

Kaatuessaan vaaraa aiheuttavat rakenteet

Petteri Kaski & Kimmo Virolainen

VTT Valmistustekniikka

Tapio Leino & Lasse Mörönen

VTT Rakennustekniikka



ISBN 951-38-5407-8
ISSN 1235-0605
Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1998

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Valmistustekniikka, Turvallisuustekniikka, Tekniikankatu 1, PL 1701, 33101 TAMPERE
puh. vaihde (03) 316 3111, faksi (03) 316 3282

VTT Tillverknings teknik, Säkerhetsteknik, Tekniikankatu 1, PB 1701, 33101 TAMMERFORS
tel. växel (03) 316 3111, fax (03) 316 3282

VTT Manufacturing Technology, Safety Engineering,
Tekniikankatu 1, P.O.Box 1701, FIN-33101 TAMPERE, Finland
phone internat. + 358 3 316 3111, fax + 358 3 316 3282

VTT Rakennustekniikka, Rakennusmateriaalit ja -tuotteet sekä puutekniikka, Kemistintie 3, PL 1807, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7003

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsmaterial och -produkter, träteknik, Kemistvägen 3, PB 1807, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7003

VTT Building technology, Building Materials and Products, Wood Technology,
Kemistintie 3, P.O.Box 1807, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7003

Kansikuva: Rautaruukki Steel, Raahan terästehtaan koksamo
Kuvaaja: Kimmo Virolainen

Toimitus Leena Ukskoski

Libella Painopalvelu Oy, Espoo 1998

Kaski, Petteri, Virolainen, Kimmo, Leino, Tapio & Mörönen, Lasse. Kaatuessaan vaaraa aiheuttavat rakenteet [Hazards associated with collapsing structures]. Espoo 1998, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1925. 37 s. + liitt. 15 s.

Avainsanat steel structures, concrete structures, collapse, risk, pressure vessels, accidents

Tiivistelmä

Suomessa on erilaisille korkeille rakenteille sattunut jonkin verran kaatumisia ja sortumisia. Tällaiset rakenteet saattavat mahdollisesti kaatuessaan aiheuttaa vaaraa sekä ihmisille että muulle rakennetulle ympäristölle ja luonnolle. Erityisesti säiliöissä varastoidut kemikaalit voivat luontoon joutuessaan aiheuttaa pahojakin vaurioita. Paineastioiden ja -säiliöiden rakennetta ja tarkastusta on käsitelty standardeissa, joissa on hyvin tarkasti määritelty niiden käyttötarkoituksen mukaisesta tarkastamisesta ja sen valvonnasta. Paineettomia säiliöitä koskevia vastaavia standardeja ei ole, ja siksi niiden vastaanotto, hyväksyntä, tarkastus ja koetäyttö sekä niiden käyttö ja huolto tapahtuvat yleensä vain toimittajan ja tilaajan välisen sopimuksen puitteissa. Monissa tapauksissa säiliön rakentamiseen ei tarvita rakennuslupaa; pelkkä ilmoitus kunnan rakennusvirastoon yleensä riittää.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin Suomessa eri teollisuudenaloilla käytössä olevia korkeita mahdollisesti kaatuvia rakenteita sekä niistä aiheutuvia riskejä. Tutkimuksessa selvitettiin toisaalta mahdollisia kohteita ja rakenteita sekä niiden kaatumiseen vaikuttavia seikkoja ja toisaalta menetelmiä, joilla riskit ja mahdollisten onnettomuuksien seuraukset voitaisiin tunnistaa ja pyrkiä ennalta torjumaan.

Kaatumisriskeistä merkittävimmät voidaan luokitella seuraaviin kolmeen kohtaan:

1. Rakenteiden rakennesuunnittelusta, valmistuksesta, kokoonpanosta ja asennuksesta aiheutuvat virheet ja puutteet sekä niiden aiheuttamat riskit.
2. Rakenteen käytön aikana tapahtuvat käyttövirheet ja muut inhimillisestä toiminnasta aiheutuvat ongelmat, kuten törmäykset ja huolimattomuus, sekä rakenteiden ikääntyminen esim. puutteellisen ylläpidon takia (käyttöikä riippuu ylläpidosta!).
3. Rakenteiden siirtäminen, niiden käyttötarkoituksen muuttaminen tai muut ympäristössä tapahtuvan rakentamisen ja muutostöiden aiheuttamat riskit, joiden vaikutuksia ei ole riittävästi otettu huomioon (vastuut epäselviä).

Julkaisu sisältää ohjeet paineettomien säiliöiden koetäyttösuunnitelman tekemiseksi sekä teräs- ja teräsbetonirakenteiden kunnan tarkistamiseksi.

Kaski, Petteri, Virolainen, Kimmo, Leino, Tapio & Mörönen, Lasse. Kaatuessaan vaaraa aiheuttavat rakenteet [Hazards associated with collapsing structures]. Espoo 1998, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1925. 37 p. + app. 15 p.

Keywords steel structures, concrete structures, collapse, risk, pressure vessels, accidents

Abstract

A small number of collapses and other types of failures of high industrial structures have recently taken place in Finland. Such structures while falling down represent substantial hazards for people working in their neighbourhood, the surrounding built-up area and the environment. The collapse of tanks holding liquids may cause extensive damage to the environment.

The structural demands and testing of pressure vessels are well dealt with in standards and design guides, but the design, manufacture, construction and erection, as well as the testing of tanks with substances at normal atmospheric pressure, is less regulated and sometimes the tanks are built depending only on the agreement between the provider and the buyer, and a mere notice to the municipal building inspection is enough.

This research project was started in order to study what kind of steel and concrete structures exist and are used in Finnish industry, and what kind of risks they represent to the people and the environment. A part of the research was to study the possible structures by visiting several industrial facilities, and another part of the research dealt with finding methods to identify and evaluate the existing risks, and to prevent accidents.

The most consequential risks that were identified during the research can be classified as:

1. The defects originating from the design, manufacture, construction or erection phase of the structures, and the risks caused by them.
2. The errors in the use of the equipment or the structures, and the other problems originating from the surrounding human activities, like neglectful maintenance of the process equipment and structures.
3. The risks originating from the relocation of the structure, or the changes in the usage of the structure or its purpose, or the other changes in its surroundings caused by additional construction, etc.

The report contains a guide for preparing instructions for the structural and operational testing of the tanks. Two guides for performing the on-site inspection of the structural performance of the steel structure and of the concrete structure respectively are included.

Alkusanat

Projektissa on ollut tavoitteena

- kartoittaa, minkälaisia kaatuessaan vaaraa aiheuttavia rakenteita Suomessa on käytössä mm. eri teollisuudenaloilla, kuten paperi-, teräs-, kemian-, elintarvike- ja muussa teollisuudessa tai maataloudessa,
- selvittää riskejä, joista johtuen rakenne saattaa kaatua ja aiheuttaa kaatuessaan vaaraa ympäristössään ja ihmisille,
- kehittää menettelytapa, jolla mahdolliset riskikohteet saadaan kartoitettua ja riskien suuruus arvioitua,
- laatia ohje koetäyttösuunnitelman laatimiseksi paineettomille säiliöille
- koota ohjeita teräs- ja teräsbetonirakenteiden kunnon tarkistamisesta.

Projektissa saavutettiin kaikki tulokset, joskin Suomen teollisuudessa on aloja (ja ehkä erityisesti kemianteollisuudessa), joita tutkimuksessa ei ole kartoitettu, eikä projektin tuloksia voida niissä suhteissa pitää täydellisinä. Projektissa ei ole merkittävästi käsitelty mm. ihmisille haitallisten nesteiden tai kaasujen aiheuttamia riskejä tai paineellisille astioille ja säiliöille aiheutuvia rakenteellisia yms. riskejä.

Projektin rahoittivat Työsuojelurahasto, Enso Yhteispalvelut Oy, Rautaruukki Steel ja VTT. Projektin päällikkönä toimi tutkija Petteri Kaski VTT Valmistustekniikasta. Tutkimukseen osallistui henkilöitä yrityksistä ja VTT:n Valmistustekniikka ja Rakennustekniikka-yksiköistä.

Tutkimustyötä on ohjannut johtoryhmä, johon kuuluivat

Jaakko Helve, Enso Yhteispalvelut Oy

Väinö Kontio, Rautaruukki Steel

Hannu Tarvainen, Tapaturmavakuutuslaitosten liitto, johtoryhmän puheenjohtaja

Riitta-Liisa Lappeteläinen, Työsuojelurahasto

Veijo Huotari, Rakennusliitto

Veikko Rouhiainen, VTT Valmistustekniikka

Asko Talja, VTT Rakennustekniikka

Markku Tammirinne, VTT Yhdyskuntatekniikka.

Tutkijat kiittävät johtoryhmää asiantuntevasta opastuksesta sekä teollisuusyrityksiä mahdollisuudesta vierailta tehdasalueilla ja myös paikallisesta opastuksesta ja muusta

avusta, kuten esimerkiksi piirustuksista ja muista tiedoista koskien projektin kannalta kiinnostavia korkeita rakenteita ja tutkimuskohteita.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
1. Johdanto	9
2. Kaatuessaan vaaraa aiheuttavat rakenteet teollisuudessa.....	11
2.1 Mahdollisia riskikohteita.....	11
2.1.1 Säiliöt ja siilot.....	11
2.1.2 Savupiiput.....	13
2.1.3 Seinät	13
2.1.4 Satamanosturit	13
2.1.5 Kuljettimet.....	14
2.1.6 Korkealla sijaitsevat laitteet	14
2.2 Kaatumisriskiä lisäävät tekijät	14
2.2.1 Liikenne	15
2.2.2 Tulipalot ja räjähdykset	15
2.2.3 Rakenteiden ikääntyminen ja korrosio	15
2.2.4 Muutostyöt ja prosessimuutokset	16
2.2.5 Rakentaminen lähitöillä	16
3. Kaatumisriskien tunnistaminen ja arviointi	17
3.1 Vaaraa aiheuttavien kohteiden tunnistaminen.....	17
3.2 Mahdollisten kaatumissyiden tunnistaminen	18
3.2.1 Kantavuuden heikkeneminen	19
3.2.2 Kuormituksen muutokset.....	20
3.2.3 Äkilliset vaikutukset.....	20
3.3 Kaatumisen mahdollisten seurauksien arviointi.....	21
3.3.1 Kaatumissuunta	21
3.3.2 Kaatumisajankohta	22
3.3.3 Vaikutusalueen laajuus	22
3.3.4 Vaikutusalueen kohteet	23
3.4 Riskien hallintatoimenpiteet.....	24
4. Rakenteiden tarkastus	25
4.1 Yleistä	25
4.2 Esimerkkejä vaurioista sekä mitoitusohjeita.....	26
4.2.1 Nestesiilojen rakenteet.....	26

4.2.2 Muut siilot ja korkeat rakenteet	28
4.3 Kaatumisriskin aiheuttajat ja rakenteen käyttöikä.....	29
4.3.1 Suunnittelu ja valmistus	29
4.3.2 Rakenteen sitkeä tai hauras toiminta	32
4.3.3 Käyttö ja ylläpito	33
4.3.4 Riskien arviointi ja tarkastukset	34
5. Yhteenveto	36
Lähdeluettelo.....	37

Liitteet

Liite A: Ohje säiliöiden koetäyttösuunnitelman tekemiseksi

Liite B: Teräsrakenteiden kunnon tarkastus

Liite C: Menettelytavat ja ohjeet teräsbetonisten rakennusten ja rakenteiden
kaatumis- ja sortumisvaaran arvioimiseksi

Liite D: Yhteenvetolomake

1. Johdanto

Valkeakoskella Tervasaaren tehdasalueella kaatui 27.3.1996 massasäiliö, jossa oli kaatumishetkellä 5 000 kuutiometriä vettä /1/. Kaatuminen aiheutti merkittävää tuhoa tehdasalueen rakennuksille ja lisäksi yksi työntekijä menehtyi jäädessään kaatuvan säiliön alle.

Oikeusministeriö asetti tapausta tutkimaan tutkijalautakunnan, joka on julkaissut toimenpide-ehdotuksia vastaavanlaisten onnettomuuksien ehkäisemiseksi. Tutkijalautakunta ehdottaa tutkimusselostuksessaan /2/ mm., että rakennushankkeen työturvallisuusasiakirjaa (VNp 629/94) tulisi kehittää siten, että eri osapuolten velvollisuudet olisi selvästi määritelty. Käytännössä tämä merkinnee rakennuttajan vastuun lisääntymistä.

Tutkijalautakunta ehdotti myös seuraavaa koskien säiliöiden suunnittelu- ja mitoitusohjeita: Paineettomille suurille säiliörakennuksille tulisi laatia mitoitus- ja rakennusohjeet. Ohjeissa tulisi käsitellä myös säiliön perustuksia ja muita pohjarakenteita. Suurille säiliöille olisi myös luotava suunnittelua ja rakentamista koskevat valvonta- ja tarkastusmenettelyt. Suuret säiliörakenteet olisi määriteltävä rakenteiden vaativuuden tai säiliöihin liittyvien rakennusaikaisten tai käytön aikaisten riskien takia erityisvalvonnan piiriin kuuluviksi rakenteiksi. Säiliön tiiviiden testaus olisi laajennettava sekä itse säiliön että sen perustusten ja pohjarakenteiden koekuormittamiseksi. Koekuormittamiselle olisi laadittava ohjeet, jotka sisältävät myös koekuormitusvaiheen turvallisuuden varmistamisen.

Erilaisten kemikaalien varastoinnista ja siihen liittyvistä turvallisuusvaatimuksista on annettu yksityiskohtaisempia ohjeita palavien nesteiden osalta. Näitä ovat mm. kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 313/85 ja säiliöstandardit SFS 2733 - 2737, SFS 2740 ja SFS 2770. Kuitenkaan terveydelle ja ympäristölle vaarallisten kemikaalien varastointia koskevia säiliöstandardeja ei Suomessa ole. TUKES-ohjeessa K1-97 (Terveydelle ja ympäristölle vaarallisten kemikaalien varastointi) todetaan ainoastaan, että terveydelle ja ympäristölle vaarallisten aineiden varastosäiliöiden suunnittelun lähtökohtana voidaan käyttää edellä mainittuja, palavien nesteiden säiliöille tarkoitettuja standardeja.

Edellä mainitussa TUKES-ohjeessa K1-97 on terveydelle ja ympäristölle vaarallisten kemikaalien varastointia koskien annettu ohjeita mm. säiliöiden rakenteesta ja varustuksesta, tarkastuksista, keskinäisestä etäisyydestä ja perustuksista. Säiliöiden rakenteiden ja perustusten osalta näitä ohjeita ei kuitenkaan pidetä kaikilta osin riittävinä. Uusien säiliöiden vaatimustenmukaisuus arvioidaan lupa- ja ilmoitusmenettelyn yhteydessä. Vanhoille säiliöille tällaisia arviointeja ei ole tehty, ei myöskään sellaisille säiliöille, joiden sisältö ei ole palavaa eikä terveydelle tai ympäristölle vaarallista.

