

# **Turbiinivahingot ja inhimillinen tekijä**

**Turvallisuusjohtamisen koulutusohjelma**

**Tutkielma**

**Kim Ruokonen**

**Pohjola Vakuutus Oy, Riskienhallinnan osaamiskeskus**

**Paikka pvm**

**Aalto University Professional Development – Aalto PRO**

## Tiivistelmä

Olen viime vuosien aikana havainnut voimalaitoksissa käytettävien turbiinien vahinkomäärissä selkeää kasvua. Keskusteluissani erinäisten voimalaitosten käyttöhenkilökunnan ja Pohjolan asiantuntijoiden kanssa olen päätenyt ajatukseen, että osa vahingoista olisi ollut estettävissä tai vahinkoa olisi voitu oleellisesti rajata, jos päätöksen teossa olisi huomioitu mittauslaitteista ja muuten havainnoimalla saatu tieto. Voisiko vahinkojen yhtenä oleellisena syynä olla inhimillinen tekijä?

Tutkielmaani varten selvitin vuoden 2000 jälkeen tapahtuneiden ja Pohjola Vakuutuksen korvaamien turbiinivahinkojen syyt. Laadin selvityksen perehtymällä Pohjolasta löytyvään vahinkoinformaatioon ja Pohjolan asiantuntijoiden kanssa käymiini keskusteluihin. Ikävä kyllä vahinkoja ei voi tarkemmin tässä tutkimuksessa käsitellä niiden luottamuksellisuuden takia. Muutamia esimerkkejä, joista olen poistanut asiakkaisiin viittaavan tiedon, olen kuvannut työssäni.

Vahinkojen lisäksi käsittelen työssäni hieman inhimillistä virhettä ja erilaisia päätöksenteossa ilmeneviä ansoja, jotka ovat osaltaan saattaneet vaikuttaa syntyneisiin vahinkoihin.

Lopputuloksissa esitän havaintoni lisäksi myös eräitä mahdollisia seikkoja minkä takia nykyiseen tilanteeseen on ajauduttu.

## Sisältö

1.1	Taustaa.....	4
2.1	Taustaa.....	6
2.2	Malleja päätöksen teon virheisiin .....	6
2.2.1	Kiinnittymisansa (Anchoring Trap).....	7
2.2.2	Muuttumattoman tilan illuusio (Status-Quo Trap) .....	8
2.2.3	Hukattujen kustannusten ansa (Sunk-Cost Trap) .....	8
2.2.4	Vahvistavat todisteet (Confirming-Evidence Trap).....	8
3.1	Voimalaitoksista .....	11
3.2	Höyryturbiini .....	12
3.2.1	Yleistä .....	12
3.2.2	Höyryturbiinin toimintaperiaate .....	13
3.2.3	Turbiinin rakenne ja pääkomponentit .....	13
3.3	Yleistä kaasuturbiineista.....	15
4.1	Tulokset.....	17
4.2	Tilastoja maailmalta.....	20
4.3	Turbiinivahinkotapaus esimerkkejä .....	21
4.3.1	Jääpuikkoja kaasuturbiiniin .....	22
4.3.2	Tietokoneesta opittu malli ei toiminutkaan turbiinissa .....	22
4.3.3	Rikkoutunut anturi ja ohjelmointivirhe.....	22
4.3.4	Havaittua ongelmaa ei korjattu.....	23
4.3.5	Ylipitkä huoltoväli ja piittaamattomuus mittausdatasta.....	23
4.3.6	Asennustöiden aikana kaikkea turbiinissa olevaa ylimääräistä tavaraa ei poisteta.....	23
4.3.7	Suunnitteluvirhettä ei korjattu sisaryksikössä .....	24
4.4	Vahinkokustannusten arviointia .....	24
4.5	Pohdinta mahdollisista syistä.....	25
4.5.1	Sukupolven vaihdokset .....	25
4.5.2	Muutokset työehtosopimuksissa.....	25
4.5.3	Automaation lisääntyminen.....	26
4.5.4	Laitteiden hyötysuhde on kasvanut ja toleranssit pienentyneet. 26	
4.5.5	Sähkön markkinahinnan kasvu .....	26
4.5.6	Asennus ja huoltotöissä ei aina onnistuta.....	27
6.1	Lähteet.....	29
6.2	Internet lähteet .....	30

# 1 Johdanto

Tämä tutkielma on tehty Aalto Pron Turvallisuusjohdon Koulutusohjelman lopputyönä. Tässä työssä selvitetään höyry- ja kaasuturbiineille viimeisten kymmenen vuoden aikana sattuneiden omaisuusvahinkojen syitä, sekä pohditaan mitkä vahingoista johtuivat mahdollisesti inhimillisestä virheestä.

## 1.1 Taustaa

Teetin vuonna 2011 kesäharjoittelijalla selvityksen toiminnan keskeytykseen johtaneista vahingoista. Selvityksessä käytiin läpi keskeytysvahinkoja vuosilta 1995 - 2011. Keskeytysvahinko vaatii äkillisen ja ennalta arvaamattoman omaisuusvahingon, joka aiheuttaa toiminnan keskeytymisen. Toiminnan keskeytysturvalla turvataan yrityksen toiminnan tulos, jos toiminta pysähtyy tai häiriintyy äkillisen ja ennalta arvaamattoman tapahtuman johdosta.

Toiminnan keskeytymisen syynä voi olla omissa toimitiloissa tapahtunut omaisuusvahinko, esimerkiksi tulipalo tai koneen rikkoutuminen.

Tutkimukseen otettiin mukaan 500 korvausmenoltaan suurinta keskeytysvahinkoa. selvityksessä nousi esille mielenkiintoinen seikka koskien energiantuotannossa käytäviä turbiineita. Niiden osuus tuosta viidestäsadasta oli lähes viisi prosenttia ja niiden vahinkojen keskimääräinen vahinkomeno oli suurin. Lisäksi kaikki turbiinivahingot olivat ajoittuneet tutkimusjakson loppupuolelle, eli 2000-luvulle.

Jäin miettimään mitkä tekijät olivat näiden vahinkojen taustalla ja miksi niiden määrä oli kasvussa. Syyt tähän eivät johtuneet Pohjolan markkinaosuudenmuutoksista kyseisissä asiakkaissa, vaan selkeästi toimialalla oli

tapahtunut joidenkin olosuhteiden muutos, jonka takia vahinkotiheys oli kasvanut.

Keskustelin asiasta myös Pohjolan korvauspäälliköiden kanssa ja he ovat myös huomanneet saman asian. Turbiinivahinkoja syntyy aikaisempaan nähden paljon ja niiden määrä on viime vuosina ollut kasvussa.

Kierrän työkseni jokin verran asiakkaittemme kohteissa tarkastuksilla tai esittelemässä riskienhallinnan palveluitamme ja toimintatapojamme. Lisäksi olen ollut paljon mukana asiakkaissamme perehdyttämässä uusia asiantuntijoitamme. Usein näissä kohteissa on käytössä turbiineja. Olen ottanut havaintoni esiin keskusteluissa näiden kohteiden tuotantopäälliköiden ja muiden asiantuntijoiden kanssa ja käymieni keskustelujen pohjalta olen päätenyt yhteen hypoteesiin, mistä tuo turbiinivahinkojen lukumääränkasvu on saattanut johtua.

Mielestäni useimmat näistä vahingoista olisivat olleet etukäteen saatavan tiedon perusteella estettävissä. Kyse ei ehkä ole ollutkaan mekaanisesta rikkoutumisesta tai jonkin osan pettämisestä vaan vahinkojen taustalta löytyy mielestäni osaamisen puutetta, heikkoa johtamista tai joitain muita inhimillisiä virheitä.

Tätä hypoteesia testatakseni etsin vahinkokannastamme vuoden 200 jälkeen tapahtuneet turbiinivahingot. Niitä kertyi yli kaksikymmentä. Mukana oli höyry- ja kaasuturbiineille sattuneita vahinkoja. Perehdyin vahinkoihin meillä saatavilla olevan tiedon perusteella. Lisäksi haastattelin vahinkotapaukset selvittäneitä ja ne tunteneita asiantuntijoitamme. Tavoitteena oli selvittää onko ajatuksessani mitään pohjaa.

vahinkojen lisäksi tein kirjallisuus katsauksen inhimillisen tekijöiden vaikutukseen päätöksen teossa ja inhimillisen virheen syntymekanismeihin. Usein näissä tutkimuksissa oli kyse johtamisen ja päätöksenteon haasteista, mutta ne ovat osin sovellettavissa myös tutkimukseni aihepiiriin.

