

Etäluettavat tekniikat työntekijöiden altistumisen arvioinnissa ja turvallisuuden varmistamisessa



**Mika Jumpponen
Pirjo Heikkinen
Timo Nurkka
Mauri Mäkelä
Maija Leppänen**

Etäluettavat tekniikat työntekijöiden altistumisen arvioinnissa ja turvallisuuden varmistamisessa

Mika Jumpponen, Pirjo Heikkinen, Timo Nurkka, Mauri Mäkelä ja Maija Leppänen

Työterveyslaitos

Työturvallisuus -yksikkö

PL 40

00251 Helsinki

www.ttl.fi

Piirrokset: Mika Jumpponen

© 2024 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Hanke on toteutettu Työsuojelurahaston tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-391-151-2 (PDF)

Esipuhe

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Työsuojelurahaston, Neste Oyj Porvoon jalostamon, SSAB Europe Oy Raahen terästehtaan ja Työterveyslaitoksen kanssa. Tutkimusta rahoittivat Työsuojelurahasto, Työterveyslaitos ja hankkeessa mukana olevat yhteistyöyritykset.

Tutkimusryhmä kiittää tutkimuksessa mukana olevia yrityksiä, yritysten yhdyshenkilöitä ja työntekijöitä hyvästä yhteistyöstä. Näiden tahojen aktiivinen ja myönteinen asenne hanketta kohtaan mahdollistivat hankkeen toteuttamisen vuosien 2021–2024 aikana. Hakuamme lisäksi kiittää Työterveyslaitoksen Työympäristölaboratoriot -yksikön henkilökuntaa tutkimushankkeen työhygieenisten näytteiden analysoimisesta ja Marika Lehtolaa alkuhaastatteluiden yhteenvedon tekemisestä.

Kuopiossa 12.4.2024

Tutkimusryhmä

Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin työntekijöiden altistumista kaasuille ja liuotinaineille standardin SFS-EN 689:2018 + AC:2019 mukaisesti jakamalla työntekijät samoin altistuvien työntekijöiden ryhmiin (SEG). Tutkimuksessa selvitettiin myös etäluettavien mittareiden hyötyjä työntekijöiden pitkäaikaisen altistumisen arvioinnissa. Tavoitteena oli mm. selvittää lisäävätkö etämittaukset ja -seuranta työntekijöiden turvallisuutta ja mitä haasteita etäluettavien mittareiden käyttöönotossa ja käytössä esiintyy.

Tutkimuksessa muodostettujen samoin altistuvientyöntekijäryhmien (SEG 1-10) altistuminen hiilimonoksidille vaihteli paljon ja altistuminen rikkivedylle oli pääosin vähäistä. Suurimmat hiilimonoksidi- ja rikkivetytitoisuudet olivat tilanteissa, joissa työntekijät joutuivat kaasupilveen tai työskentelivät lähellä kaasuvaarallisia kohteita. Liuotinaineiden yhteispitoisuuksissa oli suuria eroja eri SEG-ryhmien välillä. Suurimmat liuotinainepitoisuudet mitattiin vuototilanteen korjauksen aikana, rasvan poistamiseen käytettävän kemikaalin käytön aikana ja maalareiden hengitysvyöhykkeillä.

Lyhytaikaisten altistumisjaksojen määrät mitattiin tässä tutkimuksessa etäluettavan mittarin avulla. Toimenpiteitä edellyttäviä lyhytaikaisia yli 4 kertaa HTP_{15min} -arvoa vastaavia altistumisjaksoa 8 tunnissa ei tässä tutkimuksessa esiintynyt. Tästäkin huolimatta suurilta kaasupitoisuuksilta tulee osata suojautua ja kaasuvaaralliset paikat työalueilta on hyvä tuntea, jotta tarpeetonta altistumista voidaan välttää.

Standardin SFS-EN 689:2018 + AC:2019 mukainen tarkastelu osoitti, että SEG-ryhmät onnistuttiin valitsemaan pääasiassa hyvin. Samalla työalueella työskentelevät työntekijät eivät kuitenkaan välttämättä muodosta yhtä samoin altistuvaa ryhmää. Tutkimuksessa havaittiin, että vaikka standardin edellyttämällä mittauksilla saadaan hyvä kuva työntekijöiden altistumisesta, niin pidempään kestäväillä työntekijöiden etäseurannalla altistumistilanteista saatiin tarkempia tietoja.

Noin 75 % työntekijöistä koki, että etäluettava mittari lisäsi tietoisuutta työympäristön altisteista, 50 % koki mittarin vahvistavan turvallisuuden tunnetta työssä ja kolmannes koki paikannusominaisuuden parantavan turvallisuutta. Toisaalta 26 % koki, että paikannusominaisuus ei paranna turvallisuutta ja laitteen paikannusominaisuus herätti ennen laitteen käyttökokeilua eniten epäilyksiä. Etäluettavan tekniikan käytön avulla onnistuttiin selkeästi havaitsemaan liuotinaineille tai kaasuille altistavia työkohteita yli puolessa tutkimuksen kohteista ja löydettiin uusia työkohteita ja uusia työntekijäryhmiä, joiden altistumiseen tulisi kiinnittää jatkoissa enemmän huomiota. Haasteina altistavien työkohteiden erottamisessa olivat useampikerroksiset työkohteet tai kohteet, jotka eivät ole havaittavissa suoraan sovelluksen kartalta. Yhdessä kohteessa paikannuksen virhe oli yli viisi metriä.

Työntekijöiden avun tarvetta havainnointiin tutkimuksessa etäluettavan mittarin kaatumishälytysten avulla. Hälytyksiä kaatumisista tuli tilanteissa, joissa istahdettiin tupakkapaikalle, ahtaissa työkohteissa ja kohteissa, joissa työntekijät eivät todennäköisesti edes liikkuneet. Todellisia kaatumisia ei tutkimuksen aikana raportoinut yksikään työntekijä. Jos etäluettavia mittareita on tarkoitus käyttää ensiavun tarpeen ja sen kohdentumisen havaitsemisessa, tulee etäluettavan mittarin toimintaan ja mittarin säätöihin tutustua hyvin ennen sen käyttöä.

Etäluettavien mittareiden käyttöönotosta ja käytöstä tehtiin malliratkaisu, joka julkaistaan Työterveyslaitoksen Malliratkaisut-nettisivuilla. On hyvä muistaa, että uudet etäluettavat mittarit ovat turvallisuuden apuvälineitä, mutta ne eivät ratkaise työympäristön ongelmia, eivätkä välttämättä takaa turvallisuutta yksintyöskentelyn aikana.

Abstract

In this study, workers' exposure to gases and solvents were assessed using a standard SFS-EN 689:2018 + AC:2019 by dividing the workers into Similar Exposure Groups (SEG). Additionally, the benefits of a 3G-connected gas detector in assessing workers' long-term exposure were studied. The aims were to find out if 3G-connected gas detector measurements and tracking enhance employees' safety, and what are the challenges associated with the implementation and use of 3G-connected gas detectors.

The exposure to carbon monoxide varied significantly among the SEG1-10. Exposure levels to hydrogen sulfide were mainly low. The highest concentrations of carbon monoxide and hydrogen sulfide were measured when workers got to gas clouds or worked near gas hazardous spaces. There were significant differences in the total solvent concentrations among the different SEG groups. The highest solvent concentrations were measured during leak repairs, the use of chemicals for grease removal, and in the breathing zones of painters.

In this study, the number of short-term exposure periods was measured using the 3G-connected gas detectors. The reference value for short-term exposure was not exceeded for more than four times within an 8-hour period, that would have required actions to decrease workers exposure. Nevertheless, it is important to protect workers from high gas concentrations and to recognize hazardous gas areas in the work environment to avoid unnecessary exposure.

The evaluation according to the standard SFS-EN 689:2018 + AC:2019 showed that the SEGs were mostly correctly selected. However, workers who were working in the same area may not necessarily form a single SEG. The study revealed that while the measurements required by the standard provide a good view of workers' exposure, longer-term 3G-connected gas detector measurements of workers yielded more detailed information about worker exposure in different workdays.

Roughly 75% of the workers felt that the use of 3G-connected gas detectors increased awareness of workplace exposure agents, while 50% felt that the device enhanced their sense of safety at work, and one-third felt that the location tracking feature improved safety. On the other hand, 26% felt that the location tracking feature did not enhance safety. The device's location tracking feature raised a lot of doubts before the device was used. The use of 3G-connected gas detector technology clearly helped identify work areas with solvent or gas exposures in over half of the study sites. New work areas and worker groups were also found which will need more attention in exposure assessment in the future. Location tracking of workers on multi-story factory buildings or during working on areas not directly detected on the application's map were seen challenges in worker location tracking. In one location, the location tracking error exceeded five meters.

Workers' need for help was investigated through the 3G-connected gas detector's fall down alarms. Fall down alarms were triggered in situations such as sitting down at a smoking area, in confined workspaces, and in locations where workers were not working. No actual falls were reported by any worker during the study. If 3G-connected gas detectors are intended to be used to detect the need for first aid and its allocation, it is important to thoroughly familiarize oneself with the operation and settings of the 3G-connected gas detectors prior use.

A Control approach for implementing and use of 3G-connected gas detectors was developed in this study, and it will be published on the website of the Finnish Institute of Occupational Health. It should be remembered that the new 3G-connected gas detectors can help improving the occupational safety, but they do not solve workplace problems and do not necessarily guarantee safety when working alone.

Sisällys

Esipuhe	3
Tiivistelmä.....	4
Abstract	5
Sisällys.....	6
1 Johdanto.....	8
1.1 Altistumisen kokeminen ja yleisyys.....	8
1.2 Työntekijöiden altistuminen kaasuille.....	8
1.3 Työntekijöiden altistuminen liuotinaineille.....	8
1.4 Raja-arvojen uudistuminen	9
1.5 Kaasuhälyttimien käyttö ja laitteiden kehitys.....	9
1.6 Uusien kaasuhälyttimien ja mittausjärjestelmien hyödyt ja uhkat	9
1.7 Työntekijöiden altistumisen arvioiminen.....	10
1.8 Palkansaajien tapaturmat.....	10
1.9 Digitalisaatio	11
2 Tutkimuksen tavoitteet ja -kysymykset	12
3 Aineisto ja menetelmät.....	13
3.1 Lähtötiedot ja alkukartoitukset.....	13
3.1.1 Työpaikat ja ammattiryhmät.....	13
3.1.2 Alkukartoituskysely ja esikäynnit tutkimuskohteisiin.....	13
3.1.3 Alkuhaastattelut.....	13
3.2 Työhygieeniset selvitykset ja vertailuarvot.....	14
3.3 Etäluettavien mittareiden käyttökokeilut.....	18
3.3.1 Etäluettavien mittareiden käyttökokeilukysely ja kysely työturvallisuudesta	18
4 Tulokset ja tulosten tarkastelu	19
4.1 Alkukartoitukset.....	19
4.1.1 Alkukartoituskyselyt.....	19
4.1.2 Työskentelyalueet ja altisteet esikäyntien perusteella.....	21
4.1.3 Alkuhaastattelut.....	21
4.2 Työhygieeniset selvitykset.....	23
4.2.1 Keräävien menetelmien tulokset.....	23
4.2.2 Etäluettavan mittarin tulokset.....	24
4.2.3 Keräävien menetelmien ja etäluettavan mittarin tulosten vertailu	27
4.2.4 Työntekijöiden työskentelyalueet, altistavimmat kohteet ja etäluettavan mittarin hälytykset	30
4.3 Etäluettavien mittareiden käyttökokeilut.....	32

4.3.1	Etäluettavien mittareiden käyttökokeuskysely ja kysely työturvallisuudesta	40
5	Johtopäätökset.....	43
	Lähteet	48

1 Johdanto

1.1 Altistumisen kokeminen ja yleisyys

Suomen palkansaajista 16 prosenttia on kokenut erilaiset kaasut, savut ja sumut haitallisiksi työpaikoilla vuonna 2018. Näiden altisteiden haittojen määrä on suuri, kun tulosta vertaa esimerkiksi työpaikoilla koettuihin sisäilmaongelmiin, joita esiintyi 20 prosentilla palkansaajien työpaikoista. Koetut kaasujen, savujen ja sumujen haitat eivät ole työpaikoilla merkittävästi alentuneet vuoden 1977 jälkeen [1], joten näiden altisteiden arvioimiseen ja torjuntatoimenpiteiden toteuttamiseen olisi syytä löytää viimein uusia ratkaisuja.

1.2 Työntekijöiden altistuminen kaasuille

Työntekijät altistuvat kaasuille työpaikoilla mm. hengitysteiden, silmien ja ihon välityksellä. Hengitystiealtistuminen voi aiheuttaa hengitysteiden, nenän ja kurkun ärsytystä, silmien kautta tapahtuva altistuminen kirvelyä silmissä ja kyynelvuotoa ja ihon välityksellä tapahtuva altistuminen oireita iholla [2,3].

Monilla työpaikoilla kaasualtistumisen on raportoitu olevan lyhytaikaista, koska työntekijät työskentelevät tyypillisesti suuren osan työajasta teollisuuslaitosten valvomoissa. Vaikka työntekijöiden altistuminen olisikin normaalin työpäivän aikana lyhytaikaista, tämän hetkellisen altistumisen suuruus voi olla joissain tilanteissa moninkertainen kaasun haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen verrattuna. Vaikka työntekijät ovat altistuneet hetkellisesti suurille kaasupitoisuuksille, koko työpäivän aikainen altistuminen on katsottu olevan vähäistä [4] ja toimenpiteet työntekijöiden kaasualtistumisen vähentämiseksi ovat edelleen monilla tehtailla tekemättä.

Suuria hetkellisiä kaasupitoisuuksia on esiintynyt mm. jätevedenpuhdistamoissa, kloori- ja sellutehtailla (kloori kaasu), vesilaitoksilla (otsoni), kaivosteollisuudessa (typen oksidit, rikkidioksidi, rikkivety) ja biokaasulaitoksilla (hiilimonoksidi, hiilidioksidi ja rikkivety) [2, 4, 36]. Lisäksi useissa tuotantolaitoksissa on vaarana altistua suurille kaasupitoisuuksille prosessien ja prosessilinjastojen vuotojen ja korjaus-, kunnostus- ja puhdistustöiden aikana [2,3,5].

1.3 Työntekijöiden altistuminen liuotinaineille

Työympäristöt suomalaisilla työpaikoilla ovat kaasujen, sumujen ja huurujen haitoista huolimatta parantuneet liuotinaineille altistuvien osalta, joiden määrä on puolittunut viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Tänä päivänä kuitenkin 20 000 työntekijää altistuu päivittäin erilaisille hermostohaitallisille orgaanisille liuottimille. Liuotinaineille altistutaan työpaikoilla hengitysteiden ja ihon välityksellä. Lyhytaikainen altistuminen liuotinaineille voi aiheuttaa yleensä ohimeneviä vaikutuksia, kuten silmien, nenän ja nielun limakalvojen ärsytystä. Lyhytaikainen liuotinhöyryjen hengittäminen vaikuttaa myös hermostoon aiheuttaen päänsärkyä, huonovointisuutta, väsymystä ja huumausta. Liuotinaineet kuivattavat myös ihoa ja lisäävät työntekijän altistumista, jos kemikaalia pääsee iholle. Äkillinen ja usein tapaturmainen altistuminen erittäin suurille liuotinhöyrypitoisuuksille voi johtaa myrkytystilaan tai tajuttomuuteen. Pitkäaikaisen, voimakkaan altistumisen seurauksena liuottimet voivat vaurioittaa hermoston lisäksi myös sisäelimiä, maksaa ja munuaisia. Liuotinaltistuminen on myös huomioitava raskauden aikana [6].

