

**POTENTIALISTEN RAKENNEVAURIOIDEN
ANALYYSITYÖKALU**

P O R A

Analyysiprojektin vetäjän ohje

Erikoistutkija Tapio Leino
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
1.3.2005

POTENTIALISTEN RAKENNEVAURIOIDEN ANALYYSI P O R A

Tarkoitus

Potentiaalisten rakennevaurioiden analyysi PORA on menetelmä, jonka avulla voidaan nopeasti ja hallitusti tutkia uudisrakennuskohteeseen liittyviä mahdollisia vaurioitumis- tai sortumisvaaroja. Tarkastelussa ei etukäteen rajata mitään ongelmatyyppiä analyysin ulkopuolelle, mutta erityiskuormien osalta tarkastelu kannattaa suorittaa omana vaiheenaan. En eivät kuitenkaan ole ennakoimattomia tilanteita, ja niitä varten rakenteet voidaan suunnitella erillisillä ohjeilla. Tyypillisiä onnettomuuskuormia (tulipalo, räjähdys, törmäys, seisminen rasitus) käsittelevissä kvantitatiivisissa menetelmissä, joita on kehitetty suunnitteluohjeiden laatimista varten, ei kokonaisriskin analysoinnissa ole yleensä otettu huomioon muita rasituksia ja tunnistamattomia vaaroja, eivätkä ne siten ole hyödynnettävissä rakennuskohdekohtaisesti.

PORA-menetelmällä on mahdollista analysoida erityyppisiä, sekä primäärisiä että sekundäärisiä rakenneosia ja –elementtejä sekä niistä työmaalla koostettuja rakenteita tai rakennekokonaisuuksia, ja tunnistaa niiden kestävyyttä tai turvallisuutta koskevia mahdollisia ongelmia ja vaaroja ja luokitella niitä mahdollisten seuraamusten mukaan. Menetelmä on tarkoitettu käytettäväksi vaativissa A- tai AA-luokan rakennuskohteissa, joille riskianalyysiä vaaditaan tehtäväksi joko rakennuksen vaativuuden tai sen käyttäjien takia.

Menetelmä perustuu asiantuntevan vetäjän ohjaamaan ryhmätööhön tai Workshop:iin, jota tuetaan tarkistuslistalla sisältäen luettelon tyypillisistä ongelmakohdista, jotka on tunnistettu ko. rakennustyyppiä koskevien vaurioselvitysten ja kuntotarkastusten tuloksena. Onnettomuusriskikohtien tunnistamiseksi ja rakenteiden eri kohtien riskialttiuden määrittelemiseksi sovelletaan tietoa rakenteiden ja komponenttien hyväksikäyttöasteesta, joka menetelmä on jo nykyisinkin käytössä mm. tärkeiden riskialttiiden hitsiliitoksien tunnistusmenetelmänä.

Riskianalyysin päätteeksi esitetään menettelyt riskienhallinnalle. Suomessa hyväksyttävä riskitaso sisältyy RakMK:n määräyksiin ja ohjeisiin. Siksi mahdolliset kohdekohtaisesti havaitut ylimääräiset riskit tulee käsitellä ja torjua jo suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa.

Analyysin käyttö

Potentiaalisten rakennevaurioiden analyysissa (PORA) on useita vaiheita. Analyysi laaditaan Workshop-tekniikalla vastuullisen vetäjän johdolla. Sen laajuus riippuu kohteen koosta, rakentamisen osapuolien lukumääristä, kuten myös muusta toimintaympäristöstä. Merkittävässä kohteissa saatetaan joutua pitämään useampia analyysikokouksia, esimerkiksi tuoteosittain. Analyysin vaiheet A-D on esitetty taulukossa 1. Riskianalyysiä ei pidä yrittää tehdä tavanomaisessa työmaa- tai muussa projektikokouksessa, missä puidaan tyypillisesti muita päivän polttavia asioita.

Riskianalyysin tuloksena saadaan loppuraportti, sekä parannetut rakennesuunnitelmat, jotka parhaaseen käytettävissä olevaan kokemusperäiseen tietoon perustuen sisältävät vain hyväksyttävän riskitason (vrt. RakMK:n määräykset ja ohjeet) omaavia tarkastettuja rakenneratkaisuja, joiden valmistuksen laadun tarkastusta varten on tarpeen mukaan kehitetty kohdekohtaisia toimenpiteitä. Riskianalyysissä kehitetään samalla valvontatoimet kyseisten valmistuksen tai asennuksen suhteen kriittisiä työvaiheita varten sekä koskien rakennustuotteiden

vaihtamista toisiin tai koskien toimenpiteitä kun tavataan tuotteita, joiden laatu on puutteellinen, tai joiden laatua epäillään.

Riskianalyysin tuloksissa otetaan huomioon rakentamisprosessiin mahdollisesti liittyviä riskitekijöitä, kuten urakoiden osittaminen ja siitä aiheutuva rakennesuunnittelun tai jonkin muun erityisalan suunnittelun jakautuminen usealle eri tekijälle tai taholle. Siksi kullakin Workshopiin osallistuvalla eri tahoja edustavalla jäsenellä on erityisen tärkeä tehtävä tuoda esille omaan toimintaansa mahdollisesti aiheuttavia haittoja ja ongelmia tai vaatimuksia, joita voidaan yhdessä käsitellä, ja hoitaa esim. urakoiden rajapintojen tarkemmalla määrittelyllä siten, että suunnittelussa muokattu kokonaisuus säilyttää vaatimuksenmukaisuutensa, vaikka siihen tehtäisiin muutoksia rakentamisvaiheessa.