Työturvallisuuslaissa todetaan rakenteista ja niihin liittyvistä turvallisuusnäkökohdista seuraavasti: Suunniteltaessa työympäristön rakenteita ja työtiloja on huolehdittava siitä, että työ voidaan suorittaa turvallisesti ja aiheuttamatta haittaa työntekijän ruumiilliselle tai henkiselle terveydelle. Työtilaa suunniteltaessa, rakennettaessa tai muutettaessa on myös huolehdittava siitä, että työtilan olosuhteet tulevat vastaamaan tässä laissa asetettuja vaatimuksia (9a§ 16.1.1987/27). Milloin työssä käsitellään tai työpaikalla säilytetään aineita, joista saattaa aiheutua suuronnettomuus, tai työssä muutoin saattaa olla suuronnettomuuden vaara, on työnantajan annettava työntekijälle tarpeelliset ohjeet vaaran torjumisesta sekä menettelytavoista onnettomuuden sattuessa (26a§ 16.1.1987/27).

2. Kaatuessaan vaaraa aiheuttavat rakenteet teollisuudessa

2.1 Mahdollisia riskikohteita

Projektin yhteydessä havaittiin, että rakenteen kaatumisen aiheuttaman onnettomuuden mahdollisuutta pidetään erittäin pienenä. Tämä johtuu pitkälti siitä, että Suomessa tapahtuneet onnettomuudet ovat olleet satunnaisia ja suurilta henkilövahingoilta on vältytty. Taulukossa 1 on kirjallisuushaussa löytyneitä säiliöonnettomuuksia ja niiden syitä.

2.1.1 Säiliöt ja siilot

Lähes poikkeuksetta eri teollisuuden aloilla on Suomessa käytössä siiloja tai säiliöitä. Prosessiteollisuuden käyttämiä kemikaaleja varastoidaan usein suuriinkin säiliöihin. Sellu- ja paperiteollisuuden kartiopohjaiset massasäiliöt ovat jopa 10 000 m³ suuruisia käyttötarkoituksesta ja tehtaan tuotannosta riippuen. Palavien nesteiden säiliöt ovat yleensä suhteellisen leveitä korkeuteen nähden, ja nestekaasu, kloori- ja rikkidioksidi-säiliöt ovat makaavia lieriöitä, mutta esimerkiksi nestehappisäiliöt ovat usein kapeita ja korkeita. Kaatuessaan niiden aiheuttamat seuraukset ovat merkittäviä.

Säiliöiden yhteydessä havaittiin riskitilanteiksi säiliön käyttöönotto, jolloin mahdolliset suunnitteluajaiset virheet lisäävät kaatumisriskiä. Käytössä olleisiin säiliöihin tehtävät muutostyöt voivat aiheuttaa rakenteen tai perustuksen pettämisen, jos muutostyö muuttaa rakenteen kestävyyttä tai muutostyön jälkeinen kuormitus on aikaista korkeampi. Tapahtuneiden onnettomuuksien perusteella bensiini- ja öljysäiliöt ovat altteimpia tulipaloille ja räjähdyksille (taulukko 1). Säiliön lähetyvillä oleva tulipalo saattaa vaikuttaa säiliöön ja moninkertaistaa tulipalon vaikutukset. Kemikaalisäiliöihin liittyvä kemikaalien vapautuminen voi osoittautua huomattavasti haitallisemmaksi kuin osataan odottaa. Vapautuvat kemikaalit saattavat vaikuttaa lähialueen ympäristöön ja ihmisiin merkittävästi. Esimerkiksi ympäristöön päässyt rikkidioksidi aiheuttaa väestölle hengenvaaran varsin pitkälle tehdasalueen ulkopuolelle.

Taulukko 1. Kirjallisuushaun tuloksia säiliöonnettomuuksista.

Paikka	Aika	Säiliö	Onnettomuuden syy	Vaikutus	Lähde
Iso-Britannia, Huyton	30.04.1995	3 m korkea ja halkaisijaltaan 1m oleva nestetyppisäiliö	Äskettäin käyttöön otettu säiliö kaatui.	1 500 henkeä evakuoitiin.	MHIDAS *)
USA, Peth Amboy, New Jersey	05.09.1990	24 000 m ³ öljysäiliö	Betoniperustukset pettivät, säiliö kaatui osittain.	Ympäristöhaitta	MHIDAS
Bombay, Intia	09.11.1988	Bentseeni- ja toluenisäiliöt	Bentseeni- ja toluenisäiliöt kaatuivat räjähdyksessä.	35 kuoli.	MHIDAS
New Delhi, Intia	04.12.1985	Rikkihapposäiliö	Korrodoitunut rikkihapposäiliö kaatui.	1 kuoli, 340 sairaalaan	MHIDAS
Italia, Priola	13.05.1998	Etyleeni- ja propyleenisäiliöt	Viisi säiliötä kaatui tai räjähti tulipalossa. Palo sai alkunsa propyleeni-vuodosta.		Fire Prevention, Apr. 1986, no. 188 p. 40
USA, Ironstone wharf, Guinness	23.03.1983	Sementin valmistuksen vesisäiliö, jossa oli vettä 1500 tonnia	Hitsisauma pettänyt. Säiliö halkesi.		Bulletin Association for Petroleum and Explosives Administration, Aug. 1985, vol 23, no. 3, pp. 38-39
USA, Pennsylvania	02.01.1988	14 000 m ³ öljysäiliö kaatui. Säiliö oli siirretty Clevelandistä Pennsylvaniaan 1986.	Haurasmurtuma säiliön kuoressa	Ympäristöhaitta	J. of Perf. of Constructed Facilities 3, Aug 1989, no. 3, pp. 144-162
Ozarow, Puola	1978	Betoniseinämainen (350 mm) 42 m korkea ja 17m halkaisijaltaan oleva sementtisäiliö	Säiliö kaatui tyhjennysvaiheessa. Syyinä oli riittämätön tuenta.	4 kuoli.	Conf. of Recent Dev. Construct. of Silos. Wroclaw 1981
USA, Idaho, Pocatello	13.11.1978	23 m korkea ja 24 m halkaisijaltaan oleva ammoniakksäiliö	Halkesi alipaineventtiilien toimintahäiriön vuoksi. Säiliöön syntyi suuri alipaine.		Ammonia Plant Safety Meeting, NY, 1980
Kanada, Fredericton	1990	Vesitornin vesisäiliö	Teräksinen vesisäiliö romahti. Säiliön lujuus oli riittämätön.	Ei henkilövahinkoja . Vastaavia tapauksia on sattunut aiemmin.	J. of Structural Eng. 1997. Vol 123, no. 6
Zaire, Matadi	Helmikuu 1991	19 vuotta vanha 37m korkea ja 8 m halkaisijaltaan oleva vehnäsiilo	Säiliö halkesi pultatusta saumasta. Pultit olivat alimitoitettuja.	Ei henkilövahinkoja	J. of Perf. of Constr. Facilities 1997. Vol 11 no. 2
Etelä-Afrikka		7 m korkea ja halkaisijaltaan 9 m oleva rikkihapposäiliö, kultakaivoksessa sijaitseva säiliö	Säiliö kallistui maahan vuotaneen rikkihapon heikennettyä maaperää. Vajoama oli suurimmillaan 130 mm.		Proc. of 7th Asian Regional Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Haifa 1983
Unkari	23.12.1988	600 m ³ panimon metallisäiliö	Perustukset vajosivat 200 - 300 mm. Säiliö kaatui.	Vaurioitti läheisiä rakennuksia	Foundation Eng. 1991. Vol. 1 pp. 393-395

*) MHIDAS on turvallisuustietokanta, jota ylläpitävät "Healt & Safety Executive, Sheffield, Iso-Britannia" ja "Technology AEA-Safety Directorate, Warrington, Iso-Britannia".

2.1.2 Savupiiput

Savupiiput kohoavat jopa yli sadan metrin korkeuteen ja voivat kaatuessaan aiheuttaa suurta tuhoa. Tiheisiin tehdasmiljöisiin rakennettujen savupiippujen mahdolliset kaatuminisunnat kattavat usein suuren osan tehdasalueesta. Savupiippujen riskiä lisää se, ettei niille ole velvoitettu määräaikaistarkastuksia. Lisäksi nykyaikana käyntiasteen lisääntyessä seisokkeja, joissa savupiippu olisi mahdollista tarkastaa, on hyvin vähän ja seisokkiaikaan tarkastuksiin kykenevä henkilöstö on muutoinkin ylityöllistetty. Tukirakenteiden kunnon tarkastaminen on usein mahdotonta muulloin kuin vuorausta uusittaessa. Asenne on yleensä se, etteivät savupiiput voi kaatua, koska niitä ei ole ennenkään kaatunut. Tämän tutkimuksen tuloksena esitetään tukirakenteiden kunnonvalvonnan tekemistä ainakin vuorausta uusittaessa.

Savupiipun kaatuminen on, kuten yleisesti ajatellaankin, hyvin epätodennäköistä. Toisaalta savupiippujen määrä on hyvin suuri, jonka vuoksi pieneenkin riskiin tulee suhtautua vakavasti erityisesti, koska kaatumisen aiheuttamat seuraukset olisivat todennäköisesti hyvin vakavia. Kuormituksia saattaa aiheuttaa poikkeuksellisen kova tuulikuormitus. Yhdistettynä esimerkiksi suureen tuulikuormaan pitkäaikainen rakenteen korrodoituminen voi aiheuttaa savupiipun kaatumisen.

2.1.3 Seinät

Merkittävin riski seinien pettämiselle on vanhoissa teollisuusrakennuksissa. Korkeiden seinien lähistöllä saattaa olla työtiloja, joissa on paljon ihmisiä suorittamassa työtehtäviään.

Syynä seinän sortumiseen saattaa olla seinän rakenteen pettäminen voimakkaan prosessihäiriön vuoksi tai seinän heikkeneminen. Prosessihäiriöitä voivat olla esimerkiksi kaasuräjähdykset, jolloin vanhan seinän sortuminen saattaa moninkertaistaa syntyvät vahingot. Seinät saattavat heiketä mm. kondenssiveden tiivistyessä seinäpinnoille. Veden toistuva jäätyminen ja sulaminen aiheuttavat vähitellen betonin rapautumista. Rapautumisen seurauksena kosteus pääsee imeytymään syvemmälle betoniin ja voi johtaa betoniteräksen ruostumiseen ja kantavuuden heikkenemiseen.

2.1.4 Satamanosturit

Satamanosturien käyttöikä on varsin korkea. Nosturien ja niiden kiinnitysten tarkastamiseen voidaan tämän tutkimuksen perusteella sanoa kiinnitettävän asianmukaista huomioita. Perustusten tarkastaminen on vaikeampi toimenpide ja se saattaa olla paikoin lyöty laimin. Erityisesti veden kuluttava vaikutus satama-altaan reunoilla saattaa

heikentää rakennetta merkittävästi. Perustusten tarkastaminen tulisi tehdä määräajoin. Esimerkiksi, mikäli rakenteissa ei näy heikentymiä, tarkastusväliksi riittäisi viisi vuotta. Mikäli näkyy selvää rakenteen heikkenemistä, on se luonnollisesti korjattava.

Tämän projektin yhteydessä ei tarkasteltu muita kuin kiinteitä satamanostureita. Muihin nostureihin liittyvät määräaikaistarkastukset ja kunnossapito katsottiin riittäväksi takaamaan niiden turvallisuus.

2.1.5 Kuljettimet

Putki- ja kuljetinsilloissa rakennemateriaalin valinnan merkitys korostuu. Tehdasalueella voi olla kilometreittäin erilaisia kuljetinsiltoja, ja niiden suojaaminen korroosiota vastaan voi osoittautua kunnossapito-organisaatiolle mahdottomaksi, jos rakennemateriaalit edellyttävät jatkuvaa korjaavaa maalausta.

Kuljetettavasta materiaalista riippuen on olemassa tulipalon tai kuljetettavan kemikaalin vapautumisen mahdollisuus. Kuljettimen kulkuväylä saattaa kulkea sellaisia reittejä, joissa liikenteen törmäysriski on suuri, tai tulipalo voi saada alkunsa jostakin ympäristöstä. Tehdasalueilla tapahtuu usein muutoksia kemikaalien kuljetuksiin liittyen.

2.1.6 Korkealla sijaitsevat laitteet

Tehdasrakennukset ovat usein monikerroksisia, ja raskaita laitteita sijaitsee myös yläkerroksissa. Rakenteisiin kohdistuu kuormaa laitteista sekä prosessissa käytettävistä materiaaleista. Rakenteita mitoitettaessa on kuorma laskettu tietylle laitekannalle, mutta laitteiden uusimisen myötä voi kuormitustaso nousta.

Rakenteen kuormitusta saattaa nostaa laitekannan uusimisen jälkeen uusien laitteiden aikaisempaa suurempi massa tai laitteiden muuttunut toimintatapa. Esimerkiksi sihdeille tai suotimille voi olla ominaista voimakas värinä. Kuormaa lisääviä prosessista johtuvia tekijöitä voivat olla esimerkiksi täydet tampourit paperitehtaalla, joita säilytetään vierekkäin tietyssä tehdassalin osassa.

2.2 Kaatumisriskiä lisäävät tekijät

Tässä kohdassa käsitellään muita erikoisia kuormitustilanteita, jotka tulee ottaa huomioon rakenteiden kaatumisriskiä tai kaatumisesta aiheutuvia välillisiä riskejä arvioitaessa kohdassa 4.3 mainittavien lisäksi.

2.2.1 Liikenne

Erityisesti tehdasalueen raskas liikenne saattaa aiheuttaa vakavan kaatumisriskin. Törmäyksen seurauksena vapautuvista kemikaaleista saattaa seurata tulipalo tai räjähdys. Säiliöt sekä kuljetinsiltojen jalat on pyrittävä suojaamaan mahdollisilta ajoneuvojen törmäyksiltä.

Rakenteiden suojaamisen lisäksi voidaan rajoittaa liikennettä tehdasalueella nopeusrajoituksin tai kielloin. Ajoreittien suunnittelulla voidaan välttää liikenteen keskittyminen esimerkiksi kemikaalisäiliöiden läheisyyteen. Palo- ja räjähdysherkkien materiaalien läheisyydessä olevat paikoitustilat lisäävät syttymisriskiä.

2.2.2 Tulipalot ja räjähdykset

Tulipalo tai räjähdys saattaa aiheuttaa rakenteiden, esimerkiksi putkisiltojen tai seinien, sortumisen. Sortuminen tulipalojen yhteydessä voi aiheuttaa palon leviämisen ja lisätä vahinkoja huomattavasti.

Tapauskohtaisesti voidaan tarkastaa, onko paloherkkien materiaalien säiliöiden lähistöllä runsaasti liikennettä tai mitään muuta, mikä voisi aiheuttaa tulipalon tai räjähdysriskin. Lisäksi voidaan varmistua siitä, onko saatavilla mahdollisen onnettomuuden sattuessa riittävästi sammutusvälineitä ja ovatko ne toimintakuntoisia.