## 2 Inhimillinen tekijä

### 2.1 Taustaa

Inhimillisen tekijän käsite on tuttu esimerkiksi onnettomuus uutisista ja -tutkinnoista. Niissä yhteyksissä inhimillisellä tekijällä tarkoitetaan onnettomuuden syntyä keskeisesti selittävää tekijää. Inhimilliset virheet ovat olleet psykologisten tutkimusten kohteena 1800-luvun lopulta alkaen. Tutkimukset ovat osoittaneet, että toiminnan epätoivottu lopputulos on monimutkaisissa teknisissä järjestelmissä aina monien yhteensattumien summa, ja uhkaaviltakin näyttävistä tilanteista voidaan selviytyä ihmisen toiminnan ansiosta. Ihmisellä on usein myös mahdollisuus korjata mahdollinen virheensä. Inhimillisen tekijän tutkimusalue määritelläänkin yleensä inhimillistä virhettä laajemmaksi. Esimerkiksi vuonna 1961 julkaistun määrittelyn mukaan human factors -asiantuntija teki ”tutkimuksia sosiaali-, käyttäytymis- ja fysiologisissa tieteissä; antoi panoksensa ihminen-konejärjestelmän, aseiden tai muiden monimutkaisten järjestelmien suunnitteluun, kehittämiseen ja ohjaamiseen hyödyntäen ihmisen käyttäytymisen psykologisia piirteitä, sekä tietämystä ihmisen fyysisistä ja henkisistä ominaisuuksista, kyvyistä ja rajoituksista että human engineeringin periaatteita. Lähes neljäkymmentä vuotta myöhemmin 60 % ”inhimillisten tekijöiden” asiantuntijoiden työpanoksesta Yhdysvalloissa toteutui tietokoneiden, avaruusteollisuuden ja teollisten prosessien kehittämisen yhteydessä. (Anneli Leppänen ja Leena Norros)

### 2.2 Malleja päätöksen teon virheisiin

Mielen liikkeitä päätöksen teon hetkellä on tutkittu jo 50 vuotta. Selvityksiensä perusteella on havaittu että käytämme alitajuisia tiedostamattomia rutiineja selvittääksemme useimmista monimutkaisista päätöksistä. Nämä heuristiset rutiinit perustuvat kokeiluun ja kokemuksiin ja toimivat useimmissa

tapauksissa riittävällä tarkkuudella. Esimerkiksi etäisyyden määrittelyssä kauempana olevat kohteet ovat yleensä epätarkempia kuin lähellä olevat. Tämä tieto tai kokemus helpottaa etäisyyksien arvioimista, jota tarvitsemme liikkumistamme ympäristössämme. Kuitenkin utuisella säällä arvioimme kohteet kauemmaksi kuin ne todellisuudessa ovat ja kirkkaalla kelillä lähemmäksi.

Tutkijat ovat löytäneet useita heikkouksia tavassamme tehdä päätöksiä tällä tavoin. Osa heikkouksista aiheutuu aistiemme ominaisuuksista, kuten etäisyyksien arvioiminen edellisessä esimerkissä. Osa johtuu ennakkoluuloistamme ja osa ovat vain ajatustemme irrationaalisia poikkeamia. Sillä, mistä ne johtuvat, ei oikeastaan ole väliä. Ongelmaksi asian tekee että me emme huomaa niitä. Ne ovat ohjelmoitu meidän ajatusmaailmaamme niin syväälle, että emme huomaa niitä vaikka ajaisimme päistikkaa niiden ansaan. (Hammond, Keeney and Raiffa)

### **2.2.1 Kiinnittymisansa (Anchoring Trap)**

päätöstä tehdessämme annamme paljon painoa ensimmäiselle informaatiolle jonka saamme asiasta. Ensivaikutelmat, arviot ja tietoomme tullut data kiinnittävät ajatuksemme ja arviomme jotka aiheeseen liittyvät. Ankkurit voivat olla monessa eri muodossa. Ne voivat esiintyä aamun uutisissa tai sanomalehdessä tai voivat liittyä johonkin jota kollegamme aamulla sanoi. Ne voivat olla ennakkoluuloja tai stereotyyppioita, joita liitämme useisiin eri asioihin ja jotka ponnahtava t tiedostamatta mieleemme kun kohtaamme asioita joita niihin liitämme.

Ennustamme tulevaa yleensä perustuen edellisen kauden tietoihin. Päädymme aina ennusteessamme lähelle aikaisempia lukuja, joita muokkaamme sen mukaan miten ajattelemme ympäristön muuttuvan tai toivomme toimenpiteidemme toimivan. Kuitenkin maailma ja markkinat ovat nykyisin niin kovassa muutoksessa ja muutokset ovat yleensä ennen kokemattomia, ennalta odottamattomia ja suuria. Niiden vaikutusta ei kukaan voi ennustaa ankkuroimalla ennustuksensa edellisen kauden lukuihin.

### **2.2.2 Muuttumattoman tilan illuusio (Status-Quo Trap)**

Päätöksenteossa vältämme usein toimia, jotka muuttavat radikaalisti nykyistä tilaamme. uuden innovaatiot ja toimintamallit, olivatpa ne kuinka hyviä tahansa koetaan aina nykyisten mukaan.

Muuttumattomuuden rikkominen tarkoittaa aina toimimista, jonkin asian tekemistä ja muuttamista. se johtaa meidät tilanteeseen, jossa olemme avoimia kritiikille ja arvostelulle ja ehkä jopa joudumme katumaan päätöstemme. Yllättävää kyllä usein päädymme olemaa tekemättä asialle mitään. Pysyminen nykyisissä toimintatavoissa on turvallisempaa ja riski epäonnistumisessa.

### **2.2.3 Hukattujen kustannusten ansa (Sunk-Cost Trap)**

Yksi sisään rakennettu toimintatapamme on että teemme päätöksiä perustuen aikaisempiin päätöksiin. Emme aina ota huomioon uutta tietoa vaan olettamme, että aikaisemmin tehty päätöksemme on ollut oikea ja jatkamme samalla linjalla. Jos olemme investoineet johonkin paljon rahaa, jatkamme usein projektia vaikka tietoomme tulisi että se ei valmistuttuaan ole enää kannattava. Aikaisemmin tehdyt päätökset ja sijoitukset sitovat ajatuksemme vaikka niillä ei pitäisi olla mitään vaikutusta päätökseen tekoon uusien tietojen tullessa ilmi.

Omassa elämässään on helppo myöntää olleensa väärässä ja korjata toimintaansa, mutta työelämässä virheiden tekeminen ei yleensä ole hyvä asia, ainakaan kalliiden virheiden. Sen takia usein jatkamme rahan kantamista vanhaan kaivoon vaikka se olisi jo kuivunut. (Hammond, Keeney and Raiffa)

### **2.2.4 Vahvistavat todisteet (Confirming-Evidence Trap)**

Päätöstä tehdessämme haemme usein aiheesta lisätietoa ja perustelemme sitä että kaipaamme lisää varmuutta päätöksellemme. Usein kuitenkin haemme tietoja jotka tukevat jo alitajuisesti tekemäämme päätöstä. Esimerkiksi uutta auto hankkiessa päätämme ostaa vaikka Audin. Käymme koeajamassa myös BMW:tä, Mersua, Volvoa, Fordia ja Skodaa. Mutta vertailem-



me niitä ja niiden ominaisuuksia alkuperäiseen päätökseemme, pari seikkaa voi olla niissä paremmin mutta mielestämme kokonaisuutena Audi on yhä paras. Emme tee päätöstä perustuen objektiiviseen havainnointiin muista autoista, vaan vahvistamme koeajoilla alkuperäistä päätöstämme.

Teemme päätöksemme usein alitajuisesti ennen kuin edes tiedämme miksi päädyimme lopputulokseen. Tämän jälkeen vahvistamme päätöstämme tukevaa informaatiota ja vähättelemme tietoja jotka haastavat päätöksemme. Tästä syystä johtopäätöksemme tukevat jo tehtyä päätöstä. (Hammond, Keeney and Raiffa)

### 3 Teollisen prosessin ominaisuuksia

Suurten teollisten prosessien edellytetään olevan käyttövarmoja. Energia tuotannon laitteiden ja prosessien moitteeton toiminta on eräs prosessiteollisuuden merkittävimmistä kilpailutekijöistä. käyttövarmuuden ulkoisista edellytyksistä yksi tärkeimmistä on ihmisen toiminta ihmisen-konerajapinnassa. Ihmisen toimintaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä on kutsuttu yleiskäsitteellä inhimilliset ja organisatoriset tekijät. Niitä voidaan tarkastella monella eri tasolla. Toiminnan tuloksellisuuteen vaikuttavat aina myös monet organisaatiokulttuurin ja tuotantoteknologian ominaisuudet. Inhimillisten tekijöiden on perinteisesti katsottu lähinnä vähentävän käyttövarmuutta

Kemian-, paperi-, teräs- ja elintarviketeollisuuden sekä sähkövoimateollisuuden prosessimaisten tuotantolaitosten katsotaan olevan kompleksisia. Kompleksisuus on seurausta mm. siitä, että työntekijät voivat saada vain vähän suoraa informaatiota prosessista ja ohjata suoraan vain pientä osaa prosessilaitteista tai -tapahtumista. Suuri osa informaatiosta on välittynyttä, eikä se aina liity suoraan ohjattaviin prosessimuuttujiin. Suunnittelijoiden ratkaisut ovat voineet johtaa jopa siihen, että prosessista saatava informaatio on prosessienohjaajien näkökulmasta vaikeasti tulkittavaa. Prosessissa vaikuttavien osatekijöiden ja osajärjestelmien suuri määrä lisää myös monimutkaisuutta. Ohjaajilta edellytetään tietoa prosessin toiminnasta, esimerkiksi kausaaliketjuista, voidakseen mieltää prosessin kulun, tehdä prognooseja ja valita oikeat toimenpiteet.

