s2} = 982$  mm<sup>2</sup>,  $e_{s2} = 105$  mm,  $A_{s3} = 982$  mm<sup>2</sup>, tangot (½ 9)  $e_{s3} = 130$  mm, tangot (13)  $A_{s4} = 1964$  mm<sup>2</sup>,  $e_{s4} = h - 68$  mm (muuttuu korkeuden  $h$  mukaisesti)

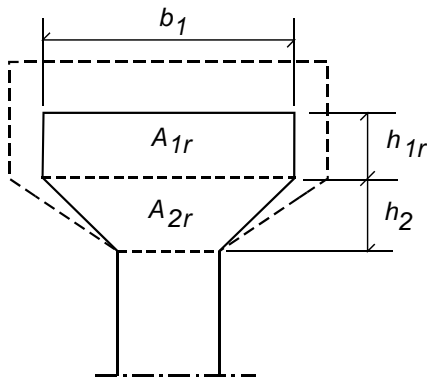
**Kuva 2:** Poikkileikkauksen geometria

Poikkileikkauksialat  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_4$  ja  $A_5$  ovat vakioita,  $A_3$  muuttuu korkeuden mukaan

$b = 380$  mm,  $h_1 = 150$  mm,  $h_2 = 63$  mm,  $h_4 = 125$  mm,  $h_5 = 90$  mm,  $t_w = 130$  mm

## Liite 2/2 (12)

Uuman korkeus: harjan kohdalla  $h_3 = 922$  mm, 1/3-pisteessä  $h_3 = 724$  mm ja 1/4 pisteessä  $h_3 = 625$  mm.



**Kuva 3:** Vaurioitunut ylälaippa. Toimiva ylälaipan poikkileikkaus käsittää osat  $A_{1r}$  ja  $A_{2r}$ . Toimivan osan suuruus on arvioitu sen mukaan, että rauditus jää toimivan osan ulkopuolelle  
Vaurioitunut ylälaippa:  $b_1 = 230$  mm,  $h_{1r} = 70$  mm

Palkin kuormat: (palkkikuormat lasketaan palkkijaon  $L_k = 9,6$  m mukaisesti)

- Palkin paino  $G_B = 6,2$  kN/m, perustuu ilmoitettuun elementin painoon 117 kN. Paino  $G_B$  alkaa vaikuttamaan heti jännittämisen aikana, kun alkujännevoima käyristää palkkia ja se tukeutuu päistään.
- TT-laattojen + ripustusten + eristeiden paino  $g_{TT} = (2,2 + 0,5) = 2,7$  kN/m<sup>2</sup>, tasainen kuorma palkeille  $G_{TT} = g_{TT}L_k = 25,92$  kN/m.
- Pysyvä kuorma  $G_B + G_{TT} = 32,1$  kN/m
- Lumikuorma  $q_{lumi} = 1,8$  kN/m<sup>2</sup>, tasainen kuorma palkille  $Q_{lumi} = q_{lumi}L_k = 17,3$  kN/m

### **Kimboteorian mukaiset poikkileikkaussuureet**

- Tarkemmassa jännitysanalyysissä tulisi ottaa huomioon raudoitusten ala jäyhyys-momentteja ja taivutusvastuksia laskettaessa. Tällä on vaikutusta lopputulokseen kun ylälaipan raudoituksen ala on huomattavan suuri.
- Betonipoikkileikkausta tarkastellaan nettoalan mukaisesti (raudoitusten ja jännepunosten alat vähennetään bruttoalasta).
- Betonin lyhytaikaiskimmokerroin on RakMk B4 mukaan laskettuna  $E_{cm} = 5000\sqrt{f_{ck,cube}}$ , missä  $f_{ck,cube}$  on betonin kuutiolujuus.
- Raudoituksen kimmokerroin  $E_s = 200\,000$  MPa.
- Kimmokerroinsuhteen lyhytaikaisarvo  $n_0 = \frac{E_s}{E_{cm}}$  ja pitkäaikaisarvo  $n_L = (1 + \varphi)n_0$ , missä  $\varphi$  = tehollinen virumaluku. Jännittämisen vaikutuksia tarkasteltaessa kimmokerroinsuhteen arvo on  $n_{0,P} = \frac{E_s}{E_{c,P}}$ , missä  $E_{c,P}$  on tehollinen kimmokerroin jännittämisen hetkellä ( $E_{c,P} < E_{cm}$ ,  $n_{0,P} > n_0$ ).

Poikkileikkaussuureet:  $A_i$  = muunnetun poikkileikkauksen ala,  $I_j$  = muunnetun poikkileikkauksen jäyhyysmomentti,  $y_{top}$  = etäisyys muunnetun poikkileikkauksen painopisteestä yläpintaan,  $y_{bot}$  =

etäisyys alapintaan =  $h - y_{top}$ . Muunnetun poikkileikkauksen taivutusvastukset:  $W_{top}$  = yläreunan suhteen,  $W_{bot}$  = alareunan suhteen.

Muunnetussa poikkileikkauksessa betonialaa käsitellään nettopoikkileikkauksen mukaan: raudoituksen alat lisätään betonin bruttoalaan  $(n - 1)$ -kertaisina, missä  $n$ :llä on kunkin tarkastelun mukainen arvo,  $n_{0,P}$  (jännittäminen),  $n_0$  (lyhytaikaisvaikutukset) tai  $n_L$  (pitkäaikaisvaikutukset). Jos raudoitusta ei oteta huomioon poikkileikkaussuureita laskettaessa, saadaan erilainen neutraaliakselin asema ja jäykkyyksien arvot, joilla lasketut jännitykset ovat yleensä suurempia.

Poikkileikkaussuureet ovat taulukossa 1 kolmessa tarkasteltavassa leikkauksessa: palkin keskellä ( $L/2$ ), kolmannespisteessä ( $L/3$ ) ja neljännespisteessä ( $L/4$ ).

Poikkileikkaussuureita laskettaessa on oletettu, että kaikissa kolmessa leikkauksessa on samanlainen toimiva tankoraus ylälaipassa. Tämä ei täysin pidä paikkaansa suoraan harjan kohdalla ( $L/2$ ).

Palkin jännittäminen: Punokset ( $A_{p1} = 93 \text{ mm}^2$ ) suurimpien momenttien alueella ( $L/5 < x < 4L/5$ ) ovat 24 kpl  $\varnothing 12,5$  alalaipassa ja 2 kpl  $\varnothing 12,5$  uumassa. Raudituspiirustuksen mukainen alkujännitys  $\sigma_{p0} = 1330 \text{ MPa} = 0,85f_{p0,2k}$ . Uumassa olevien kahden punoksen alkujännitys on 700 MPa. Mitoituksessa oletettua jännityshäviöiden suuruutta ei ole mainittu. Tässä analyysissä oletetaan, että loppujännitys on  $\sigma_{p\infty} = 0,75\sigma_{p0}$ .

Ennakoanalyysi lyhytaikaisjäykkyyksillä osoittaa, että puristusjännitykset alalaipassa jännittämisen aikana ovat huomattavan korkeita, jonka seurauksena betonin jäykkyys pienenee oletettua enemmän. Tämän kompensoimiseksi käytetään betonille jännittämisen aikaisen kimmokerroin-suhteen laskemisessa pienennettyä arvoa  $E_{c,eff} = E_{cm} / 1,76$ , missä  $E_{cm}$  lasketaan lujuusluokan K42 mukaan.

**Taulukko 1:** Poikkileikkaussuureet, ehyt poikkileikkaus, jännittäminen,  $f_{ck.cube} = 42 \text{ MPa}$

Kohta	$d_p$ mm	$A_i$ $\times 10^3 \text{ mm}^2$	$I_i$ $\times 10^9 \text{ mm}^4$	$y_{top}$ mm	$y_{bot}$ mm	$W_{top}$ $\times 10^6 \text{ mm}^3$	$W_{bot}$ $\times 10^6 \text{ mm}^3$
L/2	1248	275,9	62,841	576	774	109,153	81,159
L/3	1050	250,1	42,018	486	666	86,515	63,072
L/4	951	237,2	33,462	441	611	75,809	54,728

**Taulukko 2:** Poikkileikkaussuureet, ehyt poikkileikkaus,  $f_{ck.cube} = 60$ ,  $\varphi = 0$

Kohta	$d_p$ mm	$A_i$ $\times 10^3 \text{ mm}^2$	$I_i$ $\times 10^9 \text{ mm}^4$	$y_{top}$ mm	$y_{bot}$ mm	$W_{top}$ $\times 10^6 \text{ mm}^3$	$W_{bot}$ $\times 10^6 \text{ mm}^3$
L/2	1248	238,7	50,961	596	754	85,552	67,557
L/3	1050	213,0	33,820	503	649	67,270	52,101
L/4	951	200,1	26,841	457	596	58,749	45,041

**Taulukko 3:** Poikkileikkaussuureet, ehyt poikkileikkaus,  $f_{ck.cube} = 60$ ,  $\varphi = 3$

Kohta	$d_p$ mm	$A_i$ $\times 10^3 \text{ mm}^2$	$I_i$ $\times 10^9 \text{ mm}^4$	$y_{top}$ mm	$y_{bot}$ mm	$W_{top}$ $\times 10^6 \text{ mm}^3$	$W_{bot}$ $\times 10^6 \text{ mm}^3$
L/2	1248	339,7	82,849	552	798	150,274	103,829
L/3	1050	313,9	55,875	466	686	119,960	81,440
L/4	951	301,1	44,661	424	629	105,405	70,992

## Liite 2/4 (12)

**Taulukko 4:** Poikkileikkaussuureet, vaurioitunut rakenne (huom.: vaurioitunut laippa ei ulotu kohtaan  $L/4$ ),  $\varphi = 3$

Kohta	$d_p$ mm	$A_{ir}$ $\times 10^3 \text{ mm}^2$	$I_{ir}$ $\times 10^9 \text{ mm}^4$	$y_{top}$ mm	$y_{bot}$ mm	$W_{top}$ $\times 10^6 \text{ mm}^3$	$W_{bot}$ $\times 10^6 \text{ mm}^3$
$L/2$	1178	223,5	45,503	741	539	61,388	84,458
$L/3$	980	197,7	29,905	639	443	46,818	67,488

### Jännitysanalyysi:

Betonin jännitykset poikkileikkauksen yläreunassa ( $\sigma_{c.top}$ ) ja alareunassa ( $\sigma_{c.bot}$ ) lasketaan jännevoiman  $P$  ja ulkoisista kuormista (rakenteiden paino ja lumi) aiheutuvan taivutusmomentin  $M$  vaikutuksesta seuraavien kaavojen mukaisesti (kaavat on kirjoitettu niin, että veto on negatiivinen ja puristus positiivinen, jotta jännityksiä on helpompi käsitellä):

- Jännevoiman  $P$  aiheuttama momentti:  $M_P = -(d_p - y_{top})P$
- Poikkileikkauksien kokonaismomentti:  $M_{tot} = M + M_P$ , missä momentti  $M$  on oman painon, pysyvien kuormien ja hyötykuormien aiheuttama momentti sen mukaan mitä tilannetta tarkastellaan. Kaikissa tarkasteluissa  $M > 0$ .
- Betonijännitys palkin yläpinnassa  $\sigma_{c.top} = \frac{P}{A_i} + \frac{M_{tot}}{W_{top}}$
- Betonijännitys palkin alapinnassa  $\sigma_{c.bot} = \frac{P}{A_i} - \frac{M_{tot}}{W_{bot}}$

Kuormitushistorian mukainen jännitysten kehitys esitetään taulukoissa 5:

- (a) Tilanne heti jännittämisen jälkeen. Palkin rasiustila on tämän kohdan mukainen aina TT-laattojen asentamiseen saakka. Jännevoimana on alkujännevoima.
- (b) Tilanne valmiissa rakennuksessa ilman lumikuormaa 1 käyttövuoden aikana. Jännevoimana 0,85-kertainen alkujännevoima.
- (c) Tilanne valmiissa rakennuksessa lumikuorman vaikuttaessa 1 käyttövuoden aikana. Jännevoimana 0,85-kertainen alkujännevoima.
- (d) Tilanne rakennuksessa ilman lumikuormaa, kun jännevoimana loppujännevoima (= 0,75-kertainen alkujännevoima) yli kymmenen käyttövuoden kuluttua.
- (e) Tilanne rakennuksessa lumikuorman vaikuttaessa, kun jännevoimana loppujännevoima yli kymmenen käyttövuoden kuluttua.

Huomautetaan, että loppujännevoiman katsotaan vaikuttavan vasta, kun kaikki jännityshäviöt ovat tapahtuneet. Tämän oletetaan tapahtuvan vasta yli 50 vuoden kuluttua jännittämisestä. Tarkasteltavan rakennuksen ikä on yli 10 vuotta, jolloin suurin osa jännityshäviöistä on tapahtunut ja tilanne vastaa käytännössä loppujännevoiman vaikutusta.

**Taulukko 5:** Palkin kuormitushistorian mukainen jännitysten kehitys. Vetojännitykset  $< 0$ , puristusjännitykset  $> 0$ .