Taulukko 1. PORA:n, POtentiaalisten Rakennevaurioiden Analyysin vaiheet

A. Häiriöiden ja vaarojen tunnistaminen aivoriihessä	<p>Osa 1, hiljainen aivoriihi</p> <ul style="list-style-type: none"> Ideointilomakkeen ja avainsanojen käyttö Kiinnitetään erityistä huomiota merkittäviin teknisiin ja/tai rakentamisprosessiin liittyviin virheen tai vaaran lähteisiin ja kohtiin, sekä seurauksiltaan vakaviin vaaroihin <p>Osa 2, keskustelumuotoinen aivoriihi</p> <ul style="list-style-type: none"> Järjestelmällinen eteneminen rakenteittain ja rasiuksittain (esimerkiksi tarkasteltavan rakennuskokonaisuuden mukaan) <p>TULOSTE: Vaaraluettelo (kts. Liite 2)</p>
B. Häiriöiden ja vaarojen arviointi	<p>Osa 1, jatkokäsiteltävien vaarojen valinta</p> <ul style="list-style-type: none"> Kohdekohtaiset rakennetekniset uutuudet ja erot aiempiin vastaaviin kohteisiin Esille tulleiden rakenteellisten erojen ja vaaraluettelon vaarojen vertailu tarkistuslistaan (kts. Liite 3) Mahdollisesti, suunnittelijan toimittaman hyväksikäyttöaste-analyysin tarkistus ja siinä esille tulevien vaaraa edistävien kohtien valinta jatkokäsittelyyn sen arvon perusteella <p>Osa 2, käsiteltäviksi valittujen vaarojen mahdollisten syiden ja seurausten selvittäminen ja riskin suuruutta kuvaavan tunnusluvun arviointi hyödyntäen hyväksikäyttöasteiden etukäteisanalyysiiä</p> <ul style="list-style-type: none"> Järjestelmällinen käsittely analyysiryhmässä Analyysilomakkeen täyttäminen yhdessä <p>TULOSTE: Alustavat analyysilomakkeet (häiriöt ja vaarat syineen ja seurauksineen sekä riskien arviointi analyysilomakkeelle kirjattuina)</p>
C. Toimenpide-ehdotusten kehittäminen ja vastuulisten toteuttajien nimeäminen, seuranta	<p>Järjestelmällinen tarkastelu arvioinnin yhteydessä tai erillisessä kokouksessa</p> <ul style="list-style-type: none"> Perustuen vetäjän laatimiin toimenpide-ehdotuksiin <p>TULOSTE: Lopulliset analyysilomakkeet (kts. Liite 2)</p>
D. Analyysin raportointi	<p>TULOSTE: Loppuraportti, jonka liitteinä ovat häiriö- ja vaaraluettelo ja analyysilomakkeet</p>

Huom! Eo. taulukossa sanaa häiriö on käytetty sekä sallituista, että käyttörajatilan ylittävistä taipumista, muodonmuutoksista ja muista rakenteen ajan funktiona muuttuvista ominaisuuksista ja ilmiöistä, joiden perusteella olisi käytön aikana mahdollista havaita vaarat, mikäli rakennuksen huoltokirja antaa siihen ohjeita. Riskianalyysin tuloksia tulee soveltaa huoltokirjan valmistamisessa.

Analyysin kulku - Analyysin vetäjän ohje

Valmistelu

Analyysin toteutuksen edellytyksenä on, että rakennuttaja joko antaa tukensa ja myöntää resurssit analyysin laadintaan, tai että se vaaditaan tehtäväksi viranomaisten toimesta kohteen vaativuus huomioon ottaen. PORA aloitetaan valitsemalla ja rajaamalla tarkasteltava kohde. Valinnan ja rajausten perusteena voi olla:

- aikaisemmin sattuneet vauriot, sortumat tai muut vaaratilanteet
- vastaavissa kohteissa muualla sattuneet vaaratilanteet ja häiriöt
- kohteen suuret onnettomuuskuormat tai palokuorma
- kohteen käyttäjien turvallisuutta vaarantava ilmeinen riski
- halu selvittää ja parantaa käyttöturvallisuutta.

Valintaperusteet ja kohteen rajaukset on syytä esitellä tarkastelun loppuraportissa.

Analyysillä tulee olla vastuullinen vetäjä. Hänen ei tarvitse olla kyseisen kohteen asiantuntija mutta kylläkin rakenteiden tai analysoitavien vaaratekijöiden asiantuntija, ja ennen kaikkea PORA-menetelmän sellainen käyttäjä, joka pystyy johtamaan varsinaisen kohteen asiantuntijoiden analyysityöskentelyä. Usein ns. "työpaikka-sokeus" saattaa haitata analyysityöskentelyä. Siksi ulkopuolinen vetäjä, esimerkiksi naapuriosastolta, yrityksen toisesta yksiköstä tai jopa ulkopuolinen konsultti pystyy johtamaan tarkastelua paremmin ilman "*näin-on-aina-tehty*" ja "*meillä-ei-ole-koskaan-sattunut-mitään*" - asennetta.

Vetäjän tehtäviä ovat mm.

- kohteesta tarvittavan perustiedon hankkiminen
- työryhmän kokoaminen toimintaympäristö huomioon ottaen
- toteutussuunnitelman ja kokousaikataulun laatiminen
- työryhmän lyhyt perehdyttäminen analyysimenetelmään
- työryhmäkokousten vetäminen
- rakennekomponenttien ja -liitosten hyväksikäyttöasteraportin teettäminen ellei sitä ole alustavan riskianalyysin takia teetetty jo osana suunnittelusopimuksia
- tulosten raportointi ja tiedottaminen
- jatkotoimenpiteiden suunnittelu tai sen organisointi.

Tarkasteltavan kohteen tai rakentamisessa ko. kohteessa käytetyn toimintaympäristön laajuudesta ja monimutkaisuudesta riippuen kohde voidaan jakaa pienempiin osiin, joita kutakin tarkastellaan erikseen. Jako ei saa aiheuttaa sitä, että tiettyjä esim. prosessitekniisiä vaaratekijöitä ei havaita. Sen estämiseksi jaon aiheuttamat mahdolliset vaarat tulee käsitellä erikseen.