2.2.3 Rakenteiden ikääntyminen ja korroosio

Useista rakenteista nähdään korroosion ja ikääntymisen vaikutukset silmämääräisellä tarkastelulla. Ikääntymisen tai korroosion silmämääräisessä tarkastelussa on kuitenkin vaikeutensa, sillä ne tapahtuvat hitaasti ja silmä tottuu pieniin muutoksiin. Toisaalta tarkempi määrittely esimerkiksi savupiipuista edellyttää piipun tarkastamista sisäpuolelta, missä savukaasujen korrodoiva vaikutus on merkittävä.

Maahan valuneet kemikaalit saattavat lisätä perustusten korroosiota huomattavasti. Valumia tulee yleensä säiliöissä olevista kemikaaleista, mutta kemikaaleja voi kulkeutua maaperään mitä moninlaisin tavoin; esimerkiksi vanhojen akkujen säilytyspaikka on saattanut sijaita perustusten vierellä.

2.2.4 Muutostyöt ja prosessimuutokset

Säiliöitä saatetaan korottaa tilavuuden kasvattamiseksi prosessimuutosten tai tuotannon lisäämisen vuoksi. Tämänlaatuiset muutostyöt vaativat suunnittelijoilta vanhan rakenteen kunnon ja rakennustavan tuntemista.

Prosessin muuttuessa voi esimerkiksi savukaasujen koostumus muuttua, jolloin kaasut voivat olla aikaisempaa korrodoivampia tai säiliön käyttötarkoitusta muutettaessa säiliön rakenteiden, perustusten tai korroosion kestävyys ei olekaan riittävä.

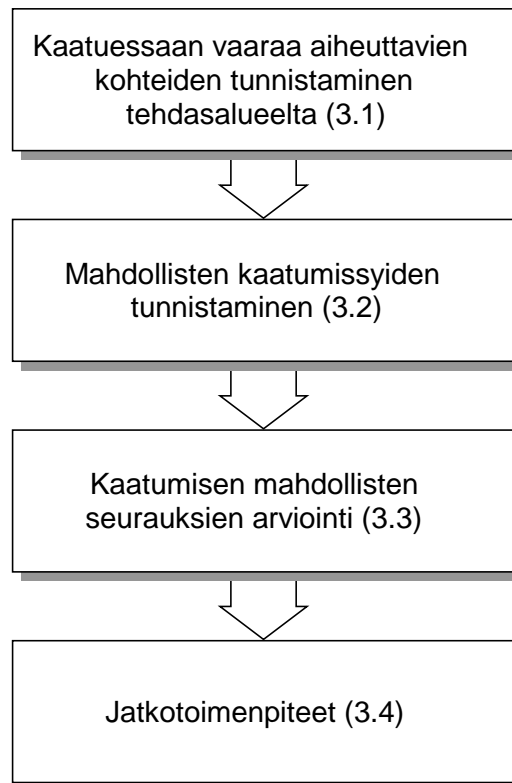
2.2.5 Rakentaminen lähistöllä

Tehdasalueen sisällä tehtävät rakennustyöt lisäävät poikkeuksellista liikennettä, jolloin törmäysvaara saattaa kohota moninkertaiseksi. Rakennustöihin liittyvä raskas liikenne saattaa joutua käyttämään tavanomaisesta poikkeavia kuljetusreittejä, jolloin törmäysriski rakenteisiin, joiden lähistöllä normaalisti ei ole liikennettä, kohoaa.

Lähialueella tapahtuvat paalutustyöt tai maansiirtotyöt aiheuttavat lisäkuormitusta tai painumista lähellä oleville perustuksille, jolloin esimerkiksi säiliöiden tai savupiippujen kaatumisriski saattaa kohota.

3. Kaatumisriskien tunnistaminen ja arviointi

Kaatumisriskien tunnistamiseksi ja arvioimiseksi edetään kuvan 1 mukaisesti. Ensimmäiseksi pyritään tunnistamaan tehdasalueelta kaatuessaan vaaraa aiheuttavat kohteet. Kohteiden kartoituksen jälkeen arvioidaan, mitkä syyt voisivat aiheuttaa kaatumisen. Viimeisessä vaiheessa arvioidaan kaatumisen seurauksia ja varautumista sekä päätetään, tuleeko tehdä jatkotutkimuksia tai -toimenpiteitä. Analysoinnin dokumentoinnin tukena voidaan käyttää liitteessä D olevaa analyysilomaketta.



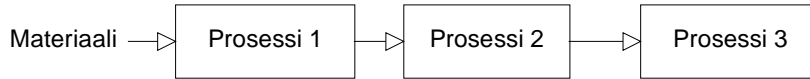
Kuva A. Kaatumisriskien tunnistaminen ja arviointi. Numerot 3.1 - 3.4 viittaavat seuraaviin alalukuihin.

3.1 Vaaraa aiheuttavien kohteiden tunnistaminen

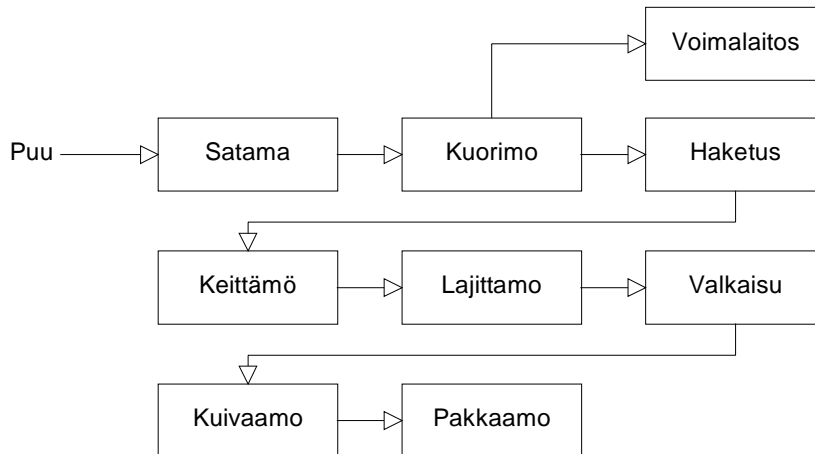
Arvioidaan, onko tehdasalueella laitteita tai rakennuksia, jotka kaatuessaan aiheuttaisivat vaaraa. Luvussa 2 on käsitelty tämän tutkimuksen yhteydessä esiintulleita mahdollisesti kaatuvia ja kaatuessaan vaaraa aiheuttavia rakenteita, joita ovat

- säiliöt ja siilot
- savupiiput
- kuljetin- ja putkisillat

- satamanosturit
- korkealla sijaitsevat laitteet.



Esimerkki. Puun kulku läpi sellunvalmistuksen:



Kuva 2. Materiaalivirtaan pohjautuva tarkastelujärjestys kaatuessaan vaaraa aiheuttavien rakenteiden tunnistamiseksi. Esimerkkinä puun kulku läpi sellun valmistuksen.

Huomionarvoista on, että rakennuksen tai laitteen ei välttämättä tarvitse olla erityisen korkea vaan esimerkiksi matala kemikaalisäiliö voi kaatuessaan aiheuttaa merkittävän riskin.

Jos tehdasalueelta tutkitaan mahdollisia riskikohteita ilman systemaattista menettelytapaa, jää osa kohteista todennäköisesti vaille huomiota. Menetelmänä kaatuessaan vaaraa aiheuttavien rakenteiden tunnistamiseksi voidaan käyttää kuvassa 2 esitettyä materiaalivirran seurantaan pohjautuvaa tarkastelujärjestystä. Siinä seurataan tehdasalueelle tulevien materiaalien kulkua koko prosessin läpi alkaen materiaalin vastaanotosta ja päättyen sen pakkaukseen ja siirtoon pois tehdasalueelta. Seuraamalla kaikki tehtaalle tulevat materiaalivirrat voidaan kartoittaa koko tehdasalue ja eri prosesseihin liittyvät riskit.

3.2 Mahdollisten kaatumissyiden tunnistaminen

Seuraavassa esitetään rakenteiden kaatumisen tai sortumisen mahdollisia syitä. Mahdollisten kaatumissyiden tunnistamisen yhteydessä on syytä miettiä, voidaanko vaaraa pois-

taa jollakin tavalla, esimerkiksi tarkastuksia lisäämällä, rakenteellisilla muutoksilla, suo-
jauksilla jne. Rakenteiden suunnitteluteknisiä, mahdollisesti kaatumiseen vaikuttavia
syitä käsitellään tarkemmin kohdassa 4.3.

3.2.1 Kantavuuden heikkeneminen

Arvioidaan maaperän ja perustusten sekä kantavien rakenteiden muutoksia, jotka voisi-
vat pahimmillaan johtaa rakenteen kaatumiseen tai sortumiseen.

- Pohjaveden pinnan muutokset
 - * Pohjavesi saattaa laskea esimerkiksi ympäristön rakennustöiden, salaojituksen tai muiden muutosten seurauksena. Maaperän kuivuessa sen kantavuus saattaa muuttua alkuperäisestä.
- Kaivutyöt perustusten vieressä
 - * Maamassojen poisto tai vaihto perustusten lähellä saattaa aiheuttaa muutoksia perustusten kuormitukseen esimerkiksi toispuoleisena maanpaineena. Tämä saattaa aiheuttaa perustuksiin sivuttaisvoimia, jotka heikentävät kantavuutta.
- Maan huuhtoutuminen viemäriin
 - * Perustusten läheisyydessä kulkevien viemäreiden rikkoutuessa virtaava vesi saattaa huuhtoa maata viemäriin suuriakin määriä. Myös maanalaisten vesijohtojen rikkoutuessa maata tai hiekkaa saattaa huuhtoutua viemäriin. Maan huuhtoutuminen saattaa tapahtua pitkän ajan kuluessa, eikä maan pinnalla välttämättä havaita mitään.
- Maan huuhtoutuminen pintavesien mukana
 - * Rankkasateet ja tulvat sekä muut äkilliset vesivirtaukset esimerkiksi laiterikon seurauksena saattavat lyhyessä ajassa huuhtoa suuriakin määriä maata pois. Yleensä tämä havaitaan välittömästi.
- Paalutuksen vaurioituminen
 - * Maaperän happamuus saattaa aiheuttaa paalutukseen korroosiota. Happamuus saattaa olla seurausta esimerkiksi kemikaalipäästöistä. Usein pieni ja huomaamaton mutta pitkäaikainen päästö on vakavampi, koska sen vaikutuksia ei osata seurata.
 - * Vanhojen puupaaluperustusten lahoaminen saattaa johtua pohjaveden laskusta, jolloin kuivuvat paalut lahoavat nopeasti.

- Perustusten vaurioituminen
 - * Maaperän happamuus perustusten vieressä tai kemikaalipäästöt perustuksiin voivat aiheuttaa korroosiota. Usein pieni ja huomaamaton mutta pitkäaikainen päästö on vakavampi, koska sen vaikutuksia ei osata seurata.
 - * Routa saattaa vahingoittaa huonosti perustettuja rakenteita. Poikkeukselliset olosuhteet, kuten ankara talvi, vähäinen lumipeite, tai maamassojen poisto tilapäisesti rakenteiden ympäriltä, saattavat lisätä roudan vaikutuksia.
 - * Paalujen viereen tehdyt kaivut ja täytöt saattavat lisätä perustusten kuormitusta tai painumaa.
- Kantavien rakenteiden vaurioituminen
 - * Kemikaalipäästöt rakenteisiin voivat aiheuttaa korroosiota, jolloin esimerkiksi teräsbetonin teräs saattaa heiketä huomattavasti. Usein pieni ja huomaamaton mutta pitkäaikainen päästö on vakavampi, koska sen vaikutuksia ei osata seurata.
 - * Rakenteiden altistuminen suurille lämpötilan tai kosteuden vaihteluille voi rapauttaa niitä vähitellen. Tällöin esimerkiksi betonirakenteiden sisällä olevat teräkset saattavat ruostua helpommin.

3.2.2 Kuormituksen muutokset

- Laajentaminen tai lisärakentaminen
 - * Lisä- tai uudisrakentaminen saattaa aiheuttaa muutoksia rakenteiden tai perustusten kuormitukseen.
- Osan purkaminen
 - * Jonkin suuren rakennuksen tai koneen purkaminen saattaa muuttaa kuormitustasapainoa.
- Värähtelyn tai tärinän lisääntyminen
 - * Uudet toiminnot, ajotavat, nopeudet, koneet ja laitteet tai käyttötarkoituksen muutokset saattavat aiheuttaa rakenteisiin suurempaa kuormitusta, värähtelyä tai tärinää, jota alkuperäisessä suunnittelussa tai mitoituksessa ei ole otettu huomioon.

3.2.3 Äkilliset vaikutukset

- Räjähdykset rakennuksen sisällä
 - * Joillekin prosesseille luonteenomainen räjähdysvaara tulisi ottaa huomioon paineenpurkausaukkoina tai kevennyksinä myös rakenteissa, ei pelkästään prosessilaitteissa.

- Räjähdykset tai räjäytykset rakennuksen ulkopuolella
 - * Räjähdysvaaraa aiheuttava toiminta rakennuksen lähellä on vaara myös rakenteiden kestävyydelle.
- Tulipalo
 - * Tulipalo saattaa heikentää kantavia rakenteita joko välittömästi tai rapauttamalla niitä niin, että myöhemmin esimerkiksi vesi ja sen jäätyminen heikentävät rakenteita.
- Materiaalivirran muutos
 - * Holvautuminen siilossa saattaa aiheuttaa toispuoleista kuormitusta, ja holvautuneen materiaalin äkillinen putoaminen voi aiheuttaa suuria iskumaisia rasituksia.
 - * Siilon tai säiliön ylitäyttö saattaa aiheuttaa niin suuria kantavuuden ylityksiä, että rakenteet eivät niitä kestä.
 - * Odottamaton ylikuormitus, esimerkiksi poikkeuksellisen raskaan materiaalin, kuten märän turpeen, kertyminen siiloon tai sähkösuodattimen täyttyminen vedellä, voi ylittää rakenteiden kantavuuden.
- Törmäys
 - * Raskaan ajoneuvon törmäys rakenteisiin tai niiden tukipylväisiin tai -vaijereihin voi aiheuttaa sortuman.
- Tulva
 - * Äkillisestä laiterikosta (suuri putkilinja tai säiliö) vapautuva suuri nestemäärä voi aiheuttaa niin suuria rasituksia rakenteille, että ne eivät kestä.

3.3 Kaatumisen mahdollisten seurauksien arviointi

Rakenteen mahdollisen kaatumisen tai sortumisen seurauksia arvioitaessa on tarkasteltava myös mahdollisen kaatumissyyn vaikutuksia seurauksiin.

3.3.1 Kaatumissuunta

- Todennäköinen
 - * Onko rakenteiden tai muiden syiden perusteella jokin kaatumissuunta tunnistettavissa todennäköisemmäksi kuin muut?

- Pahin mahdollinen
 - * Onko ympäristön tai muiden syiden perusteella jokin kaatumissuunta tunnistettavissa seurausten kannalta pahemmaksi kuin muut?
- Mahdollisesti hallittu tai ohjattu
 - * Voiko kaatumissuuntaan vaikuttaa, jos kaatumisvaara tunnistetaan riittävän aikaisin?