Koska liuotinaineiden aiheuttamat hermostolliset haitat kehittyvät työntekijälle vuosien saatossa ja hermostovaurio ei parane, olisi edelleen kiinnitettävä huomiota niihin tilanteisiin, joissa liuotinainealtistumista tapahtuu. Haasteena vielä nykypäivänäkin on tunnistaa ne kohteet, joissa työntekijät altistuvat liuotinaineille ja tunnistaa liuotinaineiden hermostollisiin haittavaikutuksiin viittaavat oireet mahdollisimman varhain [7]. Työvuoron aikana liuotinaineiden lyhytaikaisesta altistumisesta on saatavilla vähemmän tietoa. Tosin

kirjallisuudessa on kuvattu, että liuotinainepitoisuudet ovat ylittäneet lyhytaikaiselle altistumiselle asetetun HTP_{15min} -arvon mm. pintakäsittelylinjan häiriötilanteissa ja korkeita liuotinainepitoisuuksia on määritetty myös laitepesujen, huoltotöiden ja maalinsekoituksen aikana [8]. Liuotinaineiden osalta lyhytaikaisiin altistumisiin ei ole kiinnitetty välttämättä niin paljon huomiota kuin olisi tarvetta, vaan on keskitytty tai nähty tarpeellisemmaksi määrittää työntekijän koko työvuoron aikainen altistuminen. Tällöin altistavista lyhytaikaisista korkeistakin liuotinainepitoisuuksista ei välttämättä ole tietoa, ja torjuntatoimenpiteet ovat näiden työvaiheiden osalta edelleen tekemättä.

1.4 Raja-arvojen uudistuminen

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa HTP-arvot 2018 otettiin ensimmäisen kerran kantaa työntekijöiden lyhytaikaisen altistumisen raja-arvojen ylittymisen toistuvuuden muodossa. Julkaisussa mainitaan, että raja-arvoa (HTP_{15min}) vastaavia pitoisuuksia ei saa esiintyä enempää kuin kerran tunnissa ja yhteensä enintään neljä kertaa kahdeksan tunnin työvuoron aikana [9]. Nämä lyhytaikaiselle kaasu- ja liuotinainealtistumiselle asetetut raja-arvot mahdollistavat toimenpiteiden perustelun tänä päivänä tehtailla, joissa lyhytaikaiset korkeat ja työntekijöidenkin terveyden mahdollisesti vaarantavat pitoisuudet aikaisemmin käsiteltiin vähäisenä altistumisena.

1.5 Kaasuhälyttimien käyttö ja laitteiden kehitys

Työntekijät käyttävät tehtaissa ja muissa työtiloissa henkilökohtaisia kaasuhälyttimiä, jotka varoittavat työntekijää kaasujen vaaroista. Työntekijöillä on käytössä myös liuotinaineille olevia hälyttimiä, mutta ne mittaavat yleensä liuotinaineiden pitoisuutta niiden räjähdysrajoista, tai liuotinainemittareita käytetään työpaikoilla mahdollisten putki/linjastovuotojen havaitsemiseen [23], ei niinkään työntekijöiden altistumisen mittaamiseen.

Markkinoille on tullut hiljattain uusia kaasuhälyttimiä, jotka varoittavat edelleen työntekijöitä kaasujen ja liuotinaineiden vaaroista, mutta sisältävät myös uusia ominaisuuksia. Uudet ominaisuudet liittyvät työntekijän kaatumisen, liikkumattomuuden tai putoamisen havaitsemiseen sekä työntekijän paikantamiseen. Aikaisemmista kaasuhälyttimistä poiketen nämä uudet hälyttimet siirtävät altistumis-, tapaturma- ja paikannustietoja laitevalmistajien pilvipalveluihin, joista työntekijän tietoja voi katsoa tai seurata palveluun kirjautumisen jälkeen lähes reaaliaikaisesti [10].

Tieteellisessä kirjallisuudessa on esitelty myös langattomien kaasumittareiden sensoriverkoston, esineiden internetin ja siihen liittyvien laitteiden kehitystyötä ja mitattu niiden avulla työympäristöjen, kuten toimistojen, tehtaiden, öljynjalostamojen, kaivosten ja rahtilaivojen kaasupitoisuuksia (mm. rikkivety ja hiilidioksidi) ja olosuhteita (lämpötila ja kosteus). Nämä rakennetut kiinteät sensoriverkot toimivat reaaliaikaisesti työntekijöiden altistumista alentaen mm. lisäämällä tilan ilmanvaihtoa [11–15].

Kaasumittauksia on tehty siis tiloihin asennettujen kiinteiden antureiden avulla tai työntekijöiden mukana kulkevien mittareiden avulla. Työntekijöiden mukana kulkeva mittari on näistä parempi ratkaisu, jos tavoitteena on työntekijöiden henkilökohtaisen altistumisen arvioiminen [13].

1.6 Uusien kaasuhälyttimien ja mittausjärjestelmien hyödyt ja uhat

Mittausteknologian käytöstä on hyviä kokemuksia työntekijöiden altistumisen arvioinnin osalta sekä ihmisten henkilökohtaisten terveyssovellusten käytön osalta. Käyttökokemusten perusteella yli puolet työntekijöistä on positiivisella kannalla uusien puettavien mittausjärjestelmien suhteen [11]. Laitteiden hyödyiksi on nähty

mittausjärjestelmien muunneltavuus, stabiili mittauskyky pitkissä mittauksissa, osassa laitteista alhainen virrankulutus, antureiden pieni koko, langaton internettiin kytkettävyys, pitoisuuksien vaihteluiden havaitseminen ajallisesti ja eri paikkojen välillä. Järjestelmä osaa myös hälyttää ongelmatilanteissa apua välittömästi, näyttää kohteen kartalla ja vähentää altisteen pitoisuutta ilmassa mm. ilmanvaihtoa lisäämällä. Laitteet mahdollistavat myös aikaisempaa nopeamman reagoinnin/ensiavun ongelmatilanteissa [12–16, 18].

Monet asiat uusissa teknologioissa ovat myös mietityttäneet työntekijöitä. Tällaisia seikkoja ovat mm. työntekijöiden yksityisyys, tiedonkeruun luottamuksellisuus, antureiden kesto ja hinta/hyötysuhde. Uusien tekniikoiden käyttöönoton haasteiksi on kuvattu selkeiden käyttöohjeiden puutteita ja sitä, että työntekijät ovat epätietoisia, miten ja milloin laitteita tulisi käyttää [11]. Ongelmaksi on nähty myös antureiden kalleus, vähäinen anturivalikoima, yhteysongelmat (bluetooth ja wifi), osassa laitteista korkea virran kulutus, kaasuantureiden herkkyysoongelmat, ristikkäisherkkyydet ja mittaustulosten epätarkkuus. Tutkijoiden mukaan anturit olisi valittava myös niin, etteivät ne reagoi mm. tupakan savuun tai muihin altisteisiin [12–16, 18].

Monista uusista laitteista mittaustiedot tallentuvat pilvipalveluihin. Pilvipalveluihin tallentuvan tiedon osalta tulisi ottaa huomioon mm. tiedon omistajuus ja käyttöoikeudet, tiedon elinkaari, tiedon säilytys (esim. Eurooppa tai Amerikka), tallennetun tiedon erottelu eri asiakkaiden välillä (esim. useat ihmiset käyttävät samaa ohjelmistoa tai jokaisella on käytössään oma lisenssi), tallennettavaan tietoon kohdistuvat rajoitukset, tekninen turvallisuus (mm. käyttöoikeuksien hallinnointi), henkilöstön turvaluokitukset (mm. järjestelmien ylläpitäjät ja kehittäjät), oma käyttöympäristö (omien laitteiden turvallisuus), palvelun jatkuvuus ja henkilötietojen käsittely [17].

1.7 Työntekijöiden altistumisen arvioiminen

Valtioneuvoston asetuksessa kemiallisista tekijöistä työssä (715/2001) on annettu määräyksiä kemiallisten vaarojen tunnistamisesta, niihin liittyvien riskien arvioinnista ja mittauksista. Vastaavasti standardissa SFS-EN 689:2018 + AC:2019:en ”Workplace exposure. Measurement of exposure by inhalation to chemical agents. Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values” kuvataan menettelytavat, joilla työntekijöiden hengitystiealtistumista voidaan verrata sille asetettuihin raja-arvoihin. Standardi kuvaa lisäksi mittausten ja muun altistumisen arviointitoiminnan järjestelyt työpaikalla. Standardissa SFS-EN 689:2018 + AC:2019:en esitettyllä tavalla toimien voidaan varmistaa, että valtioneuvoston asetus 715/2001 tulee altistumisen arvioinnin osalta noudatetuksi [20, 24].

1.8 Palkansaajien tapaturmat

Tapaturmavakuutuskeskuksen mukaan vuonna 2022 palkansaajille sattui yhteensä 114 600 työtapaturmaa, joista 92 000 oli työpaikkatapaturmia ja 22 600 työmatkatapaturmia [21]. Palkansaajien työpaikkatapaturmien määrä teollisuudessa oli vuonna 2019 15 626 kpl, vuonna 2020 13 409 kpl ja vuonna 2021 13 630 kpl [25]. Vuonna 2016 runsas kolmasosa (naiset 34,4 % ja miehet 32,0 %) työtapaturmista oli seurausta kaatumisesta, hyppäämisestä, liukastumisesta tai putoamisesta. Toiseksi yleisin seuraus oli äkillinen fyysinen kuormittuminen, joka johti tapaturmaan naisilla 21,9 % ja miehillä 17,2 %. Kolmanneksi yleisin tapaturman syy (naisilla 10,5 % ja miehillä 15,1 %) oli terävään esineeseen astuminen, takertuminen, itsensä kolhiminen, polvistuminen tai istuutuminen [26].

1.9 Digitalisaatio

Toimintoihin lisääntyvä digitalisaatio on yksi keskeinen työelämään vaikuttava teknologinen muutostekijä [27]. Digitaalitekniikka on kehittynyt viime vuosina nopeasti, minkä seurauksena on ryhdytty puhumaan älykkästä automaatiosta ja älykkäistä koneista tai laitteista. Laitteisiin on tullut uusia tärkeitä toiminnallisia ominaisuuksia, jotka koskevat mm. kommunikoivuutta ja mobiilisuutta. Tekoälyllä, koneoppimisella ja digitaalisten alustojen kautta tehtävällä alustatyöllä on ennakoitu olevan lähes kaikille toimialoille ulottuvia vaikutuksia [28].

Työntekijöiltä vaaditaan tulevaisuudessa entistä parempia digitaitoja [29] ja kykyä ymmärtää uuden teknologian mahdollisuuksia ja rajoitteita, jotta työt työpaikoilla voidaan jatkossakin tehdä terveellisesti ja turvallisesti.

2 Tutkimuksen tavoitteet ja -kysymykset

Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset.

NUMERO	TAVOITE	TUTKIMUSKYSYMYKSET
1	Työntekijöiden turvallisuuden lisääminen.	Onko etäluettavan mittaustekniikan avulla mahdollista lisätä työntekijöiden turvallisuutta esimerkiksi tunnistamalla työkohteita ja tilanteita, joissa työntekijät altistuvat hetkellisesti suurille kaasu- ja liuotainepitoisuuksille?
2	Työntekijöiden avun tarve ja ensiapu.	Voidaanko etäluettavan mittaustekniikan avulla havaita tilanteita, joissa työntekijät ovat avun tarpeessa ja voidaanko nopeuttaa avun saantia sekä kohdentumista?
3	Lisää tietoa työpaikoille lainsäädännön tulkintaan ja toimenpiteiden toteuttamiseen.	Voidaanko etäluettavan tekniikan avulla huomioida nykyistä paremmin lyhytaikaisten altistumisjaksojen (538/2018) määrä työvuoron aikana?
4	Työntekijän pitkäaikaisen altistumisen arviointi ja lisätiedon tuottaminen ammattitautien torjuntaan ja tutkimiseen.	Kuinka hyvin standardissa SFS-EN 689:2018 + AC:2019:en esitetty mittausstrategia vastaa tavoitteeseen selvittää työntekijöiden todellinen altistuminen?
5	Uuden tekniikan sujuva käyttöönotto.	Miten yksityisyydensuojakysymykset tulee huomioida etäluettavan tekniikan käyttöönotossa? Miten tiedotetaan, että uuden tekniikan mahdollinen hyöty ymmärrettäisiin?

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Lähtötiedot ja alkukartoitukset

3.1.1 Työpaikat ja ammattiryhmät

Tutkimuksen aineisto koostuu kahden suuren tutkimuskohteen (öljynjalostamo ja terästehdas) työntekijöistä, joista kummastakin valittiin tutkimukseen mukaan viisi eri ammattiryhmää. Ammattiryhmät määriteltiin alkukartoituskyselyn yhteydessä ja ne pyrittiin valitsemaan niin, että ryhmien työntekijät edustaisivat samalla tavalla altistuvien työntekijöiden ryhmää (SEG = Similar Exposure Group). Hankkeessa samoin altistuvien työntekijöiden ryhmät (SEG1-10) muodostettiin standardin SFS-EN 689:2018 + AC:2019:en mukaisesti (taulukko 2).

Taulukko 2. Tutkimukseen osallistuneet ammattiryhmät ja muodostetut SEG-ryhmät.

AMMATTIRYHMÄ	SEG-RYHMÄ	TYÖNTEKIJÖIDEN MÄÄRÄ	TUTKIMUSKOHDE
OPERAATTORIT 1	SEG1	6	1
OPERAATTORIT 3	SEG2	5	1
ASENTAJARYHMÄ 1	SEG3	6	1
ASENTAJARYHMÄ 2	SEG4	6	1
ASENTAJARYHMÄ 3	SEG5	5	1
OPERAATTORIT 2	SEG6	6	2
KONESALIN HOITAJAT	SEG7	6	2
PROSESSIMIEHET	SEG8	6	2
VUOROHUOLTOTYÖNTEKIJÄT	SEG9	2	2
MAALAUSLINJAN TYÖNTEKIJÄT	SEG10	9	2

3.1.2 Alkukartoituskysely ja esikäynnit tutkimuskohteisiin

Alkukartoituskysely toteutettiin sähköisenä kyselynä. Alkukartoituskyselyssä kysyttiin ammattiryhmien lisäksi mm. tutkimuskohteiden yleistietoja, aikaisempiin työhygieenisiin selvityksiin ja kemiallisiin vaaratekijöihin liittyviä tietoja, turvallisuuteen ja altistumisen hallintaan vaikuttavia tekijöitä ja aikaisempia havaintoja kaasun ja liuotainemittareihin liittyen. Kyselyiden vastaukset koottiin alkukartoituskyselyn yhteenvedoksi.

