



D-TUTKINTA

D3/2007Y

Kattolasin putoaminen kauppakeskus Myyrmannissa
Vantaalla 24.3.2007

Tapahtumatiedot

<i>Tapahtuma-aika</i>	<i>Lauantai 24.3.2007</i>	<i>noin kello 16.20</i>
<i>Tapahtumapaikka</i>	<i>Myyrmannin kauppakeskus, Vantaa</i>	
<i>Kohteen tiedot</i>	<i>Rakennusvuosi 1994, pääkäytävän katossa teräs- ja alumiinirakenteinen runko ja umpiolasielementit.</i>	
<i>Tapahtuman luonne</i>	<i>Kattorakenteen vaurio</i>	
<i>Asianosaiset</i>	<i>Kiinteistön omistaja</i>	
<i>Seuraukset tai vahingot</i>	<i>Yksi henkilö sai naarmuja otsaansa. Kyseinen kattolasi piti uusia.</i>	
<i>Säätila</i>	<i>Täysin selkeätä, lämmin auringonpaiste, tuuli idästä 5 m/s, lämpötila +11 °C, ilman suhteellinen kosteus suuruusluokkaa 50 %, edeltävänä yönä sumua, ei sadetta</i>	
<i>Valaistusolosuhteet</i>	<i>Kirkas päivänvalo</i>	

Tapahtumakuvaus

Kauppakeskuksessa oli tavanomainen lauantaipäivä, jolloin kauppakeskuksen oli määrä sulkeutua kello 18. Lehtitiedon mukaan kello 16.18 kauppakeskuksen pääkäytävän lasikatosta putosi yhden umpiolasielementin sisin lasi palasina alas. Kyseisessä kohdassa istui penkillä kaksi henkilöä, joista toiselle tuli otsaan naarmuja ja toisen nahkatakin selkäosaan tuli jälkiä. Putoamiskorkeus oli noin 12 metriä.

Lattialle putosi ainoastaan lasia, kaikki muut osat jäivät paikoilleen. Kyseessä oli lämpökarkaistu lasi joka on vahinkotilanteessa melko turvallista. Lasi joko rikkoutui pieniksi murusiksi jo ylhäällä tai viimeistään osuessaan johonkin alhaalla. Pahoja vammoja mahdollisesti aiheuttavia teräviä ja suuria lasinkappaleita ei syntynyt. Uloin lasi jäi paikoilleen, joten välitöntä korjaustarvetta ei ollut lukuun ottamatta reunoille jääneiden lasinpalojen irrottamista.

Tapahtumapaikalle tuli nopeasti vartijat ja muita kauppakeskuksen asiakkaita. Paria tuntia myöhemmin tapahtumasta tehtiin ilmoitus myös hätäkeskukseen, joka hälytytti paikalle Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen päivystävän palomestarin ja yhden pelastusyksikön. Tapahtumaa selvittämään saapuivat seuraavina päivinä myös pelastuslaitoksen riskienhallintapäällikkö, johtava palotarkastaja sekä Vantaan rakennusvalvontaviranomaiset.

Onnettomuustutkintakeskuksen päivystäjä sai pelastuslaitokselta tiedon tapahtuneesta. Seuraavalla viikolla tapahtuman selvittämisen järjestelyistä sovittiin kauppakeskuksessa järjestetyssä tapaamisessa, jossa oli paikalla mainitut viranomaiset ja kiinteistön omistajan edustaja. Kiinteistön omistaja teetti rakennusalan insinööritoimistolla vaurioselvityksen, jonka tavoitteena oli arvioida valokaton tilanne vaurioalueen läheisyydessä ja mahdollinen vaurion syy.

Kauppakeskuksen pääkäytävän katossa on länteen viettävä pulpettilasikatto, jonka kaltevuus on 22,6°. Kyseisen katon osan leveys on 14,4 m ja pituus 85 m. Katto on jaettu liikuntasaumalla kahteen osaan, joiden pituudet ovat 44,5 m ja 40,5 m. Katon pääkannattajina on HI-palkkeihin tukeutuvat 15,6 m pituiset teräsristikot, joita on 4,05 metrin välein. Teräsristikoihin on kiinnitetty pulptiliitoksilla teräksiset sekundääriorret, joiden päälle on asennettu lasia kannattava alumiiniprofiilirakenne. Katossa vaikuttavia vaakasuuntaisia voimia varten rakenteessa on lisäksi ristikoiden yläpaarteisiin hitsattu vaakaristikko. Vaurio ei tapahtunut katon liikuntasauaman tai vaakasuuntaisen jäykistysristikon tuntumassa.

