

TUKES-julkaisu 6/2004

Onnettomuustutkinnan menetelmiä

Snorre Sklet

Suomentanut:

Veikko Kirkkola

TURVATEKNIIKAN KESKUS

Helsinki 2004

Turvatekniikan keskus

| | | |
|-------------------------------|---|------------------------|
| Julkaisija | Turvatekniikan keskus | Julkaisuaika 6/2004 |
| Tekijä(t) | Snorre Sklet | |
| Julkaisun nimi | Onnettomuustutkinnan menetelmiä | |
| Tiivistelmä | <p>Tämä raportti on katsaus joihinkin tärkeisiin, arvostettuihin ja yleisesti käytettyihin menetelmiin, jotka soveltuvat suuronnettomuuksien tutkintaan. Suuronnettomuuksien aiheuttajina ovat yleensä monenlaiset, toisiinsa liittyvät syyt. Niiden tutkinta tulisi antaa monitieteellisen tutkijaryhmän tehtäväksi ja tutkinnan tukena pitäisi käyttää järjestelmällisiä onnettomuustutkinnan menetelmiä. Kullakin menetelmällä on eri soveltuvuusalueita, joten kokonaisvaltaiseen onnettomuustutkintaan tulisi käyttää menetelmien yhdistelmää. Tässä raportissa on rajoitettu käsittelemään suuronnettomuuksien syväanalyysissä käytettyjä menetelmiä.</p> | |
| Asiasanat | Turvallisuus, onnettomuus, onnettomuustutkinta Safety, accident, accident investigation | |
| Julkaisusarjan nimi ja numero | TUKES-julkaisu 6/2004 | |
| Rahoittaja/toimeksiantaja | Turvatekniikan keskus | |
| Julkaisun kustantaja | Turvatekniikan keskus | |
| Painopaikka ja -aika | Edita Prima Oy, Helsinki, heinäkuu 2004 | |

Sisältö

| | |
|---|-----------|
| SISÄLTÖ | 5 |
| YHTEENVETO | 7 |
| LAATUA JA SYVYYTTÄ ONNETTOMUUSTUTKINTAAN - ESIPUHE SUOMENKIELISILLE LUKIJOILLE | 9 |
| 1 JOHDANTO | 11 |
| 1.1 JOHDATUS ONNETTOMUUSTUTKINTAAN JA RAPORTIN RAJAUS..... | 11 |
| 1.2 SANASTO/MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET..... | 14 |
| 1.2.1 Onnettomuustutkinnassa käytetyt määritelmät ja termit | 14 |
| 1.2.2 Lyhenteet..... | 15 |
| 2 MITÄ ONNETTOMUUSTUTKINTA ON? | 17 |
| 2.1 ONNETTOMUUSTUTKINNAN LÄHTÖKOHTIA..... | 17 |
| 2.2 HYÖDYLLINEN VIITEKEHYS ONNETTOMUUSTUTKINTAAN | 17 |
| 2.3 ONNETTOMUUSTUTKINNAN TAVOITTEET | 18 |
| 2.4 VASTUU ONNETTOMUUSTUTKINNASTA | 19 |
| 2.5 ONNETTOMUUSTUTKINNAN KRITERIT | 19 |
| 3 ONNETTOMUUSTUTKINTA PROSESSINA | 21 |
| 3.1 TODISTUSAINEISTON JA TOSIASIOIDEN KERÄÄMINEN | 22 |
| 3.2 TODISTUSAINEISTON JA TOSIASIOIDEN ANALYSOINTI | 22 |
| 3.3 SUOSITUKSET JA RAPORTOINTI | 26 |
| 4 ONNETTOMUUSTUTKINNAN MENETELMIÄ | 27 |
| 4.1 DOE:N YDINANALYYSITEKNIIKAT..... | 29 |
| 4.1.1 Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio (ECFC)..... | 29 |
| 4.1.2 Suojausanalyysi | 31 |
| 4.1.3 Muutosanalyysi..... | 33 |
| 4.1.4 Tapahtumien ja syytekijöiden analyysi..... | 35 |
| 4.1.5 Perimmäisen syyn analyysi..... | 37 |
| 4.2 MUITA ONNETTOMUUSTUTKINTAMENETELMIÄ | 38 |
| 4.2.1 Vikapuuanalyysi..... | 38 |
| 4.2.2 Tapahtumapuuanalyysi..... | 39 |
| 4.2.3 MORT | 40 |
| 4.2.4 Vahinkojen syiden järjestelmällinen analyysi (SCAT)..... | 41 |
| 4.2.5 STEP-analyysi (ajallisesti peräkkäisten tapahtumien kartoitus)..... | 44 |
| 4.2.6 MTO-analyysi | 49 |
| 4.2.7 Onnettomuuden kehittämis- ja suojausanalyysi (AEB)..... | 51 |
| 4.2.8 TRIPOD..... | 53 |
| 4.2.9 AcciMap..... | 58 |
| 5 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 63 |
| 5.1 POHDINTA | 63 |
| 5.2 JOHTOPÄÄTÖKSET | 66 |
| 6 LÄHDELUETTELO | 67 |

Yhteenveto

Tämä raportti on katsaus joihinkin tärkeisiin, arvostettuihin ja yleisesti käytettyihin menetelmiin, jotka soveltuvat suuronnettomuuksien tutkintaan. Raportissa rajoitutaan käsittelemään suuronnettomuuksien syväanalyysissä käytettyjä menetelmiä.

Onnettomuustutkinnan tavoitteena on turvallisuusinsinöörin näkökulmasta selvittää ja kuvata tapahtumien todellinen kulku (mitä, missä, milloin), onnettomuuden välittömät ja perimmäiset syyt sekä siihen myötävaikuttaneet tekijät (miksi) ja toimenpiteet, joilla riskiä pienennetään vastaavanlaisten onnettomuuksien ehkäisemiseksi (oppiminen).

Suuronnettomuuksia aiheuttavat yleensä monenlaiset, toisiinsa liittyvät syyt. Niiden tutkinta tulisi antaa monitieteellisen tutkijaryhmän tehtäväksi, ja tutkinnan tukena pitäisi käyttää järjestelmällisiä onnettomuustutkinnan menetelmiä. Tässä raportissa kuvataan joukko menetelmiä. Kullakin menetelmällä on eri soveltuvuusalueita, joten kokonaisvaltaiseen onnettomuustutkintaan pitäisi käyttää menetelmien yhdistelmää.

Kokonaisvaltaisessa onnettomuustutkinnassa tulisi analysoida kaikkien keskeisten toimijoiden vaikutus tapahtumien kulkuun. Keskeiset toimijat saattavat ulottua teknisistä järjestelmistä ja työntekijöistä johtajiin ja edelleen lainsäätäjiin ja hallitukseen asti.

Laatua ja syvyyttä onnettomuustutkintaan

– esipuhe suomenkielisille lukijoille

Onnettomuuksia tutkitaan, jotta onnettomuuteen johtaneet tekijät voitaisiin selvittää ja jotta voitaisiin ryhtyä mahdollisimman kattaviin toimenpiteisiin vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi. Käsitteet onnettomuuksiin johtaneista tekijöistä tai virheistä ovat muuttuneet vuosikymmenten saatossa. Onnettomuuden välittömänä syynä on aina tekninen vika tai inhimillinen tekijä ja valitettavan usein onnettomuustutkinta pysähtyy näiden tekijöiden selvittämiseen. Onnettomuuksista oppimisen kannalta ratkaisevaa olisi kuitenkin syventyä näiden tekijöiden taustalla vaikuttaviin organisaatioiden vastuukysymyksiin ja menettelytapoihin tai säädösjärjestelmien kehittämistarpeisiin. Oppimisenäkökulman kannalta keskeistä on painottaa syiden ei syyllisten etsintää.

Onnettomuustutkinnan tueksi ja erityisesti tietojen analysoimiseksi on kehitetty onnettomuustutkinnan menetelmiä. Onnettomuustutkinnan menetelmät heijastelevat myös aikakautensa teoreettisia käsityksiä onnettomuuksien syntymekanismeista. Euroopassa tehdyn selvityksen (Valvisto & al. 2003. Accident investigation practices results from a European enquiry.) mukaan viranomaisilla ja yrityksillä on yleensä määritelty onnettomuustutkinnan menettelytavat, mutta systemaattisten tutkintamenetelmien käyttö on vähäisempää.

Turvatekniikan keskuksessa (TUKES) toteutettiin vuosina 2002-2003 kehittämishanke, missä kartoitettiin erilaisia onnettomuustutkinnan menetelmiä. Osana hanketta menetelmistä järjestettiin koulutusta onnettomuustutkintaa tekeville tarkastajille ja parannettiin onnettomuustutkinnan ohjeistusta, jotta onnettomuuteen vaikuttaneita inhimillisiä ja organisatorisia tekijöitä tunnistettaisiin nykyistä järjestelmällisemmin ja kattavammin.

Ruotsissa syksyllä 2003 toteutettiin Kungliga Tekniska Högskolanin johdolla ensimmäinen "Kvalificerad olycksutredningsmetodik –kurssi", johon osallistui eri turvallisuusviranomaisia Ruotsista ja TUKESista. Osana tätä kurssia ja suomalaisten teollisuusyritysten kanssa käytyjen keskustelujen perusteella vahvistui käsitykset siitä, että onnettomuuksista oppimista voitaisiin tehostaa ottamalla käyttöön systemaattisia onnettomuustutkintamenetelmiä niin viranomaistutkinnassa kuin yritysten omassa onnettomuus- ja vaaratilanneselvityksissä. Tämän käännöstyön ensisijaisena tavoitteena onkin lisätä eri osapuolten tietoisuutta onnettomuustutkinnan menetelmistä ja helpottaa menetelmien käyttöönottoa omassa organisaatiossa.

Käännöstyön toteutti Veikko Kirkkola, Docta Translation Service. TUKESista käännöstyötä ohjasivat ja kommentoivat suunnittelija Tarja Valvisto, laatupäällikkö Kirsi Levä, yli-insinööri Aila Salminen ja kielenkääntäjä Ari Aroheikki.

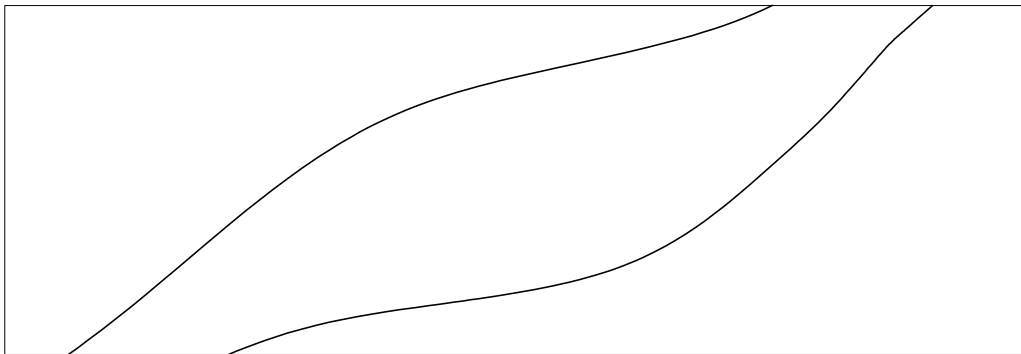
Helsingissä 21.6.2004

Suunnittelija Tarja Valvisto ja laatupäällikkö Kirsi Levä
Turvatekniikan keskus
www.tukes.fi

1 Johdanto

1.1 Johdatus onnettomuustutkintaan ja raportin rajaus

Onnettomuustutkintaan sisältyy laaja valikoima toimintoja, ja eri lähteissä tätä prosessia kuvataan jossain määrin eri tavoin. DOE (1999) jakaa tutkintaprosessin kolmeen vaiheeseen: 1) todistusaineiston ja tosiasioiden kerääminen, 2) näiden analysointi ja johtopäätösten tekeminen sekä 3) suositusten kehittäminen ja raportin kirjoittaminen (kuva 1). Nämä vaiheet ovat kaikki päällekkäisiä ja koko prosessi on vuorovaikutteinen. Jotkut kirjoittajat sisällyttävät myös suositusten toimeenpanon ja toteutuksen seurannan tutkintavaiheeseen (esim. Kjellén, 2000).



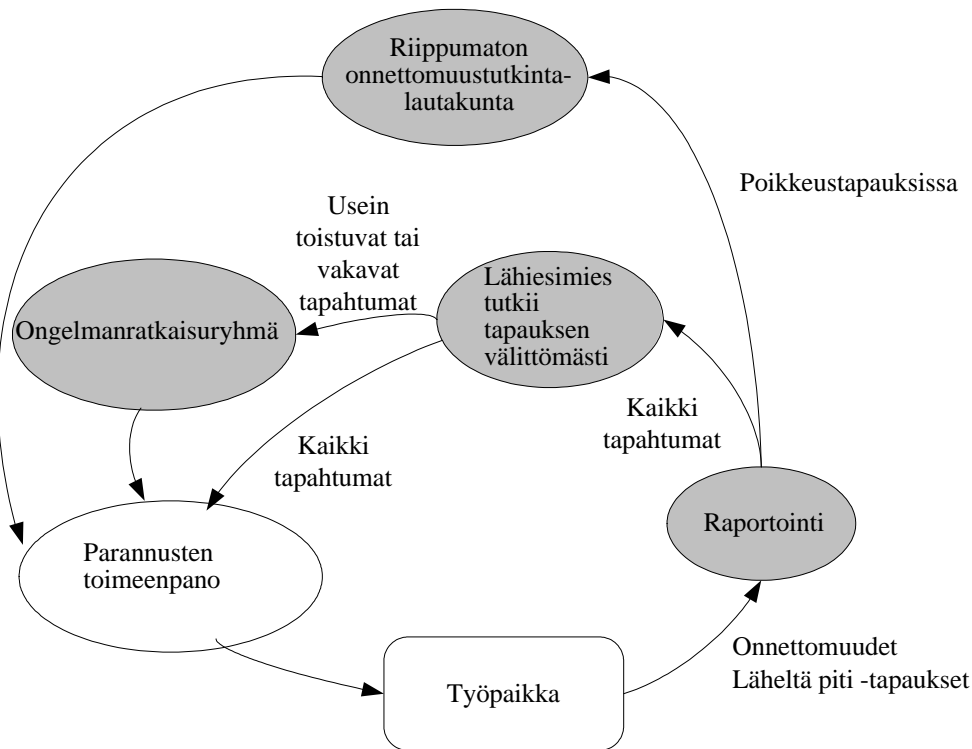
Kuva 1. Onnettomuustutkinnan kolme vaihetta

Tässä raportissa keskitytään tiedon analysointiin ja erityisesti tähän työhön soveltuviin menetelmiin. Keskittyminen tietojen analysointiin ei merkitse sitä, etteivätkö muut vaiheet olisi yhtä tärkeitä, vaan se on keino rajoittaa raportin laajuutta.

Kjellénin (2000) mukaan on tehtävä valintoja, jotta keskityttäisiin sellaisiin onnettomuuksiin ja läheltä piti -tapauksiin, joista on suurin mahdollisuus oppia. Kjellén suosittelee seuraavaa lähestymistapaa (kuva 2)¹:

1. Työnjohtaja ja työsuojeluvaltuutettu tutkivat kaikki raportoidut tapaukset (onnettomuudet ja läheltä piti -tapaukset) välittömästi ensimmäisellä tasolla.
2. Ongelmanratkaisuryhmä tutkii myöhemmin vakavaksi arvioidut tapahtumat eli usein toistuvat tapahtumat, jotka voivat johtaa vakaviin seurauksiin (toteutuneeseen tai potentiaaliseen).
3. Onnettomuustutkintalautakunta tutkii ne harvat tapaukset, joissa toteutunut tai mahdollinen vahinko on suuri. Tutkintalautakunnalla on itsenäinen asema suhteessa niihin organisaatioihin, jotka ovat vastuussa tapahtuneesta.

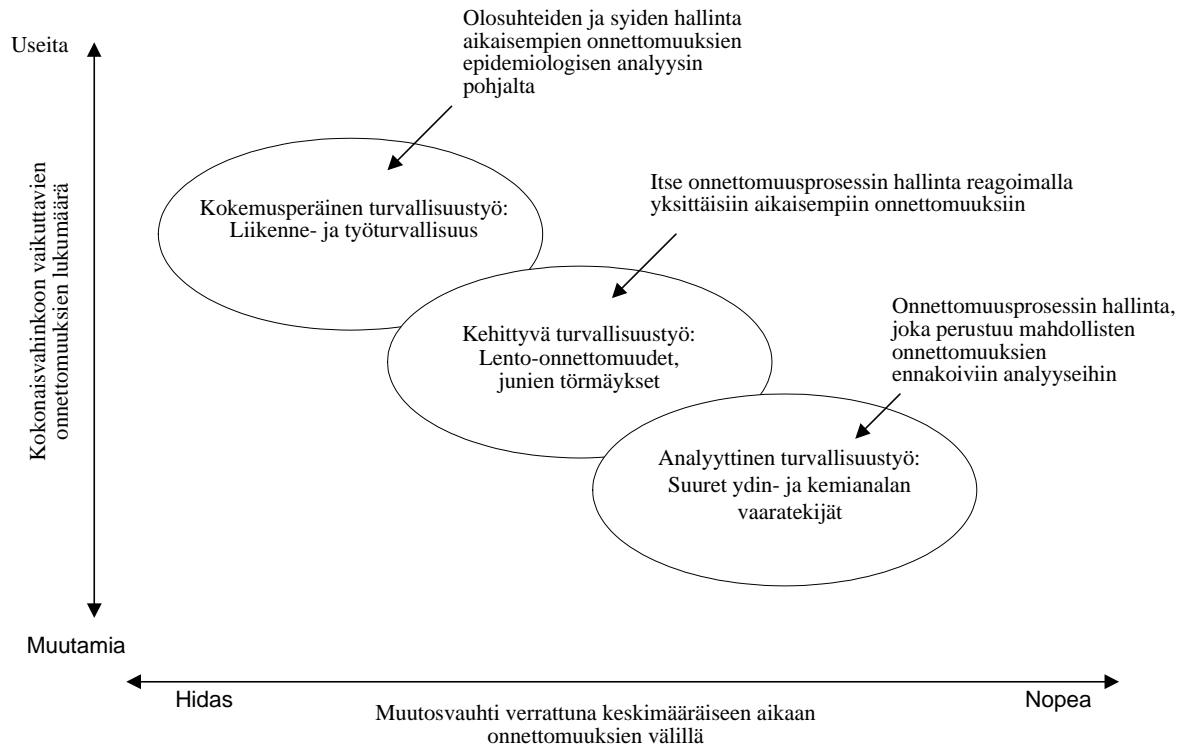
¹ Metodi ei rajoitu suuronnettomuuksiin, vaan kattaa myös työtaturmat.



Kuva 2. Onnettomuustutkinta kolmella tasolla (Kjellén, 2000)

Viimeksi mainittu luokka sisältää myös tapaukset, joita Reason kutsuu organisaatiotekijöistä aiheutuviksi onnettomuuksiksi (Reason, 1997). Organisaatiotekijöistä aiheutuvat onnettomuudet ovat suhteellisen harvinaisia, mutta usein katastrofaalisia tapauksia, jotka sattuvat sellaisen monimutkaisten, uudenaikaisten teknologioiden parissa, kuten ydinvoimalat, lentoliikenne ja petrokemian teollisuus. Organisaatiotekijöistä aiheutuvilla onnettomuuksilla on moninaisia syitä, joihin liittyy useita ihmisiä, jotka toimivat eri organisaatiotasolla. Vastakohtana ovat yksilön aiheuttamat onnettomuudet, joissa tietty henkilö tai ryhmä on usein sekä onnettomuuteen vaikuttava tekijä että sen uhri. Organisaatiotekijöistä aiheutuvat onnettomuudet ovat Reasonin (1997) mukaan seurausta teknisistä innovaatioista, jotka ovat muuttaneet radikaalisti järjestelmien ja niiden inhimillisten osien välistä suhdetta.

Rasmussen (1997) ehdottaa erilaisia riskienhallintastrategioita erityyppisille onnettomuuksille (kuva 3). Tässä raportissa rajoitutaan käsittelemään menetelmiä, joita käytetään kehittyvässä turvallisuustyössä, toisin sanoen suuronnettomuuksien syväanalyysissä käytettyjä menetelmiä (ks. Kjellénin kolmas kohta ja Reasonin organisaatiotekijöistä aiheutuvat onnettomuudet). Raportissa ei käsitellä erikseen menetelmiä, joita käytetään kokemusperäiseen turvallisuustyöhön (esim. tietojen tilastollinen analysointi) ja analyttiseen turvallisuustyöhön (todennäköisyyteen perustuva riskianalyysi), vaikka joitakin niistä voidaankin käyttää todennäköisyyteen perustuvissa riskianalyysissä.



Kuva 3. Rasmussenin riskienhallintastrategiat

Monet onnettomuustutkinnan menetelmistä perustuvat sellaisiin malleihin onnettomuuksien syytekijöistä², jotka auttavat muodostamaan yhteisen käsityksen siitä, kuinka ja minkä vuoksi onnettomuuksia sattuu. Tässä raportissa ei kuvata eri onnettomuusmalleja yksityiskohtaisesti, vaan luetaan ainoastaan niiden "pääluokat". Niille, jotka haluavat tutustua onnettomuusmalleihin perusteellisemmin, suositellaan alkajaisiksi Kjellénin (2000) esittämiä kuvauksia.

Onnettomuusmallien pääluokat ovat (Kjellén, 2000):

1. Tapahtumaketjumallit
2. Prosessimallit
3. Energiansiirtymismallit
4. Loogiset puumallit
5. Ihmisten tiedonkäsittelyn mallit
6. Turvallisuus- ja ympäristöjohtamisen mallit

Tämä raportti keskittyy tutkintamenetelmiin, joilla selvitetään usean tekijän järjestelmävi-oista aiheutuneita suuronnettomuuksia.

² Andersson ja Menckel (1995) tunnistivat tutkimuksessaan yksitoista periaatteiltaan erilaista mallia. Heidän löytämänsä yleinen suuntaus on, että kaikkein "primitiivisimmät" mallit keskittyvät yhteen onnettomuuteen, yhteen tekijään tai yhteen yksilöön, kun taas uusimmat mallit käsittelevät mutkikkaampaa häiriötä, useampitekijäisiä suhteita, yhteisön useita tai kaikkia yksilöitä ja ympäristöä kokonaisuutena. Mielenkiinnon ja huomion kohteilla on yhä pitempi aikajänne, ja ne keskittyvät kasvavassa määrin aikaan "ennen onnettomuutta" onnettomuuden seurausten lieventämisen sijasta.

1.2 Sanasto/määritelmät ja lyhenteet

1.2.1 Onnettomuustutkinnassa käytetyt määritelmät ja termit

Onnettomuustutkinnan alueella ei vallitse yhteisymmärrystä käsitteiden määritelmistä. Eri-tyisesti on keskusteltu käsitteestä syy. Jotkut tutkijat keskittyvät syytekijöihin (esim. DOE, 1997) ja toiset taas keskittyvät määrääviin tekijöihin (esim. Kjellén ja Larsson, 1981), myötävaikuttaviin tekijöihin (esim. Hopkins, 2000), aktiivisiin vikaantumisiin ja piileviin olosuhteisiin (esim. Reason, 1997) tai turvallisuusongelmiin (Hendrick & Benner, 1987).

Hopkins (2000) määrittelee syyn seuraavasti: "Asian sanotaan olevan toisen asian syy, jos voimme sanoa, että *ilman* ensimmäistä toista ei olisi ollut". Leplat (1997) ilmaisee tämän akateemisemmin sanomalla, että yleensä hyväksytään seuraavan tyyppinen syyn määritelmä: "Kun sanotaan, että tapahtuma X on tapahtuman Y syy, se tarkoittaa, että X:n olemassaolo on välttämätön ehto Y:n syntymiselle kyseisissä olosuhteissa". Tällainen määritelmä merkitsee sitä, että jos jokin havaituista syyoluista poistetaan, lopputulosta ei todennäköisesti olisi esiintynyt. Termiä "myötävaikuttava tekijä" voidaan käyttää vähemmän muodollisesti: jos tapahtumaa ei olisi sattunut, se ei välttämättä olisi estänyt onnettomuutta. Kletz (2001) suosittelee välttämään onnettomuustutkinnassa sanaa "syy" ja puhumaan mieluummin siitä, mikä olisi saattanut ehkäistä onnettomuuden.

Onnettomuustutkijat voivat käyttää erilaisia viitekehyksiä onnettomuuksia analysoidessaan, mutta voivat kuitenkin päätyä samoihin johtopäätöksiin sen suhteen, mitä tapahtui, miksi se tapahtui ja mitä voidaan tehdä vastaavanlaisten onnettomuuksien ehkäisemiseksi.