3.3.2 Kaatumisajankohta

- Todennäköinen
 - * Onko mahdollisista kaatumissyistä tunnistettavissa jokin tietty ajankohta, jolloin kaatuminen olisi todennäköisintä?
- Pahin mahdollinen
 - * Onko tunnistettavissa jokin tietty ajankohta, jolloin seuraukset olisivat selvästi suurimmat tai vakavimmat?
 - * Onko tunnistettavissa ajankohta, jolloin mahdollisella vaara-alueella oleskelee poikkeuksellisen paljon henkilöitä?
 - * Onko kohteen lähialueella liikennettä, jolle kaatuminen voisi aiheuttaa vaaraa, ja onko jokin tietty ajankohta erityisen vaarallinen?
 - * Onko mahdollisella vaara-alueella sellaista toimintaa, jossa jollakin tietyllä hetkellä, prosessin tilassa tai vaiheessa seuraukset ovat erityisen suuria tai vakavia?

3.3.3 Vaikutusalueen laajuus

- Kaatuvan rakenteen ulottuma
 - * Kaatuu kokonaisena, jolloin ulottuma on noin rakenteen korkeus.
 - * Sortuu kaatuessaan, tai ainoastaan yläosa katkeaa ja kaatuu, jolloin ulottuma on selvästi pienempi kuin korkeus.
- Aiheuttaa lisäsortumia: jatkuva sortuma, yksittäisten rakennelmien sortumia
 - * Kaatuva rakenne osuu muiden rakenteiden päälle tai vetää mukanaan muita rakenteita, kuten kuljetin- tai putkisiltoja.
 - * Elementtirakenteisissa rakennuksissa saattaa syntyä jatkuva sortuma.
- Kaatuvasta rakennelmasta vapautuvien materiaalien (nesteiden, jauheiden, kaasujen) vaikuttava määrä ja ulottuma

- * Rakenteen rikkoutuessa vapautuu äkillisesti suuria nestemassoja, jotka huuhtovat mennessään kaikkea irtainta sekä massallaan rikkovat rakenteita. Jähmeät aineet voivat lisäksi haudata alleen lähialueen kohteita. Nesteet voivat täyttää kellareita, tunneleita ja vastaavia.
 - * Rakenteen rikkoutuessa vapautuu äkillisesti suuria määriä jauhemaisia aineita, jotka peittävät alleen lähialueen kohteita.
 - * Rakenteiden rikkoutuessa vapautuu äkillisesti kaasua, joka leviää alueelle aiheuttaen vaaraa myös sortuma-alueen ulkopuolella.
- Heitteet
 - * Kaatuvasta tai alle jäävistä rakenteista saattaa irrota ja sinkoilla osia, jotka aiheuttavat vaaraa myös sortuma-alueen ulkopuolella.

3.3.4 Vaikutusalueen kohteet

- Henkilökeskittymät
 - * Kaatumisen mahdollisella vaikutusalueella olevat henkilömäärät eri vuorokauden aikoina ja eri viikonpäivinä selvitetään. Arvioidaan henkilömääriä myös esimerkiksi vuoronvaihdon, työpäivän alkamis- tai päättymisajankohdan sekä ruokatauon aikaan.
 - * Arvioidaan myös erikoistilanteiden, kuten seisokkien tai rakennustöiden, aiheuttamia poikkeamia normaaliin käyttötilanteeseen.
 - * Arvioinnissa tarkastellaan sekä rakennuksia että piha-alueita.
- Rakennukset
 - * Arvioidaan rakennusten vaurioitumisen laajuutta (täydellinen sortuminen, seinien kaatuminen, välipohjien pettäminen jne.).
 - * Arvioidaan rakennuksissa olevien koneiden ja laitteiden vaikutuksia vahinkojen laajuuteen ja seurauksiin.
- Muut rakennelmat
 - * Arvioidaan rakennelmien, kuten säiliöiden, putkisiltojen, kuljettimien tai sähkölinjojen, vaurioitumista mahdollisella vaara-alueella.
 - * Arvioidaan mahdollista domino-ilmiötä eli ensimmäisen sortuman tai kaatumisen aiheuttamia uusia sortumia tai rakennusten kaatumista.
- Vaaralliset aineet
 - * Arvioidaan, voiko onnettomuudessa vapautua vaarallisia aineita, ja sitä, mikä on vapautuvan aineen määrä ja sen vaarallisen ominaisuuden vaikutusalue.
 - * Arvioidaan, mikä on aineen leviämisuunta, kaasujen osalta todennäköinen ja pahin mahdollinen tuulen suunta.
- Muut vapautuessaan vaaraa aiheuttavat aineet (vesi jne.)

- * Arvioidaan, voiko onnettomuudessa vapautua vettä tai muuta lähinnä vapautuvan aineen suuresta määrästä johtuen vaaraa aiheuttavaa materiaalia, esimerkiksi massaa, jauhemaisia aineita tai lietteitä.
- Vaaraa aiheuttavat energiat (höyry, sähkö jne.)
 - * Arvioidaan, voiko onnettomuudessa rikkoutua höyry- tai kuumavesiputkia, jolloin vaaraa lisää purkautuvan aineen korkea lämpötila.
 - * Arvioidaan, voiko onnettomuudessa katketa sähköjohtoja, joista voi aiheutua (ainakin hetkeksi) sähköiskun vaara.
- Välilliset vaikutukset (energian jakelu muualle, muut keskeytykset ym.)
 - * Arvioidaan, aiheutuuko onnettomuudesta keskeytyksiä esimerkiksi energianjake- lussa tai muussa onnettomuusalueen ulkopuolisessa kriittisessä toiminnassa.

3.4 Riskien hallintatoimenpiteet

Riskianalyysin viimeisenä vaiheena on kehitettävä ratkaisut tunnistettujen riskien hallitsemiseksi. Useat rakenteet, esimerkiksi säiliöt, vaativat säännöllistä kunnonseurantaa niiden turvallisuuden varmistamiseksi. Mikäli todetaan, että jonkin rakenteen kohdalla kaatumisriski on korkea, tulee kaatumisen mahdollisesti aiheuttavat syyt pyrkiä poistamaan. Tällöin on arvioitava, tuleeko ryhtyä erityisiin suojaustoimiin, tai laadittava toimintaohjeet mahdollisen kaatumisen varalta. Epävarmoissa tilanteissa saattaa olla tarpeen laatia tarkka selvitys rakenteen kunnosta. Kyseeseen voivat tulla erilaiset ainetta rikkomattomat menetelmät (NDT), kuten ultraääni- tai tunkeumanestetarkastelut. Perustusten ikääntymistä arvioitaessa voidaan käyttää laboratorioden apua, jolloin niiden kunnosta saadaan arvio ja tarvittaessa korjaussuunnitelma.

Uusilla liikennejärjestelyillä tai suojauksilla voidaan tarvittaessa pienentää olennaisesti liikenteen aiheuttamaa riskiä. Myös tehdasalueen suunnittelu- ja saneerausvaiheessa tulisi pyrkiä tunnistamaan mahdolliset riskit ja suunnitella uudet rakenteet riskit huomioon ottaen.

Mahdollisen ympäristön muuttumisen vuoksi (talvella routa, kesällä räjäytystyöt yms.) on rakenteiden tarkastus syytä uusista viimeistään vuoden kuluttua muutoksista.

4. Rakenteiden tarkastus

4.1 Yleistä

Rakenteen tai laitteen kaatumisriski on yleensä seurausta joko rakenteen tai sen perustusten ikääntymisestä tai pettämisestä tai jostakin muusta ns. erikoiskuormitustilanteesta. Taulukossa 2 luetellaan yleisimpiä kaatumisriskin aiheuttajia ja syitä kohteittain siinä järjestyksessä, kuin ne ovat tulleet esille tutkimuksen aikana. Listasta puuttuu kohteita ainakin energian- ja elintarviketuotantoon liittyviltä teollisuuden aloilta. Lisäksi ainakin maataloudessa on käytössä korkeitakin säiliöitä, jotka kaatuessaan saattavat aiheuttaa huomattavia vahinkoja. Tavoitteena oli identifioida mahdollisia kohteita (laitteita, laitetyyppejä ja rakenteita), jotka sopivat rajaukseen olemaan “kaatuessaan vaaraa aiheuttavia rakenteita”. Vierailuissa teollisuuskohteissa voitiin löytää lähinnä taulukon 2 mukaisia kriteerit täyttäviä kohteita. Myöhemmissä kohdissa käsitellään taulukon 2 tapauksia sekä sitä, miten sortumia voitaisiin tapauksissa pyrkiä estämään tai miten mahdolliset ongelmat voitaisiin ehkä havaita ennalta.

Taulukko2. Esimerkkejä kaatuessaan vaaraa aiheuttavista rakenteista ja kaatumisen riskitekijöistä teollisuudessa.

Laite tai rakenne	Kaatumisriskin todennäköisin aiheuttaja
Satamanosturit	Satamalaiturien perustusten pettäminen
Betoniset savupiiput	Perustusten pettäminen, maaperän muutokset
Teräksiset savupiiput	- - ja lisäksi rakenteen materiaalin väsyminen
Prosessitornit	Perusten pettäminen, maaperän muutokset
Tornimaiset rakenteet	Riittämätön tuenta, törmäykset, suunnitteluvirheet
Erilaiset pystyt säiliöt	Perustusten pettäminen, maaperän muutokset
“Maitokannusäiliöt”	Perustusten pettäminen, maaperän muutokset
Kuljetinrakenteet	Yleensä törmäys- tai muut erikoiskuormat, palo
Tiiliseinät	Kiinnikkeiden korrosio, törmäyskuormat
Prosessilaitteet	Esimerkiksi tulipalo, jos palovaarallisia aineita
Suunnitteluvirheet	Käyttöönottoaiheen varmistus
Rakentaminen	Yleisriski lisääntyneen toiminnan takia
Muutostyöt	Vanhon rakenteiden vaikutus uusiin
Tulipalovaara	Tulipalon vaikutus teräksen kestävyys
Liikenne	Rakenteiden riittämätön törmäyssuojauk

Kohdassa 4.3 käsitellään kronologisesti rakennuksen käyttöiän aikana ilmeneviä rakenteiden kaatumisriskejä siten, että kohdassa selvitetään kuhunkin vaiheeseen liittyvät suurimmat kaatumiseen liittyvät riskitekijät ja niiden erityispiirteet.

4.2 Esimerkkejä vaurioista sekä mitoitusohjeita

4.2.1 Nestesiilojen rakenteet

Siiloissa on yleensä useampia kuoria, jotka liittyvät toisiinsa. Liitoksesta käytetään englanninkielisessä kirjallisuudessa nimitystä “transition junction”, koska siinä yleensä liittyvät toisiinsa itse sylinterimäinen siilo, sen poistosuppilo sekä siilon mahdollinen ‘hame’ tai liitoksen alapuolinen sylinterimäinen siilon seinämän osa, joilla saattaa myös olla erilainen paksuus. Siilon jalat aiheuttavat pistemäisiä kuormituksia ja siis lisää jännityshuippuja. Eri tarkoituksia varten siilon pohja renkaan alapuolella voi olla joko täysin vaakasuora (yleensä nestesäiliöissä) tai kartiomainen (viljasiiloissa yms.). Joissakin tapauksissa kartiota on jatkettu edelleen lieriömäisellä osalla (nestemäisten aineiden säiliöissä).

Lieriösiilon ja sen alapuolisen kartion liitoskohdat ovat kestävyyskannalta kriittisimpiä, koska niihin muodostuu merkittäviä paikallisia jännityshuippuja, joita yritetään pienentää rengasteräksellä. Liitos onkin siilojen suunnittelun kannalta kaikkein merkittävin yksityiskohta, missä siilokuormat aiheuttavat vaippaan suuria tangentialivoimia ja jännityksiä. Niiden takia liitokseen on usein hitsattu rengasmaisen teräsprofiili tukemaan siilon seiniä. Vaikka vaipan jännityksiä voi tällä tavoin pienentää, sen muodonmuutokset kasvavat. Teng ja Rotter ovat kirjoituksessaan /3/ tutkineet siilon liitosta ja havainneet, että siilon vaippa puristuu erityisesti jäykisteen takia voimakkaasti sisäänpäin aiheuttaen vaurioita ja ns. alkumuodonmuutoksen pystykuormien suhteen.

Kirjoituksessa /4/ tarkastellaan kartionmuotoisten säiliöiden herkkyyttä erilaisille seinämiin paksuuden suuruisille alkumuodonmuutoksille (pystysuuntainen vaihtelu ja kartion poikkileikkauksen soikeus) ja seinämien hitsien jäännösjännityksille. Tutkimuksessa todetaan, että täysin oikeanmuotoisissa kartiosäiliöissä voi tapahtua paikallinen lommahdus kuoren alaosassa johtuen korkeasta meridiaanin suuntaisesta puristusjännityksestä. Analyyseissä on todettu, että soikean muodon sijasta ns. aksisymmetrinen (aiheuttaa pystysuuntaista muodon vaihtelua) muotovirhe aiheuttaa pienimmän kriittisen kuorman nesteellä kuormitetuissa tankeissa.

Toisen asteen teorian mukaisissa analyyseissä /4/ on voitu myös todeta, että käyttämällä myötölujittuvaa materiaalimallia tankeissa, joiden mitat ovat käytännöllisiä, tapahtuu myötämistä, ennen kuin saavutetaan säiliön kimmoinen stabiliteetti. Täten näiden

rakenteiden analyysi pitää suorittaa käyttäen toisen asteen teoriaa. Analyyseissä voitiin myös havaita, että tangentinsuuntaisten hitsien aiheuttamalla jäännösjännityksillä oli paljon merkitystä kriittiseen kuormaan, kun taas pituussuuntaisilla hitseillä ei ollut mitään vaikutusta. Analyysien tuloksien mukaan tankin seinämän paksuuden kokoisten muotoepiteamien kriittistä kuormitusta pienentävä vaikutus oli 35 - 40 % riippuen valitusta muotovirheestä. Analyyseissä voitiin myös havaita, että muotovirheen vaikutus oli suurempi korkeilla tankeilla kuin leveämmillä. Lisäksi voitiin havaita, että tankin seinämän ohentamisella oli suuri kriittistä kuormaa pienentävä vaikutus.

Kirjoituksessa /5/ selvitetään käytännön ongelmia, joita esiintyy nesteellä täytettyjen pystyjen terästankkien seismisessä suunnittelussa. Tutkimuksessa tehtiin johtopäätös, jonka mukaan paikallinen stabiliteetti, johon vaikuttaa sisäpuolinen paine, ja tukirenkaiden säteensuuntainen joustavuus olivat pääasialliset tankin lommahduskestävyyteen vaikuttavat tekijät. Lisäksi voitiin havaita, että nykyisillä mitoitusohjeilla tankin globaalilla stabiliteetilla tai sen globaaleilla murtumismuodoilla ei vaikuta useinkaan olevan kovin suurta merkitystä sen kestävyyteen.

