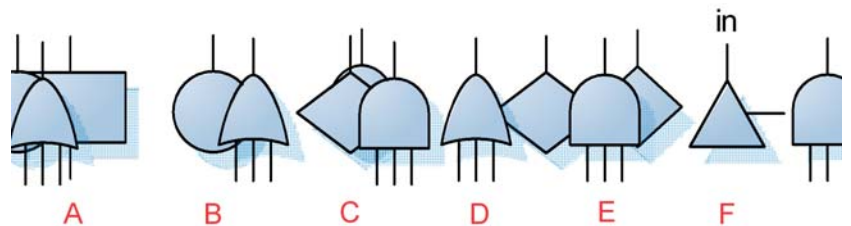


Vikapuuanalyysillä vian alkulähteille

Vikapuuanalyysia (Fault Tree Analysis, FTA) käytetään runsaasti teollisuudessa järjestelmien evaluointiin niiden suunnittelun ja tuotekehityksen aikana. Vikapuuta voidaan yksinkertaisesti kutsua loogiseksi esitykseksi, jossa kuvataan perustapahtumien keskinäisten suhteiden avulla tietyn huipputapahtuman toteutumista. Loogisessa esityksessä käytetään puun muotoa ja loogisia operaattoreita.



Timo Koivula, tekn. toht.
John Deere Forestry Oy
koivulatimos@johndeere.com



Kuva 1. Vikapuun symboleita.



Heikki Rusanen
Bosch Rexroth Oy
heikki.rusanen@boschrexroth.fi



Jari Rinkinen, prof.
Tampereen teknillinen yliopisto
Hydrauliikan ja automatiikan laitos
jari.rinkinen@tut.fi

Vikapuuanalyysilla on monia käyttötarkoituksia. Vikapuuta käytetään useimmiten järjestelmän kriittisten kohtien identifiointiin. Vikapuun keinoin voidaan myös löytää kustannustehokkaita parannuksia ja evaluoida saatujen laite- tai järjestelmätarjosten soveltuvuutta ja suorituskykyä.

Vikapuun avulla voidaan paremmin ymmärtää järjestelmävikojen toiminnallisia suhteita, hahmottaa järjestelmän toiminnan kokonaiskuvaa ja ymmärtää järjestelmän kykyä sietää tiettyjä vikoja. Lisäksi vikapuiden avulla voidaan varmistaa, että järjestelmä täyttää sille asetetut turvallisuusmääräykset ja saada apua testaus-, kunnossapito- ja käyttöohjeistuksen kirjoittamiseen.

Vikapuuanalyysin suorittaminen asettaa kuitenkin myös tiettyjä vaatimuksia. Laatijalla tulee olla vankka tuntemus järjestelmän rakenteesta, toiminnasta ja huollonäkökohdista. Pitää olla selkeät määrittelyt epätoivoituista tapahtumista ja järjestelmävioista. Analysoi-

tavalle järjestelmälle tai komponentille pitää määrittellä selkeät fyysiset reunaehdot ja rajapinnat muihin järjestelmiin. Analyysin resoluutio pitää myös määrittellä eli kuinka syvälle analyysissä on tarkoituksenmukaista mennä.

Vikapuun symbolit

Järjestelmän tai komponentin vikapuuanalyysi rakennetaan käyttäen erilaisia graafisia symboleja. Kuusi yleisimmin käytettyä symbolia on esitetty seuraavassa kuvassa (**kuva 1**).

- (A) **Suorakaide** kuvaa vikatapahtumaa, joka on saatu vikatapahtumien loogisena kombinaationa tietyn loogisen portin läpi.
- (B) **Ympyrä** kuvaa perusvikatapahtumaa. Perusvikatapahtuman esiintymistodennäköisyys sekä vikaantumis- ja korjausvälit saadaan tyypillisesti kokemukseräisestä datasta.
- (C) **Salmiakki** kuvaa vikatapahtumaa, jota ei puussa ole kehitetty syvem-

mälle. Synnä tähän voi olla että ko. tapahtuma ei ole mielenkiintoinen kyseisessä yhteydessä taikka sitten ko. tapahtumasta ei ole riittävästi tietoa saatavilla.