(a) Reunajännitykset jännevoimasta  $P_0$  ja palkin painosta 6,2 kN/m (jännittämisvaihe)

Kohta	$L/2$	$L/3$	$L/4$
$\sigma_{c.top.a}$ [MPa]	- 5,3 *)	- 4,9 *)	- 5,0 *)
$\sigma_{c.bot.a}$ [MPa]	33,5 **)	36,2 **)	38,1 **)

\*) Nämä vetojännitykset ovat betonin keskivetolujuuden  $f_{ctm} = 3,4$  MPa ylittäviä. (RakMK B4:ssä ei ole määritelty keskivetolujuutta  $f_{ctm}$ , jonka avulla halkeilua pitäisi arvioida. Tässä on käytetty EN 1992-1-1 mukaista määrittelyä, että ominaisvetolujuus  $f_{ctk} = 0,7f_{ctm}$ ). Ylälaippa halkeilee siten jännitettäessä. Halkeilun vuoksi ylälaipassa tarvitaan vetorautoitusta, jolla hallitaan syntyvää vetovoimaa. Näihin jännityksiin verrattuna ylälaipassa olevaa huomattavaa rautoitusta (kuva 1) ei voida kuitenkaan selittää. Asiaa kommentoidaan jäljempänä.

\*\*) Alalaipan puristusjännitykset ovat huomattavan suuria laukaisulujuuteen K42 ja jopa loppulujuuteen K60 verrattuna. Suurimmat puristusjännitykset saivat olla enintään  $0,5 \times 42 = 21$  MPa. Huom.: RakMK B4:ssä ei ole jännittämisen aikaisia suurimpia puristusjännityksiä koskevia ohjeita ja suunnittelijat ovat käyttäneet vaihtelevia sääntöjä määrittellessään laukaisulujuutta.

Huomattavan suurista alareunan jännityksistä johtuen jännityshäviö tulee oletettua suuremmaksi (tehollinen kimmokerroin on oletettua pienempi) ja samalla betonin jännitykset eivät ole aivan osoitetun suuruisia ( $\approx 90$  % osoitetuista). Kuitenkin nämäkin jännitykset ovat palkin alareunassa vielä huomattavan suuria ja lisäksi palkin ylälaippa joka tapauksessa halkeilee.

(b) Reunajännitykset jännevoimasta  $0,85P_0$  ja pysyvästä kuormasta 32,1 kN/m

Kohta	$L/2$	$L/3$	$L/4$
$\sigma_{c.top.b}$ [MPa]	7,9	10,1	9,6
$\sigma_{c.bot.b}$ [MPa]	15	15,3	17,9

(c) Reunajännitykset jännevoimasta  $0,85P_0$  ja kokonaiskuormasta 49,4 kN/m

Kohta	$L/2$	$L/3$	$L/4$
$\sigma_{c.top.c}$ [MPa]	17,1	20,5	19,5
$\sigma_{c.bot.c}$ [MPa]	3,4	2	4,9

(d) Reunajännitykset jännevoimasta  $P_\infty = 0,75P_0$  ja pysyvästä kuormasta 32,1 kN/m

Kohta	$L/2$	$L/3$	$L/4$
$\sigma_{c.top.d}$ [MPa]	5,7	6,8	6,4
$\sigma_{c.bot.d}$ [MPa]	8,5	8,2	9,7

(e) Reunajännitykset jännevoimasta  $P_\infty = 0,75P_0$  ja kokonaiskuormasta 49,4 kN/m

Kohta	$L/2$	$L/3$	$L/4$
$\sigma_{c.top.e}$ [MPa]	10,9	12,6	12,0
$\sigma_{c.bot.e}$ [MPa]	0,9	-0,3	1,4

## Liite 2/6 (12)

Vaurioituneen palkin jännitykset esitetään taulukoissa 6:

- (a) Jännitykset pysyvistä kuormasta ja loppujännevoimasta ( $\Leftrightarrow$ ) pysyvä kuorma 32,1 kN/m)
- (b) Jännitykset pysyvistä kuormasta + täydestä lumikuormasta ( $\Leftrightarrow$ ) kokonaisarvo 49,4 kN/m) ja loppujännevoimasta
- (c) Jännitykset pysyvistä kuormasta + vauriohetken lumikuormasta ( $\Leftrightarrow$ ) kokonaiskuorma 42,5 kN/m) ja loppujännevoimasta

**Taulukko 6:** Vaurioituneen palkin reunajännitykset (vaurio kohdissa  $L/2$  ja  $L/3$ )

- (a) Reunajännitykset jännevoimasta  $P_\infty = 0,75P_0$  ja pysyvistä kuormasta 32,1 kN/m

Kohta	$L/2$	$L/3$	$L/4$
$\sigma_{c,top.a}$ [MPa]	20,1	26,1	6,4
$\sigma_{c,bot.a}$ [MPa]	3,2	2,0	9,7

- (b) Reunajännitykset jännevoimasta  $P_\infty = 0,75P_0$  ja kokonaiskuormasta 49,4 kN/m

Kohta	$L/2$	$L/3$	$L/4$
$\sigma_{c,top.b}$ [MPa]	30,2	37,2 *)	12,0
$\sigma_{c,bot.b}$ [MPa]	-4,0	-5,9 *)	1,4

\*) Nämä jännitykset aiheuttaisivat pitkäaikaisina rasituksina palkin murtumisen ja hyvin suuria muodonmuutoksia (alapinnan vetojännitys on sellainen, että betoni on halkeillut ja ko. jännitys ei ole todellinen, koska laskennassa on oletettu halkeilematon poikkileikkaus). Vaurioitumishetkellä ei lumikuorma ole ollut oletetun suuruinen, vaan n. 60 % täydestä arvosta (kokonaiskuorma vaurion syntyessä on ollut 42,5 kN/m, ks. seuraava taulukko)

- (c) Reunajännitykset jännevoimasta  $P_\infty = 0,75P_0$  ja kokonaiskuormasta 42,5 kN/m

Kohta	$L/2$	$L/3$	$L/4$
$\sigma_{c,top.c}$ [MPa]	25,2	31,3 *)	9,8
$\sigma_{c,bot.c}$ [MPa]	-0,3	-1,8	4,7

\*) Tämäkin jännitys on huomattavan korkea ja pitkäaikaisesti vaikuttavana aiheuttaa hitaasti kehittyvän virumismurtumisen syntymisen. Alareunan vetojännitys ei vielä aiheuta halkeaman muodostumista.

### Jännitysanalyysin yhteenveto:

#### 1. Jännittäminen

Alareunan puristusjännitykset laukaisuhetken lujuteen K42 verrattuna ovat huomattavan korkeita (laukaisuhetkellä  $f_{ck.cube} = 42$  MPa). Jännitystaso ei saisi ylittää rajaa  $0,5f_{ck.cube} = 21$  MPa. Vaikka tilanne on tilapäinen, siitä aiheutuu epälineaarista virumista, joka on huomattavasti suurempaa kuin tavanomaisilla virumaluvuilla arvioituna (EN 1992-1-1 mukaan lineaarisen viruman jännitysraja on  $0,45f_{ck}$  joka vastaa likimain  $0,38f_{ck.cube} = 16$  MPa). Viruminen pienentää puristusjännityksiä, mutta nekin huomioon ottaen alalaipan puristusjännitykset jäävät suuremmaksi kuin 21 MPa, joka on K60 betonin lineaarisen viruman raja. Huomautetaan kuitenkin, ettei RakMK B4:ssä ole ohjeita betonin jännitystason rajoittamiseksi.

Ylälaipan halkeiluraudoitus: Ylälaipassa on lappeella jännittämisen aikaista halkeilua varten veto-raudoitus 6T25 + 2T32, joiden mitoitus ei taulukon 5(a) mukaan ole mitenkään perusteltu. Harjan

kohdalla on raudoituksen jatkos, joka muodostuu tangoista 4T25. Käytetty jatkospituus 750 mm = 30Ø on kuitenkin RakMKB4:n edellyttämää jatkospituutta  $l_j$  huomattavasti lyhyempi.

Etsittäessä syitä ylälaipan poikkeuksellisen suureen tankomäärään (kuva 1), kävi ilmi, että jännittämisen aikainen jännitystilaa on mahdollisesti laskettu vain betonipoikkileikkausta käyttäen pelkälle jännevoimalle ottamatta huomioon palkin painoa kuormituksena. Tällöin nimellinen vetojännitys ylälaipassa on yli 10 MPa ja sen suuruinen kuin suunnittelijan mitoituslaskelmissa. Tilanne ei kuitenkaan ole todellinen, sillä omapaino alkaa vaikuttamaan heti jännevoiman kanssa samanaikaisesti jännevoimasta aiheutuvan käyrityksen vuoksi.

Kun palkin paino otetaan huomioon jännittämisen aikaisia jatkosterästen jännityksiä halkeilleen poikkileikkauksen mukaan laskettaessa, tankojen jännitysten suuruus on alle 100 MPa.

## 2. Käyttörajatilajännitykset valmiissa rakennuksessa

Jännitykset taulukoissa 5 on laskettu ottaen huomioon kuvan 1 mukainen suurin rauditus ylälaipassa (poikkileikkauksessa tummennetut tangot, mutta ei jatkostankoja). Todellisuudessa suoraan harjan kohdalla rauditusta on vain jatkosteräksien verran, mikä vaikuttaa harjan jännitystilaa. Harjan kohdalla päättyvät, lappeilta vastakkain tulevat tangot aiheuttavat paikallisia halkaisuvaikutuksia, joiden mukaista jännitystilaa ei voida tarkasti laskea lineaarisilla menetelmillä.

Tilanne rakennuksen käytön alussa (taulukot 5b ja 5c): Yläreunan jännitykset käyttörajatilassa ovat suhteellisuusviruman edellyttämässä rajoissa, koska lineaarista virumaa edellyttävänä puristusjäännityksen  $\sigma_c$  ylärajana pidetään  $0,38f_{ck.cube} = 16$  MPa ja on oletettavaa, ettei kyseisenä aikana esiinny täyttä lumikuormaa.

Tilanne pitkäaikaisvaikutusten kehittymisen jälkeen (taulukot 5d ja 5e): Viruma pienentää yläreunan jännityksiä ja alareunassa betoni säilyy halkeilematta.

Jännitys suoraan harjan kohdalla olevissa jatkosteräksissä on n. 300 MPa. Tämän suuriset teräsjäännitykset ovat tavallisia käyttörajatilassa, mutta harjan kohdalla on raudituksessa merkittävä epäjatkuvuuskohta, missä vain osa tangoista on jatkettu liian lyhyttä jatkospituutta käyttäen ja jatkamattomien tankojen päät tulevat lähelle toisiaan. Tästä aiheutuu betoniin halkaisuvaikutuksia (ks. seuraava kohta 3).

RakMKB4 edellyttämä jatkospituus sekä puristetussa että vedetyissä tangoissa on

$$l_j = 0,25k_j \frac{f_{sd}}{k_b f_{ctd}} \varnothing = 71,3\varnothing$$

missä olosuhteet huomioon ottaen tulisi käyttää  $k_b = 1,7$  ja  $k_j = 2$ . Palkissa on kuitenkin käytetty vain jatkospituutta 30Ø sen perusteella, että jännittämisen aikana teräsjäännityksen ei ole arvioitu olevan suuri. Suoritetussa jännitysanalyyseissä saatiin halkeilleen poikkileikkauksen mukaan arviotuna jatkosteräksien vetojännitykseksi jännittämisen aikana n. 90 MPa ja karkeammin halkeamattoman poikkileikkauksen mukaan laskettuna n. 150 MPa.

Kuitenkin valmiissa rakenteessa jatkosteräksien puristusjäännitys on paljon suurempi, kun täysi lumikuorma vaikuttaa. Suoritetun jännitysanalyysin perusteella jatkosterästen jännitys kasvaa ajan kuluessa tapahtuvan viruman ansiosta ja on lopputilanteessa n. 300 MPa.



## Liite 2/8 (12)

### 3. Halkaisuvaikutukset harjan kohdalla

Raudoitustankojen limijatkoksissa esiintyy aina halkaisuvaikutuksia, minkä vuoksi jatkoksien kohdalla tulee tarpeen mukaan olla poikittaista raudoitusta, joka estää halkeaman vapaan aukeamisen ja leviämisen. Kuvan 1 mukaiset haat, joita palkissa on vain suoraan harjan kohdalla, eivät estä tai rajoita millään lailla jatkoksesta aiheutuvia halkaisuvaikutuksia.



**Kuva 4:** Palkin ylälaipan ulommaiset tangot, kun korjauksen aikana on poistettu murtunut betoni ja uumaan porattu reiät mantteloinnin hakoja varten. Vasemman puoleisten alempien tankojen päät ovat liikkuneet betonin poistamisen aikana eivätkä ole asennusaikaisessa asemassaan. Ylimpien tankojen välistä näkyy jatkosteräs. Alempien tankojen päät eivät ole symmetrisesti harjan suhteen.

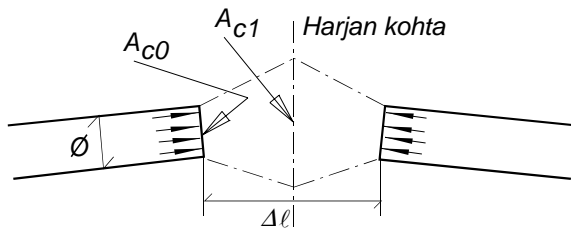
Varsinaisen jatkoksen halkaisuvaikutuksen lisäksi harjan kohdalla toisiaan vasten puskevat tai lähellä toisiaan olevat jatkamattomien tankojen päät aiheuttavat voimakkaan paikallisen halkaisuvaikutuksen. Kokonaisteräsalasta  $2 \times 804 + 2 \times 491 + 4 \times 491 = 4554 \text{ mm}^2$  jatkamattomana on osuus  $4554 - 4 \times 491 = 2590 \text{ mm}^2$ , joka joutuu ottamaan vastaan epäjatkuvuudesta aiheutuvan tankojen päähän kohdistuvan puristusvoiman, joka täyden lumikuorman pitkäaikaisvaikutuksena vastaa halkaisuvoimaa  $F_{Eku} = 367 \text{ kN}$ . Tämä voima jakaantuu kahteen osaan pinta-aloille  $A_{c0} = 2590/2 \text{ mm}^2$ , jota vastaava jännityspinta-ala harjan kohdalla on  $A_{c1} = \left(1 + \frac{\Delta \ell}{\varnothing} \frac{1}{\sqrt{\pi}}\right)^2 A_{c0} \leq 3A_{c0}$ ,

missä  $\Delta \ell$  = tankojen päiden vapaa väli ja  $\varnothing$  = jatkamattomien tankojen halkaisija = 25 mm. Jos  $\Delta \ell = 50 \text{ mm}$ ,  $A_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}}\right)^2 A_{c0}$ . ( $A_{c0}$  ja  $A_{c1}$ , ks. kuva 5). Mitä lyhyempi väli  $\Delta \ell$ , sitä suurempi halkaisuvaikutus.