Lasit ovat 2 m² kokoisia umpiolasielementtejä mittojen ollessa 1 m x 2 m. Elementin molemmat lasit ovat lämpökarkaistua lasia. Uloin lasi on 8 mm paksuista massavärjättyä vihreää auringon lämpösäteilyn läpäisyä estävää antisun-lasia ja sisin lasi 6 mm paksuista kirkasta lasia. Uloimman ja sisimmän lasin väli on 12 mm. Lasit on asennettu alumiinirakenteeseen asennuskumien päälle, tiivistetty butyylinauhalla ja kiinnitetty alumiinisillä lasilistoin ja kateruuvein. Lasielementin asennuksessa oli käytetty muovisia lasikiiloja, jotka olivat oikeilla paikoilla lasin alareunassa.

Analyyysi

Insinööritoimiston selvityksen mukaan lasi- ja alumiinirakenteet on toteutettu hyvien asennustapojen mukaisesti ja ne on asennettu ammattitaitoisesti. Teräsrakenteen lujuudet ja jäykkyudet pystykuormille ovat selvityksen mukaan riittävät ja rakenteet oli tehty ja toteutettu pääosin hyvien asennustapojen mukaisesti. Puutteita havaittiin kuitenkin liikuntasaumassa, jossa sekundäärikannattajat olivat kiinni tai lähes kiinni toisissaan. Siten rakenteiden lämpölaajeneminen liikuntasauaman suuntaan estyy. Lisäksi puutteita oli kattoa jäykistävän vaakaristikon liittymisessä sekundääriorsiin, mikä aiheuttaa sen, että vaakakuormat eivät todellisuudessa välity jäykistysristikolle vaan jakautuvat pääkannattajaristikoiden kannettavaksi. Etenkin vaakaristikon toimimattomuus tulisi selvityksen mukaan korjata tulevien ongelmien välttämiseksi.

Mainituilla puutteilla ei kuitenkaan ollut vaikutusta lasin vaurioitumiseen, sillä lasiin ei niistä ja aurinkoisesta metallirakenteiden lämpölaajenemista aiheuttavasta päivästä huolimatta todennäköisesti kohdistunut ylimääräisiä kuormituksia. Lasielementin ympärillä oli asianmukaiset 4–7 mm asennusvälykset ja lasia kantavien alumiinirakenteiden etäisyydet olivat suunnitelmien mukaiset. Lasin ja alumiinirakenteiden välissä ei havaittu epäpuhtauksia tai vieraita esineitä. Tiivistet ja lasituslistat olivat kunnossa. Lasin reunasaumauksessa tai uloimman lasin reunassa ei havaittu poikkeamia. Siten lasiin reunaan ei näyttäisi kohdistuneen ylimääräisiä voimia, jotka olisivat voineet aiheuttaa lasin rikkoutumisen.

Yksi mahdollinen rikkoutumisen syy voisi olla lasin sisäpintaan kohdistunut isku. Lasi oli noin 12 metrin korkeudessa ja hankalasti saavutettavassa paikassa. Ei ole todennäköistä, että lasin sisäpintaan olisi tarkoituksellisesti tai vahingossa lentänyt mitään esineitä. Tapahtumapaikalta ei ole myöskään kerrottu löytyneen mitään ylimääräistä. Rakennuksen sisällä on tosin havaittu toisinaan pieniä lintuja, joista joku on voinut törmätä lasiin. Linnun törmääminen ei kuitenkaan aiheuta lasin rikkoontumista, jos lasi on kunnossa.

Yhtenä epätodennäköisenä vaihtoehtona insinööritoimiston selvityksessä mainitaan lasilevyn valmistuksenaikaisessa paloittelussa, karkaisussa, jatkojalostuksessa tai asennuksessa tapahtunut reunalohkeama. Jos näin olisi, lasi olisi oletettavasti rikkoutunut jo aikaisemmin. Tietävästi lasia ei ole kauppakeskuksen rakentamisen jälkeen uusittu, joten se muun muassa kesti vuonna 2002 kauppakeskuksessa tapahtuneen pommiträjähdysten, kuten kestivät myös muut kyseisen kohdan lasit. Lasivaurioita on samasta kauppakeskuksesta tiedossa samalla alueella kaksi. Toinen tapahtui vuonna 1998 tai 1999 ja toinen suurin piirtein vuonna 2005. Ensimmäisessä tapauksessa rikkoutui sisin lasi ja toisessa tapauksessa uloin lasi.