Ennen analyysia on perehdyttävä tarkasteltavaan kohteeseen. Seuraavassa on esitetty asioita, jotka on hyvä selvittää ennen varsinaista analyysityöskentelyä:

- yleistiedot kohteesta ja sen kantavista rakenteista
- kohteessa tapahtuvan toiminnan kuvaus ja vaatimukset rakenteille
- rakennuksen palonkestovaatimus, ja muut Suomen rakentamismääräyskokoelman määräysten vaatimukset
- rakentamisprosessin kuvaus, ja rakentamisen osapuolet
- kuormitukset, rasitukset ja ympäristöolosuhteet

- pohjapiirros, osastointi, tilat, suojaukset
- henkilökunnan määrä, työajat, asiakkaat, huolto- ja korjausmiehet
- koneet ja laitteet, ja niiden käyttö sekä käyttöajat
- mahdolliset käytettävät aineet ja kemikaalit (vaaralliset ominaisuudet, määrä, sijainti, varastointi/prosessi)
- viestintä, sisäinen/ulkoinen hälytysjärjestelmä, (missä, mitä, mihin hälytys menee)
- vartiointi, kulunvalvonta päivä/yö
- onko rakentajille/työntekijöille annettu ohjeita vaarallisten tilanteiden / onnettomuuksien varalta
- onko sisäinen pelastussuunnitelma tai RakVNp (629/94):n mukainen kohdekohtainen työturvallisuussuunnitelma laadittu
- onko ulkopuolisille työntekijöille ohjeita.

Yrityksen tai rakennettavan analyysiin valitun kohteen ympäristö:

- teollisuus- ja liikelaitokset ja niissä toiminnassa olevat prosessit
- varastot ja muut rakennukset ja työpaikat
- ihmisten ja tavaran sijoittuminen verrattuna tutkittavaan kohteeseen
- asuinalueet
- koulut, hoitolaitokset, päiväkodit
- liikenneväylät.

On myös selvitettävä, onko tehty muita analyyseja tai kartoituksia, joista voisi olla hyötyä tai onko alueella tai ko. rakentajille sattunut aiemmin vaurioita, vuotoja tai muita vaaratilanteita, joita olisi tutkittu ja raportoitu (sisäisesti!). Myös maaperään ja sen ominaisuuksiin liittyvistä seikoista olisi syytä hankkia tiedot perustuksia koskevien vaarojen selvittämiseksi.

Analyysityöryhmän perustaminen

Varsinainen tietojen analysointi tehdään työryhmässä. Sen suositeltava koko on mahdollisimman pieni, eli vetäjän lisäksi enintään 2 - 5 henkeä, tai määrä, joka toteuttaa toiminnan sisäisen laatuvaatimuksen ja riittävän kontrollin.

Analyysityöryhmiä voi rakennuskohteessa valitusta toimintaympäristöstä tai analyysiltä vaaditusta kattavuudesta riippuen olla useitakin. Ryhmään valitaan henkilöitä, joilla on hyvä käsitys kohteen rakenteiden toiminnasta tai kohteen rakentamisen eri osa-alueista, ja jotka normaalistikin asettaisivat vaatimuksiaan muille rakentamisprosessissa mukana oleville tahoille. Ryhmän jäsenet voisivat edustaa esimerkiksi seuraavanlaista osaamista (ryhmät kootaan tarpeen tai toimeksiannon perusteella):

- **Päärakennesuunnittelija tai suunnittelija**, joka tuntee kyseiset suunnitelmat ja niiden esittämät rakenteet ja niille suunnitellun toiminnan (voi olla vetäjä).
- **Pääsuunnittelija tai projektipäällikkö**, joka on vastuussa kohteen rakentamisesta urakoitsijan tai tuoteosatoimittajan puolesta (voi olla vetäjä vaihtoehtoisesti).
- **Rakennuksen asennuksesta/pystytyksestä vastaava henkilö**, esim. työnjohtaja tai kokenut työntekijä, joka tuntee asennustoiminnan, sen laitteet ja olosuhteet kohteessa.
- **Johdon asiantuntija**, esim. käyttö- tai talouspäällikkö, joka tuntee käytännön toiminnan lisäksi talousasioita, sekä tietää keskeytys- ja materiaalivahingoista.
- **Kunnossapidon asiantuntija**, esim. insinööri, työnjohtaja tai kokenut laitosmies, joka tuntee laitteet, rakenteet ja kunnossapidon toiminnan ja olosuhteet.

- **Sihteeri**, ei kuitenkaan välttämätön. On suositeltavaa että vetäjä toimii sihteerinä.

Jos ryhmän asiantuntemus ei riitä johonkin yksityiskohtaan, asiat voidaan selvittää kokousten välillä tai kyseisen ongelman käsittelyn ajaksi paikalle kutsutaan asiantuntija.

Analyysin laatiminen Workshop:ssa

Varsinainen analyysi suoritetaan kahdessa vaiheessa. Vaiheessa A kerätään aivoriihessä mahdollisia ongelmia ja vaaroja, jotka liittyvät eri tahojen yhteistoimintaan, tai luetellaan yleisesti seikkoja, joista ollaan huolissaan ko. rakennuskohteessa. Ideat, ongelmat, vaarat ja huolenaiheet järjestellään ja luokitellaan analyysipalaverissa keskustelumuoitoisessa Workshop:ssa.

Toisessa vaiheessa B jatkokäsiteltäviksi valittuja vaaroja tarkastellaan analyysi-istunnoissa yksityiskohtaisemmin. Tämän analyysin suorittamiseksi tulee vetäjän verrata kohdekohtaisia vaiheessa A esille tulleita vaaroja tarkistuslistaan (kts. Liite 3), ja lisätä seuraavassa analyysikokouksessa erikseen selvitettäväksi sellaiset mahdollisesti vaaraa aiheuttavat seikat, jotka esiintyvät sekä tarkistuslistassa että kyseisen kohteen suunnitelmissa. Niiden osalta tulee kokouksessa selvittää, miksi kyseisessä kohteessa ei ole vastaavaa vaaraa, vaikka samanlainen ratkaisu on muualla saattanut johtaa vaurioon tai ollut sellaiseen mahdollisena osasyynä.