Artikkelissa /6/ on koottu pyöreiden teräsrakenteisten siilojen viimeaikaisia rakennetutkimusten tuloksia. Aiheita, joita on käsitelty, ovat mm. seuraavat:

1. sylinterikuorien lommahdus, joka aiheutuu esimerkiksi
 - aksiaalisen puristuksen vaikutuksesta (ympäri kiertävät levyjen päällekkäis- ja hitsiliitokset saattavat pahentaa tilannetta)
 - sisäpuolisista painevaikutuksista (esim. kiinteät varastoituvat massat)
 - varastoidun bulkkimateriaalin omasta jäykkyydestä
 - pilaritukien vaikutuksesta
2. profiloidusta teräksestä tehtyjen sylinterisiilojen ortotrooppiset kimmoiset ominaisuudet eri suunnissa sekä profiloidusta teräksestä tehtyjen lieriöiden plastinen sortuminen, joka johtuu aksiaalipuristuksen ja varastoidun materiaalin sisäpuolisen paineen yhteisvaikutuksesta
3. tyhjennyssuppiloiden myöntäminen ja murtuminen täytön ja tyhjennyksen aikana
4. terässiilon lieriön ja kartion liitoksen tukirenkaan kimmainen tai plastinen nurjahdus
5. terässiilon lieriön ja kartion liitoksen plastinen murtuminen.

Artikkeliin on myös koottu huomattavan suuri kirjallisuusluettelo (mm. 48 artikkelia) terässiilojen rakenteellisista ongelmista ja niistä tehdyistä tutkimuksista.

Kirjoituksessa /7/ kuvataan ammoniakkin varastointiin tarkoitettun tankin vauriota, missä kolmasosaan täytetty tankki sortui sen sisälle muodostuneen tyhjiön vaikutuksesta. Kirjoituksessa on ohjeina mainittu erityisesti, että

1. vakuumin muodostuminen säiliön sisälle saattaa olla melkoinen riski säiliöille
2. säiliön mittalaitteiden kunnosta pitää huolehtia
3. säiliön mittalaitteita uusittaessa pitää kiinnittää huomiota alkuperäisen laitteen spesifikaatioihin niin, että vanhat osat korvataan täysin vastaavilla uusilla.

Tutkimuksen lähtökohtana toiminut nestesäiliön vauriotapaus on kuvattu lähteessä /1/. Sen tutkijalautakunnan suositusten mukaisesti aloitettiin uusi Työsuojelurahaston rahoittama tutkimus, jossa kehitetään paineettomien säiliöitten suunnittelua koskevia ohjeita.

4.2.2 Muut siilot ja korkeat rakenteet

Kiinteiden aineiden varastointiin käytetään terässiiloja. Kirjoituksessa /8/ kuvataan pienoismalleilla tehtyjä pystymallisten terässiilojen tyhjennyksiä, jotka voivat tapahtua joko keskeisesti tai epäkeskeisesti, sekä tyhjennystapojen vaikutusta siilon lommahdukestävyyteen. Tutkimuksessa voitiin havaita, että keskeisesti tyhjentävä siilo käyttäytyy erittäin hyvin ja on erittäin kestävä lommahduksen suhteen, mutta epäkeskeisesti tyhjentävä siilo saattaa olla erittäin altis lommahdukselle ja sortumiselle. Tutkimuksessa voitiin havaita, ettei mikään suunnitteluteoria kunnolla käsittelee epäkeskeisesti tyhjentävän siilon mahdollista lommahdusta ja että tarvittaisiin uusi teoria ja lisää kokeellista tietoa, jotta voitaisiin tarkentaa epäkeskeisesti tyhjentävän siilon mitoitusta.

Kirjoituksessa /9/ käsitellään teräksisten korkeiden sylinterimäisten 19 vuotta vanhojen vehnävarastosiilojen erästä vauriotapausta Zaireissa v. 1991. Vauriossa lieriön alaosaan liitetty tyhjennyskartio murtui yllättäen siiloa tyhjennettäessä. Tutkimuksessa paljastui, että vaurio johtui kartion yhteenpultattujen levyjen liitoksen irtoamisesta, koska pulttiliitokset olivat alamittaisia. Jäljellä olevat siilot vahvistettiin hitsaamalla kartiovaipan teräslevyt yhteen, jolloin pulttiliitosten kuormitukset lähes poistuivat ja rakenteen suurimmat jännitykset laskivat lähes puoleen ja todennäköisyys uusiin vaurioihin pieneni olennaisesti.

Tutkimuksen aikana tuli erään vauriotapauksen yhteydessä ilmi, että esimerkiksi Suomessa on maataloudessa käytössä monia korkeita teräsrakenteisia rehusiiloja, joista ainakin osa on valmistettu ulkomailla jo 1970-luvulla ja asennettu nykyiselle paikalleen

vasta 1990-luvulla. Teräsrakenteen purkaminen ja asentaminen uuteen paikkaan pitää aina tehdä täysin samoilla ehdoilla kuin uuden rakenteen asennus ja käyttöönotto. Vaurion perusteella on mahdollista antaa seuraavia yleisiä ohjeita vastaavia metallilevyistä pulttiliitoksin koottuja uudelleenasetettavia kohteita varten:

- Mitoittavat kuormitukset tulee tarkistaa, ja ne saavat säiliön uudessa sijaintipaikassa olla enintään yhtä suuria kuin sen aiemmassa sijaintipaikassa.
- Rakenteiden materiaali pitää tarkistaa (lujuus, paksuus) ennen uudelleenasetusta ja ikääntyneet kohdat tai rakenneosat (koskee erityisesti kiinnityspultteja!) pitää uusida.
- Jos mahdollista, uusitut rakenneosat pitää uudelleenasetuksen yhteydessä sijoittaa rakenteen rasitettuihin kohtiin.

Muiden korkeiden rakenteiden, kuten erilaisten tornien ja savupiippujen, vaurioista tai sortumista on ollut melko hankalaa löytää kuvauksia joko siksi, että vaurioita ei ole ollut tai koska niistä ei ole haluttu kirjoittaa alan lehtiin. Hyvin suurten nostureiden vaurioista voi löytää tietoja lähinnä vain niiden valmistajilta, jotka ovat aktiivisesti pyrkineet pienentämään niiden kaatumisriskiä. Nykyisin monissa itsestään seisovissa nostureissa on usein vakiovarusteena tuulimittarit ja kovan tuulen varalta tartuntaelimet, joilla nosturi kiinnitetään kiskoihinsa myrskyn ajaksi. Kovalla tuulella nostureilla on yleensä käyttökielto. Tällöin vaurioituminen tai kaatuminen voi johtua lähinnä pelkästään inhimillisestä syystä eli jonkinlaisesta varomattomuudesta tai käyttövirheestä.

4.3 Kaatumisriskin aiheuttajat ja rakenteen käyttöikä

4.3.1 Suunnittelu ja valmistus

Eri vaurio- ja kuntotutkimusten perusteella on voitu havaita, että rakenteiden vaurioituminen ei yleensä koskaan johdu pelkästään yhdestä syystä, vaan mukana on yleensä aina useampia vaikuttavia tekijöitä, joiden vaikuttavuus vaihtelee. Lähes poikkeuksetta on rakenteiden suunnittelussa, valmistuksessa tai kokoonpanossa ollut jotain huomauttamista. Erityisesti sortumistapauksista on lähes aina löytynyt jokin suunnittelu- tai kokoonpanovirhe, mikä yhdessä joko ylikuorman tai muiden tavallisuudesta poikkeavien seikkojen kanssa on saanut aikaan rakenteen äkillisen sortuman.

Rakenteen kaatuminen itsessään ei ehkä aina ole suuri ongelma, jos rakenne voidaan korjata nopeasti, mutta sortumisen seurannaisvaikutukset saattavat olla paljon suurempi vaiva, koska prosessilaitoksissa saattaa tulla pitkiä seisokkeja tai rakenne ehkä

kaatuessaan aiheuttaa myös muuta tuhoa. Täten ainakin tiiviisti rakennetuille tehdasalueille rakennettavien kaatuessaan vaaraa aiheuttavien rakenteiden suunnittelussa, vaikka ne eivät olisikaan rakenneluokan 1 rakenteita, olisi suotavaa käyttää pääsuunnittelijaa, jolla on rakennusluokkaa 1 vastaava pääsuunnittelijan pätevyys, koska rakenteesta sen mahdollisesti kaatuessa saattaa olla vaaraa myös ihmisille tai ympäröiville rakenteille, joissa voi samanaikaisesti olla runsaastikin ihmisiä. Rakennusluokat on teräsrakenteiden suunnitteluohjeessa B7 /10/ määritelty taulukon 3 mukaisesti. Taulukon 3 luokittelu koskee lähinnä teräsrunkoisia rakennuksia mutta myös korkeita erikoisrakenteita, kuten mastoja ja torneja.

Taulukko 3. Rakenneluokat ohjeen B7 mukaan /10/.

Luokka	Rakenne-esimerkkejä
1	Rakennukset, joissa usein on suuri joukko ihmisiä, kuten - vähintään 4-kerroksiset asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot. Teollisuuden raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rungot. Erikoisrakenteet, kuten - suuret mastot ja tornit.
2	Rakennukset, jotka eivät kuulu luokkiin 1 tai 3.
3	2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten - pienet varastot - pienet maatalouden tuotantorakennukset.

Yleisesti ottaen rakenteiden ei pitäisi sortua rakenteellisista syistä, jos niiden suunnittelussa on noudatettu kaikki ohjeita ja määräyksiä ja kaikki alkuolettamukset pysyvät voimassa. Kuitenkin, koska osa rakenteista ja laitteista on alttiina luonnonkuormille, jotka joskus ylittävät mitoitusarvonsa, ne voivat sortua, jos suunnittelussa ei ole kiinnitetty riittävää huomiota rakenteiden sitkeyteen ylikuormitustilanteissa. Rakenteen sitkeyden merkitystä ei ole korostettu suomalaisissa rakennesuunnitteluohjeissa, mutta Euronormien (EC3 /11/) kohdan 2.1 (3) mukaan

“Mahdollinen vaurio pitää rajata tai estää valitsemalla sopivasti käyttöön yksi tai useampia keinoja alla esitetyistä:

- välttämällä, poistamalla tai pienentämällä riskejä, jotka vaikuttavat rakenteeseen
- valitsemalla rakenteelle sellainen muoto, jolla on vain pieni herkkyys niille riskeille, jotka tulevat kyseeseen sekä valitsemalla rakenteelle sellainen muoto ja mitat, joiden avulla rakenne voi riittävästi toipua yksittäisen rakenneosan poistamisesta

- sitomalla rakenteet yhteen.”

Vaikka rakenne siis myötäisi paikallisesti eli vaikka “rakenneosa poistuisi” lujusteknisesti, kuormien tulee voida jakautua uudelleen ilman, että rakenne sortuu. Samoin ohje kehottaa sitomaan rakenneosat yhteen, mikä tarkoittaa sitä, että vaikka palkin ja pilarin liitos myötäisi, palkki ei silti saa päästä putoamaan tultaan ja aiheuttamaan rakennuksessa esim. jatkuvaa sortumaa. Suunnitteluohjeessa B7 /10/ ei ole annettu mitään erityisohjeita jatkuvan sortuman estämiseksi, mutta vähentämällä rakenteeseen kohdistuvia riskejä EC3:n mukaisesti myös jatkuvan sortuman vaara pienenee.

Kantavan rakenteen jännitysten pitää mitoituskuormilla yleensä olla myötörajan alapuolella, paitsi joillakin erikoisrakenteilla (esim. ohutuumapalkeilla, joiden uuma saa lommahtaa). Ohutlevyjen ja muiden sekundäärirakenteiden rakenteen oletetaan lommahtavan paikallisesti, vaikka kuormitus ei ylittäisikään mitoituskuormia.

Jos teräsrakenne sortuu ilman, että on saavutettu myötöraja kantavissa rakenneosissa, kyseessä on lähes poikkeuksetta joko suunnitteluvirhe tai rakenteen ns. hauras toiminta, joka sekin voidaan ainakin osittain katsoa suunnittelusta johtuvaksi virheeksi tai laatu-ongelmaksi. Suoranaiset suunnitteluvirheet pitäisi luonnollisesti välttää kokonaan sopivalla laatujohtamisella, mutta tässä raportissa ei ole tarkoitus luetella kaikkia mahdollisia suunnitteluvirheitä. Tyypillisiä suunnittelusta, valmistuksesta tai asentamisesta johtuvia riskejä luetellaan taulukossa 4.

Rakenteiden vaatimuksenmukaisuuden toteaminen perustuu rakennemateriaaleista, rakennustuotteista ja rakenteen valmistamisesta annettuihin ns. sovellettaviin standardeihin, jotka on mainittu Teräsrakenteiden suunnitteluohjeen B7 /10/ liitteessä.

Joskus erilaisia pulttiliitoksin koottuja säiliöitä halutaan siirtää paikasta toiseen. Tällaisissa tilanteissa pitäisi rakenteiden ja niiden liitososien kunto tarkastaa ja mahdollisesti ikääntyneet osat (erityisesti pultit!) korvata uusilla tai ainakin varmistua siitä, että käytettyjen osien kestävyys vastaa niiden uutta käyttötarkoitusta ja siitä aiheutuvaa kuormitusta. Esim. maataloudessa käytettyjen rehusäiliöiden kuormitus (rehun tilavuuspaino) vaihtelee Suomessakin eri paikkaseuduilla runsaasti, vaikka säiliön käyttötarkoitus on siis täysin sama!

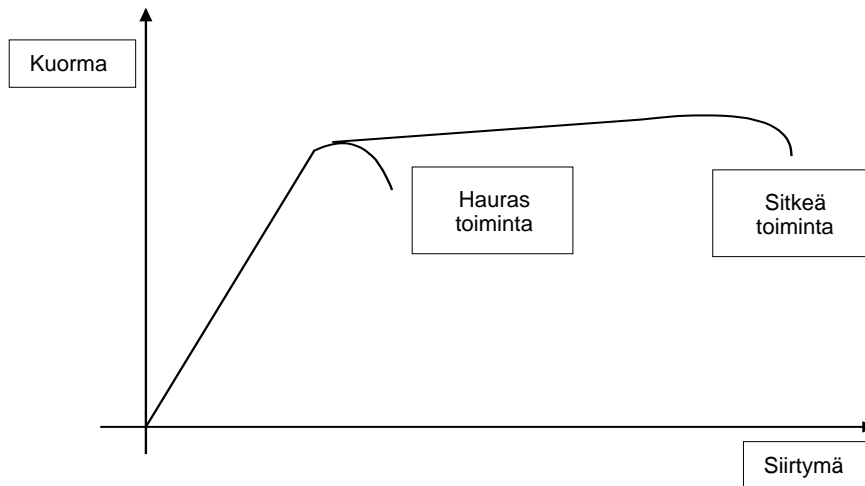
Taulukko 4. Rakenteen kaatumiseen vaikuttavia suunnittelu- tai valmistusteknisiä syitä ja vaikutuksia.