Koska muut ajateltavissa olevat syyt voidaan kohtuullisella todennäköisellä sulkea pois, todennäköisimmäksi lasivaurion syyksi jää lämpökarkaistussa lasissa ollut materiaaliveike ja lasialalla yleisesti tiedossa oleva nikkelisulfidikeeseen liittyvä ongelma.

Lasin lämpökarkaisu tehdään siten, että valmiiksi työstettyä lasia lämmitetään noin 650 °C:een, jolloin lasi pehmenee ja jännitykset poistuvat. Lasi jäähdytetään sen jälkeen nopeasti ilmapuhalluksella, jolloin lasin ensin jäähtyvään pintaosaan jää puristusjännitys ja keskiosa vetojännitys. Näin lasiin saadaan moninkertaisesti lisää lujuutta monia erilaisia kuormituksia vastaan. Lisäksi lasista tulee turvallinen, kun se rikkoutuu pieniksi murusiksi terävien sirpaleiden sijaan.

Lasiin jää raaka-aineiden ja prosessin puhtaudesta riippuen epäpuhtauksia eli sulkeumia, joista suurin osa on harmittomia aiheuttaen korkeintaan visuaalisen haitan. Metalliseoksia sisältävissä epäpuhtauksissa voi olla

nikkeliä, joka voi karkaisussa käytetyn lämmön vaikutuksesta reagoida lasissa olevan rikin kanssa muodostaen nikkelisulfidikiteen. Tapahtuma on hyvin satunnainen ja sen todennäköisyys vaihtelee valmistuserittäin. Nikkelisulfidikide ei ole kiteen muodostumisen jälkeen stabiili vaan kiteen tilavuus voi muuttua faasimuutoksen vuoksi ajan kuluessa ja lämmön vaikutuksesta. Tilavuuden muutoksen on arvioitu lähteen 8 mukaan olevan 2,4–4 %, joka voi riittää aikaansaamaan alkusärön ja edelleen koko lasin rikkoutumisen. Nikkelisulfidikiteen tulee olla lasin vetojännitetyssä kerroksessa ja halkaisijaltaan suuruusluokkaa 0,1 mm.

Nikkelisulfidikiteen aiheuttaman vaurion ajankohtaan vaikuttavat sulkeumassa olevat muut epäpuhtaudet, sulkeuman sijoittuminen lasissa, lasissa olevien jännitysten suuruus, sulkeuman koko, lämpötila, ulkoiset kuormat ja lasin koko. Eri lähteiden mukaan kiteen aiheuttamia vaurioita tiedetään tapahtuneen jopa vasta 20 vuotta lasin valmistamisen jälkeen.

Vaurioajankohtaan on tässä tapauksessa voinut vaikuttaa se, että aurinko paistoi lämpimästi ja lasi oli paikassa, johon iltapäivän aurinko pääsi paistamaan esteettä. Asiaan vaikutti luultavasti myös ajan kulumisen. Lasi kesti vuoden 2002 räjähdysten, mutta nyt vuonna 2007 sulfidikiteen muutokset olivat mahdollisesti edenneet niin pitkälle, että lasiin syntyi alkusärö ja lopullinen vaurio.

Nikkelisulfidikiteen jääminen asiakkaalle toimitettavaan lopputuotteeseen saadaan estettyä heat soak -kokeella, jossa lämpökarkaistu lasi lämmitetään noin 280 °C:een parin tunnin ajaksi. Lämpö kiihdyttää nikkelisulfidikiteen tilavuuden muuttumista ja lasit, joihin on jäänyt vaurion aiheuttava kide, rikkoutuu todennäköisesti kokeessa. Koe voidaan tehdä otoksena tietyistä tuotantoerästä tai kaikille tuotetuille lasille. Koetta ei kovin yleisesti käytännössä nykyäänkään tehdä lähinnä sen aiheuttaman lisähinnan vuoksi. Tässä tapauksessa vaurioituneiden lasien alkuperä ei ole selvillä, mutta rakennusajankohta huomioiden on todennäköistä, että koetta ei ole kyseisille lasille tehty. Lasit toimitti kauppakeskukseen kotimainen lasialan yritys, mutta lasit voivat olla peräisin muualta.

