



## Suppilovaunun rakenteiden sortuminen ja vaunun kaatuminen Mäntyluodossa 11.12.2008

---

### Tapahtumatiedot

<i>Tapahtuma-aika</i>	<i>11.12.2008 ennen klo 21.30</i>
<i>Tapahtumapaikka</i>	<i>Porin satama</i>
<i>Tapahtuman luonne</i>	<i>Lastauslaitteen koeajo (Conico 322 kuljetinjärjestelmä)</i>
<i>Asianosaiset</i>	<i>Porin satamalaitos, Toimittaja, Rakennesuunnittelija (rakenteiden lujuuslaskenta), muita alihankkijoita.</i>
<i>Seuraukset tai vahingot</i>	<i>Lastauslaitteen vaurioituminen ja sen rakenteiden sortuminen</i>
<i>Säätila</i>	<i>ei tiedossa</i>
<i>Valaistusolosuhteet</i>	<i>ilta (keinovalaistus)</i>
<i>Muut vaikuttaneet tekijät</i>	<i>Laite oli tapahtuma-aikaan kytkettynä satamanosturiin. Suppilo oli sortumisen aikaan täynnä laivasta purettua rikastetta, jota ritilän päällä oli noin 600–700 mm.</i>

---

### Tapahtumien kulku

Malmirikasteiden purkaukseen käytettävä teräsrakenteinen suppilovaunu romahti kasaan koekäytön yhteydessä Porin Mäntyluodon satamassa 11.12.2008 klo 21.20. Vauriohetkellä nosturi oli lastaamassa kahmarilla nikkeliirikastetta suppilovaunuun. Vaurio tapahtui, kun kahmarista pudotettiin rikastetta noin 2,5–3,5 metrin korkeudelta suppilovaunun päällä olevalle ritilälle. Henkilövahingoilta vältyttiin, koska työntekijät olivat poistuneet paikalta noin tuntia aikaisemmin.

Suppilovaunun kantavan rungon kannatuspalkit taittuivat keskeltä v-muotoisiksi ja kiertyivät akselinsa ympäri (kuva 1). Rakenteen vaakapalkeista jalkoihin ulottuneet diagonaalisauvat irtosivat. Osa tukipalkkien laippaliitosten pulteista katkesi ja vinotukien yläpäästä repesivät irti hitsauksistaan. Suppilovaunun tukirakenteisiin syntyi erilaisia vaurioita ja repeämisiä.