Seuraavaan kappaleeseen sisältyy joitakin määritelmiä. Nämä määritelmät on tarkoitettu termien esittelyksi. Eri kirjoittajat määrittelevät monet termeistä eri tavoin. Määritelmät on lainattu tähän raporttiin ilman kommentteja tai keskustelua, jotta osa spektristä tulisi esille. Määritelmät edustavat kirjoittajiensa mielipiteitä.

| | |
|-----------------|--|
| Onnettomuus | Sarja loogisesti ja ajallisesti toisiinsa liittyviä poikkeavia tapahtumia, joiden seurauksena on henkilövahingon, ympäristövahingon tai omaisuuden vaurioitumisen aiheuttava tapaus (Kjellén, 2000). Ei-toivottava energian siirtyminen tai olosuhdetekijä, joka suojausten tai hallintakeinojen puuttuessa tai vikaantuessa aiheuttaa vammoja ihmisille, vahinkoa omaisuudelle tai heikentää prosessin tehokkuutta (DOE, 1997). |
| Suojaus | Erilaiset keinot, joita käytetään energiavirtojen hallitsemiseen, ehkäisemiseen tai rajoittamiseen. Yleisiä suojaustapoja ovat esimerkiksi laitteet, hallinnolliset menettelyt ja prosessit, valvonta/johtaminen, varoituslaitteet, tiedot ja taidot sekä fyysiset suojaukset. Suojaukset voivat olla joko hallinta- tai turvallisuuslähtöisiä (DOE, 1997). |
| Suojausanalyysi | Analyysitekniikka, jota käytetään onnettomuuden syntymiseen myötävaikuttaneiden energialähteiden ja vikaantuneiden tai puutteellisten suojausten ja hallintakeinojen tunnistamiseen (DOE, 1997). |
| Syytekijä | Onnettomuuden tapahtumasarjaan kuuluva tapahtuma tai olosuhde, joka on välttämätön ja riittävä myötävaikuttamaan ei-toivottuun lopputulokseen. Syyt jaetaan kolmeen luokkaan: välitön syy, myötävaikuttava syy ja perimmäinen syy (DOE, 1997). |

| | |
|-------------------------------------|--|
| Onnettomuuden syy | Myötävaikuttava tekijä tai perimmäinen syy (Kjellén, 2000). |
| Myötävaikuttava syy | Tapahtuma tai olosuhde, joka yhdessä muiden syiden kanssa lisää onnettomuuden todennäköisyyttä, mutta joka yksinään ei aiheuta onnettomuutta (DOE, 1997). |
| Myötävaikuttava tekijä | Työpaikalla esiintyvä pitkäkestoisempi suunnitteluun, organisaatioon tai sosiaalisiin suhteisiin liittyvä riskiä kohottava tekijä (Kjellén, 2000). |
| Hallintakeinot | Suojaukset, joita käytetään haluttujen energiavirtojen hallitsemiseen, esimerkiksi sähköjohdon eristys, pysäytysmerkki, menetelmä tai työlupa (DOE, 1997). |
| Välitön syy | Välittömät tapahtumat tai olosuhteet, jotka aiheuttivat onnettomuuden (DOE, 1997). |
| Tapahtuma | Tapaus; jokin merkittävä ja reaaliajassa tapahtuva. Onnettomuuteen sisältyy sarja työn aikana sattuvia tapahtumia, jotka kulmineituvat tahattomasti syntyvään vammaan tai vahinkoon (DOE, 1997). |
| Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio | Graafinen kuvaus loogisesta sarjasta tapahtumia ja niihin liittyviä olosuhteita, jotka edeltävät onnettomuutta (DOE, 1997). |
| Perimmäinen syy | Kaiken takana oleva, järjestelmään liittyvä, ensisijainen (perimmäinen) syy, jonka vuoksi tapaus sattui (CCPS, 1992). Syytekijät, jotka korjattuina estäisivät onnettomuuden toistumisen (DOE, 1997). Onnettomuuden/tapausten perimmäinen syy, ts. johdon puutteellisen valvonnan aiheuttamat poikkeamat tai myötävaikuttavat tekijät (Kjellén, 2000). |
| Perimmäisen syyn analyysi | Menetelmä, jonka avulla kyetään tunnistamaan syytekijät, jotka korjattuina estäisivät onnettomuuden toistumisen (DOE, 1997). |

1.2.2 Lyhenteet

| | |
|--------------|---|
| AEB-analyysi | Onnettomuuden kehittymis- ja suojausanalyysi (Accident evolution and barrier analysis) |
| BRF | Perusriskitekijät (Basic Risk Factors) |
| CCPS | Yhdysvaltojen kemianinsinööriin prosessiturvallisuusosasto (Center for Chemical Process Safety) |
| DOE | Yhdysvaltojen energiaministeriö (Department of Energy) |
| MORT | MORT-turvallisuusanalyysimenetelmä (Management Oversight and Risk Tree) |
| MTO | Ihminen, tekniikka ja organisaatio (Menneske, teknologi og organisasjon) |
| PSF | Ihmisen suorituskykyyn vaikuttava tekijä (Performing Shaping Factor) |
| SCAT | Vahinkojen ja syiden järjestelmällinen analyysi (Systematic Cause Analysis Technique) |
| STEP | Ajallisesti peräkkäisten tapahtumien kartoitus (Sequential Timed Events Plotting) |

2 Mitä onnettomuustutkinta on?

2.1 Onnettomuustutkinnan lähtökohtia

Tässä kohdassa luetellaan aluksi onnettomuustutkinnan lähtökohtia, jotka jokaisen onnettomuustutkijan tulisi työssään huomioida.

- Suuronnettomuudet ovat suunnittelemattomia ja ei-tarkoituksellisia tapahtumia, joista seuraa vahinkoa tai menetyksiä, jotka kohdistuvat ihmisiin, omaisuuteen, tuotantoon, ympäristöön tai mihin tahansa muuhun arvokkaaseen.
- Onnettomuuksien ehkäisemiseen ja niiden seurausten lieventämiseen tulisi olla suojauksia (fyysisiä ja hallinnollisia). Suuronnettomuuksia sattuu, kun yksi tai useampi työjärjestelmän suojauksista ei täytä tehtäväänsä tai puuttuu.
- Suuronnettomuuksilla on erittäin harvoin vain yksi syy; useimpiin onnettomuuksiin vaikuttavat monenlaiset, toisiinsa liittyvät syytekijät.
- Suuronnettomuudet ovat usein seurausta johtamisjärjestelmän virheistä, joihin usein liittyy ympäristötekijöitä tai yleisen turvallisuuden rakenteita (esimerkiksi sopimukset, markkinat, lainsäätäjät ja hallitus).
- Onnettomuustutkijoiden tulee olla puolueettomia ja riippumattomia sekä esittää tutkimusten tulokset tasapuolisesti³.

2.2 Hyödyllinen viitekehys onnettomuustutkintaan

Rasmussenin (1997) mukaan onnettomuudet aiheutuvat sellaisten fyysisten prosessien hallinnan menettämisistä, jotka voivat aiheuttaa ihmisille vammoja ja/tai vaurioita ympäristölle tai omaisuudelle. Onnettomuustapahtumien etenemiseen vaikuttaa ihmisten toiminta, joka voi joko laukaista onnettomuuteen johtavan tapahtumavirran tai kääntää normaalin tapahtumavirran suuntaa.

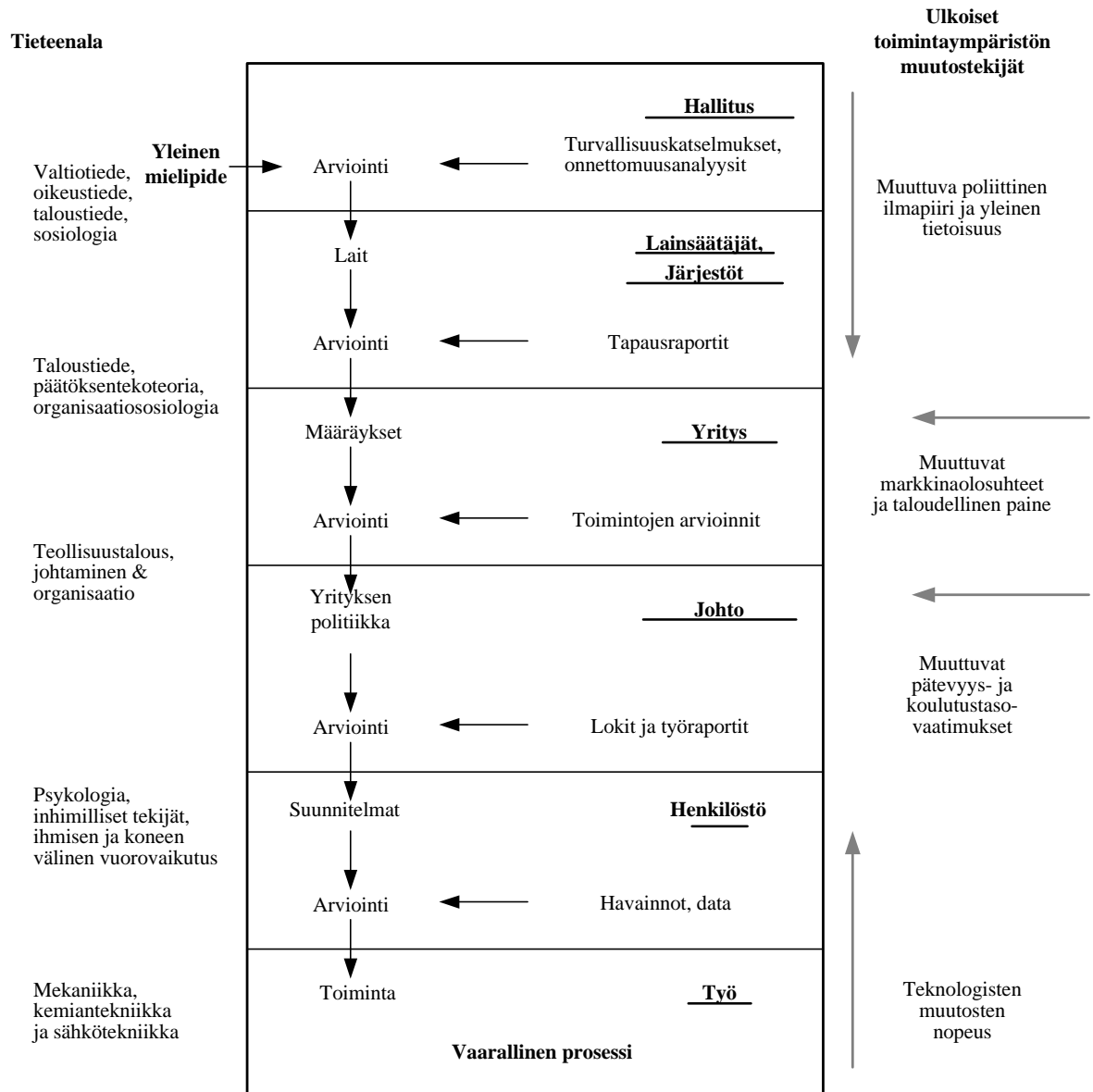
Turvallisuuden hallintaan osallistuu useilla tasoilla poliitikkoja, johtajia, turvallisuuden ammattilaisia ja työnsuunnittelijoita keinoinaan lait, säännöt ja ohjeet, joita on annettu tietyn vaarallisen fyysisen prosessin hallitsemiseksi. Turvallisuuden hallinnassa ajankohtainen sosiotekninen järjestelmä on esitetty kuvassa 4.

³ Hopkins (2000) havaitsi tutkintalautakunnan käyttäneen kolmea erilaista periaatetta syytekijöiden valinnassa Longfordin onnettomuuden jälkeen.

1. Oman edun tavoittelu, valitaan omaa etua palvelevat syyt

2. Onnettomuuden ehkäisy, valitaan sellaiset syyt, jotka ovat parhaiten hallittavissa

3. Laillisuusnäkökulma, valitaan syyt, jotka aiheuttavat oikeudellisen vastuun



Kuva 4. Sosiotekninen järjestelmä riskienhallinnassa (Rasmussen, 1997)

Tämä viitekehys on valittu suuronnettomuuksien tutkinnan näkökulmasta ja sitä käsitellään tarkemmin luvun 5 pohdintaosassa.

2.3 Onnettomuustutkinnan tavoitteet

Onnettomuustutkinnalla voi olla erilaisia tavoitteita:

- Selvittää ja kuvata tapahtumien todellinen kulku (*mitä, missä, milloin*)
- Selvittää onnettomuuden välittömät ja perimmäiset syyt / myötävaikuttavat tekijät (*miksi*)
- Selvittää riskiä pienentävät toimenpiteet, jotta ehkäistäisiin vastaavat onnettomuudet tulevaisuudessa (*oppiminen*)
- Tutkia ja arvioida mahdollisen oikeudenkäynnin perusteet (*syöttäminen*)

- Arvioida syyllisyyskysymys korvausvelvollisuuden määrittämisen kannalta (*korvaus*)

Yllä olevan mukaisesti onnettomuustutkinnan aloittamisella on erilaisia päämääriä. Niitä ei kuitenkaan käsitellä tarkemmin tässä raportissa.

2.4 Vastuu onnettomuustutkinnasta

Minkä tahon tulisi vastata onnettomuustutkinnasta ja kuinka perusteellisesti onnettomuutta tulisi tutkia?

Viime vuosikymmeninä tehdyissä onnettomuustutkinnoissa on havaittavissa suuntaus kohti yhä perusteellisempia analyysejä, toisin sanoen ei tyydytä tunnistamaan vain työntekijöiden inhimillisiä virheitä tai teknisiä vikoja, vaan perimmäisiksi syiksi tunnistetaan heikkoudet yhteiskunnallisissa linjauksissa. Rasmussenin (1990) ns. lopetussäännöt auttavat meitä ymmärtämään, missä vaiheessa tutkimus tulisi lopettaa. Reason (1997) ehdottaa, että tutkimukset pitäisi lopettaa siinä vaiheessa, kun tunnistetut syyt eivät enää ole hallittavissa.

Reasonin (1997) ehdottaman lopetussäännön soveltaminen johtaa eri osapuolet erilaisiin lopetuskohtiin. Yhtiöiden tulisi jäljittää syitä oman johtamisjärjestelmänsä puutteisiin saakka ja kehittää sellaisia riskiä pienentäviä toimenpiteitä, joiden toimeenpano on heidän vallassaan.

Valvovien viranomaisten (esimerkiksi Norjan öljydirektoraatti), hallituksen nimeämien selvitysryhmien (esimerkiksi Sleipner-komissio ja Åsta-komissio) tai pysyvien tutkintalautakuntien (esimerkiksi Norjan lento-onnettomuuksien tutkintalautakunta) tulisi lisäksi keskittyä säädösjärjestelmiin ja kysyä, vaikuttivatko näiden järjestelmien heikkoudet onnettomuuteen.

Poliisin ja syyttäväviranomaisen vastuulla on arvioida mahdollisen rikossyytteen nostamisen perusteet, ja oikeuslaitos vastaa tuomion langettamisesta yksilöille tai yhtiöille.

Vakuutusyhtiöiden ja juristien osalle tulee korvausvastuun selvittäminen.

2.5 Onnettomuustutkinnan kriteerit

Mitä on "hyvä" onnettomuustutkinta? Tähän kysymykseen on vaikea vastata yksinkertaisesti, koska vastaus riippuu tutkimuksen päämääristä. Joka tapauksessa otin mukaan kymmenen Hendrickin ja Bennerin (1987) esittämää onnettomuustutkinnan peruskriteeriä. Kriteereistä kolme liittyy onnettomuustutkinnan tavoitteisiin ja päämääriin, neljä tutkintamenetelmiin ja kolme tutkinnan tuloksiin ja sen hyödyllisyyteen.

Tavoitteisiin ja päämääriin liittyvät kriteerit

- *Realistisuus*
Tutkinnan tuloksena tulisi olla realistinen kuvaus todellisista tapahtumista.
- *Riippumattomuus (ei-kausaalisuus)*
Tutkinta tulisi tehdä riippumattomasti, ja sen tulisi johtaa onnettomuusprosessin tapahtumien objektiiviseen kuvaukseen. Syyn tai virheen osoittamista voidaan harki-

ta ainoastaan erillään onnettomuusprosessia koskevasta selvityksestä ja vasta sen jälkeen, kun selvitys on täyttänyt tämän kriteerin.

- *Yhteismitallisuus*
Eri onnettomuuksien tutkinnan ja yhtä onnettomuutta koskevien eri tutkijoiden tekemien tutkintojen tulisi olla yhteismitallisia. Vain eri tutkimustulosten yhteismitallisuus tekee niiden vertailun mahdolliseksi.

Tutkintamenetelmiin liittyvät kriteerit

- *Kurinalaisuus*
Tutkintaprosessin tulisi tarjota järjestäytynyt ja systemaattinen viitekehys ja sellainen kokonaisuus tutkimusmenetelmistä, että tutkijoiden tehtävät pysyvät kurissa ja että heidän ponnistelunsa keskittyvät tärkeisiin ja välttämättömiin tehtäviin siten, että vältetään päällekkäisyydet tai epäolennaiset tehtävät.
- *Toimivuus*
Tutkintaprosessin tulisi olla toimiva, jotta työstä tulisi tehokasta, esimerkiksi niin, että menettely auttaa tutkijaa ratkaisemaan, mitkä tapahtumat kuuluivat onnettomuusprosessiin ja mitkä eivät.
- *Määrittelevyys*
Tutkintaprosessin tulisi tarjota kriteerit niiden tietojen tunnistamiseen ja määrittelymiseen, joita tarvitaan kuvaamaan tapahtunutta.
- *Kattavuus*
Tutkintaprosessin tulisi olla niin kattava, ettei jää mitään epäselvyyttä sen suhteen mitä tapahtui, ei odottamattomia puutteita tai aukkoja selityksiin eikä vaaraa, että raportin lukijat tulkitsevat sitä ristiriitaisesti.

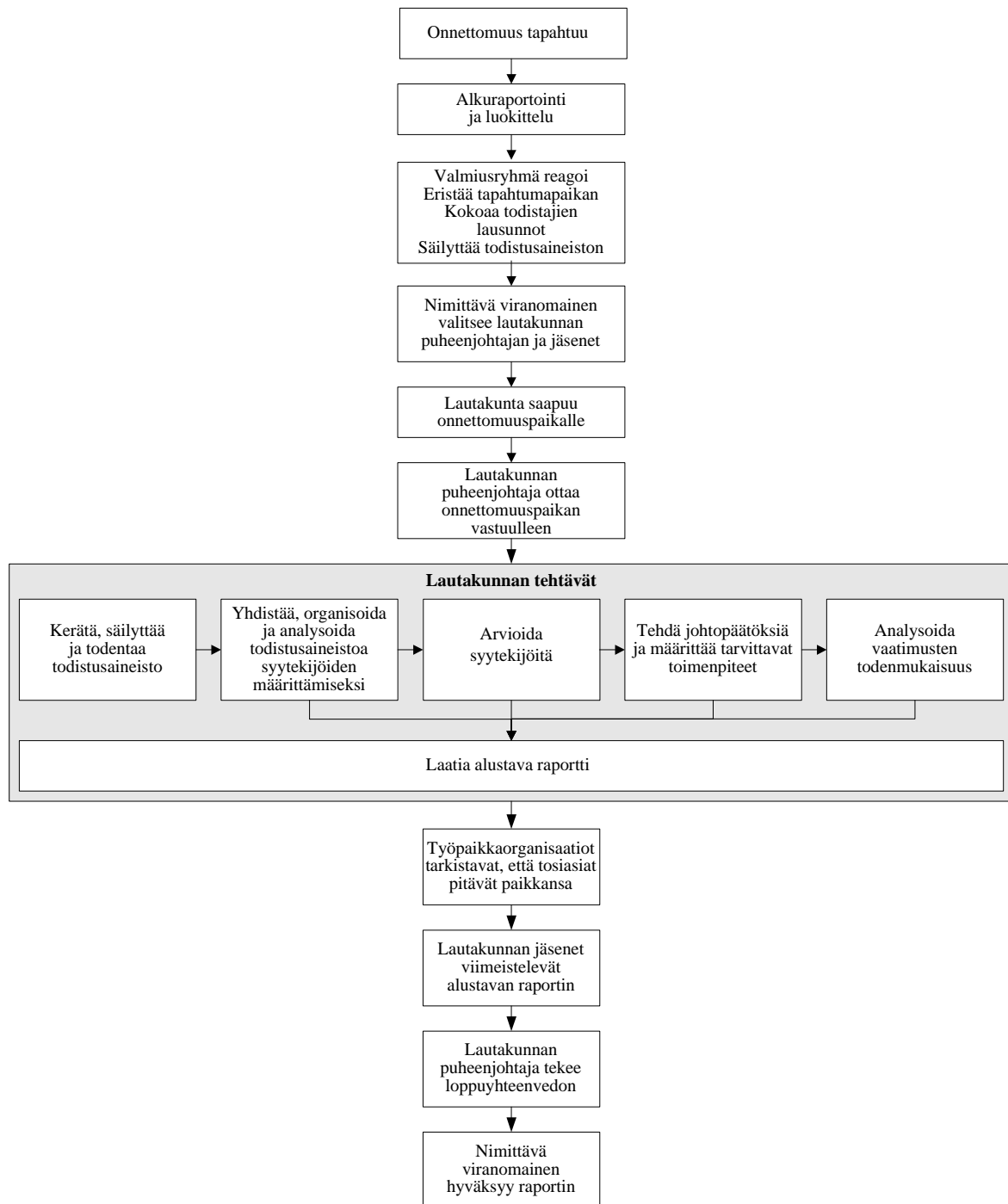
Tuloksiin ja käyttökelpoisuuteen liittyvät kriteerit

- *Välittömyys*
Tutkintaprosessin tulisi antaa tuloksia, joiden perusteella voidaan ilman lisätietojen keruuta tunnistaa tarvittavat torjuntatoimenpiteet ja tehdä tarvittavat muutokset.
- *Ymmärrettävyys*
Tulosten tulisi olla helposti ymmärrettävissä.
- *Tyydyttävyyys*
Tulosten tulisi tyydyttää niitä, joiden aloitteesta tutkinta tehtiin ja muita tahoja, jotka vaativat tutkimustuloksia.

Jotkut kriteereistä ovat kiistanalaisia. Esimerkiksi kausaalisuuteen liittyvästä toisesta kriteeristä kiistellään. Tutkijat, jotka käyttävät onnettomuusmallina tapahtumaketjua, keskittyvät tutkinnassaan periaatteessa syihin. Myös tyydyttävyyteen liittyvä viimeinen kriteeri voi olla kiistanalainen. Otetaan esimerkiksi tutkinta, jonka alullepanijana on yrityksen korkein johto. Jos tutkimusraportissa kritisoidaan korkeinta johtoa, se ei välttämättä ole tyydyttäväinen tuloksiin, mutta tutkimus saattaa siitä huolimatta olla "hyvä" tutkimus.

3 Onnettomuustutkinta prosessina

Kuvassa 5 esitetään onnettomuustutkintaprosessin yksityiskohdat DOE:n (1999) mukaan. Kuten kuvasta ilmenee, prosessi alkaa välittömästi onnettomuuden tapahtuttua eikä työ pääty ennen kuin loppuraportti on asianmukaisesti hyväksytty. Tässä keskitymme syiden selvittämiseksi ja arvioimiseksi tarvittavan todistusaineiston analysointiin (ks. luku 4), mutta sitä ennen muutama näkökohta muista tutkinnan päävaiheista.



Kuva 5. Onnettomuustutkintaprosessi DOE:n mukaan (DOE, 1999)

3.1 Todistusaineiston ja tosiasioiden kerääminen

Tietojenkeruu on ratkaisevan tärkeä osa tutkintaa. Tutkinnan aikana kerätään kolmenlaista todistusaineistoa:

- *Inhimilliset todisteet eli todistajien lausunnot*
Inhimillisiin todisteisiin eli todistajien lausuntoihin kuuluvat todistajien antamat lausunnot ja tekemät havainnot.
- *Fyysiset todisteet*
Fyysiset todisteet ovat onnettomuuteen liittyvää aineellista materiaalia (esimerkiksi koneita, osia, romua, laitteita ja muita fyysisiä esineitä).
- *Asiakirjatodisteet*
Asiakirjatodisteisiin sisältyy paperilla tai sähköisessä muodossa oleva informaatio, esimerkiksi arkistot, raportit, menettelytavat ja asiakirjat.

Todistusaineiston keräämisen päävaiheet ovat: inhimillisten, fyysisten ja asiakirjatodisteiden keruu, organisaation, johtamisjärjestelmien ja linjaorganisaation osuuden tutkiminen sekä kerätyn todistusaineiston säilyttäminen ja hallitseminen.

Todistusaineiston kerääminen voi olla pitkäaikainen, asteittain etenevä ja aikaa vaativa prosessi. Todistajat saattavat antaa ylimalkaisia tai vastakkaisia kuvauksia onnettomuudesta. Fyysiset todisteet saattavat olla pahasti vaurioituneet tai täysin tuhoutuneet, asiakirjatodisteita saattaa olla minimaalisen vähän tai vaikeasti hankittavissa. Perusteellinen tutkinta edellyttää, että tutkintalautakunnan jäsenet keräävät ahkerasti todistusaineistoa ja tutkivat riittävästi johtolangat, tutkimuslinjat ja potentiaaliset syyt, kunnes saavat tarpeeksi täydellisen kuvan onnettomuuden kulusta.

Tässä raportissa tätä aihetta ei käsitellä tarkemmin. Seuraavat lähteet ovat hyödyllisiä asiasta kiinnostuneille: DOE (1999), CCPS (1992) ja Ingstad (1988).

3.2 Todistusaineiston ja tosiasioiden analysointi

Todistusaineiston ja tosiasioiden analysointi on prosessi, jossa määritellään syyt, tunnustetaan piilevät olosuhteet tai myötävaikuttavat tekijät (tai miten niitä halutaankin nimittää) sekä haetaan vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä tapahtui, missä ja milloin?
- Minkä vuoksi se tapahtui?

DOE (1999) erottaa kolme syytyyppiä:

1. Välitön syy
2. Myötävaikuttavat syyt
3. Perimmäiset syyt

Välitön syy on tapahtuma tai olosuhde, joka aiheutti onnettomuuden (DOE, 1997). *Myötävaikuttava syy* on tapahtuma tai olosuhde, joka yhdessä muiden syiden kanssa lisää onnettomuuden todennäköisyyttä, mutta joka erillisenä ei aiheuttaisi onnettomuutta (DOE,

1997). *Perimmäinen syy* on yksi tai useampi syytekijä, jonka/joiden poistaminen estäisi onnettomuuden toistutumisen (DOE, 1997).

Onnettomuuksien syytekijöistä (kausaliteetista) on erilaisia käsityksiä, katso kohdassa 1.2.1 esitetyt kommentit, mutta aihetta ei käsitellä tässä enempää.

Lähteessä CCPS (1992) luetellaan kolme analyttistä metodia, joilla voidaan päätyä onnettomuutta koskeviin johtopäätöksiin:

- Deduktiivinen metodi
- Induktiivinen metodi
- Morfologinen metodi

Näiden lisäksi on olemassa erilaisia onnettomuustutkinnan malleja, jotka eivät ole niin kokonaisvaltaisia kuin nämä järjestelmäkeskeiset tekniikat. Vähemmän kokonaisvaltaisia tekniikoita kutsutaan ei-järjestelmäkeskeisiksi.

