



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

TYTTI NIEMI

# **Inhimillisten tekijöiden ennakointi ydinjätteen loppusijoituksessa**

TUOTANTOTALOUDEN JA -TEKNIIKAN  
KOULUTUSOHJELMA  
2021

Tekijä(t) Niemi, Tytti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä maaliskuu 2021
	Sivumäärä 63	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi <b>Inhimillisten tekijöiden ennakointi ydinjätteen loppusijoituksessa</b>		
Tutkinto-ohjelma Tuotantotalouden ja -tekniikan koulutusohjelma		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella, miten inhimillisiä tekijöitä voitaisiin ennakoida ydinjätteen loppusijoituksessa. Inhimilliset virheet voivat heikentää työn sujuvuutta ja laatua, mutta ne voivat pahimmillaan johtaa tapaturmiin ja onnettomuuksiin. Huomioimalla inhimilliset tekijät voidaan pienentää inhimillisten virheiden määrää.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimuksen kohteena olivat ydinjätteen loppusijoituksen tuotantolaitteiden operointi. Jotta operointiin liittyviä inhimillisiä tekijöitä voidaan ennakoida, tarkasteltiin, millaisia inhimillisten virheiden mahdollisuuksia laitteiden operoinnissa on.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimusotteena oli konstruktivinen tutkimus, mikä tarkoitti, että tutkimusongelmaan yritettiin löytää käytännönläheinen ratkaisu, jota testattiin osana tutkimusta.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin erilaisiin inhimillisiin tekijöihin ja inhimillisiin virheisiin. Inhimilliset tekijät liittyvät ihmisiin, työhön ja organisaatioon. Opinnäytetyön tutkimusosassa tarkasteltiin vaihtoehtoja inhimillisten virheiden tunnistamiseksi. Menetelmäksi valittiin Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA). Menetelmää toimivuutta testattiin työpajassa Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon operointiin.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena todettiin, että SHERPA-menetelmällä löydetään inhimillisiä virheitä ja sen avulla erilaiset inhimilliset tekijät saadaan näkyville. Näin ollen inhimilliset tekijät voidaan huomioida menetelmän avulla tuotantolaitteiden operoinnissa.</p>		
Asiasanat inhimilliset tekijät, virhetilanteet, loppusijoitus		

Author(s) Niemi, Tytti	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March 2021
	Number of pages 63	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Predicting human factors in final disposal of spent nuclear fuel</b>		
Degree program Industrial Management and Technology		
Abstract  <p>The objective of this thesis was to study how human factors could be predicted in the final disposal of spent nuclear fuel. Human errors can diminish workflow and work quality, or they can lead to accidents or disasters. Reducing human errors can be done by considering human factors.</p> <p>The study was conducted to final disposal equipment and operating them. The aim was to predict human errors in operating so that would lead to see what kind of human factors were affecting behind human errors.</p> <p>The thesis was implemented with constructive research, which meant that the solution would combine theoretical and practical approach, and the solution would be tested as part of the thesis.</p> <p>Theoretical section of this thesis contains a study of different kind of human factors and human errors. Human factors could be seen as part of human, job and organization. Implementation section contains a study of different kind of human error identification methods. Method named Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA) was selected to closer study. The method was tried out to operating the Canister transfer and installation vehicle.</p> <p>The method gave a systematic way to find human errors, so that human factors behind human errors could be observed. With this method human factors can be predicted in the operating of final disposal equipment.</p>		
Key words human factors, error conditions, final deposition		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	6
1.1 Toimeksiantajan esittely ja tutkimuksen taustat .....	7
1.2 Tutkimuskysymys .....	10
1.3 Rajaukset .....	11
2 INHIMILLISET TEKIJÄT JA INHIMILLISET VIRHEET .....	11
3 IHMISTEN INHIMILLISET TEKIJÄT .....	13
3.1 Tiedon käsittely ja päätöksenteko .....	14
3.1.1 Muisti.....	14
3.1.2 Havaitseminen ja tarkkaavaisuus .....	15
3.1.3 Mentaaliset eli sisäiset mallit .....	17
3.1.4 Päättely ja päätöksenteko.....	17
3.1.5 Stressi, motivaatio ja sitoutuneisuus.....	18
3.1.6 Tilannetietoisuus .....	18
3.2 Mielekkyyssperiaate .....	19
3.3 Sosiaalisessa ympäristössä toimiminen.....	19
3.3.1 Stereotypiat .....	19
3.3.2 Attribuutiot.....	20
3.3.3 Asenne .....	20
3.3.4 Ryhmäkäyttäytyminen.....	21
3.4 Kognitiivisen toiminnan kolme tasoa ja inhimillisten virheiden virhetyypit ...	22
3.5 Ihmisen suoritukseen vaikuttavat tekijät .....	25
3.6 Ennakointi ja virheiden vähentäminen henkilötasolla .....	27
4 TYÖN JA ORGANISAATION INHIMILLISET TEKIJÄT .....	29
4.1 Välittömät virheet ja piilevät heikkoudet .....	29
4.2 Tehtävien ja työympäristöjen inhimilliset tekijät.....	31
4.3 Tehtävien ja työympäristön inhimillisille virheille altistavat tekijät.....	33
4.4 Ennakointi ja virheiden vähentäminen työssä .....	35
4.5 Organisaation inhimilliset tekijät .....	37
4.6 Ennakointi ja inhimillisten virheiden vähentäminen organisaatiossa .....	39
5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	39
5.1 Tutkimusote .....	39
5.2 Konstruktion kehittäminen .....	41
5.3 Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA).....	46
5.4 Menetelmän testaaminen työpajassa .....	51
6 TULOKSEN ESITTELY .....	54

6.1 Työpajan tulokset .....	54
6.1.1 Analyysin sisältö .....	54
6.1.2 Työpajan aikaiset huomiot.....	57
6.1.3 Palaute työpajan päätteeksi .....	57
6.2 Työpajan palautteen perusteella tehtävät muutokset menetelmään .....	58
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO .....	59
LÄHTEET	
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Jokainen meistä tekee virheitä, olimme kuinka koulutettuja, kokeneita tai motivoituneita tahansa. Tällöin virheen sanotaan johtuvan inhimillisestä virheestä. Inhimilliset virheet voivat heikentää työn sujuvuutta ja laatua, mutta ne voivat pahimmillaan johtaa tapaturmiin ja onnettomuuksiin. Työhön liittyvien tekijöiden ymmärtäminen auttaa suunnittelemaan työtä ihmisen näkökulmasta, jolloin voidaan vähentää inhimillisiä virheitä. (Kalakoski ym. 2015, 13-16).

Turvallisuuskriittisten organisaatioiden, kuten ydinlaitosten, toimintaan sisältyy vaaroja tai uhkia, jotka voivat aiheuttaa huomattavia vahinkoja kansalaisille tai ympäristölle. Tämän vuoksi inhimillisiin tekijöihin tulee kiinnittää huomiota. (Reiman & Oedewald 2008, 17.)

Yleisesti voidaan todeta, että noin kahdeksassakymmenessä prosentissa tapauksia on inhimillinen virhe taustalla. Loput tapaukset voidaan lukea johtuvaksi laitteiden toimimattomuudesta tai rikkoutumisesta. Inhimillisistä virheistä noin seitsemänkymmentä prosenttia johtuu organisaatioiden piilevistä heikkouksista ja noin kolmekymmentä prosenttia yksittäisen ihmisen toiminnasta. Ydinlaitalla vuosina 1995–1999 tapahtuneista merkittävistä tapauksista inhimillinen virhe liitettiin kolmeen tapaukseen neljästä. Suomessa vuosittain tapahtuu n. 100 000 - 125 000 tapaturmaa, joista 80–95 %:ssa taustalla ajatellaan olevan inhimillinen tekijä (Department of Energy 2009a, 18; Kalakoski ym. 2015, 13.)

Se, että virhettä sanotaan inhimilliseksi virheeksi, ei pitäisi kuitenkaan pysäyttää virheen syiden selvitystä. On tärkeää ymmärtää, miksi virheitä tapahtuu ja mitkä tekijät niihin vaikuttavat. Mitä paremmin eri tekijät huomioidaan, sitä paremmin virheitä ja niiden seurauksena tapahtuvia onnettomuuksia voidaan ehkäistä.

Opinnäytetyössä tarkastellaan, millaisia inhimillisiä tekijöitä voidaan tunnistaa ydinjätteen loppusijoituksen tuotantolaitteiden operoinnissa. Potentiaalisten inhimillisten virheiden ennakoiminen osana riskien arviointia auttaa kehittämään inhimillisten virheiden torjuntatoimenpiteitä.

### 1.1 Toimeksiantajan esittely ja tutkimuksen taustat

Posiva Oy sijaitsee Olkiluodon ydinvoimalan läheisyydessä Eurajoella. Posiva on perustettu vuonna 1995, ja sen palveluksessa on noin 80 henkeä, joiden lisäksi Teollisuuden voiman kirjoilla on noin 40 henkeä. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2019 81 miljoonaa euroa. (Posivan vuosikertomus 2019.)

Posiva Oy vastaa omistajayhtiöidensä Teollisuuden Voima Oyj:n ja Fortum Power and Heat Oy:n käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta. Loppusijoitus on tarkoitus aloittaa 2020-luvun puolivälissä, ja sitä ennen käytetty ydinpolttoaine varastoidaan Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitoksilla välivarastoissa. (Posivan www-sivut 2021.)

Loppusijoitusratkaisun turvallisuus perustuu moniesteperiaatteeseen (Kuva 1), jossa useat toisiaan varmentavat vapautumisesteet varmistavat pitkäaikaisturvallisuuden. Teknisiä vapautumisesteitä ovat polttoaineen olomuoto, loppusijoituskapseli, puskuribentoniitti ja tunnelien täyttö. (Posivan www-sivut 2021.)

### Vain turvallinen loppusijoitus on mahdollista

- Loppusijoituksen moniesteperiaate:  
Useat toisiaan varmentavat vapautumisesteet varmistavat pitkäaikaisturvallisuuden

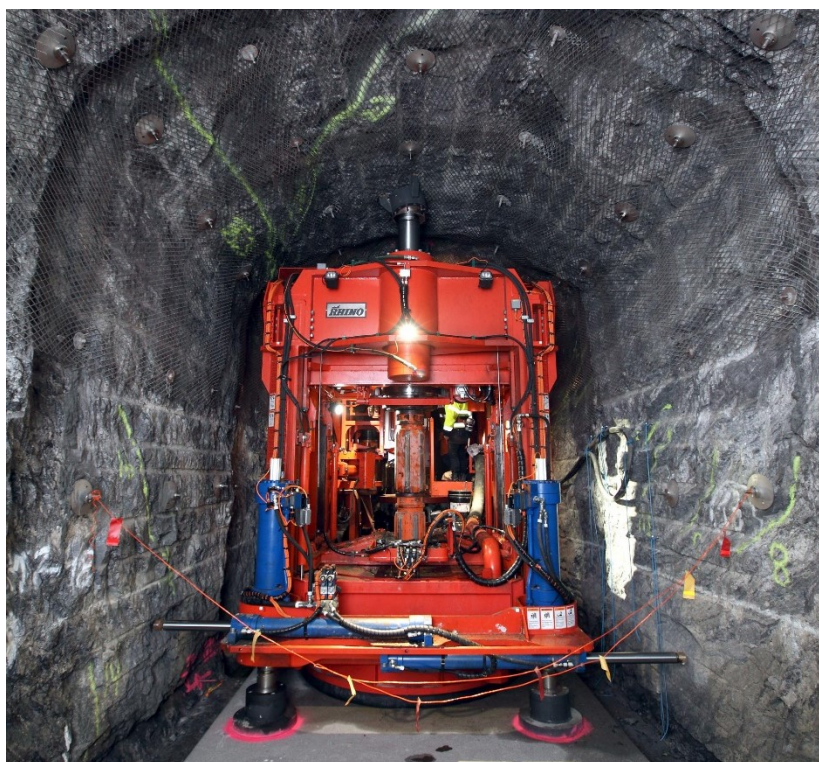


**Posiva**

Kuva 1. Loppusijoituksen moniesteperiaate (Posivan www-sivut, 2021)

Loppusijoitusprosessissa käytetty ydinpolttoaine pakataan kapselointilaitoksessa loppusijoituskapseliin, jonka jälkeen se siirretään 400 metriä maan alla sijaitseviin loppusijoitustiloihin. Loppusijoituksessa käytetään KBS-3V-menetelmää, mikä tarkoittaa, että kapseli asennetaan pystysuoraan reikään. (Posivan [www-sivut 2021.](#))

Maanalainen loppusijoitus toteutetaan loppusijoituksen tuotantolaitteilla, joita ovat Loppusijoitusreikien porausjärjestelmä, Puskurin asennusjärjestelmä, Kapselin siirto- ja asennusajoneuvo sekä Tunnelitäytön asennusjärjestelmä. Loppusijoitusreikien porausjärjestelmällä (DHBM, Deposition Hole Boring Machine) (Kuvassa 2) porataan noin kahdeksan metrin syvyisiä ja halkaisijaltaan 1,75 metrisiä reikiä loppusijoitustunneleihin. (Posivan [www-sivut 2021.](#))



Kuva 2. Loppusijoitusreikien porausjärjestelmän prototyypilaitte poraamassa koeloppusijoitusreikää (Posivan [www-sivut 2021.](#))

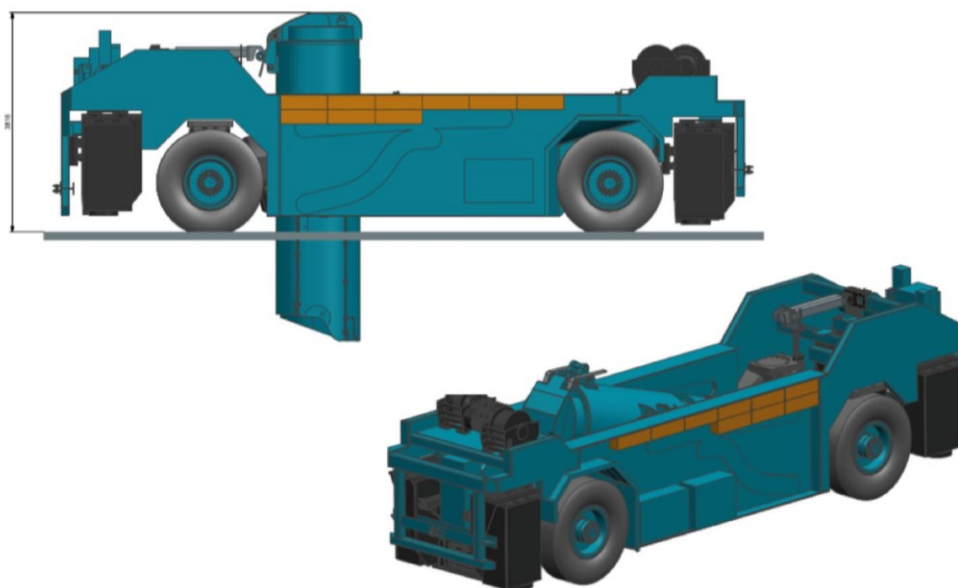
Tämän jälkeen reiän pohjalle asennetaan Puskurin asennusjärjestelmällä (BIS, Buffer Installation System) (Kuvassa 3) kiinteät lohkot sekä lohkot, joissa on reikä kapselille (Posivan [www-sivut 2021.](#))





Kuva 3. Puskurin asennusjärjestelmän prototyypilaite (Posivan www-sivut 2021)

Kapseli asennetaan Kapselin siirto- ja asennusajoneuvolla (KSAA) (Kuvassa 4). Ajoneuvo nostaa kuparikapselin kapselivarastosta säteilysojaputken sisälle, jonka jälkeen putki käännetään vaakatasoon kuljetuksen ajaksi. Ajoneuvo ajaa oikealle paikalle, jonka jälkeen säteilysojaputki nostetaan pystyyn ja kapseli lasketaan puskuri-lohkojen keskelle. Kapselin asennuksen jälkeen Puskurin asennusjärjestelmä asentaa puskurin ylimmät lohkot ja hienojakoisen bentoniitin. (Posivan www-sivut 2021.)



**Posiva**

Kuva 4. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvo (Posivan www-sivut 2021)

Lopuksi loppusijoitustunneli täytetään lattiasta kattoon bentoniitista tehdyllä granuli-seoksella Tunnelitäytön asennusjärjestelmällä (GBIS, granule buffer installation system) (Posivan www-sivut 2021).

Opinnäytetyön taustalla vaikuttaa myös Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (STUK Y/1/2018, 6 §): *"Turvallisuuteen liittyviä inhimillisiä tekijöitä on hallittava systemaattisin menettelyin ydinlaitoksen koko elinkaaren ajan. Inhimilliset tekijät on otettava huomioon ydinlaitoksen ja sen käyttö- ja kunnossapito toiminnan sekä käytöstäpoiston suunnittelussa tavalla, joka tukee työn laadukasta toteutusta ja varmistaa sitä, että ihmisen toiminta ei vaaranna laitoksen turvallisuutta. Inhimillisten virheiden välttämiseen, havaitsemiseen, vaikutusten rajaamiseen ja korjaamiseen on kiinnitettävä huomiota."*

Opinnäytetyön tekemisen aikana edellä mainittujen tuotantolaitteiden hankinta ja suunnittelu on käynnissä tai käynnistymässä, joten tarve tiedolle inhimillisistä tekijöistä laitteiden operoinnissa on ajankohtainen.

## 1.2 Tutkimuskysymys

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten inhimillisiä tekijöitä voitaisiin ennakoida tuotantolaitteiden käytössä. Laitteiden käyttöä ja inhimillisiä tekijöitä tarkastellaan operaattorin näkökulmasta. Opinnäytetyön lähestymistavaksi on valittu konstruktiivinen tutkimus, joten opinnäytetyössä syntyy konstruktio eli ratkaisu, esimerkiksi malli tai työkalu, ennakoimisen avuksi.

Opinnäytetyössä testataan konstruktioita Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon operoinnissa. Testin tarkoituksena on selvittää, toimiiko konstruktio ja millaisia inhimillisiä virheitä ja sitä kautta inhimillisiä tekijöitä voidaan tunnistaa loppusijoituksen tuotantolaitteen käytössä. Pääpaino on löytää inhimillisiä tekijöitä, jotka liittyvät laitteiden operointiin, mutta samalla ne ovat huomioitavissa myös laitesuunnittelussa ja käytön suunnittelussa.

### 1.3 Rajaukset

”Inhimilliset tekijät” on laaja käsite, joten opinnäytetyö on rajattu koskemaan psykologisia tekijöitä, eikä opinnäytetyössä käsitellä ympäristön fysiologisia tekijöitä, kuten melua tai tärinää. Konstruktiossa inhimillisiä virheitä käsitellään laadullisesti.

Konstrukttiivisen tutkimuksen mukaisesti konstruktiota testataan ja parannetaan. Opinnäytteeseen kuuluu yksi testaus- ja parannuskierros. Konstruktion systemaattinen käyttäminen jokaisen laitteen kohdalla ei enää sisälly opinnäytetyöhön. Opinnäytetyöhön ei kuulu myöskään se, että toteutetaanko riskeille laadittuja toimenpiteitä.

## 2 INHIMILLISET TEKIJÄT JA INHIMILLISET VIRHEET

Opinnäytetyön keskeisimpiin käsitteisiin kuuluvat inhimilliset tekijät, inhimilliset virheet ja turvallisuuskulttuuri. Teperi ym. (2020, 6) määrittelevät inhimilliset tekijät seuraavasti: *"Inhimilliset tekijät ovat yksilön toiminnassa, työn piirteissä sekä ryhmän ja organisaation toiminnassa vaikuttavia tekijöitä, jotka voivat joko tukea tai heikentää järjestelmän toimintaa ja siten turvallisuutta."* Inhimillisistä tekijöistä käytetään englanniksi termiä Human Factors. Ydinalalla vastaava termi on Human Performance ja siitä käytetään lyhennettä HU. Raideliikenteen toimijat käyttävät termiä Human and Organizational Factors (HOF).