Voimaa  $F_{Eku}$  vastaava paikallinen puristuskestävyys  $F_{Rku}$  lasketaan RakMK B4 mukaan seuraavasta kaavasta (merkinnät esitettyssä kaavassa ovat vastaavan EN 1992-1-1 kaavan (6.63) mukaiset) asettamalla  $\gamma_c = 1$ :

$$F_{Rku} = A_{c0}(0,7f_{ck.cube})\sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 0,7f_{ck.cube}\left(1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}}\right)A_{c0} = 1,49f_{ck.cube}A_{c0}$$

$F_{Rku} = 115,78 \text{ kN} < 367/2 = 183,5 \text{ kN}$ , eli paikallinen puristuskestävyys ei ole riittävä ja paikallinen murtuminen tapahtuu viruman kasvattaessa vähitellen voimaa  $F_{Eku}$  ajan kuluessa jo täyttä lumikuormaa pienemmällä lumikuormalla.



Kuva 5: Pinta-alat  $A_{c0}$  ja  $A_{c1}$

Puristumurtuminen betonissa tapahtuu aina puristusjännityksen suuntaisena halkeiluna, josta aiheutuva dilaatio (= betonin tilavuuden kasvu) vähitellen tuottaa ulospäin näkyvän halkeaman laipan vinolle alapinnalle, missä käytetyillä haoilla ei ole minkäänlaista sidontavaikutusta. Kun betoni halkeaa laipan vinolta pinnalta, hakojen vähäinenkin puristustankoja sitova vaikutus häviää ja tankojen päät harjalla nousevat ylöspäin.

### Murtorajatilan tarkastelu

Täyden lumikuorman mukaiset mitoitusmomentit  $M_{Ed}(x)$  ovat

- jänteen keskikohdassa (harjan kohdalla)  $M_{Ed}(L/2) = 2993 \text{ kNm}$
- jänteen kolmannespisteissä  $M_{Ed}(L/3) = 2661 \text{ kNm}$

Ylälaipan raudoituksen vuoksi taivutuskestävyyden tarkka laskeminen ei ole suljetussa muodossa mahdollista, mutta likimääräisillä tarkasteluilla voidaan todeta, onko palkissa mahdollista saavuttaa mitoitusmomentit ennen palkin murtumista:

- Materiaaliosavarmuudet:  $\gamma_c = 1,35$ ,  $\gamma_s = 1,1$  ja  $\gamma_p = 1,15$
- Mitoituslujuudet (MPa):  $f_{cd} = 0,7 \frac{f_{ck.cube}}{\gamma_c} = 31$ ,  $f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = 455$ ,  $f_{ypd} = \frac{f_{pk}}{\gamma_p} = 1365$

- Plastista voimatasapainoa arvioidaan muuttamalla ensin puristettu poikkileikkaus ekvivalentiksi suorakaiteeksi, jonka leveys =  $b_{eff}$ . Tämän suuruuteen vaikuttaa se, otetaanko puristusteräksiä huomioon vai ei. Harjan kohdalla eivät mitkään teräkset tehollisesti jatku, jolloin vain betoni voi toimia. Kolmannespisteissä puristusraudoitus voi plastisoitua, jos se on sidottu haoilla nurjahduksen estämiseksi. Palkissa ei ole missään kohdassa sellaisia hakoja, jotka tehokkaasti estäisivät nurjahduksen. Kuitenkin kolmannespisteissä osa teräksistä voi plastisoitua (keskimmäiset tangot).

- $b_{eff}(x, k_s) = \frac{k_s f_{sd} (A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}) + A_1 + A_2 + \frac{A_3}{6}}{h_1 + h_2 + 0,17h_3(x)}$ , missä kerrointa  $k_s \leq 1$  käytetään otta-  
maan huomioon plastisoituvan raudoituksen osuus jännitysresultanteissa.

- Suhteellinen momentti muuttujien  $x$  ja  $k_s$  funktiona on  $\mu(x, k_s) = \frac{M_{Ed}(x)}{b_{eff}(x, k_s) d_p(x)^2 f_{cd}}$

- Vaadittu mekaaninen raudoitussuhde on  $\omega_{req}(x, k_s) = \frac{1 - \sqrt{1 - 2,4\mu(x, k_s)}}{1,2}$

## Liite 2/10 (12)

- Punosten vaadittu vähimmäismäärä  $n_{punos}(x, k_s) \geq \omega_{req}(x, k_s) f_{cd} b_{eff}(x, k_s) \frac{d_p(x)}{A_{p1} f_{ypd}}$ , missä

$A_{p1}$  = yhden punoksen poikkileikkausala

- Edellisten perusteella saadaan:

- jänteen keskikohdassa ( $k_s = 0$ )  $n_{punos}(L/2, 0) > 24,6$
- jänteen kolmannespisteessä ( $k_s = 0,5$ )  $n_{punos}(L/3, 0,5) > 24,3$ . Jos  $k_s = 0$ ,  $n_{punos}(L/3, 0) > 29$

- Vaadittavat punosmäärät on oletettavasti laskettu ilman puristusteräksiä ( $k_s = 0$ ). Laskettuja puuttuvia punoksia on korvattu jännittämättömillä harjatangoilla 4T25, joilla katetaan loput taivutuskestävyydestä. Taivutuskestävyyttä voidaan tässä tapauksessa arvioida lausekkeesta:

$$M_{pl.Rd}(x, k_s) = (1 - 0,6\omega(x, k_s)) A_p f_{ypd} d_p(x) + 0,7 A_{s4} f_{sd} [e_{s4}(x) - 0,5(h_1 + h_2 + 0,5h_3(x))]$$

- Tällä lausekkeella laskettuna:

- jänteen keskellä  $M_{pl.Rd}(L/2, 0) = 3360 \text{ kNm} > M_{Ed}(L/2)$ ,
- jänteen kolmannespisteessä  $M_{pl.Rd}(L/3, 0,5) = 2948 \text{ kNm} > M_{Ed}(L/3)$ .

- Edellisten lausekkeiden käyttö edellyttää, että poikkileikkauksen puristuslaippa ei muru enenaikaisesti minkään rauditusvirheen vuoksi. Tällaisia ovat hakojen puuttuminen tai toimimattomien hakojen käyttö (= haat eivät pysty estämään puristusterästen nurjahtamista), jotka pienentävät tehollista betonipoikkileikkausta. Harjan kohdalla puristustankojen jatkaminen liian lyhyillä limitystangoilla aiheuttaa jo ennen plastisen jännitystilän kehittymistä sen, että betoni lohkeilee pienentäen tehollisen poikkileikkauksen kuvan 3 mukaiseksi. Tämä merkitsee, että edellisen kohdan mukaisia taivutuskestävyyksiä tuskin voidaan saavuttaa ja tehollinen taivutuskestävyys  $M_{pl.Rd.ef}$  on pienempi kuin nimellinen kestävyys  $M_{pl.Rd}$ . Numeerinen analyysi osoittaa, että tehollisen poikkileikkauksen mukainen rakenne on voimakkaasti yliaudoitettu ja tällaisessa poikkileikkauksessa tapahtuu lopulta puristumurtuminen, joka on luonteeltaan hauras:

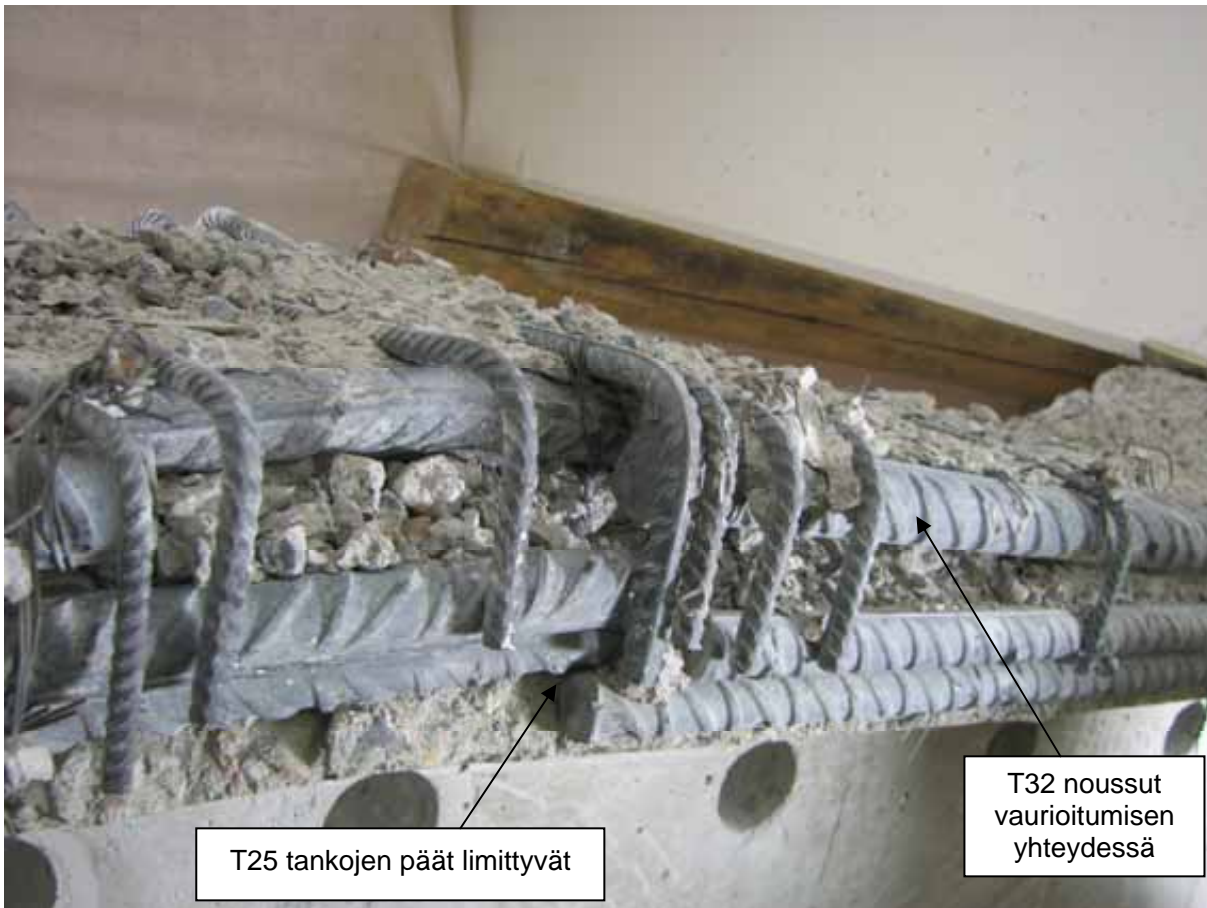
- kun vetoraus ja punostus eivät voi myötää, betonin puristuma kasvaa koko ajan ilman että voidaan saavuttaa jännitysresultanttien tasapainoa,
- suurin momentti, joka vastaa hetkellistä jännitysten jakautumaa puristumien muutuksessa, on yliaudoitettujen poikkileikkauksen taivutuskestävyys,
- jänteen keskellä  $M_{pl.Rd.ef} \leq 2300 \text{ kNm}$  ja kolmannespisteissä  $M_{pl.Rd.ef} \leq 2000 \text{ kNm}$ , eli kestävyys ei ole riittävä vaaditun taivutuskestävyyden kattamiseen,
- täyttä lumikuormaa vastaava ominaiskuormien momentti jänteen keskellä on  $M_{EK}(L/2) = 2234 \text{ kNm}$  ja kolmannespisteissä  $M_{EK}(L/3) = 1986 \text{ kNm}$ , eli palkki olisi täyden lumikuorman ( $1,8 \text{ kN/m}^2$ ) vaikuttaessa ollut hyvin lähellä murtorajatilaa. Tätä osoittaa myös aikaisemmassa jännitysanalyysissä taulukko 6(b), jonka mukaan suurimmat puristusjännitykset ovat pitkäaikaisena vaikutuksena betonin murtumisen aiheuttavia.

### Murtorajatilatarkastelun yhteenveto

Palkin teoreettinen suunniteltu kestävyys on riittävä, edellyttäen, että raudituksen yksityiskohtien suunnittelulla olisi varmistettu teoreettisen kestävyuden kehittyminen. Kuitenkin palkissa on huomattavan suuri ylälaipan rauditus, jonka olemassaoloa ei voida mitoitustarkasteluin perustella. Sitä on tarvittu osittain kompensoimaan palkin jännittämisen aikaisia oletettuja vaikutuksia, mutta yhtä hyvin kattamaan jännepunoksien ja jännittämättömien tankojen vetovoimaa murtorajatilassa.