Esikäyntien tarkoituksena oli tarkentaa alkukartoituskyselyiden tietoja ja tutustua tarkemmin tutkimuskohteisiin. Samalla tiedotettiin edellä mainittuja ammattiryhmiä tästä tutkimuksesta ja kysyttiin heitä mukaan tutkimukseen.

3.1.3 Alkuhaastattelut

Alkuhaastatteluissa tavoitteena oli selvittää tutkimukseen mukaan lähteneiden ammattiryhmien turvallisuuskäytäntöjä, kokemuksia ja käsityksiä ennen työhygieenisiä selvityksiä sekä ennen etäluettavien mittareiden käyttökokeilua. Alkuhaastattelut työntekijöille ja heidän esihenkilöilleen tehtiin yksilöhaastatteluina käyttäen strukturoitua lomaketta.

3.2 Työhygieeniset selvitykset ja vertailuarvot

Tutkimuskohteisiin tehtiin mittaussuunnitelmat alkukartoituskyselyiden ja esikäyntien perusteella ja työhygieeniset selvitykset toteutettiin mittaussuunnitelmien mukaisesti. Tutkimuskohteissa arvioitiin työntekijöiden altistumista hiilimonoksidille ja rikkivedylle sekä liuotinaisille kerättävien näytteiden avulla sekä etäluettavien mittareiden avulla (Blackline G7c). Kerättävät näytemenetelmät ovat yleisesti työhygieenisissä mittauksissa käytettyjä, ja näiden antamia tuloksia käytettiin etäluettavan mittarin vertailutuloksina. Hiilimonoksidinäytteet kerättiin laminaattipusseihin ja analysoitiin tutkimuskohteissa hiilimonoksidianalysointilaitteella (Environnement S.A, CO 12M). Myös rikkivetynäytteet kerättiin laminaattipusseihin ja analysoitiin Työterveyslaitoksen Helsingin laboratoriossa työohjeen KEMIA-TY-072 mukaan. Liuotinaisnäytteet kerättiin aktiivihiihiputkiin ja pitoisuudet määritettiin kaasukromatografisesti työohjeen KEMIA-TY-006 mukaan.

Etäluettava mittari hälyttää, jos mitattavien altisteiden (hiilimonoksidi, rikkivety tai liuotinaiset) pitoisuudet ylittävät alemman tai ylemmän hälytysrajan tai ylittävät lyhytaikaisen altistumisen raja-arvon (nk. STEL-arvo). Lisäksi laite hälyttää kaatumisesta tai putoamisesta, mikäli kiihtyvyyssanturi saavuttaa 50 % laitteen maksimiarvosta (taulukko 3). Etäluettavat mittareiden (Blacklinesafety G7c) kennot kalibroitiin laitetoimittajan toimesta ennen mittauksia. Etäluettavien mittareiden käytöstä tehtiin suomenkielinen pikaohje (liite 1), joka käytiin työntekijöiden kanssa läpi ennen mittausten aloittamista. Rikkivety-, hiilimonoksidi-, ja liuotinais- (PID) pitoisuudet mitattiin etäluettavalla mittarilla työntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä samaan aikaan ja samasta paikasta keräävien menetelmien kanssa. Etäluettavan mittarin tulokset siirrettiin Blackline Live pilvipalvelusta (Blackline Analytics) Excel-tiedostoihin, joissa tulokset käsiteltiin. Paikannustiedot, tiedot työskentelyalueista ja tapaturmatiedot (kaatuminen/kompastuminen) tallennettiin kuvina Excel-tiedostoihin pitoisuustulosten yhteyteen. Etäluettavan mittarin liuotinaisnäytteiden (PID) pitoisuudet korjattiin Blacklinesafetyyn ilmoittamien korjauskertoimien (RF = response factor) avulla kun PID-pitoisuuksia verrattiin keräävällä menetelmällä saatuihin liuotinaisnäytteiden pitoisuuksiin siten, että etäluettavan mittarin liuotinaisnäytteen A korjattu pitoisuus = X ppm (mittarin vaste, isobutyleeni) * liuotinaisnäytteen A korjauskerroin (RF). Liuotinaisnäytteiden (PID) yhteispitoisuus saatiin laskemalla korjatut pitoisuudet yhteen [30]. Etäluettavien mittareiden käyttökokeiluissa (kappale 4.3) PID-pitoisuuksia ei korjattu edellä esitetyllä tavalla ja kappaleen tulokset ovat PID-pitoisuuksien keskiarvoja. Työntekijöitä pyydettiin kirjaamaan kirjauskaavakkeelle työhygieenisten selvitysten aikana myös työkohteensa. Kirjauskaavakkeen tietoja käytettiin etäluettavien mittareiden paikannustietojen kanssa altistavimpien työkohteiden havaitsemiseen.

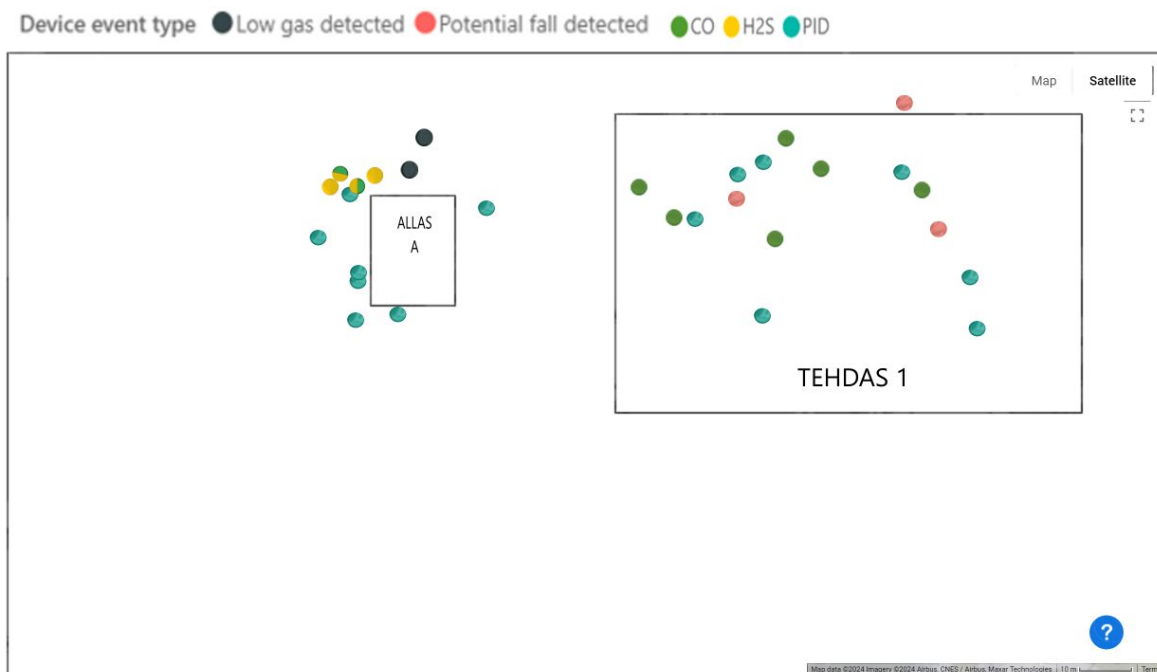
Etäluettavien mittareiden käytön avulla selvitettiin työntekijöiden altistumisen lisäksi myös mittareiden uusien ominaisuuksien mm. työntekijän paikannuksen, kaatumisen ja putoamisen tunnistavan tekniikan hyötyjä työntekijöiden turvallisuuden parantamisessa.

Taulukko 3. Etäluettavan mittarin ominaisuuksia [31].

MITATTAVA SUURE	SENSORI/ MITTAUSPERIAATE/ MITTAUSALUE	ETÄLUETTAVAN MITTARIN HÄLYTYKSET				VERTAILU MENETELMÄT
		Alempi hälytysraja ppm	STEL ppm	Ylempi hälytysraja ppm	kaatuminen tai putoaminen	
HIILIMONOKSIDI PITOISUUS	sähkökemiallinen sensori (0–500 ppm)	20	100	100	-	laminaatti pussi ja hiilimonoksidi analysointori
RIKKIVETYYPITOISUUS	sähkökemiallinen sensori (0–100 ppm)	5	10	10	-	laminaatti pussi ja kaasu kromatografia
LIUOTINAINAIDEN KOKONAISPITOISUUS ISOBUTYLEENINÄ	PID-sensori (0–4000 ppm)	25**	-*	50**	-	hiiliputki ja kaasu kromatografia
KIIHTYVYYS	kiihtyvyyssanturi	-	-	-	50 %:a maksimista	-
PAIKKATieto	avustettu GPS, tarkkuus ~5m ulkona, sijaintipaikan päivityksen tiheys 5 min					

STEL = Short Term Exposure Limit, lyhytaikaisen altistumisen (15 min) hälytysraja, -* = PID STEL -hälytys oli pois päältä. ** = PID sensorin alempi ja ylempi hälytysraja olivat laiteasetusten mukaiset. PID mittarin turvallinen käyttö edellyttää työympäristön altisteiden tuntemusta, jotta tulosten tulkinta voidaan tehdä oikein [30]. Altisteiden tunnistamiseen tarvitaan pääasiassa kerääviä menetelmiä (mm. hiiliputkinäyte) ja laboratorioanalyysijä, koska etäluettavan mittarin PID-sensori ei tunnista yksittäisiä kemiallisia altisteita.

Kuvassa 1 on esitetty kuvitteellinen ja piirretty paikannuskuva tehtaasta 1 ja sen vieressä olevasta altaasta A. Tällä kuvalla on tarkoitus havainnollistaa ainoastaan sitä, että miten etäluettavan mittarin paikannustietoja ja kaasuhälytyksiä (CO = hiilimonoksidi, H₂S = rikkivety ja PID = liuotinaineet, low gas detected = alempi hälytysraja) tai tapaturmatietoja (potential fall detected = kaatuminen) tässä hankkeessa yhdistettiin. Etäluettavan mittarin sovelluksessa kuvan tehtaaseen ja altaaseen tilalla olisi oikea satelliittikuva tarkempine tietoineen. Kuvassa 1 havaitaan kaksi mahdollista kaatumista tehtaassa 1 ja yksi heti tehtaaseen ulkopuolella. Altaaseen A ympärillä on mahdollista altistua hiilimonoksidille ja rikkivedylle altaaseen luoteispuolella ja liuotinaineille pääasiassa altaaseen lounaispuolella. Aiemman hälytysrajan ylityksiä oli kaksi kappaletta altaaseen pohjoispuolella.



Kuva 1. Kuvitteellinen piirros etäluettavan mittarin paikannustietojen ja hälytysten yhdistämisestä.

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa 24/2020 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet" on annettu ilman epäpuhtauksille ohjeraja-arvoja kahdeksan tunnin (HTP_{8h}) ja 15 minuutin (HTP_{15min}) keskipitoisuuksina sekä hetkellisinä pitoisuuksina (kattoarvo). HTP_{15 min}-arvo on annettu aineille, joilla on vaikutuksia jo lyhytaikaisen altistumisen seurauksena ja HTP_{15 min}-arvoa vastaavia pitoisuuksia ei saa esiintyä enempää kuin kerran tunnissa ja yhteensä enintään neljä kertaa kahdeksan tunnin työvuoron aikana. HTP-arvot ovat arvoja, jotka työnantajan on otettava huomioon ja joiden alapuolella ei ole olemassa olevan tiedon valossa pääsääntöisesti aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijöille. HTP-arvoja asetettaessa ei yleensä ole huomioitu vaikutuksia herkkiin työntekijöihin, lieviä vaikutuksia eikä vakavampiakaan vaikutuksia silloin, kun niiden ilmaantumisen todennäköisyys on pieni [32]. Mitattujen altisteiden ohjeraja-arvot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. HTP-arvot.

MITATTU ALTISTE	HTP _{8H}	HTP _{15MIN}	YKSIKKÖ	HUOMIO
ASETONI	1200	1500	mg/m ³	
BENTSEENI	3,25*		mg/m ³	iho, sitova raja-arvo
BUTANOLI	150	230	mg/m ³	iho
2-BUTANONI	60	300	mg/m ³	iho
ETANOLI	1900	2500	mg/m ³	
ETYLIBENTSEENI	220	880	mg/m ³	iho
HIILIMONOKSIDI	20**	75**	ppm	melu, sitova raja-arvo 5.4.2024 alkaen **
KSYLEENI	220	440	mg/m ³	iho
LIUOTINBENSIINIT, RYHMÄ 1	500	-	mg/m ³	
LIUOTINBENSIINIT, RYHMÄ 3	100	-	mg/m ³	
1-METOKSI-2-PROPANOLI	370	560	mg/m ³	iho
2-METYYLIPROPAN-1-OLI	150	230	mg/m ³	iho
N-HEKSAANI	72	-	mg/m ³	iho
NAFTALEENI	5	10	mg/m ³	
PENTAANI	1500	1900	mg/m ³	
PROPANOLI	500	620	mg/m ³	
RIKKIVETY	5	10	ppm	
TOLUEENI	81	380	mg/m ³	iho, melu
1,3 BUTADIEENI	2,2		mg/m ³	sitova raja-arvo
DIKLOORIMETAANI	177	353	mg/m ³	iho

Huomautusten selitykset: Iho: Aine voi imeytyä ihon läpi. Sitova raja-arvo: valtioneuvoston työturvallisuuslain nojalla määräämä suurin sallittu pitoisuus. Melu: (sisäkorvalle haitallinen) aine, samanaikainen altistuminen melun kanssa lisää kuulovaurioriskiä. * = Bentseenin sitova raja-arvo laski 5.4.2024 tasolle 1,65 mg/m³ ja laskee edelleen tasolle 0,66 mg/m³ 5.4.2026 alkaen. ** = Hiilimonoksidin sitovat raja-arvot ovat 5.4.2024 alkaen 20 ppm (HTP_{8h}) ja 100 ppm (HTP_{15min}). Näitä bentseenille ja hiilimonoksidille 5.4.2024 annettuja raja-arvojen muutoksia ei voitu enää huomioida tässä tutkimusraportissa [37].

Mikäli ilmassa esiintyy haitallisia aineita, joilla on sama vaikutustapa, voidaan niiden vaikutusten katsoa olevan summautuvia. Tällaisia aineita ovat esim. liuotinaineet, joista suurimmalle osalle on asetettu HTP-arvo niiden samanlaisten hermostollisten vaikutusten vuoksi. Aineiden yhteisvaikutusta arvioidaan laskemalla kunkin aineen mitatun pitoisuuden osuus sen omasta haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta ja laskemalla lopuksi osuudet yhteen. Yhteisvaikutuksen katsotaan olevan haitallista, mikäli saatu summa on yhtä suuri tai suurempi kuin 1 (100 %).