Inhimilliset tekijät voidaan karkeasti jakaa kahteen kategoriaan: ihmisen sisäisiin tekijöihin ja tekijöihin, jotka vaikuttavat ihmiseen. Ihmisen sisäisiä tekijöitä ovat mm. kognitiiviset toiminnot (huomio, muisti, päättely), toiminnan tasot, virhetyypit, fyysiset ominaisuudet (voima, nopeus, tarkkuus), käyttäytyminen ja taidot (tilannetietoisuus, päätöksenteko, tiimityöskentely), oppimisen tavat ja mielentilat (stressi, väsymys). Tekijöihin, jotka vaikuttavat ihmiseen, voidaan sisällyttää mm. organisaation toiminta (ohjaus, koulutus, kommunikaatio, aikataulutus), välineet (laitteet, menetelmät) ja työskentelykulttuuri (työn resursointi, luottamus, tiimityöskentely). (Shorrock 2017a; Shorrock 2017b.)

Turvallisuuskulttuurin käsitettä käytettiin ensimmäisen kerran Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuuden tutkintaraportissa, kun haluttiin kuvata sitä, että onnettomuus ei johtunut pelkästään teknisistä vioista tai yksittäisten ihmisten tekemistä inhimillisistä virheistä, vaan johtamiseen ja organisaatioon liittyvät tekijät vaikuttivat myös onnettomuuden syntymiseen. Hyvä turvallisuuskulttuuri tarkoittaa sitä, että "*ymmärretään toimintaan liittyvät vaarat ja tiedostetaan niiden riskit, välitetään aidosti turvallisuudesta ja kannetaan siitä vastuuta ja pyritään varmistamaan keinot vaarojen hallitsemiseksi*". (Reiman & Oedewald 2008, 121, 129.)

Onnettomuuksien kohdalla puhutaan inhimillisistä virheistä. Reasonin (1990, 9) mukaan *inhimillinen virhe terminä käsittää kaikki ne tapahtumat, joissa suunniteltu mentaalinen tai fyysinen toimintaketju epäonnistuu tavoitteessaan siten, että epäonnistumista ei voida laskea jonkin ulkoisen tekijän syyksi*. Tämä tarkoittaa sitä, että lähtökohtaisesti ihminen toimii oikein ja järkevästi. Jälkikäteen toiminnan voidaan todeta olleen kyseisessä tilanteessa virheellistä, ja on helppo nähdä mitä olisi pitänyt nähdä ja tehdä. (Reiman & Oedewald 2008, 37.)

Inhimillisiä virheitä voidaan lähestyä kolmesta näkökulmasta: ihmisen, suunnittelun ja organisaation näkökulmista. Ihmisnäkökulmassa virheet johtuvat psykologisista tekijöistä: tarkkaamattomuudesta, unohtamisesta, huonosta motivaatiosta, huolimattomuudesta tai taitojen puutteesta. Ihmisnäkökulma on ollut pisimpään ja eniten esillä. Virheitä pyritään torjumaan julisteilla, palkinnoilla ja rangaistuksilla, toimenpiteiden kehittämisellä sekä koulutuksella. Onnistuneiden toimenpiteiden mittarina voidaan käyttää esimerkiksi tapaturmien määrää. Kuitenkin Reasonin mukaan on helpompaa muuttaa organisaatiota ja työskentelyolosuhteita, kuin yksittäisen työntekijän inhimillisiä ominaisuuksia. (Reason 1999, 223–224.)

Suunnittelun näkökulmasta turvallisuus on keskeinen asia, mikä pitää suunnitella järjestelmään ja kvantifioida mahdollisimman tarkasti. Näkökulman mukaan inhimilliset virheet johtuvat ihmisen ja laitteen välisestä sopimattomuudesta, eli järjestelmän suunnittelijan haasteista suunnitella järjestelmä niin, että se huomioi ihmisen heikkoudet ja vahvuudet. Näkökulma keskittyy ihmisen ja koneen rajapintaan, sekä työntekopaikan

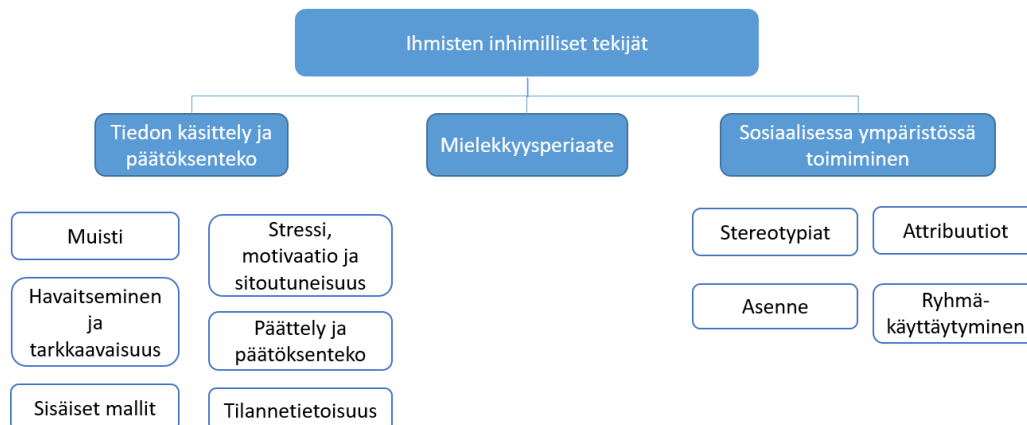
ominaisuuksiin, esimerkiksi ohjaamon suunnitteluun. Käytännössä suunnittelun näkökulma ilmenee erilaisina riskianalyysinä. (Reason 1999, 225.)

Organisaation näkökulmasta tarkasteltuna inhimilliset virheet nähdään seurauksina, ei syinä. Virheet ovat oireita, jotka paljastavat järjestelmissä piilossa olevat heikkoudet. Näkökulmassa turvallisuuteen ja laatuun liittyvien tekijöiden huomioimisella ehkäistään inhimillisiä virheitä. (Reason 1999, 226.)

### 3 IHMISTEN INHIMILLISET TEKIJÄT

Reason & Hobbs (2004, 103–144) jakavat inhimilliset tekijät ihmisten ja tiimien, työn (esim. tehtävät, työkuorma, käyttöliittymät) sekä organisaation inhimillisiin tekijöihin. Opinnäytetyössä tarkastellaan inhimillisiä tekijöitä edellistä mukailien niin, että ihmisten ja tiimien inhimillisiä tekijöitä käsitellään omassa luvussaan, ja työn ja organisaation inhimillisiä tekijöitä omassaan.

Tässä luvussa käsitellään ensin ihmisten inhimillisiä tekijöitä, jonka jälkeen tarkastellaan erilaisia inhimillisiä virheitä ja niiden syitä. Lopuksi vielä käydään läpi inhimillisille virheille altistavia tekijöitä. Ihmisten inhimillisillä tekijöillä tarkoitetaan psykologisia ja kognitiivisia tekijöitä. Tekijät ovat sisäänrakennettuna ihmiseen, ja osaan niistä voidaan vaikuttaa, esimerkiksi asenteeseen, mutta osa on melko pysyviä ominaisuuksia eri yksilöidenkin välillä, esimerkiksi muistin toiminta. Kuvioon 1 on koottu ihmisten inhimilliset tekijät Flink, Reiman & Hiltusta mukailien täydentäen muulla aiheeseen liittyvällä teorialla.



Kuvio 1. Ihmisten inhimilliset tekijät voidaan jakaa erilaisiin osa-alueisiin (mukaihen Flink, Reiman & Hiltunen, 2007, 33-121).

### 3.1 Tiedon käsittely ja päätöksenteko

#### 3.1.1 Muisti

Muistilla on kolme tehtävää: tiedon vastaanotto ja mielessä pitäminen, muistiin painaminen ja muistissa säilyttäminen sekä mieleen palauttaminen. Lyhytkestoisen, eli työmuistin kapasiteetti on  $7 \pm 2$  yksikköä, eli ihminen keskimäärin pystyy pitämään tietoisuudessaan seitsemän numeroa, numerosarjaa, kirjainta tai sanaa. Tämän vuoksi samantyyppinen tieto kannattaa sijoittaa lähelle toisiaan, jolloin ne käsitellään yhtenä yksikkönä. Jos vikailmoitukset on ryhmitelty lähekkäin (12 paneelia, jokaisessa paneelissa 4 x 8 tietoa), operaattori voi nähdä helposti 12 ryhmästä hälytykset sen sijaan, että kävisi listasta läpi 384 yksittäistä mahdollista hälytystä. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 49–54; Strobbhar 2012, 13.)

Pidempikestoiseen muistiin tallentamiseen vaikuttaa kolme seikkaa: ensinnäkin vain osa havainnoimastamme ympäristöstä päätyy tarkasteltavaksi ja toiseksi havainnot tarkastellaan jo opittujen asioiden kautta. Kolmanneksi asian päättyessä pitkäkestoiseen muistiin, se sulautuu osaksi muita tietoja, jolloin asia myös muuttuu aikaisempaa tietoa. Näin jokainen muistaa asiat yksilöllisesti ja silti ihmiset arvioivat, että muut ihmiset ovat samanlaisia kuin he, vaikka edellä mainituista syistä jokainen muistaa tapahtumat omalla tavallaan. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 49–54.)

Stressi, väsymys, nälkä ja häiritsevät äänet vaikuttavat lyhyt- ja pitkäkestoisessa muistissa olevien asioiden mieleen palauttamiseen. Varsinkin stressi voi aiheuttaa "tunnelinään", jolloin ihminen takertuu yhteen asiaan, eikä pysty vastaanottamaan muita ärsykyksiä. Mieleen palauttamiseen vaikuttaa myös kysymyksen asettelu ja se, että pyrimme muistamaan asiat niin, että ne tukisivat positiivista käsitystä itsestämme. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 49–54; Berlin & Adams 2017, 90.)

Muistia tukevat suunnitteluperiaatteet Berlin & Adamsin tiivistäminä (2017, 95–97):

- Minimoidaan lyhytkestoisessa muistissa tarvittava tieto.
- Järjestelmä tai käyttöliittymä on suunniteltu niin, että se näyttää järjestelmän tulevan tilan, esimerkiksi edistymispalkista näkee mitä seuraavaksi tapahtuu.
- Uudet laitteet ja järjestelmät ovat mahdollisuuksien mukaan yhdenmukaisia aikaisempien laitteiden kanssa, esimerkiksi tietojen sijoittelun tai värikoodauksen kanssa.

### 3.1.2 Havaitseminen ja tarkkaavaisuus

Havaitsemisessa ihminen prosessoi ja pyrkii ymmärtämään aistiärsytyksen merkinnän. Erilaiset aistiärsykkeet kilpailevat huomiosta, samoin kuin ajatukset ja tunteet. Aiemmat odotukset, kokemukset ja tiedot vaikuttavat havainnointiin, ja niiden perusteella ihminen valitsee, tulkitsee ja jaottelee informaatiota sekä tuottaa mentaalisia malleja ja odotuksia. Nämä ennakkokäsitykset nopeuttavat tiedon prosessointia, mutta altistavat myös harhoille, esimerkiksi optisille illuusioille. Esimerkki tällaisesta optisesta illuusiosta on jokaiselle tuttu kuva, jossa nähdään joko maljakko tai kaksi toisiaan katsovaa kasvoa. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 39; Berlin & Adams 2017, 91.)

Tarkkaavaisuus tarkoittaa mentaalisten resurssien jakamista tehtävään tai tapahtumaan. Tutkimusten mukaan ihminen voi keskittyä korkeintaan kahteen tai kolmeen asiaan kerrallaan, mutta jo silloin kyky prosessoida ja tulkita ärsykyksiä on vähentynyt. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 39; Department of Energy 2009a, 31; Berlin & Adams 2017, 89.)

Ihminen ei jaksakaan pysyä tarkkaavaisena pitkiä aikoja. Tähän voidaan vaikuttaa sopivan voimakkailla ja tasaisin väliajoin tulevilla ärsykeillä. Jos signaalit tulevat liian tiheästi tai ne näyttävät samalta kuin muutkin signaalit, ne jäävät helposti huomaamatta. Jos tapahtumia taas on liian harvoin, tarkkaavaisuus laskee, mikä lisää riskiä pienten muutosten tai signaalien huomiotta jättämiseen. (Strobhar 2012, 9; Berlin & Adams 2017, 90.)

Havaitsemista tukevat suunnitteluperiaatteet Berlin & Adamsin tiivistäminä (2017, 95–97):

- Näytöillä esitettävä tieto on helppo lukea: suuri kontrasti, sopiva valaistus, riittävä fonttikoko, selkeä fontti ja sopiva katselukulma.
- Jotta informaatiota ei hylätä ennakkokäsitysten tai odotusten takia, varmistetaan että signaalit ovat helposti tulkittavissa ja havaittavissa (keskeinen paikka ilmoitukselle, välkkyminen, koko, värin vaihtuminen).
- Viestiä voi vahvistaa käyttämällä useita aisteja yhdessä tai useampaa viestitapaa yhdellä aistikanavalla (kuva + teksti, muoto + väri).
- Koska lähellä toisiaan olevat aistiärsykkeet tulkitaan helposti tarkoittavan samaa asiaa, käytetään eri toiminnoille erilaista ulkonäköä, kokoa, kestoja, sijaintia tai rakennetta.

Tarkkaavaisuutta tukevat suunnitteluperiaatteet Berlin & Adamsin tiivistäminä (2017, 95–97):

- Minimoi informaation etsimiseen kuluva aika ja ponnistelu, sillä mitä pidempään tiedon etsimiseen kuluu sitä tehottomampaa ja mielenkiinnottomampaa siitä tulee. Usein käytetty tieto tulisi olla helposti saatavilla ja korostettuna, sekä sijoitettu teemoittain.
- Samantyyppiset tai toisiinsa liittyvät informaatiot tulisi olla visuaalisesti linkitetty esimerkiksi nuolien tai laatikoiden avulla.
- Jos samanaikaisesti tarvitsee suunnata huomio suureen määrään tietoa, sitä kannattaa tuottaa useamman aistin kautta. Käytetään eri aisteille erityyppisiä signaaleja.



### 3.1.3 Mentaaliset eli sisäiset mallit

Sisäiset mallit eli skeemat koostuvat käsitteisiin liittyvistä ominaisuuksista. Ihminen voi joko uusia asioita kohdatessaan luoda uusia malleja, tai tietäessään jo jotain asiasta muuttaa vanhaa mallia. Skriptit taas ovat malleja sosiaalisista tilanteista: tiedämme esimerkiksi mitä ravintolassa tapahtuu. Mallit ohjaavat toimintaamme ja kun mallia ei ole, käynnistyy tietoinen tiedonkäsittely ja päätöksenteko. Sisäinen malli voi olla myös virheellinen tai puutteellinen. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 45–48.)

Mentaalisia malleja tukevat suunnitteluperiaatteet Berlin & Adamsin tiivistäminä (2017, 95–97):

- Laitteen statusnäyttö on järjestetty samalla tavalla itse laitteen kanssa.
- Animaatiot, äänenvaihtelut ja muut dynaamiset muutokset tukevat mentaalista mallia, esimerkiksi äänen madaltuminen kuvaa alenevaa liikettä.

### 3.1.4 Päättely ja päätöksenteko

Kaikkea informaatiota ei ole aina saatavilla päätöksen tekemiseksi tai ongelman ratkaisemiseksi, tai se voi olla väärässä muodossa, jolloin ihminen joutuu tekemään tietoista päättelyä. Ihminen ei mielellään pohdi pitkään ja keskittyneesti, koska se vaatii tarkkaavaisuuden ylläpitämistä pitkiä aikoja. Tämän vuoksi ihmiset etsivät tuttuja kaavoja ja ratkaisevat ongelmia hyväksi todetuilla menetelmillä, vaikka ne voivat johtaa väärään arvioon tai päätökseen. Näitä oikopolkuja kutsutaan peukalosäännöiksi, ja niillä pyritään vähentämään mentaalista räsitusta ja nopeuttamaan päätöksentekoa. (Department of Energy 2009a, 32.)

Päättelyn harhoja ovat:

- Tilannetta pidetään itsestäänselvyytenä, eikä faktoja tarkisteta.
- Käytetään ratkaisua, joka on toiminut aiemmin samantyyppisessä tilanteessa (similarity bias).
- Oletetaan, että useimmin käytetty tai viimeimmäksi käytetty ratkaisu toimii (frequency bias).
- Omaa näkemystä tukevat asiat huomioidaan ja näkemyksen kiistävät jätetään huomiotta tai selitetään pois (vahvistamistaipumus, confirmation bias).

- Tyydytään ratkaisuihin, jotka tulevat helposti mieleen ja vaikuttavat pätevältä (saatavuusharha, availability bias). (Department of Energy 2009a, 32.)

### 3.1.5 Stressi, motivaatio ja sitoutuneisuus

Myös stressi, motivaatio ja sitoutuneisuus vaikuttavat ihmisen suoriutumiseen työssä. Työpaikan olosuhteet, työntekijän elämäntilanne, koulutuksen taso, oppimisen vaihe (aloittelija-konkari), kokemus kyseisen tehtävästä, sekä suhde työtovereihin vaikuttavat koettuun stressiin, motivaatioon ja sitoutuneisuuteen. (Berlin & Adams 2017, 110, 113).

Organisaation pitäisi pyrkiä tekemään työpaikasta mahdollisimman motivoiva, kannustava ja sopivasti palkitseva, jotta työntekijät sitoutuvat, ovat luovempia, lojaalimpia ja kehittyvät työssään. Näitä tekijöitä voidaan tarkastella erilaisilla analyyseillä, ja esimerkiksi työssä ilmenevän stressitasojen mittausta voidaan käyttää apuna, kun suunnitellaan työn suorituspaikkaa ja jaetaan resursseja. (Berlin & Adams 2017, 110, 113).

### 3.1.6 Tilannetietoisuus

Hyvä tilannetietoisuus (situation awareness) tarkoittaa sitä, että henkilö lukee tilannetta oikein ja pysty ennakoimaan havaitsemisen, tiedon ja kokemuksen perusteella miten tilanne voi kehittyä lähitulevaisuudessa. Tilannetietoisuutta tarvitaan lähes kaikessa toiminnassa - autolla ajettaessa, kaupungissa navigoitaessa sekä menestyksessä joukkueurheilussa. (Schager 2008, 117–128.)

Eräässä tutkimuksessa paljastui, että suurin osa autoilussa tapahtuneista onnettomuuksista johtui tunnistamisen virheistä, kuten ympäristön seuraamattomuudesta, tarkkaamattomuudesta tai sisäisistä häiriötekijöistä. Ilmailun puolella tutkimuksen mukaan 88 % inhimillisistä virheistä johtuvista onnettomuuksista johtui riittämättömästä tilannetietoisuudesta, ja merenkulun tutkimuksissa vastaava luku oli 71 %. Tilannetietoisuuteen vaikuttavat yksilön ominaisuudet kuten havaitseminen, tarkkaavaisuus, muisti,

odotukset ja päätöksenteko. Tämän vuoksi tilannetietoisuuden taso vaihtelee eri yksilöiden välillä. (Schager 2008, 117–128.)

### 3.2 Mielekkyyssperiaate

Mielekkyyssperiaatteen mukaan ihmistä motivoi pyrkimys saada itselleen tasapainoinen tila, jossa hän kokee itsensä hyväksi ja eheäksi. Mielekkyyden kokemus on tunteiden, ajatusten ja toiminnan yhteistyötä. Ihmisen kokiessa sisäisen tasapainonsa uhatuksi, hän voi käyttää erilaisia puolustusmekanismeja, esim. vähättelyä tai taantumista. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 73–82.)

Mielekkyyssperiaatteen mukaisesti ihminen pyrkii joko mukauttamaan ajatuksensa ympäröivään todellisuuteen tai päinvastoin. Jälkimmäisessä tapauksessa päätökset tehdään vain sellaisten tietojen varassa, joihin uskotaan, mikä johtaa helposti virheellisiin päätöksiin. Tällaisen päätöksen muuttaminen on myös hankalaa, koska ihminen ei halua uskoa tehneensä virhettä. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 81.)