Deduktiivinen metodi tarkoittaa menetelmää, jossa päättelyn suunta on yleisestä yksityiseen. Deduktiivisessa analyysissä oletetaan, että järjestelmä tai prosessi on vikaantunut tietyllä tavalla. Seuraavaksi yritetään päätellä, mikä järjestelmän, komponentin, käyttäjän tai organisaation käyttäytymisessä edisti vikaantumista. Koko onnettomuustutkintaprosessi on tyyppillinen esimerkki deduktiivisesta päättelystä. Vikapuuanalyysi on myös deduktiivinen metodi.

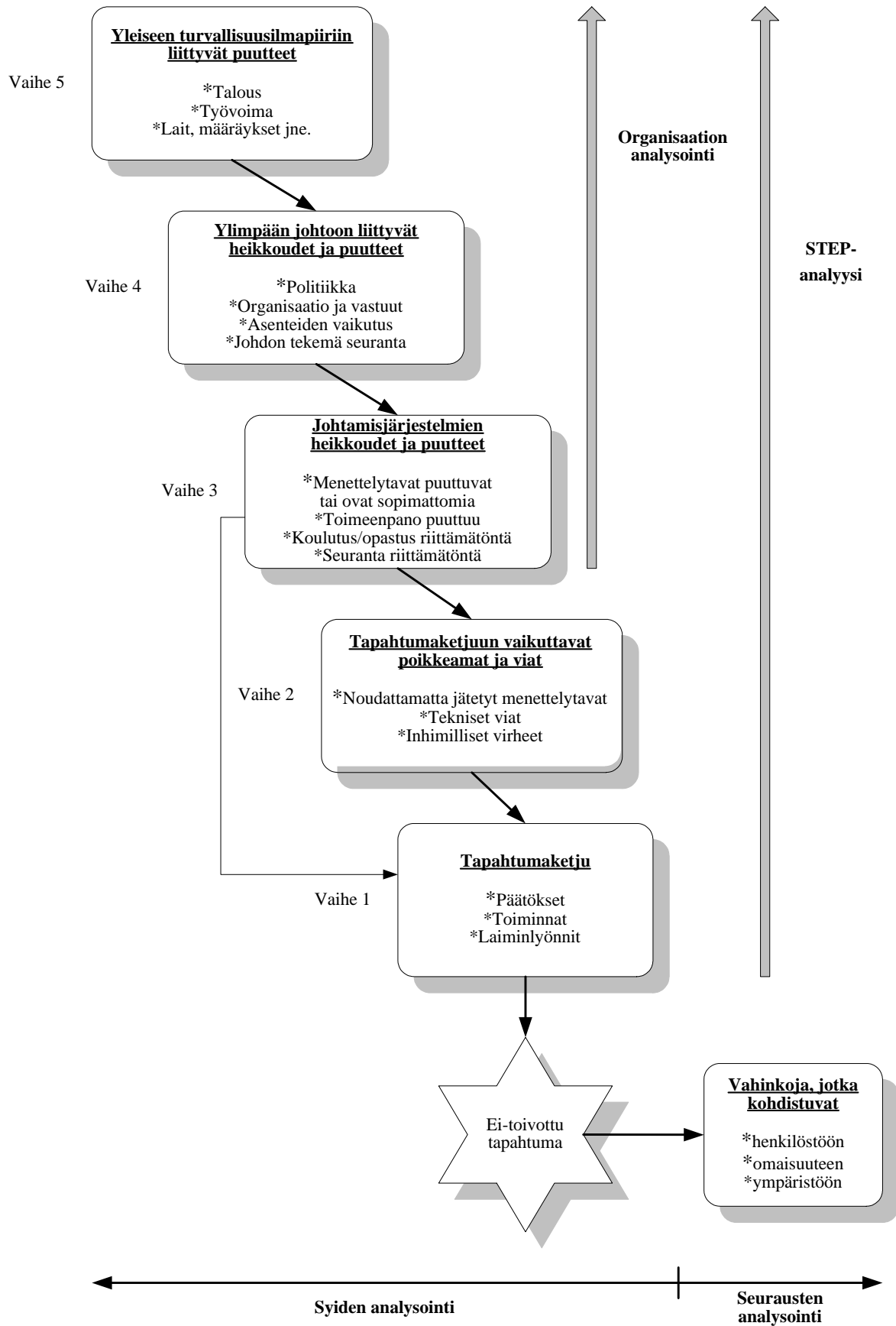
Induktiivinen metodi tarkoittaa menetelmää, jossa tehdään yleisiä johtopäätöksiä yksittäisten tapausten perusteella. Induktiivinen analyysi lähtee siitä, että on olemassa tietty vika tai on tapahtunut tietty alkutapahtuma. Seuraavaksi määritetään, mitä vaikutuksia vialla tai alkutapahtumalla on järjestelmän toimintaan. Deduktiiviseen metodiin verrattuna induktiivinen metodi on "yleiskatsauksen" tyyppinen. Sellaisena se tuo tutkintaan yleisen rakenteen. Syytekijöiden sekä hallinta- ja suojaustoimintojen yksityiskohtien selvittämisessä on usein välttämätöntä käyttää deduktiivista analyysiä. Esimerkkeinä induktiivisista tekniikoista voidaan mainita vika- ja vaikutusanalyysi (FMECA), HAZOP-analyysi ja tapahtumapuuanalyysi.

Morfologinen eli muoto-opillinen metodi, jota käytetään tapausta analysoitaessa, perustuu tutkittavan järjestelmän rakenteeseen. Morfologinen metodi keskittyy suoraan potentiaalisesti vaarallisiin tekijöihin (esimerkiksi toimintaan, tilanteisiin). Tavoitteena on keskittyä tekijöihin, jotka vaikuttavat eniten turvallisuuteen. Morfologista analyysiä tehdessään tutkija käyttää ensisijaisesti omaa aikaisempaa kokemustaan onnettomuustutkinnasta. Sen sijaan, että etsii kaikkia mahdollisia poikkeamia, jotka vaikuttavat tai ovat vaikuttamatta turvallisuuteen, tutkimus kohdistuu tunnettuihin vaaralähteisiin. Morfologinen metodi on yleensä deduktiivisen tai induktiivisen metodin mukaelma, jolla kuitenkin on omat erityispiirteensä.

SINTEF on kehittänyt onnettomuuksien syiden tutkintaan sopivan viisivaiheisen mallin. Malli on esitetty kuvassa 6.

Vaiheessa 1 selvitetään tapahtumaketju juuri ennen onnettomuutta. Vaiheessa 2 tunnistetaan poikkeamat ja häiriöt, jotka vaikuttivat onnettomuuteen johtaneeseen tapahtumaketjuun. Tähän kuuluvat poikkeamat olemassa olevista menetelmistä, poikkeamat yleisistä käytännöistä, tekniset häiriöt ja inhimilliset virheet. Vaiheessa 3 tunnistetaan johtamisjär-

jestelmien heikkoudet ja puutteet. Tavoitteena on löytää vaiheessa 2 tunnistettujen poikkeamien ja häiriöiden mahdolliset syyt. Vaiheessa 4 tunnistetaan yrityksen ylimpään johtoon liittyvät heikkoudet ja puutteet, koska ylimmän johdon vastuulla on vakiinnuttaa tarpeelliset johtamisjärjestelmät ja varmistaa, että niitä noudatetaan. Vaiheessa 5 tunnistetaan ne puutteet, jotka mahdollisesti liittyvät turvallisuuden yleisiin puitteisiin, toisin sanoen markkinoiden kilpailutilanteeseen, lakeihin ja säädöksiin.



Kuva 6. SINTEF:n malli onnettomuuden syiden analysointiin (Arbeidsmiljøsenderet, 2001)

Todistusaineiston ja tosiasioiden analysointiin tarkoitettuja erilaisia menetelmiä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

3.3 Suositukset ja raportointi

Yksi onnettomuustutkinnan päätavoitteista on löytää sellaiset suositukset, joilla voidaan ehkäistä vastaavanlaisten onnettomuuksien toistuminen. Jotta ilmi tulleet välittömät ja perimmäiset syyt eivät johtaisi enää onnettomuuksiin, esitettävien suositusten olisi perustuttava todistusaineiston ja tosiasioiden analysointiin. Yrityksen tasolla suositeltavat riskejä pienentävät toimenpiteet voisivat keskittyä teknisiin, inhimillisiin, toiminnallisiin ja/tai organisaatioon liittyviin tekijöihin. Usein on jopa tärkeämpää keskittää huomio kuvan 4 ylempien tasojen muutoksiin, esimerkiksi säädösten tai viranomaisten tarkastuskäytännön muuttamiseen. On hyvä olla ennakkoluuloton, kun etsii riskejä pienentäviä keinoja sen sijaan, että olisi tässä työvaiheessa kapea-alainen.

Hendrick ja Benner (1987) kehottavat muistamaan kaksi näkökohtaa onnettomuusraportteja laadittaessa:

- Tutkinnat muistetaan raporttiensa perusteella
- Paraskin tutkinta menee hukkaan, jos raportti on kehno.

4 Onnettomuustutkinnan menetelmiä

Onnettomuustutkintaan on kehitetty erilaisia menetelmiä, joissa kaikissa on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Tähän kohtaan on valittu lähempää tarkastelua varten muutamia erittäin tärkeitä menetelmiä. Menetelmien valinta ei perustu sinänsä tieteellisiin valintakriteereihin. Näitä menetelmiä käytetään kuitenkin laajalti, ne ovat yleisesti hyväksytyjä, kirjallisuudessa⁴ hyvin kuvattuja ja jotkut niistä on kehitetty melko hiljattain.

Erilaisten onnettomuustutkintaan käytettävien menetelmien kirjo nähdään oheisista taulukoista. Taulukossa 1 esitetään luettelo DOE:n (1999) ja taulukossa 2 CCPS:n (1992) kuvaamista tutkintamenetelmistä. Jotkut luetelluista menetelmistä ovat päällekkäisiä ja osa toisistaan poikkeavia.

Taulukko 1. Onnettomuustutkinnan analyttiset tekniikat (DOE 1999)

| |
|---|
| Ydinanalyysitekniikat |
| Tapahtumien ja syytekijöiden kartoitus ja analyysi Suojausanalyysi Muutosanalyysi Perimmäisen syyn analyysi |
| Monimutkaiset/Vaativat analyysitekniikat <i>Kun tutkitaan monimutkaisia onnettomuuksia, joihin liittyy useita järjestelmävikoja, voidaan lisäksi tarvita esimerkiksi seuraavia analyttisiä puutekniikoita:</i> |
| Vikapuuanalyysi MORT-turvallisuusanalyysimenetelmä (Management Oversight Risk Tree) PET-analyysi, projektin arviointi -puuanalyysi (Project Evaluation Tree Analysis) |
| Erityisanalyysitekniikat |
| Inhimillisten tekijöiden analyysi Integroitu onnettomuustapahtumamatriisi (aikatekijällä täydennetty tapahtumien ja syytekijöiden analyysi) Vika- ja vaikutusanalyysi Ohjelmiston vaaratekijöiden analyysi Yhteisen syyn vika-analyysi Loispiirianalyysi 72-tunnin profiili Materiaali- ja rakenneanalyysi Tieteellinen mallintaminen (esimerkiksi tapaukset, joihin liittyy ydinturvallisuutta tai ilmateitse tapahtuvaa leviämistä) |

⁴ Jotkut menetelmät ovat kaupallisia, minkä vuoksi niitä on kuvattu vain rajoitetusti yleisesti saatavissa olevassa kirjallisuudessa.

Taulukko 2. Onnettomuustutkinnan menetelmät (CCPS, 1992)

| Tutkintamenetelmä |
|--|
| Onnettomuuden anatomia -menetelmä (AAM, Accident Anatomy method) |
| Toimintavirheanalyysi (Action Error Analysis, AEA) |
| Onnettomuuden kehitymis- ja suojausanalyysi (Accident evolution and barrier analysis, AEB) |
| Muutoksen arviointi/analysointi |
| Looginen syy-vaikutuskaavio (Cause-Effect Logic Diagram, CELD) |
| Syypuumenetelmä (Causal Tree Method, CTM) |
| Vikapuuanalyysi (Fault Tree Analysis, FTA) |
| Poikkeamatarkastelu (Hazard and Operability Study, HAZOP) |
| Inhimillisen toiminnan kehittämisjärjestelmä (Human Performance Enhancement System, HPES) |
| Inhimillisen toiminnan luotettavuuden analysoinnissa käytettävä tapahtumapuu (Human Reliability Analysis Event Tree, HRA-ET) |
| Usean syyn järjestelmäkeskeinen tapaustutkinta (Multiple-Cause, Systems-oriented Incident Investigation, MCSOII) |
| Samanaikaisten tapahtumien ketjutus (Multilinear Events Sequencing, MES) |
| MORT-turvallisuusanalyysimenetelmä (Management Oversight Risk Tree) |
| SCAT Vahinkojen syiden järjestelmällinen analyysi (Systematic Cause Analysis Technique) |
| Ajallisesti peräkkäisten tapahtumien kartoitus (Sequential Timed Events Plotting, STEP) |
| TapRoot™ tapausten tutkintajärjestelmä (TapRoot™ Incident Investigation System) ¹ |
| Toimintojen arviointitekniikka (Technique of Operations Review, TOR) |
| Työturvallisuusanalyysi |

¹ Patentoitu menetelmä, jonka soveltamiseen tarvitaan lisenssi.

Yllä olevissa taulukoissa luetellaan yli 20 eri menetelmää, mutta ne eivät kuitenkaan sisällä kaikkia menetelmiä. Muissa lähteissä on lisää menetelmäkuvauksia.

DOE:n onnettomuustutkinnan työkirja (Workbook Conducting Accident Investigation, DOE, 1999) on kattava ja hyvin kirjoitettu käsikirja. Tutkintamenetelmien kuvaus alkaakin DOE:n ydinanalyysitekniikoista (kohta 4.1), jotka ovat:

- Tapahtumien ja syytekijöiden kartoitus ja analyysi
- Suojausanalyysi
- Muutosanalyysi
- Perimmäisen syyn analyysi

Muutamia muita menetelmiä on kuvattu kohdassa 4.2.

- Vikapuuanalyysi
- Tapahtumapuuanalyysi
- MORT-turvallisuusanalyysimenetelmä (Management Oversight Risk Tree)

- SCAT-analyysi (systemaattinen syyanalyysi)
- STEP-analyysi (ajallisesti peräkkäisten tapahtumien kartoitus)
- MTO-analyysi
- AEB-menetelmä
- TRIPOD-Delta
- AcciMap

Neljää viimeksi mainittua menetelmää ei ole mainittu kummassakaan taulukossa, mutta niitä käytetään yleisesti eri aloilla useassa Euroopan maassa.

Lukijan on hyvä tiedostaa, että tämä luku on puhtaasti kuvaileva. Kaikki menetelmiä koskevat kommentit ja arviot on esitetty luvussa 5.

4.1 DOE:n ydinanalyysitekniikat⁵

4.1.1 Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio (ECFC)

Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio on graafinen esitys onnettomuuden kulusta. Sitä käytetään pääasiassa todistusaineiston keruussa ja järjestämisessä kuvaamaan onnettomuustapahtumien ketjua. Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio on helppo laatia ja se kuvaa tietoja selkeästi. Kaavion pitäminen ajan tasalla auttaa varmistamaan, että tutkinta etenee kitkatomasti, että tiedoissa olevat aukot tunnistetaan ja että tutkijoilla on onnettomuuden kulusta selkeä käsitys, johon nojautua todistusaineiston keruussa ja todistajien haastatteluissa.

Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio on hyödyllinen tunnistettaessa monimutkaisia syitä ja kuvattaessa graafisesti onnettomuuden tapahtumiselle välttämättömiä ja riittäviä laukaisevia olosuhteita ja tapahtumia.

Tapahtumien ja syytekijöiden analyysissä tunnistetaan onnettomuuteen johtaneet merkittävät tapahtumat ja olosuhteet ja määritetään niiden avulla syytekijät. Kun muiden analyysimenetelmien antamat tulokset valmistuvat, ne lisätään tapahtumien ja syytekijöiden kaavioon. "Oletetut" tapahtumat ja olosuhteet voidaan myös ottaa mukaan kaavioon.

DOE (1999) korostaa joitakin tapahtumien ja syytekijöiden kaavion laatimisen etuja:

- Onnettomuuteen johtavan tapahtumaketjun ja kyseisiin tapahtumiin vaikuttaneiden olosuhteiden havainnollistaminen ja vahvistaminen.
- Yhteyden osoittaminen heti olennaisiksi havaittujen ja vähemmän ilmeisten tapahtumien ja olosuhteiden välillä, mikä kuvaa onnettomuudessa osallisina olleiden organisaatioiden ja yksilöiden suhteita.
- Lisätietojen keruun ja analysoinnin etenemissuunnan näyttäminen tietoaukkoja tunnistamalla.
- Tosiasioiden ja syytekijöiden yhdistäminen organisaatiokysymyksiin ja johtamisjärjestelmiin.
- Muilla analyysimenetelmillä saatujen tulosten vahvistaminen.
- Jäsenysmenetelmän tarjoaminen todistusaineiston keruuseen, järjestämiseen ja kerättyjen todisteiden yhdistämiseen.
- Monimutkaisten syiden olemassaolon osoittaminen

⁵ DOE:n ydinanalyysitekniikoiden kuvaus perustuu lähteeseen DOE, 1999.

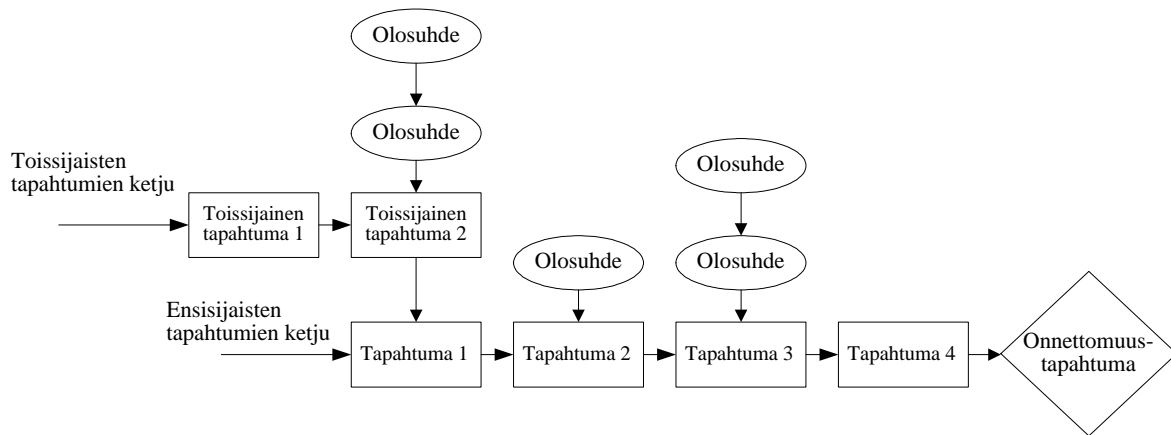
- Tutkijoiden välistä yhteydenpitoa helpottavan, jatkuvan tietojen järjestely- ja esitysmenetelmän tarjoaminen
- Onnettomuuteen liittyvän sellaisen informaation selkeä esittäminen, jota voidaan hyödyntää raporttia kirjoitettaessa
- Kaavio on tehokas havaintoväline keskeisen onnettomuuteen ja sen syihin liittyvän informaation vetämiseksi yhteen tutkimusraportissa.

Kuvassa 7 esitetään yleiskatsaus tapahtumien ja syytekijöiden kaaviossa käytettyihin merkkeihin ja annetaan joitakin kaavion laatimisosuhteita.

| | |
|-----------------------------|--|
| Symbolit | <p>□ Tapahtumat</p> <p>◇ Onnettomuudet</p> <p>○ Olosuhteet</p> <p>▭ Oletetut tapahtumat</p> <p>◌ Oletetut olosuhteet tai hypoteesit</p> <p>➔ Yhdistin</p> <p>▷ Rivien välinen siirto</p> <p>LTA Less than adequate, vähemmän kuin riittävä (arvio)</p> |
| Tapahtumat | <p>*Ovat aktiivisia (esim. ”nosturi törmää rakennukseen”)</p> <p>*Pitäisi ilmaista yhdellä substantiivilla ja yhdellä aktiivissa olevalla verbillä</p> <p>*Pitäisi ilmaista määrällisesti, mikäli mahdollista ja mielekästä</p> <p>*Niihin tulisi merkitä päivämäärä ja aika, jos tiedossa</p> <p>*Tapahtuma pitäisi voida johtaa välittömästi edeltävästä tapahtumasta tai tapahtumista ja olosuhteista</p> |
| Olosuhteet | <p>*Ovat passiivisia (esim. ”sumua alueella”)</p> <p>*Kuvaavat tiloja tai oloja eivätkä tapahtumisia</p> <p>*Tulisi tarvittaessa ilmaista määrällisesti</p> <p>*Niihin tulisi liittää päivämäärä ja aika, jos se on järkevää/mahdollista</p> <p>*Liittyvät tiettyyn tapahtumaan</p> |
| Ensisijainen tapahtumaketju | <p>*Käsittää onnettomuuden päätapahtumat sekä ne tapahtumat, jotka muodostavat kaavion päätapahtumalinjan</p> |
| Toissijainen tapahtumaketju | <p>*Käsittää toissijaiset tai myötävaikuttavat tapahtumat sekä ne tapahtumat, jotka muodostavat kaavion toissijaisen tapahtumalinjan</p> |

Kuva 7. Tapahtumien ja syytekijöiden kaavion laatimisosuhteita ja kaaviossa käytettäviä merkkejä (DOE, 1999)

Kuva 8 esittää tapahtumien ja syytekijöiden kaaviota yleisessä muodossa.



Kuva 8. Yksinkertaistettu tapahtumien ja syytekijöiden kaavio (DOE, 1999)⁶

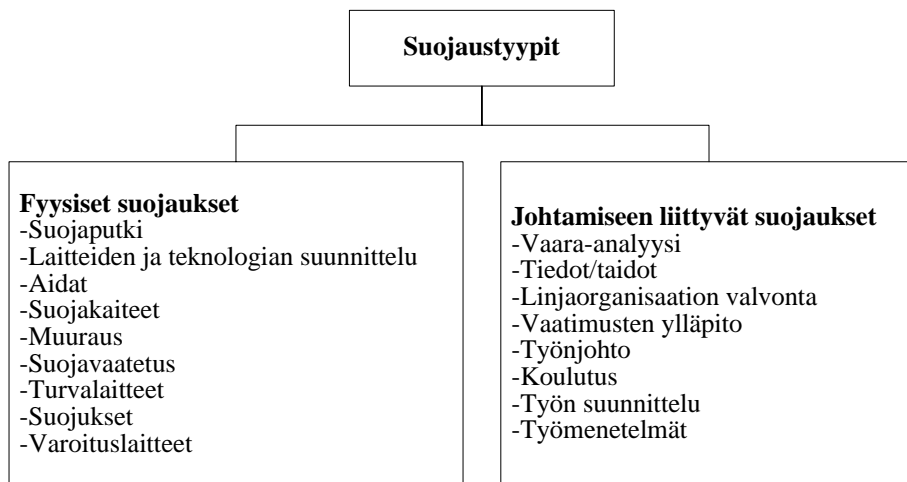
4.1.2 Suojausanalyysi

Suojausanalyysiä käytetään tunnistettaessa onnettomuuteen liittyviä vaaratekijöitä ja niitä suojauksia, joiden olisi pitänyt olla estämässä onnettomuutta. Suojaus (barrier) on mikä tahansa keino, jota käytetään hallitsemaan, ehkäisemään tai rajoittamaan vaaratekijää yltämästä kohteeseen.

Suojausanalyysi kohdistuu:

- olemassa olleisiin suojauksiin ja niiden toimintaan
- olemassa olleisiin, mutta käyttämättä jääneisiin suojauksiin
- puuttuneisiin suojauksiin, joita olisi tarvittu
- sellaisiin suojauksiin, joiden olemassaolo tai tehostaminen olisi ehkäissyt kyseisen onnettomuuden tai samankaltaisten onnettomuuksien tapahtumisen tulevaisuudessa.

Kuva 9 esittää tyyppillisiä suojauksia, joita voidaan käyttää suojaamaan työntekijöitä vaaratekijöiltä.



Kuva 9. Esimerkkejä suojauksista, jotka suojaavat työntekijöitä vaaratekijöiltä (DOE, 1999)⁷

⁶ Samanlainen kuin MES taulukossa 2.

Fyysiset suojaukset on yleensä helppo tunnistaa, mutta johtamisjärjestelmän piiriin kuuluvat suojauskeinot saattavat olla vähemmän ilmeisiä (esimerkiksi altistumisrajat). Tutkijan on ymmärrettävä jokaisen suojauksen tarkoitettu toiminto ja sijainti sekä se, miten suojaus epäonnistui onnettomuuden torjumisessa. Suojaukset tai ehkäisykeinot luokitellaan eri tavoin, esimerkiksi aktiiviset ja passiiviset suojaukset (ks. esim. Kjellén, 2000), kovat ja pehmeät suojaukset (ks. esim. Reason, 1997), mutta asiaa ei käsitellä tässä raportissa tämän enempää.

Johtamiseen liittyviä suojauksia analysoidessaan tutkijoiden on hankittava tietoa suojauskeinoista niillä kolmella organisaatiotasolla, jotka vastaavat työstä: toiminnan (activity), laitoksen (facility) ja koko instituution (institutional) tasoilla. Esimerkiksi toiminnan tasolta tutkija tarvitsee tietoa työn suunnittelusta, niistä hallintaprosesseista, jotka ohjaavat työtoimintaa, ja hallintaprosesseihin liittyvistä turvallisuusjohtamisen järjestelmistä. Tutkija voi myös tarvita tietoa laitostason turvallisuusjohtamisen järjestelmistä. Kolmas tiedon taso on instituutiotason informaatio siitä turvallisuusjohtamisen ohjauksesta ja valvonnasta, jota ylimmän tason johto-organisaatiot tekevät.

