



TURVALLISUUDEN KEHITTÄMI- NEN LETKURIKKOTILANTEISSA

Sami Rajala

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys ja tuotantotalous

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehityksen ja tuotantotalouden suuntautumisvaihtoehdot

SAMI RAJALA:

Turvallisuuden kehittäminen letkurikkotilanteissa

Opinnäytetyö 41 sivua, josta liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2012

Sandvik Mining and Construction Oy tuottaa ratkaisuja sekä palveluita kaivos- ja rakennusteollisuusasiakkaille. Sandvik Mining and Construction Oy otti käyttöön maailmanlaajuisesti uudistetun strategiansa 1.1.2012.

Organisaatiomuutosten lisäksi strategian lähtökohtana on turvallisuuden parantaminen kaikilla osa-alueilla. Tampereen Myllypuron tehtaalla turvallisuuden parannustavoitteet näkyvät henkilöstölle jokapäiväisissä työtehtävissä. Turvallisuustavoitteet koskevat kaikkia yrityksen toimintoja, työntekijöitä ja laitteiden loppukäyttäjiä.

Tämä opinnäytetyö painottui hydraulikkajärjestelmien hydrauliletkutuksien turvallisuuden kehittämiseen letkurikkotilanteissa. Työ pohjautui kentällä tapahtuneisiin vaaratilanteisiin. Työn tehtävänä oli tuottaa kehitysehdotuksia hydrauliletkutuksien turvallisuuden parantamiseksi.

Hydraulikkajärjestelmässä tapahtuva vuoto aiheuttaa kolme pääasiallista riskitekijää, jotka ovat henkilövahinko, tulipalo ja ympäristövahinko. Näistä yleisin riskitekijä on ympäristövahinko erilaisissa mittasuhteissaan. Tämä työ kohdistui vakavimpiin riskitilanteisiin, joissa on henkilövahingon vaara. Ympäristövahingot jätettiin tältä osin vähemmälle huomiolle. Ympäristövahinkojen vaikutuksia ei pidä jättää huomioimatta, vaan niihin on suhtauduttava vakavasti. Merkittävimmät vaaratilanteet ovat hydraulinestevuodosta aiheutuva henkilövahingon vaara ja laitteen tulipalo.

Riskienhallinta vaati järjestelmällistä toimintatapaa, jotta kaikki aiheeseen liittyvät vaaratilanteet tunnistetaan ja huomioidaan. Riskianalyysi oli toimivin työkalu purkamaan analysoitavan aiheen riittävän pieniksi osakokonaisuuksiksi. Analyysiin pohjautuen määritettiin jatkotoimenpiteet.

Työtä varten kerättiin runsaasti näkemyksiä, kokemuksia, mielipiteitä ja vaatimuksia. Työn aihe koettiin Sandvikilla tärkeäksi ja sitä tehtiin yhteistyössä yrityksen henkilöstön ja yhteistyökumppaneiden kanssa.

Opinnäytetyö sisältää luottamuksellista lähde- ja liiteaineistoa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical and Production Engineering
Option of Product Development and Industrial Engineering and Management

SAMI RAJALA:
Safety development in hydraulic hose failures

Bachelor's thesis 64 pages, appendices 26 pages
May 2012

Sandvik Mining and Construction is a provider of equipment and solutions for mining and construction industry. Sandvik introduced its globally updated strategy on 1st of January in 2012.

In addition to organizational changes the starting point in strategy is to improve the safety factors in all sectors. The improvement goals can be seen among the personnel in their everyday work tasks in the factory of Myllypuro situated in Tampere Finland. The security goals contain all the actions that are made inside the company including workers and users of devices.

This thesis was emphasized on improving the safety of hydraulic hoses in hydraulic hose failure situations. This work is based on the real situations that have occurred in workplaces. The meaning of this thesis was to produce suggestions how to improve the safety of hydraulic hoses.

The leak in a hydraulic system can cause three main risk factors. Those risk factors are personal injuries, fire and environmental damages. The most common risk factor is an environmental damage in all different proportions. This thesis was emphasized on the most dangerous risk situations measured by personal injuries. The environmental damages can not be underestimated and those need to be taken seriously. The most significant danger situations are caused by hydraulic fluid leaks and fire of a drill rigs.

The risk management demands well-organized procedure so that all the cases related to the danger situations that can be recognized and noticed. The risk assessment was the most workable tool to handle this subject. The safety goals are defined on the basis of risk assessment.

The great number of views, knowledge, opinions and demands were collected. This subject was considered important by Sandvik. It was made in cooperation with personnel and partners of the company.

This thesis contains confidential material.

Key words: risk assessment, hydraulic system, hose failure

SISÄLLYS

ERITYISSANASTO	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TYÖN TAVOITE.....	8
2.1 Tausta.....	8
2.2 Työn sisältö ja rajaus	8
2.3 Työn tulokset	9
3 STANDARDIT JA OHJEET	10
3.1 Turvallisuusstandardit ja -ohjeet.....	10
3.2 Standardeista tulevat vaatimukset.....	11
3.3 Yhteenvedo standardeista ja ohjeista.....	11
4 RISKIANALYYSI	12
4.1 Teoria	12
4.2 Riskianalyysin valinta.....	13
4.3 Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) riskianalyysinä.....	14
4.4 Riskianalyysin tulos	14
5 RAKENTEELLISET RISKITEKIJÄT	16
5.1 Tulipalo.....	16
5.2 Pinhole-vuoto.....	17
5.3 Turboahdin.....	19
5.4 Jäähdytys ja ilmankierto	19
5.5 Poralaitteen moottoritilan layout	19
5.6 Kuumat pinnat.....	20
6 KEHITYSEHDOTUKSIA	23
6.1 Moottorin kotelointi.....	23
6.2 Osastointi	23
6.3 Turbon suojaus.....	24
6.4 Letkutukset.....	25
6.4.1 Letkujen kotelointi	25
6.4.2 Suojasukat	26
6.4.3 Suojakangas	27
6.5 Layout-muutokset	28
6.5.1 Letkutuksien suunnittelu ja reititys	28
6.5.2 Staattisesti ja dynaamisesti kuormitettujen letkujen erottelu	30
6.5.3 Letkutuksien kehittäminen	30
6.6 Sammutusjärjestelmät	32
6.7 Letkuasetelmien standardointi	32
6.8 Ilmankierto ja jäähdytinasennukset.....	33
6.9 Painetason putoaminen – laitteen sammutus	34
6.10 Palamattomat hydrauliiKANNESTEET	34
7 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	36
LIITTEET	38
Liite 1. Yhteenvedo MDG -ohjeista.....	38
Liite 2. Riskianalyysi (esimerkki)	41

ERITYISSANASTO

TH-laitteet	Top hammer laitteet, päältäiskevät porauslaitteet pengerraukseen
DTH-laitteet	Down the hole laitteet, uppoporauslaitteet pengerraukseen
Pinhole-vuoto	Letkuun syntyvä neulan reikää muistuttava vuoto, joka on erityisen vaarallinen suuren paineen ja pienen tilavuusvirran aiheuttaman leikkauskyvyn vuoksi
MDG	Mining Design Guidelines, Australian ohjeet kaivoslaitteille
CL	Consequence level, vaaran seuraustaso riskianalyysissä
LL	Likelihood level, vaaran esiintymistaso riskianalyysissä
RL	Risk level, vaaran CL:stä ja LL:stä johdettu riskitaso riskianalyysissä

1 JOHDANTO

Vuoden 2012 alussa voimaan tulleen uuden organisaatiomuutoksen jälkeen Sandvik Mining and Construction Oy jakautui kahdeksi liiketoiminta-alueeksi. Uudistuksen jälkeen liiketoiminta-alueet ovat nimeltään Sandvik Mining ja Sandvik Construction. Molempien liiketoiminta-alueiden strategioissa korostetaan turvallisuustekijöitä, jotka kattavat kaiken laitteiden valmistuksesta niiden käyttämiseen asti. Turvallisuuskäsitteitä näkyy kaikissa Sandvikin toiminnoissa ja se on vahvasti esillä Tampereen tehtaalla Myllypurossa.

Sandvik Construction tuottaa laitteita sekä niihin liittyviä palveluja ja kokonaisratkaisuja pääasiassa rakennusteollisuuteen. Tampereen tehtaalla tuotevalikoimaan kuuluu porakalusto ja poravaunut (kuva 1). Poravaunut voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan, top hammer -laitteisiin ja down the hole -laitteisiin porakoneen toimintatavan mukaisesti. Vuonna 2011 liikevaihto oli 9,2 miljardia Ruotsin kruunua ja työntekijöitä työskenteli maailmanlaajuisesti noin 3 900 henkilöä. (Sandvik Intra 2012a.)



KUVA 1. Päältäiskevä pintaporauslaite DPi (Sandvik Mediabase 2012)

Hydrauliikkapiirit ovat poravaunujen ydinjärjestelmiä. Järjestelmissä vallitseva suuri paine tekee hydraulinesteestä vuoto- ja letkurikkotilanteissa erittäin vaarallisen. Pienestä reiästä suihkuavalla nesteellä on vaarallisen suuri läpäisy- ja leikkauskyky. Järjestelmissä vallitsee 150–350 baarin painetaso kohteesta riippuen. Vuotava neste altistaa käytössä kuumentuneen laitteen myös tulipalolle. Lisäksi hydraulinestevuoto voi aiheuttaa

ympäristövahinkovaaran, mutta tässä työssä ympäristövaarat jätetään vähemmälle huomiolle.

Tämä opinnäytetyö kohdistuu Construction segmentin pintaporalaitteisiin. Työn sisältö on sovellettavissa laajalti muihinkin työkoneisiin. Kehitysehdotukset pohjautuvat kentällä tapahtuneisiin vaaratilanteisiin. Vaaratilanteista tehtiin yksityiskohtainen riskianalyysi, jonka avulla saatiin esille kattava listaus letkurikkoihin liittyvistä tekijöistä. Kehitysehdotusten avulla riskitilanteita pystytään tulevaisuudessa hallitsemaan entistä paremmin ja hydrauliletkujen turvallisuustasoa saadaan parannettua.

2 TYÖN TAVOITE

2.1 Tausta

Työn tarkoitus on kehittää Construction segmentin maanpäällisten porauslaitteiden turvallisuutta hydraulikkapiireissä tapahtuvien letkurikkojen osalta. Työ on riskikartoitus-pohjainen ja riskianalyysin avulla saadaan selville tärkeimmät kehityskohteet. Työn turvallisuusnäkökohtia rajaa koneasetus, useat eri standardit ja ohjeet. Poralaitteita valmistetaan ympäri maailmaa oleviin kohteisiin, jolloin tulee ottaa huomioon eri mante-reilla vallitsevat erilaiset määräykset ja vaatimukset.