Kaatumisriskiä aiheuttavia	Vaurioitumistapa
Mitoituskuorman ylittävä kuormitus	
– erikoistilanne, kuten koetäyttö tms.	Sitkeä tai hauras käyttäytyminen
– rakentamisen aikaiset tilanteet	Sitkeä tai hauras käyttäytyminen
Suunnitteluvirheet	
– raudoituksen suunnitteluvirheet	Esim. paalutetun anturan leikkautuminen
– virheet lähtötiedoissa	Sitkeä tai hauras käyttäytyminen
– karkeat suunnitteluvirheet	Yleensä sitkeitä muodonmuutoksia
– pienet suunnitteluvirheet	Ei yleensä yksinään ongelmia
Valmistus- ja asennusvirheet	
– hitsien virheet	Sitkeä tai hauras käyttäytyminen
– kolhiintumat yms.	Alkukäyryden aiheuttamat riskit
– kokoonpanoliitosten virheet	Erityisesti vedetyt pulttiliitokset
Virheet uudelleenasetuksessa	
– ikääntyneet osat uusittava	Haurastuminen, korroosiovauriot

4.3.2 Rakenteen sitkeä tai hauras toiminta

Termiä ‘rakenteen hauras toiminta’ käytetään tässä kuvaamaan kaikkia sellaisia rakenteen raskuuksia, joissa rakenne toimii ensin kimmoisesti mutta saavutettuaan myötö- tai stabiliteettirajansa menettää pian tai äkillisesti kantavuutensa tai kokonaisstabiliteettinsä. Alttius hauraaseen käyttäytymiseen koskee sekä teräs- että betoni- ja puurakenteita, eikä se aina ole suunnittelijan virhe, koska joissakin tapauksissa se saattaa johtua myös muista seikoista, kuten esimerkiksi rakenteen valmistuksesta (esim. hitsien tai hitsauksen virheistä tms.) tai muista suunnittelijan myöhemmin tekemistä valinnoista. Rakenteen hauraus voi johtua myös rakenteiden tai rakennustuotteiden puutteista liittyen niiden vaatimuksenmukaisuuteen, jonka toteaminen rakenteen vastaanottovaiheessa ei ehkä ole ollut riittävää.

Sitkeän ja hauraan käyttäytymisen eroon kannattaa kiinnittää huomiota, koska yleensä sitkeästi käyttäytyvät rakenteet ilmaisevat sortumisvaaran etukäteen isoilla muodonmuutoksilla. Sen sijaan rakenteen tai sen yksityiskohdan haurasta käyttäytymistä ei voi helposti havaita etukäteen, ja siksi rakenne voi sortua varsin nopeastikin ja vaaraa aiheuttan (kuva 3).



Kuva 3. Rakenteen sitkeän ja hauraan toiminnan ero.

4.3.3 Käyttö ja ylläpito

Rakenteille laaditaan harvoin erityistä huolto-ohjelmaa samoin kuin teknisille laitteille. Tutkimuksissa onkin voitu todeta, että käytön aikana rakenteisiin kohdistuu lähinnä taulukossa 5 mainittuja riskejä ja, jos kyseessä ovat korkeat rakenteet, saattaa aiheutua myös kaatumisriski, jos rakenne ei käyttäydy sitkeästi. Monissa tutkimuksissa on havaittu, että inhimillinen toiminta on merkittävä riskitekijä. Muu toiminta voidaan olettaa yhdeksi syyksi myös niissä tapauksissa, joissa rakennusten lähistössä suoritettu uudisrakentaminen on muuttanut olemassa olevien rakenteiden perustusolosuhteita.

Rakentamisen tai rakennuksen käytön aikana suoritetaan ylläpitoa ja korjauksia, jotka ovat yleensä vähemmän kaatumisriskialttiita toimenpiteitä. Sen sijaan käytön aikana kaatumisriskiä lisäävät rakenteisiin tehtävät muutostyöt sekä luonnollisesti rakenteiden ikääntyminen. Mikäli luonnonkuormat ovat rakenteissa ensisijaisia kuormituksia, on jo suunnittelussa otettava huomioon se, että tilastollisesti laaditut lumi- ja tuulikuorma-arvot todennäköisesti joskus ylitetään, jolloin rakenteen tulee kestää mahdolliset lyhytaikaiset ylikuormat.

Taulukko 5. Rakenteen kaatumiseen sen käytön aikana vaikuttavia syitä.

Kaatumisriskiä aiheuttavia	Vaurioitumistapa
Mitoituskuorman ylittävä kuormitus	
– ylisuuri lumi- tai tuulikuorma	Yleensä sitkeä käyttäytyminen
– erikoistilanne, kuten koetäyttö tms.	Sitkeä tai hauras käyttäytyminen
– törmäyskuormat	Yleensä sitkeä käyttäytyminen
Tulipalovaara	
– paikalliset tulipalot	Yksittäisten osien sortuminen
– laajemmat tulipalot	Jatkuva sortuma
Perustusten pettäminen	
– esim. pohjan kuivuminen	Yleensä sitkeä käyttäytyminen
Valmistus- ja asennusvirheet	
– kokoonpanoliitosten virheet	Eryteisesti vedetyt pulttiliitokset
Mahdolliset käyttövirheet	
– ylikuormat kielletyillä alueilla	Ohjeiden noudattaminen vaikeaa
– vieraan työvoiman käyttö	Loukkaantumisriski
Seurannaisvaikutukset	
– suojaus puutteellista	Ennakoimattomia kuormituksia

4.3.4 Riskien arviointi ja tarkastukset

Teräsrakenteet

Teräsrakenteiden osalta kaatuessaan vaaraa aiheuttavien rakenteiden riskien kartoitus voidaan tehdä kahdessa vaiheessa, jotka yleensä aina perustuvat tarkastajan ammattitaitoon ja kokemukseen rakenteiden käyttäytymisestä ja niiden ominaisuuksien muuttumisesta pitkän ajan kuluessa. Tarkastusta ei voida suorittaa kokonaisuudessaan kunnolla millään kyselytekniikalla, koska rakenteet ovat melko harvoin säännöllisen ylläpidon piirissä eikä henkilöillä ole käytännössä mitään mahdollisuuksia muistaa riskin kartoituksessa olennaisia yksityiskohtia. Rakenteiden tarkastamisessa tarvitaan aina seuraavat kaksi vaihetta, joista ensimmäistä käsitellään tarkemmin liitteessä A:

- silmämääräinen rakenteiden kunnon tarkastus
- piirustuksiin ja muihin suunnitteludokumentteihin perustuva tarkastus.

Käytännössä oma kokonaisuutensa muodostuu erilaisten säiliöiden koetäytöistä yms. toimista, jotka eivät kuulu normaaleihin rutiineihin.

Betonirakenteet

Betonirakenteiden osalta kaatuessaan vaaraa aiheuttavissa rakenteissa ovat riskitekijöinä paitsi ulkoiset kuormitustekijät, jotka voivat muuttua, myös joissakin tapauksissa betonirakenteen muoto ja sen yleiset vaurioitumisominaisuudet. Tyypillisiä kysymykseen tulevia rakenteita ovat savupiiput. Myös muista materiaaleista rakennettujen korkeiden rakenteiden perustukset ja niiden kunto on havaittu merkittäviksi riskitekijöiksi kaatumisen suhteen. Betonirakenteiden kunnan tarkastaminen voidaan suorittaa liitteessä B esitetyn menettelyn mukaisesti. Siinä olennaisia selviteltäviä seikkoja ovat

1. perustamisolosuhteet ja muut ympäristössä tapahtuvat muutokset
2. kuormitusolosuhteissa tapahtuvat muutokset
3. suunnittelu-, rakennus-, käyttö- ja kunnossapidon laiminlyönnit.

Tutkimuksessa selvitettiin rakenteita, joiden yhteydessä voidaan puhua kaatumisriskistä, sekä kaatumiseen mahdollisesti vaikuttavia syitä (taulukossa 4). Kaatumisriskiä on mahdollista pienentää, mikäli suunnittelija on riittävän pätevä (rakennusvaihe) ja rakenteelle laaditaan sopiva kunnontarkastusohje (käytön aikana), jota noudatetaan.

5. Yhteenveto

Tutkimuksessa määriteltiin joukko teollisuudessa käytössä olevia rakennetyyppejä, joiden käyttöön liittyy mahdollinen kaatumisriski. Riskit pyrittiin arvioimaan rakenteen käyttöön suhteen ja tutkimuksessa esiteltiin myös menetelmä kaatumisesta aiheuttavien mahdollisten seurausten riskien selvittämiseksi ja tunnistamiseksi.

Rakenteen kaatumisriski voi johtua sen suunnittelussa, valmistuksessa tai asennuksessa tapahtuneesta virheestä tai puutteesta, jolloin riittävän pätevällä suunnittelulla ja asiantuntevalla rakenteiden pystyttämällä (työnjohto) voidaan välttää pahimmat ongelmat. Jos rakenteen tai sen osien vastaanotto ja vaatimuksenmukaisuuden toteaminen (ja mahdollinen koetäyttö) on tehty huolellisesti, rakenteen käytön aikainen kaatumisriski voi olla pienempi. Käytön aikana merkittävimmit seikoiksi nousevat rakenteen käyttöikä ja sen ympärillä tapahtuvaan inhimilliseen toimintaan (esim. liikenteeseen) liittyvät ja siitä mahdollisesti aiheutuvat riskit rakenteelle.

Kaatumisriskin kannalta merkittäviä tapahtumia ovat kaikki erikoistilanteet, joita ovat esim. koetäyttö, rakenteen purkaminen ja siirto toiseen paikkaan sekä esim. ympärillä tapahtuva uudisrakentaminen yms. toimet. Kaikissa tapauksissa vastuiden oikea ja riittävä kohdistaminen vähentää onnettomuusriskien mahdollisuutta.

Tutkimuksessa laadittiin kolme ohjetta:

- Ohje paineettoman säiliön koetäyttösuunnitelman laatimiseksi (liite A).
- Teräsrakenteen kunnon tarkastusohje (liite B).
- Teräsbetonirakenteen kunnon tarkastusohje (liite C).

Tutkimuksessa kartoitettiin eri maissa säiliöille tapahtuneita onnettomuuksia sekä niihin johtaneita syitä. Kirjallisuusviitteistä poimittiin käsittelyyn erilaisiin paineettomiin säiliöihin liittyviä suunnittelu- ja mitoitusseikkoja ja ongelmia ja niiden ratkaisutapoja. Suuren osan suunnitteluun ja valmistukseen liittyvistä ongelmista on voitu havaita johtuvan rakenteiden riittämättömästä sitkeydestä, millä tässä yhteydessä tarkoitetaan sitä suunnitteluohjeiden perussääntöä, jonka mukaan rakenteen yhden osan mahdollisesti myötäessä (poistuessa) ei heti saisi tapahtua koko rakenteen sortumista, vaan kuormitusten pitäisi kyetä jakautumaan uudelleen.

Lähdeluettelo

1. Tarvainen, H. & Tammirinne, M. Foundation Failure of a Large Tank in the Paper Industry. *Technology, Law and Insurance*, 1998, 3, S. 19 - 23.
2. Massasäiliön kaatuminen Valkeakoskella 27.3.1996. Onnettomuustutkintakeskus. Tutkimusselostus B1/1996Y. 80 s. + liitt. 3 s.
3. Teng, J. G. & Rotter, J. M. Collapse Behaviour and Strength of Steel Silo Transition Junctions. Part I: Collapse Mechanics. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 117, No. 12, December 1991, s. 3587 - 3604.
4. El Damatty, A. A., Korol, R. M. & Mirza, F. A. Stability of Imperfect Steel Conical Tanks under Hydrostatic Loading. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 123, No. 6, June 1997, s. 703 - 712.
5. Guggenberger, W. Collapse Design of Large Steel Digester Tanks. *Thin Walled Structures*, Vol. 20, No. 1 - 4, pt 2, 1994, s. 109 - 128.
6. Teng, J. G. & Rotter, J. M. The Strength of Circular Steel Silos: New Investigations. National conference publication - Institution of Engineers, Australia. Vol. 2, No. 92, pt 7. IE Aust, Barton, Australia. S. 459 - 466.
7. Winegar, B. H. Partial Collapse of an Atmospheric Ammonia Storage Tank. Publ. by American Institute of Chemical Engineers, New York, 1980. S. 226 - 230.
8. de Clercq, H. Investigation into stability of a silo with concentric and eccentric emptying. *Civil Engineer in South Africa*, Vol. 32, No. 3, March 1990, s. 103 - 105, 107.
9. Gurfinkel, G. & Pecknold, D. A. Conical Hoppers of Tall Steel Tanks: Case History of Failure and Repair. *Journal of performance of constructed facilities*, May 1997, s. 50 - 57.
10. B7. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Teräsrakenteet, Ohjeet 1996. Ympäristöministeriö. Helsinki.
11. ENV 1993-1-1:1992, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, European Committee for Standardization, Bryssel.

Liite A: Ohje säiliöiden koetäyttösuunnitelman tekemiseksi

Teollisuudessa on käytössä hyvin erilaisia säiliöitä, joista rekisteröitäviä paineastioita koskevat mm. seuraavat hyödylliset standardit (lisäohjeita ja yksityiskohtia!):

- SFS 3321 Paineastiain tarkastus. Paineekoe. 1983.
- SFS 3270 Paineastiain tarkastus. Rakennetarkastus. 1979.

Standardissa SFS 3270 on paljon ohjeita, joita voi sellaisenaan soveltaa myös muihin säiliöihin, joiden rakenteita Turvatekniikan Keskus (TUKES) ei valvo. Säiliöiden rakenteiden ja toimivuuden tarkastuksesta vastaa teollisuuslaitos itse oman kunnossapito-ohjelmansa puitteissa ja menetelmin. Tässä tekstissä ei käsitellä paineastioita.

Tässä liitteessä on yleisiä ohjeita nestesäiliöiden koetäyttösuunnitelman laatimiseksi. Koska säiliöt on rakennettu ja asennettu hyvin erilaisia tarkoituksia varten ja eri olosuhteisiin, tätä ohjetta tulee soveltaa kussakin tapauksessa ottaen huomioon paikalliset olosuhteet ja niiden erot. Rakenteiden materiaalien tarkastuksia, jos sellaisia tarvitaan, varten on lähteessä /1/ esitetty erittäin kattava selvitys teräsrakenteisten nestesäiliöiden NDT-tarkastusten suorittamiseksi. Tarkastuksissa noudatetaan tietysti sovellettavan standardin ohjeita Teräsrakenteiden suunnitteluohjeen B7 /2/ mukaisesti.

Suunnittelu ja organisointi

Nestesäiliön koetäyttö suoritetaan yleensä sen asentamisen jälkeen ja poikkeustapauksissa myös muulloin, kuten esim. muutostöiden tai mahdollisten liittyvien osien kunnossapidon ja vaihdon yhteydessä, mutta ennen säiliön käyttöönottoa. Muutos-, uudelleen-asennus ja korjaustöissä on olennaisen tärkeitä hankkia korvaavat osat täysin samojen spesifikaatioiden mukaan kuin alkuperäiset rakenne- tai muut osat. Jos sellaisia ei enää ole saatavissa, pitää muutos hyväksyttää rakenteen tai laitteen suunnittelijalla tai ylläpidosta vastuussa olevalla taholla.