Suojausanalyysin perusvaiheet on esitetty kuvassa 10. Tutkijan tulisi käyttää suojausanalyysiä varmistaakseen, että kaikki pettäneet, käyttämättömät tai asentamattomat suojaukset tunnistetaan ja että niiden vaikutus onnettomuuteen ymmärretään. Analyysi tulisi dokumentoida suojausanalyysitaulukkoon. Taulukko 3 esittää suojausanalyysitaulukkoa.

| Suojausanalyysin perusvaiheet | |
|--------------------------------------|---|
| Vaihe 1 | Tunnista vaaratekijä ja kohde. Merkitse ne taulukon yläosaan. |
| Vaihe 2 | Tunnista suojaus. Merkitse se sarakkeeseen yksi |
| Vaihe 3 | Tunnista kuinka suojaus toimi. (Mikä oli suojauksen tarkoitus? Oliko suojaus paikoillaan vai ei? Eikö suojaus toiminut? Käytettiinkö suojausta, jos sellainen oli?) Merkitse vastaukset sarakkeeseen kaksi. |
| Vaihe 4 | Tunnista ja arvioi mahdolliset syyt suojauksen toimimattomuuteen. Merkitse ne sarakkeeseen kolme. |
| Vaihe 5 | Arvioi toimimattomuuden vaikutukset tässä onnettomuudessa. Merkitse arvio sarakkeeseen neljä. |

Kuva 10. Suojausanalyysin perusvaiheet (DOE, 1999)

⁷ Onnettomuuksien ehkäisyyn voidaan käyttää eri alojen syväsuojausperiaatteeseen (defence-in-depth) perustuvia suojausmalleja, katso esimerkiksi Kjellén (2000), koskien tulipalojen ja räjähdysten estämistä hiilivetyä jalostavissa laitoksissa sekä INSAG-12, koskien ydinvoimaloiden turvallisuuden perusperiaatteita.

Taulukko 3. Suojausanalyysitaulukko

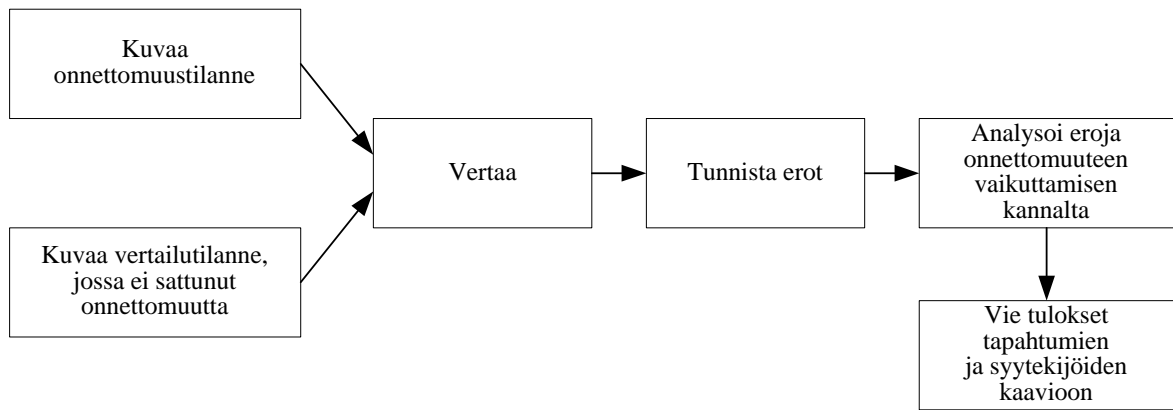
| Vaara: 13,2 kV sähkökaapeli | | Kohde: Tilapäinen putkiasentaja | |
|---------------------------------|--|--|---|
| <i>Mitkä olivat suojaukset?</i> | <i>Miten kukin suojaus toimi?</i> | <i>Minkä vuoksi suojaus ei toiminut?</i> | <i>Kuinka suojaus vaikutti onnettomuuteen?</i> |
| Tekniset piirustukset | Piirustukset olivat puutteelliset eikä niihin oltu merkitty sähkökaapelin sijaintia lika-vesikaivon alueella | Teknisiä piirustuksia ja rakennetietoja ei oltu hankittu. Käytetyt piirustukset olivat alustavia. Ei käytetty valmiin rakenteen mukaisia piirustuksia sähkökaapeleiden paikantamisessa | Sähkökaapelin olemassaoloa ei tiedetty |
| Sisätilojen kaivulupa | Sisätilojen kaivulupaa ei oltu haettu | Putkiasentajat ja laitoksen asiantuntijat eivät tunteneet sisätilojen kaivun lupavaatimuksia | Menetettiin tilaisuus sähkökaapelin olemassaolon paljastumiseen |

4.1.3 Muutosanalyysi

Muutoksella tarkoitetaan mitä tahansa, mikä häiritsee järjestelmän suunnitellun toiminnan "tasapainoa". Muutos on usein järjestelmän toimintahäiriöiden alkulähde.

Muutosanalyysi tutkii suunniteltuja tai suunnittelemattomia muutoksia, jotka aiheuttivat ei-toivottuja tuloksia. Onnettomuustutkinnassa tätä tekniikkaa käytetään analysoimalla eroa, joka on tapahtumien todellisen kulun ja sen välillä, mitä on aikaisemmin tapahtunut tai mitä odotettiin tapahtuvaksi. Tehdessään muutosanalyysiä tutkija tunnistaa erityisesti eroja normaalitilanteen (ei onnettomuutta) ja onnettomuustilanteen välillä. Näitä eroja arvioidaan sen päättelemiseksi, aiheuttivatko kyseiset erot onnettomuuden tai myötävaikuttivatko ne siihen.

Kuvassa 11 kuvataan muutosanalyysin prosessia. Tehdessään muutosanalyysiä tutkijat tunnistavat muutoksia sekä kyseisten muutosten seurauksia. Näiden erottaminen toisistaan on tärkeää, sillä pelkkien muutosten vaikutusten tunnistaminen ei ehkä johdata tutkijoita tunnistamaan kaikkia onnettomuuden syitä. Muutosanalyysiä tehtäessä on tärkeää, että on olemassa vertailutilanne, johon onnettomuuden tapahtumaketjua voidaan verrata.



Kuva 11. Muutosanalyysin prosessi (DOE, 1999)

Taulukko 4 esittää yksinkertaista muutosanalyysitaulukkoa. Tutkijoiden tulisi ensin luokitella muutokset taulukon vasemman sarakkeen kysymysten mukaisesti, toisin sanoen päätellä, liittyikö muutos esimerkiksi seuraavissa olosuhteissa esiintyneisiin eroihin:

- **Mitä** sellaisia tapahtumia, olosuhteita, toimintaa tai välineitä onnettomuustilanteessa oli mukana, joita ei ollut vertailutilanteessa (ei onnettomuutta -tilanne, aikaisempi tai ihanteellinen tilanne) tai päinvastoin
- **Milloin** tilanne tai olosuhde esiintyi tai havaittiin onnettomuustilanteessa / vertailutilanteessa
- **Missä** tilanne tai olosuhde esiintyi onnettomuustilanteessa / missä tilanne tai olosuhde esiintyi vertailutilanteessa
- **Kuka** oli mukana suunnittelussa, tarkastuksessa, valtuuksien antamisessa, suorittamassa ja valvomassa työtoimintaa onnettomuustilanteessa / vertailutilanteessa
- **Miten** työn johtaminen ja ohjaaminen oli hoidettu onnettomuustilanteessa / vertailutilanteessa.

Taulukkoa täytettäessä kuvataan ensin jokainen kiinnostava tapahtuma tai olosuhde toiseen sarakkeeseen. Sen jälkeen kuvataan kolmanteen sarakkeeseen vastaavat tapahtumat tai olosuhteet, jotka esiintyivät (tai joiden olisi pitänyt esiintyä) vertailutilanteessa. Neljännessä sarakkeessa tulisi lyhyesti kuvata onnettomuustilanteen ja vertailutilanteen tapahtumien ja olosuhteiden välisiä eroja. Viimeisessä sarakkeessa pohditaan kunkin muutoksen vaikutusta onnettomuuteen.

Tunnistettuja eroja tai muutoksia voidaan yleisesti pitää onnettomuuden syinä, ja ne pitäisi merkitä tapahtumien ja syytekijöiden kaavioon sekä käyttää niitä perimmäisen syyn analyysissä.

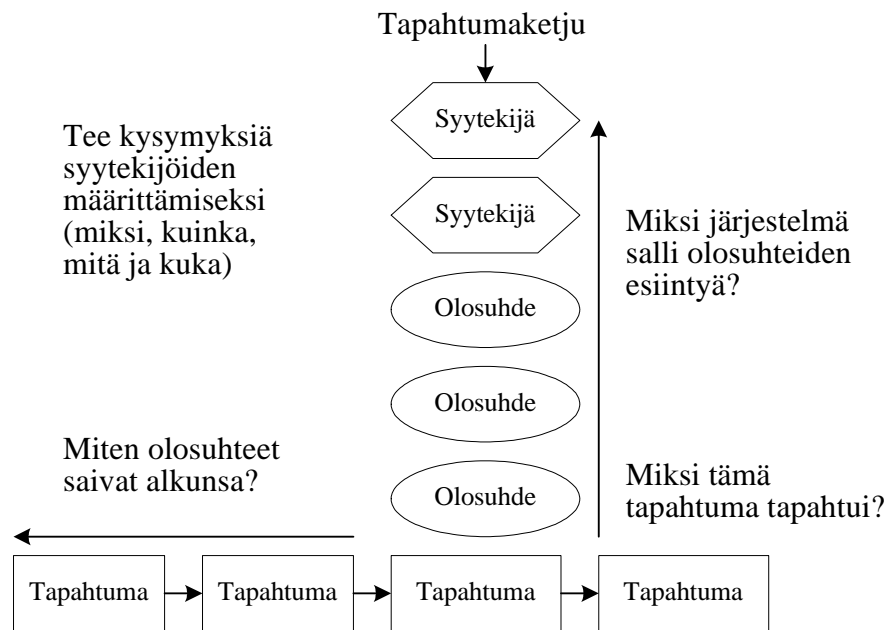
Muutosanalyysin mahdollinen heikkous on, ettei se ota huomioon kumuloituvien muutosten yhteisvaikutusta (esimerkiksi useita vuosia aikaisemmin alkaneen muutoksen vaikutusta yhdistettynä uuteen muutokseen). Tämän heikkouden välttämiseksi tutkijat voivat valita useamman kuin yhden vertailutilanteen, johon onnettomuustilannetta verrataan.

Taulukko 4. Yksinkertainen muutosanalyysitaulukko (DOE, 1999)

| <i>Tekijät</i> | <i>onnettomuustilanne</i> | <i>Edeltävä, ihanteellinen tai ei-onnettomuutta-tilanne</i> | <i>Ero</i> | <i>Vaikutuksen arviointi</i> |
|--|---------------------------|---|------------|------------------------------|
| Mikä olosuhteet tapahtumat toiminnot välineet | | | | |
| Milloin esiintyi tunnistettiin laitteiston tila aikataulu | | | | |
| Missä fyysinen sijainti ympäristö- olosuhteet | | | | |
| Kuka osallinen henkilö koulutus pätevyys työnjohto | | | | |
| Kuinka hallintaketju vaara-analyysi valvonta | | | | |
| Muuta | | | | |

4.1.4 Tapahtumien ja syytekijöiden analyysi

Tapahtumien ja syytekijöiden kaaviotakin voidaan käyttää onnettomuuden syiden selvittämiseen kuvassa 12 esitetyllä tavalla. Tämä prosessi on tärkeä ensi askel, kun myöhemmin määritetään onnettomuuden perimmäisiä syitä. Tapahtumien ja syytekijöiden analyysissä tarvitaan deduktiivista päättelyä määritettäessä, mitkä tapahtumat ja/tai olosuhteet myötävaikuttivat onnettomuuteen.



Kuva 12 Tapahtumien ja syytekijöiden analyysi (DOE, 1999)

Ennen kuin tutkija alkaa analysoida taulukkoon merkittyjä tapahtumia ja olosuhteita, hänen on ensin varmistettava, että taulukko on riittävän yksityiskohtainen. Tutkitaan onnettomuutta välittömästi edeltänyt ensimmäinen tapahtuma. Arvioidaan sen merkitys onnettomuuden tapahtumaketjussa kysymällä:

"Olisiko onnettomuus sattunut, ellei tätä tapahtumaa olisi ollut?"

Jos vastaus on myönteinen, tapahtuma ei ole merkitsevä. Edetään taulukon seuraavaan tapahtumaan onnettomuudesta taaksepäin katsottuna. Jos vastaus on kielteinen, määritetään, kuuluiko tapahtuma normaaliin toimintaan ja olivatko sen seuraukset odotetun kaltaisia. Jos tapahtuma oli tarkoitettu ja sen vaikutukset olivat odotetun kaltaiset, tapahtuma ei ole merkitsevä. Jos tapahtuma kuitenkin poikkesi siitä, mikä oli tarkoitus tai sillä oli ei-toivottuja seurauksia, kyseessä on *merkitsevä tapahtuma*.

Jokaiseen merkitsevään tapahtumaan liittyvät tapahtumat ja olosuhteet tutkitaan kysymällä joukko tätä tapahtumaketjua koskevia kysymyksiä, esimerkiksi:

- Minkä vuoksi tapahtuma tapahtui?
- Mitkä tapahtumat tai olosuhteet johtivat tapahtuman esiintymiseen?
- Mikä meni vikaan ja teki tapahtuman mahdolliseksi?
- Minkä vuoksi nämä olosuhteet esiintyivät?
- Miten nämä olosuhteet saivat alkunsa?
- Kuka oli vastuussa olosuhteista?
- Onko olemassa yhteyksiä tässä tapahtumaketjussa vikaan menneen ja muiden onnettomuuden tapahtumaketjun tapahtumien ja olosuhteiden välillä?
- Onko merkitsevä tapahtuma yhteydessä muihin sellaisiin tapahtumiin tai olosuhteisiin, jotka saattavat olla merkinä yleisemmästä tai suuremmasta puutteesta?

Merkitsevät tapahtumat sekä ne tapahtumat ja olosuhteet, jotka tekivät merkitsevät tapahtumat mahdollisiksi, ovat onnettomuuden syytekijöitä.

4.1.5 Perimmäisen syyn analyysi

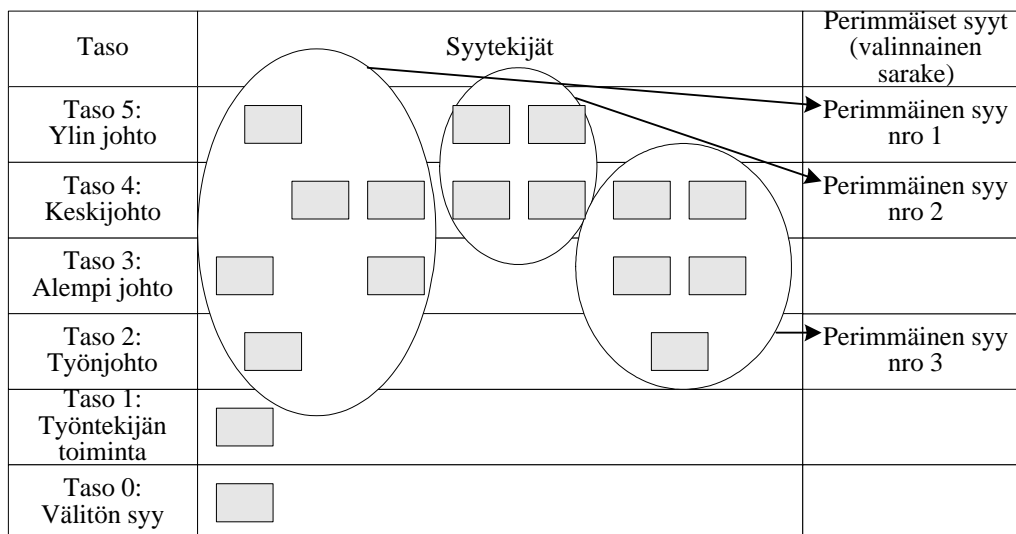
Perimmäisen syyn analyysiksi kutsutaan jokaista analyysiä, joka tunnistaa sellaisia turvallisuusjohtamisjärjestelmän perimmäisiä puutteita, joiden poistaminen olisi ehkäissyt kyseisen onnettomuuden tai ehkäisisi vastaavien onnettomuuksien tapahtumisen tulevaisuudessa. Perimmäisen syyn analyysi on systemaattinen menetelmä, jossa onnettomuuden tärkeimpiä syitä määritettäessä käytetään ydinanalyysitekniikoilla hankittuja tosiasioita ja tuloksia. Kun ydinanalyysitekniikoiden tulisi antaa vastaus kysymyksiin mitä, milloin, missä, kuka ja miten, perimmäisen syyn analyysin tulisi selvittää kysymys minkä vuoksi. Perimmäisen syyn analyysi vaatii jonkin verran harkintaa.

Ennen perimmäisen syyn analyysin käyttämistä on laadittava melko täydellinen luettelo syytekijöistä, jotta lopulliset perimmäiset syyt olisivat täsmällisiä ja kattavia.

Eräs DOE:n kuvaama perimmäisen syyn analyysimenetelmä on TIER-kaavion tekeminen. TIER-kaaviota käytetään sekä onnettomuuden perimmäisten syiden että sen linjaorganisaation tason selvittämiseen, jolla on vastuu ja valtuudet korjata onnettomuuden syyt. Tutkijat käyttävät TIER-analyysiä luokitellessaan tapahtumien ja syytekijöiden analyysistä saatuja syitä tärkeysjärjestykseen. Seuraavaksi tunnistetaan syiden väliset yhteydet ja määritetään mahdolliset perimmäiset syyt. Jokaiselle organisaatiolle, joka on vastuussa onnettomuuteen liittyvästä työstä, laaditaan erillinen kaavio.

Tapahtumien ja syytekijöiden kaavioon merkityt syytekijät toimivat TIER-kaavioiden syötötietoina. Arvioidaan, mihin kukin syytekijä kuuluu TIER-kaaviossa. Sen jälkeen, kun kaikki syyt on järjestetty, niitä tutkitaan sen selvittämiseksi, onko eri syiden välillä yhteyksiä. Kaikkien syytekijöiden osalta arvioidaan, ovatko ne onnettomuuden perimmäisiä syitä. Kullakin onnettomuudella voi olla enemmän kuin yksi perimmäinen syy.

Kuvassa 13 on esimerkki TIER-kaaviosta.

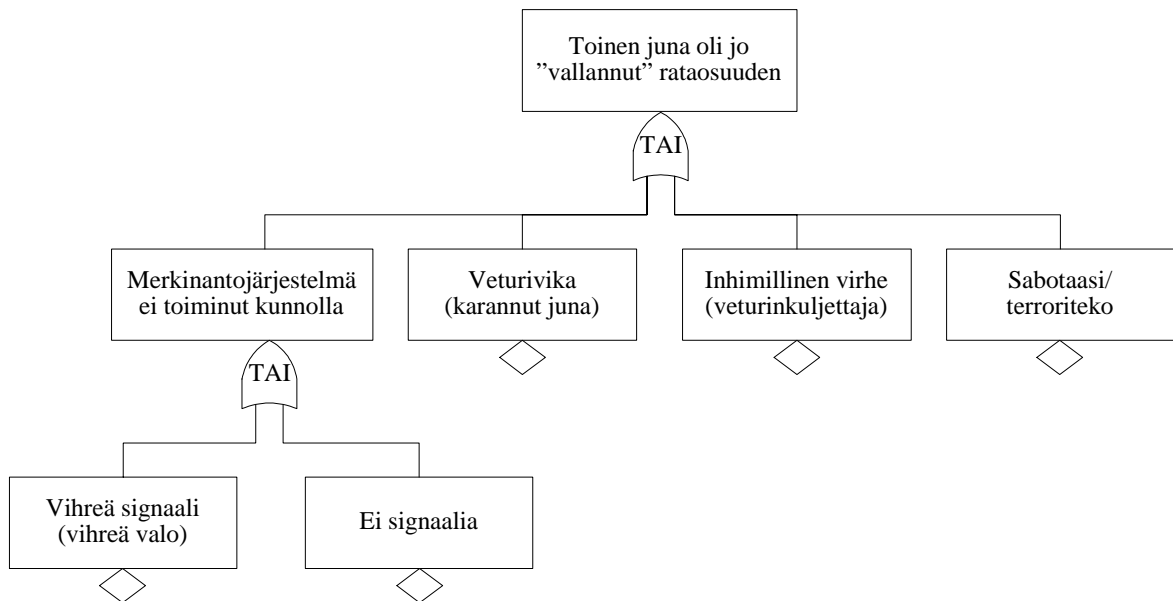


Kuva 13 Perimmäisten syiden yhteyksien tunnistaminen TIER-kaaviosta

4.2 Muita onnettomuustutkintamenetelmiä

4.2.1 Vikapuuanalyysi⁸

Vikapuuanalyysi on menetelmä, jota käytetään onnettomuuden (eli huipputapahtuman) syiden määrittämisessä. Vikapuu on graafinen malli, joka esittää sellaisten normaalien tapahtumien, laitteiston vikojen, inhimillisten virheiden ja ympäristötekijöiden eri yhdistelmiä, jotka voivat johtaa onnettomuuteen. Kuvassa 14 on esimerkki vikapuuanalyysistä.



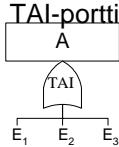
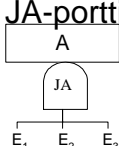
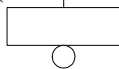
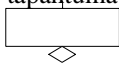
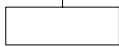


Kuva 14 Esimerkki vikapuuanalyysistä (Åstan onnettomuudesta)

Vikapuuanalyysi voi olla kvalitatiivinen, kvantitatiivinen tai kumpaakin. Vikapuuanalyysin tulos voi olla sellaisten ympäristötekijöiden, inhimillisten virheiden, normaalien tapahtumien ja komponenttivikojen mahdollisten yhdistelmien luettelo, jotka saattavat aiheuttaa järjestelmään kriittisen tapahtuman. Mukana on myös todennäköisyys, että kyseinen kriittinen tapahtuma sattuu tietyllä aikavälillä.

Vikapuun vahvuus kvalitatiivisena työkaluna on sen kyky jakaa onnettomuus perimmäisiin syihin.

Ei-toivottu tapahtuma on huipputapahtumana. Huipputapahtuma yhdistyy perusvikatapah- tumiin loogisilla porteilla ja tapahtumaselityksillä. Loogisella portilla voi olla yksi tai useampi tulo, mutta vain yksi lähtö. Kuvassa 15 on yhteenvedo yleisistä vikapuun symboleista. Tarkempi kuvaus vikapuuanalyysistä on lähteessä Høyland ja Rausand (1994).

⁸ Kuvaus perustuu lähteeseen Høyland & Rausand, 1994.

| | Symboli | Kuvaus |
|-------------------------------|--|--|
| Loogiset portit | <p>TAI-portti</p>  <p>JA-portti</p>  | <p>TAI-portti ilmaisee, että lähtö tapahtuma A tapahtuu, jos mikä tahansa tulotapahtumista E_i tapahtuu.</p> <p>JA-portti ilmaisee, että lähtö tapahtuma A tapahtuu, jos kaikki tulotapahtumat E_i tapahtuvat samanaikaisesti.</p> |
| Tulotapahtumat (input events) | <p>Perustapahtuma (basic event)</p>  <p>Selvittämätön tapahtuma</p>  | <p>Perustapahtuma edustaa peruslaitevikaa, joka ei vaadi vian syiden enempää erittelyä</p> <p>Selvittämätön tapahtuma edustaa tapahtumaa, jota ei tutkita enempää, koska informaatiota ei ole tai tapahtuman seuraukset ovat merkityksettömiä</p> |
| Tilan kuvaus | <p>Kommenttiruutu</p>  | <p>Kommenttiruutu on täydentäviä tietoja varten</p> |
| Siirtosymbolit | <p>Siirto ulos </p> <p>Siirto sisään </p> | <p>Siirto ulos -symboli ilmaisee, että vikapuu jatkuu paikassa, joka on merkitty vastaavalla "siirto sisään" -symbolilla</p> <p>Siirto sisään -symboli</p> |

Kuva 15 Vikapuun symbolit

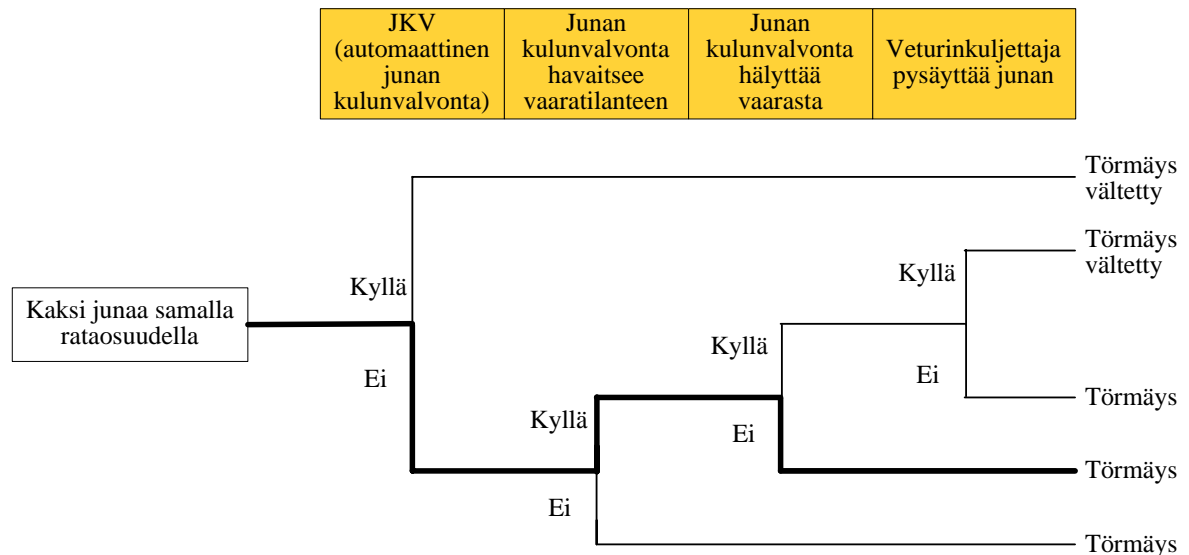
4.2.2 Tapahtumapuuanalyysi⁹

Tapahtumapuuta käytetään analysoitaessa alkutapahtumaa seuraavia tapahtumaketjuja. Tapahtumaketjuun vaikuttavat lukuisten suojausten eli turvallisuustoimintojen/-järjestelmien onnistunut tai epäonnistunut toiminta. Tapahtumaketju johtaa joukkoon mahdollisia seurauksia. Seuraukset voivat olla hyväksyttäviä tai ei-hyväksyttäviä. Tapahtumaketjua havainnollistetaan graafisesti siten, että jokainen turvallisuusjärjestelmä kuvataan sekä toiminta-että häiriötilassa.