Työ pohjautuu kentällä tapahtuneisiin vaaratilanteisiin. Todelliset tapahtumat luovat konkreettisen pohjan ja ohjaavat keskittymään keskeisimpiin vaaratilanteisiin. Vakavat vaaratilanteet, joissa on tapahtunut suurempia vahinkoja, ovat onneksi kuitenkin verrat-tain harvinaisia. Useammin tapahtuvissa vaaratilanteissa vahinko jää usein pienehköksi, mutta olosuhteiden vuoksi näissäkin tilanteissa on perusteltu syy varautua pahempaan lopputulokseen. Turvallisuuden kehittämiseksi on tarvetta molemmilla osa-alueilla.

2.2 Työn sisältö ja rajaus

Letkurikkotilanteessa todennäköisimmät vaaraa aiheuttavat tilanteet ovat laitteen tulipa-lo ja pinhole-vuodon aiheuttama vaara laitteen operaattorille. Letkurikko voi aiheuttaa myös ympäristövahingon. Tämä työ kohdistuu henkilövahingollisesti merkittävimpiin vaaratilanteisiin ja ympäristövahingot jätetään siten vähemmälle huomiolle.

Tässä työssä tarkastellaan poravaunujen moottoritilassa olevia hydraulikkapiirien letku-tuksia. Tarkastelun piiriin kuuluvat osat laitteesta ovat; hydrauliletkut, nipat, laippalii-tokset ja läpiviennit sekä muut näistä johdannaisina esille tulevat osat ja asiat.

Työssä käsiteltävät asiat kohdentuvat ensisijaisesti Constructionin laiteperheisiin. Tuo-tettavat parannus- ja kehitysehdotukset soveltuvat käytettäväksi myös muissa laiteper-heissä ja hydraulikkajärjestelmiä sisältävissä työkoneissa.

Työtä varten on kerätty näkemyksiä, kokemuksia, mielipiteitä ja faktoja useilta eri osastoilta. Tietoja on saatu suunnittelusta, tuotepäällystöstä, kotimaan huollosta, poramestareilta ja tuoteturvallisuusosastolta.

2.3 Työn tulokset

Työn tavoitteena on tuottaa kehitysehdotuksia nykylaitteisiin ja uusia toimintataparatkaisuehdotuksia uusiin laitteisiin. Tavoitteena on myös tuotteistaa jokin kehitysehdotus prototyyppiasteelle. Nykyisin tuotannossa oleviin laitteisiin ei voida tehdä suuria muutoksia, vaan kehityskohteet valikoituvat jälkiasenteisiksi täsmäsuojaustoimenpiteiksi. Kehitteillä olevissa laitteissa turvallisuustekijöihin voidaan vaikuttaa jo laitteen suunnitteluvaiheessa, jolloin toimenpiteet voivat olla suurempia periaateratkaisuja.

Kehitysehdotusten tavoitteena on tukea ja ohjeistaa turvallisuutta parantavien tekijöiden valinnassa. Kehitysehdotusten lopullinen tuotteistaminen vaatii jokaiseen laitetyyppiin spesifioitua lisäselvitystä ja -tutkimusta.

3 STANDARDIT JA OHJEET

Standardisoinnilla pyritään yhtenäistämään toimintatapoja. Yhtenäistäminen luo tuotteille yhteensopivuutta ja turvallisuutta sekä parantaa kuluttajansuojaa ja helpottaa kaupankäyntiä. Tuotteita voidaan valmistaa myös ilman standardeja, koska standardien käyttäminen on vapaaehtoista. Ilman standardien käyttöä valmistajan täytyy osoittaa direktiivien vaatimustenmukaisuus muulla tavoin. Säädöksissä voidaan kuitenkin viitata lukuisiin yksittäisiin standardeihin, jolloin standardeista voidaan tehdä pakollisia. (SFS 2012.)

3.1 Turvallisuusstandardit ja -ohjeet

Työn pohjana on käytetty hydrauliiikan ja koneturvallisuuden standardeja. Standardien lisäksi aineistona on ollut MDG -ohjeita. Standardit ja ohjeet on esitetty taulukossa 1. Standardit ja ohjeet jakautuivat kahteen pääkategoriaan, poraus- ja kaivoslaitteille suunnattuihin standardeihin ja ohjeisiin sekä koneturvallisuuden suojaus- ja palontorjunta-standardeihin.

TAULUKKO 1. Työhön liittyviä standardeja ja ohjeita

Standardi/ohje	Sisältö
SFS-EN 791 + A1	Drill rigs. Safety
EN 16228	Drill rigs. Safety 2013 (draft)
MDG 15	Ohje siirrettäville- ja mobiililaitteille kaivoskäytössä
MDG 41 + (AS 2671)	Ohje hydrauliiikkajärjestelmien turvallisuuteen kaivoksissa
SFS-EN 13478 + A1	Koneturvallisuus. Palontorjunta ja palosuojelu
SFS-EN ISO 4413	Hydrauliikka. Yleiset säännöt ja turvallisuusvaatimukset järjestelmille ja sen komponenteille
SFS-EN 953 + A1	Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet
ISO 19353:2005	Koneturvallisuus. Palontorjunta ja palosuojaus
SFS-EN ISO 3457	Maansiirtokoneet. Suojukset. Määritelmät ja vaatimukset

3.2 Standardeista tulevat vaatimukset

Säädöksen vaatimina standardit velvoittavat koneiden valmistajia tekemään laitteistaan turvallisia. Yleisimpiä vaaratilanteita ehkäiseviä toimenpiteitä on esitetty useissa standardeissa, vaikka standardit kohdistuvat eri osa-alueisiin. Tällä standardirajat ylittävällä järjestelmällä parannetaan tärkeimpien kohtien huomioimista. Standardien vaatimukset ovat usein yleisellä tasolla esitettyjä ohjeistuksia. Esimerkiksi suojauksen ollessa mahdotonta, laitteen käyttäjää pitää informoida jäljelle jääneestä vaarasta. Vastavuoroisesti standardi voi ottaa kantaa yksittäiseen spesifiin ominaisuuteen, esimerkiksi vaatimalla hydrauliletkulta tietyn luokan palonkestävyyttä.

Työn kannalta tärkeimpiä standardeja ovat Drill rigs safety nykyisin voimassa oleva versio ja 2013 käyttöön otettava Drill rigs safety uudistettu versio. Lisäksi Australian ohjeet MDG 41 ja MDG 15 on otettava huomioon niiden vaikutusalueilla.

3.3 Yhteenveto standardeista ja ohjeista

Hydrauliletkuihin liittyviä samoja vaatimuksia on kirjattuna eri standardeissa. Poralaitteiden oma standardi Drill Rigs Safety ja sen 2013 voimaan tuleva uudistettu versio sisältävät vaatimuksia, jotka velvoittavat puuttumaan tiedostettuihin riskeihin. Liitteessä 1 on esitetty tiivistetty yhteenveto työhön liittyvien MDG -ohjeiden sisällöstä. Keskeisimpinä yhtenevinä asioina standardeista ja ohjeista nostettakoon esille letkujen asennuksiin liittyvät vaatimukset, kuten terävät reunat, reititykset ja kuumat pinnat. Liitteen 1 yhteenvedossa on korostettu keltaisella värillä ohjeiden tärkeimpiä kohtia.

4 RISKIANALYYSI

4.1 Teoria

Riskianalyysimalleja ja -muotoja on tarjolla runsaasti. Yleisesti analyysin sisältö on kuitenkin hyvin pitkälle samankaltainen ja analyysiin sisältyy seuraavanlaisia osakokonaisuuksia:

1. Tiedostaminen
2. Analysointi
3. Arviointi
4. Päätökset
5. Toimenpiteet
6. Palaute.

Riskianalyysin kulku on edellä mainitun listauksen mukainen. Analyysin kannalta merkittävintä on olemassa olevien riskien tiedostaminen. Riskien arvioinnissa käytetään yleisesti riskimatriisia, josta poimitaan riskeille numeeriset kertoimet. Kertoimet muodostavat riskeille riskitason. Taulukossa 2 on esitetty esimerkkiversio eräästä riskimatriisista. Riskimatriisin akseleilla ovat riskien esiintymistäajuudet ja seurauksien vakavuudet. Riskitasojen erottelussa voidaan hyödyntää taulukon 3 mukaista värikoodausta.

TAULUKKO 2. Riskimatriisi (muokattu)

Likelihood scale	Consequence scale				
	A	B	C	D	E
A	High AA	High AB	Critical AC	Critical AD	Critical AE
B	Medium BA	High BB	High BC	Critical BD	Critical BE
C	Low CA	Medium CB	High CC	Critical CD	Critical CE
D	Low DA	Low DB	Medium DC	High DD	Critical DE
E	Low EA	Low EB	Medium EC	High ED	High EE

TAULUKKO 3. Riskitasojen erottelua helpottava värikoodaus

Risk level
Low
Medium
High
Critical

Riskianalyysijä voidaan toteuttaa monen erilaisen mallin avulla riippuen käsiteltävän aihealueen laajuudesta ja tarkoitusperästä. Eri alojen välillä vallitsee myös erilaisia käytäntöjä. Riskianalyysitavat pohjautuvat alojen standardeihin ja yritysten omiin käytäntöihin. Esimerkkeinä mainittakoon, että teollisuudessa riskinarviointia määrittelee ISO 14121:2007 Koneturvallisuus -standardi ja kaivosteollisuudessa MDG 1010 -ohje.

4.2 Riskianalyysin valinta

Tässä työssä riskianalyysin toteuttamistavan valintaan oli kiinnitettävä erityistä huomiota, koska analyysin kohde oli tiukasti rajattu letkurikkoihin. Tiukan rajauksen vuoksi kokonaisuudelle laitteelle tehdyn Sandvik Baseline Risk Assessment -pohjan käyttäminen olisi ollut liian hankalaa. Sopivimmaksi analyysimuodoksi valikoitui potentiaalisten ongelmien analyysi (POA).

4.3 Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) riskianalyysinä

Menetelmässä voidaan tutkia yksittäisiä tarkasti määriteltyjä vaaroja ja vaaratilanteita. Analyysissä on mahdollista tunnistaa paljon eritasoisia vaaroja rajaamatta mitään tekijää etukäteen analyysin ulkopuolelle. Analyysi sopii parhaiten yksittäisiin järjestelmän osakokonaisuuksiin. Tällä analyysimuodolla laajojen kokonaisuuksien arviointia ei voida tehdä riittävän järjestelmällisesti. (VTT 2012.)