- (D) TAI-portin ulostulon vika-tapahtuma ilmenee, jos yksi tai useampi sisäänmenotapahtuma ilmenee.
- (E) JA-portin ulostulon vikata-pahtuma ilmenee, jos kaikki portin sisäänmenotapahtumat ilmenevät.
- (F) Kolmio on siirtolohko, jolla voidaan siirtyä toisiin vikapuihin ja näin ollen esimerkiksi välttää vikaantumisketjujen toistoa.

Vikapuuanalyysin laadinta

Vikapuuta rakennetaan ylhäältä alaspäin siten, että huipputa-pahtuma on puun tyvi ja alitapahtumien loogisia kombinaatioita hyväksikäyttäen hahmotetaan puun juuret niin pitkälle, että saavutetaan perustapahtumat.

Vikapuun laadinnassa voidaan tunnistaa seuraavanlaiset vaiheet.

- Määritä järjestelmä, oletukset ja reunaehdot.
- Jos on tarpeen, niin yksinkertaista monimutkaiset järjestelmät laatimalla yksinkertainen, oleelliset inputit, outputit ja rajapinnat näyttävä lohkokavaioesitys.
- Identifioi analysoitavat huipputa-pahtumat.
- Käyttämällä vikapuulogiikkaa ja -symboliikkaa, identifioi kaikki syyt jotka voivat aiheuttaa ko. huipputa-pahtuman.
- Kehitä vikapuu vaaditun yksityiskohtaiselle tasolle.
- Analysoi valmis vikapuu. Ymmärrä eri vikapolkujen logiikka ja keskinäiset suhteet. Hanki näiden avulla syvällinen tietämys yksityiskohtaisista järjestelmän ja kompo-

nenttien vioista.

- Määritä tarpeelliset korjaavat toimenpiteet.
- Dokumentoi analyysi ja valmistelet korjaavien toimenpiteiden seurantadokumentti.

Vikapuun todennäköisyysarviointi

Vikapuuta voidaan pitää huipputa-pahtumaan johtavien perustapahtumien keskinäisten loogisten suhteiden graafisena esityksenä. Siten vikapuu voidaan myös esittää täysin ekvivalenttisesti Boolean-yhtälöillä. Tavallisesti ennen kuin huipputa-pahtuman esiintymistodennäköisyy-

Vikapuun avulla voidaan paremmin ymmärtää järjestelmävikojen toiminnallisia suhteita, hahmottaa järjestelmän toiminnan kokonaiskuvaa ja ymmärtää järjestelmän kykyä sietää tiettyjä vikoja.

tä letaan evaluoida, vikapuuta joudutaan yksinkertaistamaan. Lisäksi on toistuvat vikata-pahtumat eliminotava vikapuusta, muuten tulokset ovat vääristyneitä.

Huipputa-pahtuman toteutumistodennäköisyyden arviointi aloitetaan arvioimalla ensin perustapahtumien vikaantumistodennäköisyydet (P) ja sitten vikapuun avulla muodostetaan loogisten porttien mukaisesti huipputa-pahtuman todennäköisyys-funktio. TAI-portin ulostulon vikaantumistodennäköisyys $P(A_0)$ voidaan laskea riippumattomien sisäänmenojen todennäköisyyksien $P(A_1, A_2, \dots)$ avulla seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$P(A_0) = 1 - \prod_{i=1}^m \{1 - P(A_i)\} \quad (1)$$

JA-portin ulostulon vikaantumistodennäköisyys $P(X_0)$ voidaan laskea yhtälöllä

$$P(X_0) = \prod_{i=1}^k P(X_i) \quad (2)$$

Kun on kyse komponentista tai järjestelmästä, joka voidaan korjata, sen epäkäytettävyys (UA) voidaan laskea, edellyttäen että tunnetaan vakioviikaantumisväli (λ) ja vakiokorjausväli (μ).

$$UA = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (3)$$

Yhtälö (3) ilmaisee siis jatkuvuustilan todennäköisyyden sille, että tietty järjestelmä tai komponentti ei ole käytettävissä. Sijoittamalla yhtälö (3) yh-

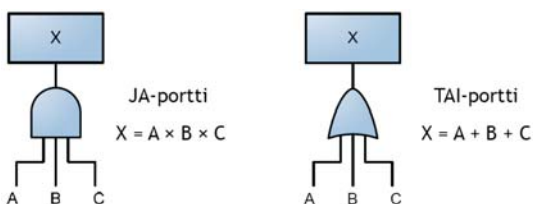
raavanlaisia etuja:

- Vikapuu identifioi viat poissulkevasti.
 - Vikapuu tarjoaa graafisen avun järjestelmän hallintaan.
 - Vikapuuanalyysi tuottaa syvällistä tietoa järjestelmän toiminnasta.
 - Vikapuulla voidaan käsitellä monimutkaisiakin järjestelmiä.
 - Analysoijan on perehdyttävä järjestelmään perinpohjaisesti ennen analyysin aloittamista. Analysoija voi keskittyä yhteen vikaan kerrallaan.
 - Analyysi tuottaa mahdollisuuden kvalitatiiviseen ja kvantitatiiviseen luotettavuusanalyysiin.
- Toisaalta vikapuun menetelmän haittoja ovat muun muassa seuraavat:
- Vikapuuanalyysi on usein aika kova vääristävä analyysimenetelmä.
 - Analyysi on kallista suuren työmäärän takia.
 - Vikapuun loppupäätelmiä on vaikea tarkastaa.
 - Komponentin tai järjestelmän osittaisia vikoja on vaikea käsitellä (se joko toimii tai ei toimi).

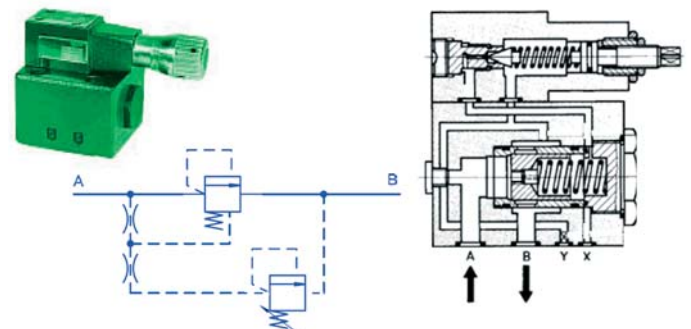
Vikapuun soveltamisesta

Kokemuksia hydraulijärjestelmän vikapuusta

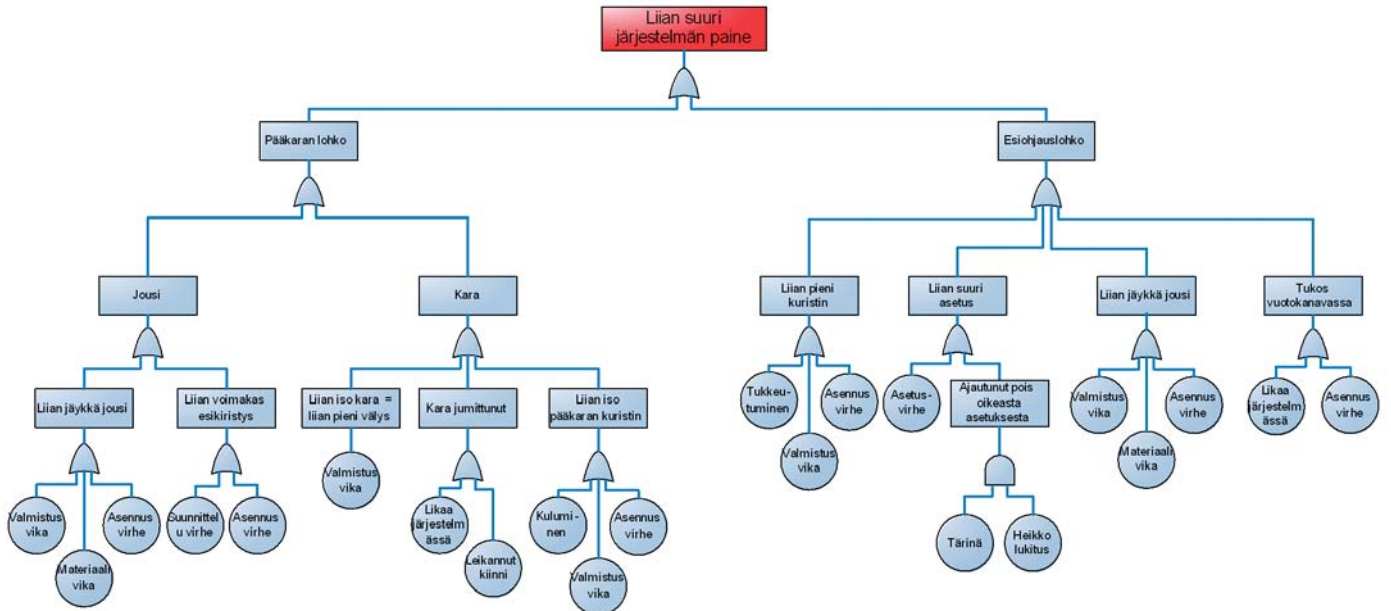
- Hydraulijärjestelmästä pitää olla runsaasti tietoa käsillä
 - Järjestelmän toimintaan pitää perehtyä perusteellisesti, toimintokuvaukset ovat hyvänä apuna
 - Järjestelmästä ja sen alijärjestelmistä tarkat ja ajan tasalla olevat hydraulikaaviot
 - Osaluettelot
 - Sähköistyskaaviot
- Kaikista komponenteista tarvitaan spesifikaatiot sekä riittävän tarkat halkileikkauskuvat