Harjan kohdan raudoituksen yksityiskohtien suunnittelu on epäonnistunut:

- Suurien tankojen jatkokset on suunniteltu huomattavan puutteellisia jatkospituuksia käyttäen. Tämän vuoksi vain osa jatkoksen aiotusta voimasta voi siirtyä. Puuttuva osa yrittää siirtyä jatkettavien tankojen väliin jäävän puristetun betonin kautta tai jos tankojen päät ovat alunperin olleet kontaktissa tai lähes kiinni toisissaan, epäkeskisesti tangon poikkileikkaukseen vaikuttavan jännitysresultantin välityksellä.
- Suurien tankojen sitominen avoimilla haoilla, joiden kärjet eivät ankkuroidu mihinkään, ei voi toimia tarkoituksen mukaisesti.
- Harjan kohdalla olevien suurten tankojen vastakkain olevien päiden puristaessa toisiaan epäkeskisesti tai välissä olevaa betonia syntyy betoniin halkaisuvaikutuksia, jotka hävittävät tankojen vähäisenkin sitomisvaikutuksen ja tankojen nostovoima lohkaisee laipasta tankojen ulkopuolisen osan irti.
- Jäljelle jäävä tehollinen betonipoikkileikkaus on riittämätön vaadittavan taivutus-kestävyyden säilyttämiseen.
- Oleellinen murtumisen aiheuttaja on puristusterästen suuri määrä ja harjan kohdalla tapahtuva tankojen jatkaminen, jota ei tarkasteltavassa tapauksessa voi toteuttaa mitenkään halkaisuvaikutuksia tuottamatta. Raudoitus lisäksi on altis työvirheille (kuvat 6 ja 7), jotka aiheuttavat myös halkaisuvaikutuksen.



**Kuva 6:** Kuvan 4 palkin ylälaipan tangot asennuksen mukaisessa asemassaan kun laipan reunan betoni on poistettu. Alimmat tangot on raudoitussuunnitelman mukaan niputettu. Tankojen päät on pituussovituksen epäonnistumisen vuoksi asetettu limittäin. Oikeanpuoleisten tankojen päät ovat joutuneet sen vuoksi lähes muottia vasten (puutteellinen suojakerros).



**Kuva 7:**

Raudoituksen sijainti ja alimman tangon alapuolella oleva puutteellinen betonin suojakerros, joka aiheutuu harjan kohdalla tapahtuvasta tankojen päiden limittämisestä. Kyseessä on sama palkki kuin edellisessä kuvassa.

# SBK:n jännebetoni-palkki- tutkimuksen tulokset käytettävissä

Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestön Standardijännebetonipalkkien kehitystyö alkoi syksyllä 1978. Vuoden 1978 lopulla valmistui SBK:n VTT:ltä tilaama jännebetonipalkkien kehittämisen esitutkimus, joka osoitti laajemman tutkimuksen tarpeelliseksi. Kesällä 1979 SBK tilasi VTT:ltä jännebetonipalkkitutkimuksen, jonka rahoitukseen Sitralta saadun tutkimusmäärärahan lisäksi osallistuivat SBK:n jäsenyrityksistä:

Kaise Oy  
K-Betonia Oy  
Oy Lohja Ab  
Lujabetoni Oy  
OMP-Yhtymä Oy Rajaville  
Oy Partek Ab  
Porin Betoni Oy  
Raaseporin Tiili Oy  
Rauman Betoni ja Elementti Ky  
Semera Oy

Jännebetonipalkkien kehitystyö on toteutettu VTT:n betoni- ja silikaattiteknikan laboratorion tutkimusprojektina, joka jakautui kahteen noin vuoden mittaiseen tutkimusvaiheeseen. Vaihe I käsitti pääasiassa jännebetonipalkkien käyttöselvityksen, tyyppien ja profiilien optimoinnin sekä alustavan mitoitus- ja valmistus selvityksen. Työtä vaikeutti se, että uusien betoninormien valmistustyö oli samanaikaisesti käynnissä ja mitoituksessa jouduttiin turvautumaan normiehdotukseen. I-vaiheessa päätutkijana toimi dipl.ins. Jorma Virtanen VTT:ltä.

Projektin II vaihe käsittää SBK:n standardipalkkisarjan (I- ja HI-palkit) uusimisen ottaen huomioon uudet betoninormit ja tehdyistä koe-kuormituksista saadut tulokset. Mitoituksen lisäksi myös valmistusnäkökohdat pyrittiin selvittämään. Esitettävät ratkaisut tulevat eräiltä osin vaatimaan sisäasiainministeriön päätöksen mukaisen tyyppihyväksynnän.

Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestön standardijännebetonipalkkien monivuotinen kehitystyö on johtanut uuden standardin syntymiseen. Kahdessa vaiheessa toteutetun tutkimuksen kulusta ja tuloksista raportoi Semera Oy:n suunnittelujohtaja Kosti Nolvi.

Projektin valvovaan toimikuntaan ovat kuuluneet:

ins. Kosti Nolvi	dipl.ins. Matti Tanska
ins. Kalevi Kuusisto	dipl.ins. Kalle Tanskanen
dipl.ins. Ilkka Larjomaa	ins. Allan Uotinen
dipl.ins. Kari Laukkanen	ins. Hannu Uusitalo
dipl.ins. Risto Mäkinen	ins. Ari Veljo
ins. Osmo Pousi	tekn.lis. Markku Vesa ja
tekn.lis. Sakari Riihelä	dipl.ins. Matti T. Virtanen sihteerinä.

Vastaavasti projektin johtoryhmään ovat kuuluneet:

ins. Kosti Nolvi, puheenjohtaja  
dipl.ins. Ilkka Lukkariniemi  
ins. Osmo Pousi  
tekn.lis. Sakari Riihelä  
tekn.tri Asko Sarja ja  
tekn.lis. Markku Vesa.

Johtoryhmän sihteerinä ja päätutkijana projektin II-vaiheessa on toiminut dipl.ins. Ismo Rasinaho.

Jännebetonipalkkien mitoituksessa käytettävän tietokoneohjelman kehittämisen tutkimustuloksista saatujen periaatteiden mukaisesti on suorittanut dipl.ins. Risto Sajaniemi Teknillinen laskenta Oy:stä.

Käytettäviä muottiperiaatteita selvittävän työryhmän puheenjohtajana on toiminut ins. Hannu Uusitalo, jäseninä teknikot Matti Aarti ja Olavi Helin sekä sihteerinä Ismo Rasinaho.

## TUTKIMUKSEN I VAIHE

### 1. Jännebetonipalkkien käyttöalue

Jännebetonipalkkien käyttöalueen selvittämiseksi lähetettiin tutkimukseen osallistuville tehtaille tiedustelu, jossa kyseltiin vuosina

1975-1979 aikana valmistettujen SBK:n standardipalkkien hyötykuormia ja jännevälejä.

I-palkeilla jännevälit ovat vaihdelleet 7.0 - 31.2 m keskiarvon ollessa 13.3 m. HI-palkeilla on vaihteluväli ollut 8.4 - 40.5 m ja keskiarvon ollessa 20.9 m. Kalkkien jännepalkkien keskipituus on ollut 19.3 m. Hyötykuormat ovat vaihdelleet välillä 5.5 - 93 KN/m. Tasapalkkeja tässä tarkastelussa oli 1.426 kpl ja harjapalkkeja 5.122 kpl ja yhteensä 6.548 kpl (taulukko 1).

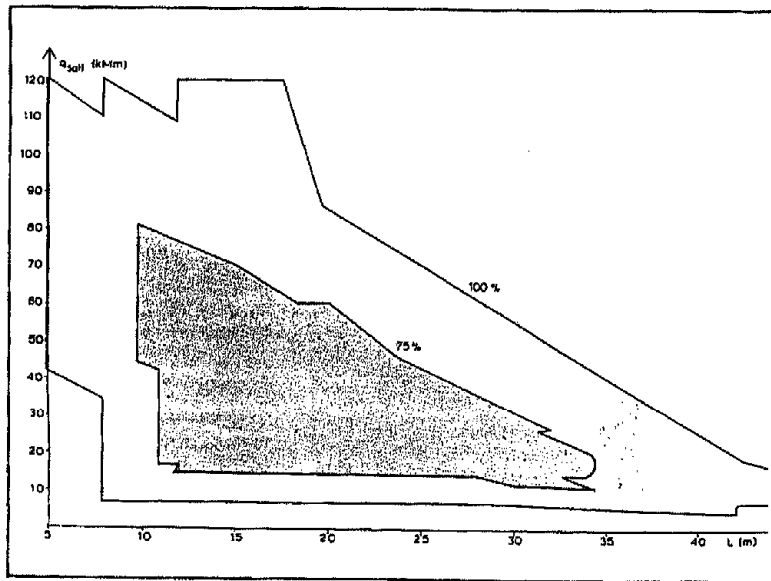
Lisäksi tiedustelussa kyseltiin tehtaiden omia arvioita jännebetonipalkkien käyttöalueeksi. Yhteenveto tuloksista on esitetty kuvassa 1.

Tampereen teknillisessä korkeakoulussa on tehty selvitys vuosina

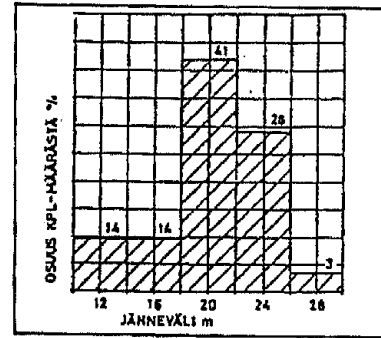
Palkki	Jänneväli (m)			qsall (kN/m)		Valmistus- määrä (kpl)
	min	ka	max	min	max	
I 750 x 350	7,0	13,2	24,0	10	58	214
I 900 x 350	7,5	13,2	23,0	10,8	65	527
I 1100 x 350	7,0	15,1	27,0	8,6	68,2	364
I 1200 x 400	8,2	15,9	22,0	18,6	55	370
I 1350 x 400	11,0	13,3	24,3	41	64	152
I 1500 x 450	7,9	16,9	31,2	19,6	93	312
I 1650 x 450	14,9	17,0	28,5	24	80	146
I 1650 x 500	10,9	20,0	27,0	18	42	69
I 1800 x 500	10,0	19,6	24,6	49	210	154
I - palkit <sup>1)</sup>	7	13,3	31,2	8,6	210	2848
HI 450 x 350	9,0	14,6	20,2	9,0	31	670
HI 600 x 350	12,0	17,3	23,0	10,0	79,5	823
HI 750 x 350	9,0	18,1	29,8	8,1	84	1507
HI 750 x 450	8,4	21,7	37,7	10,0	65	1022
HI 900 x 450	11,0	23,5	33,0	5,5	58	592
HI 1050 x 450	14,0	21,2	36,3	17	71	420
HI 1200 x 500	15,0	21,9	38,8	30	79	262
HI 1350 x 500	17,0	23,7	40,5	16,0	64	412
HI 1500 x 500	26,0	26,8	33,6	29	45	202
HI 1650 x 500	21,0	31,0	40,0	18	42	36
HI - palkit <sup>1)</sup>	8,4	20,9	40,5	5,5	79,5	8430
Kaikki <sup>1)</sup> palkit	7	19,3	40,5	5,5	210	11278

<sup>1)</sup> Keskiarvot on laskettu valmistusmäärien mukaan painotettuina. Lisäksi kaikki tehtaot eivät ole ilmoittaneet palkkien kokojakautumaa vaan ainoastaan I-palkkien ja HI-palkkien kokonaismäärät.

Taulukko 1. Käyttöalueet ja valmistusmäärät vuosina 1975... 1979.



Kuva 1. Käyttöalue-ehdotukset.



Kuva 2. Hallien jännevälien jakautuma. Vuodet 1970... 1974.

1970–1974 aikana rakennettujen hallien jänne- ja kehäväleistä. Hallia tutkimuksessa oli 60 kpl ja yleisin jänneväli oli 20 m.

## 2. Jännebetonipalkkien kustannusmuodostus

Käyttöalueeselvityksen yhteydessä tiedusteltiin tehtaalta myös palkkien valmistus- ja materiaalikustannuksia. Materiaalikustannukset muodostavat 57–61 %, työkustannukset 34 % ja suunnittelu- ja mitoituskustannukset 7 % palkkien valmistuskustannuksista (Taulukko 2).

## 3. Profiilin optimointi

Optimointia varten kehitettiin projektin yhteydessä tietokoneohjelma, joka määritteli erilaisten profiilien taivutusmurtokapasiteetin sekä betonimassan ja jännepunosten hintavaikutuksen. Optimoinnin kriteerinä käytettiin hinnan suhdetta hyötymurtokapasiteettiin.

Hinnanmuodostuksessa käytettiin tehtaiden antamia valmistus- ja materiaalikustannuksia. Optimoinnin tuloksena saatiin profiililtaan uusi palkkisarja, joka on Runko-BES:n mittasuosituksen mukainen.

Tilakustannusten vaikutus huomioidtiin profiilien optimoinnissa.

Harjapalkkien kaltevuuksista suoritettiin vertailuja. Vanha 1:16 kaltevuus todettiin edullisimmaksi.