AEGL (Acute exposure guideline levels) -arvot ovat yhdysvaltalaisen EPA:n (Environmental Protection Agency) asettaman työryhmän määrittelemiä raja-arvoja [33]. AEGL-arvo on määritelty viidelle altistumisajanjaksolle: 10 minuutin, 30 minuutin, yhden tunnin, neljän tunnin ja kahdeksan tunnin altistumiselle, joista tässä tutkimuksessa on käytetty vain hiilimonoksidille ja rikkivedylle ilmoitettuja 10 minuutin arvoja (taulukko 5). AEGL-arvo on pitoisuus, jonka yläpuolella väestölle, kemikaalin vaikutukselle herkäät yksilöt mukaan luettuina, saattaa aiheutua haittavaikutuksia seuraavasti:

AEGL₁: huomattavaa haittaa, ärsytystä tai tiettyjä sellaisia haittavaikutuksia, jotka eivät aiheuta oireita ja joita ei voi todeta aisteilla. Nämä vaikutukset kuitenkin lakkaavat altistumisen loppuessa, eivät ole palautumattomia eivätkä aiheuta vammoja;

AEGL₂: pysyvää tai muuten vakavaa ja pitkäaikaista terveyshaittaa tai oireita, jotka vähentävät kykyä suojautua altistumiselta;

AEGL₃: hengenvaarallista terveyshaittaa tai kuolema.

Taulukko 5. Hiilimonoksidin ja rikkivedyn AEGL-arvot 10 minuutin altistumisajoille.

ALTISTE	AEGL _{1, 10MIN} (PPM)	AEGL _{2, 10MIN} (PPM)	AEGL _{3, 10MIN} (PPM)
HIILIMONOKSIDI	ei määriteltävissä	420	1700
RIKKIVETY	0,75	41	76

3.3 Etäluettavien mittareiden käyttökokeilut

Etäluettavien mittareiden käyttökokeiluiden avulla haluttiin selvittää työntekijöiden pitkäaikaista (n. 1-2 viikkoa) altistumista liuotinaisille ja kaasuille sekä sitä, että saadaanko pitkäaikaisella työntekijöiden altistumisen seurannalla enemmän hyötyä altistumisen arvioimiseen ja torjuntatoimenpiteiden suunnitteluun kuin yhden tai kahden työpäivän aikana tehdyillä työhygieenisillä selvityksellä. Etäluettavat mittarit, mittareiden suomenkieliset pikaohjeet sekä työajan seurantalomakkeet toimitettiin tutkimuskohteisiin ja etäluettavien mittareiden käyttökokeilut tehtiin tutkimuskohteissa omatoimisin mittauksin. Etäluettavien mittauksien tulokset luettiin etänä Blacklinen pilvipalvelusta (Blackline analytics) ja tulokset siirrettiin Excel-tiedostoihin, joissa tulokset käsiteltiin samoin kuin työhygieenisten selvitysten yhteydessä.

3.3.1 Etäluettavien mittareiden käyttökokemuskysely ja kysely työturvallisuudesta

Etäluettavien mittareiden käyttökokemuskyselyllä selvitettiin työntekijöiden kokemuksia uusien mittareiden käyttöönotosta ja käytöstä mittalaitteiden käyttökokeilun jälkeen. Etäluettavien mittareiden käyttökokemuskyselyyn yhdistettiin kysely työturvallisuudesta, jolla selvitettiin työntekijöiden näkemyksiä työturvallisuuden kehittymisestä omassa työpaikassa, turvallisuuden tunteesta työssä sekä vaaratilanteiden ehkäisystä omassa työpaikassa. Kyselyt toteutettiin paperisena anonyymisti.

4 Tulokset ja tulosten tarkastelu

4.1 Alkukartoitukset

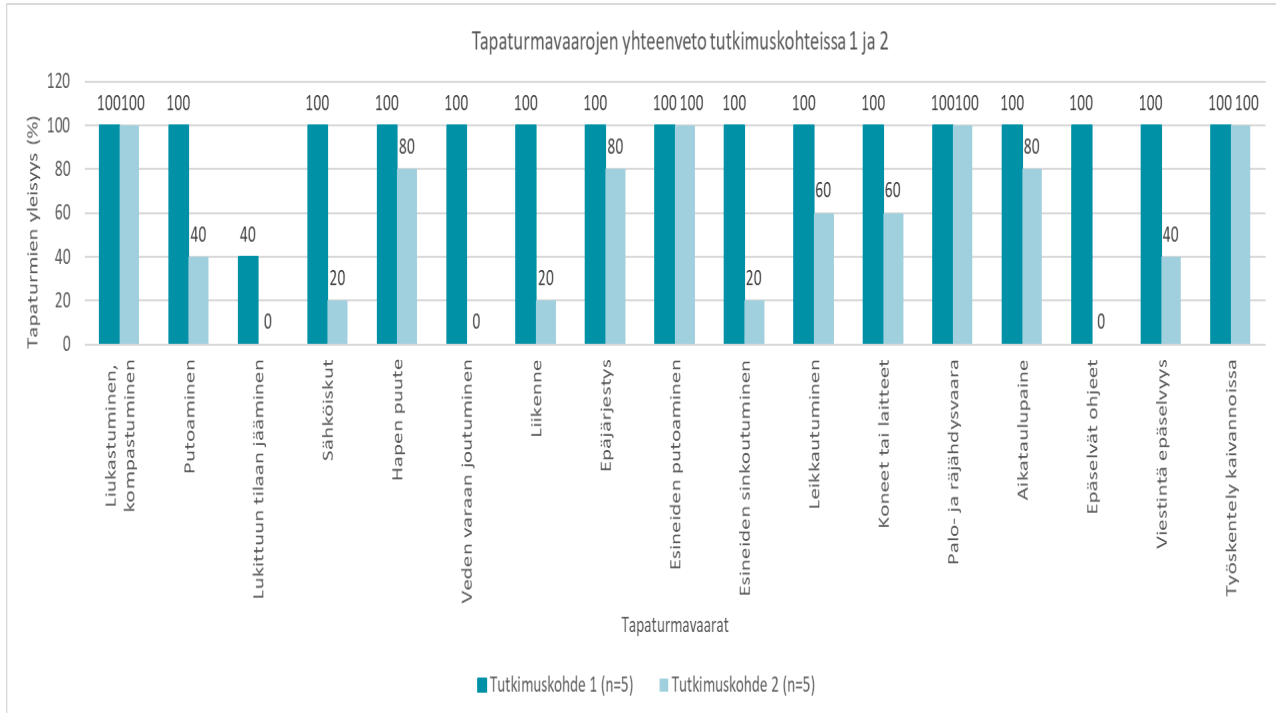
4.1.1 Alkukartoituskyselyt

Alkukartoituskyselyn perusteella aikaisempia työhygieenisiä selvityksiä oli tehty tai biomonitorointinäytteitä oli pyydetty työntekijöiltä kaikissa hankkeessa mukana olevissa yksiköissä. Operaattoreiden 1 ja 3 (SEG1 ja SEG2) osalta oli aikaisemmin havaittu, että kyseiset työntekijäryhmät voivat altistua työssään pienille liuotain- ja kaasupitoisuuksille. Heidän osaltaan oli myös havaittu, että hetkellisesti korkeita liuotain- tai kaasupitoisuuksia voi esiintyä esimerkiksi tuotantohäiriöiden aikana. Asentajien 1–3 (SEG 3-5) työssä oli havaittu, että altistuminen voi vaihdella paljonkin. Tavallisesti työntekijöiden altistuminen on ollut vähäistä, mutta korkeita pitoisuuksia on havaittu laitteiden irrotuksen yhteydessä. Operaattoreiden 2 ja konesalin hoitajien osalta (SEG 6-7) työntekijöiden altistumista kemiallisille altisteille oli arvioitu biomonitorointinäytteiden avulla ja työntekijöiden oli havaittu altistuvan satunnaisesti bentseenille. Prosessimiesten ja vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 8-9) altistumista oli selvitetty työhygieenisten selvitysten avulla ja havaittu, että työntekijät voivat altistua tietyissä kohdin korkeille hiilimonoksidipitoisuuksille ja pienille rikkidioksidi- ja rikkivety-pitoisuuksille. Maalauslinjan työntekijöiden (SEG 10) oli havaittu altistuvan maalauksessa käytetyille liuotainaineille.

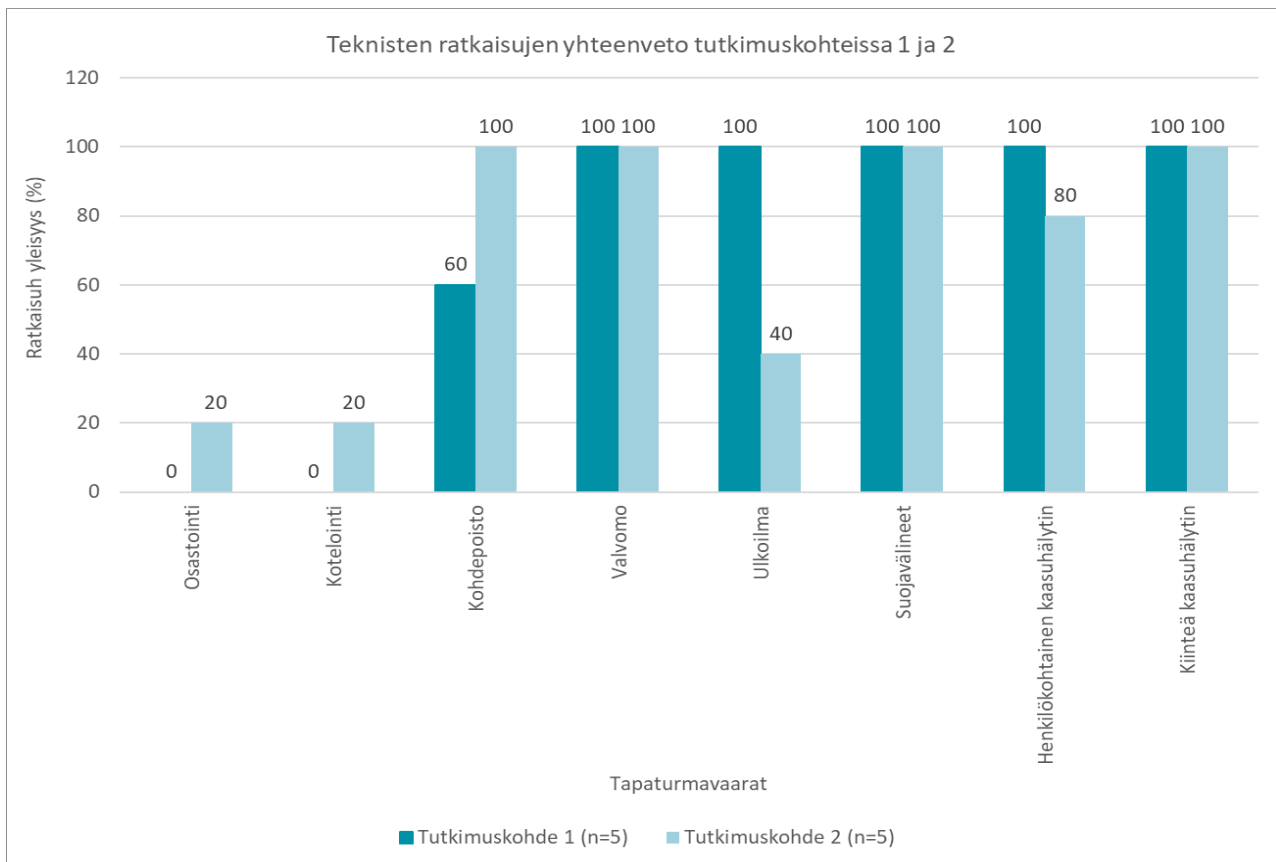
Alkukartoituskyselyssä kysyttiin tutkimuskohteiden tapaturmavaaroista ja altistumisen vähentämiseen käytettävistä teknisistä ratkaisuista sekä turvallisuuden varmistamisesta yksintyöskentelyssä.

Tutkimuskohteessa 1 esiintyi kaikkia kysytyjä tapaturmavaaroja kaikilla osastoilla, lukuun ottamatta lukittuun tilaan jäämistä, jota esiintyi kahdella osastolla viidestä. Tutkimuskohteessa 2 kysytyjä tapaturmavaaroja esiintyi vähemmän. Kaikilla viidellä osastolla esiintyi liukastumisia/kompastumisia, esineiden putoamisia, palo- ja räjähdysvaaraa sekä työskentelyä kaivannoissa. Muita tapaturmavaaroja esiintyi harvemmin (kuva 2).

Tutkimuskohteessa 1 epäpuhtauksia torjuttiin kohdepoistoin, valvomoilla, ulkoilmalla, suojavälineillä sekä henkilökohtaisilla ja kiinteillä kaasuhälyttimillä. Tutkimuskohteessa 2 oli edellä mainittujen torjuntatoimenpiteiden lisäksi käytössä osastointia ja kotelointia yhdellä osastolla (kuva 3). Yksin työskentelyä oli tutkimuskohteessa 1 kaikilla viidellä osastolla ja tutkimuskohteessa 2 neljällä osastolla viidestä. Yksin työskentelevän henkilön turvallisuutta varmistettiin kaikilla osastoilla.



Kuva 2. Tapaturmavaarojen yleisyys tutkimuskohteissa. N = osastojen määrä tutkimuskohteissa.



Kuva 3. Teknisten torjuntaratkaisujen yleisyys tutkimuskohteissa.

4.1.2 Työskentelyalueet ja altisteet esikäyntien perusteella

Esikäyntien aikana tarkentui, että operaattoreiden 1 ja 3 (SEG1 ja SEG2) työssä työntekijät työskentelevät valvomoissa sekä ulkoalueilla. Ulkoalueilla on altaita, joiden lähellä työntekijät käyttävät hengityksensuojaimia. Ulkoaltaiden vieressä on mahdollista altistua rikkivedylle ja bentseenille. Työntekijät työskentelevät useilla eri tasoilla, joten he liikkuvat paljon rappusissa. Tapaturmavaaroja on koettu tasoilla ja rappusissa liikuttaessa, erityisesti talviaikaan.