Rakenteen eri kohtien vaurioitumisherkkyyttä tai alttiutta jatkaa sortumista voidaan arvioida ko. kohdan tai rakenneosan hyväksikäyttöasteen avulla. Jos hyväksikäyttöaste lähestyy sataa prosenttia, rakenteen kyseinen osa ei kykene ottamaan vastaan lisää kuormitusta. Siksi vaarojen luetteloon voidaan lisätä käsiteltäväksi sellaiset rakenteet, rakennekomponentit ja liitokset, joiden kestävyys hyväksikäyttöaste on esim. yli 94 %. Listasta voi Workshop:ssa poistaa kohtia, missä hyväksikäyttöaste on suunnittelijan laatiman raportin mukaan alle 50 %.

Analyysivaiheessa B mietitään potentiaalisten vaurioiden syitä ja seurauksia, määritellään mahdollisesti riskiluku (kts. Liite, suositellaan käytettäväksi karkeampaa riskien luokitusta) tai tapahtuman todennäköisyys, sekä arvioidaan nykyisen varautumisen riittävyyttä. Tarvittaessa sovitaan, kuka kehittää tarvittavat parannus- tai tarkastustoimenpide-ehdotukset kunkin jäljelle jäävän vaaran osalta ja miten ne välitetään tietoon tai käytettäväksi rakentamisen osapuolille.

Vaiheessa C kehitetään toimenpiteen jäljelle jääneiden tarkempaan tarkasteluun otettujen vaarojen vähentämiseksi tai poistamiseksi siten, että saavutetaan rakennesuunnittelulta vaadittu hyväksyttävä riskitaso, joka välittyy rakentamisprosessissa muuttumattomana valmiiseen rakennukseen.

Kun on päätetty mitkä riskiluettelon riskeistä käsitellään ja torjutaan välittömästi (kaikkia ei ehkä ole välttämätöntä torjua heti), jäljelle jäävät vähäistä merkitystä omaavat uhkat siirretään lisättäväksi huoltokirjaan varustettavaksi asianomaisilla tarkastuksilla.

Vaiheessa D raportoidaan riskianalyysin tulokset.

Riskianalyyssissä mahdollisesti tarvittavat työkalut

Seuraavissa kohdissa kuvattujen työkalujen käytöstä päätetään samalla kun päätetään riskianalyysin laajuudesta.

Aivoriihi

Aivoriihi on osa Workshop:ia ja sen tavoitteena on saada paljon ideoita, lennokkaatkin ideat ovat tervetulleita. Periaatteena on, että ideoiden arvostelu on kielletty koko ideoinnin ajan. Ideoinnissa toivotaan jatkoideoita, parannuksia ja yhdistelmiä muiden ideoista. Kaikki ideat kirjataan heti paperille. Idean pitää olla riittävän yksityiskohtainen ja siinä tulisi selvästi olla vaaran syy ja onnettomuuteen tai häiriöön johtava tapahtumaketju. Aivoriihi voidaan toteuttaa myös Workshop-kokouksessa esimerkiksi seuraavasti:

Ongelmien ja vaarojen ideointiin aivoriihessä käytetään idealomaketta (kts. Liite 2), jonka voi jakaa sähköpostilla. Jokaiselle jaetaan lomake ja kukin kirjoittaa kolme ko. kohteessa mahdollista vaurioitumiseen johtavaa vaaraa tai ongelmaa. Lomakkeet kierrätetään analyysityöryhmässä ennen analyysikokousta. Luettuaan edelliset ideat kukin lisää kaavakkeille 3 ideaa. Ne voivat olla uusia tai ne voivat olla aiemmin kirjoitetuista ideoista jatkokehiteltyjä. Näin lomakkeita kierrätetään, kunnes lomakkeet ovat täynnä tai ideat tyrehtyvät. Ideoinnin apuna voidaan käyttää avainsanoja tai edellä mainittua "tarkistuslistaa". Olisi kuitenkin paras, jos tarkistuslista olisi vetäjän työkalu, koska tällöin ideat koskevat aidommin rakennettavaa kohdetta ja sen toimintaympäristöä.

Normaalisti ideoinnin aikana ei kirjatusta ideoista keskustella, ainoastaan vetäjä ohjaa lomakkeiden vaihtoa ja esittelee mahdolliset avainsanat. Usein kannattaa hiljaisen aivoriihen lopuksi kuitenkin vielä Workshop:ssa miettiä lisää vaaroja tai jatko kehitellä jo esille tulleita vaaroja. Jos ideointi tuntuu vaikealta, kannattaa vaihtaa vetäjää tai käyttää toista ideointimenetystä. Ongelmien vakavuus tai niiden pienuus ei ole eikä saa olla yhteydessä ideoiden määrään, vaan laatuun.

Aivoriihivaiheessa ei ole tarkoitus kehitellä parannustoimenpide-ehdotuksia. Syyttely ja selittely eivät myöskään kuulu tämän analyysin periaatteisiin. Keskustelussa kannattaa edetä järjestelmällisesti esimerkiksi rakentamisprosessin tai materiaalien tai tiedonkulun mukaisesti tai käyttäen muunlaista jakoa, kuten käsittelemällä kohteen rakennukset, osastot tai yksittäiset tilat yksi kerrallaan.

Ideoiden luokittelu

Normaalisti ideoita kertyy runsaasti, ja osa niistä on käytännössä mahdottomia tai niin vähäisiä, että niitä ei kannata tarkastella yksityiskohtaisemmin. Kuitenkin, myös epätodennäköisiä, lähes mahdottomina pidettäviä vaaroja tulee arvioida, koska suurin osa tunnetuista rakennusvaurioista ja sortumista on tapahtunut ns. ennakoimattomien onnettomuustilanteiden tai kuormitusten takia, tai usean vähäiseltä vaikuttavan syyn vaikuttaessa samanaikaisesti. Mahdottomilla asioilla on ikävä taipumus käydä toteen ja aiheuttaa merkittäviä seuraamuksia siksi että juuri niihin ei ole varauduttu.