### 3.3 Sosiaalisessa ympäristössä toimiminen

Ihminen on perusluonteeltaan sosiaalinen olento. Ihminen on kuitenkin alttiimpi muiden ihmisten vaikutukselle kuin kuvittelee olevansa. Sosiaalinen ympäristö vaikuttaa ajatteluun, tunteisiin ja käyttäytymiseen. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 84-85.) Seuraavaksi on esitelty joitakin sosiaalisessa ympäristössä toimimisen inhimillisiä tekijöitä.

#### 3.3.1 Stereotypiat

Ihmiset muodostavat stereotypioita, eli ihmisistä muodostettuja sisäisiä malleja, mitkä helpottavat ja nopeuttavat sosiaalisissa tilanteissa toimimista. Tämä vaikuttaa siihen, miten suhtaudumme toisiin, millaisia havaintoja heistä teemme ja millaista käytöstä heiltä odotamme. Stereotypiat myös vaikuttavat myös kohteen käyttäytymiseen itseään toteuttavan ennustuksen kautta. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 91.)

### 3.3.2 Attribuutiot

Attribuutiot eli syyksilukemiset ovat oikopolkuja, joita käytetään tiedostamattomasti, kun arvioidaan miksi jotakin tapahtui ja mikä aiheutti tapahtuman. Ihmiset ajautuvat usein selittämään virheitä hakemalla syyllistä toisista ihmisistä ja heidän ominaisuuksistaan sekä henkilökohtaisista kyvyistä. Jos sama tapahtuu ihmiselle itselleen, usein tapahtumat tulkitaan johtuviksi ulkoisista syistä, esimerkiksi säästä tai epäselvästä tehtävänannosta. Tätä kutsutaan attribuution peruserheeksi (self-serving bias). (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 93–95.)

Tämän takia erilaisissa tapahtumatutkinnoissa on oltava tarkkana, että ei keskitytä pelkästään syyllisen jahtaamiseen vaan tutkitaan myös virheeseen johtaneet syyt. Tapahtumatutkinnoista on kuitenkin syytä erottaa rikosoikeudellinen tutkinta, jossa nimetään syyllinen vastaamaan (rahallisesti) rikkeeseen. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 93–95.)

Muita attribuutiovirheitä ovat:

- Yksimielisyysarha (false consensus effect): muut tietävät samat asiat kuin minä itse ja ovat samaa mieltä kanssani.
- Korrelaatioharha (correlational bias): aliarvioidaan asian esiintymättömyydet ja yliarvioidaan esiintymiset.
- Kuvitellun ylemmyyden harha (illusory superiority): omien kykyjen yliarviointi. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 93–95.)

### 3.3.3 Asenne

Asenne on opittu tapa suhtautua ympäristöön ja toimia siinä. Asenne on jonkin asian arvioimista etukäteen. Asenteeseen vaikuttavat monet tekijät: yksilön kokemukset, muiden ohjeet ja neuvot, kokemukset ja koulutukset sekä ilmapiiri. Asenne voi olla myös vaarallinen, jos henkilö ei tunnista asenteesta aiheutuvia riskejä. Riskialttiita asenteita ovat:

- kun ei haluta vastaanottaa toiminnasta palautetta,
- keskitytään tavoitteeseen pohtimatta riskejä,
- ajatellaan että omalla toiminnalla ei voida vaikuttaa tapahtumiin,

- tunnetaan itsensä haavoittumattomaksi,
- oletetaan, että kaikki on hyvin tai
- uskotaan, että koska kaikki on aiemminkin toiminut, eikä mitään kannata muuttaa. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 91; Department of Energy 2009a, 37.)

### 3.3.4 Ryhmäkäyttäytyminen

Ryhmään kuuluminen vaikuttaa käyttäytymiseen, tunteisiin ja ajatuksiin. Ryhmän normit määrittelevät, miten eri tilanteissa ja rooleissa kuuluu käyttäytyä. Ryhmään kuuluvat yksilöt pyrkivät yhdenmukaisuuteen mielipiteissään, uskomuksissaan ja toiminnassaan muiden kanssa, erityisesti epäselvissä tilanteissa. Pyrkimys yhdenmukaisuuteen johtuu kolmesta ihmisen sisäänrakennetusta ominaisuudesta: miellyttämishalusta, tottelevaisuudesta ja mielipiteiden mukautuvuudesta. Näiden ansiosta ihmiset voivat toimia ryhmissä, mutta ne voivat vaikuttaa ryhmän päätöksentekoon ja tehtävässä onnistumiseen. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 108–109; Department of Energy 2009a, 43.)

Ryhmäkäyttäytymiseen liittyy seuraavia harhoja:

- Ryhmässä käsitellään vain sellaista tietoa, mikä on kaikkien ryhmän jäsenten saatavilla, ja jätetään käsittelemättä tietoa, mikä on vain osan saatavilla. Käytännössä ryhmään ei tuoda vastakkaista tietoa, jotta ryhmän toiminta pysyisi harmonisena. Tämä johtaa aiemman näkemyksen vahvistumiseen, mutta jokin kriittinen tieto voi jäädä huomioimatta.
- Luotetaan henkilöihin, joilla on kokemusta tai koulutusta asiasta.
- Alempana asteikolla oleva henkilö ei halua haastaa ylemmän mielipiteitä, päätöksiä tai toimia.
- Joskus ihmisillä on taipumus seurata ryhmän mukana kiinnittämättä tarkempaa huomiota siihen mitä tehdään.
- Ryhmässä tehdään riskialttiimpia päätöksiä kuin yksittäiset henkilöt tekisivät. Tämä johtuu siitä, että ryhmän jäsenillä on tunne siitä, että ryhmässä vastuu on jakautunut. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 108–109; Department of Energy 2009a, 43.)

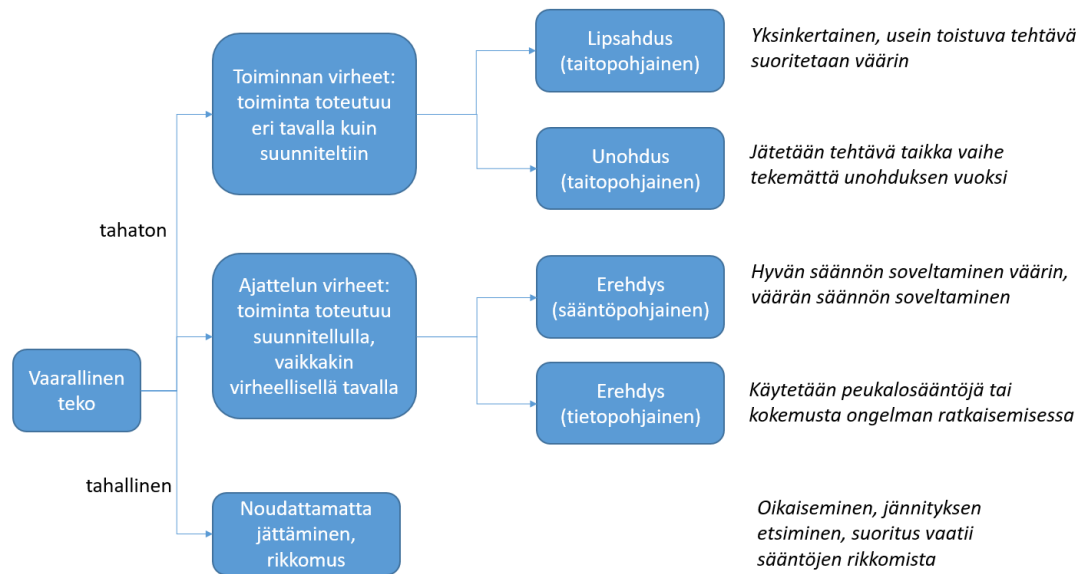
### 3.4 Kognitiivisen toiminnan kolme tasoa ja inhimillisten virheiden virhetyypit

Ihmisten inhimillisiä virheitä voidaan selittää Jens Rasmussenin mallilla kognitiivisen toiminnan kolmesta tasosta. Ihminen toimii jollakin kolmesta tasosta suorittaessaan tehtävää ja jokaiseen tasoon liittyy erilaisia virhemahdollisuuksia.

**Taitopohjainen toiminta:** toiminnot ovat automatisoituneet ja rutinoituneet, eikä niiden tekemiseen tarvitse kiinnittää huomiota ajoittaisia tarkastuksia lukuun ottamatta. Esimerkkejä taitopohjaisesta toiminnasta ovat pyörän ajaminen tai tuttu työsuoritus. Taitopohjaiset virheet tapahtuvat havainnoimisessa, muistamisessa ja tarkkaavaisuudessa. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 189–190.)

**Sääntöpohjainen toiminta:** ihmisellä on toimintaan sopiva sääntö joko mielessään tai kirjallisena, jota hän noudattaa. Säännöt ovat tyypillisesti ”jos tapahtuu X, tee Y”. Joskus kuitenkin henkilö käyttää oikeaa sääntöä sellaisessa tilanteessa johon se ei sovi, mutta säännöt voivat olla myös vääriä. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 189–190.)

**Tietopohjainen toiminta:** jos ihmisellä ei ole uudessa tilanteessa sääntöä, jota noudattaa, ihminen tekee tietoista päättelyä tietämiensä asioiden ja kokemuksen perusteella. Välillä päättely aiemman tiedon pohjalta onnistuu, välillä taas tietoa ei voida yleistää koskemaan toista asiaa. Myös aiemmin mainitut ihmisen ominaisuudet (muisti, päätöksenteko) vaikuttavat päättelyn onnistumiseen. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 189–190.)



Kuvio 2. Inhimilliset virheet Rasmussenin ja Reasonin teorioiden mukaan (mukaillen Healt & Safety Executiven www-sivut 2021).

Reason jakaa vaaralliset teot kahteen luokkaan, tahattomiin ja tahallisiin. Tahattomissa teoissa teon suorittaminen poikkeaa tarkoitetusta lopputuloksesta. Tahattomat teot voidaan jakaa vielä toiminnan ja ajattelun virheiksi. Toiminnan virheitä kutsutaan lipsahduksiksi (slip) tai unohduksiksi (lapse). Esimerkkejä lipsahduksista ovat katkaisijan kääntäminen ylös, vaikka piti kääntää alas tai lukeman tarkistaminen väärästä laitteesta (oikea toiminta väärälle laitteelle). Esimerkkejä unohduksista ovat vilkun näyttämättä jättäminen risteyksessä tai autolla liikkeelle lähteminen, kun sivuovi on jäänyt auki. Lipsahdukset johtuvat siitä, että huomio on kiinnittynyt toiseen asiaan tehtävää suorittaessa tai huomio herpaantuu keskeytyksestä. Unohdukset johtuvat lyhytkestoisen muistin hetkittäisistä ongelmista. Nämä virhetyypit tapahtuvat Rasmussenin mallin taitopohjaisen toiminnan tasolla. Kuvioon 2 on kuvattu Rasmussenin ja Reasonin teorioiden yhteys. (Reason & Hobbs 2004, 39–40, Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 189–190.)

Toiminnan virheet käyvät usein kokeneille, koulutetuille ja motivoituneille henkilöille, joten sen vuoksi lisäkoulutuksesta ei juurikaan ole hyötyä. Toiminnan virheitä voidaan ehkäistä käyttäjäystävällisellä ja johdonmukaisella suunnittelulla (esim. sama väri tarkoittaa aina samaa asiaa), erilaisilla tarkistuslistoilla ja muistutuksilla, toisen

henkilön tekemällä varmistuksella, häiriöiden ja keskeytysten minimoimisella tai varoituksilla, jotka auttavat huomaamaan virheet. (Healt and Safety Executiven [www-sivut 2021.](#))

Ajattelun virheissä teko suoritetaan suunnitellusti, mutta suunnitelma on puutteellinen päämäärän saavuttamiseksi. Näitä kutsutaan erehdyksiksi (mistake). Tämä virhetyyppi voi tapahtua joko sääntöpohjaisen tai tietopohjaisen toiminnan aikana. Erehdyksiin liittyy myös aiemmin teoriaosuudessa esitellyt tiedonkäsittelyn haasteet. Sääntöpohjaisessa virheessä ihminen käyttää väärää sääntöä tilanteessa tai hyvää sääntöä väärässä tilanteessa, esimerkiksi ihminen ei välitä hälytyksestä, koska aikaisemmatkin hälytykset ovat olleet vääriä. Tietopohjainen virhe taas voi syntyä, kun ihmisellä ei ole valmiita sääntöjä mitä noudattaa, jolloin ongelman ratkaisemisessa käytetään ns. peukalosääntöjä tai kokemusta. Esimerkki tietopohjaisesta virheestä on prosessin virheen virheellinen tulkinta ja siitä johtuvat väärät toimenpiteet. (Reason & Hobbs 2004, 39–40, Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 189–190.)

Ajattelun virheiden ehkäisemiseksi voidaan käyttää seuraavia toimenpiteitä: varaudutaan "mitä jos"-tilanteisiin, harjoitellaan hätätilanteita, laitteet suunnitellaan tukemaan mentaalista mallia, päätöksenteossa käytetään työkaluja (esim. vuokaaviot), osaamista ylläpidetään järjestelmän- ja päätöksenteon koulutuksilla, sekä organisaatio kehittyy virheistä oppimalla. (Healt and Safety Executiven [www-sivut 2021.](#))

Tahallisiin tekoihin kuuluvat rikkomukset (violations), jotka syntyvät, kun poiketaan kirjoitetuista tai kirjoittamattomista säännöistä ja toimintatavoista. Teot ovat tarkoituksellisia, mutta yleensä eivät pahaa tarkoittavia. Rikkomukset voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: 1) osa säännöistä jätetään noudattamatta, jotta työ sujuisi helpommin tai nopeammin, 2) sääntöjä rikotaan esim. jännitystä etsiessä tai kun on tylsää, sekä 3) tehtävää ei voi suorittaa ilman rikkomuksia. (Reason & Hobbs 2004, 55, 106; Reason 2008, 51–56.)

Rikkomuksia voidaan ehkäistä parantamalla riskien havaitsemista (esim. ohjeessa varoitukset), lisäämällä kiinnijäämisen todennäköisyyttä, poistamalla oikaisemisen syitä



(toimimattomat ohjeet, epärealistinen työkuorma, ylimääräiset säännöt), sekä kehittämällä organisaation turvallisuuskulttuuria, jossa sääntöjen noudattamista jättämisestä on tullut sosiaalisesti paheksuttavaa. (Health and Safety Executiven www-sivut 2021.)

Organisaation näkökulmasta keinot sääntöjen rikkomisten vähentämiseksi ovat koulutetut ja osaavat lähiesimiehet, jotka pystyvät heti tapahtumapaikalla toimimaan ja ohjeistamaan toimintaa, silloin kun turvallisuusohjeet eivät ole saatavilla tai niitä ei voida käyttää siinä tilanteessa. Niissä tilanteissa, kun toimitaan ilman suoraa esimiehen valvontaa, on tärkeää, että työntekijällä on hyvä käsitys turvallisuuskulttuurista: toiminta on mieluummin sääntöjen mukaista kuin lopputulokseen tähtäävää, ja riskien ennakointiin kannustetaan. (Reason 2008, 67–68.)

Edellä mainitun virheiden luokittelun lisäksi virheitä voidaan jaotella myös tekemisvirheisiin ja tekemättä jättämisvirheisiin:

- tarpeellista tai suunniteltua toimintaa ei suoriteta suunniteltuna ajankohtana
- tehdään suunnittelematon tai suoritukseen kuulumaton teko
- toistetaan teko, joka on jo kertaalleen tehty
- oikeat teot suoritetaan väärälle kohteelle
- oikeat teot suoritetaan väärässä järjestyksessä
- oikeat teot suoritetaan väärään aikaan
- kahden eri tavoitteeseen pyrkivän toiminnan tahaton sotkeutuminen. (Reason 2008, 31.)

### 3.5 Ihmisen suoritukseen vaikuttavat tekijät

Ihmisen suoritukseen vaikuttaa tekijöitä, jotka itsessään eivät ole inhimillisiä virheitä, mutta jotka voivat edesauttaa inhimillisten virheiden syntymistä. Näistä tekijöistä käytetään englanniksi nimiä Performance Influencing Factors (PIF) tai Performance Shaping Factors (PSF). Kun näihin tekijöihin vaikutetaan, pienennetään inhimillisten virheiden syntymisen todennäköisyyttä. Suunnittelussa huomioimisen lisäksi näitä tekijöitä voidaan käydä läpi esimerkiksi työn aloituskokouksessa. (Department of Energy 2009a, 62–73.)

### **Inhimillisille virheille altistavat ihmisen ominaisuudet**

1. Stressi: mielen vastaus yksilön kokemaan terveyden, turvallisuuden, itsetunnon tai toimeentulon uhkaan. Stressi voi näkyä esimerkiksi ahdistuksena, huomion heikentymisenä, työmuistikapasiteetin pienenemisenä, huonona ongelmanratkaisukykyinä tai muutoksena tarkasta nopeaksi.
2. Totutut tavat: työ tehdään aina samalla tavalla, mikä johtuu samanlaisina toistuvista työtehtävistä ja kertyneestä kokemuksesta.
3. Oletusten tekeminen ilman faktojen tarkistamista: Oletukset usein perustuvat aikaisempiin kokemuksiin ja niihin voi vaikuttaa virheellinen mentaalinen malli.
4. Liiallinen itsevarmuus ("polyanna-efekti"): oletetaan, että kaikki on maailmassa hyvin ja asiat etenevät odotetusti. Myös 7–9 työskentelyvuoden jälkeen ilmenevä itsevarmuus, jolloin ei tiedosteta vaaroja. Aikaisempien kokemusten perusteella aliarvioidaan tehtävän vaikeus tai monimutkaisuus.
5. Taipumus nähdä vain se mitä mieli on virittynyt näkemään (ennakko-olettamus): Mielentilasta poikkeava informaatio voi jäädä havaitsematta, tai huomataan jotain mitä ei ole olemassa. Vaikeuttaa omien virheiden havaitsemista.
6. Vaillinainen näkemys riskeistä: Henkilö arvioi vaaroja perustuen epätäydelliseen tietoon tai oletuksiin.
7. Mentaaliset taipumukset: henkilöllä on taipumus etsiä tai nähdä malleja tuntemattomissa tilanteissa.
8. Rajoittunut lyhytaikainen muisti: henkilö pystyy pitämään mielessään korkeintaan 2–3 informaatiokanavaa tai 5–9 muistettavaa yksikköä samanaikaisesti. (Department of Energy 2009a, 62–73.)

### **Inhimillisille virheille altistavat yksilön ominaisuudet**

1. Vieras tehtävä tai ensimmäinen suorituskerta: tehtävän vaatimuksia ei tiedosteta.
2. Tiedon puute (virheellinen mentaalimalli): tekijällä ei ole tietoa (faktatieto, käytännön tieto) tehtävän suorittamiseksi.
3. Uusi tekniikka, jota ei ole aiemmin käytetty: uuteen työtapaan liittyvät puutteet tiedoissa tai taidoissa.
4. Epätarkat kommunikaation tavat: kommunikaatiotavat aiheuttavat, että kaikilla ei ole tarkkaa tietoa tehtävästä.

5. Taidon puute: tehtävä suoritetaan epäsäännöllisesti, jolloin tieto siitä rappeutuu.
6. Heikko ongelmanratkaisukyky: henkilö toimii tuntemattomissa tilanteissa suunnitelmattomasti tai käyttää paljon yritys-erehdys-menetelmää.
7. Turvaton asenne kriittisiin tehtäviin: asenne, jossa ei kiinnitetä huomiota tehtävään liittyviin vaaroihin. Voi johtua esimerkiksi tehtävän vaatimuksista, tai yksilön asenteesta.
8. Sairaus, väsymys, vamma: fyysisten tai psyykkisten kykyjen rappeutuminen. (Department of Energy 2009a, 62–73.)

### 3.6 Ennakointi ja virheiden vähentäminen henkilötasolla

Henkilötasolla virheitä voi vähentää ensisijaisesti sillä, että henkilöitä koulutetaan virheitä aiheuttavista tekijöistä. Työntekijän on esimerkiksi hyvä tiedostaa, että muistiin ei kannata aina luottaa, ja keskeytykset, paine, väsymys, tuntemattomat työt, epäselvyydet, ja rutiinit vaikuttavat työsuoritukseen. (Reason & Hobbs 2004, 103–105.)