Asentajat 1–3 (SEG 3-5) työskentelevät korjaamorakennuksissa sekä ulkoalueilla. Ulkoalueilla sokeoitiin korjauksen kohteena olevia laitteita, jotka kuljetettiin korjaamorakennuksiin esipuhdistukseen. Korjaamorakennuksissa esipuhdistetut laitteet huollettiin. Korjaamalla käytettiin kemikaaleja, mm. spraypulloissa olevia puhdistusaineita. Korjatut laitteet vietiin korjauksen jälkeen takaisin ulkoalueille. Ulkoalueilla on koettu vaaroja isojen ja painavien laitteiden, ahtaiden työtilojen, hankalien työasentojen ja laitteiden sisällä olevien kemikaalien kanssa. Työntekijät käyttävät hengityksensuojaimia tarvittaessa erityisesti ulkoalueilla työskentelyn aikana. Operaattorit 2 (SEG 6) työskentelevät kivihiilen kuivatuslauksen työtehtävissä ja konesalin hoitajat (SEG 7) kivihiilen kuivatuslauksen tuotteiden ja laitteiden työtehtävissä. Operaattoreiden 2 työntekijät työskentelevät sisä- ja ulkoalueella. Ulkoalueilla työntekijät voivat altistua koksikaasuille sekä bentseenille. Konesalin hoitajat (SEG 7) työskentelevät myös sisä- ja ulkoalueella ja ulkoalueella on mahdollisuus altistua rikkivedylle ja satunnaisesti hiilimonoksidille. Operaattorit 2 ja Konesalin hoitajat käyttävät hengityksensuojaimia ulkoalueilla työskentelyn aikana. Prosessimiehet ja vuorohuoltotyöntekijät (SEG 8-9) työskentelevät kuilu-uuneilla joko prosessien valvontatehtävissä tai huoltotöissä. Kuilu-uuneilla molemmat työntekijäryhmät voivat altistua hiilimonoksidille. Kaasuvaarasta varoitettavien hiilimonoksidihälyttimien käyttö on pakollista kuilu-uuneilla työskenteleville prosessimiehille ja vuorohuoltotyöntekijöille. Maalauslinjan työntekijät (SEG 10) käyttävät työssään paljon erilaisia maaleja, suoja-aineita ja ohenteita. Maalit on sijoitettu pumppaamoon, josta ne menevät maalaus koneille, jotka maalaavat tuotteita automaattisesti. Työntekijöillä on käytössä hengityksensuojaimet, joita he käyttävät mm. maalaustyövaiheiden, pumppaamossa työskentelyn ja huoltotöiden aikana.

4.1.3 Alkuhaastattelut

Tutkimuskohteessa 1 haastatteluihin osallistui yhteensä 22 työntekijää ja tutkimuskohteessa 2 32 työntekijää. Useimmin työturvallisuutta edistävinä tekijöinä tutkimuskohteessa 1 työntekijät raportoivat hengityksensuojaimet ja suoja- tai turvavälineet (50 % vastanneista) sekä perehdytyksen, ohjeet ja koulutukset (41 % vastanneista). Tutkimuskohteessa 2 vastaavasti raportoitiin suojaimeet (56 % vastanneista), mittarit ja hälyttimet (25 % vastanneista) sekä ennakointi, havainnointi ja panostukset työturvallisuuteen (28 % vastanneista). Päivittäisiä, eniten käytössä olevia turvallisuuskäytäntöjä olivat tutkimuskohteessa 1 henkilökohtaiset suojaimeet ja suojavälineet (95 % vastanneista) sekä hälyttimet ja mittarit (45 % vastanneista) ja tutkimuskohteessa 2 henkilökohtaisten suojainten käyttö (50 % vastanneista) sekä turvallisuushavainnot ja epäkohdista ilmoittaminen (31 % vastanneista). Muita mainittuja päivittäisiä turvallisuuskäytäntöjä olivat työluvut, vaarojen arviointi, parityöskentely, turvatoimet, radiopuhelin, ilmoittautumiskäytännöt sekä ohjeistus ja opastus.

Suurin osa haastatelluista koki olonsa aina turvalliseksi työssä. Tutkimuskohteessa 1 reilu kolmannes tunsi olonsa pääosin turvalliseksi, mutta koki turvallisuudentunteen haastetuksi erikoistilanteissa ja toisaalta pystyvänsä omalla toiminnalla vaikuttamaan turvallisuudentunteeseen. Tutkimuskohteessa 2 viidennes haastatelluista työntekijöistä koki turvallisuuden tunteen ristiriitaisesti. Osa koki olonsa pääosin turvalliseksi, mutta tiedosti vaaranpaikkoja. Osa ei kokenut oloaan turvalliseksi haastavien olosuhteiden vuoksi. Noin 40 % haastatelluista tutkimuskohteessa 1 ja liki 70 % tutkimuskohteessa 2 koki työympäristön altisteiden vaikuttavan työturvallisuuteen ja -terveyteen. Kysyttäessä työssä esiintyneistä työturvallisuutta vaarantaneista

tilanteista, eniten tutkimuskohteessa 1 raportoitiin liukastumisia (36 % vastanneista), korkeita kemikaali- tai kaasupitoisuuksia (32 % vastanneista), vuototilanteita (14 % vastanneista) ja kompastumisia tai kaatumisia (14 % vastanneista). Tutkimuskohteessa 2 raportoitiin vastaavasti eniten liukastumisiin ja kompastumisiin liittyviä tilanteita (31 % vastanneista) ja korkeita kemikaali- pitoisuuksia tai kaasuvuotoja (31 % vastanneista). Seuraavaksi eniten raportoitiin palovammoja ja reaktorin seinän puhkeamisia, molempia 13 % vastanneista.

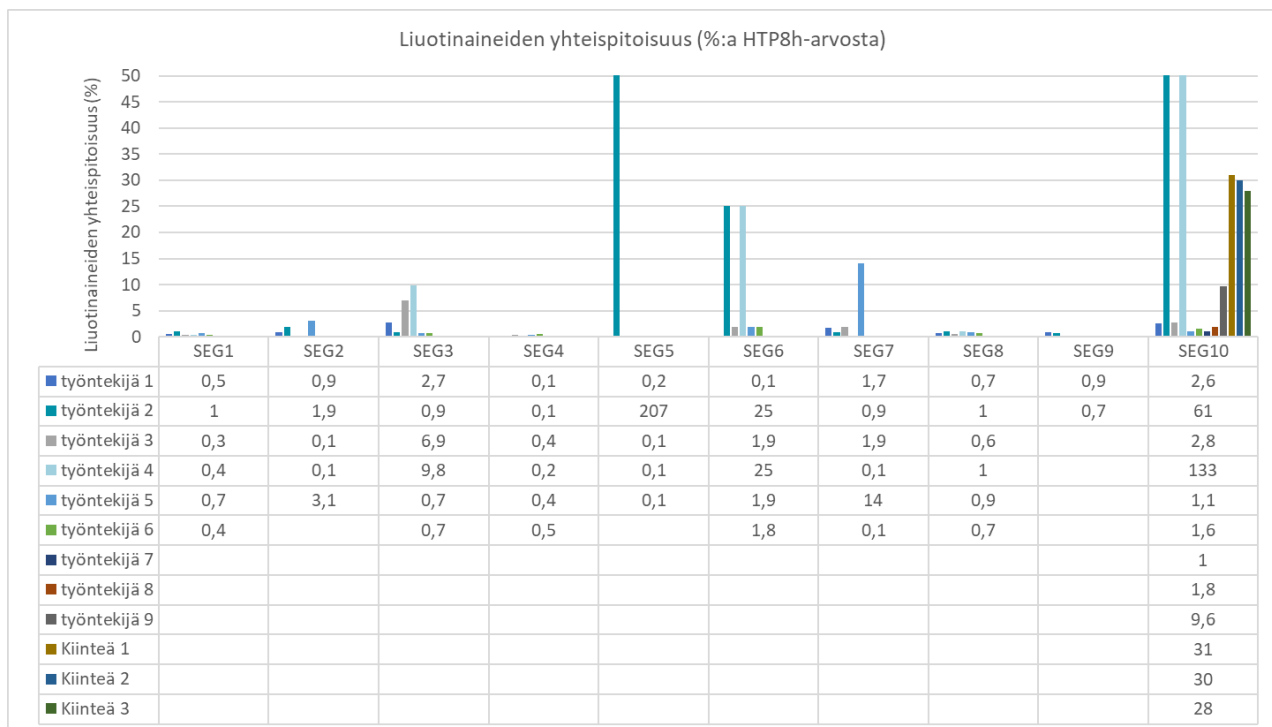
Valtaosalla haastatelluista ei ollut aikaisempaa kokemusta etäluettavista mittareista. Paikannusominaisuus herätti selkeästi eniten - myös ristiriitaisia - tunteita haastateltujen joukossa. Tutkimuskohteessa 1 paikannus koettiin hyväksi ominaisuudeksi, jos se auttaa henkilön löytymisessä vaaratilanteessa (18 % vastanneista) tai auttaa vaaranpaikkojen selvityksessä (27 % vastanneista). Paikannuksen koettiin olevan hyväksi myös yksin liikkujille (5 % vastanneista). Toisaalta paikannusta pidettiin huonona asiana (18 % vastanneista) ja se herätti epäluuloja käyttämisestä (18 % vastanneista). Tutkimuskohteessa 2 paikannus koettiin hyväksi ominaisuudeksi tai sen ei koettu haittaavan (63 % vastanneista). Positiivisena nähtiin paikannuksen apu yksin liikkujien tai vaaraan joutuneiden löytämisessä ja altistavien paikkojen selvittämisessä. Toisaalta paikannusta pidettiin turhana ominaisuutena (6 % vastanneista) ja se herätti epäluuloja käyttämisestä (28 % vastanneista). Haastatteluissa tuli esiin tärkeys paikannustiedon oikeasta käytöstä ja pelisääntöjen sopimisesta. Lisäksi olisi myös selvitettävä kenellä on oikeus paikannustietojen seuraamiseen.

Etäluettavan mittarin liikkeen ja liikkumattomuuden tunnistusta pidettiin pääosin hyvänä ominaisuutena, varsinkin jos se toimii ja helpottaa pelastamista. Liki neljännes vastanneista tutkimuskohteessa 1 piti ominaisuutta kuitenkin huonona väärin hälytysten takia. Valtaosa vastanneista piti viestimismahdollisuutta hyvänä ominaisuutena. Osa vastanneista koki kuitenkin, että ominaisuus ei tuo lisäarvoa, sillä käytössä on jo radiopuhelimet ja kännykät. Hälytysominaisuus koettiin pääosin hyvänä. Muutama vastaaja koki hälytysäänen ärsyttävänä ja että hälytysominaisuus ei tuo mitään uutta.

4.2 Työhygieeniset selvitykset

4.2.1 Keräävien menetelmien tulokset

Liutainaineiden yhteispitoisuuksissa oli suuria eroja eri työntekijäryhmien välillä (kuva 4). Suurimmat yhteispitoisuudet mitattiin SEG-ryhmien 5, 6, 7 ja 10 työntekijöillä. Tutkimuskohteessa 1 operaattoreiden 1 ja 3 (SEG1 ja SEG2), asentajaryhmä 2:n (SEG 4) ja asentajaryhmä 3:n (SEG 5) työntekijöiden tärkein yksittäinen altiste oli bentseeni. Bentseenipitoisuudet vaihtelivat paljon näissä ryhmissä, ollen alle 1 % - 200 % bentseenin raja-arvosta. Suurimmat bentseenipitoisuudet mitattiin vuototilanteen korjauksen aikana. Asentajaryhmä 1:n (SEG 3) kohdalla merkittävin yksittäinen altiste oli dikloorimetaani, jonka pitoisuus oli korkeimmillaan rasvan poistamiseen käytettävän kemikaalin käytön aikana (10 % raja-arvosta). Tutkimuskohteessa 2 operaattoreiden 2:n (SEG 6) ja konesalin hoitajien (SEG 7) tärkein yksittäinen altiste oli bentseeni, jonka pitoisuudet olivat 12 % - 19 % raja-arvosta. Prosessimiesten (SEG 8) ja vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 9) altistuminen liutainaineille oli vähäistä. Maalauslinjan työntekijöiden (SEG 10) altistuminen liutainaineille vaihteli vähäisestä liialliseen. Suuria liutainainepitoisuuksia havaittiin maalareiden hengitysvyöhykkeillä, maalipumppaamossa ja maalauslinjaston vieressä. Tärkeimmät yksittäiset altisteet maalauslinjan työntekijöiden työssä olivat tolueeni, 2-butanoni, 2-metyyli-1-propanoli, ksyleeni, 2-propanoli ja ryhmän 3 liutainbenssiinit. Yksittäisten liutainaineiden pitoisuudet vaihtelivat maalien mukaan ollen 4–68 % raja-arvoista.



Kuva 4. Työntekijäryhmien (SEG1-10) altistuminen liutainaineille sekä kiinteiden mittauspaikkojen liutainaineiden yhteispitoisuuksien tulokset mitattuna hiiliputkimenetelmällä.

Standardin SFS-EN 689:2018+AC:2019 mukainen ryhmätason (SEG 1) tarkastelu osoitti, että operaattorit 1 oli oikein valittu SEG 1 ryhmään ja pitoisuudet noudattivat hyvin Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,95$). Muuttujan Ur-arvo (12,1) oli suurempi kuin mittausten lukumäärän mukaan määriteltävä Ut-arvo ($n=6$, $Ur = 2,187$), jolloin operaattoreiden 1 altistuminen noudattaa liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa eikä raja-arvo ylity. Ryhmätasolla operaattoreiden 3 (SEG 2) tarkastelu tehtiin standardin alustavan testin (preliminary test) perusteella, koska ryhmässä oli alle kuusi työntekijää. Kaikki tämän ryhmän tulokset olivat alle 20 % liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvosta, joten operaattoreiden 3 (SEG 2) altistuminen noudattaa liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa eikä raja-arvo ylity. Asentajien 1 (SEG 3) ryhmätason tarkastelu osoitti, että työntekijät oli oikein valittu SEG 3 ryhmään ja pitoisuudet noudattivat Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,88$). Muuttujan Ur-arvo (3,3) oli suurempi kuin Ut-arvo (2,187), jolloin työntekijöiden altistuminen noudattaa liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa eikä raja-arvo ylity. Asentajien 2 (SEG 4) ryhmätason tarkastelu osoitti, että työntekijät oli oikein valittu SEG 4 ryhmään ja pitoisuudet noudattivat Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,87$). Muuttujan Ur-arvo (8,43) oli suurempi kuin Ut-arvo (2,187), jolloin työntekijöiden altistuminen noudattaa liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa eikä raja-arvo ylity. Asentajien 3 (SEG 5) ryhmätasolla tarkastelu tehtiin standardin alustavan testin perusteella, koska ryhmässä oli alle kuusi työntekijää. Yksi ryhmän tuloksista oli raja-arvoa suurempi, jolloin työntekijöiden altistuminen ei noudata liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa ja raja-arvo ylittyy. Standardin SFS-EN 689:2018+AC:2019 mukainen ryhmätason (SEG 6) tarkastelu osoitti, että operaattorit 2 oli oikein valittu SEG 6 ryhmään ja pitoisuudet noudattivat Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,87$). Muuttujan Ur-arvo (1,8) oli pienempi kuin Ut-arvo ($n=6$, $Ur = 2,187$), jolloin operaattoreiden 2 altistuminen liuotainaineille ei noudata liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa ja raja-arvo ylittyy. Konesalin hoitajien (SEG 7) ryhmätason tarkastelu osoitti, että työntekijät oli oikein valittu SEG 7 ryhmään ja pitoisuudet noudattivat Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,92$). Muuttujan Ur-arvo (2,5) oli suurempi kuin Ut-arvo (2,187), jolloin työntekijöiden altistuminen noudattaa liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa eikä raja-arvo ylity. Prosessimiesten (SEG 8) ryhmätason tarkastelu osoitti, että työntekijät oli oikein valittu SEG 8 ryhmään ja pitoisuudet noudattivat Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,90$). Muuttujan Ur-arvo (22,4) oli suurempi kuin Ut-arvo (2,187), jolloin työntekijöiden altistuminen noudattaa liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa eikä raja-arvo ylity. Vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 9) liuotainainealtistumisia ei voitu arvioida ryhmätasolla, koska standardin alustavaan testiin tarvitaan vähintään kolme tulosta. Maalauslinjan työntekijöiden ryhmätason (SEG 10) tarkastelu osoitti, että maalauslinjan työntekijöitä olisi voinut mahdollisesti jakaa kahteen eri SEG-ryhmään (maalarit ja muut maalauslinjan työntekijät). SEG-ryhmän pitoisuudet noudattivat Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,83$). Muuttujan Ur-arvo (1,7) oli pienempi kuin Ut-arvo ($n=9$, $Ur = 2,035$), jolloin maalauslinjan työntekijöiden altistuminen liuotainaineille ei noudata liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa ja raja-arvo ylittyy.