Ideoiden alustavassa käsittelyssä on myös mahdollista soveltaa suunnittelijan laatimaa listaa rakenteiden ja liitosten kestävyyskysymysten hyväksikäyttöasteista.

Ideat on hyvä luokitella ja lajitella esimerkiksi seuraavan luokittelun mukaisesti:

- A Jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat.
- B "Vanhat" ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat.
- C Pienet vaarat, ja vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvitusvaarat" tai jotkin iäisyysongelmat, joille ei mahda mitään.

Vaikka jatkokäsittelyyn valitaankin vain osa tunnistetuista vaaroista, ei muitakaan pidä hylätä. Vähintäänkin ne on esitettävä analyysin loppuraportin liitteenä olevassa vaaraluettelossa (niitä varten ei ole erikseen suunniteltu toimenpiteitä), ja mainita syy miksi vaara on luokiteltu pieneksi. Rakennesuunnittelijoiden pitää tarkastaa kaikkien suunnittelua tai rakenteiden kestävyyttä koskevien vaarojen osalta rakennesuunnitelmista, onko jokainen esille tullut vaara otettu suunnittelussa alunperin huomioon ja miten.

Rakennesuunnittelussa hyväksytty riskitaso sisältyy suunnitteluohjeiden materiaali- ja kuormitusosavarmuuslukuihin. Muita riskejä ei rakenteiden kestävyyksien suhteen hyväksytä.

Myöhemmin esimerkiksi seurantakokouksessa on hyvä tarkistaa idealuettelo ja arvioida, onko luettelossa vielä vaaroja, joita tulisi käsitellä tarkemmin, sekä kontrolloida, että rakennesuunnittelussa on tarkastettu kaikki esille tulleet vaarat niitten luokittelusta huolimatta.

Vaarojen arviointi ja riskiluvun määrittäminen

Jatkokäsittelyyn valittuja ideoita tarkastellaan yksityiskohtaisesti analyysiryhmässä. Analyysin vetäjä esittelee kulloinkin käsiteltävän vaaratilanteen. Kuten ideoinnin keskusteluvaiheessa, myös yksityiskohtaisessa tarkastelussa analyysi etenee prosessin kulun tai materiaali tai tietovirtojen mukaisesti, ja rakennuskohdekohtaisessa jaossa tarkoituksenmukaisesta kohdasta aloittaen kohteen läpi rakennuksesta, osastosta ja tilasta toiseen.

Analyysin tulokset kirjataan ensimmäisessä vaiheessa analyysilomakkeelle (kts. Liite 2), jossa on sarakkeet vaaraa, sen syitä, nykyistä varautumista, seurauksia, riskilukua ja toimenpideehdotuksia varten.

Ensin arvioidaan, missä tilanteessa tai olosuhteissa kussakin ideassa kuviteltu vaaratilanne on mahdollinen. Tarkoitus on tunnistaa syitä, tilanteita ja olosuhteita, jotka mahdollistavat vaaran toteutumisen. Vaarakohtien tunnistamisessa ja luokittelussa on komponenttien ja liitosten hyväksikäyttöaste tärkeä tieto, koska pienestä suunnittelu- tai valmistusvirheestä saattaa kuormitustilanteessa aiheutua paikallinen kapasiteetin ylitys ja kuormien uudelleenjakautuminen rakenteen muille osille, joilta tällöin vaaditaan sitkeyttä kestää ylimääräinen kuorma.

Koska vaaratilanteisiin liittyy erilaisia tapahtumaketjuja, joilla on kovin erilaisia seurausvaikutuksia, tapahtumaketjujen tarkempaan kuvaamiseen on mahdollista käyttää erilaisia onnettomuuksien mallintamismenetelmiä (lisätietoja: <http://riskianalyysit.vtt.fi/>), joita ei esitellä tässä tarkemmin. Sellaisia ovat esimerkiksi:

- Syy-seuraus-kaaviot
- Tapahtumapuuanalyysi
- Vikapuuanalyysi.

Vaaran kuvaamisen jälkeen arvioidaan seurauksia, eli kuinka mittavaksi vaurioituminen voisi kehittyä ja millaiset henkilö-, materiaali- ja keskeytysvahingot se voisi aiheuttaa. Kannattaa arvioida erikseen a) todennäköisiä seurauksia ja b) pahimpia mahdollisia seurauksia, koska esimerkiksi sortuminen saattaa tapahtua varoittamatta jatkoseurauksena pienestä vaurioista, tai jos vauriosta on pääasiassa muita lievempiä seurauksia.

Kun vaaran syyt on tunnistettu ja seuraukset arvioitu, voidaan määrittellä kyseisen riskin suuruus. Riskin suuruuteen vaikuttavat tapahtuman todennäköisyys ja seurausten vakavuus (henkilövahingot, materiaalivahingot ja keskeytysvahingot).

Riskin arviointi

Kaikkiin vaarojen tunnistamismenetelmiin voi liittää riskin määrittelyn karkealla tasolla. Kun vaaran syyt on tunnistettu ja seuraukset arvioitu, voidaan kyseisen riskin suuruus määrittellä. Riskin suuruuteen vaikuttavat tapahtuman todennäköisyys ja seurausten vakavuus.

Riskin suuruuden vertailuluvun (riskiluvun) tai erityisesti siihen liittyvän todennäköisyyden määrittelemine on hyvin subjektiivista, jos käytettävissä ei ole laajoja tilastoja sattuneista onnettomuuksista ja niiden vahingoista. Vaikeasti ennakoitavien onnettomuuksien todennäköisyyksiä ei ole mahdollista arvioida luotettavasti koska ne ovat yksittäistapauksia.