Koetäyttö on erikoinen kuormitustilanne, missä on tarkoituksena testata säiliön ja sen rakenteiden toimivuus ja rakenteellinen käyttäytyminen suurimmalla mahdollisella hyötykuormalla ja omalla painolla. Luonnonkuormien mahdollisesti tuomaa lisää ei yleensä huomioida. *Koetäyttö mielletään yleensä vain säiliön tiiviyskokeeksi, mutta se on myös rakenteen pystyssäpysymisen ja rakenteellisen toiminnan testi.*

Jos koekuormitus on mainittu säiliön asennustyöselityksessä, siitä vastaa säiliön asennuksesta vastuussa oleva tai tehtävään nimetty yritys. Koetäyttö ja sen suoritus pitää suunnitella erikseen ja siitä tiedotetaan asianomaisille, joita ovat mm.

- säiliön valmistaja ja/tai toimittaja
- tehtaan johto, kunnossapito ja mahdolliset viranomaistahot
- tehdasalueella oleskeleva tai liikkuva tilapäinen tai vakituinen henkilöstö sijaintinsa perusteella.

Koetäytöstä ja sen suunnittelusta tulee vastata sama pätevä henkilö, joka voi kuulua joko tehtaan omaan henkilökuntaan tai asennuksesta vastaavan yrityksen henkilökuntaan, missä tapauksessa hänelle tulee järjestää riittävät tiedot ympärillä olevien rakenteiden suunnitelmista (piirustukset) ja käytöstä.

Koetäyttöä suunniteltaessa yhteistyö toimivan tehtaan kanssa on tärkeää. Tarvittaessa paikalla oleva henkilöstö evakuoidaan koetäytön ajaksi (riippuu tiloista ja kaatumisriskistä tai sen mahdollisista haittavaikutuksista) ja alue eristetään liikenteeltä. Koetäytön tai sen suurimman kuormituksen ajankohta on valittava riskikartoituksen perusteella tehtaan toiminnalle sopivimpaan aikaan.

Ennakovalmistelu

Koetäytöstä vastuussa olevan on tehtävä vähintään seuraavat koetäyttöön tai sen suorittamiseen vaikuttavat tekijät tai suoritettava mainitut valmistelevat toimet:

- selvittää testattava rakenne ja sen vaurioitumisriskit koetäytössä sekä sen koetäytöstä mahdollisesti valmistajan antamat ohjeet (esimerkiksi koetäytön suoritustapa ja vaiheet, koetäytössä käytettävät aineet ja materiaalit tai tarvikkeet sekä säiliön mahdollinen puhdistustarve koetäytön jälkeen)
- suunnitella koetäytön aikainen rakenteen ja sen tilan seuranta ja mahdolliset mittaukset ja kriteerit rakenteen toimivuuden toteamiseksi ja koetäytön raportoimiseksi sekä antaa ohjeet koetäytön keskeyttämisestä tarvittaessa, jos rajat ylitetään
 - * koetäytön osalta luetellaan tarkkailtavat rakenteen kohdat ja rajat
 - * rakenteen toiminnan osalta määrätään mittaukset ja rajat
- selvittää ympärillä olevat rakennukset ja niiden toimintaan mahdollisesti kohdistuvat koetäytöstä tai sen epäonnistumisesta ja mahdollisista vaurioista aiheutuvat riskit

- laatia lopullinen koetäyttösuunnitelma ja lisäohjeet koetäytön suorittamiseksi ottaen huomioon em. kohdissa esille tulleet ohjeet ja määräykset sekä hyväksyttää suunnitelma tehtaan johdolla
- päättää koetäytön suorittavasta henkilöstöstä sekä koetäytön tarkka aikataulu riippuen mm. säiliön tuentojen ja lisälaitteiden toimitusaikataulusta ja täytön mahdollinen vaiheistus sekä hyväksyttää ne asianomaisilla ja/tai tehtaan johdolla
- tiedottaa asianomaisia ja tehtaan suojele- ja pelastustoimesta vastaavia koetäytöstä ja suunnitella koetäytön jälkeinen tilanne ja siitä tiedottaminen
- hankkia koetäytössä ja sen valvonnassa tarvittavat resurssit ja mittalaitteet yms.

Käytännön toteutus

Koetäyttö suoritetaan laaditun suunnitelman mukaisesti. Käytännön toteutuksessa on tärkeää, että kaikille työvaiheille ja tarkastuksille on nimetty vastuuhenkilöt. Koetäytön alkaessa ja sen aikana huolehditaan ainakin seuraavista tarkemmin koetäyttösuunnitelmassa käsitteystä seikoista:

- mitataan rakenteesta sen päämitat ja sen asema, jotta voitaisiin varmistua rakenteen ulkonaisesta vaatimuksenmukaisuudesta ennen sen koetäyttöä (rakenteen suunnittelijalta pitäisi saada tietyt koetäytössä seurattavat mitta-arvot, kuten esimerkiksi säiliön pystysuoruus tai sen sallittu poikkeama tai säiliön lieriömäisyys ja sen poikkeama tms.)
- asennetaan kaikki koetäytössä tarvittavat mittalaitteet ja muut täytössä tarvittavat täyttö- ja tyhjennysputkistot (mikäli käytetään erillisiä) ja resurssit
- suljetaan liikenne ja evakuoidaan ihmiset suunnitelluista kohteista ja ilmoitetaan koetäytön aloituksesta tehtaan suojelehenkilöstölle
- johdetaan ja valvotaan koetäyttöä ja mittauksia koetäytön aikana
- koetäytön jälkeen puretaan ylimääräiset rakenteet ja mittaukset sekä raportoidaan koetäytön onnistumisesta tai siinä havaituista ongelmista.

Säiliöiden käyttöönoton jälkeen on syytä tehdä rakenteiden tarkastus, jotta nähdään, kuinka ne ovat kestäneet ensimmäisissä todellisissa kuormitustilanteissa, jolloin niihin on kohdistunut suurin kuormitus (mitoituskorma). Säiliöiden kaatumisriskejä mahdollisten ympäristön muutosten takia on käsitelty enemmän kohdassa 3.4.

Lähdeluettelo

1. Lansing, R. W. & Mills, K. E. NDT and Evaluation of Liquor Tanks. TAPPI Eng. Conference Proceedings (Book 1), Seattle 1990. S. 399 - 404.
2. B7. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Teräsrakenteet, Ohjeet 1996. Ympäristöministeriö. Helsinki.

Liite B: Teräsrakenteiden kunnan tarkastus

Teräksisten rakennusten ja rakenteiden kunnan tarkastaminen on syytä antaa ammattilaisten tehtäväksi. Rakennevirheet ja esimerkiksi ylikuorman aiheuttamat vauriot tai niiden riskit voi etukäteen nähdä vain erittäin kokenut rakennesuunnittelija tarkastamalla rakennepiirustukset ja -laskelmat. Rakenteita tai niiden käyttötarkoitusta mahdollisesti muutettaessa pitää huolellisesti tarkastaa huolellisesti jäljelle jäävien rakenteiden kestävyys. Rakennuksen käytön aikana rakenteet kannattaa tarkistaa ajoittain. Rakenteiden vaatimuksenmukaisuus pitää myös sen käytön aikana todeta tarvittaessa kokeellisesti vertaamalla sen mittaus- ja ainettarikkomattomia testaustuloksia sovellettavissa standardeissa annettuihin arvoihin.

Teräsmateriaalin ominaisuuksista johtuu, että rakenteiden sortuminen tai vaurioituminen voi tapahtua joko sitkeästi tai hauraasti. Rakenteen sitkeä toiminta koostuu sen paljaalla silmällä näkyvistä muodonmuutoksista ja taipumista. Taipuminen ei yleensä ole ongelma, ellei se ole liian suurta verrattuna sallittuun taipumaan, joka määrätään rakenteen toiminnallisista seikoista (esim. kuorirakenteiden kiinnipysyminen, lumen kinostuminen, tms.). Rakenteen hauraan käyttäytymisen merkit ovat vain harvoin tai ehkä vain sattumalta havaittavissa ennen vaurioitumista tai sortumista, joka yleensä tapahtuu äkillisesti. Ennakoivia merkkejä ongelmasta voi olla esimerkiksi rakenteen värähtely tai sen kuorien irtoaminen tai yllättävät vesivahingot tms. muutokset verrattuna normaaliin tilanteeseen. Rakenteiden sortumisriskiä pienentää kokeneen suunnittelijan käyttö. Ohje B7 antaa ohjeen käyttää pääsuunnittelijaa, jolla on rakenneluokka 1:n pätevyys.

Listassa on lueteltu satunnaisessa järjestyksessä seikkoja, joita kannattaa tutkia rakenteita ja niiden kuntoa silmämääräisesti tarkastettaessa:

1. Rakenteiden luonnonkuormat

Mitoituslumikuorma on tilastollinen arvo, joka voi joskus ylittyä. Ylikuorma saattaa johtaa vaurioon, ja siksi katolla olevaa lumimäärää pitää valvoa, erityisesti keväällä, kun lumen vesipitoisuus on suuri. Myös tuulikuorma saattaa aiheuttaa vaaroja.

2. Rakenteiden pulttiliitosten kunto

Rakenteiden pulttiliitokset pitäisi tarkastaa määrävuosittain. Jos on mahdollista päästä tarkastamaan eri rakenneosien välisiä pulttiliitoksia läheltä, niistä pitää tarkastaa ainakin seuraavat kohdat:

- Pulttien kireyden voi tarkistaa silmämääräisesti tai esim. vasaralla. Löysä pultti antaa erilaisen äänen kuin kireä pultti (tutkimuksissa on voitu havaita, että teräspulttien

kiristyksessä suunnitteluohjeen B7 /1/ mukaisen vääntömomentin käyttö ei välttämättä takaa pultille riittävää kireyttä, jos kiristysmenetelmä tai työtapa on väärä).

- Liitoksessa toisiinsa kiinnittyvien osien väliset raot, joita ei suunnitteluohjeen mukaan saisi olla, koska ne kertovat liitospulttien mahdollisesta löystymisestä. Löysät pultit saattavat aiheuttaa liitettyihin levyihin taivutusrasituksia, joita ei liitoksen mitoituksessa ole otettu huomioon.
- Muttereiden aukikiertämisen käsin ei pitäisi olla mahdollista, ja kaikki löysät mutterit pitäisi kiristää ainakin kerran rakenteen pystyttämisen jälkeen
- Onko käytetty mitään menetelmää pulttiliitosten kiinnipysymisen varmistamiseksi (esim. rikottu kierteet tai käytetty varmistusmutteria).

3. Rakenteiden hitsausliitosten kunto

Rakenteiden hitsit pitäisi tarkastaa sekä valmistuksen laatujärjestelmän mukaisesti että rakenteiden vastaanottotarkastuksen yhteydessä paikalla. Hitseistä voi tarkastaa,

- onko hitseissä havaittavissa halkeamia tai muita muutoksia (esim. maalipinnan halkeamista hitsien reunojen kohdilla tms.). Havaitut hitsivirheet pitää mitata ja verrata niitä sovellettavaan standardiin.
- onko hitseissä havaittavissa korroosiota.

4. Rakennusten rakenneosien kunto

Säiliöiden tarkastamisessa voi käyttää samoja periaatteita kuin rakennusten rakenneosien kuntotarkastuksissa. Jos rakenteiden kuormitukset ovat staattisia, ne eivät aiheuta värähtelyjä tai väsymistä. Jos rakenteeseen kohdistuu väsyttäviä kuormituksia, erityisesti hitsausliitosten määrävälein tapahtuva huolellinen tarkastaminen on tärkeitä. Tällöin on tärkeitä tietää rakenteen hitsien ns. käyttöasteet (rakennelaskelmissa!) ja kohdistaa tarkastukset eniten rasitettuihin kohtiin. Jos väsyttäviä kuormituksia ei ole, voi kuitenkin olla hyödyllistä tarkastaa rakenteet ja sen rasitetuimmat liitokset kovan tuulen aikana, koska tuuli on dynaaminen kuorma, joka helposti löysyttää kiinnityksiä, joiden kireys ei ole riittävä tai joita ei ole alun perin varmistettu. Kriittiset tai ns. rasitetuimmat kohdat voi todeta rakennelaskelmista. Tarkastettavia kohtia ovat esim:

- pilarien ala- ja yläpään kiinnitykset kattokannattajiin ja hallin pitkien sivujen tuuliristikoiden liitokset mahdollisten löystyvien pulttien tai muiden ongelmien takia

- hallin tai rakenteiden ulkokuorien (profiilipelti, villakasetti tms.) kiinnitysruuvien kiinnipysyminen. Kuorien irtoaminen voi helposti johtaa rakenteiden sortumiseen tuulen paineen kohdistuessa eri kohtiin kuin on suunniteltu
- onko rakenteeseen tullut rakoja, jotka aiheuttavat tuulen painetta paikoissa, missä sitä ei ole otettu mitoituksessa huomioon (saattaa paljastua esim. vesivahinkona).

5. Rakenteen yksityiskohdat ja jäykistys

Mikäli rakenteen vastaanotossa ei ole käytetty ammattitaitoisia henkilöitä tai siitä ei ole täyttä varmuutta, kannattaa rakenteista sen käytönkin aikana tarkistaa rakennetta stabiloivien rakenneosien kunto. Rakenteen stabiliteetin menetys on sen toiminnan kannalta ns. hauras ilmiö, missä vaurio ja sortuma syntyvät äkillisesti. Tarkastettavia yksityiskohtia ovat mm.

- väsytskuormitetuissa tai esim. maanjäristykselle alttiissa rakenteissa ja kohteissa kriittiset hitsausliitokset
- rakenteen tai pilarin puristetun sisälaipan tai -paarteen tuenta erityisesti hallien seinän ja katon liittymäkohdassa
- kattokannattajien alapaarteen kiepahdustuenta ja tukien kiinnitys joko hallin päätyihin tai vinositeillä kattotasoon
- korkeiden rakenteiden mahdollinen sivuttaistuenta ja tukirakenteiden kunto
- katon ja seinien verhoilussa käytettyjen profiilipeltien tai kuorielementtien kiinnitys lomittain siten, että kullekin kehälle kertyy sama kuormitus
- onko ajoaukkojen vieressä olevat kantavat rakenteet suojattu törmäyskuormilta tai onko korkeilla rakenteilla riittävä törmäyssuoja ympäröivän liikenteen suhteen.

6. Rakenteiden korroosiovauriot

Kaikilla rakenteilla ja rakennuksilla on tietty käyttöikä, joka voidaan määrittää rakennusvaiheessa. Käyttöikään vaikuttaa useita eri tekijöitä, joista ympäristöolosuhteet ovat yksi tärkeimmistä. Ns. massiivisten teräsrakenteiden suunnitteluohjeessa /1/ annetaan ohje lisätä ainepaksuuksia ns. syöpymislisällä olosuhteista riippuen rakenteen elinikää koskevan suunnitelman mukaisesti. Syöpymislisä on joko 0,2 mm tai 0,5 mm olosuhteista riippuen 10 vuotta kohden.