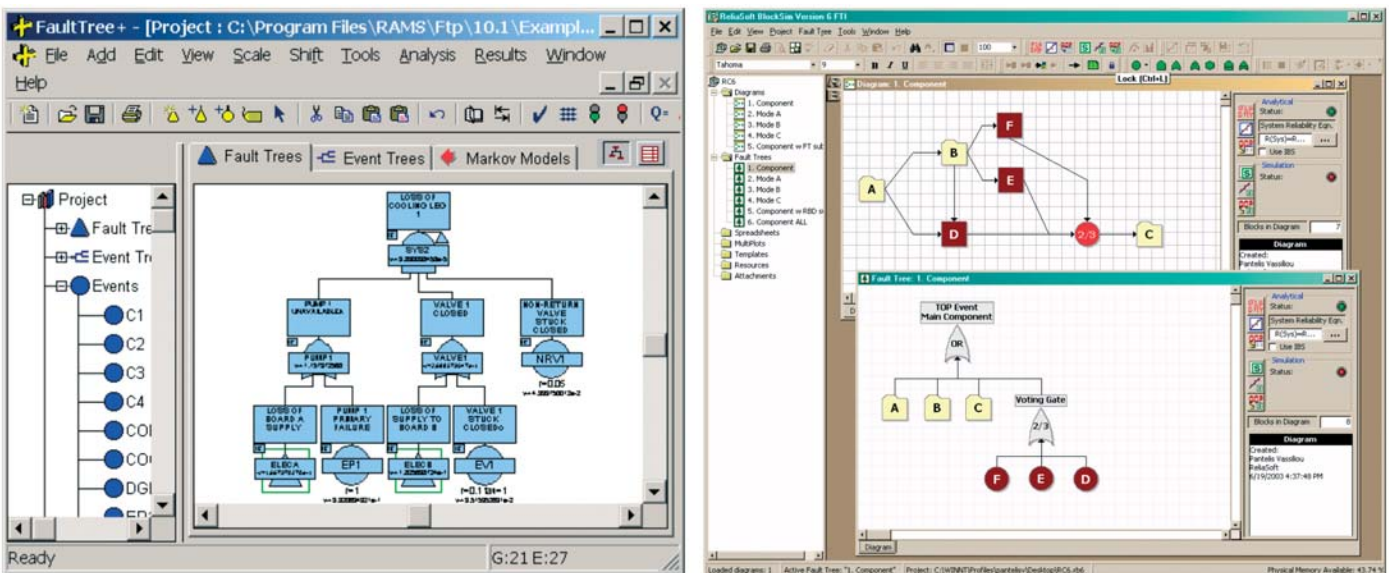
Kuva 2. Vikapuun JA- ja TAI-portti Boolean algebraa käyttäen.



Kuva 3. Paineenrajoitusventtiilin kuva, hydraulikaavio ja halkileikkauskuva.



Kuva 4. Vikapuu: huipputapahtumana "liian suuri järjestelmän paine".



Kuva 5. Esimerkkejä vikapuuohjelmistoista.

- Huipputapahtumasta lähtien järjestelmä on edullista jakaa ensin suurehkoihin kokonaisuuksiin (esim. pumppu, toimilaitteet, sähköistys...)
- Saattaa olla eduksi, että analyysin tekijällä ei ole kokemusta järjestelmässä aiemmin havaituista vioista. Tällöin saattaa tehokkaammin löytyä ennennäkemättömiäkin vikapolkuja, koska ajatukset eivät ole "urautuneet".
- Luotettavuuslaskenta on usein hankalaa, koska vikaantumistodennäköisyyksien arviointi on todella vaikeaa. Seuraavassa esitellään esimerkinomaisesti esiohjatun paineenrajoitusventtiilin yksi vikapuu.