Teollisille prosesseille on myös tyypillistä, että työn kohde, ohjattava prosessi, muuttuu koko ajan. Siihen voi liittyä erilaisia epävarmuustekijöitä sekä ajallisesti eri tavoin muuttuvia elementtejä ja viiveitä. Prosessinohjaajat pyrkivät hallitsemaan epävarmuutta ja ennakoimaan tapahtumia. Toiminnan tavoitteet voivat joskus olla epäselviä, toistensa kanssa ristiriidassa tai toistensa toteutumista rajoittavia. Prosessinohjaajien on tällöin tehtävä

strategisia valintoja, priorisoitava tavoitteet ja suunniteltava toimintansa. Dynaamisten ja kompleksisten toimintaympäristöjen hallinta on vaativa tehtävä, jonka vaatavuus lisääntyy koko ajan prosessien nopeuden ja koon kasvaessa, prosessikemian kehittyessä ja ohjausjärjestelmien monipuolisuudessa. On ennakoitu, että prosessien ohjausjärjestelmät kehittyvät nykyistä informatiivisemmiksi ja interaktiivisemmiksi, minkä oletetaan tukevan prosessin hallinnan ja asiantuntijuuden kehittymistä. Myös prosessinohjaajien toimintaympäristöt ovat muuttumassa. Ihmiselle ominainen pyrkimys proaktiivisiin ja kehittäviin toimintatapoihin saanee vastaisuudessa tukea uusista organisaation kehittämisstrategioista. (Anneli Leppänen ja Leena Norros)

Voimalaitos ja muut monimutkaiset systeemit, vaikkapa ihminen, menettävät toimintakykynsä, jos yksikin sen monista tärkeistä osista pettää. Todennäköisyys että yksi erillinen osa hajoaa, on suhteellisen pieni. Kuitenkin monimutkaisen kokonaisuuden rikkoutuminen on todennäköisempää, kuin yksittäisen osan. Ajattelumme kiinnittyy kokonaisuuden sijasta yksittäisten osan hajoamisen todennäköisyyteen ja usein aliarvioimme monimutkaisten systeemien rikkoutumisen todennäköisyyden. (Kahneman)

### 3.1 Voimalaitoksista

Energiamarkkinavirasto ylläpitää rekisteriä Suomen voimalaitoksista. Sähköteholtaan vähintään yhden megavoltiampeerin suuruisten voimalaitosten haltijoiden tulee ilmoittaa Energiamarkkinavirastolle voimalaitoksen rakentamissuunnitelmasta, tehonkorotuspäätöksestä ja käyttöönottamisesta sekä voimalaitoksen pitkäaikaisesta tai pysyvästä käytöstä poistamisesta. Voimalaitosrekisterin tiedot perustuvat voimalaitosten haltijoiden lakisääteisiin ilmoituksiin.

Tämän rekisterin mukaan Suomessa on noin 345 energiaa tuottavaa yksikköä. Yksi yksikkö voi koostua useammasta laitoksesta. Kun tästä rekisteristä poistaa tuuli- ja vesi voimalaitokset jää jäljelle noin 280 erilaista energialaitosta joissa voisi olla kaasu- tai höyryturbiini. Pohjolan markkinaosuus tästä kannasta on, riippuen laskentavasta, noin 50%.

Tutkimuksessa on koetettu löytää ja käsitellä kaikki vuoden 2000 Pohjolan kantaan osuneet turbiinivahingot. Vuosien 2002-2012 aikana niitä on tapah-

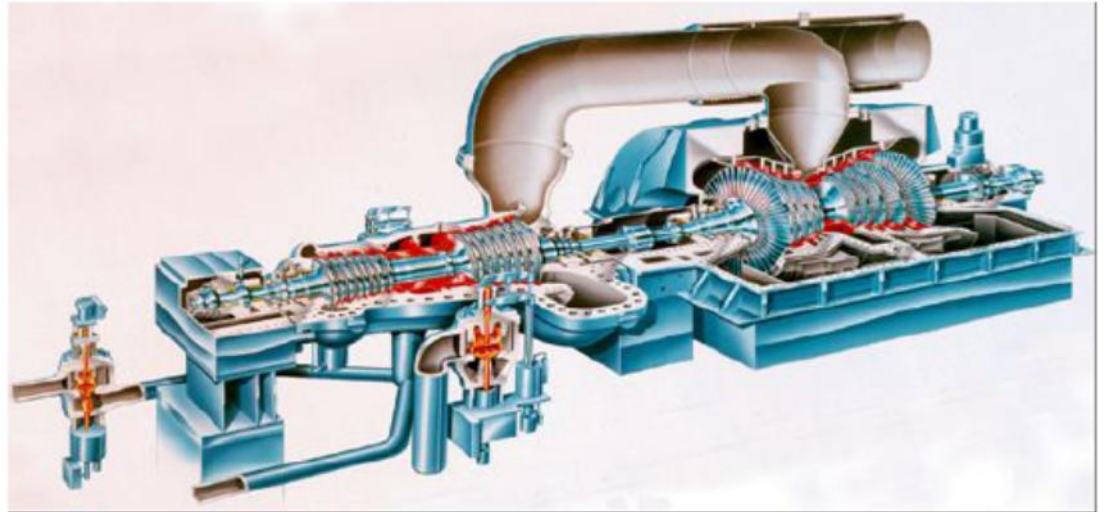
tunut 24 kappaletta, eli 2,4 kpl/vuosi. Olettaa voisi siis että vuosittain Suomessa tapahtuu keskimäärin 4-5 turbiinivahinkoa, eli kannasta noin 1,5-2% kokee jonkin asteisen vahingon vuodessa.

## 3.2 Höryturbiini

### 3.2.1 Yleistä

Höryturbiini toimii lämpövoimakoneen periaatteella. Se hyödyntää kuuman höyryn sisältämää energiaa ja muuttaa sen pyörimisenergiaksi, joka liitettynä akselilla generaattoriin muodostaa sähköenergiaa. Höryturbiineja hyödynnetään erilaisissa voimalaitoksissa, joiden erilaisia tyyppisiä ovat lauhde-, vastapaino-, ja ydinvoimalaitokset. Nämä laitokset eroavat toisistaan ja ne asettavat erilaisia vaatimuksia höryturbiinin ominaisuuksille. Ydinvoimalaitoksissa höyry ei voi olla tulistettua. Vastapainelaitoksella käytetään korkeapaineista höyryä ja sitä hyödynnetään kaukolämmössä ja teollisissa prosesseissa. Höryturbiineja löytyy erikokoisia aina alle 1 MW turbiineista suuriin yli 1600 MW ydinvoimalaitosturbiineihin (Kivistö).

Aivan ensimmäisen höryturbiinin kehitti englantilainen Sir Charles Parsons vuonna 1885. Turbiini oli reaktiotyyppinen. 1880-luvulla myös ruotsalainen Carl G.P. De Laval kehitti oman turbiini, joka oli impulssityyppinen ja se oli tarkoitettu meijerissä kerman erotukseen. Vuonna 1891 aloitettiin sähkön tuotanto höryturbiinin avulla, sieltä ne siirtyivät nopeasti suurten valtamerialusten voimanlähteeksi. Höryturbiinien kehittyivät ja tehot kasvoivat vähitellen. 1940-luvulla suurimmat turbiinit olivat noin 100 MW:n tehoisia. 1970-luvun loppuun asti höryturbiinien tehot kasvoivat jyrkästi. Turbiinin perusrakenne on kuitenkin säilynyt vuosien mittaan melko samanalaisena. Kehitystä on tapahtunut viime aikoina turbiinin eri komponenteissa, varsinkin siivistössä. (Encyclopædia Britannica)



**Kuva 1** Höryturbiini, FM data sheets

### 3.2.2 Höryturbiinin toimintaperiaate

Voimalaitoksessa kehitetty korkeapaineinen höyry paisuu kulkiessaan turbiinin siivistöjen läpi luovuttaen samalla energiaa. Vapautunutta energiaa ohjataan eri siivistöjen kauttaturbiinin akseliin. Akseli on kiinnitetty generaattoriin, joka muuttaa akselin pyörimisenergian sähköksi.