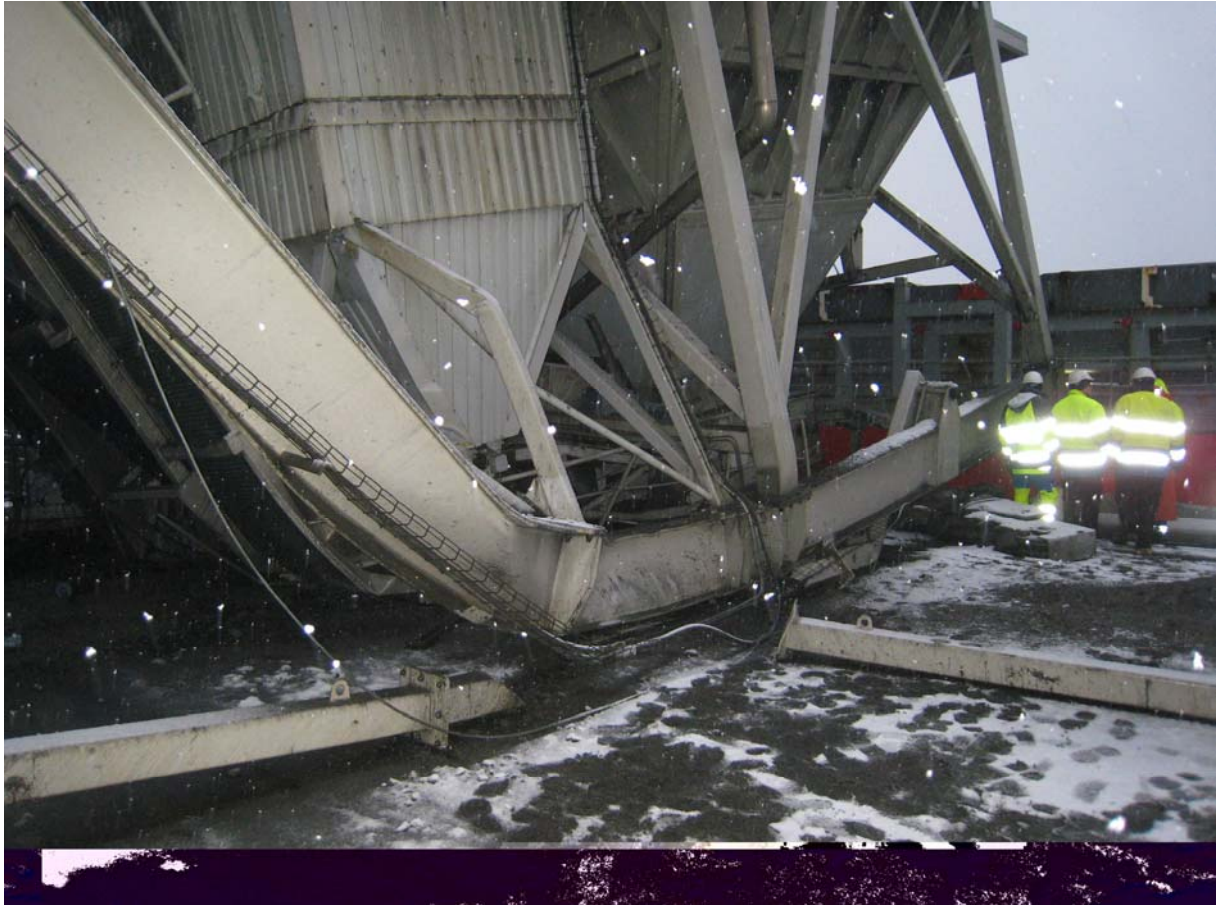
Suppilovaunu oli tapahtuman aikaan kytkettynä nosturiin. Nosturin ja suppilovaunun väliset aisat katkaistiin tapahtuman jälkeen polttoleikkaamalla, jotta satamanosturi pääsi jatkamaan laivan purkamista. Nosturin ohjaamoon ei tullut vaurion yhteydessä hälytyksiä.

---

### Onnettomuuden taustatiedot

Romahtanut lastauslaite eli suppilovaunu on koneikko, joka koostui lastaussuppilosta, pölynpoistoyksiköstä, kuljettimesta, kulkusilloista, ohjauskaapista ja rakennetta kannattelevasta teräsrakenteesta. Kulmapystysauvojen alla oli pyörät, joiden avulla laitetta liikuteltiin satamanosturin kiskoilla. Laite oli koekäytön aikana kiinnitettynä aisalla satamanosturiin, joka liikutteli suppilovaunua tarpeen mukaan.

Toimittaja ja alihankkijat olivat tehneet suppilovaunusta rakennesuunnitelmat, jotka sisälsivät lujuustarkastelun, rakennepiirustukset ja riskiarvion. Riskiarvio oli toimitettu satamalaitokselle jo aiemmin ja sieltä edelleen ulkopuoliselle tarkastajalle, jonka edustaja oli ollut kahdesti tekemässä ennakkotarkastuksia testattavalle kuljetinjärjestelmälle. Rakenteista toimitetuissa piirustuksissa ei ole tarkastajan tai hyväksyjän allekirjoituksia.



*Kuva 1. Suppilovaunun romahdus Porin satamassa 11.12.2008.*

Työsuojelupiiri päätti onnettomuuden jälkeen tarkastuttaa suppilovaunun rakenteiden suunnitelmat ja tehtävä annettiin ulkopuoliselle kolmannelle osapuolelle. Lujuuslaskelmissa todettiin rakenteessa kohtia, joissa jännitykset ylittävät sallitut arvot, minkä takia laskelmat lähetettiin edelleen tarkastettavaksi ulkopuolisen tarkastajan alihankkijalle. Myös rakennesuunnittelija teki kyselyjen perusteella rakenteelle uusia lujuustarkasteluja.