Keräävillä menetelmillä määritettyjen hiilimonoksidi- ja rikkivetytulokset on esitetty menetelmien vertailujen yhteydessä kappaleessa 4.2.3.

4.2.2 Etäluettavan mittarin tulokset

Hiilimonoksidi

Eri työntekijäryhmien altistuminen hiilimonoksidille vaihteli paljon. Suurimmat hiilimonoksidipitoisuudet (34–50 % hiilimonoksidin HTP_{8h} -arvosta) etäluettavalla mittarilla mitattiin SEG-ryhmien 6 ja 8 työntekijöiltä, kun vähiten altistuivat työntekijäryhmät SEG1 - SEG5, SEG7 ja SEG10 (kuva 5). SEG ryhmien 1–5 osalta hiilimonoksidialtistuminen ei ollut työperäistä vaan johtui työntekijöiden tupakoinnista.

Operaattoreiden 2 (SEG 6) työssä havaittiin erittäin suuria hetkellisiä hiilimonoksidin pitoisuuksia ja hiilimonoksidin $AEL_{2, 10min}$ -arvot (hiilimonoksidipitoisuus yli 420 ppm) ylittyivät hetkellisesti noin 10 sekunnin ajaksi / työvuoro. Näitä suuria hiilimonoksidipitoisuuksia esiintyi tilanteissa, joissa työntekijät joutuivat kaasupilveen. Myös prosessimiesten (SEG 8) työssä hiilimonoksidin $AEL_{2, 10min}$ -arvo ylittyi hetkellisesti noin

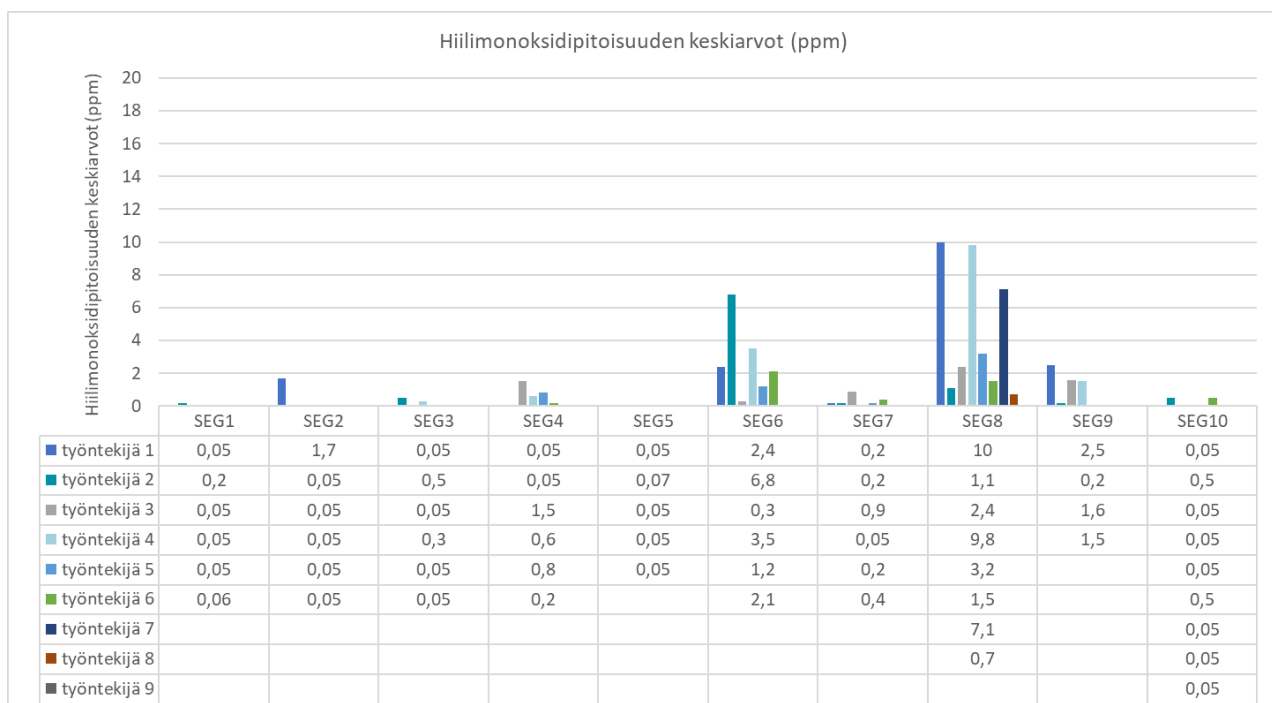
10 sekunnin ajaksi / työvuoro. Prosessimiesten työssä suuria hiilimonoksidipitoisuuksia esiintyi hyvin paikallisesti ja kaasuvaarallisimmat paikat olivatkin työntekijöiden yleisessä tiedossa.

Työntekijöiden (SEG1-10) työssä hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ylittyi suurimmillaan neljä kertaa työpäivässä ja näitä ylityksiä oli yhtenä työpäivänä 49 mitatusta työpäivästä. Viitenä työpäivänä hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ylittyi kolme kertaa, seitsemänä työpäivänä kaksi kertaa ja 11 työpäivänä kerran. 25 työpäivänä hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ei ylittynyt kertaakaan.

Työntekijäryhmissä SEG1-4 ja SEG10 useiden työntekijöiden työpäivän aikainen hiilimonoksidipitoisuuden keskiarvo oli mittarin määritysrajaa pienempi (ilmoitettu taulukossa lukuarvona 0,05 ppm). Standardin SFS-EN 689:2018+AC:2019 mukainen ryhmätason tarkastelu alle määritysrajan tuloksissa olisi vaatinut erillisen ohjelman näiden tulosten käsittelyyn / laskentaan. Erillisen ohjelman käyttö ei kuitenkaan noudata standardissa EN 482 määriteltyjä epävarmuusvaatimuksia, joten näitä määritysrajaa pienempiä tuloksia ei erikseen laskettu standardin SFS-EN 689:2018+AC:2019 vaatimalla tavalla. Työntekijäryhmissä SEG 1-4 ja SEG10 hiilimonoksidialtistuminen oli vähäistä ja todennäköisyys raja-arvon ylittymiselle on hyvin epätodennäköinen.

Standardin SFS-EN 689:2018+AC:2019 mukainen ryhmätason (SEG 6) tarkastelu osoitti, että operaattoreiden 2 altistuminen hiilimonoksidille oli standardin alustavan testin perusteella raja-arvoa pienempää (ryhmän tulokset olivat alle 20 % raja-arvosta), jolloin altistuminen noudattaa raja-arvoa.

Prosessimiesten (SEG 8) ryhmätason tarkastelu osoitti, että pitoisuudet noudattivat Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,95$). Muuttujan Ur-arvo (1,9) oli pienempi kuin Ut-arvo ($n=8$, 2,072), jolloin työntekijöiden altistuminen hiilimonoksidille ei noudata liuotainaineiden yhteispitoisuuden raja-arvoa ja raja-arvo ylittyi.



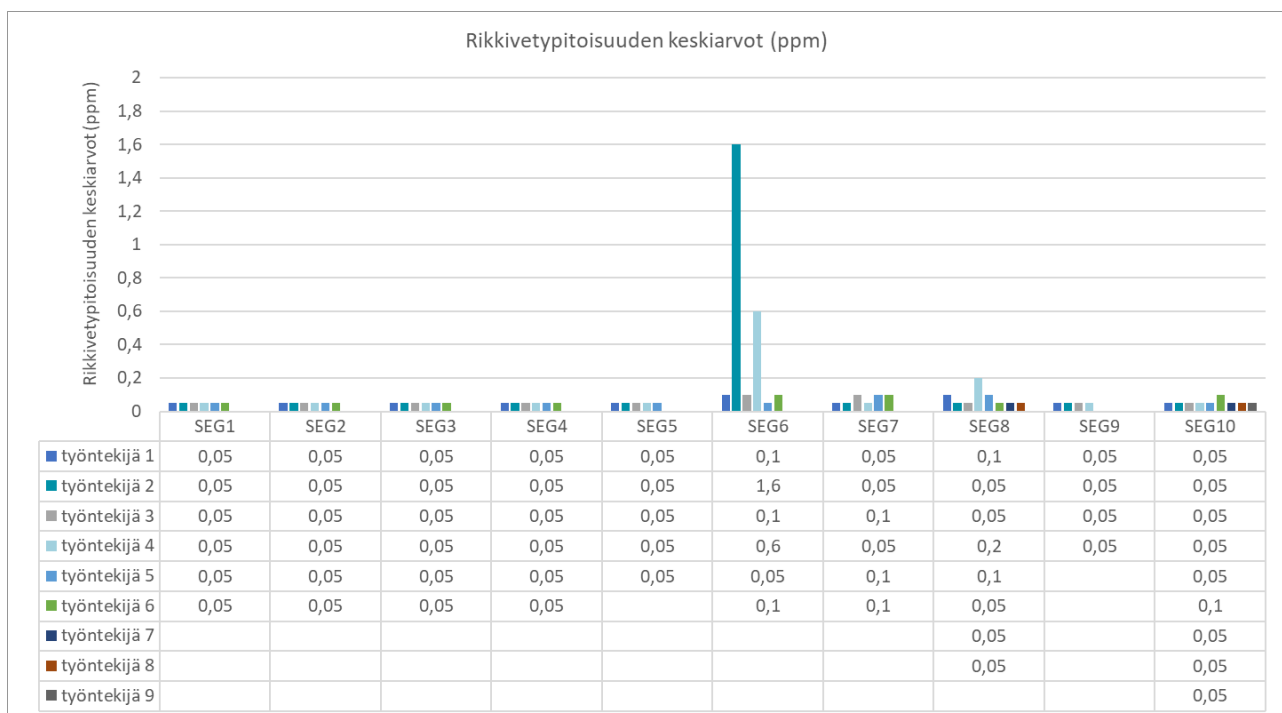
Kuva 5. Työntekijäryhmien (SEG1-10) altistuminen hiilimonoksidille etäluettavan mittarin mukaan.

Rikkivety

Työntekijöiden altistuminen rikkivedylle oli pääosin vähäistä etäluettavan mittarin mukaan ja todennäköisyys raja-arvon ylittymiselle työntekijäryhmissä SEG1-5 ja SEG7-10 on hyvin epätodennäköinen. Rikkivedyn keskiarvopitoisuus oli kaikissa työntekijäryhmissä alle 0,3 ppm, lukuun ottamatta työntekijäryhmää SEG6, jossa mitattiin pitoisuuksia 1,6 ppm saakka (kuva 6). Operaattoreiden 2 (SEG 6) työssä havaittiin erittäin suuria hetkellisiä rikkivetypitoisuuksia (hiilimonoksidipitoisuuksien lisäksi) vaikka työvuoron aikainen rikkivedyn keskipitoisuus oli enimmillään 32 % rikkivedyn HTP_{8h}-arvosta. Rikkivedyn AEGL_{2, 10min}-arvo (yli 41 ppm) ylittyi hetkellisesti enintään 60 sekunnin ajaksi / työvuoro. Näitä suuria rikkivetypitoisuuksia esiintyi tilanteissa, joissa työntekijät joutuivat kaasupilveen

Työntekijäryhmien SEG1-10 osalta rikkivedyn HTP_{15min} raja-arvo ylittyi korkeintaan kaksi kertaa työpäivässä ja näitä ylityksiä oli kolmena työpäivänä 49 mitatusta päivästä. Seitsemänä työpäivänä rikkivedyn HTP_{15min} raja-arvo ylittyi kerran. 39 työpäivänä rikkivedyn HTP_{15min} raja-arvo ei ylittynyt kertakaan.

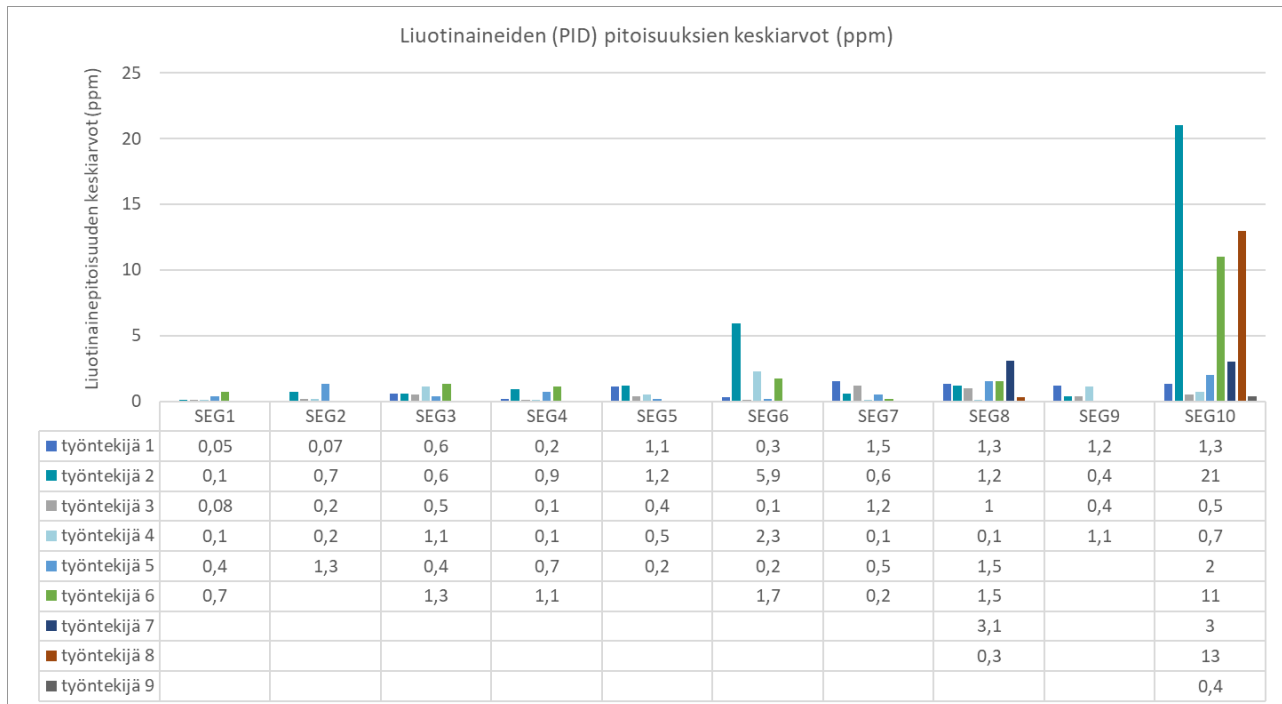
Standardin SFS-EN 689:2018+AC:2019 mukainen ryhmätason (SEG 6) tarkastelu osoitti, että rikkivetypitoisuudet noudattivat Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,84$). Muuttujan Ur-arvo (2,5) oli suurempi kuin Ut-arvo (2,187), jolloin operaattoreiden 2 altistuminen rikkivedylle noudattaa raja-arvoa eikä raja-arvo ylitä.