Turbiini on jaettu tavallisesti kahteen korkeapaine- ja matalapaineosiin. Matalapaineturbiinin jälkeen höyry muuttuu takaisin vedeksi lauhduttimessa. Korkeapaineturbiinissa höyryn paine laskee noin kymmenenteen osaan sisään syötetyn höyryn paineesta. Matalapaineturbiinin ulostulossa höyryn paine on noin 300 kertaa pienempi verrattuna sisään menevään höyryn paineeseen. Yleensä kolme tai neljä rinnakkaista matalapaineturbiinia toimii yhden korkeapaineturbiinin kanssa. (Kivistö)

### 3.2.3 Turbiinin rakenne ja pääkomponentit

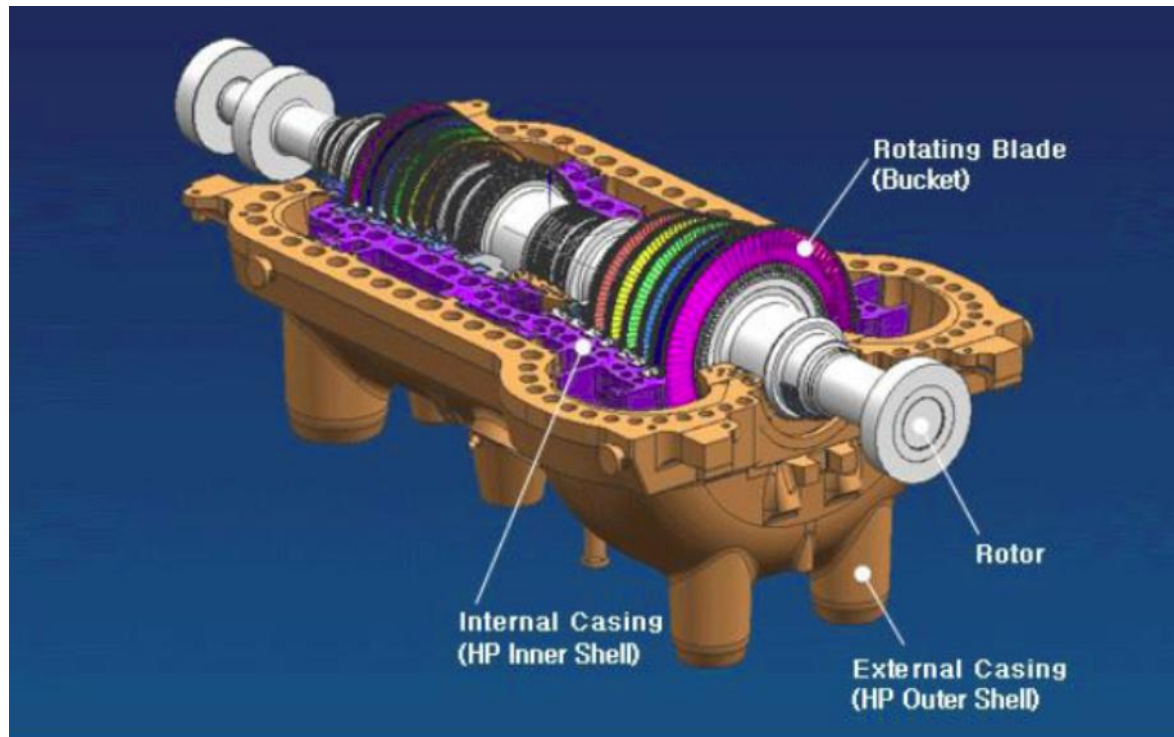
Nykyaikaisessa höryturbiinilaitoksessa on ainakin seuraavat pääkomponentit: turbiinin säätöventtiilit, korkeapaineturbiini, kosteuden erotin, välitulistin (joita voi olla useampia), matalapaineturbiini, turbiinin väliotto-

järjestelmä, generaattori ja lauhdutin. matalapaine- ja korkeapaineturbiinin lisäksi voi olla keskipaineturbiini.

Höyryvirtausta turbiinin sisään säädetään säätöventtiilillä. Päähöyrylinjassa on myös dumpkaus- ja pikasulkuventtiilit. Pikasulkuventtiilillä saadaan höyryn syöttö katkaistua nopeasti häiriötilanteissa. Dumpkausventtiiliä tarvitaan kun pikasulku- tai muut venttiilit ovat sulkeutuneet, vaikka kuorman menetyksen yhteydessä.

Turbiiniakseli ulottuu turbiinilta generaattorille. Akseliin on turbiinin roottorienlisäksi litetty generaattorin roottori. Akselin halkaisija voi olla jopa 70 cm. Akselin ollessa liian pitkään pyörimättä voi se taipua. Sen takia akselia pyöritetään pienellä nopeudella erillisen laitteen avulla. Tätä kutsutaan paak-saukseksi. (Turunen-Saaresti,)

Turbiinipesä on turbiinin sisällä. se on jaettu sisä- ja ulkopesäksi. Ulkopesä on sylinterin muotoinen ja sisäpesä on kiinnitetty siihen. Sisäpesä on kaksiosainen ja ne on kiinnitetty toisiinsa pulteilla. Roottori on kiinni turbiinin akselissa ja roottorissa on kiinni roottorisiivistö (Kivistö).



**Kuva 2** Turbiinipesä avattuna. Doosan Heavy Business.

### 3.3 Yleistä kaasuturbiineista

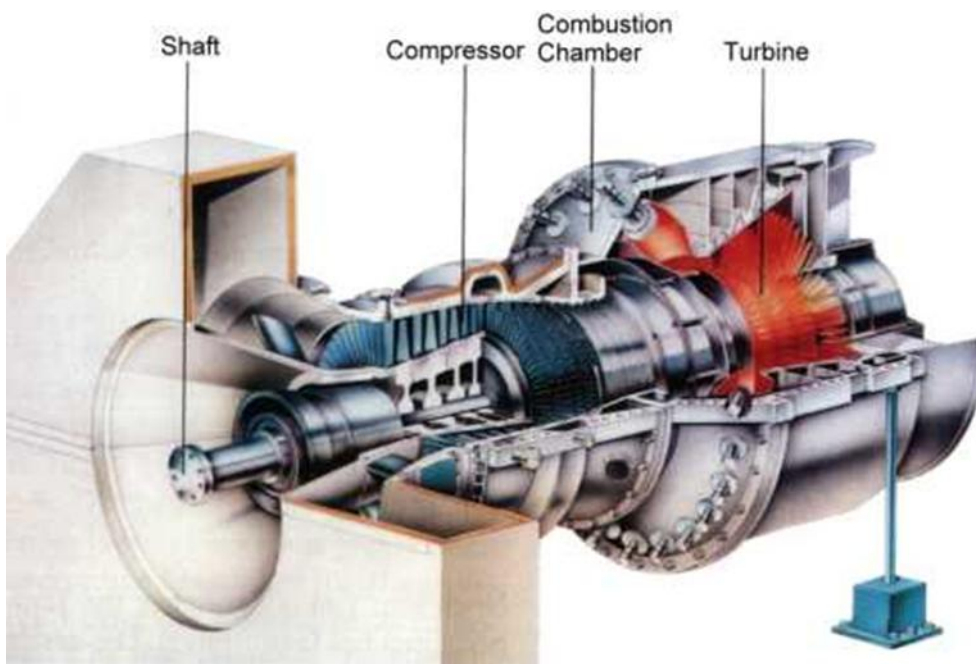
Kaasuturbiini on lämpövoimakone, jossa kaasua tai nestemäistä polttoainetta polttokammiossa polttamalla käytetään turbiinia, joka on yhdistetty akselilla ilmaa polttokammioon puristavaan ahtimeen.

Teollistumisen alusta lähtien erilaisilla polttoaineilla käyvät erityyppiset moottorit ovat yleensä olleet raskaita ja monimutkaisia koneita. Tässä joukossa kaasuturbiini on poikkeus. Sen koneisto koostuu periaatteessa vain akselilla yhdistetyistä ahtimesta ja turbiinista sekä palotilasta näiden välissä. Kaasuturbiini tuottaa kokoonsa ja painoonsa nähden paljon tehoa ja/tai työntövoimaa, mutta sen hyötysuhde on dieselmoottoriin verrattuna hieman alhaisempi, parhaimmillaan kuitenkin yli 40%. Pienellä kuormituksella ja tyhjäkäynnillä kaasuturbiinin polttoainetalous on erityisen huono.