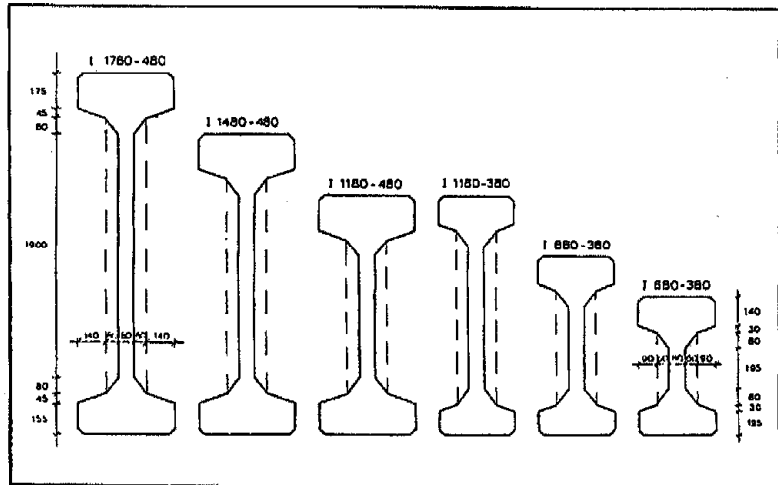
## 4. Alustava mitoitus

Alustava mitoitus suoritettiin VTT:n tätä tarkoitusta varten kehittämällä tietokoneohjelmalla, joka määritteli murtorajatiilan perusteella sallittavan hyötykuorman. Käyttörajatiloja

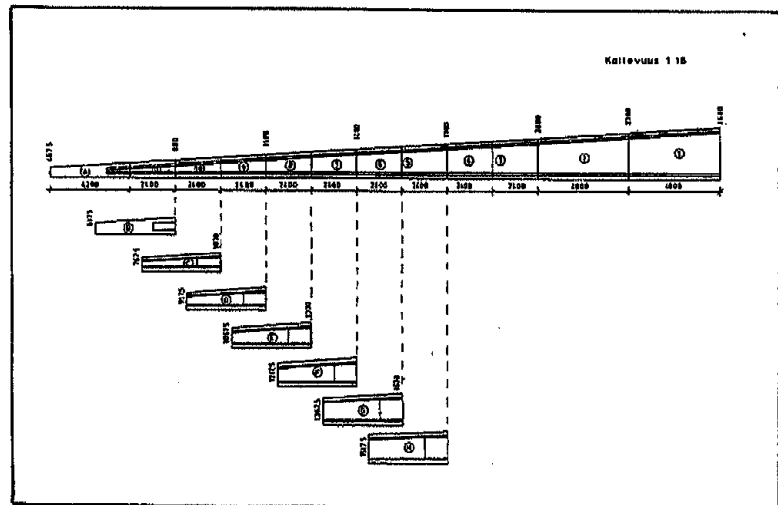
	%
Betoni	20...24 <sup>1)</sup>
Lisäaine	1
Punokset	17
Haat	4
Muut teräkset	5
Muotit	9
Muut mat.	2
<b>Materiaalit yhteensä</b>	<b>57...61<sup>1)</sup></b>
Hakojen valm.	2
Hakojen asenn.	10
Muottityöt	7
Jännittäminen	3
Betonointi	5
Jälkihoito, laad. vaiv., varastointi	5
Muut työt	2
<b>Työt yhteensä</b>	<b>34</b>
Elsuunnittelu	1
Mitoitus	5
Hyväksyttäminen	1
<b>Suunnittelu yhteensä</b>	<b>7</b>
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>100</b>

<sup>1)</sup> Vaihtelualue, joka riippuu betonin suunnittelulujuudesta (K40-K50).

Taulukko 2. Jännebetonipalkkien kustannusten jakautuminen vastaajien ilmoittamista kustannuksista laskettujen keskiarvojen mukaan määritettynä.



Kuva 3. I-palkit.



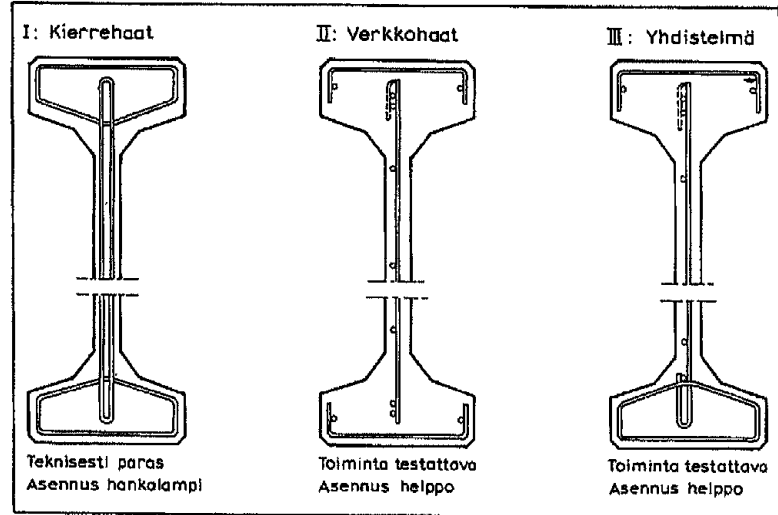
Kuva 4. Harjapalkkien muotikalusto.

ohjelma ei tarkastellut. Ohjelman mitoitus perustui normiehdotuksen laskentamalleihin.

### 5. Profiilin taloudellisuusvertailu

Taloudellisuusvertailussa on vertailun pohjana käytetty SBK:n vanhaa standardipalkkisarjaa. On tutkittu saman hyötykuormakapasiteetin omaavien palkkien kustannuksia. Tutkimusvertailussa todettiin, että betonimäärät ovat I-palkeilla keskimäärin 12 % ja HI-palkeilla 7 % vanhojen standardipalkkien betonimäärä pienemmät, vaikka betonin suunnittelulujuus oli uusilla palkeilla K45 ja vanhoilla palkeilla K50. Samoin uudet palkit ovat keskimäärin 40 mm matalampia.

Kustannuksiltaan ovat näin arvioiden uudet I-palkit 5-19 % ja uudet HI-palkit 4-18 % vanhoja edullisempia. Edullisuus kasvaa matal-



Kuva 5. Hakavaihtoehdot.

lammista korkeampien profiilien suuntaan.

muksessa ideoituja hakarautoitusratkaisuja, jotka vaativat jatkokehittelyä ja testausta.

### 6. Raudotteiden kehittäminen

Kuvassa 5 on esitetty tässä tutki-

### TUTKIMUKSEN II-VAIHE

Tutkimuksen I-vaiheen valmistuttua



kevällä 1980 tutkimuksen valvova toimikunta päätyi sellaiseen ratkaisuun, että uutta optimoitua poikkeileikkausta ei tässä vaiheessa toteuteta suurten muotti-investointien takia, vaan keskitytään kehittämään jännebetonipalkkia vanhan SBK:n standardipalkkiprofiilin pohjalta, jolloin voidaan käyttää nykyistä muottikalustoa ilman lisäinvestointeja.

**1. Koepalkit, niiden mitoitus ja valmistus**

**1.1. Koepalkit**

I-palkit

- 2 kpl I 750-350 L = 6.200 mm
- 1 kpl I 900-350 L = 14.200 mm

HI-palkit

- 3 kpl HI
- 450-350 L = 14.200 mm H = 900 mm
- 3 kpl HI
- 750-350 L = 14.200 mm H = 1.200 mm

Polttokeopalkit

- 2 kpl I 750-350 L = 6.200 mm

Valltuihin palkkityyppihin vaikutti tutkimustavoitteiden lisäksi tyyppin edustavuus palkkisarjavalikoimassa sekä käytettävissä olevien kuormituslaitteiden soveltuvuus ko. tapauksiin. Koepalkkien betonin suunnittelulujuudeksi valittiin K45.

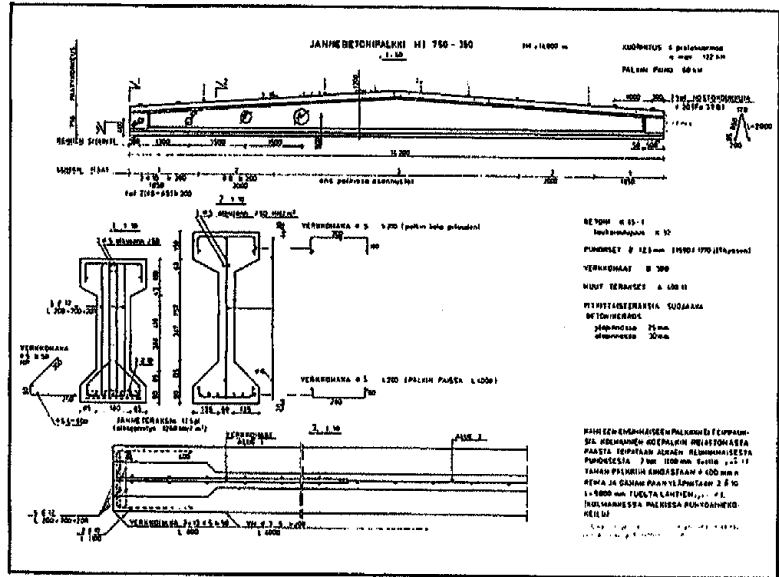
Toinen I 750-350 koepalkeista oli toisesta päästä reiällinen ja toinen pää oli leikkausraudoittamaton. Myös HI-palkit olivat toisesta päästä reiällisiä.

**1.2. Koepalkkien mitoitus**

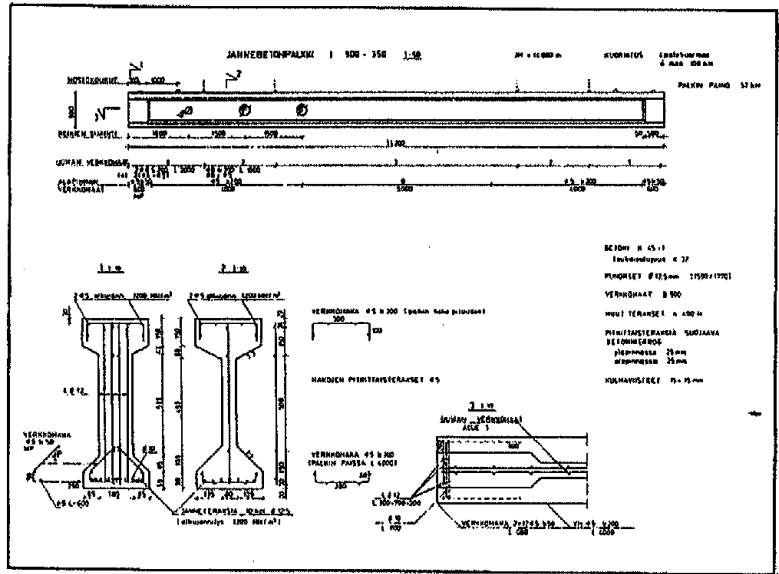
Koepalkkien mitoituksessa lähdettiin siitä, että normien mukainen momenttimitoitus on niin tutkittu ja hyväksi havaittu, mm. Esko-palkkien mitoituskokeissa, että näissä kokeissa se jätettäisiin leikkausmitoitukseen nähdessä vähemmälle huomiolle.

Koepalkkien leikkausraudoituksen mitoitusmenetelmäksi valittiin Rehardtin mitoitusmenetelmä, koska siihen sisältyi riittävästi taustatietoa, mm. koekuormitusarjoja Helsingin teknillisessä korkeakoulussa. Laskennallisesti menetelmän havaittiin antavan kokonaisvarmuuden nähden oikeansuuntaisia raudoitusmääriä, jotka olivat hieman pienempiä verrattuna normien -73 antamiin tuloksiin.

Ylälaipan rauditus on ollut yksi epäselvimpiä jännebetonipalkkien



Kuva 6. Koepalkin HI 750-350 raudituspiirustus.



Kuva 7. Koepalkin I 900-350 raudituspiirustus.

mitoituskohdeista, ja eri suunnittelijoilla on ollut omat keinonsa asian ratkaisemiseksi.

Varmin keino pitää jännebetonipalkin yläpinnan halkaumat hallinnassa on laskea rauditus normaalian mitoitusmenetelmien mukaan taivutukselle, mutta näin saadut rauditusmäärät muodostuvat tukialueen lähellä hyvin suuriksi. Teräsmäärien pienentämiseksi on käytetty punosten tartunnanpoistoa, ja on

hyödynnetty betonin taivutusvetolujuutta. Jännepunosten tartunnanpoiston vaikutusta palkkien leikkaukskapasiteettiin tutkittiin koepalkeissa siten, että toisen päädyn punoksista telpattiin 40 % 1 400 mm:n matkailta, ja toisessa päässä ei telppausta suoritettu. Jännevoiman aiheuttama halkaisuvoima palkkien päissä laskettiin normien kaavalla, mutta koepalkkien halkaisuhalojen määrää redusoitiin kertoimilla 0.5 - 0.7.

### 1.3. Koepalkkien valmistus

Koepalkeista I-palkit valmistettiin OMP-Yhtymä Oy Rajavillen tehtailla ja HI-palkit Raaseporin Tiili Oy:n tehtailla.

Koepalkkien valmistuksessa tutkittiin notkistimien, tavanomaisesta poikkeavan rakeisuuden ja pellettibetonimassan käyttöä palkkien betonimassan valettavuuden parantamiseksi.

Harjapalkkien valmistuksessa tehtiin havaintoja lämpökäsittelyn vaikutuksesta.

Toisena tärkeänä tutkimuskohteena oli palkin muodonmuutosten seuraaminen jännepunosten laukaisuvaiheessa.

Lisäksi seurattiin punosten liukumia, halkeamienmuodostusta, esijännitysvoiman aiheuttamaa esikoro-rotusta ja palkkien lyhenemää.

Koesarjan vertailukohdaksi valittiin ensimmäisenä valmistetut I-palkit. Niissä käytetyn betonin K45 koostumukseksi valittiin tehtaan tavanomaisesti käyttämä massa ilman lisäaineita.