Kuva 16 esittää tapahtumapuun tilanteesta, joka oli Rørosin radalla juuri ennen Åstan onnettomuutta. Tapahtumapuu paljastaa, että Rørosin radalta puuttuivat tuohon aikaan luotettavat turvallisuusjärjestelmät, jotka olisivat estäneet junien törmäyksen.

Tapahtumapuuanalyysi on ensisijaisesti proaktiivinen riskianalyysin menetelmä, jota käytetään tunnistettaessa mahdollisia tapahtumaketjuja. Tapahtumapuuta voidaan käyttää tapahtumaketjujen tunnistamisen ja havainnollistamiseen sekä laadullisen ja määrällisen kuvauksen ja arvion tekemiseen. Onnettomuustutkinnassa onnettomuuden kulkua voidaan kuvata yhtenä mahdollisena tapahtumaketjuna. Tätä on havainnollistettu paksulla viivalla kuvassa 16.

⁹ Kuvaus perustuu lähteeseen Villemeur, 1991.



Kuva 16. Yksinkertaistettu tapahtumapuuanalyysi riskeistä Rørosin radalla juuri ennen Åstan onnettomuutta

4.2.3 MORT¹⁰

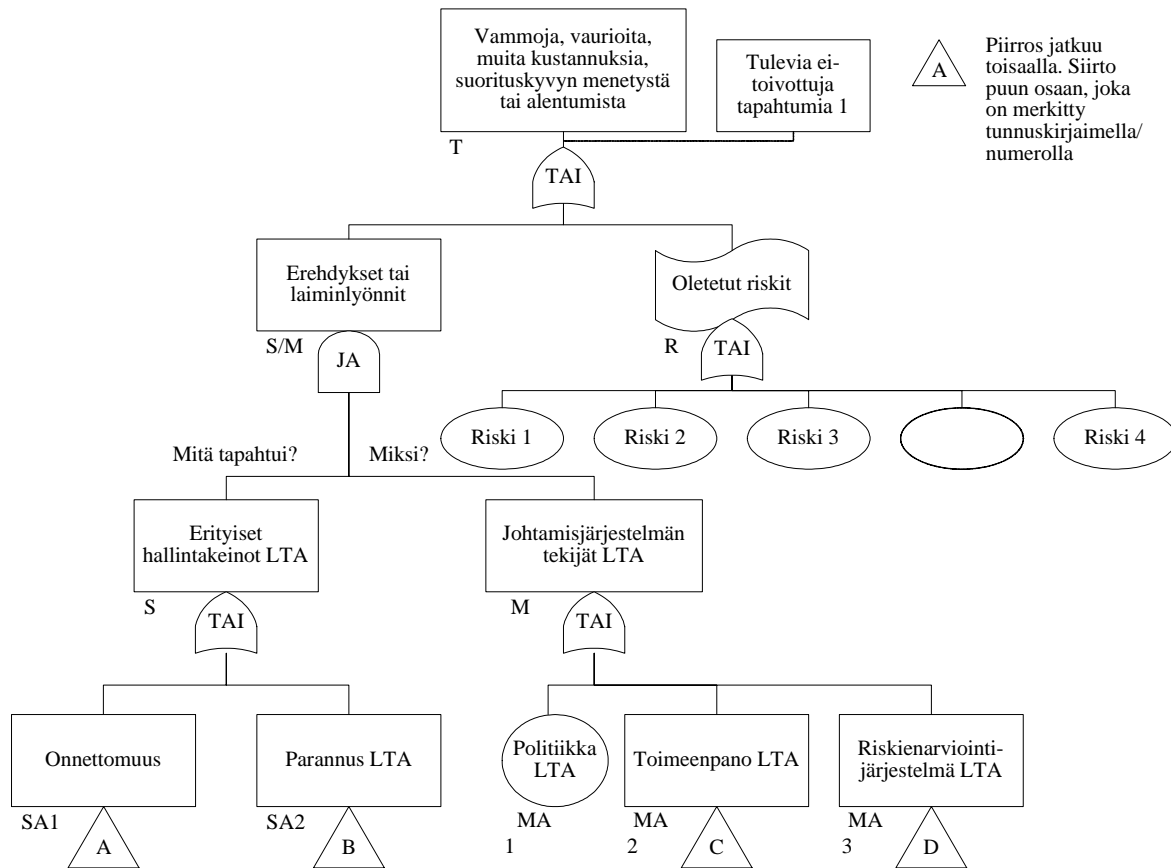
MORT-analyysi on kattavan onnettomuustutkinnan suunnitteluun, organisointiin ja johtamiseen sopiva järjestelmällinen menetelmä (analyttinen puu). MORT-analyysin avulla tutkijat tunnistavat puutteita operatiivisiin hallintakeinoihin liittyvissä tekijöissä ja johtamisjärjestelmään liittyvissä tekijöissä. Näitä tekijöitä arvioidaan ja analysoidaan onnettomuuden syiden tunnistamiseksi.

MORT on pohjimmiltaan graafinen tarkistusluettelo, joka sisältää yleisiä kysymyksiä, joihin tutkijat yrittävät vastata käytössään olevien tosiasioiden avulla. Tutkijat voivat tällöin keskittyä mahdollisiin avainsyihin. Kuvassa 17 näkyvät MORT-kaavion ylemmät tasot.

MORT-analyysin tehokas käyttö vaatii laajaa koulutusta, jos syväanalyysin kohteena ovat monimutkaiset onnettomuudet, joihin liittyy useita järjestelmiä. Tutkintaprosessin aluksi valitaan tarkastelun kohteena olevan turvallisuusohjelman MORT-kaavio. Tutkijoiden työ etenee taso tasolta puuta alaspäin. Tapahtumat tulisi koodata tietyillä värikoodeilla sen mukaisesti, mikä niiden merkitys on ollut onnettomuudessa. Tapahtuma, joka on puutteellinen eli MORT-terminologian mukaan vähemmän kuin riittävä (LTA) (Less Than Adequate), merkitään punaisella. Epäiläessä symboli ympäröidään, ja vahvistetut tapaukset koodataan punaisella. Tyydyttävä tapahtuma merkitään vastaavasti vihreällä. Tuntemattomat tapahtumat merkitään sinisellä siten, että aluksi ne ympäröidään, ja lopuksi väritetään, ellei niistä saada riittävästi tietoja. Lopuksi arvioidaan, jatketaanko analysointia vai lopetetaan se.

Kun puun asianmukaiset lohkot ovat valmiina, sen avulla voidaan helposti jäljittää syyseuraus-polku (johtamisen puutteista perussyihin, myötävaikuttaviin syihin ja perimmäisiin syihin). Puusta näkyy melko selvästi, missä hallinta- ja korjaustoimenpiteitä tarvitaan, ja missä ne voivat olla tehokkaita ja estää onnettomuuden toistumisen.

¹⁰ Kuvaus perustuu lähteeseen Johnson W.G, 1980.



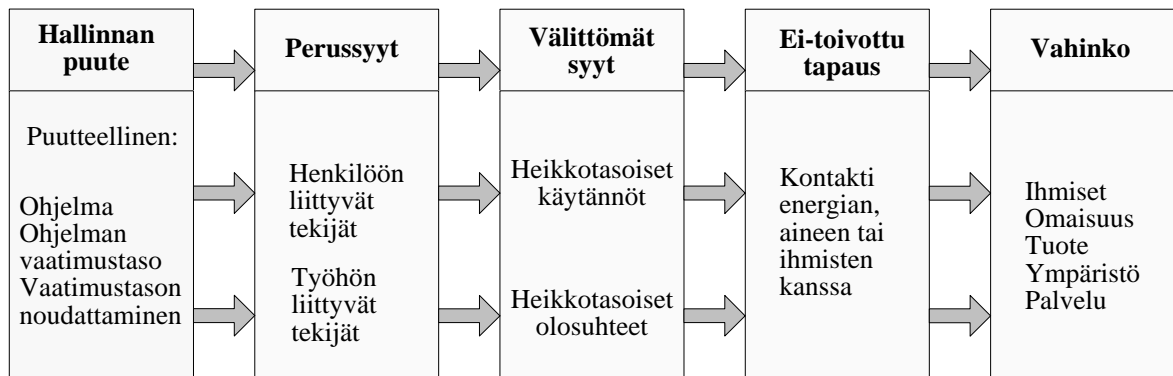
Kuva 17. MORT-kaavion ylempiä tasot

PET-analyysi (projektin arviointi -puuanalyysi) ja SMORT (turvallisuusjohtamisen ja organisaatioiden tarkastelu) perustuvat molemmat MORT-analyysiin, mutta ovat yksinkertaisempia ja helpompia käyttää. Raportissa ei käsitellä tarkemmin PET- ja SMORT-menetelmiä. PET-menetelmä on kuvattu lähteessä DOE (1999) ja SMORT lähteessä Kjellén et al (1987).

4.2.4 Vahinkojen syiden järjestelmällinen analyysi (SCAT)¹¹

Kansainvälinen vahingonvalvontainstituutti ILCI (Loss Control Institute) kehitti SCAT-analyysin työhön liittyvien tapaturmien ja vaaratilanteiden tutkintaan. SCAT-järjestelmän runkona on ILCI:n vahinkosyymalli (Loss Causation Model) (ks. kuva 18).

¹¹ SCAT:n kuvaus perustuu lähteeseen CCPS (1992) ja ILCI-mallin kuvaus lähteeseen Bird & Germain (1985).



Kuva 18. ILCI:n vahinkosymalli (Bird and Germain, 1985)

Onnettomuuden seurauksena on vahinko, joka kohdistuu esimerkiksi ihmisiin, omaisuuteen, tuotteisiin tai ympäristöön. Ei-toivottu tapahtuma (incident, energialähteen ja "uhrin" kontakti) on tapahtuma, joka edeltää vahinkoa. Onnettomuuden välittöminä syinä ovat olosuhteet, jotka välittömästi edelsivät kontaktia. Ne voidaan yleensä nähdä tai havaita. Niitä kutsutaan usein vaarallisiksi (unsafe) toiminnoiksi tai vaarallisiksi olosuhteiksi, mutta ILCI:n mallissa niistä käytetään termejä heikkotasoiset toimet/toiminnot (käytännöt) (sub-standard acts (practices)) ja heikkotasoiset olosuhteet. Heikkotasoiset käytännöt ja olosuhteet on lueteltu kuvassa 21.

| Heikkotasoiset käytännöt/toiminnot | Heikkotasoiset olosuhteet |
|---|---|
| 1. Laitteiden luvaton käyttäminen | 1. Puutteelliset suojukset tai muut suojaukset |
| 2. Varoitusta ei anneta | 2. Puutteellinen tai sopimaton suojain |
| 3. Varmistusta ei tehdä | 3. Vialliset työkalut, laitteet tai materiaalit |
| 4. Käytetään väärällä nopeudella | 4. Ruuhkautunut tai rajoittunut toiminto |
| 5. Tehdään turvalaitteet toimimattomiksi | 5. Puutteellinen varoitusjärjestelmä |
| 6. Poistetaan turvalaitteita | 6. Tulipalo- ja räjähdysvaarat |
| 7. Käytetään viallisia laitteita | 7. Epäsiisteys, työpaikka epäjärjestyksessä |
| 8. Käytetään laitteita asiattomasti | 8. Vaaralliset ympäristö olosuhteet |
| 9. Jätetään käyttämättä henkilönsuojaimet | 9. Meluallistukset |
| 10. Huono kuormaus | 10. Säteilystäistukset |
| 11. Huono sijoitus | 11. Altistumiset liian korkealle tai matalalle lämpötilalle |
| 12. Huono nosto | 12. Riittämätön tai liian kirkas valaistus |
| 13. Sopimaton tehtäväjako | 13. Puutteellinen ilmastointi |
| 14. Laitteiden huolto käynnin aikana | |
| 15. Hevosenleikki | |
| 16. Töissä alkoholin/huumeiden vaikutuksen alaisena | |

Kuva 19. ILCI-mallin mukaiset heikkotasoiset käytännöt ja olosuhteet

Perussyyt ovat oireiden takana piileviä ongelmia tai muita todellisia syitä, jotka johtivat heikkotasoiseen toimintaan tai olosuhteisiin. Perussyyt auttavat selittämään, minkä takia ihmisten suoritus jää heikkotasoiseksi ja miksi heikkotasoisia olosuhteita esiintyy. Kuvassa 20 on yhteenveto henkilöihin ja työhön liittyvistä tekijöistä.

| Henkilöön liittyvät tekijät | Työhön liittyvät tekijät |
|---|--|
| 1. Puutteelliset kyvyt - fyysiset/fysiologiset - henkiset/psykologiset 2. Tiedon puute 3. Taidon puute 4. Stressi - fyysinen/fysiologinen - henkinen/psykologinen 5. Huono motivaatio | 1. Puutteellinen johtaminen ja/tai valvonta 2. puutteellinen turvallisuusohjelma 3. Puutteelliset hankinnat 4. Puutteellinen kunnossapito 5. Puutteelliset työkalut, laitteet, materiaalit 6. Työn laatutason puutteet 7. Kuluminen 8. Väärinkäyttö/huono kohtelu |

Kuva 20. ILCI-mallin mukaiset henkilöihin ja työhön liittyvät tekijät

Hallinnan menettämiseen on kolme syytä:

1. puutteellinen turvallisuusohjelma
2. puutteelliset turvallisuusvaatimukset
3. puutteellinen turvallisuusvaatimusten noudattaminen.

Kuva 21 esittää elementtejä, joita tulisi olla turvallisuusohjelmassa. Elementit perustuvat tutkimustuloksiin ja kokemuksiin, joita on saatu eri yhtiöissä toteutetuissa menestyksellisistä turvallisuusohjelmista.

| Turvallisuusohjelman elementit | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Johtamistaito ja asioiden hoito | 11. Henkilönsuojaimet |
| 2. Johtamiskoulutus | 12. Terveystarkastukset |
| 3. Suunniteltu tarkastustoiminta | 13. Ohjelman arviointijärjestelmä |
| 4. Tehtävänälyysi ja menetelmät | 14. Tekniset hallintakeinot |
| 5. Onnettomuuksien/vaaratilanteiden tutkinta | 15. Henkilökohtaiset yhteydet |
| 6. Tehtävien havainnointi | 16. Ryhmän kokoukset |
| 7. Häätätilavalmius | 17. Yleinen tukitoiminta |
| 8. Organisaation säännöt | 18. Palkkaus ja sijoitus |
| 9. Onnettomuuksien/vaaratilanteiden analysointi | 19. Hankintojen ohjaaminen |
| 10. Työntekijöiden koulutus | 20. Vapaa-ajan turvallisuus |

Kuva 21. ILCI-mallin mukaiset turvallisuusohjelman elementit

Systemaattinen syyanalyysi on työkalu, joka auttaa tutkimaan ja arvioimaan ei-toivottuja tapahtumia SCAT-kaavion avulla. Kaavio toimii tarkistusluettelona tai viitekehysenä, jolla varmistetaan, että on tutkittu tapauksen kaikki puolet. SCAT-kaaviossa on viisi lohkoa. Kukin lohko vastaa vahinkosyymallin yhtä lohkoa. Näin ollen ensimmäisessä lohkossa on tilaa tapauksen kuvaamiselle. Toisessa lohkossa luetellaan yleisimmät kontaktiluokat, jotka ovat voineet johtaa tutkinnan alaisena olevaan tapaukseen. Kolmannessa lohkossa luetellaan yleisimmät välittömät syyt ja neljännessä lohkossa yleisimmät perussyyt. Viimeisessä eli alimmassa lohkossa luetellaan toiminnat, joita yleisesti pidetään tärkeinä vahingontor-

Juntaohjelman onnistumiselle. Menetelmää on helppo käyttää ja sitä tukee koulutuskäsikirja.

SCAT tuntuu vastaavan Norjassa onnettomuuksien kirjaamisessa käytettävää SYNERGI-työkalua. Joka tapauksessa SCAT:ssa ja SYNERGI:ssä käytettävät onnettomuuksien syy-mallit ovat samanlaiset.

4.2.5 STEP-analyysi (ajallisesti peräkkäisten tapahtumien kartoitus)¹²

STEP-menetelmän kehittivät Hendrick ja Benner (1987).

He esittävät onnettomuuksien tutkintaan systemaattista prosessia, joka perustuu samanaikaisten tapahtumien ketjutukseen ja onnettomuusilmion tarkasteluun prosessina.

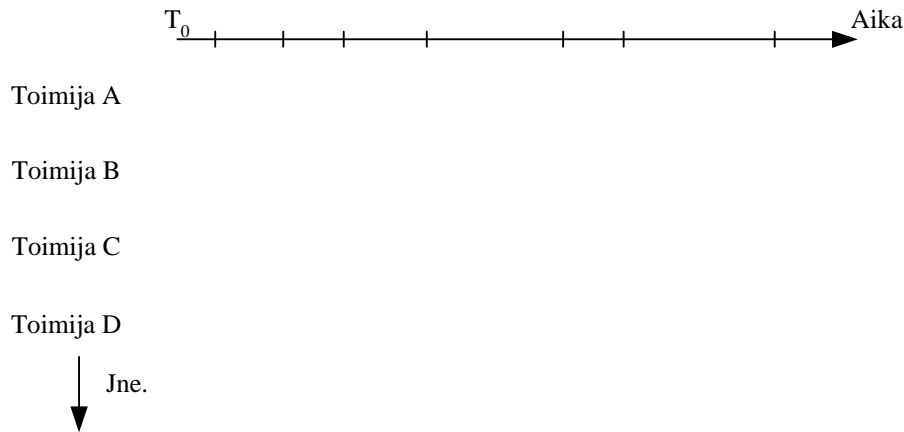
STEP rakentuu neljälle periaatteelle:

1. Sen paremmin onnettomuus kuin sen tutkintakaan eivät ole yksi lineaarinen tapahtumaketju tai -sarja. Ennemmin on niin, että samanaikaisesti tapahtuu useita toimintoja.
2. Taulukossa käytetään onnettomuuden kuvaamiseen tapahtuman rakennuspalikkaformaattia (Building Block). Rakennuspalikka kuvaa yhtä tapahtumaa, toisin sanoen yhtä toimijaa, joka tekee yhden toiminnan.
3. Tapahtumat etenevät loogisesti prosessin aikana. STEP-taulukon nuolet havainnollistavat tapahtumien kulkua.
4. Tuotantoprosessi ja onnettomuusprosessi ovat samanlaisia ja niitä voidaan ymmärtää samanlaisia tutkimusmenetelmiä käyttämällä. Molempiin kuuluu toimijoita ja toimintoja ja kummatkin on mahdollista toistaa, kunhan ne on ensin ymmärretty.

Prosessimallin mukaan tietty onnettomuus alkaa toiminnalla, joka aloitti muutoksen kuvatausta prosessista onnettomuusprosessiin, ja onnettomuus päättyy viimeiseen onnettomuusprosessiin liittyvään vahingolliseen tapahtumaan.

STEP-taulukon avulla rakennuspalikat voidaan organisoida systemaattisesti kattavaksi monitahoiseksi onnettomuusprosessin kuvaukseksi. STEP-taulukko on yksinkertaisesti matriisi, jossa on rivejä ja sarakkeita. Taulukossa on yksi rivi jokaista toimijaa varten. Sarakkeet on merkitty eri tavoin, merkkeinä tai numeroina taulukon ylälaidan aikajanalla (kuva 22). Aika-asteikon ei tarvitse olla lineaarinen. Aikajanan päätarkoitus on pitää tapahtumat järjestyksessä sen suhteen, kuinka ne ajallisesti liittyvät toisiinsa.

¹² Kuvaus perustuu lähteeseen Hendrick & Benner, 1987.

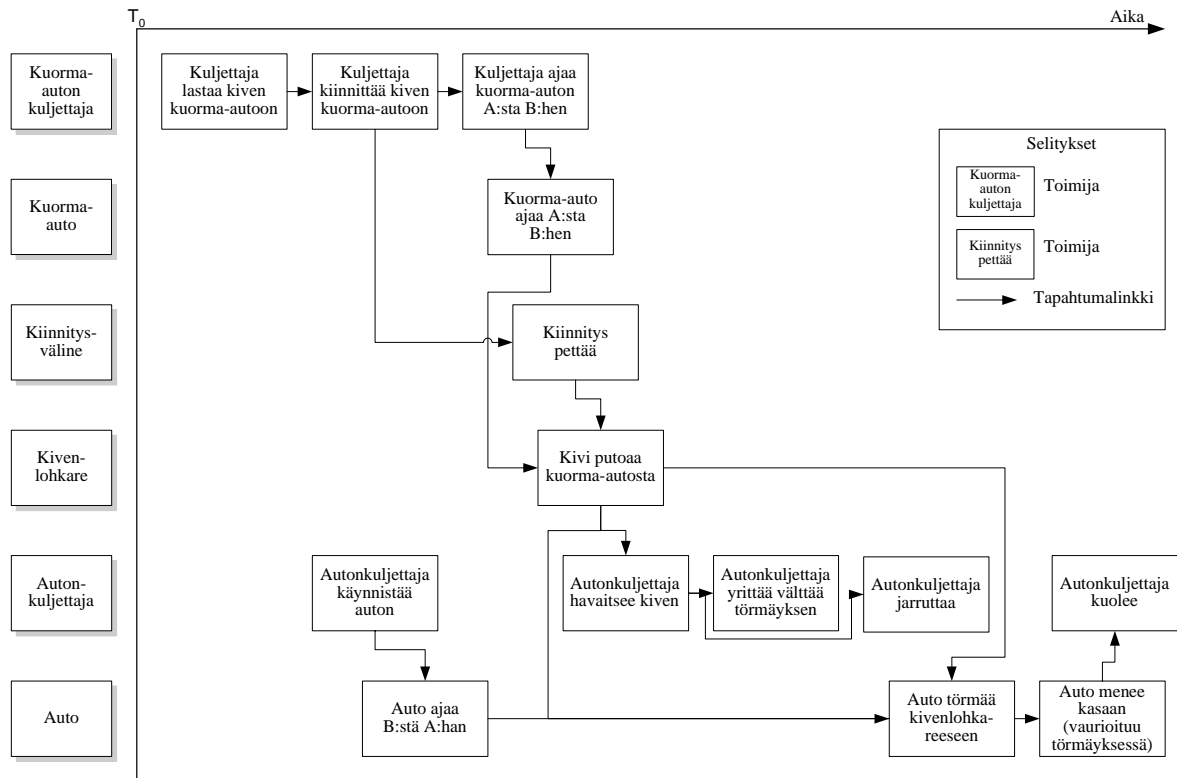


Kuva 22. STEP-taulukko

Tapahtuma on yksi toimija, joka tekee yhden toiminnan. Toimija on henkilö tai esine, joka vaikuttaa suoraan siihen tapahtumien kulkuun, josta muodostuu onnettomuusprosessi. Toimijat voivat olla osallisina kahden tyyppisissä muutoksissa: mukautuvissa muutoksissa tai alulle panevissa muutoksissa. Toimijat voivat joko reagoida dynaamisen tasapainon säilyttämiseksi tai panna alulle muutoksia, joihin muiden toimijoiden on mukauduttava. Toiminta on jotakin, mitä toimija tekee. Se voi olla fyysistä ja havaittavaa tai se voi olla henkistä, jos on kyse ihmisestä. Toiminta on ilmaistava aktiivissa, koska se on sitä, mitä toimija tekee.

STEP-taulukon avulla rakennuspalikat (eli tapahtumat) voidaan järjestää systemaattisesti kattavaksi, monitahoiseksi onnettomuusprosessin kuvaukseksi. Kuvassa 23 on esimerkki sellaisen onnettomuuden STEP-kaavioista, jossa kivilohkare putoaa kuorma-autosta ja osuu henkilöautoon¹³.

¹³ STEP-kaavio perustuu onnettomuutta kuvanneeseen lehtiartikkeliin.



Kuva 23. Esimerkki auto-onnettomuutta kuvaavasta yksinkertaisesta STEP-kaaviosta

Kuvan 23 STEP-kaaviosta näkyy myös, kuinka nuolia käytetään yhdistämään onnettomuusketjun eri tapahtumien välisiä testattuja yhteyksiä. Nuolia käytetään osoittamaan edeltävä/seuraava-suhdetta ja loogisia suhteita kahden tai useamman tapahtuman välillä. Kun aikaisempi toiminta on välttämätön edellytys myöhemmän esiintymiselle, nuoli piirretään edeltävästä tapahtumasta seuraustapahtumaan. Tapahtumien välisiä yhteyksiä koskeva ajatuskulku rajoittuu STEP-mallin perustana oleviin käsityksiin tilamuutoksista. Jokaista taulukossa olevaa tapahtumaa koskien tutkija kysyy: Riittävätkö edeltävät toiminnot aloittamaan tämän toiminnan (tai tapahtuman) vai tarvittiinko muita toimintoja? Yhteyksien löytämiseksi toimijoita ja toimintoja yritetään havainnollistaa "liikkuvilla mielikuvilla" (mental movie).