Kaasuturbiinin toiminta perustuu sisäiseen palamiseen: polttoaine ruiskutetaan suurella paineella moottorin keskivaiheille akselin ympärille ryhmitettyihin polttokammioihin. Ahdin puristaa niihin ilmaa, jolloin polttoaine palaa suurella paineella ja pakokaasut purkautuvat taaksepäin turbiinin läpi.

Turbiini puolestaan antaa akselin välityksellä voiman ahtimelle. Kaasuturbiinin ja suihkumoottorin tärkein ero on moottorin tuottaman voiman hyödyntämisen tapa: kaasuturbiinista otetaan akselitehoa, suihkumoottorista taas työntövoimaa esimerkiksi lentokoneelle. Potkuriturbiini on lentokoneessa käytetty kaasuturbiini, jonka akseliteho käytetään potkurin pyörittämiseen. Kaasuturbiini eroaa höyryturbiinista, jossa palaminen tapahtuu moottorin ulkopuolella ja itse moottori toimii välikaasun eli vesihöyryn avulla.

Teollisuuskäytössä, esimerkiksi sähköntuotannossa tai öljyn tai kaasun pumppauksessa, erotetaan kaasuturbiinin rakenteessa kaksi päätyyppiä: teollisuus- (engl. "industrial") ja lentokonekaasuturbiinit (aeroderivate, aeronative). Jälkimmäiset ovat suoria kehitelmiä lentokonemoottoreista, ensin mainituilla ei välttämättä ole rakenteen puolesta juuri mitään tekemistä lentokonemoottoreiden kanssa. Teollisuuskaasuturbiineissa sallitaan usein ratkaisuja jotka eivät tulisi lentokonemoottoreissa kyseeseen, mm. suurempi fyysinen koko ja paino, "siilotyyppinen" polttokammio, hitaampi käynnistys, pysäytys ja tehonsäätö ja laakereiden pitkät jälkivoiteluajat sekä jälki-  
paaksaus (akselin hidas pyörittäminen pysäytyksen jälkeen). Teollisuusmoottorit ovat kuitenkin tehoonsa nähden halvempia kuin vastaavat lentokonepohjaiset kaasuturbiinit. (wikipedia)



**Kuva 3** Kaasuturbiini avattuna [www.ustudy.in](http://www.ustudy.in)



## 4 Tutkimus

### 4.1 Tulokset

Perehdyin työssäni 24 eri turbiinivahinkoon. Vahingot olivat tapahtuneet kaikki vuoden 2002 jälkeen ja niistä on maksettu korvauksia yli 30 M€ Korvausmäärässä on mukana vain Pohjolan korvaamat kulut, eikä niissä ei ole huomioitu rahallisten tai ajallisten omavastuiden osuuksia. Otin mukaan tutkimukseen kaikki vuoden 2000 jälkeen Pohjolalle raportoidut ja kannastamme löytyneet turbiineille sattuneet vahingot.

Tutkimuksen pohjana käytin Pohjolan järjestelmistä löytyneitä vahinkotarkastus raporteja sekä asiantuntija lausuntoja. Keskustelin havainnoistani myös osissa vahingoissa mukana olleen asiantuntijoittemme kanssa sekä vahingot tarkastaneen ja korvanneen korvauspäällikön kanssa. Pohdin aineiston perusteella olisiko ollut mahdollista saada jotain indikaatioita tulevasta vahingosta ennen sen syntymistä. Rajasin tapaukset siten että indikaatio olisi pitänyt saada niin aikaisessa vaiheessa, jotta sen pohjalta olisi ehditty ryhtyä toimenpiteisiin, jotta vahinko ei olisi syntynyt tai sen suuruutta olisi voitu rajoittaa.

Useimmissa tapauksissa tilanne oli selkeä. Vahingon syy ja siihen johtaneet tekijät olivat selkeästi tunnistettavissa keräämäni aineiston perusteella. Jos tietojen perusteella ei saanut selkeää varmuutta siitä miten vahinko oli syntynyt tai mitkä seikat siihen olivat vaikuttaneet, ei sitä laskettu mukaan inhimillisen tekijän aiheuttamiin vahinkoihin.

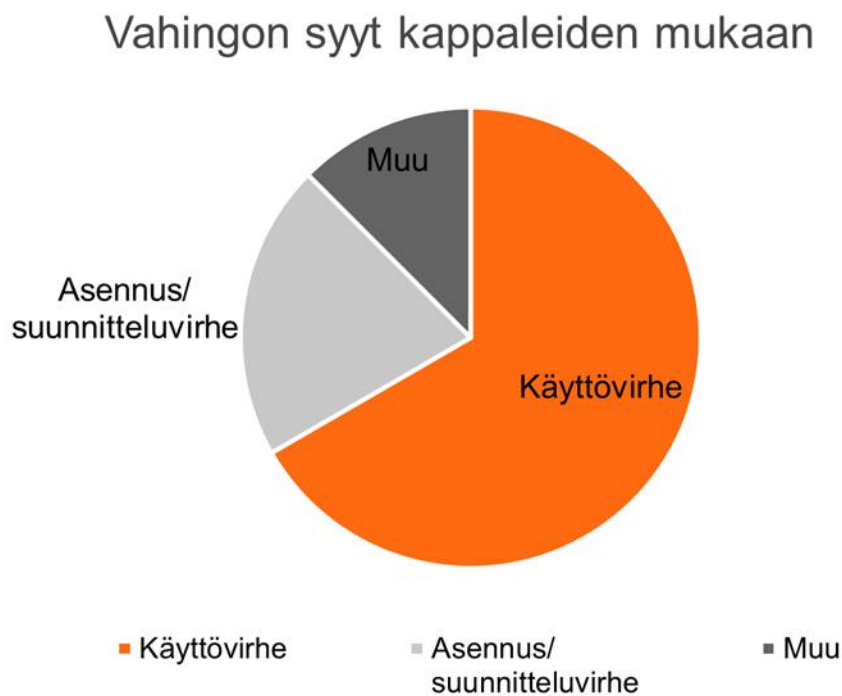
Mielestäni tutkimukseni vahvistaa hypoteesini. Suurimmassa osassa vahingoista olisi kyetty toisenlaisella toiminnalla estämään vauriot tai rajaamaan niitä pienemmäksi. Tähän tarvittavaa tietoa oli riittävästi saatavilla ennen vaurion syntymistä, mutta jostain syystä siihen ei reagoitu tai sitä' ei kyetty

tulkitsemaan oikein ja lopputuloksena oli joko turbiinin vaurioituminen tai jo syntyneen vahingon laajuuden pieneneminen.

Joissain tapauksissa ongelmat olivat löydettävissä syvällisemmän analyysin kautta, jo ennen vahinkoa, mutta rutiinitiedoista tulevat ongelmat eivät ole havaittavissa. Otin nämä mukaan inhimillisistä tekijöistä johtuneisiin vahinkoihin, sillä kyse on osaamisen tasosta. Nykyiset järjestelmät ovat hyvin teknisiä ja niistä on saatavilla paljon informaatiota laitteiden tilasta ja siinä tapahtuvista muutoksista. Aina kaikkea tätä dataa ei osata hyödyntää, mielestäni silloin on kyse jonkin asteisesta osaamattomuudesta, ei mekaanisista vaurioista.

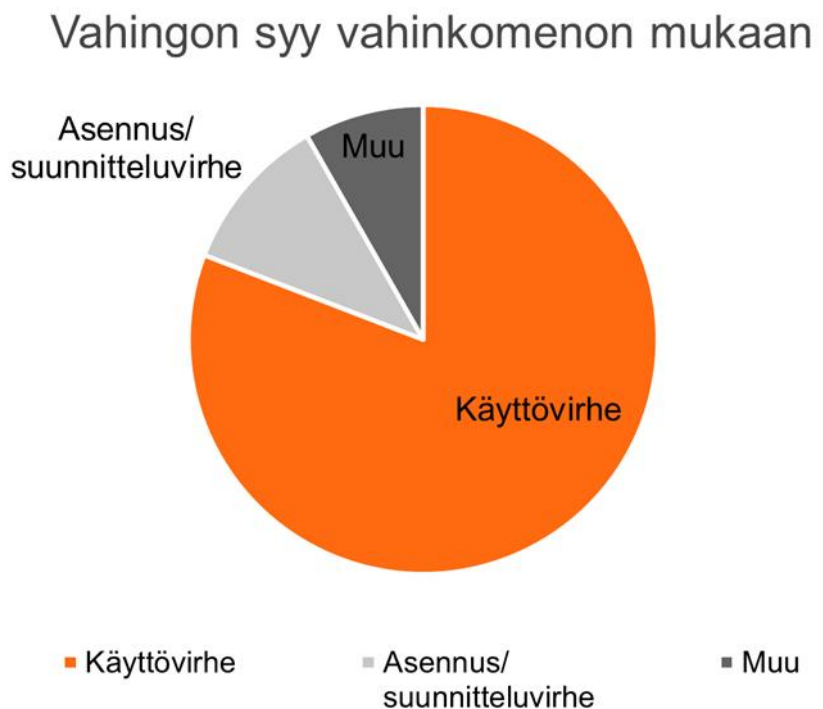
Selvityksen perusteella suurin yksittäinen syy sekä kappaleina että euroina on käytön aikana tehty arviointi- ja operointivirhe, eli kyseessä oli sellainen tekijä joka olisi ollut ennakoitavissa ja estettävissä etukäteen.