Nikkelisulfidisulkeumiin liittyvä rikkoutumisongelma on ollut lasialalla tiedossa jo 1960-luvulta ja siitä on nykyisin saatavissa paljon tietoa esimerkiksi internetistä. Koska heat soak -testiä ei hinnan vuoksi kaikille lasille haluta tehdä, lämpökarkaistujen lasien käyttöä on viime vuosina vältetty niissä paikoissa, joissa rikkoutumisesta voisi aiheutua haittaa. Vuonna 1986 on Suomessa julkaistu tarvikekortti RT X(31)-32284, jossa suositellaan laminoidun lasin käyttöä alimpana lasina eristyslaselementeissä. Kyseinen tarvikekortti oli ollut kauppakeskuksen rakentamisorganisaation tiedossa, sillä siihen oli viittaus suunnitelmien lasikattoja koskevassa rakennusselostuksessa. Kuten 1990-luvun puoliväliin asti vielä tehtiin, kauppakeskuksessa oli kuitenkin päädytty rakenteeseen, jossa eristyslasiin molemmat lasit olivat lämpökarkaistua lasia.

Laminoidun lasin käyttö sisimpänä lasina on nyttemmin vakiintunut käytännöksi ja näin on myös ohjeistettu esimerkiksi Suomen rakennusinsinöörien liiton ohjeessa *RIL 198-2001, Valoaläpäisevät rakenteet*. Tarkoituksena on juuri selvitetynkaltaisten vaurioiden estäminen siten, että syystä tai toisesta rikkoutuvan uloimman karkaistun lasin muruset jäisivät turvallisesti laminoidun lasin päälle. Uloimmaksi lasiksi tarvitaan yleensä karkaistu lasi, koska siltä vaaditaan muun muassa hyvää lumikuormien ja lämmönvaihteluiden kestokykyä.

Laminoitu lasi valmistetaan pääsääntöisesti karkaisemattomasta lasista, jolloin nikkelisulfidisulkeumia ei synny. Muista syistä rikkoutuessaan laminoitu lasi käyttäytyy turvallisesti, koska kahden lasin väliin laminoitu pvb-kalvo (polyvinyylibutyyraali) pitää sirpaleet paikoillaan ja lasi pysyy asennusaukossaan samaan tapaan kuin autojen tuulilasit. Tarpeen mukaan voidaan käyttää laminoitua karkaistua lasia, mutta hinta on kalliimpi. Lisäksi kaikkein ohuimpia laseja ei voida karkaista, jolloin laminoinnin tuloksena saatavat lasit voivat olla tarpeettoman paksuja.

Pelastusallalla on ollut huolta siitä, että laminoiduista laseista saattaa tulipalotilanteessa laminointikalvon tuhoutuessa irrota isohkoja sirpaleita aiheuttaen vaaraa pelastajille. Tämä näkökohta on ollut lasien valintaa ohjaavaa ohjeistusta laadittaessa tiedossa, mutta Suomessa kuten myös ulkomailla on kuitenkin ilmeisesti kokonaisuutta ajatellen päädytty ohjeistamaan laminoidun lasin käyttö kattorakenteiden sisimpänä lasina.

Syyanalyysi

Kyseinen karkaistu lasi rikkoutui todennäköisimmin sen seurauksena, että siihen oli jäänyt valmistusprosessissa nikkelisulfidikide, joka on lasialalla tunnettu karkaisuprosessin yhteydessä syntyvä ongelma. Nikkelisulfidikide voi olla epästabiili ja se voi muuttaa tilavuuttaan ajan ja lämmön vaikutuksesta. Kun tilavuus muuttuu, lasiin voi syntyä alkusärö ja se voi rikkoutua kokonaan. Nikkelisulfidikiteen

olemassaolo olisi erään lasivalmistajan tutkimusten perusteella mahdollista todeta lasin jäännöksistä, mutta se vaatisi tuhansien lasimurusten tutkimista pyyhkäisyelektronimikroskoopin ja röntgenmikroanalyyysin avulla. Toisaalta vaurioituneen lasin jäännökset eivät ole tallessa vaan ne siivottiin melko pian roskiin.