Työssä, joka voi keskeytyä, voidaan muistin tukena käyttää erilaisia apuvälineitä. Esimerkkejä tällaisista keinoista on suorituksen kuittaaminen vaihe vaiheelta, merkinnän tekeminen siihen missä vaiheessa on menossa tai ylimääräisten vaiheiden peittäminen. (Reason & Hobbs 103–105).

Henkilöitä voidaan myös kouluttaa käyttämään erilaisia menetelmiä virheiden vähentämiseksi. Niiden tarkoituksena on auttaa yksittäistä työntekijää pitämään työtilanne positiivisesti hallussa, niin että "kaikki tapahtuu juuri niin kuin on tarkoitus tapahtua, eikä mitään muuta tapahdu". Ydinalalla puhutaan HU-työkaluista. Kaikki työkalut hidastavat aluksi toimintaa, mutta aktiivisesti käytettyinä työkalut lopulta nopeuttavat toimia ehkäisemällä virheiden aiheuttamia viivästyksiä. (Department of Energy 2009b, 5-31.)

HU-työkaluja ovat mm. seuraavat:

- Tehtävä käydään läpi etukäteen, jolloin tunnistetaan kriittiset tehtävät ja mahdolliset riskit, sekä tilannetietoisuus paranee.

- Kohteella tehtävässä arvioinnissa tutustutaan ympärillä oleviin välineisiin, työympäristöön, riskeihin ja tiimin jäseniin, mikä parantaa tilannetietoisuutta.
- Kyseenalaistava asenne tarkoittaa sitä, että ihminen pysähtyy huomattessaan jonkin epäkohdan ja selvittää sen.
- Omaa työtä voi varmentaa PATA-periaatteen avulla. PATA tulee sanoista pysähdy, ajattele, toimi, arvioi. Työkalu auttaa yksilöä pysähtymään ja keskittymään edessä olevaan tehtävään, sekä arvioimaan saavutettua lopputulosta.
- Käytetään kirjoitettuja ohjeita, mutta jos ei voida jatkaa turvallisesti tai niin kuin on ohjeistettu, pysähdytään, selvitetään ja arvioidaan tilanne.
- Varmennettu kommunikointi tarkoittaa sitä, että viestin tärkeät osat toistetaan takaisin sanojalle, jolloin voidaan varmistua, että viesti on ymmärretty samalla tavalla. (Department of Energy 2009b, 5-31.)

Ilmailualalla tiimitason ongelmiin kuuluvat mm. tehtävien ja vastuiden delegoimisen ongelmat, puutteellinen valvonta ja työnohjaus, kommunikaatio-ongelmat, ongelmat tai haluttomuus haastaa epäsovivat työtavat tai kokemattomampien työntekijöiden haluttomuus korjata heitä ylempänä olevien henkilöiden virheitä. Ilmailuteollisuudessa tähän on vastattu luomalla Crew Resource Management (CRM) -koulutus. Koulutus kestää kaksi päivää ja se sisältää oppeja mm. kommunikaatiosta, ryhmäytymisestä ja johtamisesta, työkuorman hallinnasta sekä teknisestä osaamisesta. (Reason & Hobbs 113–116).

Tiimityöskentelyn virheiden vähentämiseksi voidaan käyttää seuraavia HU-työkaluja (Department of Energy 2009b, 33–69):

- Työn aloituskokouksessa käydään läpi tehtävät ja kriittiset askeleet, osallistujat ja vastuuhenkilöt, vaarat ja turvallisuuden parantamiseksi tehdyt toimenpiteet.
- Parityöskentelyllä varmistetaan, että suoritetaan oikea tehtävä oikealle kohteelle. Parityöskentelyssä kaksi henkilöä työskentelee rinnakkain. Molempien pitää olla samaa mieltä siitä, että seuraava toimenpide on oikea kyseiselle kohteelle. Työnsuorittaja suorittaa toimenpiteen, jonka jälkeen tarkastaja vahvistaa toimenpiteen olleen oikea ja oikealle kohteelle.
- Riippumattomassa varmennuksessa kaksi erikseen ja itsenäisesti työskentelevää henkilöä suorittavat varmennuksen. Ensin työnsuorittaja suorittaa omat toimenpiteensä, jonka jälkeen varmentaja suorittaa omat toimenpiteensä.

- Vuoronvaihdon menettelyillä varmistetaan tietojen tehokas siirtäminen eri vuorojen välillä.
- Työn lopetuskokouksessa keskustellaan mitkä asiat sujuivat hyvin ja missä on vielä kehitettävää.

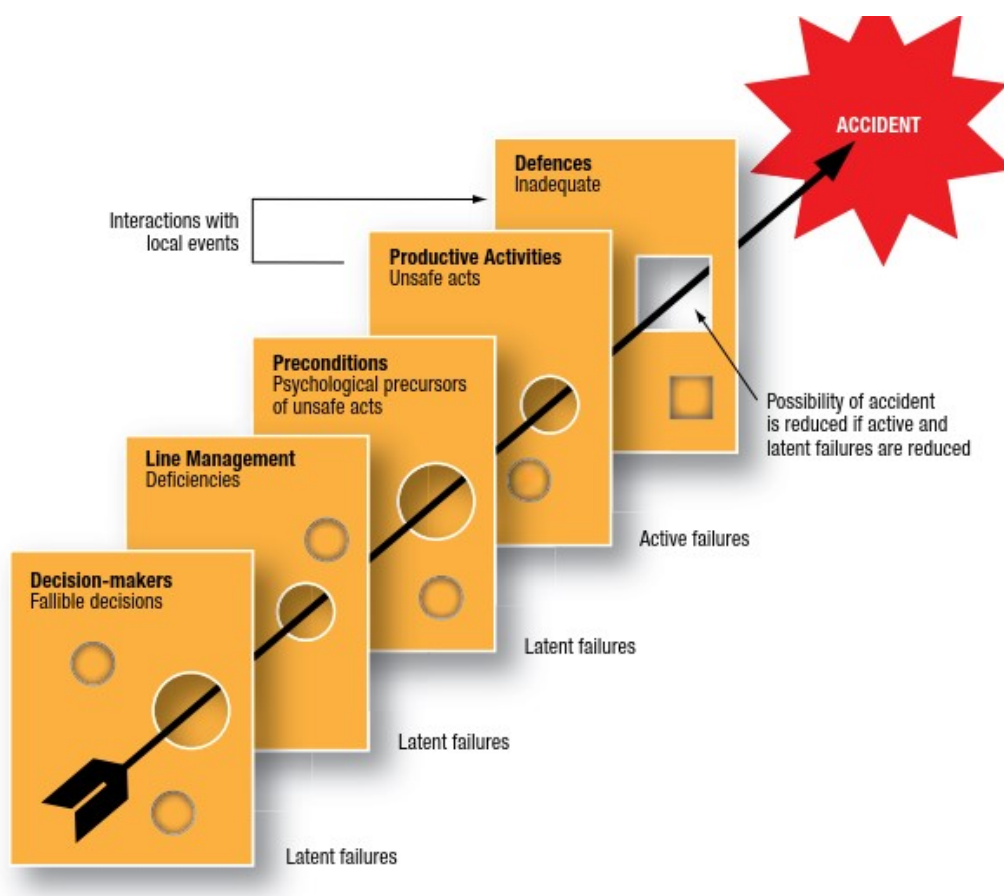
## 4 TYÖN JA ORGANISAATION INHIMILLISET TEKIJÄT

Työn piirteisiin on kerätty tietoa ihmiseen vaikuttavista inhimillisistä tekijöistä. Organisaation toimintaan liittyvistä inhimillisistä tekijöistä on pyritty keräämään oleellisia asioita laitteiden käytön suunnittelun kannalta. Tärkein seikka on kuitenkin ymmärtää, että myös organisaatiossa tehtävien päätökset vaikuttavat käyttäjään.

### 4.1 Välittömät virheet ja piilevät heikkoudet

Inhimilliset virheet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: välittömät virheet (active failures) ovat sellaisia, joiden vaikutukset voidaan havaita melko välittömästi ja piilevät heikkoudet (latent conditions) ovat sellaisia, joiden haitalliset vaikutukset voivat olla piilossa järjestelmässä pitkiäkin aikoja, kunnes ne tulevat muiden tekijöiden yhteisvaikutuksessa näkyviksi. Yhteisvaikutuksen voi käynnistää välitön virhe, tekninen vika tai vaikka laitteen epätyypillinen moodi. Välittömät virheet yhdistetään usein monimutkaisten järjestelmien eturivin työntekijöihin: lentokoneiden pilotit, laivojen päällystö tai ydinvoimalan operaattorit. Piilevät heikkoudet taas yhdistetään tekijöihin, jotka eivät ole suorassa vuorovaikutuksessa järjestelmän kanssa. Piilevät heikkoudet voivat aiheutua suunnittelijoiden, johtajien, päälliköiden tai huoltajien teoista tai päätöksistä. Piileviä heikkouksia voi esiintyä johtamisen prosesseissa, esimerkiksi strategiassa, menettelytavoissa, työnohjauksessa, koulutuksessa, resursoinnissa tai organisaation arvoissa, esimerkiksi asenteissa ja oletuksissa. (Reason 2002, 173; Department of Energy 2009a, 23).

Reason (2002, 201) on kuvannut piilevien heikkouksien synnyttämiä onnettomuuksia ns. juustomallilla (Swiss Cheese Model). Reasonin mukaan vastaavalla mallilla voitaisiin kuvata myös mekaanisen tai teknisen vian syntymistä. Mallissa (Kuviossa 3) erilaiset suojausmekanismit on jaettu tasoihin. Etualalla olevilla tasoilla olevat reiät kuvaavat piileviä heikkouksia ja taemmilla tasoilla olevat välittömiä virheitä. Onnettomuus tapahtuu, jos eri tasoilla olevat järjestelmän piilevät heikkoudet sekä toiminnan välittömät virheet läpäistään.



Kuvio 3. Juustomalli eli Swiss Cheese Model (Taylor 2012, 10).

Mallissa on mukana välittömät virheet, mikä tarkoittaa, että onnettomuuden tapahtuessa on myös käyttäjätaso läpäisty. Jos ajatellaan, että ihmisen olisi viimeistään pitänyt pysäyttää onnettomuus, voi tutkinta pysähtyä, eikä piileviä heikkouksia selvitetä. Malli myös olettaa, että eri tasoilla olevat puolustusmenetelmät toimivat melko itsenäisesti, jolloin ei tasojen vaikutuksia toisiinsa ei huomioida. Eri tasoilla olevat reiät eli virhemahdollisuudet voivat kuitenkin muuttua esimerkiksi tuotannon vaatimusten tai resurssien olemassaolon mukaisesti, mutta niiden vaikutuksia toisiin tasoihin ei

välttämättä oteta huomioon. (Woods, Dekker, Cook, Johannesen & Sarter 2010, 58–59, 79.)

Mallia on kritisoitu siitä, että vaikka se ottaa huomioon piilevät heikkoudet, mallin mukaan jossakin on vikaa, kun virhe tapahtuu. Woods ym. (2010, 80–82) esittävät esimerkin siitä, kuinka yksittäisiä reikiä paikkaamalla ei välttämättä voida ehkäistä ongelmia. Esimerkkinä käytetään Helios Airwaysin lentoa 522. Turvallisuuskulttuurin voitiin sanoa olevan niin korkea kuin mahdollista: lentoyhtiö oli selvittänyt eri tasoilla tapahtuvia virhemahdollisuuksia ja tukkinut niitä parhaansa mukaan (lentäjien koulutus, mekaanikkojen koulutus, työtavat jne.). Kuitenkin yllättävässä tilanteessa, lentokoneen matkustamon paineen laskiessa, kapteenilla ja maassa olevalla mekaanikolla oli kommunikaatiovaikeuksia. Euroopan laajuiset standardoidut vaatimukset miehislle olivat johtaneet siihen, että eri tehtäviin oli palkattu eri kansallisuuksista ihmisiä. Kun yllättävässä tilanteessa perussanasto ei enää riittänyt ja stressaava tilanne loi haastetta sanaston mieleen palauttamiseen, eivät kapteeni ja mekaanikko pystyneet selvittämään ongelmaa, jolloin lentokone törmäsi vuoreen.

#### 4.2 Tehtävien ja työympäristöjen inhimilliset tekijät

Rikkomuksista puolet johtuu asenteesta ja sääntöjen noudattamatta jättämisestä, mutta toinen puoli johtuu toimimattomista työohjeista: ohjeissa oli väärää informaatiota, ne eivät soveltuneet tehtävään, olivat vanhentuneita tai suoritukseen ei ollut olleenkaan kirjattu ohjeita. Eräässä petrokemian tehtaassa tehdyssä tutkimuksessa selvisi, että kriittisissä töissä 80 %:ssa käytettiin työohjeita, ongelmien ratkaisussa 30 %:ssa ja vain 10 %:ssa huoltotöissä. Tutkimuksen mukaan myös epävirallisia toimintaohjeita oli kirjattu ylös, ja 56 % operaattoreista ja 51 % esimiehistä käytti näitä epävirallisia ohjeita. Syyksi työohjeiden käyttämättömyydelle kerrottiin, että jos ohjeita noudattaisi kirjaimellisesti, työtä ei pystyisi tekemään. Syiksi kerrottiin myös, että työohjeista ei oltu tietoisia, ihmiset mieluusti luottivat omiin kykyihinkin ja kokemukseen, tai ihmiset oletivat tietävänsä työohjeet. (Reason 2008, 58–59.)

Erityisesti kunnossapidossa tapahtuneista virheistä suuren osan on liitetty inhimillinen tekijä. INPO:n juurisyysanalyysissa vuodelta 1983–84 inhimilliset tekijät voidaan liittää 42–68 % ydinlaitosten huolloissa ja testauksissa tapahtuneisiin virheisiin. Saman tutkimuksen mukaan laitoksen normaaliin käyttöön liittyy inhimillinen tekijä 8–30 % tapauksista ja epätyypillisiin ja hätätilanteisiin 1–8 %. Suurin osa kunnossapidon virheistä oli seurausta siitä, että jokin vaihe jäi tekemättä asentamisen tai kokoonpanon aikana. (Reason & Hobbs 2004, 1–7; Reason 2008, 116.)

Laitesuunnittelun tueksi opinnäytetyön toimeksiantajalle on tulossa Human Factors Engineering -ohjeistus, joten tähän opinnäytetyöhön on otettu mukaan vain muutama useimmin esille nouseva seikka automaatioon liittyen: Automaation ajatellaan usein helpottavan ihmisen työskentelyä. Kuitenkin mitä automatisoidummat järjestelmät, sitä enemmän ihmisoperaattoreiden tehtäväksi jää valvoa järjestelmiä ja puuttua niihin, kun tekniikka pettää. Automaatio voi synnyttää vaillinaisen tai virheellisen mielikuvan laitteen toiminnasta, eli ihminen ei tiedä kaikilta osin, miten laite todellisuudessa toimii. Ihmisen voi olla hankala valvoa järjestelmiä, sillä järjestelmät muuttuvat koko ajan monimutkaisemmiksi, ja usein samalla niiden käytön harjoittelu jää vähäisemmäksi, mikä johtaa siihen, että operaattori ei pysty ylläpitämään tilannetietoisuutta ohjatessaan järjestelmää. (Woods ym. 2010, 143–157; Grote 2011, 23–30.)

Automaatiossa haasteita inhimillisten tekijöiden näkökulmasta on erityisesti se, että valtavaa tietomäärää "katsotaan avaimenreiän läpi". Tämä tarkoittaa, että tietoa katsotaan yhdeltä näyttöpäätteeltä, jolloin tieto on jaettu eri paikkoihin, esimerkiksi eri ohjelmiin tai ohjelman sisäisiin välilehtiin. Varsinkin kriittisissä tilanteissa ei ole aikaa etsiä tietoa eri paikoista. (Woods ym. 2010, 158–170.)

Automaation haasteena nähdään myös se, että automaatiolla on eri moodeja, eli työskentelytiloja. Moodi saattaa olla eri kuin missä ihminen kuvittelee olevansa, jolloin ihminen antaa käskyjä koneelle väärillä oletuksilla. Moodi on myös saattanut vaihtua ihmisen huomaamatta, esimerkiksi vikatilanne on muuttanut moodin toiseksi, mutta ihminen ei välttämättä huomaa tätä. (Woods ym. 2010, 172–186.)

Automaatiosta huolimatta ihmisen täytyy käyttää muistiaan työskennellessään koneiden kanssa. Ihmisen täytyy esimerkiksi muistaa mitä eri moodit tarkoittavat, missä



tilanteissa niitä käytetään ja mitä kyseisen moodin käyttämisestä seuraa. (Woods ym. 2010, 143–157.)

#### 4.3 Tehtävien ja työympäristön inhimillisille virheille altistavat tekijät

Tehtäviin ja työympäristöihin liittyy myös inhimillisille virheille altistavia tekijöitä:

##### **Inhimillisille virheille altistavat tehtävän vaatimukset**

1. Aikapaine: tehtävä vaatii kiireellistä tai nopeaa suoritusta.
2. Suuri työkuorma: tehtävä vaatii pitkäkestoista keskittymistä.
3. Useat samanaikaiset tehtävät: suoritetaan samanaikaisesti kahta tai useampaa tehtävää joko fyysisesti tai mentaalisesti, mikä voi aiheuttaa huomion jakaantumisen tai mentaalista ylikuormittumista.
4. Toistuvat tehtävät/monotonisuus: työ toistuu samanlaisena, jolloin siihen ei kiinnitä huomiota.
5. Peruuttamattomat tehtävät: kun jokin valinta on tehty, sitä ei voi perua.
6. Tulkinnan onnistuminen: tilanne vaatii esimerkiksi lisätietoja kentältä, mikä voi johtaa väärinymmärrykseen tai väärän säännön tai ohjeen käyttämiseen.
7. Epäselvät tavoitteet, roolit tai vastuut: työntekijä ei tiedä työnsä tarkoitusta tai odotuksia. Työntekijä ei tiedosta rooliaan ja vastuutaan suhteessa muihin työntekijöihin.
8. Puuttuvat tai epäselvät mallit: puuttuvien mallien takia seurataan muiden mallia niin hyvässä kuin pahassa. (Department of Energy 2009a, 67.)

##### **Inhimillisille virheille altistava työympäristö**

1. Keskeytykset: työ keskeytyy, jolloin huomio täytyy suunnata uudelleen.
2. Muutokset rutiineissa: muutos käytettyihin rutiineihin, odottamaton tehtävä tai työskentelyolosuhteet, jotka häiritsevät työntekijän mielikuvaa tehtävästä tai laitteen tilasta.

3. Hämmäntävät näytöt ja ohjaimet: hämmennystä aiheuttavat tai muistia kuormittavat näytöt ja ohjaimet, esim. puuttuva tieto, epälooginen järjestys, epäselvä yhteys prosessiin.
4. Kiertotiet: laite tai ohjelmointi vaatii kiertoteitä tai epästandardeja käyttötapoja toimiakseen.
5. Piilotetut järjestelmän palautteet: järjestelmä ei näytä muuttunutta tilaa toimien jälkeen.
6. Työvälineiden odottamattomat tilat: laite tai järjestelmä menee tilaan, jota ei normaalisti käytetä.
7. Puuttuva instrumentointi: järjestelmän tai laitteen tilasta ei saada tietoa puutteellisen instrumentoinnin vuoksi.
8. Persoonallisuuksien erot: kahden tai useamman yksilön persoonallisuuksien erot häiritsevät tehtävään keskittymistä. (Department of Energy 2009a, 67.)

Ilmailussa puhutaan inhimillisten tekijöiden kohdalla "likaisesta tusinasta". Nämä ovat kaksitoista merkittävintä tekijää, jotka altistavat inhimillisille virheille. Skybraryn artikkelin *The Human Factors "Dirty Dozen"* (2020) mukaan tekijät ovat määrittelemättömässä järjestyksessä kommunikoinnin puute, keskeytykset, resurssien puute, stressi, riskien tunnistamattomuus, tiimityön puute, paine, kommunikoinnin haasteet, puutteellinen tieto, väsymys, tilannetietoisuuden puute ja työpaikan normit.