Toinen suuri tekijä oli asennus- ja korjaustöiden aikana tehdyt virheet jotka tulivat esiin turbiinin vaurioituessa. Osin myös suunnittelun aikana tehdyt ratkaisut olivat vahingon syynä.



**Kuva 4** Vahinkojakauma kappaleittain

Vahinkokappaleina selkeästi suurin syy on käyttövirheen aiheuttamat vahingot. Toinen suuri tekijä on asennus tai suunnittelu virhe. Muihin syihin lulin tulipalot, luonnonilmiöt tai tilanteet missä mittaukset osoittivat jonkin koneessa hajonneen mekaanisesti. Sen jälkeen laite on ajettu alas tutkimuksia varten. Näissä tapauksissa saadun tiedon perusteella oli toimittu oikein



**Kuva 5** Vahinkojakauma korvausmäärän (€) mukaan

Euromäärinä mitattunakin selkeästi suurin tekijä turbiinivahingoissa oli käyttövirhe, eli tilanne jossa olemassa olevaa tietoa ei osattu hyödyntää vaurion estämiseksi tai sen laajuuden rajoittamiseksi. Asennus ja suunnitteluvirheen osalta voi sanoa, että niissä syntyvät vahingot ovat usein keskimääräisesti kustannuksiltaan pienempiä.

Vahinkomenoarviot on tehty Pohjolalle tiedossa olevan vahinkoarvion tai korvatun summan mukaan. Niissä ei ole huomioitu euromääräisiä eikä ajallisia omavastuita. Joissa tapauksissa vahingosta ei ole korvattu mitään sillä se on jäänyt kokonaan vakuutuksen ottajan omalle vastuulle. Lopullisten kus-

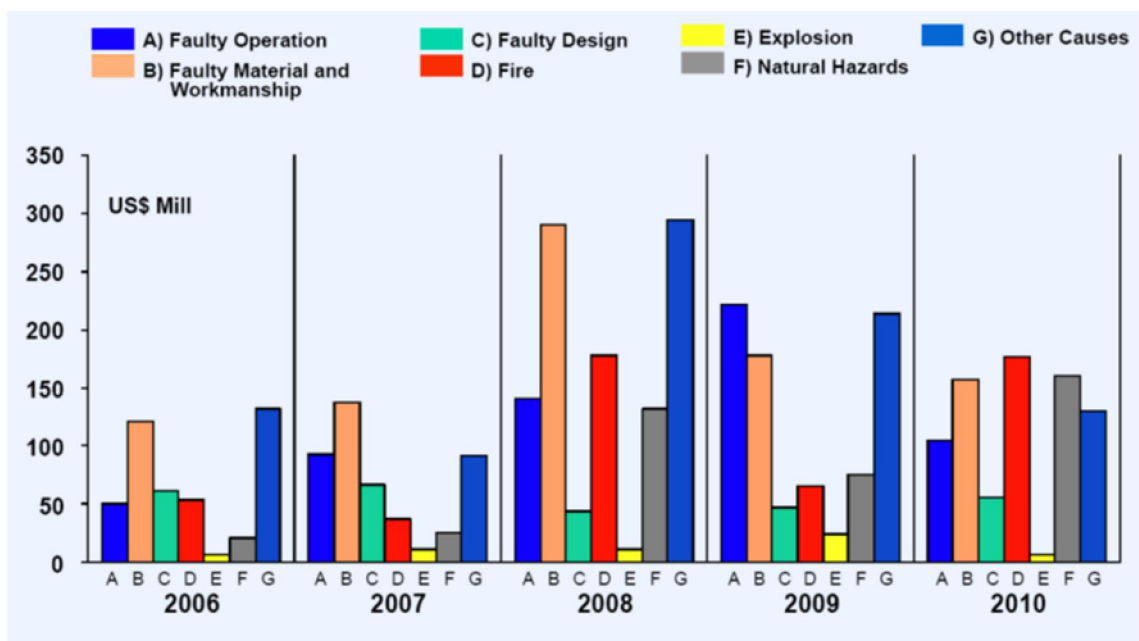
tannusten voidaan sanoa olevan aina suuremmat kuin vakuutusyhtiön mak- sama korvaus.

## 4.2 Tilastoja maailmalta

Pohdintojani tukemaan löysin maailmalta tutkimuksen, josta tulee esille samanlaisia johtopäätöksiä.

Pohjola kuuluu IMIA:an IMIA (International Machinery Insurance Association), joka on maailman laajuinen konerikkoriskejä vakuuttavien vakuutusyhtiöiden yhdistys. Sieltä saatavan tilastotiedon perusteella voi myös havaita että käyttövirheet (faulty operation) on suuri tekijä suurien konerikko vahinkojen syntymisessä maailmalla. Sen osuus IMIA:lle raportoiduista vahingoista vaihtelee vuosittain mutta on merkittävä tekijä joka vuosi. Toinen mielenkiintoinen ja tutkimustani tukeva vaurio syy on huonosti toteutettu työ tai huonolaatuiset materiaalit. Näidenkin taustalla on usein inhimillisiä tekijöitä.

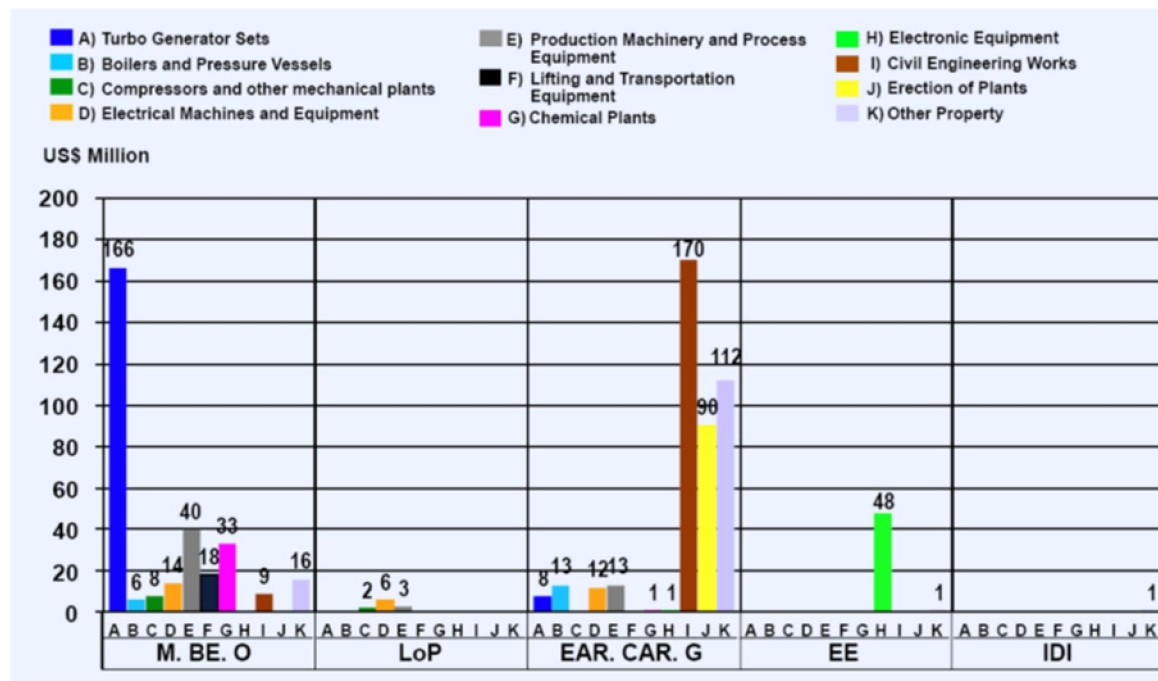
### Large Claims - Cause of Loss: all LoB 2006 - 2010



**Kuva 6** IMIA:n suurvahinkotilasto, vahingon syy, 2006-2010

Samasta tilastosta nousee esille myös turbiinit ja niihin kiinteästi liittyvät laitteet (turbo generator sets) suurimpana yksittäisenä laitteena ja riskinä, joille suuria ja kalliita vahinkoja tapahtuu.