7. Suunnitelmien arkistointi ja saatavuus ongelmatilanteissa

Kunnissa ja erityisesti teollisuudessa pitäisi kaikkien rakennusluokkaan 1 kuuluvien ja vastaavien rakenteiden ja kohteiden täydelliset rakennesuunnitelmat ja dokumentit säilyttää vaurioiden ja onnettomuuksien varalta. Myös muutostöiden varalta suunnitelmien saatavuus säästää kustannuksia.

Lähdeluettelo

1. B7. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Teräsrakenteet, Ohjeet 1996. Ympäristöministeriö. Helsinki.

Liite C: Menettelytavat ja ohjeet teräsbetonisten rakennusten ja rakenteiden kaatumis- ja sortumisvaaran arvioimiseksi

Kaatuessaan vaaraa aiheuttavan rakennuksen/rakenteen tarkastus- ja huoltokirja

Tarkastus- ja huoltokirja laaditaan rakenteen kaatumisen ja sortumisen kannalta kriittisen tarkastuksen, huollon ja kunnossapidon käynnistämiseksi ja ylläpitämiseksi. Tarkastuskirja muodostuu rakennushankkeen aikana eri osapuolten laatimista ja eri tahoilta koottavista asiakirjoista, jotka kootaan yhdeksi kokonaisuudeksi. Säännöllinen tarkastus on osa rakennuksen huoltotoimintaa.

Rakennuksen käyttööntottovaiheessa tarkastus- ja huoltokirjan tarkoituksena on siirtää rakennuksen huoltoa ja kunnossapitoa ohjaava tieto rakennuksen omistajalle ja käyttäjälle. Tarkastuskirjan tavoitteena on saavuttaa rakenteiden tavoitteelliset käyttöiät suunniteltuja kunnossapitajaksoja noudattaen. Huolellisesti ylläpidetty tarkastuskirja on myös oivaa korjaussuunnittelun lähtöaineistoa.

Tarkastus- ja huoltokirjan sisältö

Tarkastuskirja on hankekohtaisesti laadittu ja koottu aineisto. Sen pääkohdat ovat:

- tarkastusten lähtötiedot
- yhteystiedot
- tarkastusten ja huoltojen ohjelmat
- paikantamispöytäkirjat
- ohjeelliset käyttöarvot
- rakenteet
- käyttöikätaulukot
- kunnossapitajakset
- korjauspöytäkirjat
- liitteet.

Tarkastusten lähtötiedot

Tarkastusten lähtötiedot sisältävät rakennuksen yleistiedot, kuten omistuksen, laajuuden ja tilat käyttötarkoituksineen siten, että rakennusta tuntematonkin henkilö saa yleiskuvan rakennuksesta.

Yhteystiedot

Yhteystietoihin kerätään suunnittelu- ja rakentamisprosessissa mukana olleiden yritysten ja henkilöiden yhteystiedot.

Tarkastusten ja huoltojen ohjelmat

Tarkastusvälien tulee olla sellaisia, että tarkastuskohde säilyy kunnossa tarkastusten välisen ajan. Liiallinen tarkastaminen aiheuttaa turhaa työtä ja kustannuksia. Liian harva tarkastaminen saattaa johtaa tilanteisiin, joissa vauriot pääsevät kehittymään suuriksi tarkastusvälillä. Tarkastus- ja huolto-ohjelmat ryhmitellään neljään taulukkoon.

Päivittäis- ja viikottaistehtävät ovat tarkastus- ja seurantatoimenpiteitä, jotka raportoidaan sopimusten mukaisesti. Havaitut häiriöt ja niiden aiheuttamat toimenpiteet kirjataan.

Kalenterivuoden huoltotehtäviin kuuluvat säännöllistä tarkastusta ja huoltoa vaativat kohteet, joiden toimenpideväli on enintään vuosi. Kohteille määritellään tarkastus- ja huoltovälit.

Kymmenvuotiskauden huoltotaulukkoon kuuluvat harvoin tarkastusta ja huoltoa vaativat kohteet. Kohteille määritellään tarkastus- ja huoltovälit.

Paikantamisiirustukset

Paikantamisiirustukset sisältävät keskeisten tarkastus- ja huoltokohteiden paikantamistiedot.

Ohjeelliset käyttöarvot

Ohjeellisiin käyttöarvoihin kirjataan teknisten järjestelmien toiminta- ja tavoitearvot.

Rakenteet

Kaikkien rakenteiden ja rakenneosien tarvike tiedot kauppanimikkeineen ja paikantamistietoineen merkitään tarkastus- ja huoltokirjaan.

Käyttökatavoitteet

Tilaaaja, rakennuttaja ja suunnittelija asettavat käyttökatavoitteet laajuudeltaan ja kustannuksiltaan merkittävälle rakenteille.

Kunnossapitojaksot

Rakennuttaja ja suunnittelijat sopivat rakenteiden laatutason sekä tarkastus- ja kunnossapitojaksot.

Betonirakenteiden tarkastuksen perusteet

Rakennuksen perustuksissa tapahtuvat kriittiset muutokset voivat olla seuraamuksiltaan äkillisiä (hauras murtuminen) tai hitaita (sitkeä murtuminen). Äkilliset muutokset johtuvat yleensä rakenteen ylikuormittumisesta, mitä voi tapahtua rakenteen käyttöajan ajan. Syynä voi olla myös suunnitteluvirhe. Äkilliset muutokset tapahtuvat nimensä mukaisesti nopeasti ja johtavat lähes poikkeuksetta hauraaseen murtumiseen. Vahingot saattavat olla suuria.

Hitaasti tapahtuvat muutokset voivat myös johtaa hauraaseen murtumistapaan. Yleensä ne kuitenkin merkitsevät rakenteen taipumien merkittävää kasvua, minkä vuoksi seuraukset ovat paremmin havaittavissa ja ennustettavissa. Päätelmät tehdään perustuksiin liittyvissä rakenteissa tapahtuvista muutoksista.

Tyypillisiä betonirakenteiden vaurioihin johtavia tekijöitä ovat

- suunnitteluvirheet
- valmistusvirheet
- ylikuormat
- perustusten muodonmuutokset, painumaerot ja siirtymät
- rakenteiden halkeilu ja halkeilun kasvu
- haitallisista aineista johtuva betonin korroosio

- teräksen korroosio betonissa

- korkeiden lämpötilojen vaikutus betoniin ja betoniteräksiin.

Ylikuormat

Rakenteisiin (erityisesti perustuksiin) vaikuttavista kuormista kaikki eivät ole suuruudeltaan tai suunnaltaan täsmällisesti määritettävissä. Mitoituksessa on syytä varautua odotettavissa oleviin kuormituksiin ja kohtuullisiin käyttötarkoituksen muutoksiin. Rakenteita koskevat dokumentit ja muutostiedot on pidettävä ajan tasalla.

Betonirakenteen lohkeamisvaara on ilmeisin, kun “suunnittelematon” kuorma sijaitsee rakenteen reunalla. Tulipalossa sammutusveden joutumisella kuumalle betonipinnalle on samanlainen vaikutus.

Betonirakenteiden halkeilu

Antura- ja laattaperustusten sekä paaluperustusten toimintahäiriöt näkyvät niiden varaan tulevien rakenteiden taipumina, siirtyminä ja kulmanmuutoksina. Jäykät betonirakenteet taipuvat halkeamien kautta. Halkeamien kasvu ilmentää joko perustuksissa tai sen varaan tulevissa rakenteissa tapahtuvia muutoksia. Halkeilun syy on aina selvitettävä.

Betoni on valmistusvaiheestaan lähtien alttiina tilavuudenmuutoksille, joista eräät esiintyvät kerran, toiset ovat toistuvia ja palautuvia. Muodonmuutosten ollessa estettyjä syntyy pakkovoimia, jotka aiheuttavat halkeamia.

Betonin plastinen kutistuminen on periaatteessa samanlainen ilmiö, joka tapahtuu savel-la sen kutistuessa. Plastinen kutistumishalkeilu aiheutuu tuoreen betonipinnan nopeasta kuivumisesta. Plastista kutistumishalkeilua esiintyy suuripintaisissa rakenteissa, kuten laatoissa. Tavallisesti halkeamat ovat noin 45°:n kulmassa laatan reunaan nähden ja yhdensuuntaisia. Joskus ne esiintyvät mielivaltaisessa verkkomaisessa muodossa. Betonin kuivumiskutistuminen johtuu sementtikiven sisältämän vesimäärän vähentymisestä, jolloin sementtikivi painuu kokoon. Kuivumiskutistuminen hidastuu ajan mukana, ja siitä tapahtuu noin puolet ensimmäisen kolmen kuukauden aikana.

Korkeiden lämpötilojen vaikutus betoniin ja betoniteräksiin

Teräksen ja betonin termomekaaniset ominaisuudet riippuvat voimakkaasti lämpötilasta. Betonirakenteissa teräksen kriittisellä lämpötilalla tarkoitetaan sitä lämpötilaa, jossa betoniteräksen myötölujuus ja jänneteräksen murtolujuus on lämpötilan vaikutuksesta laskenut rakenteessa palotilanteen kuormituksen aiheuttaman teräsännityksen suuruiseksi. SFS-standardien mukaisen betoniteräksen kriittinen lämpötila on 600°C ja jänneteräksen 350°C. Betonin mekaanisista ominaisuuksista lämpötila vaikuttaa voimakkaimmin vetolujuuteen. Esimerkiksi betonin ja teräksen lämpötilan kohotessa 250 °C:seen kylmävedetyn jänneteräksen lujuus alenee 20 % ja betonin vetolujuus 25 %. Tällaista lujuuden alenemista on jo pidettävä hälyttävänä.

Haitallisista aineista johtuva betonin korroosio

Betonin ulkoinen korroosio on erilaisten aineiden joutumista kosketuksiin betonirakenteiden kanssa, jolloin ne reagoivat betonin aineosien kanssa ja vaurioittavat sitä. Vakavin vaurion aiheuttaja Suomessa lienee sulfaatti-ioni. Samoin happamet maaperät ja ympäristövedet saattavat rasittaa betonia suhteellisen runsaasti. Sulfaattipitoista maata voidaan tavata kaikkialla, missä ollaan tekemisissä vanhan merenpohjan ja kiisupitoisten maiden kanssa. Vakava sulfaattivaurion aiheuttaja metsäteollisuusseuduilla voi olla voimalaitosten käyttämä glaubersuola, jos savukaasusuodattimet ovat epäkunnossa. Happamista maista ovat maininnanarvoisia suomaat. Ne sisältävät humushappoja.

Epäorgaaniset hapot, kuten esimerkiksi suola- ja rikkihappo, liuottavat sementtikivessä olevaa kalkkia. Koska kaikki sementit sisältävät kalkkia, ei ole olemassa haponkestävää sementtiä. Orgaaniset hapot ovat vähemmän syövyttäviä kuin epäorgaaniset hapot. Näistä haitallisimpia betonille ovat maito-, etikka- ja muurahaishappo. Sulfaattiliuos synnyttää betoniin yhdisteitä, jotka aiheuttavat tilavuuden kasvua ja siten betonin paisumista ja rapautumista. Vaarallisimpia ovat kalsium-, magnesium-, natrium- ja ammoniumsulfaatit.

Teräksen korroosio betonissa

Yleiset edellytykset teräksen korroosiolle betonissa ovat:

- betonissa on kosteutta
- huokosvedessä on happea

- raudoitusta ympäröivän betonikerroksen pH-arvo on alle 10 tai betonissa on klorideja.

Kun betonin pH-arvo laskee, teräkseen alkaa korrodoivassa ympäristössä syntyä ruostetta, mikä ajan oloon johtaa raudoitusta suojaavan betonikerroksen lohkeamiseen. Halkeamaleveyksien rajoittaminen on tarpeen korroosiovaaran pienentämiseksi. Korroosioherkällä raudoituksella (kylmämuokattu jänneteräs) halkeamia ei sallita pitkäaikaiskuormilla lainkaan.

Betonirakenteiden silmämääräinen tarkastus

Betonirakenteiden tavallisimmat vauriotyypit ovat pintavauriot, halkeamat, raudoituksen ruostuminen ja sijaintivirheet sekä rakenteen mittapoikkeamat.

Pintavaurioita ovat pakkasvauriot, mekaanisen kulumisen aiheuttama syöpyminen, kemiallinen syöpyminen, raudoituksen ruostumisesta aiheutuva lohkeilu ja korkeiden lämpötilojen aiheuttama betonin rapautuminen. Pintavaurioiden arvosteluperusteena voidaan käyttää syöpymissyvyyden lisäksi karkean kiviaineksen paljastumista. Kun syöpymissyvyys on suurempi kuin 20 mm, karkea kiviaines alkaa irrota, ja kysymyksessä on voimakas syöpyminen. Raudoituksen suhteen voimakasta syöpymistä on, kun terästangot ovat paljastuneet ja irronneet betonista.

Halkeilun arvosteluperusteena voidaan käyttää halkeaman leveyttä, mikä ei välttämättä ilmaise vaurion vakavuutta. Kantavilla rakenteilla voimakas halkeilu saattaa merkitä laskettua huonompaa kantokykyä. Kun halkeamaleveys on yli 1,0 mm, kyseessä on leveä halkeama. Mahdollisia toimenpiteitä ovat halkeaman injektointi, rakenteen vahvistaminen tai käyttörajoituksen asettaminen. Halkeamaa voidaan pitää keskisuurena, kun sen leveys on 0,3 - 1,0 mm. Mahdollinen toimenpide on silloin halkeaman injektointi.

Raudoituksen ruostumista voidaan arvioida ei-ruostuneen poikkileikkausalan ja vaadittavan teräsosan suhteella. Terästanko on täysin ruostunut, kun se ei enää täytä vaadittavaa poikkipinta-alaa. Silloin on tutkittava, mitä poikkipinta-alaa voidaan käyttää mitoitusterusteena ja harkittava uusimistimenpiteitä tai käyttörajoituksia. Jos terästanko on ruostunut, mutta täyttää poikkipinta-alavaatimuksen, on harkittava korjaustoimenpiteitä. Raudoituksen korroosio saadaan selville esimerkiksi avaamalla betonipeite pistokoe-luonteisesti ja tarkastamalla rauditus.

Rakenteiden mittapoikkeamat ja pääraudoituksen sijaintivirheet hyväksytään vain, jos osoitetaan, ettei poikkeamista ole haittaa rakenteen varmuudelle, toiminnalle, säilyvyydelle tai muille rakenneosille.

KAATUVAT RAKENTEET
Vaarojen kartoitus

Kohde _____

Laatijat _____

Analyysin pvm _____
Sivu _____

Kaatumissyy

**Kaatumissuunta
ja ajankohta**

Seuraukset

**Varautuminen ja
kommentteja**

Jatkotoimenpiteet

Kaatumissyy	Kaatumissuunta ja ajankohta	Seuraukset	Varautuminen ja kommentteja	Jatkotoimenpiteet

Lite D: Yhteenvetolomake