Joskus on tärkeää määritellä, mitä tapahtui sen aukon tai aikavälin aikana, jolta emme saa kerättyä erityistä todistusaineistoa. Jokainen taulukon jäljelle jäänyt aukko edustaa aukkoa onnettomuuden ymmärtämisessä. **BackSTEP** on menetelmä, jota käytetään päätellessä tapahtumia taaksepäin taulukon aukon oikealla puolella olevasta tapahtumasta aukon vasemmalla puolella olevaan tapahtumaan. BackSTEP-menetelmässä kysytään kysymyksiä "Mikä olisi saattanut johtaa tähän?" ja edetään pyramidia taaksepäin vastausten avulla. Jokaisesta tapahtumasta, joka saadaan vastauksena kysymykseen, tehdään alustava rakennuspalikka. BackSTEP-menetelmää noudatettaessa tunnistetaan usein enemmän kuin yksi mahdollinen reitti aukon vasemmalla ja oikealla puolella sijaitsevien tapahtumien välillä. Tämä kertoo, että voi olla olemassa enemmän kuin yksi tapa, jolla onnettomuusprosessi saattoi kehittyä, mikä johtaa hypoteesiin siitä, mitä pitäisi tutkia lisää.

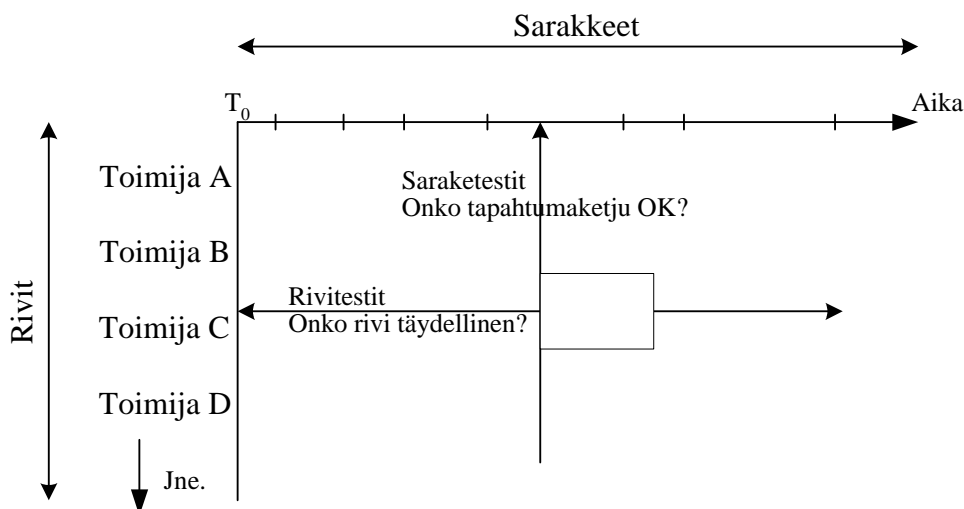
STEP-menetelmä sisältää myös joitakin tiukkoja teknisiä testausmenetelmiä totuudenmukaisuuden selvittämiseksi, nimittäin rivitestin, saraketestin sekä välttämätön-ja-riittävä-testin.

Rivitestit (horisontaalitestit) selvittää, tarvitaanko taulukon vasemmalle puolelle merkitylle tietylle toimijalle lisää rakennuspalikoita. Se selvittää myös, onko kukin toimija jaettu riittävän pieniksi osiksi.

Saraketestit (vertikaalitestit) tarkistaa tapahtumaketjua yhdistämällä uuden tapahtuman pariin toisten toimijoiden toimintojen kanssa. Saraketestin läpäisemiseksi testattavan tapahtuman rakennuspalikan on oltava esiintynyt

- myöhemmin kuin tapahtuman vasemmalla puolella sijaitsevien kaikkien sarakkeiden kaikki tapahtumat
- aikaisemmin kuin tapahtuman oikealla puolella sijaitsevien kaikkien sarakkeiden kaikki tapahtumat ja
- samaan aikaan kuin kaikki saman sarakkeen tapahtumat.

Kuvassa 24 havainnollistetaan rivi- ja saraketestiä.



Kuva 24. Taulukon rivi- ja saraketestit

Välttämätön-ja-riittävä -testiä käytetään epäiltäessä, että yhden toimijan toiminta laukaisi toisen taulukon merkityn toimijan myöhempiä toimintoja. Testiä käytetään sen jälkeen, kun on testattu toimijoiden järjestys. Kysymys kuuluu, riittikö aikaisempi tapahtuma todellakin sellaisenaan aiheuttamaan myöhemmän tapahtuman vai tarvittiinko muitakin toimintoja. Jos aikaisempi toiminto oli riittävä, kerätyt tiedot todennäköisesti riittävät. Jos osoittautuu, ettei aikaisempi tapahtuma riitä aiheuttamaan myöhempää tapahtumaa, on etsittävä muita toimintoja, jotka tarvittiin tapahtuman sattumiseksi.

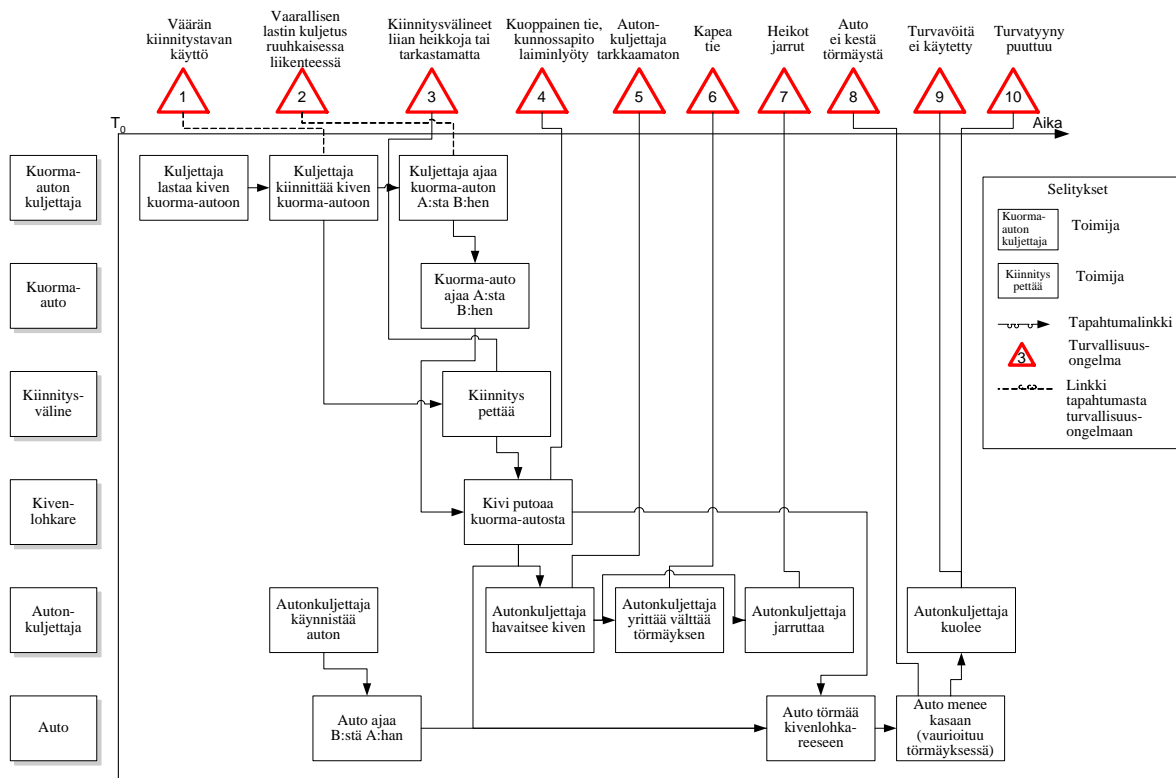
STEP-metodiikkaan sisältyy myös suositeltava menetelmä, jolla tunnistetaan turvallisuusongelmia ja kehitetään turvallisuuteen liittyviä suosituksia. **STEP-tapahtumasarjalähestymistapaa** (STEP event set approach) käytetään tunnistettaessa onnettomuusprosessille ominaisia turvallisuusongelmia. Tätä lähestymistapaa käyttäessään tutkija käy yksinkertaisesti läpi taulukkoa lohko ja nuoli kerrallaan ja etsii tapahtumasarjoja, jotka muodostavat turvallisuusongelmia siitä päätellen, miten aikaisempi tapahtuma vaikutti myöhem-

pään tapahtumaan. Alkuperäisessä STEP-menetelmässä turvallista toimintaa varmistavat toiminnot on muunnettu tarveselvityksiksi, joista on edelleen kehitetty suosituksia korjaustoimenpiteiksi. STEP-taulukossa ne on merkitty vinoneliöillä. SINTEF on käyttänyt hieinan erilaista lähestymistapaa onnettomuustutkinnassaan. Turvallisuusongelmat on merkitty taulukkoon kolmioilla (ks. kuva 25). Näitä turvallisuusongelmia on analysoitu edelleen erillisissä analyyseissä. Kuten kuvasta 25 näkyy, STEP-kaavio on käyttökelpoinen työkalu mahdollisten turvallisuusongelmien tunnistamisessa.

Turvallistamistoimenpiteitä arvioitaessa voidaan käyttää STEP-muutosanalyysiä, johon kuuluu viisi toisiinsa liittyvää toimintoa:

1. Mahdollisten vastamuutosten tunnistaminen
2. Vastamuutosten turvallisuusvaikutusten asettaminen järjestykseen
3. Asiaan liittyvien kompromissien arviointi
4. Parhaiden suositusten valinta
5. Valittujen suositusten lopullisen laatuarvion teko.

Aihepiiriin ei kuulu riskejä pienentävien toimenpiteiden kehittäminen, joten sitä ei kuvata tässä raportissa.



Kuva 25. Turvallisuusongelmia käsittelevä STEP-kaavio

Mitä termiin syy (cause) tulee, Hendrick ja Benner (1987) sanovat, että tutkijaa usein pyydetään tunnistamaan onnettomuuden syy. STEP-taulukon pohjalta nähdään, että onnettomuus koostui itse asiassa useista tapahtumapareista. Miten pitäisi valita yksi tapahtumapari ja nimetä se onnettomuuden "syyksi"? Jos yksi ongelma valitaan syyksi, huomio keskittyy kyseiseen ongelmaan. Jos voimme luetella useita syitä tai syytekijöitä, voimme ehkä kiinnittää huomiota useisiin ratkaisua vaativiin ongelmiin. Mahdollisuuksien mukaan syyn nimeäminen tulisi jättää sellaisille tahoille, jotka tuntevat siihen tarvetta, esimerkiksi toimit-

tajille, asianajajille ja asiantuntijatodistajille, ja keskittyä tunnistettuihin turvallisuuskongelmiin ja onnettomuustutkinnan tuloksena saatuihin suosituksiin.

4.2.6 MTO-analyysi^{14 15}

MTO¹⁶-analyysin lähtökohtana on, että onnettomuustutkinnassa tulisi painottaa yhtä paljon inhimillisiä, organisatorisia ja teknisiä tekijöitä. Menetelmä perustuu taulukossa 2 mainittuun HPES-järjestelmään (ihmisen toiminnan kehittämisjärjestelmä), jota tässä raportissa ei kuvata tarkemmin.

MTO-analyysin pohjana on kolme menetelmää:

1. Rakenteellinen analyysi, joka käyttää tapahtumien ja syytekijöiden kaaviota¹⁷.
2. Muutosanalyysi, joka kuvaa sitä, miten tapahtumat poikkeavat aikaisemmista tapahtumista tai yleisestä käytännöstä¹⁸.
3. Suojausanalyysi, joka tunnistaa teknisiä ja hallinnollisia suojauksia, jotka eivät ole toimineet tai jotka puuttuvat¹⁹.

Kuva 26 esittää MTO-analyysin taulukkoa.

MTO-analyysin ensimmäisenä vaiheena kehitetään tapahtumaketju pitkittäin ja havainnollistetaan tapahtumaketjua lohkokaaaviolla. Jokaisen tapahtuman mahdolliset tekniset ja inhimilliset syyt tunnistetaan ja merkitään pystysuoraan jokaisen kaaviossa olevan tapahtuman kohdalle.

Edelleen analysoidaan sitä, mitkä tekniset, inhimilliset tai organisatoriset suojaukset eivät toimineet tai puuttuivat onnettomuusprosessin aikana. Kaikki puuttuvat tai toimimattomat suojaukset merkitään kaavioon tapahtumien alapuolelle.

Arvioidaan, miten onnettomuustilanteen puutteet tai muutokset poikkeavat normaalista tilanteesta. Nämä muutokset merkitään myös kaavioon (ks. kuva 26).

Analyysin peruskysymykset ovat:

- Mikä olisi katkaissut onnettomuuteen johtavan tapahtumaketjun?
- Mitä organisaatio on kenties aikaisemmin tehnyt onnettomuuden estämiseksi?

MTO-analyysin viimeisenä tärkeänä vaiheena on suositusten laatiminen ja antaminen. Suositusten tulisi olla mahdollisimman realistisia ja yksityiskohtaisia. Ne voivat kohdistua tekniikkaan, ihmisiin tai organisaatioihin.

¹⁴ Kuvaus perustuu lähteisiin Rollenhagen, 1995 ja Bento, 1999.

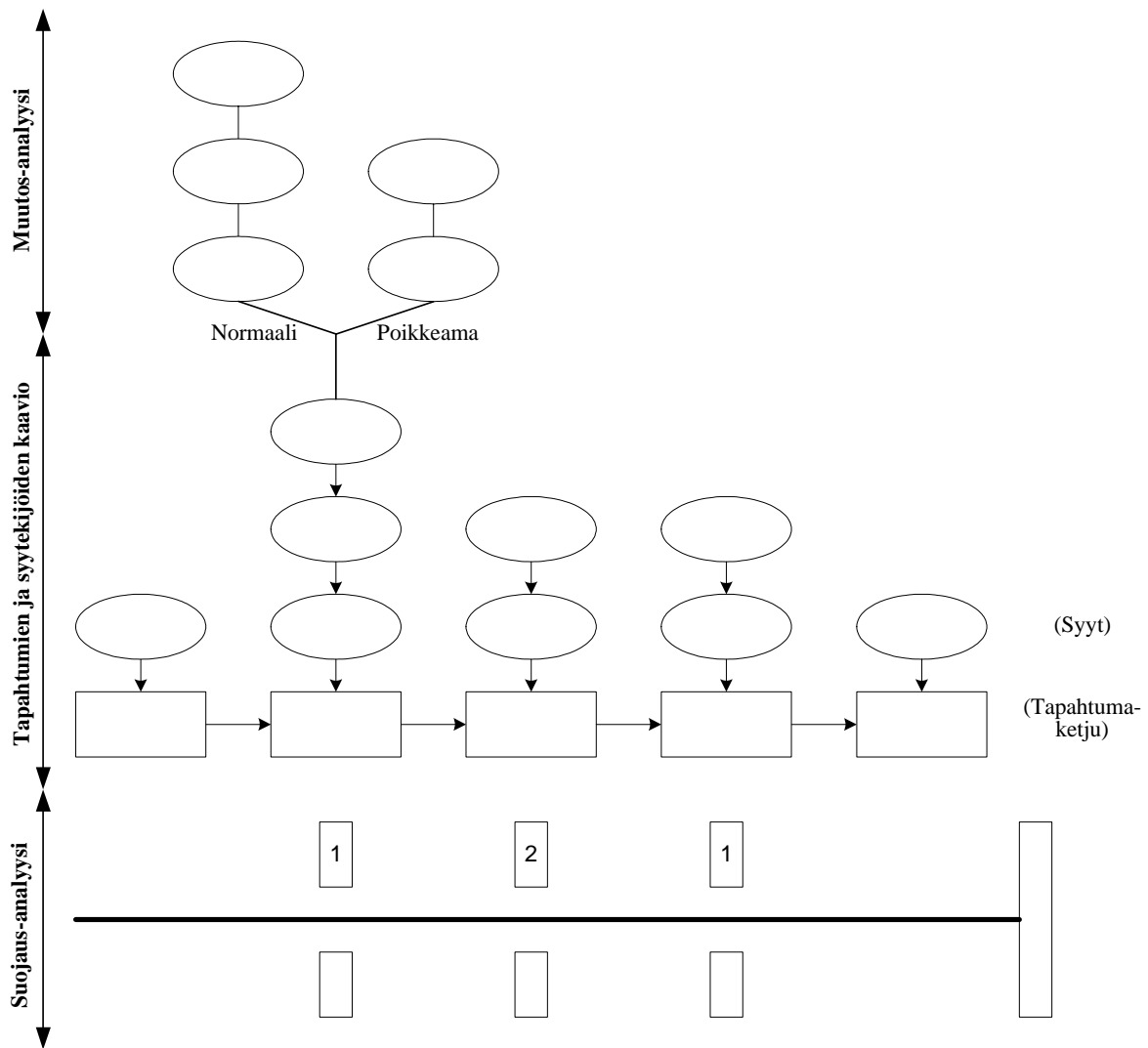
¹⁵ MTO-analyysiä on viimeaikoina käytetty laajasti Norjan öljynporausteollisuudessa, mutta menetelmästä on ollut vaikea saada kattavaa kuvausta.

¹⁶ MTO = (Hu)Man, Technology and Organisation (ihminen, tekniikka ja organisaatio)

¹⁷ Katso kohta 4.1.1.

¹⁸ Katso kohta 4.1.3.

¹⁹ Katso kohta 4.1.2.



Kuva 26. MTO-analyysin taulukko

MTO-metodiikkaan kuuluu myös vikaantumissyiden (felorsaker) tunnistamiseksi tehty tarkistusluettelo (Bento, 1999). Tarkistusluettelo koostuu seuraavista tekijöistä:

1. Organisaatio
2. Työorganisaatio
3. Työkäytäntö
4. Työn johtaminen
5. Muutosmenettelyt
6. Teknologian ergonomisuus/puutteellisuus
7. Kommunikointi
8. Ohjeistus/menettelyt
9. Koulutus/pätevyys
10. Työympäristö

Jokaiselle vikaantumissyylle on laadittu yksityiskohtainen perussyitä (grundorsaker) koskeva tarkistusluettelo. Työkäytännön vikaantumisen perussyitä ovat esimerkiksi:

- poikkeaminen työohjeista
- huono valmistautuminen tai suunnittelu

- omatarkastuksen puuttuminen
- väärin työvälineiden käyttäminen
- työvälineiden käyttäminen väärin.

4.2.7 Onnettomuuden kehittymis- ja suojausanalyysi (AEB)²⁰

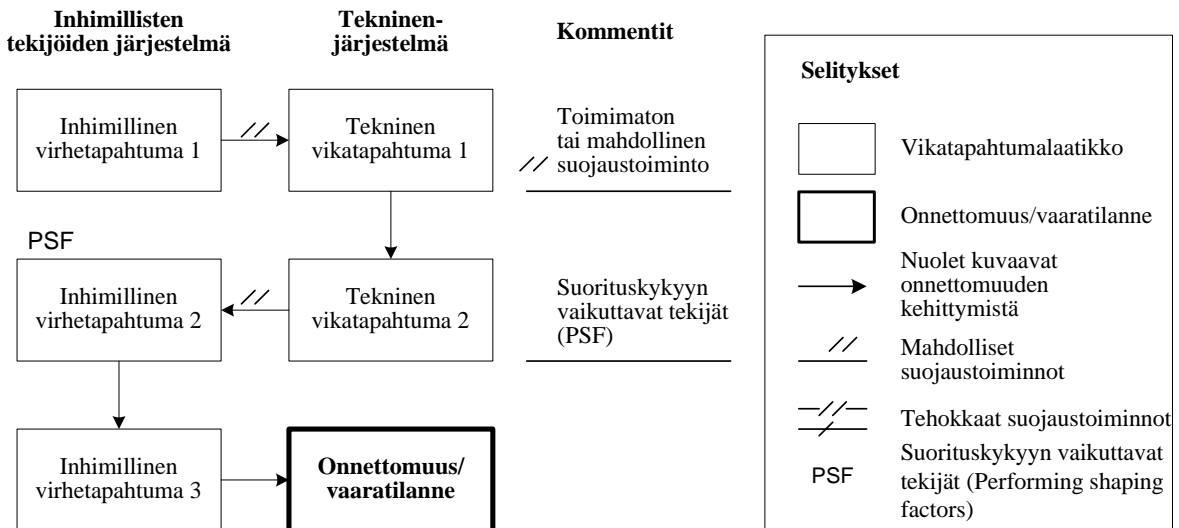
Onnettomuuden kehittymis- ja suojausanalyysi (AEB) on menetelmä, jolla voidaan analysoida vaaratilanteita ja onnettomuuksia. Vaaratilannetta/onnettomuutta kohti eteneviä tapahtumia kuvataan sarjana inhimillisten ja teknisten järjestelmien välisiä vuorovaikutuksia. Vuorovaikutus sisältää vikoja, häiriötoimintoja ja virheitä, jotka voisivat johtaa tai ovat johtaneet onnettomuuteen. Menetelmä pakottaa tutkijan onnettomuutta analysoidessaan yhdistämään inhimilliset ja tekniset järjestelmät heti menetelmän yksinkertaisesta vuokaaviosta alkaen.

Vuokaavio koostuu alkujaan tyhjästä laatikoista, jotka ovat kahdessa rinnakkaisessa sarakkeessa. Toinen sarake on inhimillisille ja toinen teknisille järjestelmille. Kuva 27 esittää tällaista kaaviota. Analysoinnin kuluessa vikalaatikot tunnistetaan vioiksi, häiriötoiminoiksi ja virheiksi, jotka muodostavat onnettomuuden kulun. Yleensä kaavion vikalaatikoiden järjestys noudattaa tapahtumien aikajärjestystä. Jokaisen kahden peräkkäisen vikalaatikon välissä on mahdollisuus estää tilanteen kehittyminen vaaratilanteeksi / onnettomuudeksi. Suojaustoimintojärjestelmät (esimerkiksi tietokoneohjelmat) voivat aktivoituneena estää tehokkaiden suojaustoimintojen avulla tilanteen kehittymisen (esimerkiksi tietokone lukitsee hallintalaitteen ja tekee näin mahdottomaksi seuraavassa vikalaatikossa kuvatun inhimillisen toiminnan).

Inhimilliseen suoritukseen vaikuttavia tekijöitä on kutsuttu nimellä *suorituskykyyn vaikuttavat tekijät* (performance shaping factors, PS-tekijät) (Swain ja Guttman, 1983). Esimerkkejä edellä mainituista ovat alkoholi, unen puute ja stressi. AEB-mallia käytettäessä PS-tekijät otetaan sellaisenaan mukaan vuokaavioon, ja niitä analysoidaan sen jälkeen, kun kaavio on saatu valmiiksi. PS-tekijät otetaan mukaan vuokaavioon silloin, kun tekijä on mahdollisesti myötävaikuttanut yhteen tai useampaan inhimilliseen virheeseen. Sellaiset tekijät kuin alkoholi ja ikä katsotaan PS-tekijöiksi, mutta niitä ei koskaan pidetä inhimillisinä virheinä eikä suojaustoiminnon toimimattomuutena. Organisatoriset tekijät voidaan yhdistää suojaustoimintoon, joka ei ole toiminut tai on ollut riittämätön. AEB-analyysissä organisatorisia tekijöitä tulisi aina käsitellä erityistapauksina, koska ne sisältävät sekä inhimillisiä että teknisiä järjestelmiä.

²⁰

Kuvaus perustuu lähteeseen Svensson, 2000.



Kuva 27. Esimerkki AEB-analyysistä.

AEB-analyysissä on kaksi vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa tehdään onnettomuuden kuluista vuokaavio. On tärkeää pitää mielessä, että AEB on vain vikojen kuvaus eikä tapahtumaketjumenetelmä. Vikatapahtumalaatikkot yhdistetään nuolilla onnettomuuden kulun osoittamiseksi. Tapahtumien kulku kuvataan suunnilleen aikajärjestyksessä. Laatikoon saa johtaa vain yksi nuoli samoin kuin siitä saa lähteä vain yksi nuoli.

Toisessa vaiheessa analysoidaan suojaustoiminnot. Tässä vaiheessa tunnistetaan suojaustoimintojen tila (tehoton ja/tai puuttuva). Suojaustoiminto edustaa toimintoa, joka voi estää onnettomuutta kehittymästä estämällä ketjun seuraavan tapahtuman toteutumisen. Suojaustapahtuma nimetään aina suhteessa niihin järjestelmiin, joita se suojelee, suojeli tai olisi voinut suojella. Suojaustoimintojärjestelmät ovat järjestelmiä, jotka tekevät suojaustoimintoja. Suojaustoimintojärjestelmiin voidaan lukea esimerkiksi käyttäjä-, opastus-, fyysinen erotus-, hätätoiminto- tai muu turvallisuuteen liittyvä järjestelmä. Eri suojaustoimintojärjestelmät voivat suorittaa saman suojaustoiminnon. Toisaalta yhdellä suojaustoimintojärjestelmällä voi olla useita eri suojaustoimintoja.

AEB-analyysin tärkeänä tavoitteena on suojaustoimintojen pettämisen, suojaustoimintojen puuttumisen tai olemassa olleiden toimimattomuuden syiden tunnistaminen sekä parannusehdotusten tekeminen.

Suojaustoiminnot kuuluvat yhteen kolmesta pääluokasta:

- **Tehottomat suojaustoiminnot:** sellaiset suojaustoiminnot, jotka olivat siinä suhteessa tehottomia, etteivät estäneet tapahtumia kehittymästä onnettomuuden suuntaan
- **Puuttuvat suojaustoiminnot:** sellaiset suojaustoiminnot, jotka olisivat estäneet onnettomuuden kehittymisen, jos niitä olisi käytetty
- **Tehokkaat suojaustoiminnot:** sellaiset suojaustoiminnot, jotka todellisuudessa estivät tapahtumia kehittymästä onnettomuuden suuntaan.