Riskianalyysin tekemistä varten koottiin asiantuntijaryhmä, joka muodostui suunnittelun, tuotepäällystön, huollon ja turvallisuusosaston henkilöistä sekä poramestareista. Ryhmä kokoontui kolmesti kaksi tuntia kerrallaan. Riskianalyysin tekeminen on keskittymistä ja huolellisuutta vaativaa työtä, joten istuntojen pituudet täytyi pitää kohtuullisina. Riittävän lyhyet istunnot takaavat tehokkaan ja tuottavan lopputuloksen. Analyysikertojen jakaantuminen mahdollistaa myös sisällön jalostumisen ja monipuolistumisen istuntokertojen välillä.

4.4 Riskianalyysin tulos

Liitteessä 2 on esitetty esimerkki riskianalyysin alkuvaiheesta. Riskianalyysiä täydennetään asiantuntijaryhmän ja ennakkotietojen perusteella. Vaaratilanteiden listaamisen jälkeen viimeisessä vaiheessa riskit arvioidaan ja näin saadaan muodostettua riskitasot. Riskianalyysin aikana kirjataan ylös sekä nykyisiä että mahdollisesti tulevia varautumistapoja.

Riskianalyysissä on analysoitu henkilövahinkoihin johtavia vaaratilanteita. Useimmissa kohdissa laitevahingot ovat henkilövahinkoja todennäköisempiä seurauksia vaaratilanteista. Henkilövahinkojen minimointi on kuitenkin aina merkityksellisempää laitevahinkoihin verrattuna. Riskianalyysissä huomioitiin osittain myös ympäristövahinkoja, mutta tämän työn tarkoitus on kehittää turvallisuutta operaattorin ja laitteen näkökulmasta, joten ympäristövahingot sivuutetaan tarkemmalta tarkastelulta. Ympäristövahinkoja ei voida kuitenkaan vähätellä missään muodossa. Esimerkiksi tarvekivikaivoksilla öljyvuo-dot otetaan erityisen vakavasti. Vuotanut öljy pilaa louhokset. Taloudelliset menetykset ja ympäristövahingot ovat merkittäviä.

Taulukko 4 on esimerkki riskianalyysistä. Riskianalyysiin kirjataan vaaratilanteet, tilanteiden syyt ja riskimatriisien avulla saadaan määritettyä yksilölliset riskitasot (RL).

TAULUKKO 4. Esimerkki riskianalyysistä

Vaaratilanne	Tilanteen syy	Vaara	RL
Letkurikko ja hydraulinestevuoto	Liitinvauriot	Tulipalon vaara + Kemialliset vaarat ja savu	x
Letkurikko ja hydraulinestevuoto	Suunnittelu- tai asennusvirhe	Tulipalon vaara + Kemialliset vaarat ja savu	x
Letkurikko ja hydraulinestevuoto	Letkun hankautuminen	Tulipalon vaara + Kemialliset vaarat ja savu	x

Riskianalyysiin kirjattuihin riskeihin tulee puuttua. Monet riskianalyysissä esiintyvät vaaratekijöiden syyt ovat toisiaan tukevia ja niiden yhteisvaikutus nostaa riskitasoa merkittävästi. Analyysissä esille tulleita asioita käytetään pohja-aineistona parannusehdotuksissa.

5 RAKENTEELLISET RISKITEKIJÄT

5.1 Tulipalo

Tulipalon syttyminen edellyttää kolmea osatekijää:

1. lämpöä
2. palavaa ainetta
3. happea.

Tulipalon jatkuminen vaatii kuitenkin vielä jatkuvan ketjureaktion, jossa kolme edellä mainittua osatekijää yhdistyvät sopivassa suhteessa. Poravaunun moottoritilaa ajateltaessa kaikki palamiseen tarvittavat tekijät ovat olemassa. Tulipalot ovat verrattain harvinaisia, mutta läheltä piti -tilanteita on tapahtunut runsaasti.

Moottori tuottaa lämpöä, jonka vaikutusta kuuma ulkoilma korostaa. Poravaunussa on huomattava määrä palokuormaa. Suuri palokuorman määrä koostuu nesteistä, letkuista ja sähkökomponenteista. Lisäksi jäädytyksen ilmankierron suunta ulkoa sisäänpäin on nykyisellään tulipalon syttymiselle ja eritoten kehittymiselle erittäin otollinen. Kuvasta 2 on havaittavissa kuinka voimakkaasti teräsrakenteinen poravaunu voi palaa.



KUVA 2. Palava DX (Sandvik 2012a)

5.2 Pinhole-vuoto

Pinhole-vuoto hydrauliletkussa on operaattorin kannalta vaarallisin vuotomuoto. Pienestä neulanreiästä suurella paineella vuotava neste vastaa ihon läpäisykyvyltään vähintään terävää neulaa (kuva 3). Vuodon läpäisykyky ja vaarallisuus laskee etäisyyden kasvaessa. Hienojakoinen öljysumu on erittäin herkästi syttyvää esimerkiksi kuumalle pinnalle päästyään, joten pinhole-vuoto aiheuttaa myös merkittävän tulipalon vaaran.



KUVA 3. Pinhole-vuoto letkussa (Hoseandfittingsetc 2012)

Hydrauliletku on valmistettu kestämään suuria sisäisiä voimia. Kuvassa 4 on esitettyä yksinkertaisen 1-teräskudosletkun rakenne. Letku koostuu synteettisestä hydraulikkaöljyjä kestävästä sisäkumipinnasta, teräsvahvistekudoksesta ja sään sekä kulutuksen kestävästä ulkokumipinnasta.

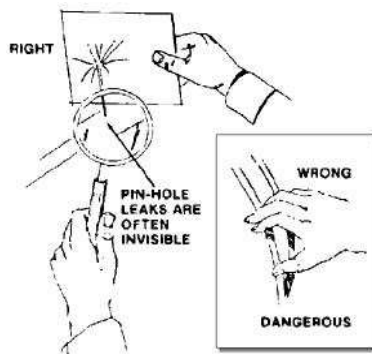


KUVA 4. 1-teräskudosletkun rakenne (PMC Polarteknik Oy 2012)

Letkua taivutettaessa ja rasitettaessa punokseen muodostuu rakomaisia muodonmuutoksia. Mikäli sisäletkun materiaali ei ole riittävän vahvaa, neste tunkeutuu punoksen muodonmuutoskohdista sisäletkun lävitse teräspunokseen. Punokseen päästyään neste leikkaa ulkokuoreen reiän aiheuttaen vaarallisen pinhole-vuodon. (Machine Design 2012.)

Vuotojen syyksi esitetään usein letkujen valmistusprosessissa tapahtunutta virhettä. Tätä tulkintaa tukevat käytännön kokemukset, joiden perusteella pinhole-vuotoja esiintyy usein saman sarjan letkuissa. Yleensä vuodot ilmestyvät hyvin pian letkun käyttöönotosta ja siten valmistusvika on todennäköisin syy vuodon syntymiselle. Vuotojen syntymisen syistä on saatavilla vain vähän kirjallista materiaalia. Aiheesta ei ole myöskään tehty väitöstutkimuksia. Viitteitä letkuvalmistajilla olevaan tietoon on tullut eri lähteistä, mutta letkunvalmistajat eivät halua jakaa tietoaan yleiseen käyttöön. Talvivaaran kaivoksella on tehty huomioita kylmyyden vaikutuksesta pinhole-vuotojen syntymiseen. Kylmässä ilmassa taivuteltaviin letkuihin syntyy pinhole-vuotoja taivutetun kohdan ulkopintaan. Esimerkki on moottoritilan ulkopuolelta, mutta on huomion arvoinen pinhole-vuotovaaroja pienennettäessä.

Pinhole-vuodot ovat tyypiltään joko selvästi erottuvia tai vaikeasti havaittavia. Monet pinhole-vuodoista johtuneet ihon läpäisyvammat ovat syntyneet huonosti näkyvien vuotojen etsintätilanteissa. Vuodosta on tullut viitteitä esimerkiksi märistä letkuista, jolloin vuotoa on lähdetty paikallistamaan tunnustelemalla käsin letkun pintaa. Tavalliset työhanskat eivät suojaa vuodolta. Vuotoa ei saa etsiä käsin, vaan siihen on käytettävä sopivia apuvälineitä (kuva 5).



KUVA 5. Pinhole-vuodon etsintä (Nasdonline 2012)

Valitettavan usein vuotokohta löytyy käsin tunnustelemalla ja silloin läpäisyvahinko on päässyt jo syntymään. Vuodon osuessa ihoon, ihminen ei yleensä tunne muuta oiretta kuin pienen pistoksen iholla. Varsinaiset oireet, vauriokohdan tykytys ja voimakas kipu, alkavat vasta useiden tuntien jälkeen. (Service in action 5.017 1992.) Lääkäriin tulee mennä välittömästi vahingon sattumisen jälkeen, eikä odottaa varsinaisten oireiden alkamista. Hydraulinesteen päästyä kudoksiin hoitokeinona on valitettavan usein jäljellä vain sormen tai raajan amputoiminen.

5.3 Turboahdin

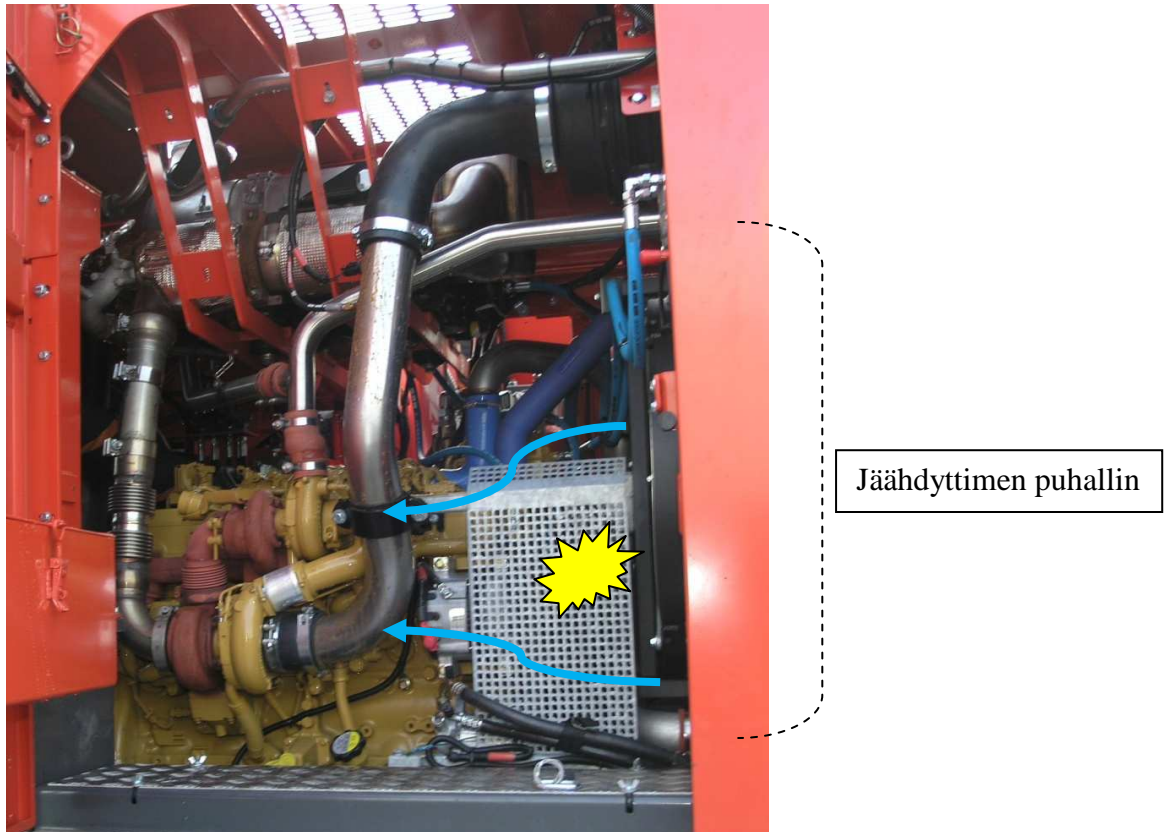
Poravaunujen ylivoimaisesti kuumin pinta on moottorin turboahdin. Nykymoottoreissa saattaa olla useampia turboahtimia, jotka sijaitsevat yleensä lähellä toisiaan. Kuumia pintoja löytyy myös pakoputkistosta ja erityisesti uusissa Tier 4 -moottoreissa päästöjä pienentävästä pakokaasujen jälkipolttolaitteistosta.