On siksi myös kyseenalaista voisiko erilaisten ennakoimattomien tapausten välillä edes olla eroja todennäköisyyksissä. Jos kaikki rakennusvauriot ovat yhtä epätodennäköisiä, tapahtuman todennäköisyydellä ei voi kvantifioida riskiä. Siihen pitää käyttää muuta menettelyä (kts. liite 1). Vaikeasti ennakoitavista onnettomuuksista aiheutuvien seurausten määrittelemine on selvästi helpompaa.

Tarkempi riskiluokitus on mahdollista suorittaa riskiluvun **R** avulla (kts. liite 1).

$$\mathbf{R} = \mathbf{T} \cdot (\mathbf{H} + \mathbf{M} + \mathbf{K})$$

Riskiluvussa T on tapahtuman suhteellinen todennäköisyys, ja H, M ja K ovat suhteelliset henkilö-, materiaali- ja keskeytysvahingot (kts. Liite 1). Tällainen menettely soveltuu erityisen hyvin tunnetuille onnettomuuskuormille, missä esimerkiksi kuormituksella tai joillakin muilla olosuhdetekijöillä voi olla suurikin hajonta.

Kantavien rakenteiden rakennetekniikassa hajontaa aiheuttavat tekijät ovat äärimmäisen pieniä, koska kaikki rakenteet suunnitellaan ja mitoitetaan määräysten ja ohjeiden mukaisesti samalla periaatteella siten, että tavoitteena on kunkin rakenneosan tai liitoksen suhteen saavuttaa noin 40-60 % varmuus murtumista vastaan määräävällä kuormitusyhdistelmällä.

Yksinkertainen karkea luokittelu käyttäen valmiita riskilukuja R on monesti helpompi laatia ja se antaa yleensä riittävän hyvän kuvan riskien keskinäisistä eroista niiden seurausten suhteen kyseisessä rakennuskohteessa.

Riskiluvun R avulla asetetaan tunnistetut riskit keskenään järjestykseen. Arvioinnin osittaisesta subjektiivisuudesta johtuen kahden eri työryhmän eri kohteista tekemien riskinarviointien tunnuslukuja ei ole syytä vertailla keskenään.

Koska rakenteiden vauriot ja sortumat ovat yleensä ennakoimattomia yksittäistapauksia, joilla on rakennesuunnittelutavoitteista johtuen suunnilleen yhtä suuri tai pieni todennäköisyys, käytetään vaaran todennäköisyyden arviointiin rakennuskomponenttien kestävyden hyväksikäyttöasteita esim. 3-portaisena siten, että:

- luokkaan ”Epätodennäköinen” valitaan kaikki sellaiset mahdolliset vaurioitumiskohdat, joiden kestävyden hyväksikäyttöaste on alle 60 %,
- luokkaan ”Mahdollinen” valitaan kaikki sellaiset vaurioitumiskohdat, joiden hyväksikäyttöaste on esimerkiksi välillä 60 ... 95 %, ja
- luokkaan ”Todennäköinen” valitaan kaikki sellaiset vauriotyypit ja vaurioitumiskohdat, joissa rakenteella, sen komponentilla tai rakenneliitoksella on hyväksikäyttöaste edellistä suurempi.

Hyväksikäyttöaste 95 % tulee siitä, että rakenteiden äärettömän jäykät liitokset eivät todellisuudessa ole äärettömän jykkiä, eivätkä nivelet ole ideaalisia niveliä, mutta jos liitosten mitoituksessa on noudatettu Eurocode:ssa annettuja ohjeita, rakenneanalyysin tulosten virhe on enintään 5 %. Rakenteiden mitoituskuorma saattaa siis ohjeiden mukaisessa mitoituksessa olla 5 % liian pieni, ja vaurioituminen kohdistuu todennäköisesti niihin rakenteen kohtiin, missä ylimääräistä kapasiteettia ei ole. Luokkarajat voidaan valita kutakin riskianalyysia varten tarkoituksenmukaisella tavalla siten että suurimmat riskitekijät erottuvat.

Vauriotodennäköisyyksiä voidaan luokitella ja hakea myös perustuen tarkastuslistoihin, jolloin valitut tarkastuskohdat perustuvat aiempaan kokemukseen ja asiantuntijoiden suorittamaan arviointiin (vrt. liite Tarkastuslistat).

Poikkeukset koskien kaikkia sellaisia rakenteita tai rakenteen kohtia, joiden luokittelu hyväksikäyttöasteen avulla veisi ne luokkaan ”Todennäköinen” :

- Luokittelussa voidaan tehdä päätös jättää testatut tuotteet, ja kaikissa tehdasvalmisteisissa rakennuselementeissä ja -osissa olevat (erityisesti laadunvarmistuksen piiriin kuuluvat) komponentit ja myös niiden väliset elementin sisäiset liitokset luokkaan.
- Kaikki profiilipalkit ja -pilarit, joiden poikkileikkaus kuuluu poikkileikkausluokkaan 1 tai 2, jolloin niihin voi muodostua plastinen nivel, luokitellaan enintään luokkaan ”Mahdollinen”.
- Myös muut mahdolliset rakenteet ja liitokset, joihin voi määrävällä kuormituksella todistetusti muodostua plastinen nivel, sijoitetaan riskitarkastelussa enintään luokkaan ”Mahdollinen”.

Riskiluku R saadaan Liitteen 1 taulukosta. Kaikki vähintään ”Merkittävä”ksi luonnehditut riskit tulee käsitellä, ja niitä vastaavat toimenpiteet määritellä. Jos on välttämätöntä, riskiluku R voidaan skaalata rahaksi esimerkiksi hallin rakentamiskusannusten ja pahimman mahdollisen sortumisonnettomuuden materiaali-, korjaus- ja keskeytyskustannusten avulla.