Jotta tietty onnettomuus pääsisi tapahtumaan, kaikkien ketjun suojaustoimintojen on oltava epäkunnossa tai tehottomia. AEB-analyysin tavoitteena on sen ymmärtäminen, miksi useat suojaustoiminnot pettivät, ja miten toiset suojaustoiminnot voisivat vahvistaa tai tukea nii-

tä. Tästä näkökulmasta katsottuna onnettomuuden perimmäisen syyn tunnistamisella ei ole merkitystä. Perimmäistä syytä ei voida pitää analyysin lähtökohtana, koska minkä tahansa muunkin virheen poistaminen onnettomuuskehityksestä olisi estänyt onnettomuuden.

Joskus on vaikea tietää, olisiko virhettä pidettävä virheenä vai pettäneenä suojaustoimintona. Karkeasti ottaen tutkijan tulisi AEB-analyysin ensimmäisessä vaiheessa valita epäselvissä tapauksissa vikatapahtumalaatikko eikä suojaustoiminnon symbolia.

Suojaustoimintojen analysointivaihetta voidaan käyttää sellaisten alajärjestelmien vuorovaikutusten kuvaamiseen, joita AEB:ssä ei voida esittää järjestyksessä.

Kaikki suojaustoimintojen toimimattomuudet, vaaratilanteet ja onnettomuudet tapahtuvat ihminen – teknologia – organisaatio -kontekstissa. Sen vuoksi AEB-analyysi sisältää myös asioita siitä kontekstista, jossa onnettomuus tapahtui. On siis vastattava seuraaviin kysymyksiin:

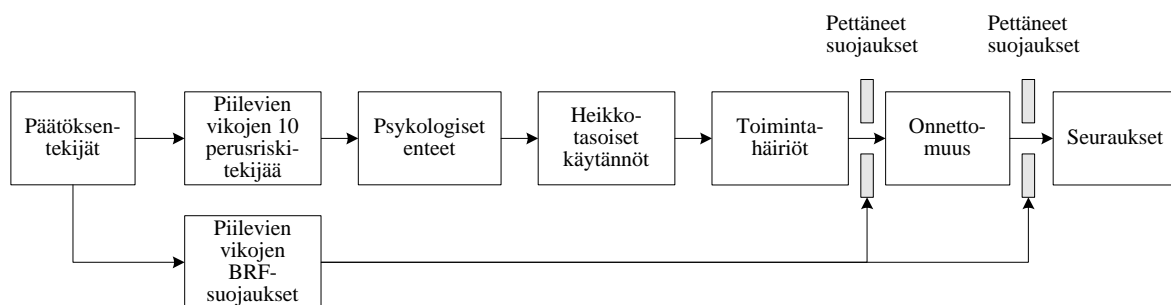
1. Miten on mahdollista turvallisuuden lisäämiseksi *muuttaa organisaatiota*, jossa vikaantumisen tai onnettomuus tapahtui?
2. Miten on mahdollista turvallisuuden lisäämiseksi *muuttaa teknisiä järjestelmien kokonaisuutta*, jossa vikaantumisen tai onnettomuus tapahtui?

On tärkeää muistaa, että tehtäessä muutoksia organisaatioihin ja teknisiin järjestelmiin, voidaan saavuttaa kauaskantoisia muutoksia kontekstin tasolla.

4.2.8 TRIPOD²¹

TRIPOD-mallia koskeva tutkimus alkoi vuonna 1988, jolloin sitä koskeva tutkimus julkaistiin raportissa TRIPOD, A principled basis for accident prevention (Reason et al, 1988). Raportti esiteltiin Shell Internationale Petroleum Maatschappij, Exploration and Production -yhtiölle. TRIPOD:in taustalla on ajatus siitä, että onnettomuuksien pääasiallisia aiheuttajia ovat organisaation viat. Nämä tekijät ovat usein piilossa, ja kun ne myötävaikuttavat onnettomuuteen, niitä seuraa aina joukko teknisiä vikoja ja inhimillisiä virheitä.

TRIPOD-malli²² kokonaisuudessaan on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Täydellinen TRIPOD-malli.

²¹ Kuvaus perustuu lähteeseen Groeneweg, 1998.

²² Tässä kuvattu TRIPOD-malli saattaa olla erilainen kuin TRIPOD-teoriaan perustuvat aikaisemmin julkaistut mallit. Tämä malli on kuitenkin täysin yhteensopiva TRIPOD Beta -onnettomuustutkinta-työkalun uusimman version kanssa, jota kuvataan jäljempänä tässä luvussa.

Heikkotasoiset toiminnot ja olosuhteet eivät ilmaannu itsestään. Niitä luovat mekanismit, jotka vaikuttavat organisaatioissa onnettomuuden sattumisesta riippumatta. Usein nämä mekanismit ovat seurausta organisaation korkealla tasolla tehdyistä päätöksistä. Näitä taustamekanismeja kutsutaan perusriskitekijöiksi²³ (BSF) (Basic Risk Factors). Perusriskitekijät voivat aikaansaada erilaisia psykologisia enteitä, jotka saattavat johtaa heikkotasoiisiin toimintoihin ja olosuhteisiin. Esimerkkejä kömmähdyksen, erehdysten ja rikkomusten psykologisista enteistä ovat aikapula, huono motivaatio tai masennus. Tämän mallin mukaan piilevien, perusriskitekijöiksi luokiteltujen vikojen poistaminen tai niiden vaikutuksen pienentäminen, estää psykologiset enteet, heikkotasoiset toiminnot ja käyttöhäiriöt. Tämä voi johtaa onnettomuuksienkin estymiseen.

Tunnistettaviin perusriskitekijöihin sisältyvät inhimilliset, organisatoriset ja tekniset ongelmat. TRIPOD:in eri perusriskitekijät on määritelty taulukossa 5. Kymmenen perusriskitekijää johtaa käyttöhäiriöön (ehkäisevät perusriskitekijät) ja yksi perusriskitekijä suuntautuu tapahtuneen käyttöhäiriön seurausten hallitsemiseen (hillitsevä perusriskitekijä). Perusriskitekijöistä viisi on yleistä (6 – 10 taulukossa 5) ja viisi on erityisiä tekijöitä (1–5 taulukossa 5). Erityiset perusriskitekijät ovat yhteydessä piileviin vikoihin, jotka ovat tutkittaville toiminnolle tyypillisiä (esimerkiksi öljynporausalan ja sairaalan teho-osaston työkalujen ja laitteiden vaatimukset eroavat aika tavalla toisistaan).

Näihin 11:een perusriskitekijään on päädytty aivorihtä käyttämällä, tarkastusraportteja ja onnettomuusskenaarioita tutkimalla, teoreettisella tutkimuksella sekä öljynporauslauttoja koskevalla tutkimuksella. Jaottelu on lopullinen, ja se on osoittautunut päteväksi kaikilla teollisuuden sovelluksilla.

²³ Näitä mekanismeja kutsuttiin alun perin englanniksi General Failure Types (GFTs) (yleisvikatyypit)

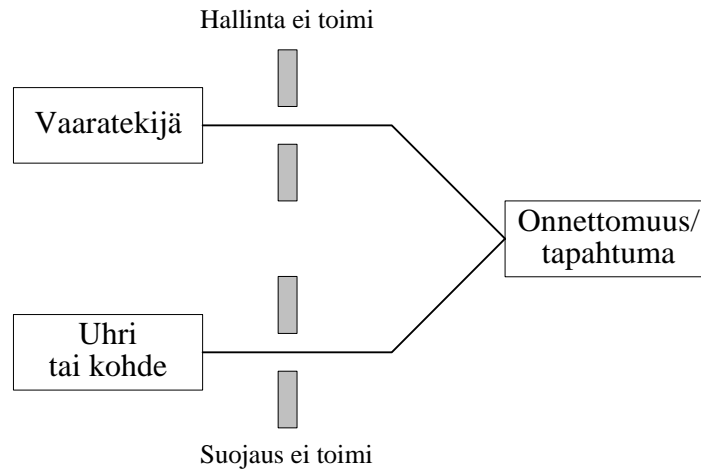
Taulukko 5. TRIPOD:in perusriskitekijöiden (BRF) määritelmät

| Nro | Perusriskitekijä | Tunnus | Määritelmä |
|-----|-----------------------------|--------|--|
| 1 | Suunnittelu | DE | Työkalujen tai laitteiden ergonomian huono suunnittelu (käyttäjäepäystävällisyys) |
| 2 | Työkalut ja laitteet | TE | Materiaalien, työkalujen, laitteiden ja komponenttien huono laatu, kunto, sopivuus tai saatavuus |
| 3 | Kunnossapidon hoito | MM | Kunnossapidon ja korjausten tekemättä jättäminen tai riittämättömyys |
| 4 | Siisteys | HK | Ei ole kiinnitetty ollenkaan tai tarpeeksi huomiota työpaikan siivoukseen ja järjestyksen ylläpitoon |
| 5 | Virheitä tukevat olosuhteet | EC | Sopimattomat fyysiset olosuhteet kunnossapidon ja korjausten tekemiseen |
| 6 | Menettelyt | PR | Menettelyiden, periaatteiden, ohjeiden ja käyttöohjeiden riittämätön laatu tai saatavuus (työselitykset, "paperisota", soveltuvuus käytäntöön) |
| 7 | Koulutus | TR | Henkilökunnalla ei ole ollenkaan tai on liian vähän pätevyyttä tai kokemusta (koulutusta ei ole riittävästi tai se ei ole tarkoituksenmukaista) |
| 8 | Tiedonkulku | CO | Yhtiön eri työpaikkojen, osastojen ja työntekijöiden välillä tai virallisten elinten kanssa ei ole ollenkaan tai on liian vähän yhteydenpitoa |
| 9 | Ristiriitaiset tavoitteet | IG | Tilanne, jossa henkilökunta joutuu valitsemaan hyväksytyjen sääntöjen mukaisten optimaalisten työmenetelmien ja tuotannollisten, taloudellisten, poliittisten, sosiaalisten tai yksilöllisten tavoitteiden välillä |
| 10 | Organisaatio | OR | Sellaiset puutteet organisaation rakenteessa, teoreettisessa taustassa, menetelmissä tai johtamistavoitteissa, jotka johtavat yhtiön epäsiälliseen tai tehottomaan johtamiseen |
| 11 | Suojaukset | DF | Ihmisten, omaisuuden tai ympäristön riittämätön suojele käyttöhäiriöiden seurauksilta |

TRIPOD Beta

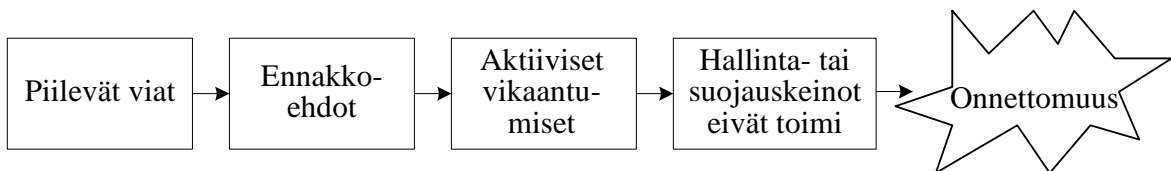
TRIPOD Beta on tietokoneella toimiva työkalu, jolla saadaan puumainen yleiskuva tutkinnan kohteena olevasta onnettomuudesta. Se on valikko-ohjattu työkalu, joka johdattaa tutkijan läpi prosessin, jolla tehdään sähköinen kuvaus onnettomuudesta.

Beta-työkalu yhdistää kaksi eri mallia HEMP:in (Hazard and Effects Management Process) ja TRIPOD:in. Mallien yhdistäminen on tuottanut käsitteellisesti alkuperäisestä TRIPOD-mallista eroavan vaaratilantilanteen/onnettomuuden syymallin. Kuva 29 esittää HEMP-mallia.



Kuva 29. HEMP-mallin mukainen "onnettomuusmekanismi"

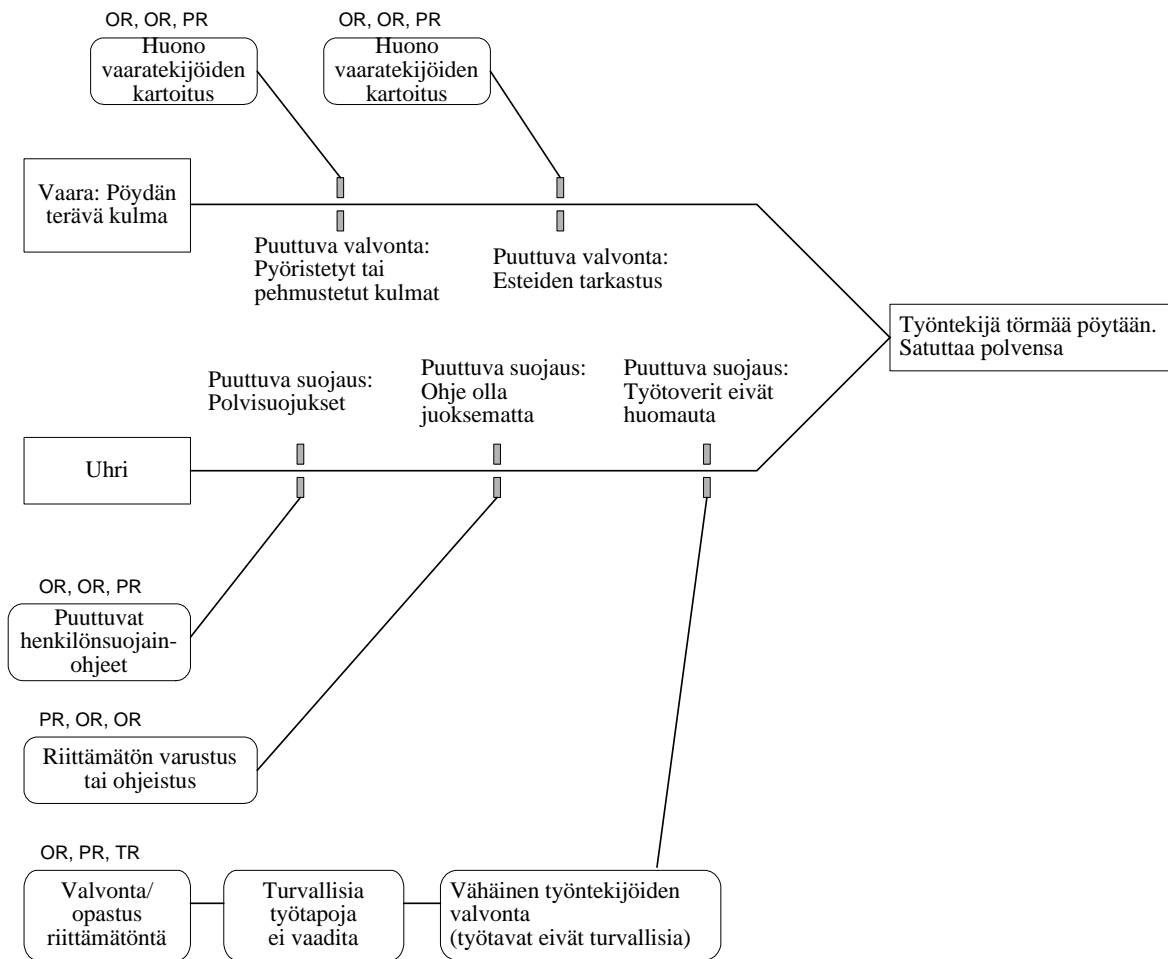
Kuva 30 esittää onnettomuuden syymallia TRIPOD Betaa. Tätä ketjua käytetään tunnistettaessa syitä, jotka johtavat HEMP-mallissa esitettyjen hallintakeinojen ja suojausten murtumiseen.



Kuva 30. Onnettomuuden syymalli TRIPOD Beta

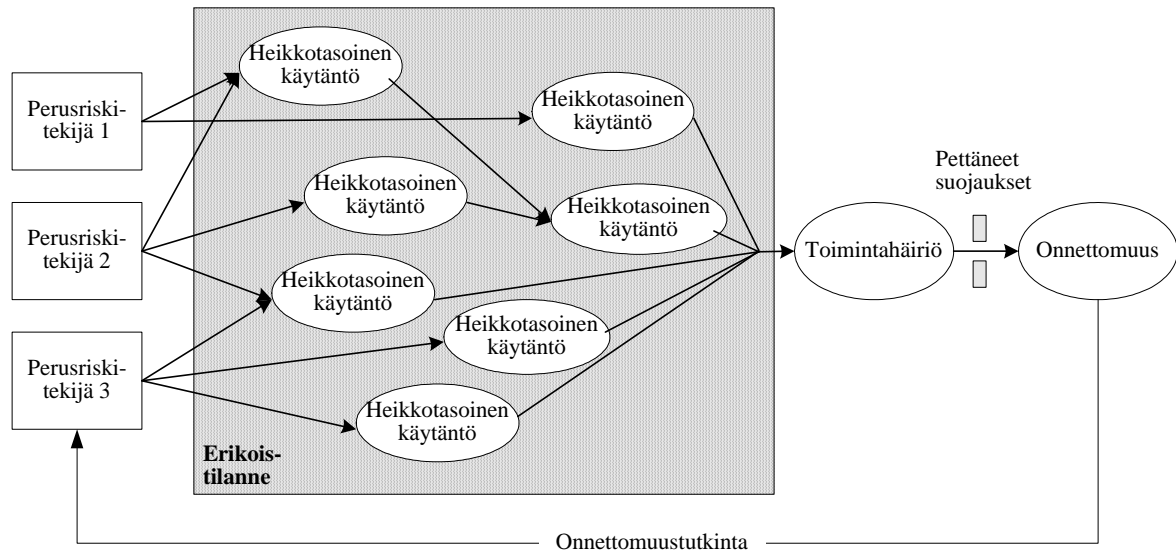
Vaikka kuvan 30 esittämä malli muistuttaa alkuperäistä TRIPOD-mallia, sen osat ja oletukset ovat erilaiset. Beta-mallissa suojaukset ja hallintakeinot on yhdistetty suoraan vaarallisiin toimintoihin, ennakkoehtoihin ja piileviin vikoihin. Vaaralliset toiminnot kuvaavat sitä, miten suojaukset pettivät, ja piilevät viat sitä, miksi suojaukset pettivät.

Kuvassa 31 on esitetty esimerkki onnettomuuden analysoinnista TRIPOD Betalla.



Kuva 31. Esimerkki TRIPOD Beta -analyysistä

Onnettomuustutkinnan uusi tapa (ks. kuva 32) poikkeaa aika tavalla perinteisistä tavoista. Kaikkia myötävaikuttavia heikktasoisia toimintoja tai toimintaryppäitä ei yritetä tunnistaa, vaan tutkinnan tavoitteena on selvittää, oliko mukana yhtään perusriskitekijää (Basic Risk Factor). Kun perusriskitekijät (BRF) on tunnistettu, niiden vaikutusta voidaan vähentää tai ne voidaan jopa poistaa. Vaikutetaan ongelmien todelliseen alkulähteeseen oireiden sijasta.



Kuva 32. Onnettomuustutkinnan uusi tapa

4.2.9 AcciMap²⁴

Rasmussen ja Svedung (2000) kuvaavat kirjassaan hiljattain kehitettyä dynaamisen yhteiskunnan proaktiivista riskienhallintamethodiikkaa. Vaikka metodiikka ei ole puhdas onnettomuustutkintatyökalu, sen eräitä osia on kuvattu tässä raportissa, koska se antaa mielenkiintoisia ja käyttökelpoisia, muista menetelmistä erottuvia näkökulmia riskienhallintaan ja onnettomuustutkintaan.

Rasmussen ja Svedung kiinnittävät huomiota siihen tosiasiaan, että vaarallisia prosesseja koskevaan riskien hallintaan ja säädösten laadintaan sisältyy monia sisäkkäisiä päätöksentekotasoja (ks. kuva 4). Vähäriskinen toiminta riippuu kaikkien tasojen päätöksenteon oikeasta koordinoinnista. Usein kutakin tasoa tarkastellaan kuitenkin erillään erilaisten akateemisten oppisuuntien sisällä. Kun luodaan proaktiivista riskienhallintamenettelyä, on ymmärrettävä mekanismeja, jotka ovat kunkin tason päättäjien todellisen käyttäytymisen taustalla. Ehdotettu proaktiivisen riskienhallinnan metodi sisältää seuraavat analyysit:

- tutkimus, joka koskee niiden toimijoiden toimintaa, jotka valmistelevat onnettomuusmaisemaa normaalien töidensä aikana, yhdistettynä heidän päätöksentekoaan muokkaavien työn ominaisuuksien analysointiin;
- tutkimus, joka koskee näiden toimijoiden nykyistä informaatioympäristöä ja informaatiovirran rakennetta analysoituna säätöteorian näkökulmasta;
- informaatioympäristön muutosten antamien parannusmahdollisuuksien tarkastelu (arvoja ja tavoitteita koskeva viestintä ylhäältä alas ja todellista asioiden tilaa koskeva informaatiovirta alhaalta ylös);
- ohjeet edellä mainittujen kohteiden parantamiseksi käytännön työympäristössä eri riskilähteitä ja johtamisstrategioita varten.

Takaisinkytkennällä varustetun, proaktiivisen riskienhallintastrategian on keskityttävä seuraaviin kysymyksiin:

²⁴ Kuvaus perustuu lähteeseen Rasmussen & Svedung, 2000.

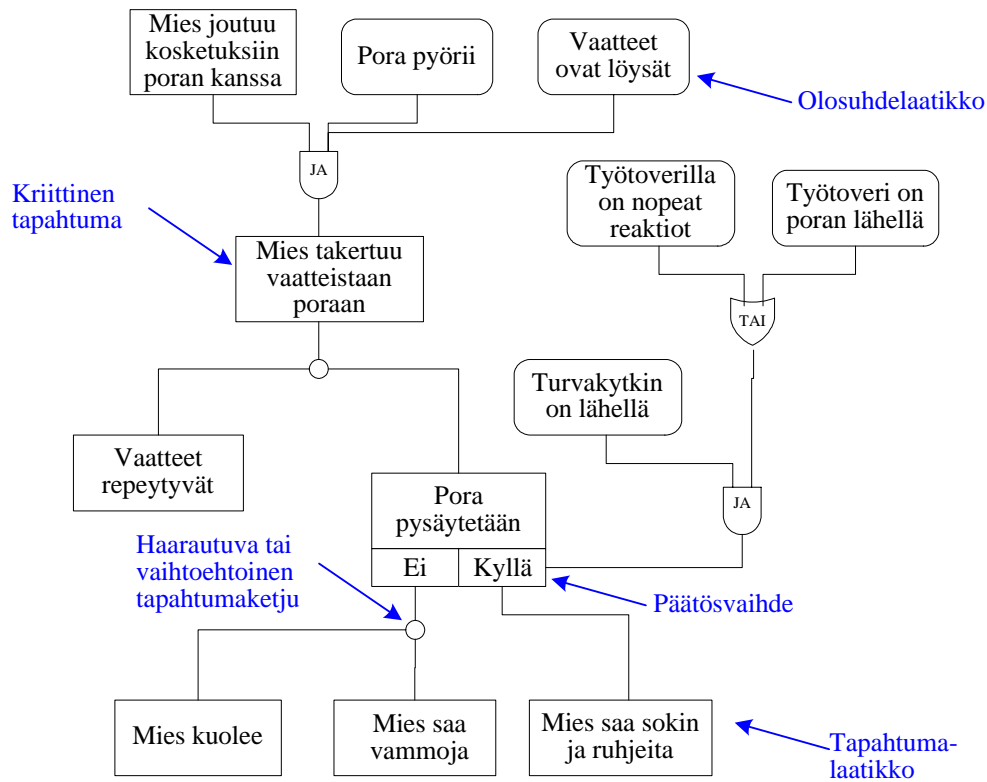
1. On tunnistettava ne päätöksentekijät ja toimijat, jotka osallistuvat tuotantoprosessin ohjaukseen sosioteknisen järjestelmän kyseisillä tasoilla.
2. On määriteltävä heidän hallinnassaan oleva työalue, toisin sanoen on löydettävä yksittäisten toimijoiden roolijakoa ohjaavat kriteerit.
3. On määriteltävä jakautuneiden ohjausjärjestelmien rakenne, toisin sanoen on analysoitava sen viestintäverkoston rakennetta, joka yhdistää yhteistyötä tekevät päätöksentekijät toisiinsa.

Tähän lähestymistapaan sisältyy tutkimus, joka koskee tietyn organisaation viestintärakennetta ja informaatiovirtaa. Tarkoituksena on arvioida, miten ne vastaavat tiettyjen vaarallisten prosessien hallitsemisen vaatimuksia.

Tapahtuneiden onnettomuustilanteiden analysointi auttaa kuvaamaan sitä sosioteknistä yhteyttä, josta onnettomuuden tapahtumien kulku riippuu ja jossa se viimekädessä tapahtuu. Analyyseillä on useita vaiheita.

1. Onnettomuuden analysointi
2. Toimijoiden tunnistaminen
3. Yleistys
4. Työn analysointi

Analyysin ensimmäisessä vaiheessa tunnistetaan potentiaaliset onnettomuusmallit. Järjestelmän syy-yhteysrakenteen tutkimuksen pohjalta ja perustuen edustavaan määrään onnettomuustapauksia kehitetään syy-seuraus-kaavio (CCC) (cause-consequence-chart). Syy-seuraus-kaaviomuoto antaa yksityiskohtaisen yleiskuvan mahdollisista onnettomuustilanteista, joiden pohjalta voidaan ryhtyä laatimaan työjärjestelmän tiettyyn toimintaan liittyviä turvallistamistoimenpiteitä. Syy-seuraus-kaavioita on käytetty ennakoivan riskianalyysin pohjana. Nämä kaaviot on kehitetty "kriittisen tapauksen" ympärille. Kriittinen tapaus edustaa tietyn vaaralähteen purkautumista. Useat eri syyt voivat saada tietyn vaaralähteen purkautumaan. Niitä edustaa kriittiseen tapahtumaan yhdistetty syypuu (ks. kuva 32).