Työterveyslaitoksen SUJUVA-hankkeessa saatiin tulokseksi, että inhimillisiä virheitä voidaan vähentää kiinnittämällä seuraaviin tekijöihin huomiota:

- Keskittymistä häiritsevät tekijät poistetaan tai vähennetään minimiin, eli kuluneuvot ja muut liikkuvat kohteet, joita pitää varoa, sekä tarpeettomat puhe- lut, viestit ja muut keskeytykset. Työpiste tulisi rakentaa mahdollisimman häiriöttömäksi sekä suunnitella työmenetelmät niin, asioita ei tarvitse keskeyttää tai kiinnittää huomiota moneen asiaan samanaikaisesti.
- Työ tulisi suunnitella niin, että työtehtävälle on varattu riittävästi aikaa.
- Huolehditään, että työpäivät eivät veny pituutta ja taukoja pidetään riittävästi. (Kalakoski ym. 2015, 46–48.)

#### 4.4 Ennakointi ja virheiden vähentäminen työssä

Tehtävistä ja työprosesseista kannattaa kirjoittaa malli. Mallin avulla työ voidaan suunnitella sujuvaksi, ja sen avulla voidaan huolehtia, että työntekijä pystyy suorittamaan työnsä huolellisesti. Mallintamista voi käyttää apuna myös virhealttiiden työvaiheiden ennakoinnissa. (Reiman & Oedewald 2008, 332.)

Toiminnan luotettavuuteen ja virheettömyyteen vaikuttaa se, minkälaiset välineet ihmisillä on käytettävissään. Kun työn tekeminen on sujuvaa, on se myös turvallisempaa. Kun käyttäjä saavuttaa välineellä tavoitteensa, tehokkaasti ja turvallisesti, voidaan laitteen sanoa olevan käytettävä. Yksinkertaisessa laitteessa, esimerkiksi matkapuhelimessa, käytettävyys tarkoittaa esimerkiksi sitä, että keskiverto käyttäjä pystyy lukemaan näytön tiedot. Monimutkaisemmissa työympäristöissä käytettävyys tarkoittaa sitä, että laitteet ja työntekijät pystyvät toimimaan kokonaisuutena siten, että työn tavoite saavutetaan. Työvälineiden pitäisi tarjota toimijalleen oikea toimintamalli ja estää virheiden toteutumismahdollisuus. (Reiman & Oedewald 2008, 330–331.)

Reasonin ja Hobbsin (2004, 127) mukaan huoltotoimenpiteissä todennäköisin virheiden aiheuttaja on jonkin tekemättä jättäminen. Heidän kirjassaan on saatavilla tarkistuslista, jonka avulla voidaan arvioida, kuinka altis jokin tehtävä on tekemättä jättämiselle, ja suunnitella tarvittavat toimenpiteet sen mukaisesti. Aiemmin on myös mainittu millaisia keinoja voidaan käyttää muistin tukena keskeytyksissä.

Laitteiden suunnittelussa on huolehdittava, että käyttäjä ymmärtää mitä järjestelmälle pitää tehdä, jotta sen saa toimimaan halutulla tavalla, ja toisaalta työkoneen täytyy osoittaa selvästi mitä muutoksia on tapahtunut. Automatisoinnin haasteisiin voidaan vaikuttaa tarkastelemalla, onko operoinnissa monimutkaisuutta, esimerkiksi harvoin käytettyjä moodeja tai valikkoja. Olisi myös hyvä, jos ihminen voisi muokata valikoita haluamukseen, jolloin esimerkiksi kriittisissä tilanteissa tiedon lukeminen olisi nopeaa. Automaatio olisi hyvä rakentaa niin, että ihminen saa enemmän palautetta siitä, miten automaatio toimii sillä hetkellä, ja erityisesti ennusteen tulevasta toiminnasta ja mahdollisista vioista. Kolmantena keinona automaatio voisi näyttää tarkemmin ihmiselle ongelmanratkaisun mahdolliset valinnat ja voisi tarvittaessa osallistua niihin. (Reason & Hobbs 2004, 122–124; Woods ym. 2010, 186–196.)

Laitteiden käyttöön liittyvissä virheissä on syytä tarkastella, millaisia valintoja järjestelmässä on ollut mahdollista tehdä. Jos järjestelmä on pakottanut valitsemaan toimintatavan, silloin käyttäjää tuskin voidaan nähdä syyllisenä, ellei hän tarkoituksellisesti ole aiheuttanut tilanteen. Esimerkkinä Lufthansa A320 lentokoneessa on automaatio, joka jarruttaa, kun lentokone koskettaa maata, mutta vain silloin kun molemmissa takarenkaissa määritelty paineen raja ylitetään. Eräässä onnettomuudessa lentokone oli laskeutunut vinossa ensin vain yksi rengas maata koskettaen, jolloin automaatio oli käynnistynyt vasta kun molemmat renkaat osuivat maahan. Tämä aiheutti liian myöhäisen jarrutuksen ja lentokone ajautui pois kiitotieltä törmäten kumpareeseen. Tässä tapauksessa tällaisen automaation, johon lentäjä ei voi vaikuttaa, toiminnasta olisi pitänyt kertoa koulutuksessa ja huolehtia että se huomioidaan laskeutumisen aikana. Jos tämä on jäänyt tekemättä, järjestelmän suunnittelijaa tai operoivaa organisaatiota tai koulutuksen järjestänyttä organisaatiota voidaan pitää virheen aiheuttajana. (Grote 2011, 23–30.)

Työn tekemiseen liittyen on kiinnitettävä huomioita myös työaikojen hallintaan. Työvuoroja suunniteltaessa on noudatettava työaikalainsäädäntöä, mutta jos työtä tehdään useammassa vuorossa, on kiinnitettävä huomioita väsyneenä työskentelyn tuomiin riskeihin. Tätä varten on olemassa tietokoneohjelmia, joilla voi laskea uupumuksen liittyviä riskinumeroita ja sen perusteella tarkastella missä vuorossa kannattaa tehdä mitään asioita. (Reason & Hobbs 2004, 119–120.)

Organisaation täytyy kiinnittää huomiota myös siihen kuka työn suorittaa. Kokemattomalla työntekijällä vieraassa tehtävässä on suurempi todennäköisyys riskeihin, samoin kun erittäin kokeneella ja tehtävissä automatisoituneella henkilöllä. Henkilöllä, jolla on jonkin verran kokemusta, on pienempi riski virheeseen tehtävää suorittaessaan. (Reason & Hobbs 2004, 121.)

#### 4.5 Organisaation inhimilliset tekijät

Organisaatio on *ihmisistä ja teknologiasta koostuva yhteisö, jolla on toiminnalleen jokin enemmän tai vähemmän tarkasti määritelty tavoite ja tapa toimia sen saavuttamiseksi*. Kun halutaan korostaa organisaation sosiaalista ja prosessimaista luonnetta, puhutaan organisaatiokulttuurista, johon kuuluvat ihmisten ja teknologian lisäksi toimintatavat, normit ja käsitykset ja vuorovaikutustavat. Kulttuurikäsite korostaa sitä, että organisaatio on yhteisö, jolla on omat tiedostetut ja tiedostamattomat oletukset toimintaympäristöstä, työn luonteesta ja omasta itsestään. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 112–114.)

Organisaation inhimillisiin tekijöihin kuuluvat mm. organisaation rakenne, turvallisuuskulttuuri, kommunikaation tavat, koulutusten järjestäminen, henkilöiden johtaminen, taloudellisten ja operatiivisten paineiden tasapainottelu, tuotannon suunnittelu ja aikataulutus, resurssien järjestäminen sekä työkalujen, tilojen ja laitteiden tarjonta. (Reason & Hobbs 2004, 134.)

Organisaatio oppii ja kehittyy jatkuvasti. Toimintatavat muuttuvat hitaasti ja vähitellen, eikä muutosta tai sen vaikutusta välttämättä tiedosteta. Useassa tapahtumatutkimuksissa on havaittu, että organisaation toimintatavat olivat hitaasti muuttuneet sellaisiksi, että tietoisesti otettiin riskejä. Tämän lisäksi alaryhmät olivat optimoineet omaa toimintaansa, mutta eivät olleet tarkastelleet sen vaikutusta muiden ryhmien toimintaan. Tämän vuoksi organisaatiossa on hyvä pitää silmällä pieniäkin muutoksia ja tarkastella rutiineiksi muuttuneita asioita. (Flink, Reiman & Hiltunen 2007, 117–118.)

Kaikki onnettomuudet koostuvat kolmesta osasta: syistä (virhe, rikkomus, piilevä heikkous, tekninen vika jne.), ajoituksesta (hetki, jolloin kausaaliset tekijät yhdistyvät ja pääsevät läpi kaikista suojuuksista) sekä seurauksista (epämukavuudesta ihmishenkien menetykseen). Ajoitukseen ei voi vaikuttaa, seurauksiin jonkin verran erilaisilla turvamekanismeilla, mutta syihin voi vaikuttaa oppimalla menneistä tapahtumista ja ennakoimalla mahdollisia vaaratekijöitä. Tämä tarkoittaa, että organisaation täytyy aktiivisesti tarkastella asioita pitääkseen yllä hyvää turvallisuuskulttuuria. (Reason & Hobbs 2004, 133–134.)

Organisaation turvallisuuskulttuuri koostuu kolmesta toisiinsa linkittyvästä osa-alueesta: oikeudenmukaisuuden kulttuurista, raportointikulttuurista ja oppimiskulttuurista. Hyvä turvallisuuskulttuuri voidaan saavuttaa, kun muutetaan organisaation toimintatapoja, jonka seurauksena myös yksilöiden asenteet ja arvot muuttuvat. (Reason & Hobbs 2004, 146.)

Oikeudenmukaisen turvallisuuskulttuurin edellytyksenä on luottamus. Luottamuksen ilmapiirissä ihminen uskaltaa kertoa läheltä piti tilanteista. Luottamus voidaan saavuttaa, kun on määritelty millaisia ovat hyväksyttävät ja rangaistavat virheet. Yleensä virheistä 90 % on hyväksyttäviä tai siedettäviä ja loput rangaistavia. Se onko virhe ollut rangaistava teko, voidaan määrittää kahden kysymyksen avulla: ensin kysytään, tekikö yksilö tarkoituksellisesti jotain sellaista, että keskiverto henkilö tunnistaisi sen lisäävän virheen mahdollisuutta (esim. tekee työtä päihteiden vaikutuksen alaisena, käyttää työkaluja, joiden tiedetään olevan sopimattomia työhön). Tällaiseen toimintaan voi liittyä lieventäviä seikkoja, kuten sopivampaa työkalua ei ollut saatavilla, joten toiseksi kysytään, että toimisiko vastaavaa tehtävää suorittava henkilö samassa tilanteessa samalla tavalla? Jos vastaus kysymykseen on "ei", teko on todennäköisesti rangaistava. Jos taas muutkin olisivat toimineet samalla tavalla, virhe voidaan nähdä hyväksyttävänä.

Kun ihminen uskaltaa kertoa läheltä piti -tilanteista, voidaan kerätä ja analysoida tietoja, joiden avulla voidaan tunnistaa virheille altistavia tekijöitä. Organisaatiossa, jossa on hyvä raportointikulttuuri, raportointi on tehty helpoksi ja raportoinnin vaikutukset eli parannukset voidaan nähdä pian raportoinnin jälkeen. Toimivaan raportointiin on organisaation etsittävä omat linjauksensa sille, voiko raportteja tehdä anonyyminä tai kuka raportteja käsittelee (eri vai samat henkilöt, jotka asettavat mahdolliset rangaistukset) tai millaisen osittaisen vapautuksen vastuusta raportoiija saa. (Reason & Hobbs 2004, 151–152.)

Kolmas turvallisuuskulttuurin tekijä oli oppimiskulttuuri. Tapahtumatutkinnoista ja läheltä piti -raporteista saadaan oppimateriaalia. Oppiminen on syvimmillään sitä, että ongelmat nähdään monimutkaisten järjestelmien ominaisuuksina, oletuksia tarkastellaan jatkuvasti ja tiedostetaan operoinnin virhemahdollisuudet. Tällaisella organisaatiolla on tahto jatkuvaan parantamiseen. (Reason & Hobbs 2004, 153–155.)

#### 4.6 Ennakointi ja inhimillisten virheiden vähentäminen organisaatiossa

Turvallisuuteen voidaan vaikuttaa jälkikäteen tehtävillä ja ennakoivilla toimilla. Niiden avulla voidaan havaita, missä organisaatiossa on eniten parannettavaa sillä hetkellä. Organisaation onkin tähdättävä jatkuvaan parantamiseen. Ei riitä, että kerätään tiedot tilanteista, joissa lopputulos on ollut huono, vaan tietoa olisi saatava läheltä-piti tilanteista, eli tilanteista, jotka melkein tapahtuivat tai tilanteista joihin puutuuttiin, niin ettei tapahtuneesta syntynyt huonoja seurauksia. Tämä tapahtuu kannustamalla työntekijät kertomaan tällaisista tapahtumista. Kun tapahtumatietoja on kerätty tarpeeksi, voidaan niitä analysoida erilaisten työkalujen avulla. (Reason & Hobbs 2004, 135–136.)

Ennakoivat keinot suuntautuvat usein ylhäältä alaspäin ja keinoista erilaiset auditoinnit ovat tunnetuimpia. Niiden rinnalle on kehitetty erilaisia menetelmiä, joilla tuodaan käyttäjien näkemyksiä esimiesten ja johdon tietoon. Yksi menetelmistä on MESH (Managing Engineering Safety Health). Siinä vastaajista 20–30 % on loppukäyttäjiä/operaattoreita. Kyselyn avulla saadaan selville, mitkä kohteet vaativat parannusta sillä hetkellä. (Reason & Hobbs 2004, 138.)

Organisaation piileviä heikkouksia voidaan etsiä myös erilaisilla menetelmillä, joita ovat itsearviointi, kertyneet kokemukset, käyttäytymisen tarkastelu, suorituskyvyn mittarit, benchmarking, ulkopuolisen suorittama arviointi, ongelmien raportointi, johtamisen tarkastelu, sekä tapahtumatutkinnat. (Department of Energy 2009a, 97)

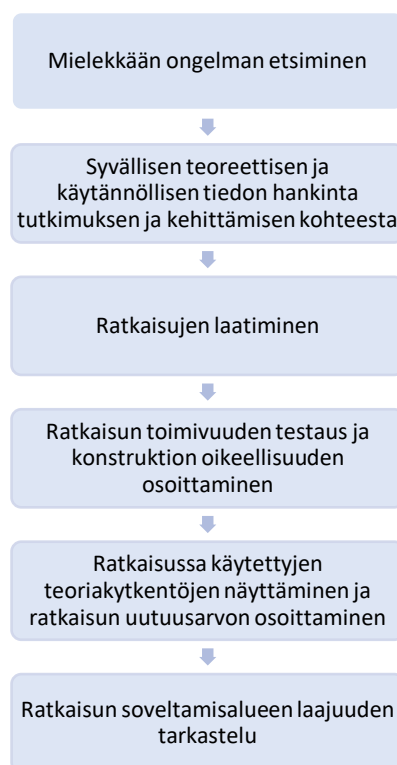
## 5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

### 5.1 Tutkimusote

Opinnäytetyön tutkimusote on konstruktiiivinen. Konstruktiiivinen tutkimus on suunniteltua mallintamista, sekä mallien testaamista ja toteutusta. Konstruktiiivisella tutkimusotteella pyritään käytännönläheiseen ongelmanratkaisuun. Konstruktio tarkoittaa

konkreettista tuotosta ja se voi olla malli, mittari, diagrammi, suunnitelma, organisatorakenne tai vaikka kaupallinen tuote. Konstruktiolla yritetään havainnollistaa, testata tai jalostaa aikaisempaa teoriaa, tai luoda kokonaan uusi teoria. Konstruktion luomiseksi tarvitaan olemassa olevaa teoreettista tietoa ja käytännöstä kerättävää tietoa. Tuotokseksi saadaan rakenne, joka on käytännössä hyödynnettävä vastaus ongelmaan. Konstruktiivisen tutkimuksen prosessi on esitetty Kuviossa 4. Konstruktiivinen tutkimus ei rajaa mitään menetelmiä pois, vaan siinä voidaan käyttää kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen menetelmiä. (Lukka 2001; Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, 2009, 65, 68.)

Konstruktiivisen tutkimuksen etuina voidaan pitää sitä, että tutkimuksen ja käytännön välistä kuilua pienennetään. Kohdeorganisaation näkökulmasta ongelmaan saadaan teoreettista tietoa ja ratkaisu. Tutkimuksen riskeinä taas voidaan pitää sitä, että kohdeorganisaation pitää sitoutua tutkimuksen tekemiseen. Kohdeyritys voi myös olla sitä mieltä, että kehitetty konstruktiio paljastaa liikesalaisuuksia. (Lukka 2001.)



Kuvio 4. Konstruktiivisen tutkimuksen prosessi (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2009, 67).



Konstruktiviseen malliin kuuluu kehitetyn ratkaisun toimivuuden arviointi. Sitä voidaan testata ns. markkinatestin avulla joko markkinoilla tai organisaation sisällä. Ratkaisu läpäisee heikon markkinatestin, jos se toimii kohdeorganisaatiossa käytännössä. Jos usea organisaatio ottaa ratkaisun käyttöön, se läpäisee keskivahvan markkinatestin. Vahvimman markkinatestin läpäisee, kun ratkaisun käyttöönotaneet organisaatiot menestyvät paremmin kuin sellaiset, jotka eivät ole ottaneet ratkaisua käyttöön. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti, 2009, 68.)

## 5.2 Konstruktion kehittäminen

Ratkaisumallin (konstruktion) rakentamiseen kuuluu ominaisuuksien asettaminen ratkaisulle, ratkaisumahdollisuuksien tarkastelu, sekä ratkaisumallin kehittäminen. Kun ratkaisumalli on valmis, sitä testataan työpajassa. Työpajan päätteeksi osallistujilta kerätään palautetta ratkaisusta, jonka avulla ratkaisua kehitetään. Kun ratkaisu on todettu toimivaksi, se voidaan ottaa käyttöön.

Ratkaisun keskiöön asetetaan laitteen käyttäjä, operaattori, ja inhimillisiä tekijöitä tarkastellaan laitteiden operaattorin näkökulmasta. Tarkoitus on tehdä operaattorin työskentelystä mahdollisimman sujuvaa, turvallista ja laadukasta. Koska kyseessä on laitteen operointi, tarkastelun kohteeksi asetetaan ihmisen ja koneen välinen vuorovaikutus. Tarkastelua halutaan tehdä myös laajemmasta näkökulmasta kuin pelkästä käyttöliittymän arvioinnin näkökulmasta.

Tuotantolaitteista Kapselin siirto- ja asennusajoneuvoa, sekä Puskurin ja Täytön asennuslaitteistoa ohjataan etänä ohjaamosta. Loppusijoitusreikien poralaitteen operaattori taas on laitteen lähettyvillä käytön aikana. Laitteita ei ole vielä käytössä, eikä niille ole valittu käyttäjiä, joten käyttäjien toimintaa ei voi tarkastella, eikä sattuneita tapauksia analysoida. Laitteiden käytöstä löytyvät tutkimuksen teon hetkellä tarkimmat kuvaukset järjestelmäkuvauksista. Laitteiden käyttöohjeita tai tarkempia käyttökuvauksia ei ole vielä tutkimuksen aikana saatavilla.

Konstruktion tulisi olla myös mahdollisimman helppokäyttöinen, jotta sellainenkin henkilö, jolla on vähän tietoa inhimillisistä tekijöistä, voisi käyttää menetelmää. Lisäksi menetelmä pitää olla tehtävissä tietokoneen perusohjelmistolla, tai kynän ja paperin avulla.

Aluksi konstruktioksi pohdittiin tarkastuslistan tekemistä aiemmin esitetyn teorian pohjalta tai jonkin valmiin tarkastuslistan muokkaamista tarkoitukseen sopivaksi. Ongelmaksi kuitenkin nousi, että tällaisella tarkastuslistalla saataisiin enemmän suunnittelijalle näkyviin inhimillisiä tekijöitä, mutta operaattorin näkökulma voisi jäädä kunnolla tutkimatta. Tämän vuoksi lähdettiin tutkimaan löytyisikö inhimillisten tekijöiden analyysimenetelmistä sopivaa yllä mainittuihin kriteereihin.