Betonin notkeudeksi mitattiin painumakoetta käyttäen 8.5 – 13.5 cm keskiarvon ollessa 11.5 cm, joka vastannee muodonmuutosaikaa 1.7 sVB. Vesisementtisuhde oli 0.47.

Palkkien valu osoittautui helpoksi ja nopeaksi 80 mm uumasta huolimatta. Betonin lämpötilaa seurattiin piirturin avulla palkin alalaipassa valun jälkeen. Lämpötilan oltua n. 20°C oli 3 vrk lujuus 33.0 MN/m<sup>2</sup> ja 5 vrk lujuus 39.0 MN/m<sup>2</sup>. Kaikkien harjapalkkien betoni oli K40, ja niissä käytettiin lisäaineena notkistinta Serla-Sol ca 1 0.4 % sementin painosta, lukuunottamatta koepalkkia 4, joka valettiin pellettibetonimassalla K45. Massojen notkeudeksi mitattiin 1.2 – 1.7 sVB. Harjapalkkien valu osoittautui selvästi hankalammaksi kuin I-palkkien. Syynä vaikeuteen oli lähinnä yläpinnan jännelangat, jotka 80 mm uumassa muodostivat valuesteen. Pellettibetonimassalla valu oli helpompaa ja nopeampaa.

### 1.4. Koepalkkien testausta tehtailla

Koepalkkien betonin lujuudet jännepunosten laukaisuhetkellä vaihtelivat olosuhtelieriöillä tehdyn seurannan mukaan välillä 31.5 – 38.5 MN/m<sup>2</sup>. Laukaisun yhteydessä tapahtuneita punosliukumia havait-

tiin ainoastaan pellettibetonista valetun koepalkin toisessa päässä, jossa kahden vierekkäisen punoksen liukumiksi mitattiin 10 ja 6 mm. Palkkien yläpintaan syntyi halkeamia laukaisutilanteessa ja varastoinnin aikana, koska palkkien ylälaipan terästyksenä oli vain 2#5 jännelankaa ja 2-4#5 verkkohaana pituussuuntaista lankaa.

I 750-350 L = 6.200 palkeissa oli alapinnassa 8#12.5 jännepunosta ja yläpinnassa 2#5 jännelankaa. Laukaisun jälkeen palkki sai 4.0 mm lyhenemän ja 4.0 mm etukoroituksen eikä yläpintaan syntynyt halkeamia. 3.2 MN/m<sup>2</sup> laskennallisesta taivutusvetojännityksestä huolimatta 21 vrk jälkeen oli etukoroitus 8 mm, ja palkin yläpintaan oli syntynyt useita 0.1 – 0.3 mm halkeamia. Palkin seurantakoelieriöillä saatiin betonin lujuudeksi 32.5 MN/m<sup>2</sup> ja palkelista poratuilla näytteillä 38.6 MN/m<sup>2</sup>.

I 900-350 L = 14.200 palkissa oli 10#12.5 jännepunosta alapinnassa ja 2#5 lankaa yläpinnassa. Laukaisun jälkeen palkki sai 19 mm esikoroituksen ja 10 mm lyhenemän eikä palkin yläpintaan syntynyt halkeamia. 26 vrk jälkeen oli esikoroitus 48 mm ja palkin yläpintaan oli syntynyt kaksi halkeamaa. Seurantakoelieriöillä saatiin betonin lujuudeksi 42.7 MN/m<sup>2</sup> ja poratuilla näytteillä 39.7 MN/m<sup>2</sup>.

HI 750-350 L = 14.200 palkeilla on alapinnassa 11#12.5 punosta ja yläpinnassa 2#5 lankaa. Laukaisun jälkeen palkki sai 19 mm etukoroituksen ja 3.2 mm lyhenemän sekä yläpintaan syntyi halkeamia. 32 vrk jälkeen oli esikoroitus 53 mm. Seurantalieriöiden lujuus oli 46.5 MN/m<sup>2</sup> ja poratuilla näytteillä 50.0 MN/m<sup>2</sup>. HI 450-350 L = 14.200 palkeilla oli alapinnassa 10#12.5 punosta ja yläpinnassa 2#5 lankaa sekä 2#10 harjaterästä. Laukaisun jälkeen palkki sai 21 mm etukoroituksen ja 5 mm lyhenemän sekä palkin yläpintaan syntyi halkeamia. Vastaava pellettibetonista valettu palkki sai 15 m etukoroituksen ja 14.5 mm lyhenemän, samoin yläpinta haikkeili. 36 vrk jälkeen oli etukoroitus 73 mm ja pellettibetonipalkissa 42 vrk jälkeen 65 mm. Seurantalujuudet olivat 46.4 MN/m<sup>2</sup> ja 49.4 MN/m<sup>2</sup> ja poratut näytteet 47.2 MN/m<sup>2</sup> ja 53.3 MN/m<sup>2</sup>.

Kaikilla harjapalkeilla suoritettiin Demec-mittauksia kuormitusvaiheessa, mutta osalla koepalkeja suoritettiin mittauksia myös punosten laukaisuvaiheessa. Demec-mittaukset suoritettiin palkin ylä- ja

alalaipan sivupinnasta. HI 750-350 palkkien alalaipan puristuma heti päästön jälkeen jänteen 1/3 pis- teessä ja keskipisteen kohdalla vaihteli koepalkilla 1 0.63 – 0.80 ‰ ja koepalkilla 2 0.88 – 1.05 ‰. Vastaavat arvot 1 h päästön jälkeen olivat 0.74 – 0.88 ‰ ja 0.90 – 1.14 ‰ sekä 37 vrk kuluttua 1.60 – 1.79 ‰ ja 1.94 – 2.18 ‰. Hlipuman vaikutuksesta puristumat kasvoivat tällöin 2.1 – 2.3 -kertaisiksi. Betonin lujuuden keskiarvo muuttui vastaavasti 35.5 MN/m<sup>2</sup>:stä 47.0 MN/m<sup>2</sup>:ään. Koepalkkien päädyn Demec-mittauksista voidaan päätellä, että punosten tartunta betoniin on muodostunut noin 400 mm:n matkalla.

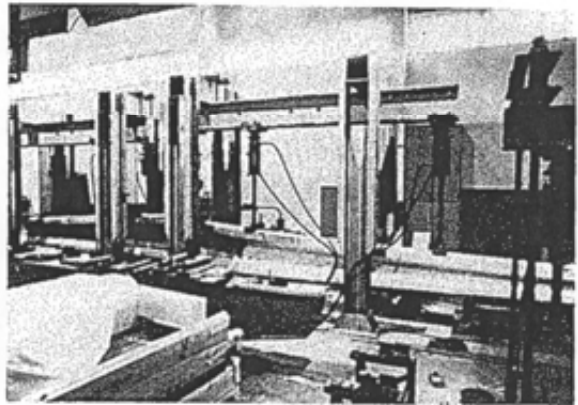
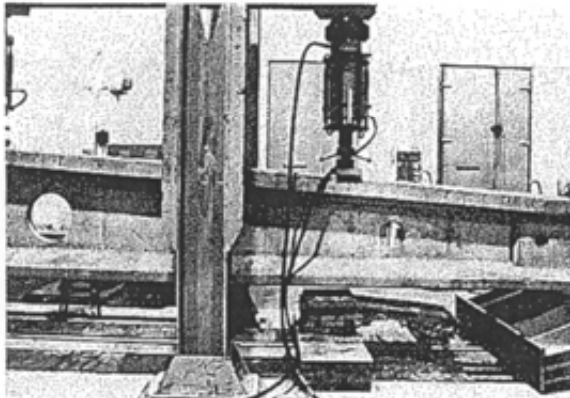
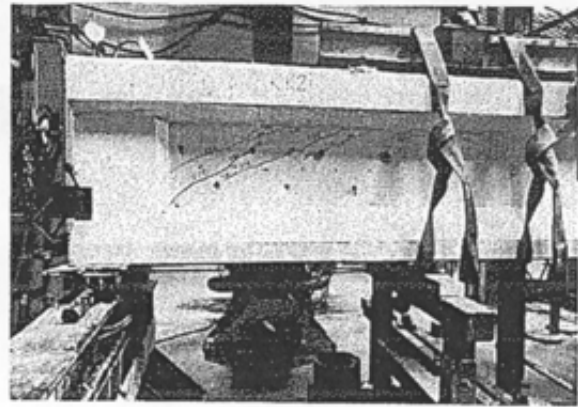
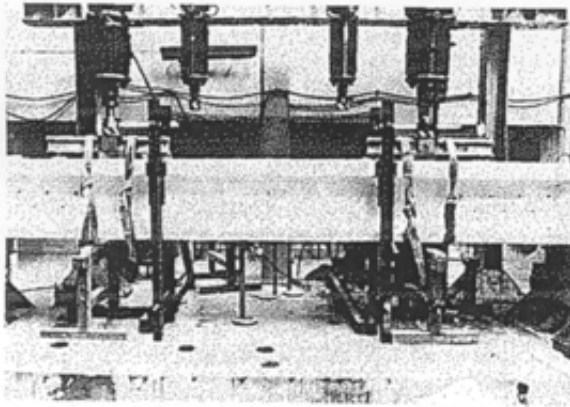
## 2. Kuormituskokeet

### 2.1. Koepalkkien kuormitus

Lyhyiden I-palkkien kuormituskokeet suoritettiin VTT:n betoni- ja siikaattiteknikan laboratorioissa ja pitkien palkkien kuormitukset rakennetekniikan laboratorioissa. Kuormituskokeiden tarkoituksena oli tarkistaa käytettyjen suunnittele- ja mitoitusperiaatteiden oikeellisuus ja etsiä niissä mahdollisesti olevia puutteita ja testata palkkien terästysten toimintoja sekä ylälaipan ja keskialueen uuman teräksettömyyden vaikutuksia kuormitustilanteessa. Koekuormitusjärjestelyissä ja toteutuksessa noudatettiin esijännitettyjen laattojen kuormitus- ja laadunvalvontakokeissa noudatettua käytäntöä. Kaikki kuormitukset suoritettiin neljän pistekuorman avulla. Kuormitus nostettiin käyttökuormaa vastaavaan arvoon kolmesta viiteen kertaan. Ainakin ensimmäisellä kerralla nostettiin kuormitus em. arvoon portaittain. Viimeisellä kerralla kuormitus nostettiin portaittain murtoon asti. Kuormituksen aikana palkkien kiepahdus estettiin sivutuennalla. Välittömästi ennen kuormitusta puristettiin jokaisen palkin mukana seuranneet kolme olosuhtelieriötä ja kuormituksen jälkeen porattiin kustakin palkista kolme rakennekoekappaletta.

### 2.2. Kuormituskokeissa tehdyt mittaukset

Tehtaalla aloitettuja mittauksia jatkettiin laboratorioissa. Laboratorioissa mitattiin palkkien päämitat. Esijännityksestä aiheutuva esikoroitus ja palkin sivukäyräys tarkistettiin. Palkkien halkeamat kartoitettiin uudelleen ja mitattiin niiden leveys. Kuormituskokeen aikana seurattiin ja mitattiin palkkien taipumaa, betonin muodonmuutoksia Demec-mittauksilla ja halkeamien



Esimerkkejä koepalkin kuormituskokeista.

syntyä ja leveyksiä jokaisella kuormitusportaalla. Lisäksi mitattiin punosten liukumia.

### 2.3. Kuormituskokeiden tulokset

Kuormituskokeiden tuloksista voidaan todeta, että varmuudet halkeama- ja taipumarajatilaan nähden saavutettiin. Taivutusmurtorajatilaan nähden vaadittava varmuus saavutettiin kahdessa ja vähäisesti alitettiin kolmessa tapauksessa ja leikkausmurron vuoksi jäi ratkaisevasta kolmessa tapauksessa. Laskennallinen leikkausmurtovarmuus ei toteutunut, koska käytetyn leikkausvoimia ottavan verkkohaaran tartunta petti ja palkkien päiden voimakas ilman pielliteräksiä oleva rei'itys heikensi oleellisesti leikkausmurtokapasiteettia. HI 750-350 palkit murtuivat taivutuksesta ylälaipan irrotessa uumasta. Palkkien keskiosalla ei uumassa ollut lainkaan terästä eikä harjan sidontateräksiä.

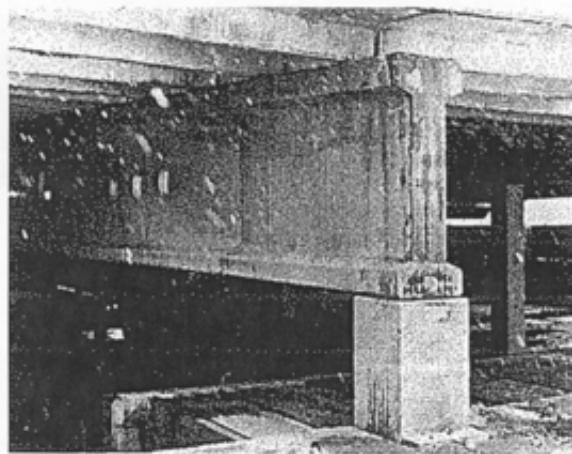
HI 450-350 palkit murtuivat leikkautumalla verkkohakojen ja punosten tartunnan pettäessä. I-palkeista palkki 1 leikkautui liian tiheään rei'ityksen vuoksi ja palkki 3 leikkautui verkkohakojen tartunnan pettäessä. Leikkausraudoittamaton palkki 2 osoitti betonin leikkauskapasiteetin lisäyksen puristavan esijännitysvoiman vaikutuksesta. Harjapalkkien ylälaipan rauditus osoittautui liian vähäiseksi. Esijännitysvoimasta aiheutuvat halkeamat paloittelivat ylälaipan, jolloin puristuksessa ylälaippa ensin leikkautuu uumasta, jonka jälkeen se irtoaa ylöspäin vaikuttavan komponentin johdosta. Jo vähäisellä teräsmäärällä harjan kohdalle olisi murtokapasiteettia merkittävästi lisätty. Betonin puristumat ylälaipassa osoittautuivat melko pieniksi (alle 2 ‰). Raudoittamaton alalaipan keskiosa pysyi taivutushalkeamia lukuunottamatta ehjänä murttoon asti. Jänneteräkset sitoivat betonin hyvin.