5.4 Jäähdytys ja ilmankierto

Poravaunujen jäähdytys on suunniteltu niin, että ilmankierron suunta on ulkoa sisälle päin. Ratkaisu on hydraulioöljyvuootojen suhteen vaarallinen, sillä rikkoutuneesta letkusta mahdollisesti suihkuavalla öljysumulla on suuri riski joutua jäähdyttimien luoman ilma-
virran mukana moottoritilan kuumille pinnoille. Tehtaalla käytettävien ensiasennushydrauliöljyjen leimahduspisteet ovat 220-225 °C. DTH -laitteissa käytetään hydraulioöljyä ja TH -laitteissa moottoriöljyä.

5.5 Poralaitteen moottoritilan layout

Poravaunujen letkutuksiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Letkut reititetään asentajien kokemusten ja mielipiteiden mukaan. Tästä syystä letkutukset saattavat olla erilailta toteutettuja eri laitteiden välillä, vaikka käytössä ovat samat osat. Nykyinen letkujen reititys vaatii kehitystoimenpiteitä, sillä osa letkuista risteilee vaarallisen lähellä kuumia pintoja. Jotkut letkut ovat myös suoraan jäähdyttimen puhaltimen ja kuuman turbon välissä (kuva 6).



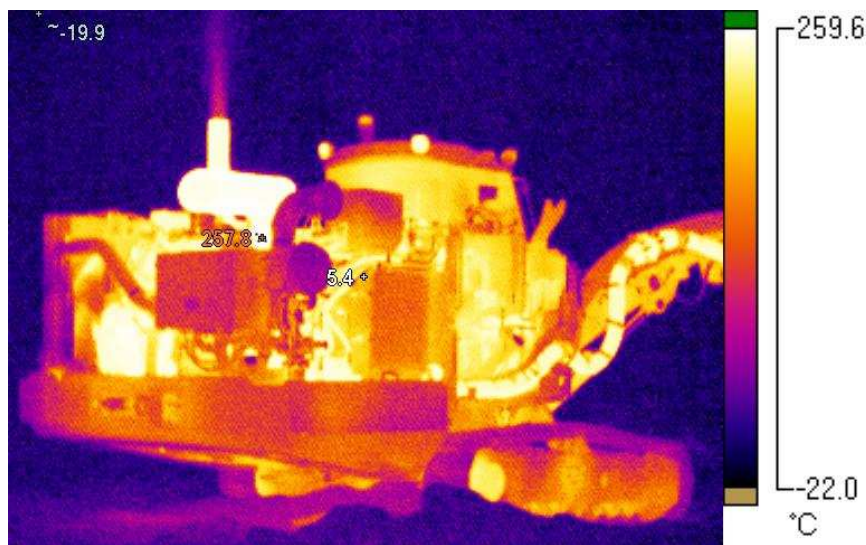
KUVA 6. DX:n jäähdytinkiirin rikkoutuessa öljysumun kulkeutuu kuumille pinnoille

5.6 Kuumat pinnat

Poravaunut sisältävät runsaasti kuumia pintoja. Kuumimmat pinnat ovat aikaisemmin todetut turboahdin, pakoputkisto ja Tier 4 -laitteissa pakokaasujen jälkipolttolaitteisto. DPi 1500 Tier 3 -laitteesta mitattiin lämpökameran avulla koeporaustilanteessa kuumien pintojen lämpötiloja. Mittauksen aikana ulkolämpötila oli $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja mittalaitteena käytettiin Fluken Ti32 lämpökameraa.

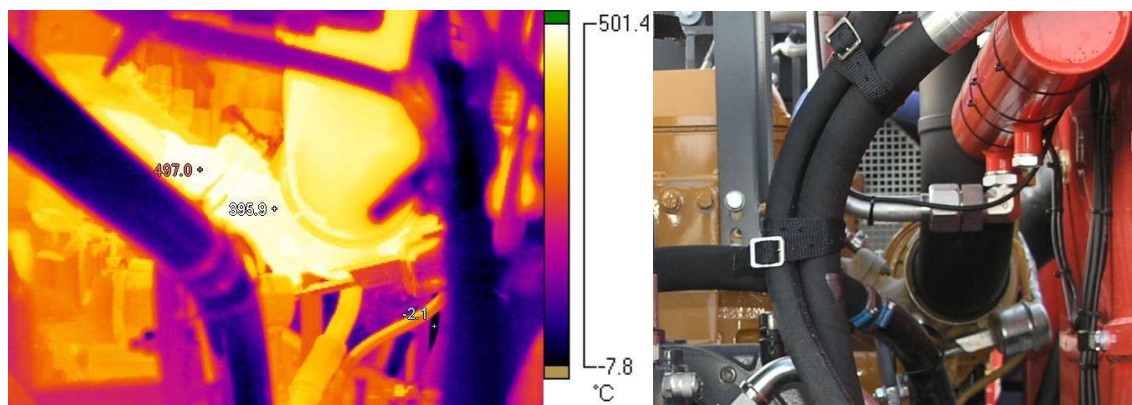
Lämpökameran kuvissa näkyy kolme lämpötila-arvoa, kuva-alueen suurin ja pienin lämpötila sekä kuva-alueen keskikohdan lämpötila. Lämpötila-arvoista luotettavin on kuumin lämpötila, koska kylmempien pintojen lämpötiloihin vääristymiä aiheuttavat erilaiset ilman lämpövirtaukset. Kuvia tulkittaessa lämpötilajakaumaa tarvitsee tulkita tarkoin vertaamalla kuvan väriä lämpötilajakauma-asteikon väriin. Muutoin etenkin lämpötila-asteikon minimissä saattaa tulla tulkintavirhe. Kuvassa 7 on esitettyä laitteen lämpökamerakuva, jossa pakoputki ja moottorin lohkon reuna näkyvät selvimmin kuvakulman kuumimpina pintoina.

Mitatut lämpötilat ovat suuntaa antavia tuloksia lyhyeltä mittausjaksolta. Mittaukset tehtiin porauksen aikana. Porausjaksot olivat lyhyitä, kestoltaan noin 10 minuuttia kerrallaan. Mittaustulosten perusteella voidaan päätellä, että kuumissa olosuhteissa laitetta pitkään yhtäjaksoisesti käyttämällä varsinkin moottoria ja pakoputkea ympäröivien osien lämpötilat nousevat vielä tuntuvasti. Mitatussa laitteessa ei ollut asennettuna lainkaan katteita. Lämpimissä olosuhteissa katteiden lämpökuormaa lisäävä vaikutus on huomattava.



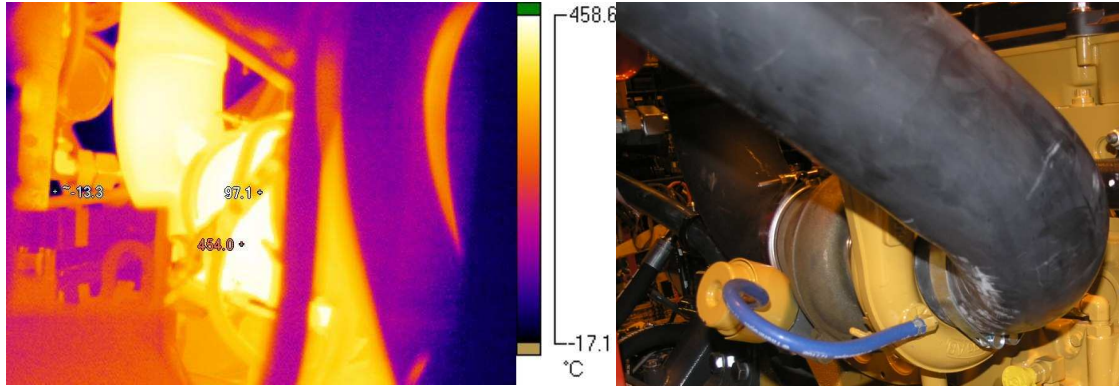
KUVA 7. DPi 1500 Tier 3 -laitteen lämpökuvaa koeporauksessa

Kuvissa 8 ja 9 tarkastellaan lähemmin turbon lämpötilaa laitteen molemmilta puolilta mitattuina. Molemmissa kuvissa erottuu selkeästi, kuinka paljon kuumempia pakosarjan ja turbon pinnat ovat muihin komponentteihin verrattuna. Kuvassa 8 pakosarjan pinnalla lämpötila on 497 °C.



KUVA 8. Turboahdin ja pakoputken alkukäyrä kuvattuna laitteen oikealta sivulta

Kuvassa 9 on turbon pintalämpötila hieman alhaisempi 454 °C. Lämpötilojen erot johdetaan lyhyistä koeporausjaksoista. Pidemmässä porausjaksoissa lämpötilaerot tasoittuvat ja kokonaislämpökuorma kasvaa.



KUVA 9. Turboahdin kuvattuna laitteen vasemmalta sivulta

Huomionarvoista on, kuinka paljon laitteista löytyy ensiasennusöljyt sytyttäviä kuumia pintoja. Ensiasennusöljyt syttyvät 220 °C:ssa, tähän lämpötilaan yltäviä lämpötiloja on varsinkin pidemmän yhtäjaksoisen käytön myötä laitteessa runsaasti. Mikäli hydraulineestettä vuotaa suuria määriä yhteen pisteeseen kuumalle pinnalle, neste jäähdyyttää pintaa ja paloriski on pienempi. Nesteen kulkeutuminen kuumille pinnoille sumuna tai pisaroina aiheuttaa todellisen tulipalovaaran.