Kuva 6. Työntekijäryhmien (SEG1-10) altistuminen rikkivedylle etäluettavan mittarin mukaan.

Liutainaineet

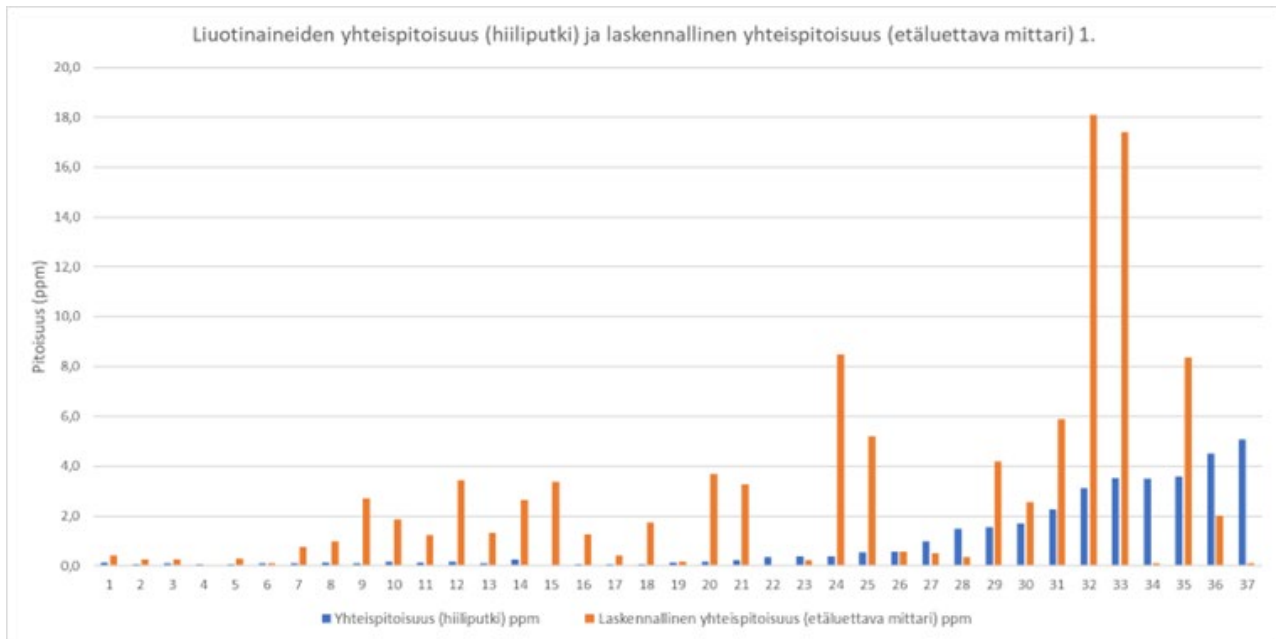
Työntekijöiden altistuminen liutainaineille oli suurinta etäluettavan mittarin mukaan maalauslinjan työntekijöiden työssä (SEG10) (kuva 7). Suurimmat hetkelliset liutainaineiden pitoisuudet mitattiin pumppujen pesun ja maalikammion puhdistuksen aikana (PID: 51–1040 ppm), maalin kovettimen täytön aikana (PID: 51–500) ja pumppaamossa maalikontin täytön ja maalien sekoittamisen aikana (PID: 53–220 ppm).



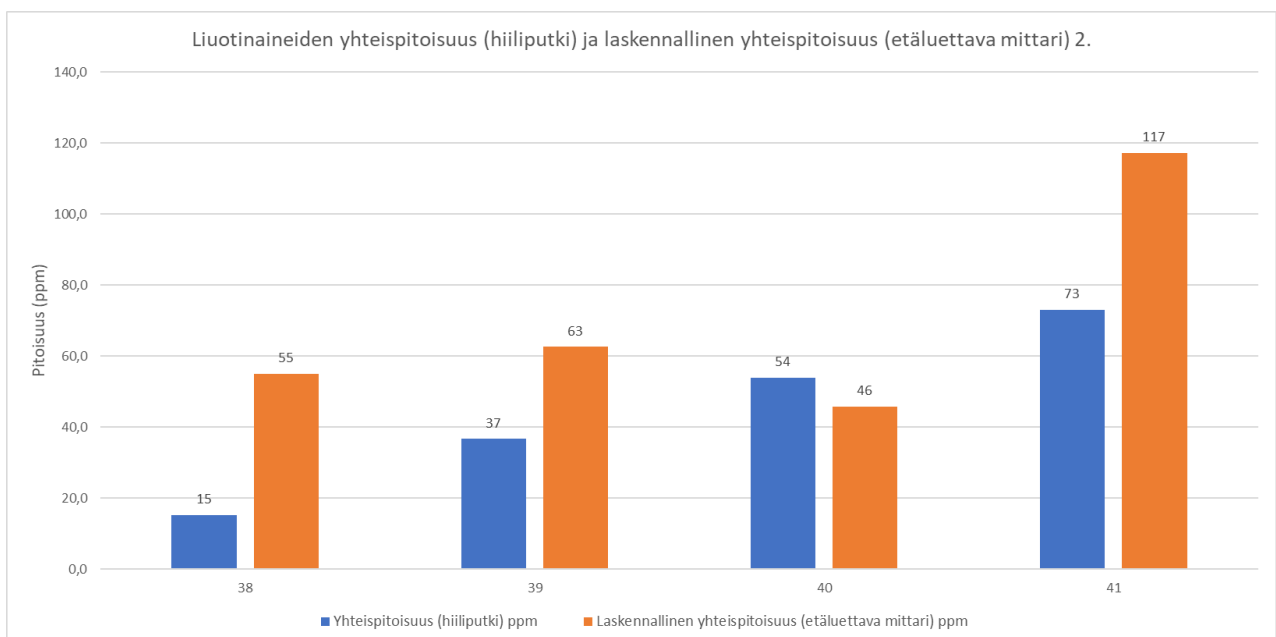
Kuva 7. Työntekijäryhmien (SEG1-10) altistuminen liuotinaineille (PID).

4.2.3 Keräävien menetelmien ja etäluettavan mittarin tulosten vertailu

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty hiiliputkimenetelmällä määritetyt liuotinaineiden yhteispitoisuudet (ppm) ja etäluettavan mittarin PID-tuloksia hyödyntämällä saadut laskennalliset liuotinaineiden yhteispitoisuudet (ppm). Liuotinaineiden osalta menetelmävertailuja tehtiin 41:n vertailuparin osalta. Näissä vertailuissa 37:n vertailun osalta (kuva 8) liuotinainepitoisuudet olivat pääasiassa matalia (hiiliputkimenetelmällä alle 5 ppm). Etäluettavan mittarin tulokset olivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta hiiliputkimenetelmällä saatuja liuotinainepitoisuuksia suurempia. Monessa näytteessä vallitsevana yhdisteenä oli etanoli, jonka etäluettavalle mittarille käytettävä korjauskerroin (11) on suuri. Dikloorimetaanin kohdalla korjauskerroin oli erittäin suuri (70) ja tämä jätettiin kuvan 8 näytteiden (22,23,26,34 ja 37) tuloksista huomioimatta, koska PID-sensorin vaste dikloorimetaanille havaittiin olevan tutkimuskohteessa käytännössä heikko. Dikloorimetaanin korjauskerroin huomioiden näytteiden 22,23,26,34 ja 37 laskennallinen yhteispitoisuus olisi vaihdellut 22–93 ppm välillä, kun se on nyt 0,05–0,6 ppm (kuva 8). Korjauskertoimien suuruus selittää etäluettavan mittarin hiiliputkimenetelmää korkeampia liuotinaineiden laskennallisia yhteispitoisuuksien tuloksia. Neljässä vertailuparissa liuotinaineiden yhteispitoisuudet (15–73 ppm) olivat selkeästi suurempia (kuva 9). Korkeammassa liuotinainepitoisuuksissa menetelmien erot eivät olleet niin suuria, kuin pienemmissä pitoisuuksissa. Liuotinaineiden pitoisuuden ollessa korkeampia, etanolin lisäksi esiintyi myös muita liuotinaiteita, jolloin yhden yhdisteen pitoisuus ei noussut niin merkittäväksi kuin pienemmissä liuotinainepitoisuuksissa. Suuremmissakin liuotinaineiden pitoisuuksissa etäluettavan mittarin tulokset olivat pääasiassa hiiliputkimenetelmällä saatuja tuloksia suurempia. PID tulosten laskenta korjauskertoimia käyttäen monimutkaisista liuotinaineseoksista on haastavaa ja laskennallisiin tuloksiin on hyvä suhtautua varauksella.

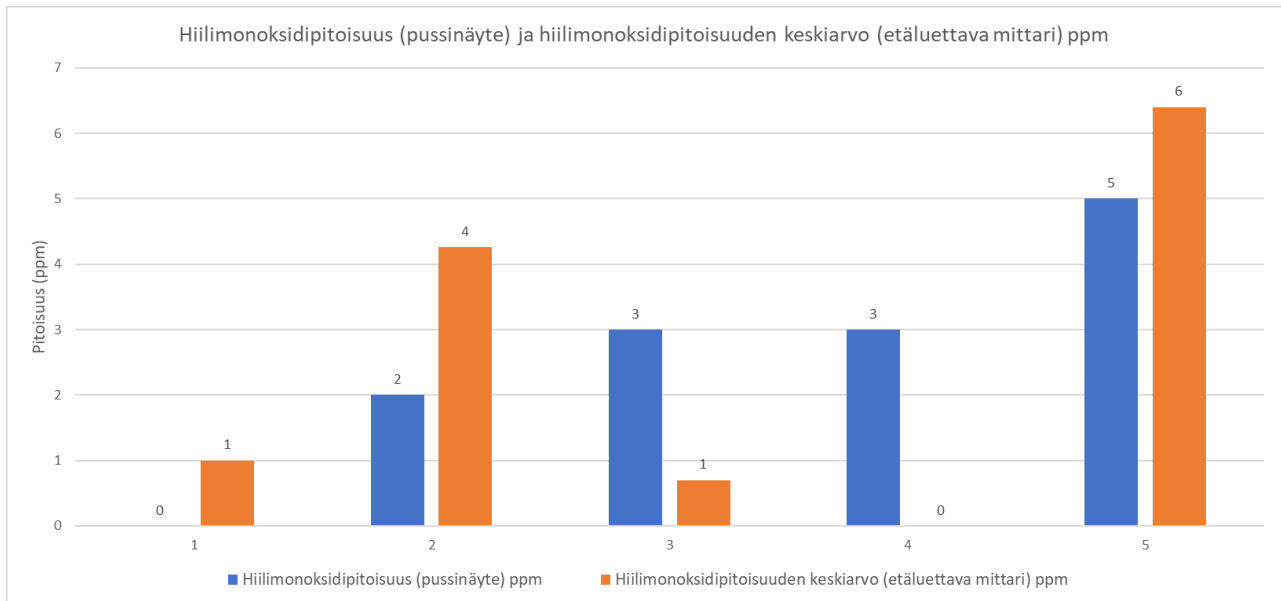


Kuva 8. Liutainaineiden yhteispitoisuuksien vertailu hiiliputkimenetelmällä ja etäluettavalla mittarilla, kun hiiliputkimenetelmällä mitattiin alle 5 ppm pitoisuuksia.



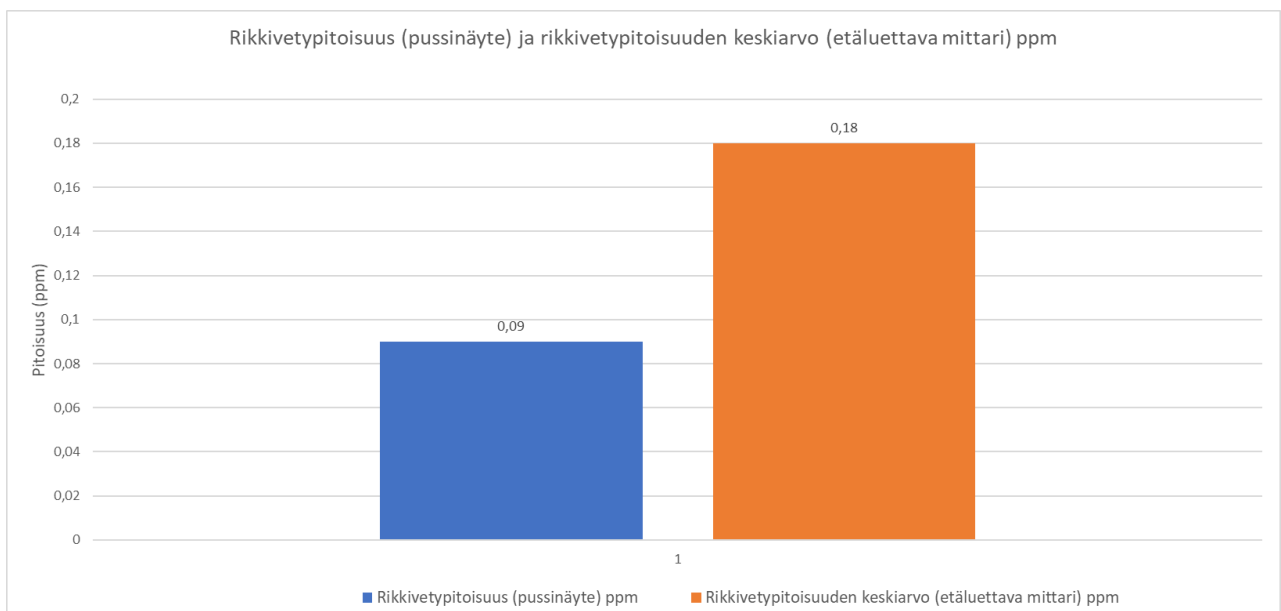
Kuva 9. Liutainaineiden yhteispitoisuuksien vertailu hiiliputkimenetelmällä ja etäluettavalla mittarilla, kun hiiliputkimenetelmällä mitattiin yli 5 ppm pitoisuuksia.

Kuvassa 10 on esitetty laminaattipusseihin kerättyjen ja hiilimonoksidianalysaattorilla analysoitujen hiilimonoksidinäytteiden tulokset (ppm) sekä etäluettavan mittarin hiilimonoksidipitoisuuksien keskiarvot (ppm). Hiilimonoksidivertailuja tehtiin viisi kappaletta ja kaikissa vertailuissa pitoisuustasot olivat pieniä. Etäluettavan mittarin hiilimonoksidipitoisuudet olivat altistumisen kannalta samalla tasolla hiilimonoksidianalysaattorin tuloksiin nähden.