Tähän todennäköisimpään syyhyn päädyttiin poissulkevalla menetelmällä. Lasiin kohdistunut ulkopuolinen isku on epätodennäköinen. Lasin reunaan ei ole kohdistunut ylimääräisiä kuormia, sillä lasin asennusvälykset olivat kunnossa eikä väleissä ollut epäpuhtauksia. Kyseessä oli kevään ensimmäisiä aurinkoisia päiviä, mutta metallirakenteiden lämpölaajenemiset eivät ole voineet olla niin suuria, että asennusvälykset eivät olisi riittäneet. Auringon säteilylämpö edes osittain lasiin osuvana ei voi aiheuttaa lasiin niin suuria sisäisiä jännityksiä, että moitteeton lämpökarkaistu lasi vaurioituisi. Jopa mahdollisen maanjäristyksen ja läheisen junaliikenteen aiheuttavan värinän vaikutusta pohdittiin, mutta maanjäristystä ei vaurion aikaan tai juuri ennen sitä ollut eikä junaliikenteenkään värinät todennäköisesti ulotu voimakkaina ainakaan kyseiseen kohtaan.

Tutkijan ehdotus toimenpiteiksi

Tämänkaltaisten lasien rikkoutumiseen ei liity suuren onnettomuuden vaaraa, sillä lasi putoaa pieninä muruina tai rikkoutuu herkästi muruiksi viimeistään osuessaan johonkin. Yksittäisille ihmisille voi kuitenkin syntyä esimerkiksi kasvo- ja silmävammoja. Lasista kuuluu rikkoutumisen yhteydessä pamaus, mikä saattaa aiheuttaa sen, että alla olevat henkilöt kääntävät katseensa putoavia lasimurusia kohti. Lisäksi suuren ja paksun lasin ollessa kyseessä, yhtenäisinä joukkoina putoavat lasinmurut voivat aiheuttaa myös vammoja aiheuttavia iskuja.

Kuten vaurioon perehtyneen insinööritoimiston selvityksessä todetaan, tämänkaltaisten lasivaurioiden mahdollisuus voidaan vanhoista rakennuksista poistaa järkevimmin asentamalla tiheät suojaverkot estämään lasimurujen putoaminen asiakkaiden päälle. Verkkomateriaaliksi on mainittu nailon. Näin on toimittu ainakin joissakin kauppakeskuksissa ja toimistorakennuksissa.

Ulkomaisten lähteiden mukaan on myös käytetty muovikalvon liimaamista lasin alapintaan, mikä ei kuitenkaan tunnu mielekkäältä ratkaisulta. Muovikalvon tulisi tällöin kiinnittyä kehysrakenteeseen hyvin lujasti, jotta kalvo pystyisi kannattamaan koko lasin painon.

Lasit voitaisiin myös vaihtaa nykyohjeita vastaaviksi, mutta kustannukset olisivat mittavat. Kallista, aikaa vievää ja mahdollisesti epävarmaa olisi myös nikkelisulfidikiteiden etsiminen lasista, jota varten on ulkomailla tosin kehitelty menetelmiä.

Mahdollisia verkkoja tai muita korjaustoimenpiteitä harkittaessa tulee pohdittavaksi lasien rikkoutumisen todennäköisyys ja siitä mahdollisesti aiheutuvat henkilö- ja muut vahingot. Lasien rikkoutuminen on melko harvinaista eikä rikkoutumisen voida ajatella johtavan erityisen suureen onnettomuuteen. Eräissä lähteissä on arvioitu, että yksi nikkelisulfidikide voisi muodostua 8–18 tonnia raakalasia kohden. Tämä tarkoittaisi 6 mm lasilla sitä, että kiteitä syntyisi suuruusluokkaa yksi 600–1200 m² valmista lasia kohden. Kun asia on nyt paremmin tiedossa kuin aikanaan, tulee tietysti huolehtia siitä, että vastaavia rikkoutumisen ja mahdollisesti henkilövahinkojen vaaraa ei enää jää uusiin rakennuksiin.