6 KEHITYSEHDOTUKSIA

6.1 Moottorin kotelointi

Moottorin koteloimisella poistettaisiin suurin riskitekijä tulipalojen syttymiselle. Tällöin turboahdin olisi suojattuna ja samalla saataisiin moottorista lähtevän melun määrää olennaisesti pienennettyä. Moottorin koteloinnissa erityistä huomiota on kiinnitettävä jäähdytyksen riittävyteen. Moottorin koteloinnissa voitaisiin hyödyntää luonnollisen ilmankierron periaatetta. Kotelo rakennettaisiin niin, että pakoputken ympärille jätettäisiin ilmatilaa, jota pitkin ilmavirta nousee ylöspäin. Korvausilma tulisi koteloinnin pohjalta. Tällainen järjestely saattaisi riittää ilmankierron osalta, toki moottorin jäähdytyskyky muuten vaatii perusteellisemman selvityksen. Materiaalina voisi käyttää tavallisen peltisen koteloinnin ohella myös komposiittimateriaaleja. Komposiittimateriaalien pintalämpötilat eivät kohoa yhtä suuriksi kuin peltikoteloilla, mutta lämmönsiirrolta vaaditaan tällöin enemmän.

6.2 Osastointi

Palo-osastoinnilla on merkittävä vaikutus paloturvallisuuteen. Osastoinnilla pyritään rajaamaan tulipalo vähintään joksikin tiettyksi ajanjaksoksi tiettyyn paikkaan. Näin säästetään koko laitteen tuhoutumiselta ja vahingot rajoittuvat tietylle alueelle. Osastointi liittyy merkittävästi poravaunujen layout-suunnitteluun ja siksi osastoinnin kehittäminen on ensisijaisesti otettava huomioon uusia laitteita suunniteltaessa. Osastoinnissa tulisi vähintäänkin erottaa seuraavat osakokonaisuudet:

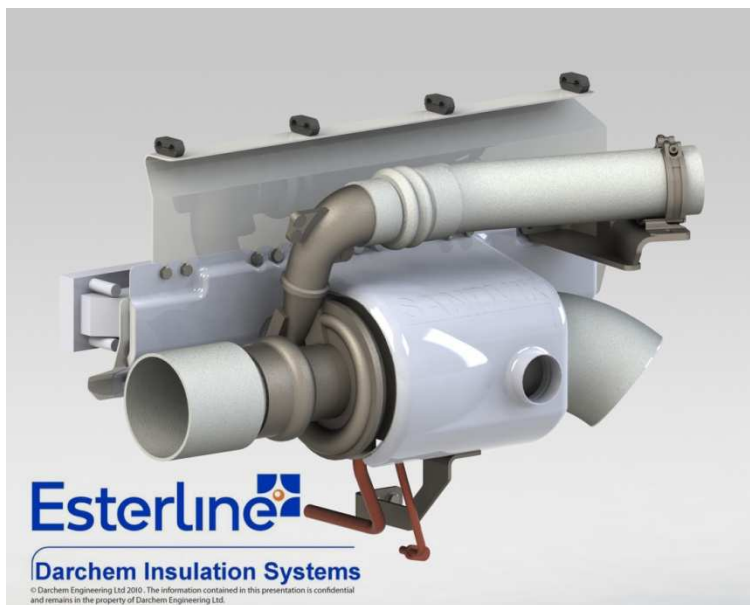
1. Voimayksikkö; moottori, kompressori ja hydrauliiikkakomponentit
2. Kuumat pinnat; pakoputket ja pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteistot
3. Hydraulinestesäiliö ja muut voiteluainesaaliöt
4. Letkutukset.

6.3 Turbon suojaus

Poravaunuissa käytetään Caterpillarin ja Volvon moottoreita. Caterpillar on kieltänyt turbojensa koteloinnin. Kuten aikaisemminkin on todettu, kuumin pinta laitteessa on turboahdin. Mikäli turbon saa eristettyä siten, ettei hydraulinesuesuihku pääse sen kanssa kosketuksiin, on laitteen tulipaloriski pudonnut lähes minimaaliselle tasolle.

Sandvikin Turun toimipisteessä on ollut aikaisemmin käytössä lasikuitupohjaisia moottorin valmistajalta saatuja turbon ja pakosarjan suojuksia, mutta nykyisin niistä ollaan luopumassa. Syynä luopumiseen on suojusten aiheuttama turbon ja pakosarjan käyttöään selvä lyhentyminen. (Sandvik Turku. 2012.)

Nykyisin Sandvikin Turun tehtaalla on käytössä peltisiä säteily- ja kosketussuojuksia. Näissä säteilysuojuksissa on otettu huomioon ilmankierron riittävyys yhdistämällä kotelointi letkulla jäähdytinpiiriin imupuolelle. Parhaillaan Turun tehtaalla on menossa kehitystyö yhteistyössä Darchem Insulation Systemsin kanssa muovista valmistetuista turbon suojuksista (kuva 10). Muovipohjaisen suojuksen etuna on paloturvallisuuden kannalta matalampi pintalämpötila kuin peltisellä säteilysuojuksella. (Sandvik Turku. 2012.)



KUVA 10. Muovinen turbon suojuks (Darchem Insulation Systems 2012)

6.4 Letkutukset

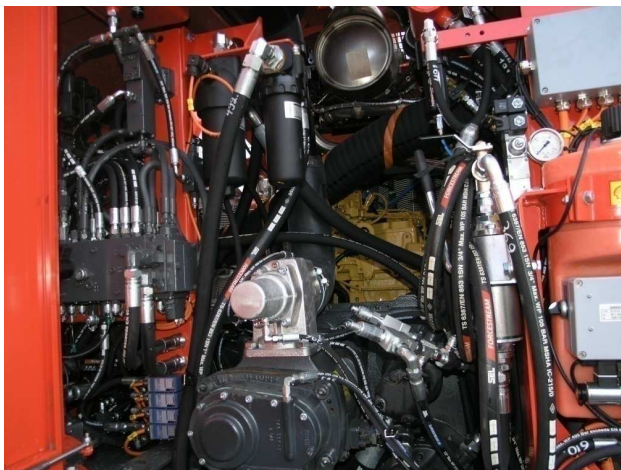
Letkutuksien turvallisuutta voidaan kehittää monella tavalla. Uusissa laitteissa voidaan keskittyä olennaisten riskitekijöiden poistamiseen ja olemassa olevissa laitteissa parannetaan turvallisuutta ehkäisemällä riskeistä aiheutuvia seurauksia.

Letkukokoonpanot toimitetaan Sandvikin Myllypuron tehtaalle pääasiassa PMC Polarteknik Oy:ltä. Mikäli letkuihin tullaan lisäämään esimerkiksi suojasukkaa, oletuksena on, että suojukset hankittaisiin PMC Polarteknik Oy:n kautta valmiiksi asennettuina.

6.4.1 Letkujen kotelointi

Letkujen turvallisuusnäkökohtainen kotelointi vaatii laitteelta onnistuneen layoutin. Letkujen kotelointi voitaisiin teoriatasolla hoitaa kahdella eri tavalla. Ensimmäinen vaihtoehto kohdentuu uusiin laitteisiin. Laitteen alusta ja runko olisi suunniteltava siten, että letkut voitaisiin vetää omia kanaviaan pitkin. Näin letkujen olisi mahdollista kulkea paikoin esimerkiksi rungon sisällä suojassa. Letkujen vetäminen laitteen rungon sisällä aiheuttaisi todennäköisesti ongelmia letkujen vaihtamisen yhteydessä, mutta tulipalon riski ja pinhole-vuodon aiheuttamat vaarat operaattorille pienentyisivät huomattavasti.

Toinen mahdollinen kotelointitapa olisi nykymallisen layoutin käyttäminen sellaisenaan ja koteloinnin rakentaminen olemassa olevien letkureititysten mukaisesti. Nykyisellä layoutilla tämä tarkoittaa sitä, että koteloinnin sisään tulisi myös muita komponentteja, koska letkut eivät kulje yhtenäisinä nippuina kaikissa laitteissa (kuva 11).



KUVA 11. DX:n letkujen reitityksiä

6.4.2 Suojasukat

Yksittäisille hydrauliletkuille on saatavana kaupallisia suojuksia useilta eri valmistajilta. Suojuksia on kehitetty moniin erilaisiin tarpeisiin. Yksinkertaisimmat suojuukset suojaavat vain yhdeltä uhalta, toimien esimerkiksi hankaussuojana. Monipuolisemmat suojuukset tarjoavat suojaa yhtä aikaa useille eri vaaratekijöille kuten hankaukselle, kuumuudelle, letkun räjähtämiselle ja pinhole-vuodoille (kuva 12).



KUVA 12. Suojasukka asennettuna letkun päälle (Safeplast Oy 2012)

Safeplast Oy myy Safe-Sleeve suojasukkaa, joka tarjoaa letkulle suojaa pinhole-vuotoja varten. Suojasukka suojaa letkua myös hankaukselta, suositeltu käyttölämpötila on -40 °C – 120 °C (Safeplast Oy 2012). PMC Polarteknik Oy:ltä saatiin kustannusarvio kahden yleisimpään letkutyyppiin ja kokoon, joita moottorilassa käytetään. Suojasukan tuoma nettointainen lisäkustannus näkyy prosentteina taulukoissa 5 ja 6. Suojasukkaa on saatavana myös MSHA -hyväksyttynä. Useimmiten suojasukka on valmistettu tiukasti punotusta tekstiilikankaasta.

TAULUKKO 5. Suojauksen vaikutus letkuasetelman hintaan, 1/2” letku

Osa	Määrä (kpl)	Malli (koodi)	Pituus (mm)	á-hinta (€)	Suojaus (€)	Netto (€)
Letkuasetelma 1/2”	1	2SC08MS-AA	2000			
Suojaus:						
Suojasukka	1	SL-RD-27	1950			
Holkki	2	ALU035				
Asennustyö	1					
Yhteensä						+70%

Taulukossa 6 on esitetty vastaava suojasukan tuoma lisäkustannus kuin taululukossa 5, mutta letkukokona on käytetty 1” letkua.