Neljä päivää onnettomuuden jälkeen tehdyssä yhteisessä tarkastuksessa todettiin, että laite oli kaatunut etelän suuntaan, koska ilmeisesti laitteita kannatteleva IPE-palkki oli kiepahtanut. Tarkastuksesta tehdyn raportin mukaan edelleen vinotukien laippaliitoksen pultit olivat katkenneet ja vinotukien kiinnitysosat olivat repeytyneet. Toimittajan oma konsultti tutki tapahtuman jälkeen teräsrakenteen palkkien kestävyysä ja totesi palkkien taivutusmomentin ylittävän palkille lasketun puhtaan taivutusmomenttikestävyden. Näissä laskelmissa ei otettu huomioon palkkien kiepahdusta.

Rakenteiden sortuminen voi minkä tahansa ensimmäisen vaurion jälkeen tapahtua eri tavoilla, koska kuormat pyrkivät paikallisen vaurion tapahduttua jakautumaan uudelleen. Kun kuormitukset rakenteen muissa osissa lisääntyvät, ne saattavat joutua kantamaan enemmän kuormaa, kuin mille ne on alun perin suunniteltu. Seurauksena voi olla jatkuva sortuma. Nykyaikaisten teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan mitoitettut rakenteet sietävät paikallisia vaurioita.

---

## **Analyysi**

Suppilovaunun suunnittelussa, rakennesuunnitelmissa ja rakenteiden valmistuksessa on havaittu puutteita, joiden takia rakennevaurio olisi maksimikuormilla ollut erittäin todennäköinen. Yleensä rakenteiden sortumaan tarvitaan usean tekijän yhteisvaikutus, jonka mahdollistavia tekijöitä oli tässä tapauksessa useita.

Seuraavassa on luetteloitu satunnaisessa järjestyksessä tekijöitä, joiden vuoksi riski rakenteen sortumiselle on ollut merkittävä:

- Suppilon, kuljettimen ja kantavan teräsrakenteen rakenneanalyysit on tehty osin erillisinä, jolloin esimerkiksi suppilosta kantaville rakenteille aiheutuvia rasituksia ja tuentavoimia ei ole otettu täysimääräisesti huomioon kummankaan laitteen osan mitoituksessa.
- Kannatinrakenteen jännitystarkasteluissa on laskelmissa hyväksytty paikallisina häiriöinä olennaisesti sallittua jännitystä suurempia vertailuarvoja, vaikka tekstissä on todettu sallituksi jännitykseksi 2/3 materiaalin S355 myötörajan, mikä on noin 235 N/mm<sup>2</sup>.  
Teräsmateriaalin jännitys ei käytännössä voi ylittää materiaalin todellista, aineodistuksessa esitettyä myötörajaa. Lineaarisilla menetelmillä analysoitaessa rakenteen kohdan laskennallinen jännitys saattaa ylittää myötörajan, mutta käytännössä se merkitsee, että rakenteeseen syntyy palautumaton muodonmuutos, ja rakenteen muut osat joutuvat kantamaan sen kuormaosuuden, joka vastaa kyseisen kohdan myötörajan ylitystä.
- Kantavan teräsrakenteen kestävyyslaskelmat eivät olleet teräsrakenteiden suunnitteluohjeen tai tilaajan vaatimusten mukaiset. Laskelmissa ei ollut selvitetty kestävyyskriteerejä paikallisten stabiliteetti-ilmiöiden varalta. Suunnitteluohjeen mainitsemat stabiliteettitarkistukset ovat muun muassa puristetun sauvan nurjahdus, palkin kiepahdus, uumalevyn lommahdus, pistevuonokestävyys tuella tai kuorman kohdalla ja palkin jäykisteen nurjahdus.
- Palkkien laskennallisten sivusiirtymien suuruudeksi oli suunnitelmissa todettu max. 18 mm, mutta niiden vaikutuksia palkkien tai rakenteen stabiliteettiin tai rakenteen vakavuuteen ei ollut erikseen selvitetty.
- Riskianalyyseissä ei ole tunnistettu kantavaan rakenteeseen liittyviä vaaroja, kuten esimerkiksi tuentaolettamuksiin liittyviä vaaroja. Rakenteesta kiskoa vasten aiheutuvan sivuttaisvoiman osalta ei ollut selvitetty, antavatko kiskot tosiasiallisesti rakenteelle suunniteltua sivuttaisvoimaa. Suurin sallittu kiskoihin vaikuttava sivuttaiskuormitus on mahdollisesti ollut sellainen, ettei sivutuuntaa olisi saanut ottaa rakenteiden suunnittelussa huomioon.
- Kantavan rakenteen ruuvi- tai hitsausliitoksista ei ole kestävyyslaskelmia. Esimerkiksi seinämän paksuudeltaan 8 mm diagonaalisauvan päiden liitoksissa on pienahitsin a-mitaksi merkitty piirustuksiin vain 5 mm, jolloin hitsausliitoksen kestävyys on vain noin 5/8 sauvan kestävydestä. Olennaisesti ainepaksuutta pienemmän hitsin valmistuksessa tarvitaan normaalista poikkeavia hitsausohjeita. Rakenteiden hitsausliitoksista ei ole laadittu teräsrakenteiden suunnitteluohjeen mukaista hitsausohjetta (WPS, welding process specification).
- Rakenteiden hitseissä on vaurioituneista kohdista otettujen kuvien perusteella epäiltävissä vajaa hitsautumissyvyys juuressa tai liitosvirhe railon kyljessä. Kuvissa näkyy hitsin olematon tunkeuma ja perusaineen vähäinen sulaminen.
- Laitteesta oli tehty alustava riskianalyysi, jossa ei kuitenkaan ole selvitetty tai laskettu riskilukua analyysikaavakkeen ohjeen mukaisesti. Alustavaan arvioon kirjattuja riskien siedettävyyttä koskevia kommentteja ei ole perusteltu.
- Riskianalyyseissä ei ollut käsitelty kantavan teräsrakenteen vaurioitumis- tai sortumisriskejä eikä rakenteen mahdollisesta kaatumisesta aiheutuvia välillisiä vaaroja konedirektiivin edellyttämällä tavalla. Konedirektiivi standardineen koskee sellaisia koneita, jotka toimiakseen tulee asentaa osaksi rakennusta tai rakennetta. Myös vanhempi vielä voimassa oleva konedirektiivi koskee tällaisia koneikkoja.
- Terästukirakenteen mitoituksessa ei ole otettu huomioon lastaustilanteen dynaamisia kuormituksia, kuten esimerkiksi lastin pudottamista kahmarista tai vaunun liikkumisesta aiheutuvia kiihtyvyyksiä tai kuljettimesta aiheutuvia sivuttaisia voimia.

Tässä tutkinnassa ei oteta kantaa siihen, mikä rakenteen osa vaurioitui ensimmäisenä, ja mikä oli tapahtumien järjestys. Mainitut useat puutteet ja seikat osoittavat, että todennäköisyys rakenteen sortumiselle on selvästi ollut koholla verrattuna siihen, jos rakenteet olisi suunniteltu ja valmistettu huolellisesti voimassa olevien ohjeiden mukaisesti.

Työsuojeluhallinnon ohjeessa ”Työsuojeluoppaita ja -ohjeita 16” vuodelta 2008 on tehty yhteenveto vuonna 2006 hyväksytyin konedirektiivin säädöksistä. Niiden mukaan valmistajan tekemästä riskianalyyseistä riippuu, mitä muita kuin konedirektiivin alaisia säädöksiä on tarpeen soveltaa kyseessä

olevan tyyppisten koneiden suunnittelussa. Useimmiten sovellettavaksi voi tulla esimerkiksi jokin seuraavista säännöksistä:

- kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiden turvallisuudesta (1694/1993) (*pienjännitedirektiivi*)
- valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (1466/2007) (*EMC-direktiivi*)
- valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta (576/2003) (*ATEX-direktiivi*)
- painelaitelaki (869/1999) (*paineastiadirektiivi*)
- kaasulaiteasetus (1434/1993) (*kaasulaitedirektiivi*)
- ajoneuvoja koskevat säännökset (*ajoneuvodirektiivit*)
- rakennustuotteita koskevat säännökset (*rakennustuotedirektiivi*).