### 3. Polttokoe

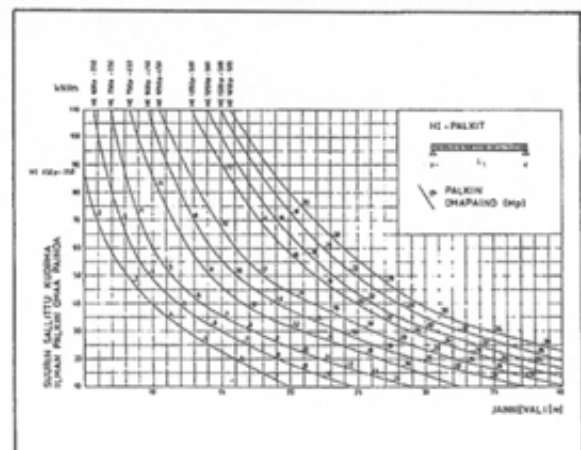
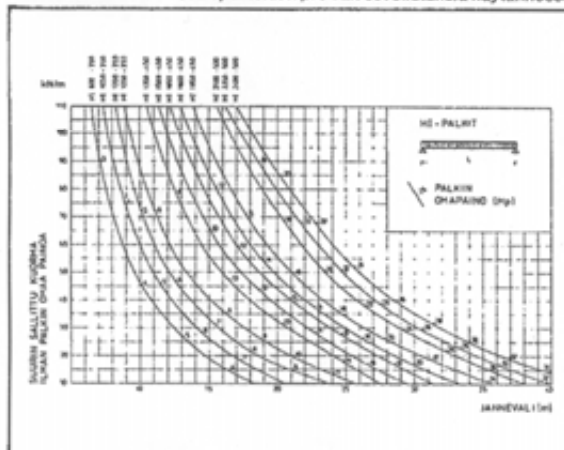
Rakentamismääräyskokoelman E 5 ohjeissa on 80 mm uumalla varustettu palkki luokiteltu A30 paloluokkaan ja 100 mm uumainen palkki A60 palonkestävyysluokkaan. Koepalkki, jossa oli 80 mm uuma jäi polttokokeessa hieman alle 30 min. paloluokan. Palkki kesti polttokokeessa 22 min. Esko-palkkitutkimuksen yhteydessä tehdyssä polttokokeessa päästiin 60 mm uumaisella palkilla, johon uuman osalle oli tehty pystysuuntaisia ripavahvistuksia, 78 min. palonkestoajkaan.

### Standardityypit

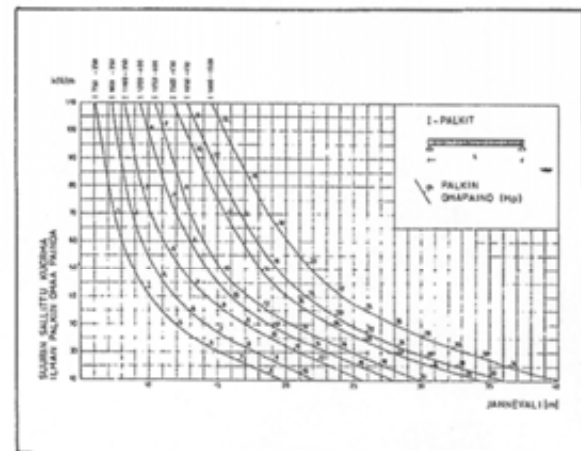
Uusi jännebetonipalkkistandardi on laadittu ottaen huomioon normeissa tapahtuneet muutokset. Standardissa olevat kapasiteettikäyrät on laadittu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 määräysten mukaan ympäristöluokassa Y2. Ympäristöluokassa Y3 on ka-



Tutkimuksen I-vaiheessa optimoidun profiilin sovellutuksia käytännössä.



Kuva 8. Standardpalkkien kapasiteettikäyrästäjä.



pasiteetti suurempi tapauksissa, joissa halkeilurajatilaehto on määräävä mitoitusehto. Kapasiteettikäyrien ylittäminen on määrättyissä tapauksissa mahdollista SBK-VTT:n jännebetonipalkkien kehittämistutkimuksen tulosten perusteella.

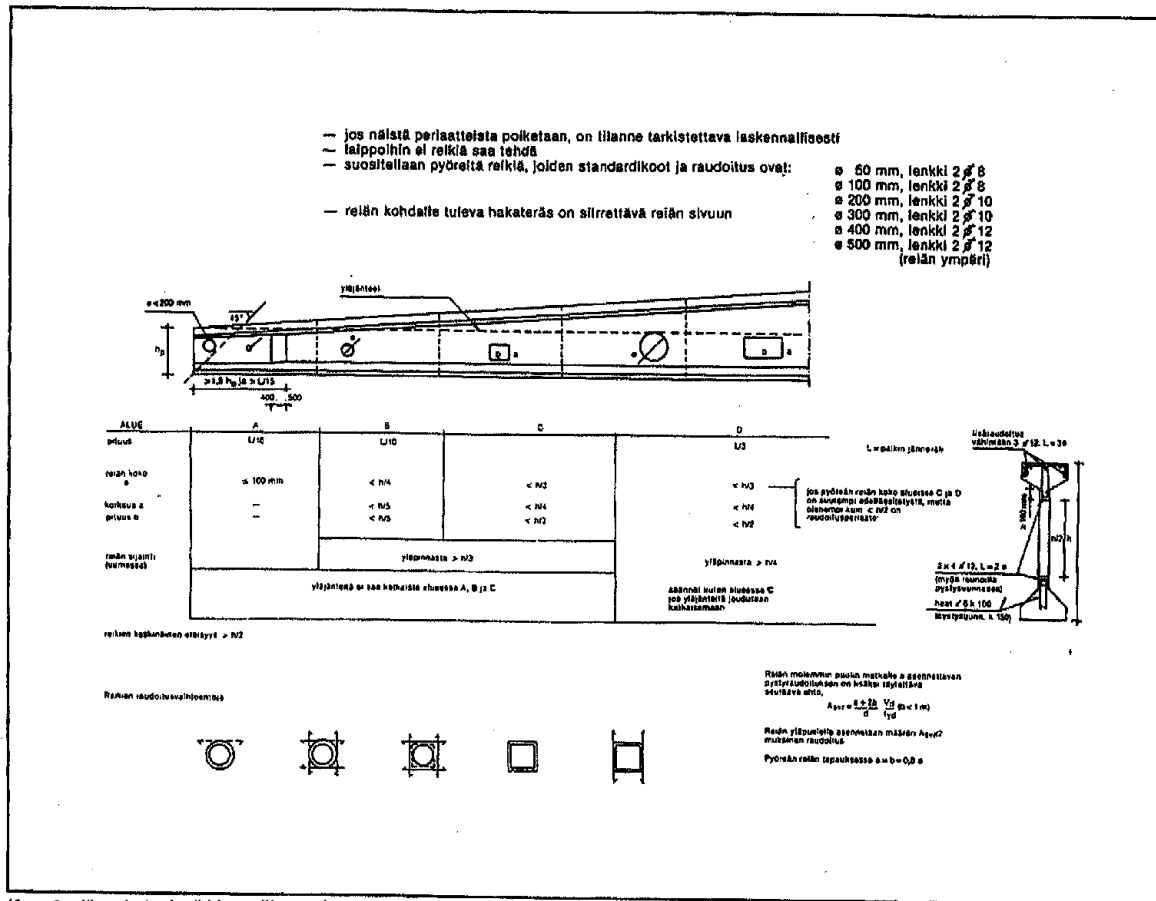
Kapasiteetilaskelmissa on käytetty Y2-luokan mukaisia rajatilaehdoja. Pysyvän ja muuttuvan kuorman osuus kuormituksesta on ollut yhtäsuuri (50 %). Kuorman pitkäaikaisosuus on ollut 60 %. Taipuma on rajoitettu niin, että alkutaipuman ja lopputaipuman välinen ero saa olla korkeintaan  $L/200$ , asennuksen jälkeinen sallittu taipuma on rajattu arvoon  $L/250$ .

Murtorajatilatarkastelu on normien mukainen.

Poikkileikkausmitat ovat palkkien päätyä lukuunottamatta samat kuin edellisessä standardissa. I-palkeista on tyyppi 1650-500 jäänyt pois. Vinon osan pituus sekä uu-

man leveys päässä on muutettu (kts. taulukko 3). Harjapalkeille on otettu uusi merkitsemistapa käyttöön. Vanha tapa, joka ilmoittaa pään korkeuden on muutettu niin, että korkeusarvon jälkeen on lisätty kirjain p. Esim. HI 900p-450 tarkoittaa, että palkin korkeus päässä

on 900 mm. Ilmoitettaessa palkkityyppi harjakorkeuden mukaan (harjakorkeus on vakio eri jänneväleillä) kirjainkoodi jää pois. Esim. HI 1050-350 tarkoittaa, että palkin harjan korkeus on 1050 mm. Palkkien ylälaipan kaltevuus on 1:16.



Kuva 9. Jännebetonipalkkien rei'ityisperiaatteet.

Tasakorkeat palkit	Harjapalkit pään korkeuden mukaan	Harjapalkit harja-korkeuden mukaan
I 750-350	HI 450p-350	HI 900-350
I 900-350	HI 600p-350	HI 1050-350
I 1100-350	HI 750p-350	HI 1200-350
		HI 1350-350
I 1200-400		
I 1350-400		
I 1500-450	HI 750p-450	HI 1350-450
I 1650-450	HI 900p-450	HI 1500-450
	HI 1050p-450	HI 1650-450
		HI 1800-450
		HI 1950-450
I 1800-500	HI 1200p-500	HI 2100-500
	HI 1350p-500	HI 2250-500
	HI 1500p-500	HI 2400-500
	HI 1650p-500	

Taulukko 3. Standardipalkkien merkitseminen.

**Kapasiteettikäyrien käyttö**

Kapasiteettikäyrät ovat sovellettavissa jännebetonipalkkien alustavassa mitoituksessa (kuva 8).

**Rei'ityisperiaatteet**

Reiät sijoitetaan uumaan, jonka korkeus määrää reiän suurimman koon, kuitenkin < h/2 (h = palkin

korkeus). Reiät jaetaan standardireikiin ja niitä suurempiin reikiin. Standardirei'ityksen periaatteet ja rauditus on esitetty kuvassa 9. Näitä suuremmat reiät heikentävät palkin kokonaisvarmuutta ja siksi näiden mitoitus on suoritettava erikseen. Suurien reikien sijoittamista tiheään leikkausraudoituksen alueelle sekä toistensa lähelle on mahdollisuuksien mukaan vältettävä. Tällaisissa tapauksissa on usein palkin kokoa suurennettava. Suurten reikien kohdalla tulee ylälaipan yläpintaan asentaa vähintään kaksinkertainen pitkittäiste-rästys ja lisähaocitus. Reiän molemmin puolin asennetaan matkalle a määrän

$$A_{svr} = \frac{a+2b}{d} \cdot \frac{V_d}{f_{yd}}$$

mukainen pystyhaocitus ja yläpuolelle  $A_{svr}/2$  mukainen rauditus. ●



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ  
MILJÖMINISTERIET  
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

Päiväys  
Datum

Dnro  
Dnr

6.7.2006

YM 11/629/2006

Jakelussa mainitut

SAAPUNUT

1 2. 07. 2006  
203/54

Vilte  
Hänvisning

Asia  
Ärende

NR-ristikoista rakennettujen kattojen, liimapuupalkkien sekä betonisten HI-palkkien rakenteellinen turvallisuus

Keväällä 2006 todettiin useita rakenteellisia vaaratilanteita ja tapahtui myös rakenteiden sortumia. Näistä yhdeksää tapausta tutkitaan suuronnettomuuden vaaratilanteena. Ympäristöministeriö on tapausten perusteella teettänyt VTT:llä liitteenä olevat selvitykset kattoristikoiden tuennasta sekä liimapuupalkkien halkeilusta. Ympäristöministeriö pitää rakenteellisista riskeistä tiedottamista tärkeänä. Kiinnittämällä kiinteistönomistajien huomiota asiaan voidaan ennalta ehkäistä onnettomuuksia. Ympäristöministeriö esittää, että kuntien rakennusvalvontaviranomaiset tiedottavat asiassa sopivaksi katsomallaan tavalla.