TAULUKKO 6. Suojauksen vaikutus letkuasetelman hintaan, 1” letku

Osa	Määrä (kpl)	Malli (koodi)	Pituus (mm)	á-hinta (€)	Suojaus (€)	Netto (€)
1” S60109469						
Letkuasetelma 1”	1	2SC16MS-AA	2000			
Suojaus:						
Suojausukka	1	SL-RD-36	1950			
Holkki	2	ALU045				
Asennustyö	1					
Yhteensä						+40%

6.4.3 Suojakangas

Suojakangas on periaatteeltaan vastaavanlainen kuin suojasukka. Suojakankaalla saadaan suojattua suurempi määrä letkuja yhdellä kertaa kuin suojasukalla. Safeplast Oy:n suojakangasta markkinoidaan Safe-Wrap nimellä (kuva 13). Suojakangas on tarrakiinnitteinen ja siten sen käytettävyys on sekä huoltoja että letkujen vaihtoa ajatellen selvästi parempi kuin kiinteästi asennettujen suojasukkien. Suojakangas voidaan asentaa myös letkuliitosten päälle, jolloin suojaa saadaan mahdollisilta liitinvaurioilta. Safe-Wrap suojakangasta on saatavana 40 - 120 mm sisähalkaisijaltaan oleville letkunipuille. Suojakankaat valmistetaan asiakkaiden tarpeiden mukaisesti määrämittaan. (Safeplast Oy 2012.)



KUVA 13. Irrotettava suojakangas letkunipuille (Safeplast Oy 2012)

Suojakankaiden halkaisijavaihtoehdot on esitetty taulukossa 7. Suojakankaan käyttö on edullisempaa kuin kiinteästi asennetun suojasukan. Kustannus suojaletkua kohden pienenee, mikäli saman suojaletkukan sisään saadaan laitettua useampi letku. Hyödyn maksimoimiseksi letkujen täytyy kulkea mahdollisimman yhtenäisinä nippuina.

TAULUKKO 7. Safe-Wrap halkaisijavaihtoehdot

Malli	Halkaisija (mm)
Safe wrap WR-RD	40
Safe wrap WR-RD	60
Safe wrap WR-RD	80
Safe wrap WR-RD	100
Safe wrap WR-RD	120

6.5 Layout-muutokset

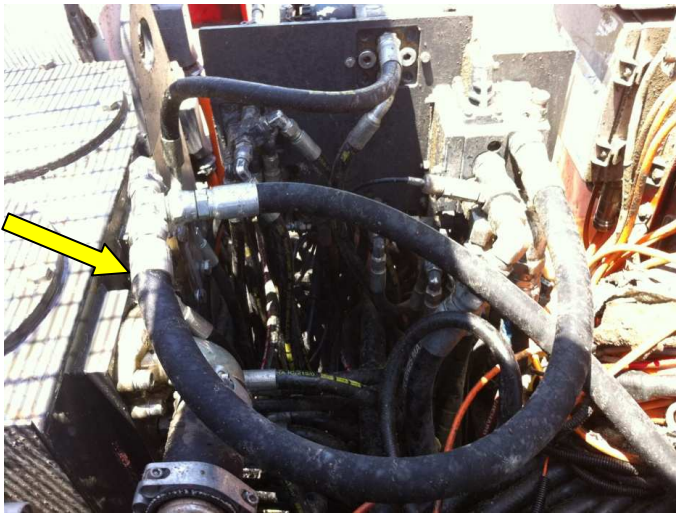
Kuten jo aikaisemminkin on todettu, suuret layout-muutokset ovat mahdollisia vain tulevaisuudessa uusissa laitteissa. Onnistunut layout-suunnittelu kuitenkin edesauttaa monella tavoin. On kuitenkin huomioitava, että layoutiin vaikuttavat oleellisesti myös muut rajoitteet. Tällaisia rajoitteita ovat esimerkiksi toiset komponentit sekä kuljetus- ja käyttöolosuhteet. Lopulta laitteen layout on kompromissi kaikkien osatekijöiden kesken. Layoutin merkitystä ei voi kuitenkaan korostaa liikaa, sillä sen avulla vaikutetaan suoraan turvallisuuteen, huollettavuuteen ja käytettävyyteen.

6.5.1 Letkutuksien suunnittelu ja reititys

Poravaunujen kokoonpanolinjalla letkujen reitityksestä päättää kulloinkin työtä suorittava asentaja. Nykyinen käytäntö mahdollistaa letkujen reititykseen lukuisia erilaisia tapoja ja linjauksia. Letkutuksien suunnitteluun tulee kiinnittää enemmän huomiota ja yhtenäistää toimintatapoja. Letkujen reitityksessä täytyy huomioida seuraavia tekijöitä:

1. Letkujen taivutussäde
2. Terävät nurkat ja reunat
3. Hankaus pintoihin ja muihin letkuihin
4. Kuumat pinnat
5. Kylmyys.

Hydrauliletkujen pienimmät taivutussäteet on esitetty Sandvikin työohjetietokannassa olevassa ohjeessa (Sandvik Intra 2012b). Letkuvalmistajan pienimpiä sallittuja taivutussäteitä tulee noudattaa. Taivutussäteeseen liittyy olennaisesti myös lyhyehköjen letkujen pituuden huomioiminen jyrkissä taivutuksissa. Kuvassa 14 on esitetty käytännön letkurikkotilanne, jossa letku on rikkoontunut nuolen osoittaman liittimen juuresta. Syynä rikkoontumiseen on ollut joko liian lyhyen letkun asentaminen, jolloin letku on taivutuksella liittimestä alkaen, tai että letkun pienintä taivutussädettä ei ole huomioitu.



KUVA 14. Virheellisestä asennuksesta johtuva letkurikko (Sandvik 2012b)

Letkusuunnittelun puutteista johtuen letkujen asennusvaiheessa ei voida täysin estää letkujen kosketusta teräviin pintoihin, kuten ei myöskään hankaavaa kosketusta. Kuumat pinnat aiheuttavat myös riskin letkun rikkoontumiselle. Tavallisten hydrauliletkujen sallittu lämpötila-alue on $-40\text{ °C} - 100\text{ °C}$. Erikoisletkujen lämpötila-alue on $-55\text{ °C} - 135\text{ °C}$ ja ajoittainen hetkellinen lämpötilankesto $+155\text{ °C}$ asti.

Letkut tulee reitittää riittävän etäälle kuumista pinnoista. Riittävien suojaetäisyyksien dokumentoinnin puutteiden myötä lopullinen tulkinta jää letkutusta tekevän asentajan vastuulle. Kylmyys on hydrauliletkujen kestävyyskannalta riskitekijä ja asettaa letkuille omat vaatimuksensa. Moottoritalassa on suurimman osan laitteen käyttöajasta suhteellisen lämmintä, joten varsinaiseen kylmäsuojaukseen ei tässä kohtaa oteta tarkempaa kantaa. Letkusuunnittelun kehittämisellä yhtenäistettäisiin käytäntöjä, ehkäistäisiin letkutuksiin liittyviä turvallisuusriskejä ja minimoitaisiin vahinkoja.

6.5.2 Staattisesti ja dynaamisesti kuormitettujen letkujen erottelu

Nykyisin laitteissa kulkee samoissa letkunipuissa dynaamisella ja staattisella kuormituksella olevia letkuja. Tämä aiheuttaa letkujen hankautumista toisiaan vasten, mikä ajan kuluessa johtaa letkujen rikkoontumiseen. Dynaamisesti tykyttävä kuormitus tulee porakoneen iskun letkuista. Moottoritilassa tykytys on selvästi vähäisempää kuin porakoneen lähellä puomin letkuissa. Tykyttävän kuormituksen vaikutus on moottoritilassa lähinnä jotakin muuta riskitekijää lisäävä. Tykytys lisää esimerkiksi hankaavan kulutuksen vaikutusta.

Tykyttävää kuormitusta on vaikea poistaa, mutta letkut voidaan jaotella erikseen staattisen ja dynaamisen kuormituksen mukaan. Näin letkujen väliset hankausvauriot vähenevät ja letkujen vaihtaminen on helpompaa. Nykyisin tykyttäviä ja tykyttämättömiä letkuja asennetaan kahdella eri tavalla samaan letkunippuun. Asentajasta riippuen porakoneen iskun letkut laitetaan letkunipussa joko keskelle tai ulkoreunalle. Porakoneen iskun letkujen vaihtoväli on kotimaanhuollon kokemuksen mukaan noin 1,5 vuotta, joten vaihtotyötä ajatellen ulkokehälle asentaminen on nykyisistä vaihtoehtoista parempi. Selkein ratkaisu on erottaa staattisesti ja dynaamisesti kuormittuvat letkut toisistaan. Letkujen riittävästä kiinnittämisestä tulee huolehtia. Dynaamisesti kuormitetut letkut tulee kiinnittää erityisen huolellisesti.

6.5.3 Letkutuksien kehittäminen

Letkutuksia täytyy kehittää yhtenäisempään suuntaan. Huomioitavia asioita ovat:

1. Suunnittelu
2. Irtosuojauskäytäntöjen yhtenäistäminen
3. Läpivientilevyjen käytön lisääminen
4. Teräsputkien käyttäminen
5. Asentajien koulutus ja ohjeistaminen
6. Letkuasetelmien tehokkaampi valvonta
7. Vastuuhenkilöiden nimeäminen
8. Hydrauliletkuasentajakortti.

Letkutuksien suunnittelulla voidaan parantaa huomattavasti hydrauliletkuihin liittyviä turvallisuusriskejä. Asennusperiaatteita tulee yhtenäistää ja kehittää. Suunnittelun avulla voidaan määrittää yhtenäisiä toimintatapoja esimerkiksi irtosuojauksille ja läpivientilevyille. Kuumien pintojen lähellä tulee harkita teräsputkien käyttämistä tavallisten letkujen sijasta. Asentajien kouluttamisella ja paremmalla ohjeistuksella voidaan ehkäistä inhimillisiä riskitekijöitä. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi väärin kiristetyt nipat, asennusvirheet ja liian jyrkät taivutussäteet.

Asentajien koulutuksen lopputuloksena otettaisiin käyttöön Sandvikin sisäinen ns. hydrauliletkuasentajakortti. Korttijärjestelmän ei tarvitse olla konkreettinen mukana kannettava kortti, vaan koulutus ohjaisi asentajia suhtautumaan vastuullisesti hydrauliletkuasennuksiin. Koulutuspakettiin voi yhdistää helppokäyttöisen ohjevihkosen, joka sisältää tärkeimmät huomioitavat kohdat hydrauliletkuja asennettaessa. Letkujen kulmakiristyksestä on tehty ohje, sillä hydrauliletkuja ei voida käytännönsyistä kiristää momenttiavaimilla (Sandvik, K. 2001). Tämäkin ohje sisältyisi asentajien hydrauliletkujen asennusohjeeseen. Nykyisellään asennusvirheet huomataan yleensä laitteen koekäytössä. Asennusvirheiden määrää pudottaisi myös letkuasetelmien tarkempi valvonta ja vastuhenkilöiden nimeäminen.