Vaurioituneen laitteiston suunnitteluvaatimuksissa on mainittu standardi SFS-EN ISO 12100, osat 1 ja 2, missä osan 1 liitteessä ZB on esitetty: ”Varoitus: Tämän standardin soveltamisalaan kuuluvia tuotteita saattavat koskea myös muut vaatimukset tai muut EY:n direktiivit.”

On huomattava, että konedirektiivi ja muut edellä mainitut direktiivit eivät ole toisensa poissulkevia vaan toisiaan täydentäviä.

---

## Johtopäätökset

Havaittujen puutteiden perusteella voidaan tehdä kolme merkittävää johtopäätöstä, jotka tulisi tulevaisuudessa ottaa huomioon tämänkaltaisia laitteita suunniteltaessa ja toteutettaessa.

1. Konedirektiivin (sekä vanhan että uuden) mukaan koneeksi luokitellaan sellaiset laitteet ja koneikot, jotka toimiakseen pitää asentaa osaksi rakennusta tai rakennetta. Mikäli laitesuunnittelija toimittaa laitetta tai koneikkoa kannattelevat teräsrakenteet, ne ovat koneen osa.
2. Koska konedirektiivi ei käsittele teräsrakenteiden suunnittelua, tulee riskianalyysin perusteella havaitut kyseisiä tukirakenteita koskevat vaarat käsitellä niitä koskevissa direktiiveissä esitetyillä menettelyillä. Tällaisissa tapauksissa kantavan teräsrakenteen suunnittelu pitää tehdä ohjeen Eurocode 3 (osineen) tai vastaavan suomalaisen ohjeen B7 mukaisesti.
3. Kantavan rakenteen suunnittelussa havaitut virheet johtuvat sekä puutteellisesti tehdystä riskianalyysistä että kantavien teräsrakenteiden rakennesuunnittelun ja lujuuslaskennan puutteista ja virheistä. Koneen markkinoille saattajan tulee huolehtia siitä, että koneikon eri osien suunnittelijoilla on asianmukaiset pätevyudet. Teräsrakenteiden pätevien suunnittelijoiden rekisteriä ylläpitää FISE Oy ([www.fise.fi](http://www.fise.fi)).

Alan riskianalyysipalveluja toimittavien tulee riittävästi sisäistää mahdollisten muiden kuin konedirektiivin esittämien vaaratekijöiden olemassaolo. Koneiden tukirakenteita suunnittelevilta tulee vaatia riittävästä pätevyystä samaan tapaan kuin rakennustuotedirektiivin mukaan toimittaessa. Toimittajan tulee laatia riskianalyysi standardien ja direktiivien rajausten mukaisesti ja valita alihankkijat, joiden pätevyudet vastaavat standardeissa esitettyjä vaatimuksia, tai huolehtia suunnitelmien tarkastuksesta.

---

## Toteutetut toimenpiteet

Vastaavanlaisten onnettomuuksien välttämiseksi ei toistaiseksi ole toteutettu toimenpiteitä. Eri tahojen toimenpiteet ovat keskittyneet tapahtuneen selvittämiseen. Mahdolliset tulevat lisäselvitykset eivät muuta edellä esitettyä puutelistaa, joka osoittaa merkittävimmät suunnitteluun ja valmistamiseen liittyvät poikkeamat.

---

## Tutkijan toimenpide-ehdotukset

Vastaavien onnettomuustapausten välttämiseksi kone- ja laitesuunnittelun osalta tulisi selvittää konedirektiivin artiklojen 2 ja 5 sisältöä ja tulkintaa. Artikla 2 koskee muun muassa ”koneen” määrit-

telyä ja siten konedirektiivin soveltamisalaa. Artikla 5 puolestaan esittää markkinoille saattamisen ja käyttöönnotossa noudatettavat vaatimukset. Lisäksi tulisi kehittää koneensuunnittelua Suomessa.