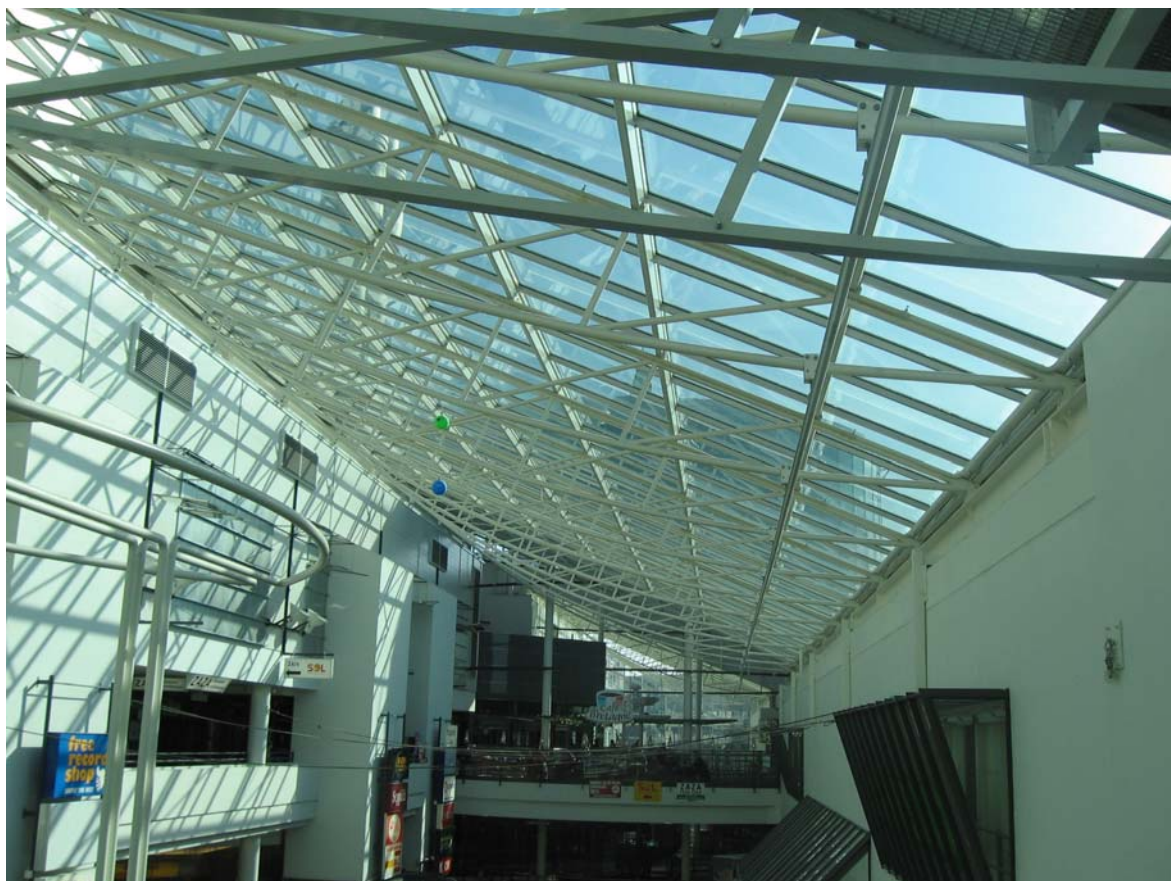
Lähteet

1. Kattoikkunan vaurioselvitys, Pöysälä & Sandberg Oy:n tekemä, 24.5.2007
2. RT tarvikekortti RT X(31)-32284, Lasikatot, Periaatteet, lasipaksuuden mitoitus, Eristyslasiyhdistys, elokuu 1986
3. RIL 198-2001, Valoaläpäisevät rakenteet, Rakennusinsinöörien liitto, kesäkuu 2001
4. Turva- ja suojalaseja koskeva ohjeistus, Suomen tasolasiyhdistys, 19.8.2003
5. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa F2, kohta 3.2 Lasirakenteet, ympäristöministeriö, 1.3.2001
6. Itä- ja Keski-Uudenmaan hätäkeskuksen hälytysseleste ja Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen onnettomuusseleste
7. The Achille Heel of a Wonderful Material: Toughened Glass (www.glassonweb.com/articles/article/330)
8. EHJ Environtal Health Journal, Glass failure, the unacceptable risk, July 2002 (www.ehj-online.com/archive/2000/july2002/july1.html)

Kuvaliite (kuvat: Onnettomuustutkintakeskus)



Kuva 1. Pääsisäänkäynti kauppakeskuksen ulkopuolelta kuvattuna. Pääkäytävän lasinen pulpettikatto näkyy kuvan yläosassa.



Kuva 2. Pääkäytävän katon rakenteet sisältä kuvattuna. Vaurio tapahtui kuvauspaikan ja taustalla näkyvän kävelytasanteen keskivaiheilla.



Kuva 3. Vauriokohta suoraan alhaaltapäin kuvattuna. Rikkoutunut lasielementti, josta puuttuu sisin lasi, erottuu lähes kuvan keskellä muita vaaleampana ruutuna. Vaurion yhteydessä ruudun reunoille jäi jonkin verran lasia, mutta se on poistettu jo ennen kuvan ottamista.