Kotimaan huollosta on esitetty hydraulijärjestelmien kehittämistä metsäkonetyyppiseksi. Metsäkonetyylisessä toteutuksessa hydrauliletkuja kulkisi moottoritilasta puomille vain kolme kappaletta; paine, paluu ja vuoto. Venttiilipöytä sijoitettaisiin puomin päähän. Ideaa on esitetty aikaisemmin, mutta se on hylätty. Perusteena hylkäykselle on ollut se, etteivät nykyiset puomit kestä yhtään lisäpainoa. Tämänkaltainen järjestely hydraulikan osalta on todettu erittäin toimivaksi metsäkoneissa, joten idea tulee pitää yhtenä kehitysmahdollisuutena tulevien laitteiden suunnittelussa.

Tulevaisuuden innovaationa voidaan pitää esimerkiksi laitteen rungon rakentamista säiliömäiseksi siten, ettei erillisiä hydraulinesäiliöitä tarvittaisi lainkaan. Vastaavasti myös letkutuksen voisi integroida kiinteäksi rungon sisälle.

6.6 Sammutusjärjestelmät

Poravaunuihin on saatavilla kahta hieman erilaista sammutusjärjestelmää, Sandvikin oma automaattinen järjestelmä FS1000 ja Ansulin manuaalisesti laukaistava järjestelmä. Molemmissa järjestelmissä periaatteena on säiliössä oleva sammutusaine, joka tarpeen vaatiessa johdetaan letkustoa pitkin suuttimille. Ansulín järjestelmässä on kuusi suutinta ja järjestelmä toimii $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $99\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa (Ansul 2012). Sandvikin oma järjestelmä on vesipohjainen vaahtojärjestelmä, eikä se siten sovi kylmiin olosuhteisiin.

Paloturvallisuutta ajatellen sammutusjärjestelmän vaikutus vahinkojen minimoimiseksi on kiistaton. Sammutusjärjestelmän sammutusvarmuus on suuri ja sen avulla tulipalo saadaan sammutettua aikaisessa vaiheessa. Sammutusjärjestelmän muuttaminen optiorakenteesta vakioksi parantaisi jokaisen laitteen paloturvallisuutta. Vahingot tulipalotilanteissa jäisivät merkittävästi pienemmiksi. Mikäli sammutusjärjestelmä muutetaan vakiorakenteeksi, asiakkaan täytyy kokea muutos mielekkääksi, eikä pakotetuksi lisäkustannukseksi. Laitteiston hintaa saataisiin alennettua volyymin kasvaessa.

Sammutusjärjestelmän käyttöliittymän valintaa automaattisen ja manuaalisen laukaisun välillä tulee harkita tarkoin. Automaattinen järjestelmä on aina vikaantumisherkempi ja todennäköisyys väärin laukaisuihin on suurempi manuaaliseen järjestelmään verrattuna. Väärällä laukaisulla tarkoitetaan esimerkiksi lämpöilmaisimen lähettämää väärää signaalia järjestelmälle. Väärästä laukaisemisesta seurannut järjestelmän aktivoituminen tyhjentää sammutusaineen laitteeseen. Sammutusaineen puhdistamisen helppous, riippuu pitkälti aktivoitumishetkellä vallitsevista sääolosuhteista. Ansulín järjestelmissä käytetään monoammoniumsulfaattia, joka on ympäristölle vaaratonta ja myrkytöntä. Molempien laitteistojen sammutusaine on pestävä huolellisesti pois laukaisun jälkeen. Pesu on suoritettava mahdollisimman pian laukaisun jälkeen, näin vältetään sammutusaineiden mahdollisilta voimakkaasti korroosioivilta vaikutuksilta.

6.7 Letkuasetelmien standardointi

Hydraulikomponenttien valmistajilla on vaihtelevia tapoja toleroida omat tuotteensa keskenään sopiviksi. Järjestelmä toimii hienosti, kunhan kaikki letkuasetelman osat ovat samalta toimittajalta. Valmistajien yläpuolella ei ole yhdenmukaistavaa standardointia

osien valmistamisen ja toleroimisen osalta. Virheellisten asennusten riski kasvaa huomattavasti, mikäli samassa järjestelmässä käytetään useiden valmistajien tuotteita. Esimerkkinä mainittakoon vaaratilanteita aiheuttava virheasennus letkun holkituksessa, jossa letku ja holkki tulevat eri valmistajilta. Tilanne on hyvin tavallinen kenttäolosuhteissa tehdyissä letkun vaihdoissa. Tällaisessa asennuksessa on suuri riski, että letkuvaihtajan antamat puristusmitat holkille eivät vastaa holkin valmistajan vaatimuksia. Väärällä puristusmitalla valmistettu letku aiheuttaa ilmeisen letkurikkovaaran.

Puuttuvan yleisen standardoinnin voi korvata omalla standardoinnilla. Yhden valmistajan tuotteet valitaan vertailun lähtökohdaksi. Muiden valmistajien tuotteita verrattaisiin valittuihin master -tuotteisiin ja täsmälleen vastaavat tuotteet lisättäisiin sallittujen komponenttien listalle. Listauksen täydennyttyä kullekin komponentille voidaan luoda oma koodi tai nimi ja tilata tuotteita tällä koodilla tai nimellä. Tällaisella järjestelyllä varmistettaisiin komponenttien yhteensopivuus ja komponentit voitaisiin myös tilata halvimman tarjouksen tehneeltä toimittajalta ilman epävarmuutta yhteensopivuudesta. Letkuasetelmien valinnoissa tulee kuitenkin varmistaa varaosanumeroiden oikeellisuus.

6.8 Ilmankierto ja jäähdytinasennukset

Periaatepäätöksen vaativa ilmankierron suunnan kääntäminen on paloturvallisuuden merkittävästi vaikuttava teko. Sandvikin Turun tehtaalla valmistettavien kaivoskuormaajien ilmankierron suunta oli aiemmin vastaava kuin Tampereella, ulkoa sisäänpäin. Turun tehtaan tekemien laskelmien perusteella kaivoskuormaajien jäähdytyskyky olisi pudonnut 5 - 10 °C, jos pelkkä ilmankierron suunta olisi käännetty olemassa olevin komponentein. Nykyisin Turun tehtaalla ilmankierron suunta on aina sisältä ulospäin ja laitteet toimivat moitteetta 50 - 60 °C ulkolämpötiloissa. Mikäli poravaunujen ilmankierron suunta käännettäisiin vastaavalla tavalla, jäähdytyskyvyn heikkeneminen olisi todennäköisesti samaa suuruusluokkaa. (Sandvik Turku. 2012.)

Nykyjärjestelyn mukainen ilmankierron suunta saadaan paloturvalliseksi vain, jos ilman kulkua ohjataan muilla keinoin. Esimerkiksi jäähdyttimen ilmavirta ohjattaisiin hallitusti siten, ettei letkurikon aiheuttama öljysumu pääse kulkeutumaan kuumille pinnoille. DPi -laitteen vanhaan prototyyppiin on tehty muussa asiayhteydessä palokankaasta lait-

teen pituussuunnassa jakava väliseinä. Tämä väliseinä estää ilmavirran kulkeutumisen väärään paikkaan. Ilmavirran kiertoa on lisätty katteisiin tehtyjen aukkojen avulla.

6.9 Painetason putoaminen – laitteen sammutus

Letkun repeäminen liittimen juuresta aiheuttaa tilavuusvirraltaan suuren vuodon. Tavallisesti tällaisessa tilanteessa nestettä tulee vuotokohdasta niin kauan kuin sitä on säiliössä jäljellä. Tilavuusvirraltaan suuri ja paineeltaan pieni vuoto ei ole kovin suuri paloturvallisuusriski, mutta henkilövahingon mahdollisuus on olemassa ympäristövahingoista puhumattakaan. Laitteen painelinjoihin voitaisiin asentaa painetasoa vahtiva järjestelmä. Laite sammuttaisi itsensä, jos painetaso romahtaisi esimerkiksi suuren vuodon takia. Vaarallisimmilta pinhole-vuodoilta tämä järjestelmä ei suojaa, mutta suuremmat vuodot saataisiin nopeasti pysäytettyä. Laitteen sammuttaminen täydestä kuormituksesta ei ole suotavaa kuin hätätilanteessa. Tämänkaltaisissa valvontajärjestelmissä toiminta täytyy saada riittävän varmaksi, jotta normaalit paineheilahtelut tai muut pienet häiriöt eivät aiheuta tarkoituksetonta laitteen sammumista.

6.10 Palamattomat hydraulikkaneesteet

Tulipalojen syttymisen kannalta tehokas ratkaisu on myös palamattomien hydraulines-teiden käyttäminen. Vuonna 2013 voimaan tulevassa Drill Rigs Safetyn uudistetussa versiossa vaaditaan kaivoskäyttöön palamatonta HFDU -hydrauliöljyä. Maanpäällisissä sovelluksissa palamattomia nesteitä käytetään selvästi vähemmän, suurin syy tähän on niiden selvästi kalliimpi hinta. Monet palamattomista nesteistä ovat ympäristöystävällisiä ja nopeasti biologisesti hajoavia.

7 YHTEENVETO

Kenttäolosuhteissa poravaunujen hydrauliletkujen rikkoontumiset ovat aiheuttaneet eriasteisia vaaratilanteita. Tapahtuneet vaaratilanteet loivat tarpeen tämän työn tekemiseen ja ne toimivat työn pohja-aineistona. Ensimmäisenä kaikki riskitilanteet tuli tunnistaa ja käsitellä järjestelmällisellä tavalla. Riskit kartoitettiin potentiaalisten ongelmien analyysillä, jonka pohjalta laadittiin hydrauliletkutuksien turvallisuutta parantavia kehitysehdotuksia.

Työn tehtävänä oli tuottaa kehitysehdotuksia nykylaitteisiin sekä uusia toimintataparatkaisuehdotuksia tuleviin uusiin laitteisiin. Tuotannossa oleviin laitteisiin ei voida tehdä suuria muutoksia, mutta niiden turvallisuutta voidaan parantaa täsmäsuojauksella halutuissa kohteissa. Uusissa tulevissa laitteissa turvallisuustekijöihin voidaan vaikuttaa jo laitteen suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa voidaan tehdä laajempia periaateratkaisuja turvallisuuden parantamiseksi. Kehitysehdotusten on tarkoitus olla kauppalistanomainen muistilista, kun hydrauliletkutuksien turvallisuutta lähdetään parantamaan.