Varautuminen

Riskin arvioinnin jälkeen arvioidaan tarkasteluhetken varautumista kyseiseen tilanteeseen ja onko sitä. Varautumisella tarkoitetaan tässä esimerkiksi erilaisia tarkastuksia tai katselmuksia, joita rakennustuotteille, rakenneosille ja valmiille rakenteille suoritetaan, tai tarkempaa ohjeistusta, valmistuksen valvontaa tai rakentamisessa tai ylläpidossa tai käytössä mukana olevan henkilökunnan ja ihmisten riittävää osaamista ja koulutusta onnettomuuksien varalta. Jos varautuminen on vähäistä, suunnitellaan jatkotoimenpiteet ja niiden toteuttajat hyväksyttävän riskitason saavuttamiseksi.

Tarkistuslistojen käyttäminen

Riskitasojen ja riskilukujen sijasta voidaan riskianalyysi tehdä kokonaan kvalitatiivisesti ns. tarkistuslistojen avulla. Tarkistuslistat on laadittu perustuen aiempiin vaurio- ja sortumatapauksiin ja niissä ilmenneisiin seikkoihin. Tarkistuslistat koskevat a) kuormituksia ja rasituksia, b) suunnittelua, c) valmistusta, d) asennusta, tai e) rakentamisprosessia.

Tarkistuslistojen avulla voidaan suunnittelu- ja rakennusvaiheessa selvittää kohteen dokumenttien perusteella se, onko kohde suunniteltu jollakin sellaisella tavalla tai menetelmällä, joka saattaa altistaa vaurioihin tai sortumiin.

Riskinhallinta ja jatkotoimenpiteet

Riskianalyysin tavoitteena on saada suunnitteluvaiheessa käsitys laadittujen suunnitelmien heikoista kohdista suhteessa jatkuvaan sortumaan. Ilman jotain ulkoista yli- tai onnettomuuskuormaa, jatkuva sortuma aiheutuu rakenteessa olevasta materiaali-, suunnittelu- tai valmistusvirheestä tai muusta heikkoudesta. Tällöin kyseinen kohta voi menettää kestäväytensä jo pienestäkin kuormasta, joka aiheuttaa kuormien uudelleenjakautumista rakenteessa. Tällöin kriittisiksi tulevat rakenteen ne osat, joiden hyväksikäyttöaste on lähimpänä 100 %:ia, koska ne eivät kykene ottamaan lisää kuormaa, ja alkuperäisen virheen tai vaurion vaikutus voi päästä laajenemaan.

Riskianalyysin tavoite on tunnistaa rakenteen ne kohdat, joiden tehtävänä on omalla sitkeällä toiminnallaan estää jatkuvan sortuman eteneminen, ja varmistaa, että kyseisillä rakenneosilla tai liitoksilla on tällainen ominaisuus.

Tunnistaminen suoritetaan valitsemalla riskiluvulle R jokin vähimmäisarvo, jolloin kaikki sen ylittävät uhkat tulee yksi kerrallaan käsitellä workshopissa. Liitteen 1 perusteella, jos halutaan välttää kaikkein pahimpia seurauksia, riskiluvun R vähimmäisarvoksi tulisi valita 4 riippumatta siitä kumpaa kvalitatiivista taulukkoa käytetään.

Jos siis varautumista ei joiltain osin pidetä riittävänä, tehdään parannustoimenpideehdotuksia. Parannustoimenpide-ehdotuksia on tehtävä liittyen kriittisiksi koettuihin toimiin, joilla ei normaalisti ole erillistä laaduntarkastusta tai valvontaa. Sellaisia voisivat olla esimerkiksi rakenteiden kokoonpanoliitosten kireyden tarkistaminen valmiista rakennuksesta, tai rakennustuotteiden vastaanottotarkastusten tehostaminen.

Kaikkia "mahdollisiksi" tai "kriittisiksi" luokiteltuja rakenneratkaisuja ei tarvitse korjata tai muuttaa jos Workshopissa päädytään siihen, että kyseinen rakenneratkaisu on kelvollinen.

Jotta parannustoimenpide-ehdotukset toteutuisivat, tulee analyysin lopuksi sopia, mitä ehdotuksia ja miten ryhdytään viemään eteenpäin. Samalla sovitaan asioiden hoidolle vastuuhenkilöt ja karkea aikataulu. Edistymistä seurataan tai se todetaan sopivin välein pidettävissä seurantakokouksissa tai projektin lopussa.

Kaikkia kehitettyjä parannustoimenpiteitä ei ehkä voi toteuttaa välittömästi. Riskinarvioinnin avulla on tunnistettu suurimmat riskit. Yleensä kannattaa aloittaa näiden poistamisella tai pienentämisellä. Joskus parannustoimenpiteet vaativat jatkoselvityksiä, lisäsuunnittelua ja jopa investointeja. Ei ole kuitenkaan syytä jäädä odottamaan suurimpien riskien poistamista, vaan samanaikaisesti voidaan hoitaa pieniä parannuksia pienempien riskien hallitsemiseksi. Usein toimenpiteet voidaan ajoissa toteuttaa helposti ja pienin panostuksin. Tällaisia ovat esimerkiksi uudet toimintatavat ja niiden vaatima henkilökunnan koulutus.

Tarkastelun tulokset on saatettava asianomaisten tietoon. Sekä rakennuttajaa että kohdetta urakoivaa henkilöstöä tulee informoida tärkeimmistä tuloksista ja kertoa jatkotoimenpiteistä. Tiedottaminen voidaan hoitaa yritysten normaalin tiedotuskäytännön mukaisesti tai tiedottamalla asiasta sopivissa kokouksissa, tai julkaisemalla keskeiset tulokset tai laatimalla erillinen tiedote.

Raportointi

Jotta riskianalyysityöstä saadaan täysi hyöty, se tulee raportoida huolellisesti. Kirjaukset analyysilomakkeisiin tulee tehdä siten, että myöhemminkin niitä lukevalle selviää, mistä on ollut kysymys. Lomakkeiden lisäksi on hyvä laatia yhteenvetoraportti, josta myöhemmin voidaan todeta, mitä on tehty, miten on tehty, ketkä analyysin tekemiseen ovat osallistuneet ja mitkä ovat analyysin keskeiset tulokset ja jatkosuunnitelmat sekä päätetyt parannustoimenpiteet ja niistä vastuulliset.