Inhimillisiin tekijöihin liittyviä analyysimenetelmiä on olemassa useita erilaisia. Datan keräämisen menetelmissä ohjeistetaan, kuinka tietoa voidaan kerätä tarkastelun kohteena olevasta järjestelmästä tai tehtävästä. Tehtävänälyysien avulla saadaan näkyväksi ihmisen toiminta tarkasteltavassa tehtävässä. Kognitiivisten tehtävien analyysien avulla voidaan kuvata operaattorien mentaaliset prosessit tehtävän suorittamiseksi. Visuaalisessa kuvaamisessa käytetään standardoituja symboleita tehtävän tai prosessin kuvaamiseen. Inhimillisten virheiden tunnistamisen (HEI, Human Error Identification) menetelmissä ennakoitaan potentiaalisia ihmisen/operaattorin virheitä ja HRA-menetelmillä (Human Reliability Assessment) määritetään virheen tapahtumisen todennäköisyys. Tilannetietoisuuden analyysien avulla arvioidaan operaattorin tilannetietoisuutta. Tehtävää voidaan arvioida operaattorin mentaalista työkuormaa kuvaavien menetelmien avulla, samoin kuin tiimityöskentelyä, käyttöliittymää ja tehtävän suoritus-aikaa voidaan arvioida omilla menetelmillään. (Stanton, Salmon, Walker, Baber & Jenkins 2005, 7.)

Näistä menetelmistä parhaiten tutkimuskysymyksen vastaamiseen sopii inhimillisten virheiden tunnistamisen menetelmät. Niissä tarkastellaan operaattorin suorittamia tehtäviä, ja tehtäviin liittyvät mahdolliset virheet tunnistetaan. Kun virheet on tunnistettu, voidaan suunnitella virheiden todennäköisyyksiä pienentävät toimenpiteet ja toimenpiteisiin voidaan yhdistää tietoa inhimillisistä tekijöistä.

Menetelmää, jolla tunnistetaan riskejä, voidaan käyttää osana organisaation riskienhallintaa. Riskienhallinta on järjestelmällistä toimintaa, jolla pyritään minimoimaan riskien haitalliset vaikutukset. Ainoastaan näkyviä riskejä voidaan hallita, jolloin riskienhallinnan ensimmäisenä vaiheena on riskien tunnistaminen. Se tarkoittaa riskien havaitsemista ennakolta erilaisten menetelmien avulla. Riskientunnistamistyö vaatii esimerkiksi kysymyspatteriston, jotta tunnistamistyö ei olisi sattumanvaraista. (Flink, Reiman, Hiltunen 2007, 125–134.)

Stanton ym. (2005, 139–212) ovat keränneet kattavan yhteenvedon inhimillisten virheiden tunnistamisen menetelmistä, jotka esitellään seuraavaksi lyhyesti:

#### SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach)

Tehtäväanalyysin tehtävät luokitellaan virheiden ja käyttäytymisen luokittelun avulla. Tuloksena saadaan ennuste ihmisen tai suunnittelun aiheuttamista virheistä. Näille laaditaan todennäköisyyttä pienentävät toimenpiteet laitesuunnittelun, koulutuksen kuin menetelmien osalta. Kirjallisuuden mukaan SHERPA on lupaavin inhimillisten virheiden ennustamisen menetelmä, sen käyttäminen on helppo oppia ja sitä voidaan käyttää eri aloilla. Tehtäväanalyysin läpikäyminen menetelmän avulla vie paljon aikaa. SHERPA ei huomioi järjestelmän tai organisaation virheitä, eikä kognitiivisia tekijöitä. (Stanton ym. 2005, 143–153.)

#### HET (Human Error Template)

Menetelmä on alun perin laadittu arvioimaan suunnittelun aiheuttamia virheitä lentokoneen ohjaamossa, mutta yleisen virheluokittelun takia sitä voidaan käyttää muillakin aloilla. Tehtäväanalyysin läpikäyminen menetelmän avulla vie aikaa. HET ei huomioi järjestelmän tai organisaation virheitä, eikä kognitiivisia tekijöitä. (Stanton ym. 2005, 153–158.)

### TRACEr (Technique for the Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Error)

Menetelmää voidaan käyttää virheiden ennakoimiseen sekä tapahtuneiden virheiden selvittämiseen. Menetelmä huomioi erilaiset tekijät, mm. psykologiset tekijät ja virheille altistavat tekijät. Menetelmä on kuitenkin monimutkainen ja sen opettelu vaatii paljon aikaa. (Stanton ym. 2005, 158–165.)

### TAFEI (Task Analysis For Error Identification)

Menetelmän avulla ennustetaan virheitä mallintamalla käyttäjän ja laitteen välistä vuorovaikutusta. Idea on, että käytettävyyttä voidaan parantaa tekemällä virheiden tekeminen mahdottomaksi, jolloin käyttäjä voi tehdä vain hyviä valintoja. Menetelmä voi olla vaikea oppia, sen käyttäminen vaatii aikaa ja tuloksena saatava matriisi ei ole isoissa aineistoissa käyttökelpoinen. (Stanton ym. 2005, 165–173.)

### Human error HAZOP (Hazard and Operability study)

Menetelmässä kootaan monialainen tiimi, joka käy asiasanojen (enemmän kuin, vähemmän kuin, yhtä paljon kuin, muu kuin, toistuvasti, aiemmin, myöhemmin, väärässä järjestyksessä, osa jotakin) ja tehtäväänalyysin kautta prosessissa mahdollisesti ilmenivät virheet. Menetelmä on helppo käyttää, mutta se vaatii monialaisen tiimin useita kokoontumisia. (Stanton ym. 2005, 173–180.)

### THEA (Technique for Human Error Assessment)

Menetelmän tarkoituksena on tunnistaa käyttöliittymän ja käyttäjän vuorovaikutuksen välisiä ongelmia suunnittelun aikaisessa vaiheessa. Menetelmässä luodaan ensin skenaario, josta sitten kysytään kysymyksiä liittyen tavoitteisiin, suunnitelmiin, suoritukseen ja havaitsemiseen. Löydettyihin potentiaalisiin virheisiin laaditaan suunnitellussa tehtävät muutokset. Menetelmää on helppo käyttää ja sitä voidaan käyttää eri aloilla. (Stanton ym. 2005, 180–188.)

### HEIST (Human Error Identification in Systems Tool)

Menetelmän käyttäjä käy apukysymysten avulla tarkasteltavan tehtävän läpi. Menetelmä huomioi myös psykologiset tekijät ja virheille altistavat tekijät. Menetelmä on helppo käyttää, mutta käyttäjällä täytyy olla jonkin verran kokemusta inhimillisistä tekijöistä. Tutkimusten mukaan menetelmällä ennustettiin heikoiten inhimillisiä virheitä. (Stanton ym. 2005, 188–192.)

### The HERA framework (The Human Error and Recovery Assessment Framework)

HERA on runko, joka käyttää useita inhimillisen virheiden tunnistamisen menetelmiä, koska yksittäisessä menetelmässä on aina jotain puutteita. Analyysin tekeminen vaatii paljon aikaa ja monialaisen tiimin. Analyysin tekeminen voi muuttua itseään toistavaksi kun käytetään useita menetelmiä. (Stanton ym. 2005, 192–197.)

### SPEAR (System for Predictive Error Analysis and Reduction)

SPEAR on hyvin lähellä SHERPAA, mutta sen lisäksi SPEAR huomioi virheille altistavat tekijät. Menetelmän oppii nopeasti. Menetelmä ei huomioi kognitiivisia tekijöitä. Analyysin laatiminen voi vaatia paljon aikaa. (Stanton ym. 2005, 197–202.)

### HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique)

Menetelmän avulla saadaan kvantitatiivista tietoa virheiden todennäköisyyksistä. Suurimman kertoimen saa tehtävä, jossa ei kunnolla tunneta tilannetta ja joka tapahtuu satunnaisesti. Menetelmä on helppo ja nopea käyttää, mutta se on altis tekijän tulkinnoille. (Stanton ym. 2005, 202–207.)

### CREAM (Cognitive Reliability Analysis Method)

Menetelmä on monipuolinen: siinä huomioidaan myös konteksti, kognitiiviset tekijät sekä virheille altistavat tekijät. Menetelmää voidaan käyttää eri aloilla virheiden ennakoinnissa ja tapahtuneiden virheiden tutkinnassa. Analyysin tekeminen vaatii aikaa

ja jonkin verran osaamista inhimillistä tekijöistä. Menetelmässä ei tarkastella toimenpiteitä virheiden ehkäisemiseksi. (Stanton ym. 2005, 208–212.)

### 5.3 Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA)

Opinnäytetyön menetelmäksi valittiin Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach. SHERPAn avulla voidaan ennakoida ihmisestä tai suunnittelusta johtuvia virheitä. SHERPAn käyttö on helppo oppia ja sillä pystyy menestyksekkäästi ennakoimaan inhimillisiä virheitä. SHERPA ja SPEAR olivat lähestulkoon samanlaiset menetelmät, mutta SHERPA valittiin sen takia, koska siitä on enemmän tutkimustietoa saatavilla.

Seuraavaksi on kuvattu SHERPA-menetelmän käyttäminen vaiheittain. Kuvauksen jälkeen taulukossa 2 on esimerkki SHERPA-menetelmällä tehdystä videonauhurin ohjelmoimisen analyysistä ja ohjelmoimisen potentiaalisista inhimillisistä virheistä.

Vaihe 1. Tehtäväanalyysi. Ensimmäisessä vaiheessa kuvataan tarkasteltava tehtävä tai tapahtuma. Kuvaus voidaan toteuttaa hierarkkisen tehtäväanalyysin avulla. Kuviossa 5 on malli tehtäväanalyysistä. (Stanton ym. 2005, 143.)

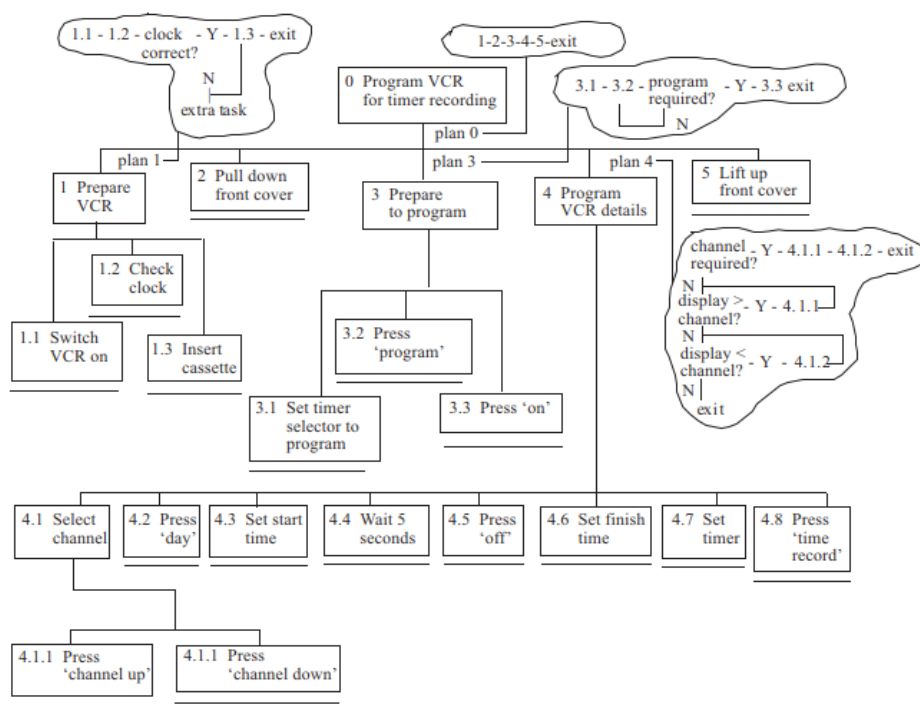
Tehtäväanalyysin tekeminen etenee vaiheittain:

1. Määrittele tarkasteltava tehtävä ja tarkastelun tavoite.
2. Kerää tietoja tehtävän vaiheista, teknologiasta, vuorovaikutuksesta ihmisen ja koneen välillä, sekä työryhmän välillä. Tietoja voi kerätä esimerkiksi haastatteluilla, havainnoimalla, kyselyillä tai seuraamalla kohteen käyttöä.
3. Määrittele tehtävän päätavoite ja laita se ylimmäiseksi.
4. Määrittele tehtävän alitavoitteet, joiden avulla päätavoite voidaan suorittaa, esimerkiksi kuuntele radiota, tarkista status.
5. Jaa alitavoitteet pienemmiksi tehtäviksi. Aiemmin on määriteltä tavoitteet, mutta tällä tasolla määritellään toiminta, jonka tekemällä tavoitteeseen voidaan päästä, esimerkiksi tarkista näytöstä nopeus, käännä valitsin yläasentoon.

6. Määritä järjestys. Yksinkertainen järjestys on tee 1, tee 2, tee 3. Taulukosta 1 voi katsoa eri vaihtoehdot. Kirjaa nämä joko tehtävänälyysin kuvioon, tai erilliseen taulukkoon. (Stanton ym. 2005, 49–50.)

Taulukko 1. Tehtävänälyysin tehtävien järjestyksen määritteleminen (Stanton ym. 2005, 50).

Plan	Example
Linear	Do 1 then 2 then 3
Non-linear	Do 1, 2 and 3 in any order
Simultaneous	Do 1, then 2 and 3 at the same time
Branching	Do 1, if X present then do 2 then 3, if X is not present then EXIT
Cyclical	Do 1 then 2 then 3 and repeat until X
Selection	Do 1 then 2 or 3



Kuvio 5. Tehtävänälyysi videonauhurin ohjelmoimisesta (Stanton ym. 2005, 149).

Vaihe 2. Tehtävien luokittelu. Käydään läpi alimmalla tasolla olevat tehtävät ja luokitellaan ne SHERPA-luokittelun avulla. Luokat ovat:

- Toiminta, esim. nappulan painaminen, vivun vetäminen tai oven avaaminen.
- Hakeminen, esim. informaation saaminen näytöltä tai ohjeista.

- Tarkistaminen, esim. ohjeissa esitetyn tarkistuksen tekeminen.
- Valinta, esim. valitaan useasta vaihtoehdosta yksi.
- Kommunikaatio, esim. puhuminen toiselle osapuolelle. (Stanton ym. 2005, 147.)

Vaihe 3. Inhimillisten virheiden tunnistaminen. Virheiden luokittelun avulla määritellään mahdolliset virheet kyseisessä tehtävässä. Jokaiseen mahdolliseen virheeseen annetaan kuvaus siitä, miten virhe voi tapahtua, esimerkiksi operaattori painaa väärästä napista. (Stanton ym. 2005, 147.)

Virheiden luokittelu on seuraava (Stanton ym. 2005, 147):

#### Toiminnan virheet

A1: toiminta kestää liian pitkään tai liian lyhyen aikaa

A2: toiminta tehdään väärään aikaan

A3: toiminta tehdään väärään suuntaan

A4: toimintaa tehdään liikaa tai liian vähän

A5: laitetaan väärään asentoon

A6: oikea toiminta väärälle kohteelle

A7: väärä toiminta oikealle kohteelle

A8: toiminta jätetään tekemättä

A9: toiminta jää kesken

A10: väärä toiminta väärälle kohteelle

#### Tarkistamisen virheet

C1: tarkistaminen jätetään tekemättä

C2: tarkistaminen jää kesken

C3: oikea tarkistaminen väärälle kohteelle

C4: väärä tarkistaminen oikealle kohteelle

C5: tarkistaminen tehdään väärään aikaan

C6: väärä tarkistaminen väärälle kohteelle

#### Tiedonhaku

R1: tietoa ei saada



R2: saadaan väärä tieto

R3: tiedonhaku vajavainen

Kommunikaatio

I1: tietoa ei kommunikoida

I2: väärä tieto kommunikoidaan

I3: kommunikointi vajavainen

Valinta

S1: valinta jätetään tekemättä

S2: tehdään väärä valinta

Vaihe 4. Seurausten analysointi. Määritellään ja kuvataan edellisessä kohdassa tunnistettuihin virheisiin liittyvät seuraukset (Stanton ym. 2005, 147).

Vaihe 5. Toipuminen. Määritellään virheestä palautuminen: välittömästi, vaiheessa x.x tai ei toivuta. Esimerkissä videonauhurin analyysistä voidaan havaita, että jos virheen tekemisen seurauksena tapahtuu jotakin, esimerkiksi nauhoitetaan väärä ohjelma, tai nauhoitetaan väärältä kanavalta, merkitään, ettei siitä toivuta. Jos taas virheen seurauksena ei voida jatkaa toimintaa, esimerkiksi läppää, jonka takana ohjelmointipainikkeet ovat, ei ole avattu, toimintaa voidaan jatkaa vasta kun luukku on avattu. Tällöin toipumisen kohtaan oli merkitty välittömästi. Vaihtoehtona on myös toipuminen myöhemässä vaiheessa. (Stanton ym. 2005, 147.)

Vaihe 6. Todennäköisyys. Määritellään virheen todennäköisyys asteikolla matala, keskitaso, korkea. Jos virhettä ei ole tapahtunut aikaisemmin, todennäköisyys on matala. Jos virhe on joskus tapahtunut, todennäköisyys on keskitasoa. Jos virhe tapahtuu toistuvasti tai lukuisia kertoja, on todennäköisyys korkea. (Stanton ym. 2005, 147.)

Vaihe 7. Kriittisyys. Merkitään kriittiset tehtävät huutomerkillä. Jos virhe johtaa epämiellyttävään tai epätavalliseen tapahtumaan tarkasteltavassa prosessissa, merkitään se omaan sarakkeeseensa. (Stanton ym. 2005, 147.)

Vaihe 8. Korjaavat toimenpiteet. Viimeisessä vaiheessa määritellään toimenpiteet virheen todennäköisyyden pienentämiseksi:

1. Laitteet, esimerkiksi olemassa olevan laitteen uudelleensuunnittelu tai muokkaaminen.
2. Koulutus, esimerkiksi koulutusta muokataan.
3. Menettelyt, esimerkiksi luodaan uusia menettelyjä tai tarkennetaan vanhoja.
4. Organisaatio, esimerkiksi muutetaan organisaation menettelytapoja tai kulttuuria. (Stanton ym. 2005, 148.)

Taulukko 2. SHERPA-menetelmällä tehty analyysi videonauhurin ohjelmoimisesta (Stanton ym. 2005, 150).

Task Step	Error Mode	Error Description	Consequence	Recovery	P	C	Remedial Strategy
1.1	A8	Fail to switch VCR on	Cannot proceed	Immediate	L		Press of any button to switch VCR on
1.2	C1 C2	Omit to check clock Incomplete check	VCR Clock time may be incorrect	None	L	!	Automatic clock setting and adjust via radio transmitter
1.3	A3 A8	Insert cassette wrong way around Fail to insert cassette	Damage to VCR Cannot record	Immediate Task 3	L L	!	Strengthen mechanism On-screen prompt
2	A8	Fail to pull down front cover	Cannot proceed	Immediate	L		Remove cover to programming
3.1	S1	Fail move timer selector	Cannot proceed	Immediate	L		Separate timer selector from programming function
3.2	A8	Fail to press PROGRAM	Cannot proceed	Immediate	L		Remove this task step from sequence
3.3	A8	Fail to press ON button	Cannot proceed	Immediate	L		Label button START TIME
4.1.1	A8	Fail to press UP button	Wrong channel selected	None	M	!	Enter channel number directly from keypad
4.1.2	A8	Fail to press DOWN button	Wrong channel selected	None	M	!	Enter channel number directly from keypad
4.2	A8	Fail to press DAY button	Wrong day selected	None	M	!	Present day via a calendar
4.3	I1 I2	No time entered Wrong time entered	No programme recorded Wrong programme recorded	None None	L L	! !	Dial time in via analogue clock Dial time in via analogue clock
4.4	A1	Fail to wait	Start time not set	Task 4.5	L		Remove need to wait
4.5	A8	Fail to press OFF button	Cannot set finish time				Label button FINISH TIME
4.6	I1 I2	No time entered Wrong time entered	No programme recorded Wrong programme recorded	None None	L L	! !	Dial time in via analogue clock Dial time in via analogue clock
4.7	A8	Fail to set timer	No programme recorded	None	L	!	Separate timer selector from programming function
4.8	A8	Fail to press TIME RECORD button	No programme recorded	None	L	!	Remove this task step from sequence
5	A8	Fail to lift up front cover	Cover left down	Immediate	L		Remove cover to programming

#### 5.4 Menetelmän testaaminen työpajassa

Työpajan tavoitteena oli tarkastella, voidaanko SHERPA-menetelmää käyttää tuotantolaitteiden operoinnin inhimillisten virheiden ennakoimiseksi, ja sitä kautta löytää taustalla vaikuttavia inhimillisiä tekijöitä. Työpajaan valmistauduttiin laatimalla Kapselin siirto- ja asennusajoneuvolle (KSAA) tehtäväänalyysi loppusijoituskapselin las-  
tauksesta ja asennuksesta järjestelmäkuvauksen avulla. KSAA on puoliautonominen järjestelmä, mikä tarkoittaa, että automaatio suorittaa tehtäviä ja ihminen tarkkailee ja varmistaa tehtävien onnistumisen. Tehtäväänalyysin lähteenä käytettyihin prosessi-  
kaavioihin oli merkitty vaiheet, joissa ihminen antaa luvan jatkaa prosessia. Laitteiden asiantuntijoiden kanssa määriteltiin, että luvan antaminen prosessissa sisältää edellisten vaiheiden varmennuksen ja huomion suuntaamisen tuleviin vaiheisiin.