Tulevaisuutta ajatellen vallitsevat standardit ja tapahtuneet vaaratilanteet velvoittavat tekemään hydrauliletkuasetelmiin turvallisuutta parantavia toimenpiteitä. Tämä työ helpottaa parannustoimenpiteiden valintoja, mutta kehitysehdotukset tulee aina räätälöidä jokaiselle laitteelle sopivaksi. Periaatetasolla asiat ovat samoja, mutta ehdotusten tuotteistamisessa vaaditaan käytännön hienosäätöä. Voimavaroja pitäisi suunnata eritoten tuleviin laitteisiin ja toimintatapojen yhtenäistämiseen. Yhtenäistämisketjuun kuuluvat kaikki prosessin vaiheet aina suunnittelusta tuotantoon asti. Laitteiden jo ennestään hyvää turvallisuustasoa saadaan nostettua yhä korkeammalle, kun käytössä ovat yksiselitteiset ja yhtenäiset toimintatavat.

Opinnäytetyön tavoitteet toteutuivat osittain. Tämä työ sisältää turvallisuuden parantamista ajatellen esisuunnittelumateriaalia. Varsinainen käytännön toteuttaminen suojaustoimenpiteiden tuotteistamisesta jäi työstä puuttumaan. Työn sisältö on kuitenkin kattava pohja-aineisto, kun suojaustoimenpiteitä ryhdytään tuotteistamaan käytännössä.

LÄHTEET

Ansul. 2012. Sammutusjärjestelmät. Luettu 28.1.2012.

<https://www.ansul.com/en/home.asp>

AS 2671-2002. Hydrauliiikka. Yleiset vaatimukset järjestelmille. 2002. Standards Australia.

Darchem Insulation Systems. 2012. Kuva suojauksesta. Sähköpostiviesti. @sandvik.com. Kopioitu 4.2.2012.

EN 16228. Drill rigs. Safety 2013 (draft). 2012. Sandvik Mining and Construction Oy.

Hose and fittings, etc. 2012. Kuva pinhole-vuoto. Kopioitu 8.2.2012.

<http://www.hoseandfittingsetc.com/Portals/79679/images/pinhole-hydraulic-leak.png>

ISO 19353:2005. Koneturvallisuus. Palontorjunta ja palosuojaus. 2005. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

Machine design. 2011. Body armor for hydraulic hose. Luettu 28.12.2011.

<http://machinedesign.com/article/body-armor-for-hydraulic-hose-1107>

MDG 15. Ohje siirrettäville- ja mobiililaitteille kaivoskäytössä. 2002. NSW Department of Primary Industries.

MDG 41. Ohje hydrauliiikkajärjestelmien turvallisuuteen kaivoksissa. 2010. Industry & Investment NSW - Mine Safety.

National ag safety database. 2012. Kuva vuodon etsimisestä. Kopioitu 1.2.2012

<http://nasdonline.org/document/1105/d000891/hydraulic-systems-safety.html>

PMC Polarteknik Oy. 2012. Kuva 1-teräskudosletkusta. Kopioitu 7.4.2012

http://www.pmpolarteknik.com/files/price_lists/PMC_Letkuliitinluettelo_2011.pdf

Safe Plast Oy. 2012. Kuvia letkusuojuksista. Kopioitu 24.1.2012.

<http://www.safeplast.fi/finnish/>

Safe Plast Oy. 2012. Letkusuojaus. Luettu 16.1.2012.

<http://www.safeplast.fi/finnish/>

Sandvik. 2012a. Palavan DX-poravaunun kuva. Sähköpostiviesti.

@sandvik.com. Kopioitu 4.2.2012.

Sandvik. 2012b. Rikkoontuneen letkun kuva. Sähköpostiviesti.

@sandvik.com. Kopioitu 15.2.2012

Sandvik Intra. 2012a. Tietoa yrityksestä. Luettu 1.1.2012.

<http://fidlns2.sandvik.com/sandvik/>

Sandvik Intra. 2012b. Työohjetietokanta. Hydrauliletkut. Luettu 3.1.2012.
<http://sandvik.com/>

Sandvik, K. 2001. Hydrauliletkujen kiristys. Luettu 10.1.2012

Sandvik Medibase. 2012. Kuva DPi pintaporauslaitteesta. Kopioitu 31.3.2012
<http://mediabase.sandvik.com/smc/>

Sandvik Turku. 2012. Haastattelu 12.1.2012. Haastattelija Rajala, S. Litteroitu. Tamperre.

Service in Action 5.017, Cooperative Extensions, Colorado State University. 1992. Hydraulic systems safety. Luettu 14.1.2012.
<http://nasdonline.org/document/1105/d000891/hydraulic-systems-safety.html>

SFS. 2012. Standardien suhde muihin asiakirjoihin. Luettu 2.3.2012
http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/standardien_suhde_muihin_asiakirjoihin

SFS-EN 791 + A1. Drill rigs. Safety. 2009. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 953 + A1. Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet. 2009. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 13478 + A1. Koneturvallisuus. Palontorjunta ja palosuojelu 2008. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 3457. Maansiirtokoneet. Suojukset. Määritelmät ja vaatimukset. 2009. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 4413. Hydrauliiikka. Yleiset säännöt ja turvallisuusvaatimukset järjestelmille ja sen komponenteille. 2011. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

VTT. 2012. Riskianalyysit. Potentiaalisten ongelmien analyysi. Luettu 2.1.2012.
http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/riskianalyysit_potentiaalisten_ongelmien_analyysi_poa.jsp

LIITTEET

Liite 1. Yhteenveto MDG -ohjeista

1 (3)

MDG 15:

- 3.5.1 Huoltokohteiden sijoitus
 - Polttoaineeseen, hydraulikkaan tai elektroniikkaan liittyvien huoltokohteiden sijoitusta moottoritilaan on vältettävä.
 - Jos moottoritilassa on huollettavaa, on tehtävä suojaus kuumien pintojen ja vaatteiden ym. tarttumisen osalta
 - Fyysisien vaurioiden mahdollisuus tulee huomioida huoltotöiden aikana

- 3.5.2 Polttoaine- ja hydraulikkapiirit
 - Jos mahdollista, hydraulikkakomponentteja ei saa sijoittaa puhaltavan ilman lähelle
 - Hydraulisia tuulettimia ei pitäisi käyttää siellä missä on riski että tuulettimesta vuotava öljy päätyy kuumille pinnoille. Jos ei ole mahdollista käyttää kuin hydraulisia tuulettimia, niin järjestelmä pitää suojata siten, ettei öljyä pääse kuumille pinnoille.

- 3.5.2.1 Putket ja letkut
 - Letkut oltava paloa vastustavaa materiaalia ja reititetty erilleen kuumista pinnoista
 - Jos letkua ei voi korvata putkella ja lähellä on kuumia pintoja (150°) -> letkut pitää suojata
 - Letku on reititettävä siten että rakenne antaa mahdollisimman hyvän suojan

- 3.5.3 Paloseinät
 - Pitää olla tarkoituksenmukaisesti luokiteltu suhteessa riskeihin seuraavien kohtien mukaan:
 - Asennettu kaikkiin diesel-käyttöisiin laitteisiin
 - Erottaa hydraulikan kuumista pinnoista
 - Ei saa estää moottorin ilmanvaihtoa

- 3.8.3 Letkut
 - Letkujen turvakerroin pitää olla 4:1
 - Kaikki paineletkut on oltava lämmönkestäviä
 - Ilma, hyd., polttoaine, jäähd.aineletkut, palonsammutusletkut on reititettävä erikseen ja kiinnitettävä niin, etteivät värinä ja sykintä aiheuta letkuvaurioita

- 3.9.1 Suojukset
 - Pitäisi asentaa kaikkialle missä hydrauliletku voi aiheuttaa vaaraa
 - On asennettava turbon lähellä kulkeviin hydraul- ja moottoriöljylekuihin estämään suihkuavan nesteen pääsy turbolle. Suojukset eivät saa kerätä nestettä turbon lähelle

- 3.9.3 Paloa vastustavat suojaukset
 - Kaikki ei metalliset suojukset on oltava paloa vastustavat, mikäli ne aiheuttavat operaattorille riskin tulipalotilanteessa

MDG 41:

- 1.6.7 Korkean riskin alue: suihkuavan nesteen paine yli 5 MPa tai lämpötila yli 60°C ja alueella on mahdollista tapahtua henkilövahinko.
- 2.3.3 Riskikartoitus:
 - Tunnistaa riskit lähialueen ihmisille
 - Tunnistaa riskit operaattoreille tai muille käyttäjille.
 - Tunnistaa riskit laitteelle ja ympäristölle
 - Identifioida korkean riskin alueet
 - Kontrolloida riskit kohdan 2.1.3 mukaan (riskien hallintajärjestys)
 - Määrittää suojatoimenpiteet
 - Varmistaa laitteiden tarkoituksenmukaisuus
 - Kehittää turvallisempia toimintatapoja
 - Vaatimukset järjestelmän turvalliselle huoltamiselle
- 3.4.8 Nesteet:
 - Siellä missä on sietämätön paloriski, on käytettävä palonkestäviä nesteitä
 - Varmistettava komponenttien soveltuvuus palonkestäville nesteille
 - Standardin AS 2671 mukaisesti
- 3.4.9 Nestesuihku
 - Korkean riskin alueen letkut olisi parempi reitittää uudelleen
 - Henkilösuojaimen käyttö ei ole hyväksyttävä korjaus- suojautumistapa nestesuihkuille
 - Järjestelmä on pystyttävä eristämään ja tekemään paineistamattomaksi.
- 3.5.4 Tulipalo
 - Jos mahdollista laitteen on sammuttava mikäli letkuun tulee murtuma tai rikkoutuminen.
- 3.7.2.9 Paloa vastustavat letkut
 - Letkujen tulee olla palon kestävä, paitsi matalan riskin alueilla
 - Keskiarvoinen palonkesto, ei hehku yli 30 s. Testaus AS 1180-10b tai ISO 8030 mukaan
 - Täyttää U.S.A liekkitestin vaatimukset. MSHA
 - Täyttää tyypin 1 tai 3 vaatimukset ISO 6805
 - Todistettu riittävä/samanarvoinen palonvastustuskyky

Liite 1. Yhteenveto MDG -ohjeista

3 (3)

- 3.7.2.10 Palon kestävät letkut
 - Turbon voitelun, jarrujen ja palonsammutusjärjestelmien letkujen täytyy olla palonkestävät
 - SAE Aerospace (AS1339-2000) 3000psi, 400 °F
 - Käyttöalue -54 °C - +232 °C
 - Todistettu palonkestävyys

- 3.7.5.3 Kilpikuvat

Liite 2. Riskianalyysi (esimerkki)

Vaaraa aiheuttava tilanne	Tilanteen syy	Vaara	Seuraukset	CL	LL	RL	Nykyinen Varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/ Lisäkäsityksiä
Letkurikon aiheuttama hydraulinestevuoto kuumalle pinnalle	Viallinen hydraulilietku	Tulipalon vaara	Henkilövahinko					
Letkurikon aiheuttama hydraulinestevuoto kuumalle pinnalle	Viallinen hydraulilietku	Tulipalon vaara	Laitevahinko					