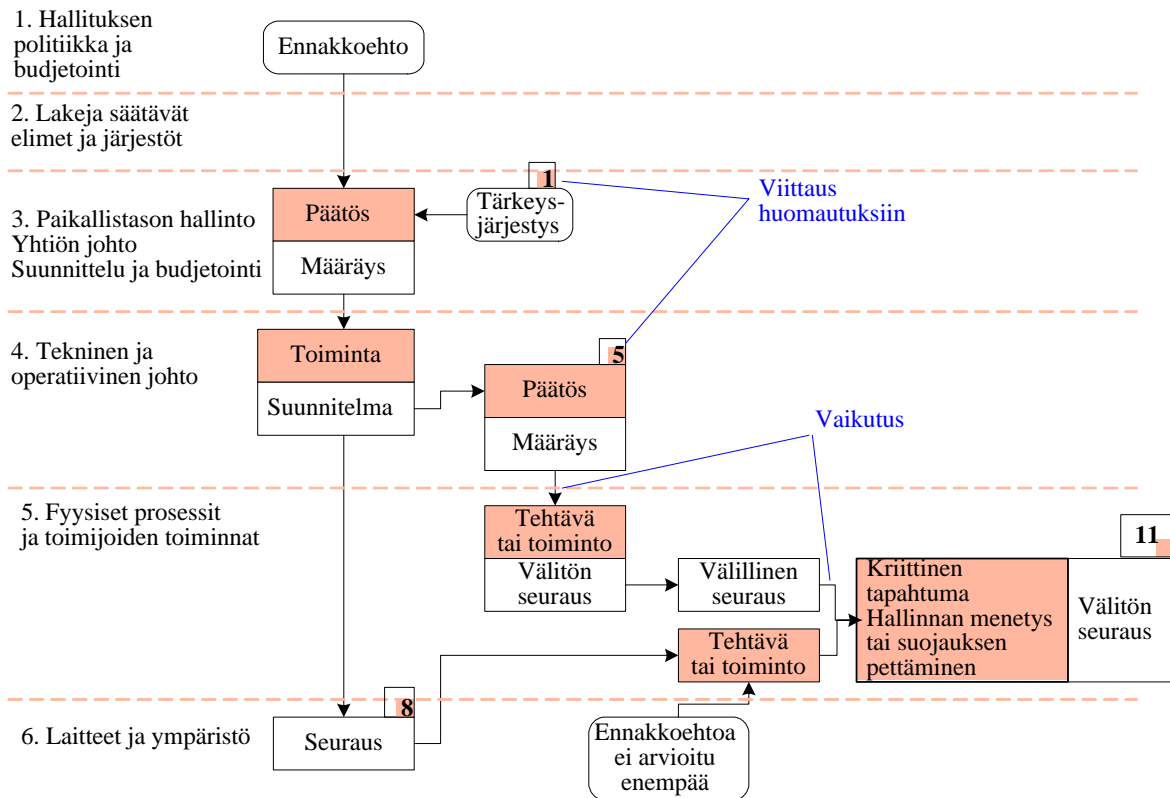


Kuva 33. Syy-seuraus-kaavio

Onnettomuuden kulku voi vaaralähteen purkaututtua edetä useita vaihtoehtoisia reittejä pitkin sen mukaisesti, minkälaisia toimintoja järjestelmään kuuluvat ihmiset tai automaattiset turvallisuusjärjestelmät tekevät. Kriittistä tapahtumaa kuvaavat tapahtumapuut esittävät näitä reittejä ja sisältävät "päätösvaihteita" (decision switches), jotka edustavat näitä suojaustoimintojen vaikutuksia. Tietty syy-seuraus-kaavio on yleistys, joka kerää yhteen joukon onnettomuuteen johtavia tapahtumakulkuja, jotka ovat yhteydessä tiettyyn, kriittisen tapahtuman edustamaan vaaralähteen purkautumiseen.

Analyysissä analysoidaan eri organisaatioiden sellaisia normaaleja työolosuhteita, jotka voivat myötävaikuttaa onnettomuuteen johtavien tapahtumien kulkureittiin, tarkoituksena paljastaa niihin mahdollisesti liittyvät sivuvaikutukset. Tämän jälkeen riskienhallinnan tavoitteena on luoda työtä tukeva järjestelmä, joka jollain tavalla saa päätöksentekijät tietoisiksi sivuvaikutusten potentiaalisesti vaarallisesta verkostosta.

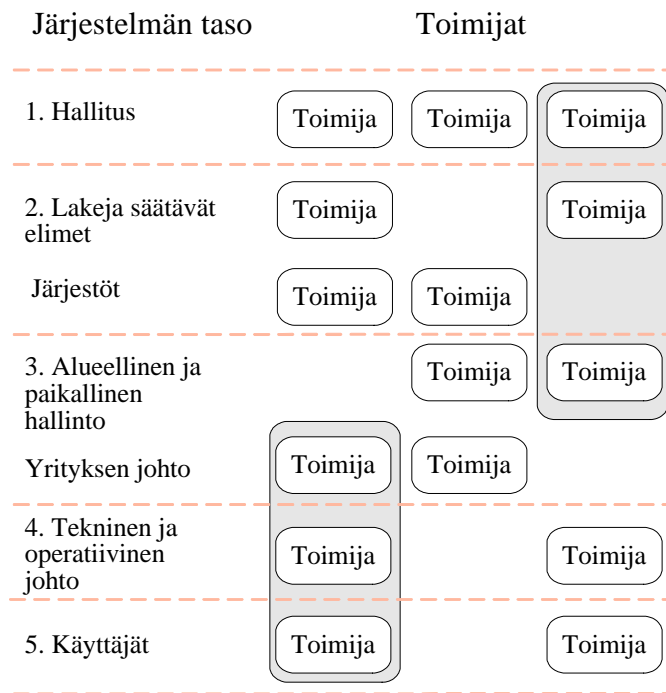
Järjestelmän taso



Kuva 34. Eräs tapa muodostaa AcciMap ja esitetyt symbolien selitykset

Perus-AcciMap edustaa kunnostusjärjestelmää (conditioning system) ja tietyn onnettomuuden tapahtumien kulkua. Joukko onnettomuustilanteita on pohjana tarvittavalle yleistykselle.

Yleinen AcciMap antaa yleiskuvan eri päätöksentekijöiden välisestä vuorovaikutuksesta, joka mahdollisesti laukaisee onnettomuuden. Kuvan 35 esittämä ActorMap on yleisen AcciMap:in ote, joka näyttää osallisena olleet päätöksentekijät. ActorMap antaa yleiskuvauksen päätöksentekijöistä, jotka ovat osallisina sellaisen "maiseman" valmistelussa, jossa onnettomuuteen johtavien tapahtumien kulku voi lopulta kehittyä. ActorMap:in pohjalta voidaan kehittää informaatiovirran rakennetta ilmentävä InfoMap. InfoMap esittää tavoitteiden ja arvojen (ohjauksen kohteiden) virtaa alaspäin ja tilaa koskevan informaation (ohjaustulosten mittausten) virtaa ylöspäin.



Kuva 35. Esimerkki ActorMap:in periaatteesta

5 Pohdinta ja johtopäätökset

5.1 Pohdinta

Onnettomuustutkinnan alueella ei vallitse yhteisymmärrystä käsitteiden määritelmistä. Käsitteet näyttävät jonkin verran sekavilta. Erityisesti on keskusteltu käsitteestä syy. Joidenkin tutkijoiden keskittyessä syytekijöihin (esim. DOE, 1997), toiset keskittyvät määrääviin tekijöihin (esim. Kjellén ja Larsson, 1981), myötävaikuttaviin tekijöihin (esim. Hopkins, 2000), aktiivisiin vikoihin ja piileviin olosuhteisiin (esim. Reason, 1997) tai turvallisuusongelmiin (Hendrick & Benner, 1987). Kletz (2001) suosittelee välttämään onnettomuustutkinnassa sanaa "syy" ja puhumaan mieluummin siitä, mikä olisi saattanut ehkäistä onnettomuuden. Vaikka onnettomuustutkijat tutkintaprosessissa käyttäisivät erilaisia viitekehyksiä ja menetelmiä, he saattavat silti päätyä samoihin johtopäätöksiin sen suhteen, mitä tapahtui, miksi se tapahtui ja mitä pitäisi tehdä vastaavien onnettomuuksien estämiseksi.

Onnettomuustutkintaan on olemassa erilaisia viitekehyksiä tai menetelmiä, joilla jokaisella on omat erityispiirteensä. Taulukossa 6 on yhteenveto tässä raportissa kuvattujen eri menetelmien joistakin ominaisuuksista. Menetelmien nimet ovat taulukon ensimmäisessä sarakkeessa.

Toisessa sarakkeessa on otettu kantaa siihen, kuvaako kyseinen menetelmä tapahtumaketjua graafisesti vai ei. Tapahtumaketjun graafinen kuvaus on hyödyksi tutkinnan aikana. Tapahtumaketjun graafinen kuvaus antaa helposti ymmärrettävän yleiskuvan tapahtumista ja eri tapahtumien välisistä suhteista. Se helpottaa tutkijoiden ja tietolähteiden välistä tiedonkulkua sekä auttaa tunnistamaan onnettomuustilanteen täydellisen ymmärtämisen kannalta mahdollisesti "puuttuvia lenkkejä" ja informaation aukkoja.

ECFC-, STEP- ja MTO-analyysi ovat kaikki menetelmiä, jotka antavat onnettomuustilanteesta graafisen kuvauksen. ECFC- ja MTO-analyysijä käytettäessä tapahtumat merkitään vaakasuoralle viivalle. STEP-kaavio sisältää sen lisäksi eri toimijat pysty akselin suuntaisesti. Mielestäni STEP-menetelmä antaa parhaan yleiskuvan tapahtumaketjusta. STEP-menetelmällä on helppo havainnollistaa samaan aikaan tapahtuvia tapahtumia ja niiden välisiä erilaisia suhteita (yhden ja yhden, yhden ja monen, monen ja yhden, monen ja monen välisiä). ECFC- ja MTO-analyyseissä käytetty "yhden viivan" metodi ei kuvaa yhtä hyvin kuin STEP niitä monimutkaisia suhteita, jotka usein aiheuttavat onnettomuuksia.

ECFC- ja MTO-analyyseissä käytetyt graafiset kuvaukset sisältävät myös olosuhteita, jotka vaikuttivat tapahtumaketjuun, ja syytekijöitä, jotka johtivat onnettomuuteen. STEP-analyysissä turvallisuusongelmat on vain merkitty kolmioilla tai vinoneliöillä ja niitä on analysoitu eri tavoin.

MTO-analyysin kaksi vahvuutta on, että sekä muutosanalyysin että suojausanalyysin tulokset on havainnollistettu kaaviokuvalla.

Eräiden muidenkin menetelmien osina on graafisia symboleita, mutta mikään niistä ei kuvaa onnettomuustilannetta kokonaisuudessaan. Vikapuuanalyysissä käytetään ennalta määriteltäviä symboleita havainnollistamaan alkutapahtuman syitä. Tapahtumapuussa käytetään graafisia merkkejä kuvaamaan mahdollisia tapahtumaketjuja, jotka seuraavat alkutapahtumaa, ja joihin vaikuttaa erilaisten turvallisuusjärjestelmien tai suojausten onnistunut tai epäonnistunut toiminta. AEB-menetelmä kuvaa erilaisia inhimillisiä virheitä, teknisiä vikoja ja toimintahäiriöitä, jotka johtavat onnettomuuteen (mutta ei kuvaa tapahtumaketjua ko-

konaisuudessaan). TRIPOD Beta kuvaa graafisesti kohdetta (esim. työntekijä), vaaraa (esim. kuuma putkisto) ja tapahtumaa (esim. työntekijä saa palovamman) sen lisäksi, että se kuvaa aktiivisten vikojen, ennakkoehtojen ja piilevien vikojen (perusriskitekijöiden) (tapahtumatrion) seurauksena toimimatta jääneitä tai puuttuneita suojauksia.

Kolmas sarake sisältää eri analyysimenetelmien soveltamistason. Tasot vastaavat riskienhallintaan osallisen sosioteknisen järjestelmän tasoja (ks. kuva 4). Eri tasot ovat:

1. Työ- ja tekninen järjestelmä
2. Henkilökunnan taso
3. Johdon taso
4. Yhtiön taso
5. Lainsäätäjien ja yhteisöjen taso
6. Hallituksen taso

Kuten taulukosta 6 nähdään, useimpien menetelmien sovellustaso rajoittuu tasoihin 1 – 4. Vaikka STEP alunperin kehitettiin tasoja 1 – 4 varten, SINTEF:in kokemukset onnettomuuksien tutkimuksista osoittavat, että menetelmää voidaan käyttää myös analysoitaessa niitä tapahtumia, joihin lainsäätäjät ja hallitus vaikuttavat. STEP:in lisäksi ainoastaan AcciMap keskittää huomiota tasoille 5 ja 6. Se tarkoittaa, että ne tutkijat, jotka onnettomuuksia tutkiessaan keskittyvät hallitukseen ja lainsäätäjiin joutuvat perustamaan analyysinsä paljon suuremmalta osin kokemukseen ja käytännön järjestykseen kuin järjestelmällisten analyysimenetelmien tuloksiin.

Neljäs sarake ilmoittaa, onko menetelmä ensisijainen vai toissijainen menetelmä. Ensisijaiset menetelmät ovat itsenäisiä tekniikoita, kun taas toissijaiset menetelmät täydentävät muita menetelmiä antaen erityisiä syöttötietoja. Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio, STEP, MTO-analyysi, TRIPOD ja AcciMap ovat kaikki ensisijaisia menetelmiä. Vikapuuanalyysi ja tapahtumapuuanalyysi voivat olla sekä ensisijaisia että toissijaisia menetelmiä. Muut menetelmät ovat toissijaisia menetelmiä.

Viidennessä sarakkeessa eri menetelmät luokitellaan deduktiivisiin, induktiivisiin, morfologisiin ja ei-järjestelmäkeskeisiin. Vikapuuanalyysi ja MORT ovat deduktiivisia menetelmiä, kun taas tapahtumapuuanalyysi on induktiivinen menetelmä. AcciMap voi olla sekä induktiivinen että deduktiivinen. AEB-menetelmä luokitellaan morfologiseksi ja muut järjestelmät ovat ei-järjestelmäkeskeisiä.

Kuudennessa sarakkeessa menetelmät yhdistetään eri tyyppisiin onnettomuusmalleihin, jotka ovat vaikuttaneet menetelmiin. Käytössä ovat olleet seuraavat onnettomuusmallit:

- A Tapahtumaketjumalli
- B Prosessimallit
- C Energiansiirtymismallit
- D Loogiset puumallit
- E Turvallisuus- ja ympäristöjohtamisen mallit

Perimmäisen syyn analyysi, SCAT ja TRIPOD perustuvat tapahtumaketjumalleihin. Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio, muutosanalyysi, tapahtumien ja syytekijöiden kaavio, STEP, MTO-analyysi ja AEB-menetelmä perustuvat prosessimalleihin. Suojausanalyysi perustuu energiansiirtymismalliin. Vikapuuanalyysi, tapahtumapuuanalyysi ja MORT perustuvat loogisiin puumalleihin. MORT ja SCAT perustuvat lisäksi turvallisuus- ja ympä-

ristöjohtamisen malleihin. AcciMap perustuu tapahtumaketjumallin, prosessimallin ja loogisen puumallin yhdistelmään.

Viimeisessä sarakkeessa on esitetty arvio menetelmän käytön vaatimasta koulutuksesta ja harjaantumisesta. Taulukossa käytetään termejä "ekspertti", "spesialisti" ja "noviisi". Ekspertti tarkoittaa, että vaaditaan muodollista koulutusta ja valmentautumista ennen kuin henkilö kykenee käyttämään menetelmää asianmukaisesti. Kokemus on myös eduksi. Vikapuuanalyysi, MORT ja AcciMap kuuluvat tähän luokkaan. Noviisi tarkoittaa, että henkilö kykenee perehdyttämisen jälkeen käyttämään menetelmää ilman käytännön koulutusta tai kokemusta. Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio, suojausanalyysi, muutosanalyysi ja STEP kuuluvat tähän luokkaan. Spesialisti on jossakin ekspertin ja noviisin välissä. Tapahtumien ja syytekijöiden analyysi, perimmäisen syyn analyysi, tapahtumapuuanalyysi, SCAT, MTO-analyysi, AEB-menetelmä ja TRIPOD kuuluvat tähän luokkaan.

Taulukko 6. Onnettomuustutkinnan eri menetelmien ominaispiirteitä.

| Menetelmä | Tapahtumaketju | Analyysitasot | Ensisijaisuus/toissijaisuus | Analyttinen lähestymistapa | Onnettomuusmalli | Koulutus-tarve |
|---------------------------------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| Tapahtumien ja syytekijöiden kaavio | Kyllä | 1-4 | Ensisijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | B | Noviisi |
| Suojaus-analyysi | Ei | 1-2 | Toissijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | C | Noviisi |
| Muutos-analyysi | Ei | 1-4 | Toissijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | B | Noviisi |
| Tapahtumien ja syytekijöiden analyysi | | 1-4 | Toissijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | B | Spesialisti |
| Perimmäisen syyn analyysi | Ei | 1-4 | Toissijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | A | Spesialisti |
| Vikapuu-analyysi | Ei | 1-2 | Ensisijainen/ Toissijainen | Deduktiivinen | D | Ekspertti |
| Tapahtumapuuanalyysi | Ei | 1-3 | Ensisijainen/ Toissijainen | Induktiivinen | D | Spesialisti |
| MORT | Ei | 2-4 | Toissijainen | Deduktiivinen | D/E | Ekspertti |
| SCAT | Ei | 1-4 | Toissijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | A/E | Spesialisti |
| STEP | Kyllä | 1-6 | Ensisijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | B | Noviisi |
| MTO-analyysi | Kyllä | 1-4 | Ensisijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | B | Spesialisti/ ekspertti |
| AEB-menetelmä | Ei | 1-3 | Toissijainen | Morfologinen | B | Spesialisti |
| TRIPOD | Kyllä | 1-4 | Ensisijainen | Ei-järjestelmäkeskeinen | A | Spesialisti |
| AcciMap | Ei | 1-6 | Ensisijainen | Deduktiivinen ja induktiivinen | A/B/D | Ekspertti |

5.2 Johtopäätökset

Suuronnettomuuksilla on erittäin harvoin vain yksi syy; useimpiin onnettomuuksiin vaikuttavat monenlaiset, toisiinsa liittyvät syytekijät. Kaikki normaaliin työprosessiin vaikuttavat toimijat tai päätöksentekijät voivat vaikuttaa myös onnettomuustilanteisiin, joko suoraan tai välillisesti. Tämän monimutkaisuuden tulisi heijastua myös onnettomuustutkintaan.

Onnettomuustutkinnan tulisi pyrkiä tunnistamaan onnettomuustilanteeseen vaikuttavat tapahtumaketjut ja kaikki (syy-) tekijät, jotta voitaisiin esittää riskiä pienentäviä toimenpiteitä, joilla voidaan estää vastaavien onnettomuuksien toistuminen. Tämä merkitsee, että on analysoitava kaikenlaisia toimijoita teknisistä järjestelmistä ja työntekijöistä lainsäätäjiin ja hallitukseen saakka.

Usein onnettomuustutkinnassa on mukana joukko eri tutkintamenetelmiä. Kullakin menetelmällä saattaa olla oma tarkoituksensa, ja se voi olla pieni osa koko tutkintaprosessia. Kannattaa muistaa, että palapelissä jokainen osa on yhtä tärkeä kuin toiset.

Tapahtumaketjun graafinen kuvaaminen on hyödyksi tutkinnan aikana, sillä se on tehokas visuaalinen apukeino, jolla saadaan tehtyä yhteenveto avaintiedosta. Se soveltuu jäsenysmenetelmäksi todistusaineiston keruuseen, järjestämiseen ja kerättyjen todisteiden yhdistämiseen helpottaen tutkijoiden välistä viestintää. Graafiset kuvaukset auttavat myös tunnistamaan informaatiossa olevat aukot.

Tutkintaprosessin aikana esiin nousevien ongelma-alueiden analysoimiseen tulisi käyttää erilaisia menetelmiä. Monitieteisen tutkijaryhmän jäsenenä tulisi olla ainakin yksi henkilö, joka tuntee hyvin erilaiset onnettomuustutkinnan menetelmät ja pystyy valitsemaan eri ongelmien analysointiin soveltuvat oikeat menetelmät. Aivan samoin kuin mekaanikkojen on valittava oikeat työvälineet teknisen järjestelmän korjaukseen, onnettomuustutkijan on valittava oikeat menetelmät erilaisten ongelma-alueiden analysointiin.

6 Lähdeluettelo

- Andersson R. & Menckel E., 1995. On the prevention of accidents and injuries. A comparative analysis of conceptual frameworks. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 27, No. 6, 757 – 768.
- Arbeidsmiljøsenderet, 2001. *Veiledning i ulykkesgransking*, Arbeidsmiljøforlaget, 2001
- Bento, J-P., 1999. *MTO-analys av hendelsesrapporter*, OD-00-2
- Bird, F.E. Jr & Germain, G.L., 1985. *Practical Loss Control Leadership*. ISBN 0-88061-054-9, International Loss Control Institute, Georgia, USA.
- CCPS, 1992. *Guidelines for Investigating Chemical Process Incidents*. ISBN 0-8169-0555-X, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1992.
- DOE, 1997. *Implementation Guide For Use With DOE Order 225.1A, Accident Investigations*, DOE G 225.1A-1 November 26, 1997/Rev. 1, U.S. Department of Energy, Washington D.C, USA.
- DOE, 1999. *Conducting Accident Investigations DOE Workbook*, Revision 2, May 1, 1999, U.S. Department of Energy, Washington D.C, USA.
- Ferry T.S., 1988. *Modern accident investigation and analysis* (2nd ed.). ISBN 0.471-62481-0, Wiley Interscience publication, United States.
- Gilje, N. og Grimen, H., 1993. *Samfunnsvitenskapenes forutsetninger Innføring i samfunnsvitenskapenes vitenskapsfilosofi*, Universitetsforlaget, Oslo.
- Groeneweg, J., 1998. *Controlling the controllable The management of safety*. Fourth edition. DSWO Press, Leiden University, The Netherlands, 1998.
- Hale A, Wilpert B, Freitag M, 1997. *After the event - from accident to organisational learning*. ISBN 0 08 0430740, Pergamon, 1997.
- Hendrick K, Benner L Jr, 1987. *Investigating accidents with STEP*. ISBN 0-8247-7510-4, Marcel Dekker, 1987.
- Holloway MC, 1999. *An overview of why ... because ... analysis (WBA)*. March 1999.
- Hopkins, A., 2000. *Lessons from Longford*. ISBN 1 86468 422 4, CCH Australia Limited, Australia.
- Høyland, A. and Rausand, M., 1994. *System reliability theory: models and statistical methods*. ISBN 0-471-59397-4, Wiley, New York.
- Ingstad, O., 1988. *Gransking av arbeidsulykker*. Yrkeslitteratur.
- INSAG-12, 1999. *Basic safety principles for nuclear power plants 75-INSAG-3*, Rev. 1, IAEA, Vienna,
- Johnson, W.G., 1980. *MORT Safety Assurance Systems*, Marcel Dekker, New York, USA.
- Kjellén, U., 2000. *Prevention of Accidents Thorough Experience Feedback*, ISBN 0-7484-0925-4, Taylor & Francis, London, UK.
- Kjellén, U. & Larsson, T.J., 1981. Investigating accidents and reducing risks – a dynamic approach. *Journal of Occupational Accidents*, 3: 129 – 140.
- Kjellén U., Tinmannsvik, R.K., Ulleberg, T., Olsen, P:E, Saxvik, B., 1987. *SMORT Sikkerhetsanalyse av industriell organisasjon – Offshore-versjon*, Yrkeslitteratur.

- Kletz, T., 2001. *Learning from Accidents*. Third edition. ISBN 0 7506 4883 X, Gulf Professional Publishing, UK
- Lekberg A.K., 1997. Different approaches to incident investigation - How the analyst makes a difference. *Hazard Prevention* 33:4, 1997
- Leplat, J. 1997. Event Analysis and Responsibility in Complex Systems, In Hale A, Wilpert B, Freitag M, 1997. *After the event - from accident to organisational learning*. ISBN 0 08 0430740, Pergamon, 1997.
- NOU 2000: 30 *Åsta-ulykken*, 4. januar 2000. Justisdepartementet.
- NOU 2000: 31 *Hurtigbåten MS Sleipners forlis 26. november 1999*. Justis-departementet.
- NOU 2001: 9 *Lillestrøm-ulykken 5. april 2000*. Justisdepartementet.
- Rasmussen J., 1990. *Human error and the problem of causality in analysis of accidents*. Phil. Trans. Royal. Soc. London, B 327, 449 – 462.
- Rasmussen J., 1997. Risk Management in a Dynamic Society : A Modelling Problem. *Safety Science* 27 (2/3), 183 – 213.
- Rasmussen J, Svedung I, 2000. *Proactive risk management in a dynamic society*. ISBN 91-7253-084-7, Swedish Rescue Services Agency, 2000.
- Reason, J, 1997. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. ISBN 1 84014 105 0, Ashgate, England.
- Reason, J, et al, 1988. *TRIPOD – A principled basis for accident prevention*.
- Rollenhagen, C., 1995. *MTO – En Introduktion, Sambandet Människa, Teknik och Organisation*. ISBN 91-44-60031-3, Studentlitteratur, Lund, Sweden.
- Svedung I., Rasmussen J., 2002. Graphic representation of accident scenarios: mapping system structure and the causation of accidents. *Safety Science* 40 (2002) 397-417, Elsevier Science.
- Svensson O, 2000. *Accident analysis and barrier function (AEB) method - Manual for incident analysis*. ISSN 1104-1374, SKI Report 00:6, Sweden, 2000.
- Svensson O, Lekberg A, Johansson EL, 1999. On perspectives, expertise and differences in accident analysis: arguments for a multidisciplinary integrated approach. *Ergonomics*, 1999, Vol. 42, No. 11, 1561-1571.
- Svensson O, Sjöström P, 1997. Two methods for accident analysis: Comparing a human information processing with an accident evolution approach. In Bagnara S et al (eds) *Time and space in Process Control*. Sixth European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control. 1997.
- Villemeur, A, 1991. *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment Volume 1 Methods and Techniques*. ISBN 0 471 93048 2, Chichester, UK.