Ehdotettuja toimenpiteitä ovat:

- Konesuunnittelussa pakollista riskianalyysimenettelyä tulisi kehittää niin, että analyysissä osattaisiin ottaa huomioon muutkin vaaratekijät kuin pelkästään konedirektiivin alaisissa erillisstandardeissa mainitut vaaraa aiheuttavat seikat.
- Erityisesti konedirektiivin mukaisten koneiden, jotka toimiakseen pitää asentaa rakennuksiin tai rakenteisiin, osalta tulee osata jatkossa ottaa huomioon erilaiset rakenteiden kestävyysiin liittyvät rakennustuotedirektiivin alaiset ohjeet. Esimerkki on teräsrakenteiden suunnitteluohje EC3 keskeisine osineen, joka täydentää konedirektiivin alaisten koneikkojen mahdollisiin kantaviin teräsrakenteisiin tai esimerkiksi perustuksiin liittyviä suunnitteluohjeita.
- Rakenteisiin asennettavien koneiden kantavien tukirakenteiden rakenneteknisessä suunnittelussa, joka perustuu rakennustuotedirektiiviin, olisi syytä vaatia vähintään A-luokan suunnittelijan pätevyyttä. Näin tehdäänkin yleensä silloin, kun rakennuksen osat tai rakenteet toimittaa laitetoimittajan sijasta joku rakennusalan toimija.  
Vaihtoehtoisesti, kyseisiä laitteita valmistavien olisi syytä hyödyntää tai lisätä kolmansien osapuolten tekemää suunnitelmien tarkastusta.
- Konesuunnittelijoiden kantavien rakenteiden suunnitteluun liittyvää osaamista tulee kehittää.

Lisäksi tulisi harkita, tulisiko olemassa oleville koneikoille tehdä rakenneteknisiä kuntotarkastuksia, joissa tarkastettaisiin kantavien teräsrakenteiden kunto. Jos muutoksia tai paikallisia vaurioita havaittaisiin, voitaisiin tarkastaa myös rakennesuunnitelmat ja kestävyyslaskelmat. Tarkastuksia ei tarvita, jos laitteelle on esimerkiksi sen väsytyksrasitusta aiheuttavan toiminnan takia jo aiemmin määritelty säännölliset kuntotarkastukset.

---

## Lähteet

1. Rikasteen syöttökuljetin, lujuustarkastelu. 1.10.2007. Rakennesuunnittelija.
2. Muistio suppilovaunun kaatuminen. Muistio 16.12.2008. Toimittaja.
3. Selvitys\_suppilovaunu\_lujuuslaskenta\_09012009. Rakennesuunnittelija
4. Suppilovaunun rakenteiden kokoonpano ja valmistuspiirustukset 322M2 –xx-xx. Rakennesuunnittelija.
5. TS09102 suppilovaunun vaurio\_rev.3. Rakennesuunnitelmien ulkopuolinen tarkastaja.
6. Alustava riskin arviointi. 29.10.2007. Toimittaja.
7. Käytetyn arviointimenetelmän tulkintaohje. Ulkopuolinen riskianalyysiyritys.
8. Rikasteen syöttökuljettimen 322 lujuustarkastelut. 20.12.2008. Toimittajan konsultti.
9. Konedirektiivi 2006/42/EY. 17.5.2006
10. EN ISO 12100:2003 (osat 1 ja 2) Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperusteet.
11. Koneturvallisuus. Koneiden tekniset vaatimukset ja vaatimuksenmukaisuus. Työsuojeluoppaaita ja –ohjeita 16. Työsuojeluhallinto 2008.
12. SFS-EN 1993-1-1. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
13. SFS-EN1993-1-8: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu
14. B7. Teräsrakenteet. Ohjeet 1996. Ympäristöministeriö. 51 s.
15. Technical requirements for Copper and Nickel Unloading System (CoNiCo) for Port of Pori. 12 s.
16. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 98/37/EY, annettu 22.6.1998.
17. Tutkintaselostusluonnoksesta saadut kommentit.