Sortumien ja rakenteellisten vaaratilanteiden alustavassa tutkinnassa huomio on kiinnittynyt NR-kattoristikoiden tuentaan sekä liimapuupalkkien halkeiluun ja betonisiin HI-palkkeihin. Riskejä voi esiintyä myös muun tyyppisissä rakenteissa. Ympäristöministeriön teettämät selvitykset kattoristikoiden tuennasta ja liimapuupalkkien halkeilusta sekä tämä kirje ovat ladattavissa ministeriön www-sivuilla [1]. Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostuksessa "Kauppakeskuksen katon sortumisvaara Kuopiossa", B 1/2005 Y, on annettu suositukset vastaavanlaisten HI-palkkien vaurioiden välttämiseksi. Tutkintaselostus on ladattavissa Onnettomuustutkintakeskuksen www-sivuilta [2]. Onnettomuustutkinta Savonlinnan kauppakeskuksen osalta on kesken. Rakennusteollisuus rt ry ja siihen kuuluvat betonielementtien valmistajat ovat osaltaan selvittäneet ja tiedottaneet esille tulleeseen malliin HI-palkkeihin liittyvästä rakenteellisesta riskistä.

Liitteenä olevien selvitysten tarkoituksena on palvella kiinteistönomistajaa tehtäessä arviota mahdollisen rakennusvirheen, ikääntymisen tai erityisen rasittavien olosuhteiden aiheuttamista riskeistä rakennuksen käytössä.

Vastuu rakennuksen kunnossapidosta on ensisijaisesti kiinteistön omistajalla. Rakenteiden turvallisuuteen voidaan tarvittaessa puuttua. Rakennustarkastaja voi edellyttää kiinteistön omistajaa selvittämään rakenteen kestävyyttä. Tarvittaessa on mahdollista vaatia rakennuksen omistajaa esittämään kustannuksellaan rakennusta koskeva kuntotutkimus turvallisuuden johdosta ilmeisen välttämättömien korjaustoimenpiteiden selvittämiseksi (MRL 166 §).

Tätä kirjettä koskevia lisätietoja antavat:

Rakennusneuvos Teppo Lehtinen, p. 09-1603 9670 (tavoitettavissa 6-14.7, 16.8-),  
Rakennusneuvos Jaakko Huuhtanen, p. 09-1603 9654 (tavoitettavissa 17.7-)  
ja rakennusvalvonnan osalta

Rakennusneuvos Heikki Aho, p. 09-1603 9653 (tavoitettavissa 7.8-)  
Ylitarkastaja Pekka Lukkarinen, p. 09-1603 9657 (tavoitettavissa 17.7-)

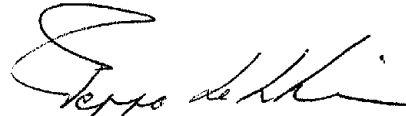
Sähköpostit: etunimi.sukunimi@ymparisto.fi

Rakentamisen tulosalueen päällikkö,  
Kehittämisjohtaja



Helena Säteri

Rakennusneuvos



Teppo Lehtinen

#### LIITTEET

- Liite 1: VTT-M-06549-06: Kiinteistöjen omistajien varoittaminen kattoristikoiden asennusvirheistä -riskialttiiden kohteiden spesifiointi
- Liite 2: VTT 20.6.06: Liimapuun halkeilu, ohje riskien ja korjaustarpeen arviointiin
- Liite 3: Rakennusteollisuus RT ry:n tiedote 2.5.2006
- Liite 4: Rakennusteollisuus RT ry:n tiedotteen 2.5.2006 liite jännitettyjen HI-palkkien suunnittelu ja valmistus

#### VIITTEET

[1] [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi) > Maankäyttö ja rakentaminen > Hyvä ja kestävä rakennus > Kantavat rakenteet

[2] [www.onnettomuustutkinta.fi](http://www.onnettomuustutkinta.fi)>muut onnettomuudet>suuronnettomuuden vaaratilanteet

**JAKELU**

Kunnanhallitukset  
Kuntien rakennusvalvontaviranomaiset

**TIEDOKSI**

Kuntien rakennustarkastajat  
Alueelliset ympäristökeskukset  
Ympäristöministeriön osastot ja yksiköt  
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  
Kiinteistöpalvelut ry  
Rakennustarkastusyhdistys RTY ry  
Asuntokiinteistöliitto AKL ry  
Asuntokiinteistö- ja rakennuttajaliitto ASRA ry  
Kilpailuvirasto  
Kuluttajavirasto  
Maa- ja metsätalousministeriö  
Maaseutukeskusten Liitto  
Metsäteollisuus ry  
MTK  
Onnettomuustutkintakeskus  
Opetusministeriö  
Oulun yliopisto  
Puolustusministeriö  
Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry  
Rakennusinsinöörit ja -arkkitehdit RIA ry  
Rakennustietosäätiö  
Senaattikiinteistöt  
SFS-Sertifiointi Oy, rakennustuotteiden laadunvalvonta  
Sisäasiainministeriö  
Suomen Arkkitehtiliitto SAFA ry  
Suomen Betoniyhdistys ry  
Suomen Jääkiekkoliitto ry  
Suomen Kiinteistöliitto ry  
Suomen Konsulttiyhdistys SNIL ry  
Suomen Palloliitto  
Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto ry  
Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto  
TE -keskukset  
Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto  
Teknologiateollisuus ry  
Teräsrakenneyhdistys ry  
Turvatekniikan keskus TUKES  
VTT  
Wood Focus Oy



## TIEDOTE

Sattuneiden HI-palkkien halkeamavaurioiden johdosta Rakennusteollisuus RT:n Betoniteollisuus - toimiala toteaa, että toimialan toimesta on täydennetty HI-palkkien suunnittelun ja valmistuksen ohjeistusta. Noudattamalla aikaisempia ohjeita sekä näitä täydennyksiä estetään uusien vastaavien vaurioiden muodostuminen. Ohje on tämän tiedotteen liitteenä ja erikseen luettavissa internet-osoitteessa <http://www.betoni.com/>.

HI-palkkeja valmistavat betoniteollisuusyritykset ovat kartoittamassa valmistamansa kohteet mahdollisen halkeamariskin kannalta. Valmistajan ja suunnittelijan velvollisuus on säilyttää suunnitelmat kymmenen vuotta. Tästä syystä riskikartoitus kattaa noin kymmenen vuoden aikajänteen tästä hetkestä taaksepäin.

Valmistajat ottavat yhteyttä kesäkuun aikana niihin kiinteistönomistajiin, joiden kiinteistöjen HI-palkeissa on halkeamariskiä. Valmistajat luovuttavat näiden kohteiden luettelon myös Ympäristöministeriön käyttöön.

Kohteissa, joissa HI-palkkeja on käytetty, tulee kiinteistön omistajan tarkistaa silmämääräisesti, onko HI-palkin harjan läheisyydessä silmin havaittavia halkeamia. Tarkastus tulee kohdentaa erityisesti palkin ylälaippaan ja ulottaa harjalta noin palkin kolmannespisteeseen asti. Tarkastus on suoritettava erityisellä huolella. Mikäli silmämääräinen tarkastus osoittaa, että palkissa on halkeamia, tulee välittömästi ottaa yhteys joko palkin valmistajaan tai suunnittelijaan jatkotoimenpiteiden käynnistämiseksi.

Betoniteollisuus tulee tekemään mallisuunnitelman, kuinka niitä palkkeja voidaan vahvistaa, joissa halkeamariski on olennainen. Mallisuunnitelma on käytettävissä välittömästi kesäloman jälkeen.

Rakennusteollisuus RT  
Betoniteollisuus

Olli Hämäläinen

Liite: Jännitettyjen HI-palkkien suunnittelu- ja valmistusohje

Liite 4  
LIITE

2.5. 2006/as

**Jännitettyjen HI- palkkien suunnittelu ja valmistus**

Jännitetyissä HI –palkeissa on viime aikoina havaittu vaurioita. Niitä on esiintynyt palkeissa, joissa on ollut ylälaipassa palkin keskialueella runsaasti harjateräksiä sekä puutteellinen haoitus ja jotka on suunniteltu kuormitukseensa nähden varsin mataliksi. Havaittujen vaurioiden johdosta suosittelemme toimittavaksi uusien palkkien suunnittelussa ja valmistuksessa toistaiseksi seuraavasti.

**Täydentävät suunnitteluohjeet**

Palkkityypin ja -korkeuden valinnassa tulee käyttää ensisijaisesti betonielementtiteollisuuden laatimia mitoituskäyrästöjä. Näitä löytyy esimerkiksi julkaisusta Valmisosarakentaminen II, osa H , Perustus- ja runkorakenteet. RTT. 1995. Käyrästöissä palkkien korkeudet on valittu niin, että jännittämisestä ylälaippaan aiheutuu vain pieniä vetojännityksiä ja siellä tarvitaan vain pienikokoisia harjaterästankoja. Alalaippaan ei tällöin myöskään tule liian korkeita puristusjännityksiä. Jännittämisvaiheessa betonin puristusjännitykset saavat olla enintään 50 % laukaisulujuudesta.

Pienempää palkkipoikkileikkausta kuin käyrästöt antavat, tulisi käyttää vain poikkeustapauksissa ja kokeneen suunnittelijan toimesta. Mikäli käytetään palkkeja, joiden korkeus on mitoituskäyrästöjä pienempi, tulee palkin yläreunan puristusjännitykset hoitaa ensisijassa käyttäen korkeampaa betonin lujuutta.

Palkin ylälaipan puristusterästen määrää tulee rajoittaa. Kuormituksen lopputilanteessa ei tulisi tarvita lainkaan puristusteräksiä. Esijännityksen laukaisutilanteen aiheuttamia vetojännityksiä varten ylälaipassa suositellaan käytettäväksi enintään T20- teräksiä. Raudoitus ei saisi missään tilanteessa isoillakaan palkeilla ylittää määrää 6T20. Näitä lopputilanteessa puristettuja teräksiä ei tule jatkaa palkin harjan kohdalla. Jatkospituutena tangoille käytetään vedetyn teräksen jatkospituutta. Tangot tulisi asentaa yhteen kerrokseen. Jos tankoja on enemmän kuin 2 kpl, tulee ne päättää eri kohdissa. Isommat tangot tulee sijoittaa laipassa keskelle uuman viereen.

Lisäksi suositellaan käytettäväksi yläpunoksia tasapainottamaan poikkileikkauksen jännityksiä alkutilanteessa. Joissakin tilanteissa alapunosten jännitystä kannattaa pienentää maksimitaan. Alapunosten tartunnan poistolla voidaan pienentää ylälaipan vetojännitystä laukaisutilanteessa.

Palkin ylälaipan taitteen aiheuttama nostovoima tulee harjan kohdalla hoitaa uumaan sijoitetuilla ala- ja ylälaippaan ankkuroiduilla lisäteräksillä.

Ylälaippa tulee varustaa riittävällä haoituksella. Ylälaipassa tulee palkin keskialueella ( = noin 60 % palkin pituudesta- alueella) käyttää umpihakoja tai vähintään ns. triangelihakaa ( BY 210, s. 654) aina kun puristettujen tankojen määrä on suurempi kuin 2T16 sekä aina puristettujen tankojen jatkoksen ja palkin harjan kohdalla ja mikäli tankoja joudutaan sijoittamaan kahteen kerrokseen. Muissa tilanteissa ns. hattuhaka voidaan katsoa riittäväksi. Hakajako määräytyy puristettujen pääterästen normivaatimusten mukaan. Lisätietoja palkin ja sen haoituksen suunnitteluun löytyy julkaisusta BY 210. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2005, kohta 9.3.2.

Isot reiät palkin uumassa tulee suunnitella huolella. Pääsääntöisesti palkin keskimmaisella kolmanneksella suositellaan reiän kooksi enintään h/3 ja suurten reikien välisen kannaksen leveydeksi vähintään h/2, kun h = palkin korkeus reiän kohdalla. Palkin kestävyys reikien kohdalla tulee tarkistaa ristikkoanalogian perusteella. Mikäli palkkiin joudutaan sijoittamaan reikiä suosituksesta poiketen, tulee suunnittelijan laatia niistä tarkemmat laskelmat. Isojen reikien yhteydessä tulee tarkistaa myös betonin jännitykset palkin ala- ja yläreunassa. Lisätietoja reikien suunnittelusta löytyy edellä mainituista julkaisuista.

## **Liite 4/6 (6)**

Jännitetyt HI- palkit ovat 1- rakenneluokan rakenteita, joiden suunnitelmien laatijalla/ tarkastajalla tulee olla FISE ry:n toteama AA- luokan betonirakenteiden suunnittelijapätevyys. Erityisen vaativissa rakennushankkeissa (RakMk A1) tai jos palkkirakenteissa oleellisesti poiketaan suosituksista, tulee ulkopuolisen betonirakenteiden tarkastajan pätevyyden omaavan suunnittelijan tarkistaa suunnitelmat.

### **Palkkien valmistus, kuljetus ja asennus**

Palkkien valmistuksen tulee tapahtua valmistussuunnitelmien ja Betoninormien ( BY 50) mukaan. Erityistä huomiota tulee kiinnittää oikeaan raudoitukseen sekä betonin lujuudenkehitykseen ja tiivistämiseen. Esijännityksen laukaisuvaiheessa betonin lujuuden tulee olla suunnitelmien mukainen. Mikäli palkkien laadunvalvonnassa havaitaan normaalista poikkeavaa (esim. halkeamia esijännityksen laukaisuvaiheessa), tulee siitä informoida suunnittelijaa. Mikäli valmistuspiirustukset ovat puutteelliset tai epäselvät, asia tulee selvittää suunnittelijan kanssa ennen palkin valmistusta. Valmistukseen tulee aina jäädä dokumentoitu tieto palkin lopullisesta raudoituksesta.

Palkit tulee kuljettaa työmaalle pitkien jännebetonipalkkien yleisiä kuljetusohjeita noudattaen. Palkeille tulee tehdä työmaalla vastaanottotarkastus ja ne tulee asentaa kirjallisen asennussuunnitelman mukaan.

RT/ Betonteollisuus