## Large Claims – Main Items affected per LoB 2010



**Kuva 7** IMIA:n suurvahinkotilasto, vahingon kohde, 2006-2010

Vaikuttaa siis että ongelma on maailmanlaajuinen. Näissä IMIA:n tilastoissa on käsitelty vain konerikko ja projektivakuutuksien vahinkoja. Siten esimerkiksi tulipalot eivät ole niissä mukana ellei kone syttynyt ja palanut itse. Pelkät rakennuspalot eivät ole tilastossa mukana.

### 4.3 Turbiinivahinkotapaus esimerkkejä

Pohjola ei voi tuoda julki asiakkaiden vahinkoja ja niiden korvauskuluja, ilman asianosaisten asiakasyritysten ja organisaatioiden lupaa. Olen tähän kuitenkin kerännyt muutamia esimerkkejä tyyppillisistä tapauksista. Olen niistä koettanut poistaa viittaukset asiakkaiden nimiin ja korvausmenoon.

### **4.3.1 Jääpuikkoja kaasuturbiiniin**

Kaasuturbiinin johdetaan ilmaa suodatinhuoneen kautta. Kattoonsaattaa talvella siihen muodostua jääpuikkoja vuotojen tai kondenssin takia.

Jääpuikko putosi kompressoriin, aiheuttaen yhden tai useamman siiven taipumisen, jonka seurauksena oli värähtelytason nousu. Värähtelyongelma voidaan korjata katkaisemalla vaurioitunut siipi ja tasapainon takia on myös pakko katkaista vastakkaiselta puolella samanlainen siipi. Tällä ensiavulla turbiinia voidaan ajaa vielä muutama kuukausi. Sen jälkeen se on avattava ja korjattava, koska puuttuvat siivet aiheuttavat turbulenssia ja naapurisiivet eivät sitä kestä.

### **4.3.2 Tietokoneesta opittu malli ei toiminutkaan turbiinissa**

Höyryturbiinin roottori ottaa ylösajettaessa kiinni sivuista, ylhäältä tai alhaalta jossakin siipivyöhykkeessä. Se on todettu lieväksi ja kiinnioton jälkeen annetaan koneen jäähtyä ja ajetaan sitten uudestaan ylös mahdollisesti toistaen saman ongelman. Tekniikkaa voidaan käyttää kaasuturbiinien ylösajossa, koska niissä on erilainen rakenne kuin höyryturbiineissa, joissa pannat tai siiven ulkoreunat kuumenevat ottaessaan kiinni ja kiinnitysniiteihin tulee säröjä.

Säröilleet niitit pettävät ja panta katkeaa ja sen jälkeen siipi katkeaa ja aiheuttaa enemmän tai vähemmän vaurioita muille siiville ja siipivyöhykkeille. Uudet siivet on asennettava tehtaalla jonka jälkeen tehdä on vielä roottori tasapainotettava.

### **4.3.3 Rikkoutunut anturi ja ohjelmointivirhe**

Kaasuturbiinin vastaanottoajon aikana valmistaja pyysi saada käyttää viittä lämpötila-anturia eräiden kohteiden seurantaan. Kone oli prototyyppi ja haluttiin seurata sen käyttäytymistä.

Ennen ylösajoa oli joku astunut yhteen lämpötila-anturiin menevän sähköjohton päälle. Johto oli koneen kyljessä liian lähellä kuumaa pintaa. Koneen lämmentyä johto sulii ja anturi meni oikosulkuun. Mittausohjelma oli laadittu väärin siten, että ohjauslämpötila oli viiden anturin keskiarvo. Kun nyt yksi antoi nollaa, säätö kone itsensä neljän tuloksen perustella. Lopputuloksena kone sai noin kaksi tai jopa kolme sataa astetta liian kuumaa kaasua. Liekki poltti kolmanneksen kaikista johtosiivistä rikki ja myös koko juoksusiipivöhyke oli vaihdettava.

#### **4.3.4 Havaittua ongelmaa ei korjattu**

Noin vuoden käytön jälkeen höyryturbiinin siipi katkesi ja värähtelytason nousu pysäytti koneen. Siipivaihdon jälkeen ja tutkimuksien jälkeen todettiin että kysymyksessä on huono vesikemia ja sen aiheuttama ja väsymällä edennyt korroosiomurtuma. Vesikemiaa ei muutettu eikä muita siipiä tarkastettu. Kuukausi ylösajon jälkeen meni uusi siipi poikki. Vasta sen jälkeen tehtiin parannuksia veden laadulle.

#### **4.3.5 Ylipitkä huoltoväli ja piittaamattomuus mittausdatasta**

Höyryturbiinin revisiossa havaittiin että muutama siipi oli osin poikki. Koneetta oli käytetty yli normaalien revisio suosituksien vaikka koneessa oli alussa ollut ongelmia hyötysuhteen kanssa ja mahdollisesti jonkin muotoista ylimääräistä värähtelyä. Ne olivat kuitenkin korjaantuneet viimeisten vuosien aikana. Koneen avauksessa havaittiin että sen läpi oli lentänyt tuorehöyryn hajotuslevy ja taivuttanut siipiä ja rikkonut. Hyötysuhteen muutokseen olisi pitänyt reagoida. Oli vain hyvää tuuria, että katkenneet siivet eivät ehtineet vielä irrota.

#### **4.3.6 Asennustöiden aikana kaikkea turbiinissa olevaa ylimääräistä tavaraa ei poisteta**

Höyrykoneen roottorista irtosi siipi korroosion ja väsymisen seurauksena. Tutkimuksissa kävi ilmi että erääseen lämmönvaihtimeen oli jäänyt silikaattipusseja, joita käytetään vaihtimien kosteuden sieppaajina valmistuksen,

kuljetuksen ja asennuksen aikana. Lopputuloksena oli ollut huono vesike-  
mia ja siitä seurannut korroosioilmiö.

#### **4.3.7 Suunnitteluvirhettä ei korjattu sisaryksikössä**

Suunnitteluvirheestä aiheutui vahinko yhdelle tuotantolaitokselle. Jostain  
syystä tietoa virheestä ei hyödynnetty yhtiön muilla laitoksilla. Seurauksena  
oli toinen samanlainen vahinko samasta syystä sisaryksikköön. Ensimmäi-  
nen vahinko tilastoitiin suunnittelu- ja asennus virheisiin, toisen inhimilli-  
siin vahinkoihin.

#### **4.4 Vahinkokustannusten arviointia**

Turbiinivahinkojen kustannuksia voidaan arvioida seuraavilla nyrkkisään-  
nöillä. Turbiinin ominaisuuksiin kuuluu, että site ei oikein voi korjata kun-  
nolla avaamatta ja purkamatta sitä osiin. Joissain tapauksissa näinkin voi-  
daan toimia, mutta useimmissa ja hankalimmissa tapauksissa joudutaan tur-  
biini huoltamaan kunnolla.

Turbiinin käyttölämpötila on korkea, joten aina ennen huoltotöitä joudutaan  
sitä jäähdyttämään muutamia päiviä ennen kuin sitä voidaan huoltaa, eli  
joka tapauksessa puhutaan useamman päivän suunnittelemattomasta huol-  
toseisokista.

- Jos vika saadaan korjattua turbiinia avaamatta ja purkamatta,  
on korjauskustannukset noin 0,5 M€
- Jos turbiini joudutaan purkamaan ja roottori nostamaan pois,  
niin sen kustannus on noin 1 M€
- Jos osia joudutaan lähettämään Keski-Eurooppaan korjatta-  
vaksi, nousevat kustannukset useampaan miljoonaan.

Tyypillistä vahingoissa on että pääosa kustannuksista syntyy tuotannonkes-  
keytyksestä. Menetetty energia pitää ostaa markkinoilta ja korvaus muodos-  
tuu markkinahinnan ja omien tuotantokustannusten erotuksesta. Mitä pi-  
dempään laitos seisoo sitä suuremmaksi korvauskustannukset muodostuvat.



## 4.5 Pohdinta mahdollisista syistä

Useat inhimillisen virheen syntymekanismeista ovat sovellettavissa myös nyt käsiteltyihin turbiinivahinkoihin. Ankkuroituminen ensiksi tullessiin indikaatioihin päätelmiin ongelmasta eikä uusiin tietoihin luoteta tarpeeksi, jotta asialle tehtäisiin jotain. Tämä virhe yhdistetään usein myös vahvistiin todisteisiin, eli ensiksi tehtyä, ehkä väärää tai heikkoa päätöstä ei peruta vaan sitä perustellaan ja vahvistetaan sitä tukevilla tiedoilla. Päätökselle ristiriitaisia tietoja ei huomioida tai niiden painoarvoa vähätellään.