Järjestelmään on jo aiemmin suunnittelussa valittu toimintoja, jotka vähentävät inhimillisen virheen mahdollisuutta. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvoon on tulossa itsenavigoiva järjestelmä, jonka avulla ajoneuvo osaa ajaa ihmisen määrittelemään paikkaan. Navigointijärjestelmällä helpotetaan ohjaamossa istuvan operaattorin toimintaa ja vältetään todennäköisemmin törmäykset esteisiin tai rakenteisiin, sillä operaattorin on haastavaa ohjata laitetta ohjaamosta. Navigointijärjestelmää voidaan perustella myös työturvallisuudella, koska operaattorin ei tällöin tarvitse olla säteilylähteen lähellä.

Työpajaan valmistautumisen yhteydessä todettiin, että menetelmään olisi hyvä lisätä tulokset toimintojen allokoinnista. Toimintojen allokoinnilla on tarkoitus varmistaa, että "laitoksen turvallisuus ja käyttötavoitteiden täyttymiseksi tarvittavat toiminnot on määriteltä ja vastuu toiminnoista on jaoteltu ihmisen ja automaation välillä tavalla, joka hyödyntää ihmisen vahvuuksia ja välttää ihmisen rajoituksia". Toimintojen allokoinnissa toiminnot jaetaan ihmisen, automaation tai molempien yhdessä suoritettavaksi käyttämällä kunkin tehtävän ominaisuuksien perusteella sopivinta vaihtoehtoa. (Talvio 2020, 14.)

Toimintoa tarkastellessa otetaan huomioon

- toiminnon tarkkuusvaatimus,
- toiminnon aikavaatimus,

- toistuvuus,
- toiminnon suorittamiseen vaadittavan toimintalogiikan kompleksisuus ja
- työntekijälle tuleva työkuormitus. (Talvio 2017, 5.)

SHERPAn pohjaan lisättiin sarake allokoinnin tuloksille. Siihen kirjataan suorittaako toiminnon ihminen vai automaatio ja lyhyt perustelu valinnalle. Allokointi on tarkoitettu tehdä SHERPasta erillisenä, ja kirjata vain tulokset SHERPAn taulukkoon. Tämän lisäyksen avulla SHERPAn saadaan näkyville paremmin ihmisen ja automaation suorittamat toiminnot, varsinkin kun useampi loppusijoituksen tuotantolaite toimii puoli-autonomisesti. Vain ihmisen suorittamat toiminnot käydään läpi SHERPAn avulla, mutta loogisen jatkumon kannalta on hyvä nähdä myös automaation suorittamat toiminnot.

Tehtäväkuvaus tarkastettiin yhdessä tuotantolaitteiden automaation pääsuunnittelijan ja tuotantolaitteiden pääsuunnittelijan kanssa ennen varsinaista työpajaa. Tässä vaiheessa tarkennettiin prosessia, ja esimerkiksi hienopaikoitus oli merkitty kaavioihin eri tavalla, joten ne vaihdettiin yhdenmukaisiksi. Samoin prosessikaavioissa pisteet operaattorin luvalla oli merkitty joissain vaiheissa hieman eri kohtiin, joten nekin yhdenmukaistettiin.

Myös prosessit jaoteltiin uudelleen. Alkuperäisessä prosessikaaviossa lastausprosessi sisälsi viisi vaihetta ja asennusprosessi neljä vaihetta. Tehtävät on jaettu uudelleen niin, että sekä lastaus-, että asennusprosessissa on molemmissa viisi vaihetta (Taulukossa 3):

Taulukko 3. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon lastaus- ja asennusprosessi.

<b>Lastausprosessi</b>	<b>Asennusprosessi</b>
Laitteen siirtäminen lastausalueelle	Laitteen siirtäminen loppusijoitusreialle
Säteilysuojan kääntö pystyasentoon	Säteilysuojan kääntö pystyasentoon
Kapselin lastaus	Kapselin asennus
Säteilysuojan kääntö kuljetusasentoon	Säteilysuojan kääntö kuljetusasentoon
Valmistautuminen ajamiseen	Ajaminen latauspaikalle

Tämän hyötynä voidaan nähdä se, että prosessi on operaattorille ennustettavampi, esimerkiksi aina toisena vaiheena on säteilysuojan kääntö pystyasentoon. Vaiheen sisällä toiminnot ovat samoja molemmissa prosesseissa. Tämän vuoksi tehtyyn analyysiin on kirjattu toiminnot niin, että vain yhden kerran käydään läpi täsmälleen samanlainen toiminto.

Opinnäytetyön kirjoittamisen aikana laitteiden käyttöä operaattorin näkökulmasta on tarkasteltu loppusijoituksen tuotantolaitteet-ohjelmassa, joten ratkaisun testaamiseen osallistuvat Tuotantolaitteet-ohjelmaryhmän jäseniä. Työpajaan kutsuttiin automaation pääinsinööri, tuotantolaitteiden pääinsinööri, järjestelmävastaava, tuotantolaitteiden ohjelmapäällikkö sekä konsernin HU-asiantuntija.

Lisäksi työpajaa varten kirjattiin etukäteen mahdollisia virheitä kullekin operaattorin tehtävälle. Tähän vaihtoehtoon päädyttiin, jotta lastaus- ja asennusprosessi ehditään käymään läpi työpajan aikana.

Työpajan aikana kerätään ylös kommentteja ja sen lisäksi työpajan lopuksi kerätään palautetta menetelmästä haastattelun avulla. Haastattelun muotona käytetään puolistrukturoitua ryhmähaastattelua. Jos työpajaan varattu aika näyttäisi menevän kokonaan analyysin läpikäymiseen, palautteen kerääminen toteutettaisiin sähköpostihaastatteluna. Haastattelun kysymykset ovat:

- Mitä mieltä olet SHERPA-menetelmän käyttämisestä tai tehdystä analyysistä?
- Kuvittelisitko itse käyttäväsi SHERPA-menetelmää työssäsi?
- Missä vaiheessa mielestäsi pitäisi SHERPA-menetelmää käyttää?

## 6 TULOKSEN ESITTELY

### 6.1 Työpajan tulokset

#### 6.1.1 Analyysin sisältö

Työpajassa tarkasteltiin Kapselin siirto- ja asennusajoneuvolle SHERPA-menetelmällä laadittua inhimillisten virheiden ennakoinnin analyysia. KSAAn operaattorin tehtävät koostuvat pääosin järjestelmän automaation toimintojen tarkastamisesta. Tyypillisimmät inhimilliset virheet ovat tarkistamisen tekemättä jättäminen unohduksen vuoksi tai epähuomiossa (30 %), tarkistaminen kuitataan tehdyksi ilman että sitä on tehty (31 %), operaattori "ajaa sokkona" koska ei ole tietoa mitä seuraavaksi tapahtuu (25 %), tiedon lukeminen tai syöttäminen epäonnistuu (6 %) tai kommunikointi muiden osapuolien kanssa epäonnistuu (8 %). Virheiden suhteelliset määrät todennäköisesti muuttuvat, jos menetelmällä käydään läpi myöhemmässä vaiheessa tarkemmin määritellyt operaattorin tehtävät. Seuraavaksi on kuvattu tyypillisimmät virheet ja niiden ehkäisemiseksi suositellut toimenpiteet.

Tarkistamisen tekemättä jättäminen voi johtua unohduksesta, eli rutinoitunut operaattori unohtaa tehdä sen, tai lipsahduksesta, jolloin operaattori epähuomiossa kuittaa tarkastuksen tehdyksi (esimerkki Kuvassa 5). Näissä automatisoituneissa toiminnoissa lisäkoulutus ei ole järkevä toimenpide, koska unohdus ei johdu kokemuksen tai koulutuksen puutteesta. Jotta tarkistamista ei jätettäisi tekemättä, voidaan tässä vaiheessa suunnittelua lisätä käyttöliittymään ja/tai työohjeeseen muistutus tarkastamisen tekemiseen. Myös häiriötekijät poistetaan ja keskeytykset minimoidaan mahdollisuuksien mukaan.

Teht. nro	Toiminnan kuvaus	Allokointi (ihminen/automaatio)	Virhe-koodi	Virheen kuvaus	Seuraukset	Toipuminen (välittömästi/tehtävässä x.x/ ei toivuta)	Tod. (matala/keski/korkea)	Kriit. !	Toimenpiteet laitteet, koulutus, menettelyt tai organisaatio
3.2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tarkista säteilysuojan paikoituksen onnistuminen.</li> </ul>	ihmisen tekemä varmennus	C1	Tarkistaminen jätetään tekemättä unohduksen vuoksi tai epähuomiossa.	Laite voi olla väärässä asennossa seuraavaa sekvenssiä varten.	ei toivuta	matala		Käyttöliittymä ja työohje ohjaavat varmistuksen tekemiseen. Poistetaan häiriötekijät ja vähennetään keskeytykset mahdollisuuksien mukaan.

Kuva 5. Kuvakaappaus KSAAn analyysissä esiintyvistä unohduksesta.

Operaattori voi myös kuitata tarkistuksen tehdyksi, vaikka ei olisi tarkistusta todellisuudessa tehnytään (esimerkki Kuvassa 6). Tämä tarkoittaa, että operaattori tekee rikkomuksen. Rikkomusten syyt olivat oikaiseminen, jännityksen hakeminen tai suoritus vaatii sääntöjen rikkomista. Rikkomusten ehkäisemiseksi tarkastetaan, että työn voi suorittaa niin kuin se on tarkoitettu ja tarkastamiselle on varattu riittävästi aikaa. Jotta työn voi suorittaa niin kuin se on tarkoitettu, pitää tehtäväkuvauksessa olla tarkemmin määritelty mitä ja miten operaattorin pitää suorittaa tarkastus. Myös turvallisuuskulttuuri kannustaa sääntöjen noudattamiseen, tässä tapauksessa tarkastuksen kuittaaminen huolimattomasti ei ole sosiaalisesti hyväksyttävää.

Teht. nro	Toiminnan kuvaus	Allokointi (ihminen/ automaatio)	Virhekoodi	Virheen kuvaus	Seuraukset	Toipuminen (välittömästi/ tehtävässä x.x/ ei toivuta)	Tod. (matala/ keski/ korkea)	Kriit. !	Toimenpiteet laitteet, koulutus, menettelyt tai organisaatio
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tarkista säteilysuojan paikoituksen onnistuminen.</li> </ul>		C1	Tarkistaminen jätetään tekemättä; kuitataan tarkistetuksi ilman että tarkistus on tehty.	Laite voi olla väärässä kohdassa seuraavaa sekvenssiä varten.	ei toivuta	matala		<p>Operaattorille tarkat ohjeet siitä, mitä tietoja tarkistetaan ja miten, esim. anturien antamat tiedot, kamerakuvan tarkistaminen jne. Tarkastetaan, että tehtävä on mahdollista suorittaa rikkomatta sääntöjä.</p> <p>Tehtävän suorittamiseen varataan riittävä aika.</p> <p>Operaattori kuittaa paperille tai käyttöliittymään tarkistuksen tehdyksi.</p> <p>Turvallisuuskulttuuri kannustaa tarkastusten tekemiseen.</p> <p>Koulutuksessa huomioidaan tarkistusten merkitys ja sääntöjen noudattaminen.</p>

Kuva 6. Kuvakaappaus KSAAn analyysissä esiintyvistä tekemättä jättämisestä.

Operaattorin tehtäväksi on tarkastusten suorittamisen jälkeen asetettu tulevan sekvenssin läpikäyminen ennen kuin se aloitetaan. Tämän tehtävän avulla operaattorin tilan tietoisuus kasvaa, mikä auttaa varautumaan riskeihin. Jos tietoa ei saada, operaattori "ajaisi sokkona" (esimerkki Kuvassa 7). Tehtävä vaatii tarkemman kuvauksen, mutta tässä vaiheessa oletetaan, että tehtävä sisältää tulevien vaiheiden silmäilyn lävitse, jonka jälkeen voidaan valita käyttöliittymästä "aloita seuraava sekvenssi". Lisätään operaattorin ohjeisiin, että jos ei ole saatavilla tietoa mitä seuraavaksi tapahtuu, seuraavaa sekvenssiä ei käynnistetä, jolloin virheen välttäminen onnistuu.

Teht. nro	Toiminnan kuvaus	Allokointi (ihminen/ automaatio)	Virhe- koodi	Virheen kuvaus	Seuraukset	Toipuminen (välittömästi/ tehtävässä x.x/ ei toivuta)	Tod. (matala/ keski/ korkea)	Kriit. !	Toimenpiteet
1.4.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Käy läpi seuraava sekvenssi ja anna lupa jatkaa.</li> </ul> <p><i>Tässä oletetaan, että silmälläään mitä seuraavaksi tapahtuu, jonka jälkeen valitaan "Aloita seuraava sekvenssi".</i></p>	ihminen	R1	Tietoa ei saada: operaattori ei tiedä mitä seuraavassa sekvenssissä tapahtuu.	Operaattori ei ole tiedä mitä seuraavaksi tapahtuu ja/tai valmistelut ovat tekemättä.	toivutaan heti, jos ei jatketa ennen kuin tieto on saatavilla	matala		Päivitetään tarkempi kuvaus tähän mitä tähän sisältyy.  Ohjeistetaan, että jos tietoa ei jostain syystä ole saatavilla, ei käynnistetä uutta sekvenssiä.  Käyttöliittymäsuunnittelussa huomioitava, että operaattori näkee reaaliaikaisesti näytöllä mitä sekvenssiä ja tehtävää suoritetaan, ja mitä tapahtuu seuraavaksi.  Sekvenssi voidaan pysäyttää missä vaiheessa vain.

Kuva 7. Kuvakaappaus KSAAn analyysissä esiintyvistä tiedon saamattomuudesta.

Analyysi sisältää myös ihmisen tekemiä tehtäviä, joihin liittyy tiedon vertaamista tai syöttämistä, esimerkiksi työntekijän pitää syöttää laitteelle reitti työluvan mukaisesti (esimerkki Kuvassa 8). Jotta nämä tehtävät onnistuvat, tehtävän suorittamisessa on tärkeää käyttää neljän silmän periaatetta, eli toinen operaattori tarkistaa ensimmäisen suorituksen. Joissain tehtävissä voidaan käyttää myös tiedon syöttämistä käyttöliittymään, jolloin tehtävässä ei voida edetä ennen kuin tiedot täsmäävät.

Teht. nro	Toiminnan kuvaus	Allokointi (ihminen/ automaatio)	Virhe- koodi	Virheen kuvaus	Seuraukset	Toipuminen (välittömästi/ tehtävässä x.x/ ei toivuta)	Tod. (matala/ keski/ korkea)	Kriit. !	Toimenpiteet
6.1.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aseta reitti LS-reiälle työluvan mukaisesti.</li> </ul>	ihminen: kommunikaatio	A7	Väärä toiminta oikealle kohteelle: Asetetaan väärä reitti.	Laite ajaa väärää reittiä kohteelle.	ei toivuta	matala	!	Toinen ihminen varmentaa reitin asettamisen. Käytetään HU-työkäluä parityöskentely.

Kuva 8. Kuvakaappaus KSAAn analyysissä esiintyvistä väärästä toiminnasta.

Kommunikoinnin epäonnistumisen välttämiseksi (esimerkki Kuvassa 9) käytetään HU-työkäluista varmennettua kommunikointia. Työkäluun avulla varmistetaan, että molemmat osapuolilla on yhteinen näkemys siitä, mitä seuraavaksi tapahtuu. Operaattori ohjeistetaan tarkistamaan myös saatavilla olevista kamerakuvista tilanne.

Teht. nro	Toiminnan kuvaus	Allokointi (ihminen/ automaatio)	Virhe- koodi	Virheen kuvaus	Seuraukset	Toipuminen (välittömästi/ tehtävässä x.x/ ei toivuta)	Tod. (matala/ keski/ korkea)	Kriit. !	Toimenpiteet
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tarkista, että lastausalue on valmisteltu.</li> </ul>		I3	Kommunikointi epätydellinen: lastausalueesta vastaavan kanssa kommunikointi epäonnistuu, ymmärretään että voidaan aloittaa, vaikka ei ole vielä valmiista.	Ajaminen aloitetaan, vaikka lastausalue ei ole valmis: lastausalueella saattaa olla vielä ihmisiä tai laitteita, tai kansi voi olla vielä paikallaan.	ei toivuta	matala		Käytetään kommunikoinnissa HU-työkäluä varmennettu kommunikointi.  Ohjaamoon on saatavilla kamerakuva, josta näkyy lastauspaikan tilanne. Ohjeeseen lisätään tarkistaminen kamerakuvasta, jolloin virheestä voidaan toipua siinä vaiheessa.  Navigointijärjestelmä tunnistaa esteen ja pysäyttää laitteen.

Kuva 9. Kuvakaappaus KSAAn analyysissä esiintyvistä kommunikoinnin epäonnistumisesta.



### 6.1.2 Työpajan aikaiset huomiot

Toipumisen määritelmästä keskusteltiin työpajan aikana. Työpajassa päätettiin pitäytyä ohjeissa olevaan määritelmään, ja todettiin, että menetelmän testaamisen yhteydessä voidaan edetä avoimemmilla ohjeilla. Jatkokäyttöä varten tarkistetaan, löytyykö toipumiselle lisäohjeita.

Työpajan aikana todettiin, että vaikka tarkasteltiin operaattorin toimintaa, tässä vaiheessa laitesuunnitteluun on vielä mahdollista vaikuttaa. Tämän vuoksi olisi hyvä ottaa Human Factors Engineering -alueen asiantuntija mukaan, jos vastaavia analyysejä tehdään muille laitteille.

### 6.1.3 Palaute työpajan päätteeksi

SHERPA-menetelmän käytöstä kysyttiin palautetta työpajan jälkeen suullisesti puolistrukturoitujen kysymysten avulla. Yleisesti menetelmä koettiin toimivaksi ja todettiin, että sitä voisi jokainen osallistuja käyttää omassa työssään. Koska SHERPA ei ota huomioon kognitiivisia tekijöitä, eikä työympäristön tai organisaation inhimillisiä tekijöitä, pohdittiin, että näitä voisi etsiä jollakin toisella menetelmällä. Hyväksi koettiin myös, että SHERPAlla tehdystä analyysistä voidaan tehdä riskirekisteri, ja että analyysin avulla voitaisiin myös arvioida, tarvitaanko kaikkia tarkastuspisteitä.

Myös toipumisen ja kriittisyyden tarkemmasta määrittelystä keskusteltiin, jos SHERPA otetaan käyttöön systemaattisemmin. Menetelmässä kriittisyys tarkoittaa kriittisyyttä prosessin kannalta. Loppusijoituksessa kriittistä on turvallisuus, ja pohdittiin voisiko menetelmään lisätä sarakkeen, jossa arvioitaisiin virheen kriittisyyttä pitkäaikaisturvallisuuden kannalta.