LIITE 1

Karkea riskin määrittely

Riskin arviointiin voidaan käyttää seuraavaa karkea luokittelua, joka useimmiten antaa riittävän tarkkuuden ja on helpompi tehdä.

Tapahtuman todennäköisyys	Seuraukset		
	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen	1 (merkityksetön riski)	2 (vähäinen riski)	3 (kohtalainen riski)
Mahdollinen	2 (vähäinen riski)	3 (kohtalainen riski)	4 (merkittävä riski)
Todennäköinen	3 (kohtalainen riski)	4 (merkittävä riski)	5 (sietämätön riski)

Edellä olevassa taulukossa esitetyt riskiluvut ovat ohjeellisia. Ne voidaan kohde- tai yritys-kohtaisesti muokata paremmin vastaamaan riskianalysissä mukanaolevien käsityksiä riskien keskinäisestä järjestyksestä. Monissa muissa yhteyksissä on sovellettu eksponentiaalisia riskilukuja sekä vaaka että pystysuunnassa, jolloin erityisesti todennäköiset vakavia seurauksia omaavat vaaratilanteet korostuvat jatkotoimenpiteiden kehittämisessä.

Suosittelavampi: Mikäli huonosti ennakoitavien onnettomuustapahtumien suhteellisista todennäköisyyksistä on vain vähän tai ei ollenkaan tietoa, tai vaihtoehdot "mahdollinen" ja "epätodennäköinen" tuntuvat ennakkoon arvioiden lähes samanarvoisilta, voidaan taulukkoa soveltaa esimerkiksi pystysuunnassa lineaarisena ja vaakasuunnassa eksponentiaalisena, jolloin seuraamukset korostuvat vaarojen luokittelussa. Tässä tapauksessa riskiluvut olisivat:

Tapahtuman todennäköisyys	Seuraukset		
	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen	1 (merkityksetön riski)	2 (vähäinen riski)	4 (kohtalainen riski)
Mahdollinen	2 (vähäinen riski)	4 (kohtalainen riski)	8 (merkittävä riski)
Todennäköinen	3 (kohtalainen riski)	6 (merkittävä riski)	12 (sietämätön riski)

Tämä yksikertaistettu menettely vastaa paremmin A- tai AA-luokan rakentamiskohteiden tapauksia siltä osin, että yleisöllä voi mahdollisesti olla jopa lähes vapaa sisäänpääsy kyseisiin tiloihin, jolloin rakennuskohteessa saattaa samanaikaisesti olla sisällä runsaasti ihmisiä, ja erityisesti henkilövahinkojen merkitystä on tällöin syytä korostaa.

Suositus todennäköisyysluokitteluksi:

- **"Epätodennäköinen"** kaikki sellaiset vauriotyypit, ja vaurioitumiskohdat, joissa kestävyys- ja hyväksikäyttöaste on alle 60 %,
- **"Mahdollinen"** kaikki sellaiset vaurioitumiskohdat, joissa hyväksikäyttöaste on välillä 60 ... 95 %, ja
- **"Todennäköinen"** kaikki sellaiset vauriotyypit ja vaurioitumiskohdat, joissa hyväksikäyttöaste suurempi kuin 95 %.

Tarkempi riskin määrittely

Taulukossa on esimerkki, miten todennäköisyyden ja eri vahinkotyyppien suuruutta kuvaavat tunnusluvut voidaan määrittellä. Esitetyt kuvaukset vahinkojen suuruudesta ja pisteetyksestä ovat vain esimerkkejä. Pienelle yritykselle jo 10 000 euron vahinko voi olla kestävä, kun suuryritykselle 2 miljoonan euron vahingot ovat vielä täysin siedettäviä. Yleensä vahinkojen vertailuluvut kannattaa määrittellä kunkin yrityksen koon ja riskinkantokyvyn mukaisesti.

Todennäköisyys (T)	
T = 0	Ei mahdollinen
T = 1	Hyvin epätodennäköinen (kerran 100 vuodessa tai harvemmin)
T = 2	Epätodennäköinen (korkeintaan kerran 30 vuodessa)
T = 3	Lievästi todennäköinen (korkeintaan kerran 10 vuodessa)
T = 4	Melko todennäköinen (korkeintaan kerran 3 vuodessa)
T = 5	Hyvin todennäköinen (kerran vuodessa tai useammin)

Henkilövahingot (H)	
H = 0	Ei henkilövahinkoja
H = 1	Yhden henkilön lievä loukkaantuminen
H = 2	Yhden henkilön vakava loukkaantuminen tai usean henkilön lievä loukkaantuminen
H = 3	Usean henkilön vakava loukkaantuminen
H = 4	Yhden henkilön kuolema
H = 5	Usean henkilön kuolema

Materiaalivahingot (M)	
M = 0	Ei materiaalivahinkoja
M = 1	Vahingot alle 20 000 euro
M = 2	Vahingot alle 200 000 euro
M = 3	Vahingot alle 2 milj. euro
M = 4	Vahingot alle 10 milj. euro
M = 5	Vahingot yli 10 milj. euro

Keskeytysvahingot (K)	
K = 0	Ei keskeytysvahinkoja
K = 1	Toiminnan keskeytys alle 1 viikko
K = 2	Toiminnan keskeytys alle 1 kuukausi
K = 3	Toiminnan keskeytys alle puoli vuotta
K = 4	Toiminnan keskeytys alle 1 vuosi
K = 5	Toiminnan keskeytys yli 1 vuosi tai toiminnan lopettaminen

Riskiluku määritellään yhtälöllä:

$$R = T \cdot (H + M + K)$$

LIITE 2**ONGELMIEN IDEOINTILOMAKE / PORA**

Kohde _____

Pvm _____

Sivu _____

Ongelma (yksilöi kohde ja tilanne)

Ongelma (yksilöi kohde ja tilanne)