Pieniä ja heikkoja indikaatiota ongelmista ei oteta vakavasti, sillä niiden perusteella ei haluta ajaa laitteita alas ja seisottaa turbiinia muutamaa päivää. Raja-arvot muutoksille ja paineet tuotannon ylläpitämiselle ovat kovia.

Minkä takia nämä ongelmat ovat nousseet esille vasta nyt, olisi voinut luulla että vastaavia virheitä on tehty myös aikaisemmin. Miksi viime vuosikymmenen aikana turbiinien vahingot ovat kasvaneet?

Pohdinnoissani ja voimalaitosten käyttöhenkilökunnan kanssa käymieni keskustelujen pohjalta ole päätynyt kuuteen eri syyhyn, joiden yhteisvaikutuksesta tilanne on saattanut päästä ajautuman nykyiseen tilanteeseen.

### 4.5.1 Sukupolven vaihdokset

Voimalaitoksilla on perinteisesti tehty pitkiä työuria ja työntekijät ovat tunteet koneet ja laitteet hyvin ja osa on ollut mukana myös rakentamassa niitä. Tämä vanha sukupolvi on pikkuhiljaa jäämässä eläkkeelle ja heidän mukana katoaa paljon hiljaista tietoa. Varsinkin vanhempien koneiden osalta tämä voi olla ongelma.

### 4.5.2 Muutokset työehtosopimuksissa

Työehtosopimukseen loma-aikoihin tuli muutoksia vuosituhannen vaihteessa. Arkipyhäpäivien ylimääräiset seisokit poistuivat ja jäljelle jäi vain varsinainen vuosittainen huoltoseisokki. Tämä on aiheuttanut että laitteet ajetaan alas kenties vain kerran vuodessa. Joka vuorolle ei synny riittävää rutiinia kokeiden käynnistämiseen, sillä se ei osu kohdalla edes joka vuosi. Usein

ongelmat ja poikkeamat toiminnassa tapahtuvat ylösajon aikana. Tämä on havaittu useimmissa vierailuissani laitoksissa ja sitä yritetään paikata hoitamalla suunnitellut ylösajot kahdella vuorolla, mutta siltä kolme vuoroa ei ole mukana ja ylösajot tapahtuvat liian harvoin, että todellista rutiinia niihin syntyisi.

#### **4.5.3 Automaation lisääntyminen**

Nykyisissä voimalaitoksissa on paljon automaatiota ja sen määrä lisääntyy koko ajan, mikä onkin edellytys nykyisten laitosten toiminnalle. Lisääntynyt automatiikka ja eri instrumenteista ja mittareista tuleva tietovirta pitää työntekijät entistä enemmän valvomoissa. Automatiikka on myös tehostanut voimalaitosten toimintaa ja niitä ajetaan pienemmällä henkilökunnalla. Useimmat vaadituista toiminnoista ja säädöistä voidaan tehdä automatiikkaa hyödyntäen. esimerkiksi lähes jokaisen venttiilin avata, sulkea tai säätää näyttöpäätteeltä. Päivittäiset kierrokset laitoksen eri osissa jäävät vähiin. Automatiikkaan luotetaan kenties jo liikaa. Se hoitaa asiat kuntoon ja näyttää venttiilien ja muiden laitteiden tilat. Kuitenkaan automatiikka ei ole aina luotettavaa. Tiedossa on tapauksia, missä automatiikka näyttää esim. venttiilin olevan auki, mutta sen kara on ollut poikki ja se ollut kuitenkin kiinni. Silmä- ja korvamääräiset havainnot ovat korvautumassa instrumentein. myös kunnossapidon ratkaisut tehdään usein luottaen automatiikkaan.

#### **4.5.4 Laitteiden hyötysuhde on kasvanut ja toleranssit pienentyneet.**

Uusissa turbiineissa koetetaan saada hyötysuhde mahdollisimman hyväksi. Mikä on tietenkin järkevää, mutta samalla se aiheuttaa laitteen toleranssien pienenemisen ja mahdollisille virheille jää liian vähän tilaa, pienikin ongelma, esim. vesivuoto, epätasapaino tai värinä voivat aiheuttaa isot vahingot. Lisäksi laitteiden korjaaminen avaamatta on entistä vaikeampaa.

#### **4.5.5 Sähkön markkinahinnan kasvu**

Sähkön hinta on kasvanut ja varsinkin talvisaikaan milloin kysyntä on suurta, ei laitteita kovin helpolla ajeta alas ja sammuteta. Vaikka mittareiden

mukaan kaikki ei olisikaan kunnossa, ajetaan turbiineja riskillä ja koetetaan saada ne kestävästi seuraavaan vuosihuoltoon. Toisaalta markkinahinnan ollessa heikko osa voimalaitoksista ajetaan alas ja niitä saatetaan käyttää ehkä vain muutamia viikkoja vuodessa tai niitä ajetaan ylös pieniksi huipputeknikiksi. Laitteet toimivat parhaiten kun ne ovat jatkuvasti käytössä. Lisäksi turbiinien määräaikaishuolto välejä on pidennetty jopa usealla vuodella. Näin on saatu jopa poistettua yksi täyshuolto koko turbiini käyttöiältään. Käyttöaste nousun hintana ovat vähäiset ylösajot ja heikompi huolto.

#### **4.5.6 Asennus ja huoltotöissä ei aina onnistuta.**

Turbiinit ovat laitteina monimutkaisia ja toleranssit niissä ovat pieniä. Niiden huoltojaksoja on jatkuvasti venytetty ja aikataulu huoltoseisokeissa on tiukka. Jostain ehkä osin edellä mainituista syistä johtuen huoltoseisokeissa ei aina onnistuta ja niissä tehdyt virheet kostaavat aikaisempia pahemmin. Syytä olisikin suunnitella ja aikatauluttaa huoltotyöt nykyistä paremmin ja huolehtia, että koneen ylösajossa huollon jälkeen on mukana osaavin henkilökunta.

## 5 Lopputulokset

Lopputyöni lopputuloksena voidaan todeta inhimillisen virheen olevan merkittävä tekijä turbiineille sattuneille vahingoille viime vuosikymmenen aikana. Merkittävä osa vahingoista olisi voitu estää tai vahingonlaajuutta rajoittaa etukäteen saatavilla olevan tiedon perusteella. Miksi tietoa ei ole osattu hyödyntää ei selviä tästä tutkimuksesta ja se olisi kenties toisen selvitystyön asia. Olen listannut työhöni joitain tekijöitä mitkä ovat saattaneet vaikuttaa asiaan, Ne perustuvat omaan näkemykseen ja keskusteluihin useiden eri henkilöiden kanssa. Suuri tekijä vaikuttaa olevan turbiinien käyttämisessä ja ajamisessa tapahtunut muutos. Nykyään turbiineja ajetaan jatkuvasti ja ne pysäytetään kenties vain kerran vuodessa. Aikaisemmin niillä oli useampi käyttökatkos vuodessa normaalin vuosihuollon lisäksi. Tästä johtuen laitteet ovat kovemmillä ja erikoistilainten hallinta ei ole enää käyttöhenkilökunnalle rutiinia.

## 6 Lähdeviitteet ja kirjallisuusluettelo

### 6.1 Lähteet

*Anneli Leppänen ja Leena Norros* Työ ja ihminen, työympäristötutkimuksen aikakauskirja, 2 / 2002, 16. vuosiker-  
ta, Teollisten prosessien inhimilliset, käyttövarmuustekijät,  
– katsaus alueen tutkimussuuntauksiin ja tutkimuksen ke-  
hitystarpeisiin,

John S. Hammond, Ralph L. Keeney, and Howard Raiffa,  
The Hidden Traps in Decision Making, 2005 Harvard  
Business School Publishing Corporation

Kivistö Mika S, 2000-luvun höyryturbiinit, Lappeenran-  
nan teknillinen yliopisto Teknillinen tiedekunta LUT Ener-  
gia, Energiatekniikan kandidaatintyö

Turunen-Saaresti, Teemu, 2008. Turbiinilaitos. TVO-  
koulutusmateriaali.

The International Association of Engineering Insurers,  
IMIA, Engineering Insurance Premium and Loss Statistics  
2008 – 2010

FM Global, Property Loss Prevention Data Sheets 13-3,  
January 2013, Steam Turbines

## 6.2 Internet lähteet

Kaasuturbiini, <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kaasuturbiini>  
viitattu 21.3.2013

What is Gas turbine? <http://www.ustudy.in/node/1165>,  
viitattu 21.3.2013

Encyclopædia Britannica- verkkotietosanakirja. [verkko-  
julkaisu] [viitattu 15.2.2013] Saatavilla:  
<http://www.britannica.com/>

Energiamarkkinaviraston internernet sivut,  
voimalaitosrekisteri, viitattu 26.3.2013,  
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/alasivu.asp?gid=517&languageid=246>)