Huipputapahtumana tässä on "liian suuri järjestelmän paine". Kuvassa 3 on esitetty kyseessä olevan paineenrajoitusventtiilin kuvia ja kaavioita.

Vikapuuta (kuva 4) on lähdetty laatimaan jakamalla komponentti ensin "loogisiin" kokonaisuuksiin, pääkaran lohkon ja esiohjauskaran lohkon. Sen jälkeen on vikapuu kehitetty niin pitkälle perustapahtumiin kuin on ollut järkevää. Esimerkiksi on tyydytty siihen, että kyseessä voi olla "valmistusvirhe" tai "liikaa järjestelmässä", eikä ole ryhdytty analysoimaan, mistä nämä johtuvat. Valmistusvirhe voitaisiin tarpeen vaatiessa analysoida edelleen esimerkiksi "väriin

piirustuksiin", "viallisiin työkaluihin" tai "väärin työmenetelmiin".

Kuten useasti on asianlaita, ei tässäkään tapauksessa ollut saatavilla tietoa perustapahtumien vikaantumistodennäköisyyksistä. Huipputapahtuman todennäköisyyksisarviointia ei siis voida luotettavasti tehdä.

Vikapuu-ohjelmistoja

Vikapuuanalyysin suorittaminen manuaalisesti vie runsaasti aikaa. Markkinoilla on kosolti vikapuuohjelmistoja, jotka mahdollistavat vikapuiden ja lohko-kaavioiden yhtäaikaisten luomisen sekä jopa vikojen simulointe-

ja. Kuvassa 5 on esitetty "snapshotit" kahdesta tällaisesta vikapuuohjelmistosta.

Lähteet

- [1] Dhillon B S. 1999. Design Reliability: Fundamentals and Applications. CRC Press. ISBN: 0849314658. 416 s.
- [2] Koivula T., Rusanen H., Rininen J., 2005. Vikapuuanalyysillä vian alkulähteille. Teollisuushydrauliikan vianetsintä -kurssi. Tampere 6.-7.4.2005. Kunnossapito-yhdistys ry. 13 s.
- [3] <http://www.isograph-software.com/ftpoverdgc.htm>
- [4] <http://www.reliasoft.com/BlockSim/fti/fig2.htm>

**Kunnossapidon
ammattilainen.**

**Päivitä tietosi
ajan tasalle!**

Voimalaitospäivät ajankohtaisista aiheista

Luennoimassa Suomen johtavia asiantuntijoita.

Aika: 7.–8.11.2006

Hinta: 810 euroa + 22 % alv

Paikka: Helsinki

Ilmoittaudu seminaariin ennen 31.5.2006, saat ennako-
ilmoittautujan etuna 15 % alennuksen hinnasta.

Kevään 2006 koulutustarjontaamme

- SFS 6000 Rakennusten pienjännitesähköasennukset 30.3.2006
- Sprinklerilaitosten kunnossapito laitteistohoitajan kannalta 6.4.2006
- Koneiden turvallisuuden perusteet 26.–27.4.2006
- Alle 1000V sähkölaitteistojen käyttöön ja käyttöön-
ottoon liittyvät tarkastukset ja mittaukset 2.5.2006
- Suurjännitesähköasennukset SFS 6001 -koulutus 4.5.2006
- ATEX:in edellyttämät työturvallisuuden perusteet henkilöille jotka työskentelevät räjähdysvaarallisissa tiloissa 10.5.2006
- Teollisuuden sähköverkkojen suojaukset 10.5.2006
- Koneiden ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet 17.–18.5.2006
- Putkistojen käytön ja valmistuksen aikainen tarkastus 30.5.2006
- Kuka teillä tekee käyttöönottotarkastukset? 1.6.2006

Järjestämme myös yrityskohtaista koulutusta.

Ota yhteyttä!

Sinua palvelevat:



Päivi Heinilä
Avoimet
tekniikan ja
turvallisuuden
koulutukset
050 412 9658



Jaana Ista
Avoimet
tekniikan ja
turvallisuuden
koulutukset
040 771 2272



Tuula Herold
Yrityskohtaiset
koulutukset ja
suunnittelu
040 567 3870

Tutustu koulutustarjontaamme:

www.InspectaKoulutus.fi