SHERPAn lomakepohjaa voisi kehittää lisäämällä toimenpiteille (laitteet, koulutus, menettelyt ja organisaatio) omat laatikot, joihin toimenpiteet kirjattaisiin. Näin toimenpiteille olisi helpompi merkitä myös vastuuhenkilöt organisaatiosta.

Prosesseja kokonaisuutena tarkasteltuna pohdittiin sitä, että koska ihmisellä on vain tarkastustehtäviä, ihmisen tarkkaavaisuuden ylläpitämiseen pitää kiinnittää huomiota.

SHERPAn käyttämisestä todettiin, että se antaa jo nyt laitesuunnitteluvaiheessa lisätietoa, esimerkiksi tässä tapauksessa siihen, missä kaikkialla kameroita olisi hyvä olla. SHERPasta nähtiin olevan myös hyötyä siinä vaiheessa, kun tehtäväanalyysi on viety yksityiskohtaisemmalle tasolle tai kun käyttö- ja huolto-ohjeita laaditaan ja tarkastetaan.

## 6.2 Työpajan palautteen perusteella tehtävät muutokset menetelmään

Menetelmän jatkokäyttöä ajatellen etsittiin tarkempaa tietoa toipumisesta ja mitä sillä tarkoitetaan. Käytetään esimerkkinä kohtaa lastausalueen valmistelujen tarkastamisesta (Kuvassa 10).

	• Tarkista, että lastausalue on valmisteltu.		11	Tietoa ei kommunikoida: lastausalueesta vastaavaan ei saada yhteyttä.	Toimintaa ei voida jatkaa.	välittömästi	matala		Puhelinyhteys täytyy aina saada.
			13	Kommunikointi epätäydellinen: lastausalueesta vastaavaan kanssa kommunikointi epäonnistuu, ymmärretään että voidaan aloittaa, vaikka ei ole vielä valmiista.	Ajaminen aloitetaan, vaikka lastausalue ei ole valmis: lastausalueella saattaa olla vielä ihmisiä tai laitteita, tai kansi voi olla vielä paikallaan.	ei toivuta	matala		Käytetään kommunikoinnissa HUI-työkalua varmennettu kommunikointi.  Ohjaamoon on saatavilla kamerakuva, josta näkyy lastauspaikan tilanne. Ohjeeseen lisätään tarkistaminen kamerakuvasta, jolloin virheestä voidaan toipua siinä vaiheessa.  Navigointijärjestelmä tunnistaa esteen ja pysäyttää laitteen.

Kuva 10. Kuvakaappaus KSAAn analyysistä.

Jos tarkistamisen suorittaminen olisi määritelty vielä tarkemmin, esimerkiksi tarkista puhelimitse lastausalueen valmistelijalta, ettei lastauspaikalla ole esteitä, voitaisiin helpommin havaita, että mahdollisia virheitä on kaksi: tietoa ei kommunikoida, eli vastapuoleen ei saada yhteyttä. Tästä voidaan toipua heti, koska soitetaan niin pitkään, että vastapuoli vastaa. Toinen mahdollisuus on, että tieto ilmaistaan epäselvästi, eli operaattori tulkitsee vastapuolen kommentin, että toiminta voidaan aloittaa. Tällaisesta virheestä ei palauduta välittömästi, vaan mahdollisesti myöhemmässä vaiheessa, jos automaatio tai ihminen tarkkailee esteitä.

Embrey (1986) mukaan toipumista arvioidaan seuraavilla kysymyksillä:

1) Huomataanko virhe myöhemmässä vaiheessa

a) tarkkailemalla tai

b) jos siitä on syntynyt fyysinen este etenemiselle?

2) Voiko tehdyn virheen huomata heti?

Kuitenkin koska tässä työpajassa oli tarkoitus keskittyä yleisesti menetelmän testaamiseen, tehtäväkuvakseen päivitystä ei tehdä osana opinnäytetyötä, vaan tämä lisätään huomioksi mahdollisia myöhempiä käyttökertoja varten.

SHERPA-menetelmän pohjaa on myös päivitetty lisäämällä loppuun sarake, johon voidaan merkitä, onko toimenpide laitteiden, koulutuksen, menetelmien vai organisaation alla. Pohjaan on lisätty myös sarake, johon voi merkitä onko virheellä vaikutusta pitkäaikaisturvallisuuteen. Päivitetty pohja on liitteessä 1.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten inhimillisiä tekijöitä voitaisiin ennakoida tuotantolaitteiden käytössä. Inhimilliset tekijät saadaan näkyville potentiaalisia inhimillisiä virheitä analysoitaessa. Kun virheiden syntymekanismia tarkastellaan, hahmotetaan, miten eri tekijöihin vaikuttamalla voidaan pienentää virheen todennäköisyyttä. Vähentämällä inhimillisiä virheitä työn laatu paranee ja työ suoritetaan todennäköisemmin ensimmäisellä kerralla oikein, jolloin korjauksia ei tarvitse tehdä. Myös onnettomuuksien todennäköisyys pienenee.

Inhimillisten tekijöiden ennakointi on tärkeää erityisesti turvallisuuskriittisissä organisaatioissa, kuten ydinjätteen loppusijoitusta muutaman vuoden päästä tekevällä Posivalla. Operoitaessa Kapselin siirto- ja asennusajoneuvoa, jonka kyydissä on säteilevä loppusijoituskapseli, on tärkeää, että toiminta on mahdollisimman turvallista ja sujuvaa.

Tutkimuskysymykseen vastaamiseksi löytyi menetelmä, Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach. Menetelmää oli tarkasteltu jo muissakin tutkimuksissa, joten sen kokeilu arvioitiin kannattavaksi. Testaukseen osallistui Tuotantolaitteet-ohjelmajärjestelmän jäseniä. Työpajassa todettiin, että menetelmää potentiaalisten vir-

heiden löytämiseksi oli helppo käyttää. Löydettyjen virheiden avulla pystyi myös helposti päättelemään korjaavia toimenpiteitä, vaikka ei olisi ollut inhimillisten tekijöiden asiantuntija. Kuitenkin tieto eri virhetyypeistä auttaa valitsemaan parhaimmin toimivat toimenpiteet eri virhetyypeille.

SHERPA-menetelmässä yksi virheiden ehkäisyn toimenpiteiden kategoriana on laitteeseen tai koneeseen tehtävät muutokset, joten SHERPAA voi käyttää myös laitesuunnittelun aikana. Toimeksiantajalle on kuitenkin tulossa HFE-ohjeet (Human Factors Engineering), joita noudattamalla inhimillisten tekijöiden hallinnasta suunnittelussa voidaan varmistua. Kuitenkin tässä vaiheessa, kun HFE-ohjeet ovat vielä työn alla, voidaan käyttää SHERPA-menetelmää osana suunnittelua.

SHERPA-analyysissä toimenpiteitä voidaan osoittaa laitteiden lisäksi myös koulutukselle, menettelyille tai organisaatiolle. Ne asiat, joita ei voida laitesuunnittelussa huomioida, tulevat muiden osastojen huomioitavaksi. Esimerkiksi roolien suunnittelu tai koulutuksen suunnittelu hyötyvät SHERPAN avulla tehdystä analyysistä. Jos analyysissä todetaan, että inhimillisiä virheitä välttääkseen ohjaamossa tulisi olla kaksi henkilöä parityöskentelyn mahdollistamiseksi, tämä pitää huomioida organisaatiotasolla resurssien suunnittelussa. Kun organisaatiossa päästään siihen vaiheeseen, että aletaan suunnitella tarkemmin tarvittavia resursseja ja koulutuksia, voidaan analyysin tulosten avulla perustella näitä valintoja.

Missään vaiheessa ei kuitenkaan ole myöhäistä tehdä SHERPAN avulla analyysiä inhimillisten virheiden ennakoimiseksi. Jos analyysi tehdään olemassa oleville prosesseille, voidaan haastatella tai seurata työtä suorittavia henkilöitä. Tehtiinpä analyysissä tahansa vaiheessa, sen tulosten avulla voidaan vähentää inhimillisiä virheitä.

Analyysin aikana myös huomattiin, että menetelmää hyödyntäen kannattaa tehdä useampi iteraatiokierros. Kun operaattorin tehtäviä muutetaan, esimerkiksi lisätään tehtäväksi kamerakuvan tarkistaminen, on syytä päivittää analyysi vastaamaan uutta tehtäväänalyysiä. Uusia potentiaalisia virheitä voi paljastua, mutta samalla voidaan myös todeta tehtyjen muutosten vaikutukset virheiden vähentämiseksi.

Menetelmää kokeiltiin yhteen loppusijoituksen tuotantolaitteeseen, mutta menetelmän avulla voidaan analysoida myös muuta loppusijoitustoimintaa, esimerkiksi kapselointilaitoksen operointia. Menetelmä toimii myös muilla ydinlaitoksilla. Käyttämällä systemaattisesti menetelmää, voidaan vastata Säteilyturvakeskuksen määräykseen inhimillisten tekijöiden hallinnasta käyttötoiminnassa. Menetelmän avulla voidaan "*kiinnittää huomiota inhimillisten virheiden välttämiseen*".

Menetelmää voidaan käyttää myös muilla teollisuuden aloilla inhimillisten virheiden tunnistamiseen, koska virheet luokitellaan yleisellä tasolla. Muilla aloilla ei välttämättä käytetä termejä inhimilliset tekijät ja inhimilliset virheet, mutta jokaista yritystä todennäköisesti kiinnostaa tehdä työ mahdollisimman laadukkaasti ja turvallisesti.

### **Luotettavuuden tarkastelu**

Laadullisen tutkimuksen luotettavuus tarkoittaa sitä, että tutkimustulokset vastaavat tutkittavaa ilmiötä. Luotettavuuden arviointi vaatii, että dokumentaatio on mahdollisimman tarkkaa. Aineistoa vertaisarvioitaessa myös muiden pitäisi päätyä samaan lopputulokseen. Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta voidaan tarkastella siirrettävyyden, riippuvuuden, vahvistettavuuden ja saturaation avulla. (Kananen 2015, 353.)

Opinnäytetyössä on pyritty kuvaamaan tutkimuksen vaiheet mahdollisimman tarkasti, sillä Kanasen (2015, 353) mukaan laadullisen tutkimuksen siirrettävyys vaatii, että tutkittavasta ilmiöstä ja sen kontekstista pitää tehdä mahdollisimman syvällistä ja tiheää. Tällaisen kuvauksen avulla siirtäjä voi päätellä, ovatko tutkimustulokset siirrettävissä hänen olettamaansa tilanteeseen, sillä laadullinen tutkimus itsessään ei pyri yleistyksiin.

Riippuvuus tarkoittaa sitä, että tutkimustulokset on johdettu oikein aineistosta, eli ulkopuoliset tulkinnan tekijät tutkimustulosten tulkintaa tehdessään päätyvät samaan tulokseen. (Kananen 2015, 353.)

Vahvistettavuus voidaan varmistaa sillä, että aineiston ja tulkinnan vahvistavat he, joita tutkimus koskee. Tällöin voidaan todeta, että tutkimus on luotettava tutkittavan

kannalta, ja että tulokset eivät ole tutkijan keksimiä. Vahvistettavuus voidaan varmistaa myös käyttämällä triangulaatiota, eli todisteita kerätään useammasta lähteestä. (Kananen 2015, 354.) Tässä vaiheessa vielä ei ole operaattoreita, jotka voisivat vahvistaa aineiston tulkinnan ja tutkimustuloksen analyysin sisällön osalta. Tutkimusmenetelmän käyttökelpoisuuden tuloksen ovat vahvistaneet laitteiden käytön suunnitteluun osallistuvat.

Laadullisessa tutkimuksessa saturaatio tai kylläntyminen tarkoittaa sitä, että uusia havaintoyksiköjä otetaan tutkittavaksi niin kauan kuin ne tuovat tutkimukseen jotain uutta, mutta kun vastaukset alkavat toistamaan itseään, on saavutettu kylläntyminen. Se voi tapahtua jo muutaman havaintoyksikön jälkeen, tai joissain tapauksissa yli kymmenen jälkeen, riippuen tutkimusongelman asetelusta. (Kananen 2015, 355.) Opinnäytetyön työpajassa oli osallistujia vain laiteryhmästä sekä HU-asiantuntija. Käytön suunnittelun edetessä henkilöitä myös muista ohjelmista kannattaa ottaa mukaan jos vastaava analyysi tehdään muille laitteille. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan ole vielä tietoa, otetaanko menetelmä laajempaan käyttöön yrityksen sisällä.

Laadullisessa tutkimuksessa voidaan käyttää myös kriteerivaliditeettia, eli omille tulkinnoille haetaan vahvistusta muiden tutkijoiden tuloksista. Se vaatii aikaisempien tutkimusten olemassaoloa, mutta näin ei ole aina laadullisessa tutkimuksessa. (Kananen 2015, 355.) SHERPA-menetelmää on arvioitu muissa tutkimuksissa, joissa sen on todettu toimivan inhimillisten virheiden tunnistamisessa.

### **Jatkotutkimusaiheita**

Suosittelen jatkamaan tutkimusta tarkastelemalla, missä vaiheissa organisaation prosesseja menetelmää käytettäisiin. Tutkimuksen avulla menetelmän käyttäminen voitaisiin liittää systemaattisesti osaksi organisaation prosesseja. Kun organisaatiossa tehtäisiin iteraatiokierrokset määritellyissä vaiheissa, menetelmän käyttämisestä saataisiin entistä suurempi hyöty.

Menetelmän avulla löytyneet potentiaaliset virheet olisi hyvä sijoittaa riskikartalle, jonka akseleina ovat todennäköisyys ja kriittisyys, jolloin voidaan havainnollisemmin nähdä mille virheille kannattaa toteuttaa todennäköisyyksiä pienentäviä toimenpiteitä.

Jos virheiden tapahtumisen todennäköisyyksiä haluttaisiin laskea, voidaan se tehdä muilla menetelmillä.

Tutkimusta olisi hyvä jatkaa huomioimalla analyysiä tehtäessä myös virheille altistavat tekijät. Esimerkkiä näiden huomioimiseen voi ottaa esimerkiksi HERA-menetelmästä, jossa virheille altistavia tekijöitä ovat aika, käyttöliittymä, koulutus ja kokemus, menetelmät, organisaatio, stressi ja monimutkaisuus. Vaihtoehtoisesti voitaisiin kokeilla jonkin toisen menetelmän käyttämistä, jossa on huomioitu virheille altistavat tekijät ja kognitiiviset tekijät.

## LÄHTEET

Berlin, C. & Adams, C. 2017. Production ergonomics: Designing work systems to support optimal human performance. London, England: Ubiquity Press. Viitattu 1.12.2020. <http://library.oapen.org/handle/20.500.12657/31300>

Embrey, D. 1986. SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach. In: Proceedings of the international topical meeting on advances in human factors in nuclear power systems. Knoxville, TE. Viitattu 3.2.2021. <https://www.researchgate.net/publication/289967701>

Flink, A., Reiman, T. & Hiltunen, M. 2007. Heikoin lenkki? Riskienhallinnan inhimilliset tekijät. Helsinki: Edita.

Grote, G. 2011. Limits of Control in Advanced Technology and Consequences for Reassigning Accountability. Teoksessa Karwowski, W. & Salvendy, G. (toim.) 2011. Advances in human factors, ergonomics, and safety in manufacturing and service industries. Boca Raton: Taylor & Francis.

Health and Safety Executiven www-sivut 2021. Human factors: Managing human failures. Viitattu 25.1.2021. <https://www.hse.gov.uk/humanfactors/topics/humanfail.htm>

Department of Energy 2009a. Human Performance Improvement Handbook, Vol 1: Concepts and principles. Washington: U.S. Department of Energy. Julkaisu DOE-HDBK-1028-2009. Viitattu 28.9.2020 <https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1028-BHdbk-2009-v1>

Department of Energy 2009b. Human Performance Improvement Handbook, Vol 2: Human Performance Tools for Individuals, Work Teams, and Management. Washington: U.S. Department of Energy. Julkaisu DOE-HDBK-1028-2009. Viitattu 28.9.2020 <https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1028-BHdbk-2009-v1>

Kalakoski, V., Ratilainen, H., Puro, V., Perttula, P., Salminen, S., Lukander, J., Mattila, S., Leskinen, T., Mäkelä, T. & Plaketti, P. 2015. Sujuvaa työtä, vähemmän virheitä. Inhimillisten virheiden vähentäminen työpaikoilla (SUJUVA). Helsinki: Työterveyslaitos. Viitattu 26.11.2020 [http://urn.fi/URN:ISBN%20978-952-261-543-5%20\(PDF\)](http://urn.fi/URN:ISBN%20978-952-261-543-5%20(PDF))

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Lukka, K. 2001. Konstruktiivinen tutkimusote. Viitattu 21.8.2020. <https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2009. Kehittämistyön menetelmät: Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. Helsinki: WSOYpro.

Posivan vuosikertomus 2019. Viitattu 1.3.2021. <https://posiva.fi/>



- Posivan www-sivut 2021. Viitattu 1.3.2021. <https://posiva.fi/>
- Reason, J. 1990. Human error. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reason, J. 1999. Managing the risks of organizational accidents. Aldershot: Ashgate.
- Reason, J. & Hobbs, A. 2004. Managing maintenance error: A practical guide. Burlington, VT: Ashgate.
- Reason, J. 2008. The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries. Farnham: Ashgate.
- Reiman, T. & Oedewald, P. 2008. Turvallisuuskriittiset organisaatiot: Onnettomuudet, kulttuuri ja johtaminen. Helsinki: Edita.
- Salvendy, G. (toim.) 2012. Handbook of human factors and ergonomics. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc. Viitattu 1.12.2020 <https://ebookcentral.proquest.com/>
- Schager, B. (2008). Human error in the maritime industry: How to understand, detect and cope. Marine Profile Sweden.
- Shorrock, S. 2017a. 'Four Kind of Human Factors: 2. Factors of Humans'. 12.8.2017. Viitattu 28.9.2020. <https://humanisticsystems.com/2017/08/12/four-kinds-of-human-factors-2-factors-of-humans/>
- Shorrock, S. 2017b. 'Four Kind of Human Factors: 3. Factors Affecting Humans'. 18.9.2017. Viitattu 28.9.2020. <https://humanisticsystems.com/2017/09/18/four-kinds-of-human-factors-3-factors-affecting-humans/>
- Skybraryn verkkosivut 2020. Viitattu 28.9.2020. [https://www.skybrary.aero/index.php/The\\_Human\\_Fators\\_%22Dirty\\_Dozen%22](https://www.skybrary.aero/index.php/The_Human_Fators_%22Dirty_Dozen%22)
- Stanton, N., Salmon, P., Walker, G., Baber, C. & Jenkins, D. 2005. Human factors methods: A practical guide for engineering and design. England: Ashgate Publishing Limited. Viitattu 1.10.2020. <https://ebookcentral.proquest.com>
- Strobhar, D. A. 2012. Human factors in process plant operation. New York: Momentum Press, LLC. Viitattu 18.11.2020 <https://ebookcentral.proquest.com>
- Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta. 2018. STUK Y/1/2018
- Talvio, K. 2017. Loppusijoituslaitoksen operointikonsepti, ver. 1.0. Posivan sisäinen dokumentti.
- Talvio, K. 2020. HFE-ohjelman suunnitelma, ver. 2.0. Posivan sisäinen dokumentti.
- Taylor, E. 2012. Mr Murphy and Swiss Cheese. Canada Defence Flight Comment 1, 10-12. Viitattu 1.10.2020. <http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/1849.pdf>

Teperi, A-M., Ruotsala, R., Asikainen, I., Ala-Laurinaho, A., Lantto, E. & Paajanen, T. 2020. Turvallisesti raiteilla. Opas inhimillisten ja organisatoristen tekijöiden huomiointiin työssä. Helsinki: Työterveyslaitos. Viitattu 14.12.2020. [http://urn.fi/URN:ISBN 978-952-261-934-1](http://urn.fi/URN:ISBN%20978-952-261-934-1)

Woods, D., Dekker, S., Cook, R., Johannesen, L. & Sarter, N. (2010). Behind human error. Farnham: Ashgate.