Kuva 10. Hiilimonoksidipitoisuudet pussimenetelmällä ja etäluettavalla mittarilla.

Kuvassa 11 on esitetty laminaattipussiin kerätty ja laboratoriossa analysoitu rikkivetyntytteen tulos (ppm) sekä etäluettavan mittarin rikkivetyypitoisuuden keskiarvo (ppm). Rikkivetyvertailuja tehtiin ainoastaan yksi kappale, jossa rikkivetyypitoisuus oli matala. Etäluettavan mittarin rikkivetyypitoisuus oli altistumisen kannalta samalla tasolla rikkivedyn laboratorioanalyysin tuloksen kanssa.



Kuva 11. Rikkivetyypitoisuus pussimenetelmällä ja etäluettavalla mittarilla.

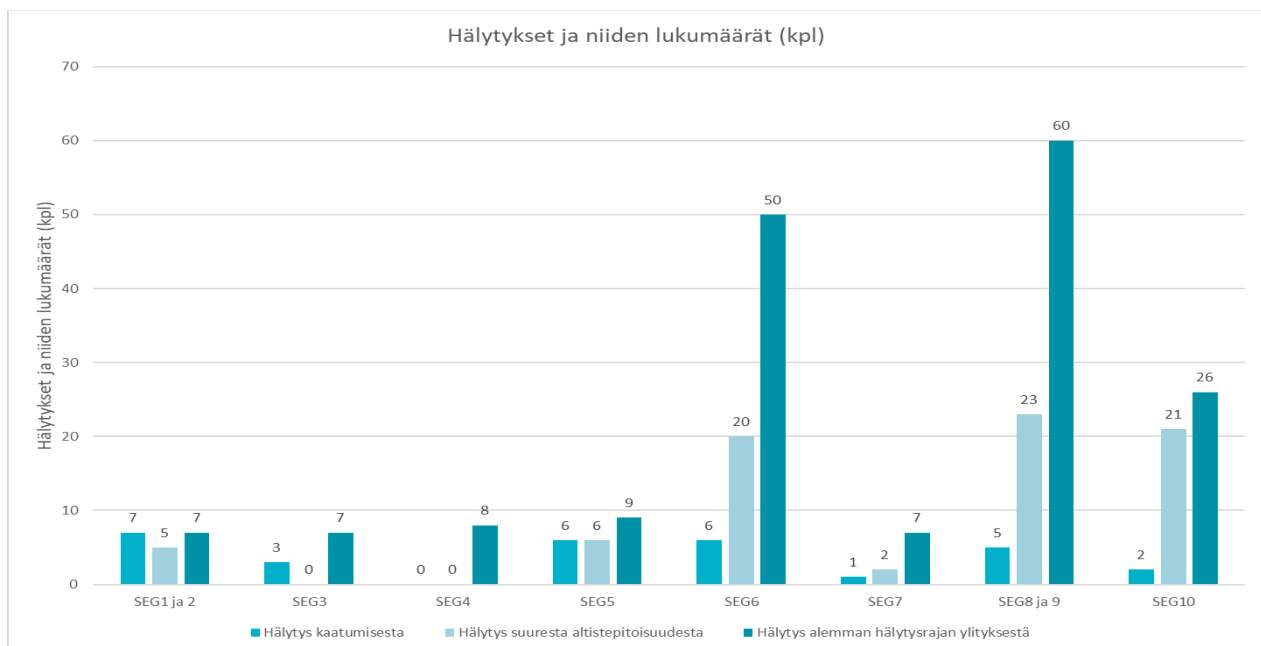
4.2.4 Työntekijöiden työskentelyalueet, altistavimmat kohteet ja etäluettavan mittarin hälytykset

Työntekijöiden työskentelyalueiden laajuus arvioitiin työntekijöiden työssään käyttämien etäluettavien mittareiden paikoitustietojen perusteella. Hälytysten (kaatuminen, suuri pitoisuus (yli analyysialueen), suuri pitoisuus (analyysialueella), STEL-hälytys (lyhytaikaisen raja-arvon ylitymisestä kertova hälytys) ja hälytykset alemman hälytysrajan ylityksistä laskettiin työntekijöiden työpäivien jälkeen karttakuvista sekä laitteen pilvipalvelun kohdasta ”tapahtumat kartalla”. Kuvitteellinen piirros etäluettavan mittarin paikannustietojen ja hälytysten yhdistämisestä on esitetty tämän raportin sivulla 16 kuvassa 1.

Operaattoreiden 1 ja 3 (SEG1 ja SEG2) sekä asentajien 1–3 (SEG 3-5) työskentelyalueet olivat työntekijöiden paikoitustietojen perusteella laajat. Operaattoreista puolet (3/6) työskenteli työkohteissa, jotka olivat lähellä valvomoa ja puolet (3/6) lähellä olevien työkohteiden lisäksi työkohteissa, jotka olivat selkeästi kauempana valvomosta. Operaattoreista 3 suurin osa (4/5) työskenteli työkohteissa, jotka olivat lähellä valvomoa ja yksi työntekijä lähellä olevien työkohteiden lisäksi työkohteissa, jotka olivat selkeästi kauempana valvomosta. Asentajien 1–3 työalueet painottuivat paikannustietojen perusteella korjaamoille ja sieltä suuntautuneisiin eri alueilla oleviin työkohteisiin.

Operaattoreiden 2 (SEG 6) työskentelyalueet olivat paikannustietojen perusteella pääasiassa heidän kahdella eri työalueillaan. Konesalin hoitajien (SEG 7) työskentelyalueet olivat konesaleissa sekä konesalin ulkopuolisilla työskentelyalueilla. Prosessimiesten (SEG 8) työskentelyalueet sijaitsivat työntekijöiden paikoitustietojen perusteella tuotantoprosessien läheisyydessä ja vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 9) työskentelyalueet tuotantoprosessien läheisyydessä sekä laajemmilla vuorohuoltotyöntekijöiden työalueilla. Maalauslinjan työntekijöiden (SEG 10) työalue oli paikannustietojen perusteella maalauslinjalla.

Työntekijöillä oli käytössään työaikakirjauskaavakkeet ja etäluettavat mittarit työhygieenisten selvitysten yhteydessä. Työaikakaavakkeisiin kirjattujen työaikakirjausten (työtehtävä ja kellonaika), pitoisuustietojen, työntekijöiden paikannustietojen ja hälytysten (etäluettava mittari) perusteella määritettiin altistavimmat kohteet työntekijöiden työssä. Kuvassa 12 on esitetty yhteenveto työhygieenisten selvitysten yhteydessä (17 työpäivää) havaituista hälytyksistä. Eniten etäluettava mittari hälytti alemman hälytysrajan ylittävistä pitoisuuksista.



Kuva 12. Hälytykset ja niiden lukumäärät (kpl).

Operaattoreiden 1 ja 3 (SEG1 ja SEG2) töissä altistavimmat työkohteet olivat työaikakirjausten ja pitoisuustietojen (liuotinaaineet: PID 8-57 ppm ja rikkivety 0–15 ppm) perusteella työt tasausaltilailla. Samaa tulokseen päädyttiin myös työntekijäryhmien paikannustietojen ja hälytysten perusteella. Hälytyksiä kaatumisista tuli siirryttäessä valvomosta työkohteisiin, kun työntekijät halusivat testata mittarin toimintaa sekä istahtaessa tupakkapaikalle. Asentajien 1 (SEG 3) altistavin työkohteet olivat työaikakirjausten ja pitoisuustietojen (PID 2-61 ppm) perusteella työ korjaamolla. Paikannustietojen ja hälytysten perusteella ei havaittu yhtä yksittäistä altistavaa työtä asentajien 1 työssä. Hälytyksiä kaatumisista tuli työntekijöiden istahtaessa tupakkapaikalle, mutta todellisia kaatumisia ei työntekijöiden työssä esiintynyt. Asentajien 2 (SEG 4) töissä altistavin työkohteet olivat työaikakirjausten ja pitoisuustietojen (PID 13-21 ppm) perusteella työ pesualtilailla. Paikannustietojen ja hälytysten perusteella ei havaittu yhtä yksittäistä altistavaa työtä heidän työssään. Hälytyksiä kaatumisista tuli osin ahtaissa työkohteissa. Asentajien 3 (SEG 5) työssä altistavimmat työkohteet olivat työaikakirjausten ja pitoisuustietojen perusteella lähettimen vaihtotyö (PID 10-420 ppm) ja vuodon korjaustyö (PID 10-50 ppm). Vuodon korjauksen aikana etäluettava mittari putosi työntekijältä ja mittaus loppui kesken. Tästä syystä vuodon korjauksen aikana PID-pitoisuudet voivat olla todellisuudessa tässä ilmoitettuja suurempiakin. Paikannustietojen ja hälytysten perusteella nämä työvaiheet erottuivat selkeästi altistavimpina työvaiheina. Hälytyksiä kaatumisista tuli osin ahtaissa työkohteissa. Operaattoreiden 2 (SEG 6) töissä altistavin työkohteet olivat työaikakirjausten ja pitoisuustietojen perusteella ensimmäisen työalueen tehdasrakennuksen ylimmässä kerroksessa (PID 10-1000 ppm, rikkivety 0–200 ppm, ja hiilimonoksidi 7–500 ppm). Paikannustietojen ja hälytysten perusteella tämä työalue erottui selkeästi altistavimpina työalueena. Työaikakirjausten perusteella altistavimpia työkohteita oli myös rakennuksen kellarissa. Näitä tietoja ei paikannustietojen ja hälytysten perusteella voitu päätellä. Hälytyksiä kaatumisista tuli pääasiassa työntekijöiden istahtaessa tupakkapaikalle ja yhdessä työkohteessa. Konesalin hoitajien (SEG 7) töissä altistavin työkohteet olivat työaikakirjausten ja pitoisuustietojen perusteella työ korjaamolla (PID 38-170 ppm, rikkivety 0–60 ppm, ja hiilimonoksidi 40–250 ppm). Paikannustietojen ja hälytysten perusteella tämä kohde havaittiin selkeästi myös altistavimmaksi. Hälytys kaatumisesta tuli siirryttäessä valvomosta työkohteeseen. Todellisia kaatumisia ei työntekijöiden työssä esiintynyt.

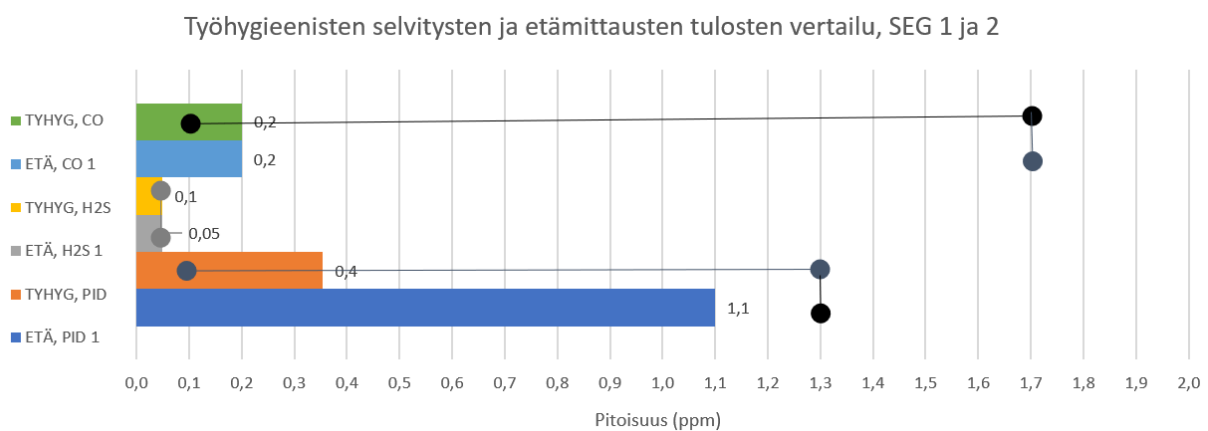
Prosessimiesten (SEG 8) töissä altistavimmat työkohteet olivat työaikakirjausten ja pitoisuustietojen perusteella oman alueen valvontakierros (hiilimonoksidi 80–500 ppm) ja työ kuilulla (hiilimonoksidi 80–290 ppm) ja vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 9) osalta työ verstaassa (hiilimonoksidi 80–180 ppm). Paikannustietojen ja hälytysten perusteella valvontakierros oli prosessimiesten osalta altistava työvaihe, mutta kuilua kartalta ei pystynyt erottamaan. Vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 9) osalta verstaasta ei selkeästi erotettu kartasta ja altistavimman paikan erottaminen oli epävarmaa prosessimiesten ja vuorohuoltotyöntekijöiden osittain samasta työalueesta ja työntekijöiden tupakoinnista johtuen. Hälytyksiä kaatumisista tuli siirryttäessä valvomosta työkohteisiin. Maalauslinjan työntekijöiden (SEG 10) töissä altistavimmat työkohteet olivat työaikakirjausten ja pitoisuustietojen perusteella pumppujen pesu ja maalikammion puhdistus maalauslinjalla, kovetekontin täyttö pumppaamossa ja maalikontin täyttö pumppaamossa. Paikannustietojen ja hälytysten perusteella altistavimmat työvaiheet painoutuivat pumppaamolle. Maalauslinjan altistavuutta paikannustiedoista oli vaikeampi havaita. Hälytyksiä tuli kohteista, joissa työntekijät eivät todennäköisesti edes liikkuneet. Kiinteässä mittauspisteessä pumppaamossa sijainneen mittauspisteen hälytykset paikantuivat läheiselle junaradalle, mikä kertoo todennäköisesti tavanomaista suuremmasta virheestä paikannustiedossa.

Etämittareiden käyttö vahvisti tietoa jo tiedetyistä vaaranpaikoista. Etäluettavan mittarin käytön avulla löydettiin uusia työkohteita ja uusia työntekijäryhmiä, joiden altistumiseen tulisi kiinnittää jatkoissa enemmän huomiota. Vaikka jokaisessa SEG-ryhmässä mittari hälytti kaatumisista, niin missään ryhmässä ei esiintynyt todellisia kaatumisia.

4.3 Etäluettavien mittareiden käyttökokeilut

Työhygieenisten selvitykset (TYHYG) tehtiin tutkimuskohteissa Työterveyslaitoksen työhygieenikoiden ja tutkijoiden toimesta ja etämittaukset (ETÄ) tehtiin tutkimuskohteiden osastojen työntekijöiden toimesta itsenäisesti laitteiden käyttö- ja toimintaohjeiden avulla. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten hiilimonoksidi (CO)- ja rikkivetypitoisuuksien (H₂S) ja liuotainepitoisuuksien (PID) keskiarvot työntekijäryhmittäin on esitetty kuvissa 13-20. Kuvissa työhygieenisten selvitysten perässä oleva ”pisteet VAAKA viivalla yhdistävä merkintä” kuvaa työhygieenisissä selvityksissä olevaa tulosten vaihteluväliä. Pisteet yhdistävä PYSTY viiva liittää yhteen vertailun kohteena (työhygieeninen selvitys (TYHYG) vs. etämittaus (ETÄ) olevat altisteet (CO, H₂S ja PID).

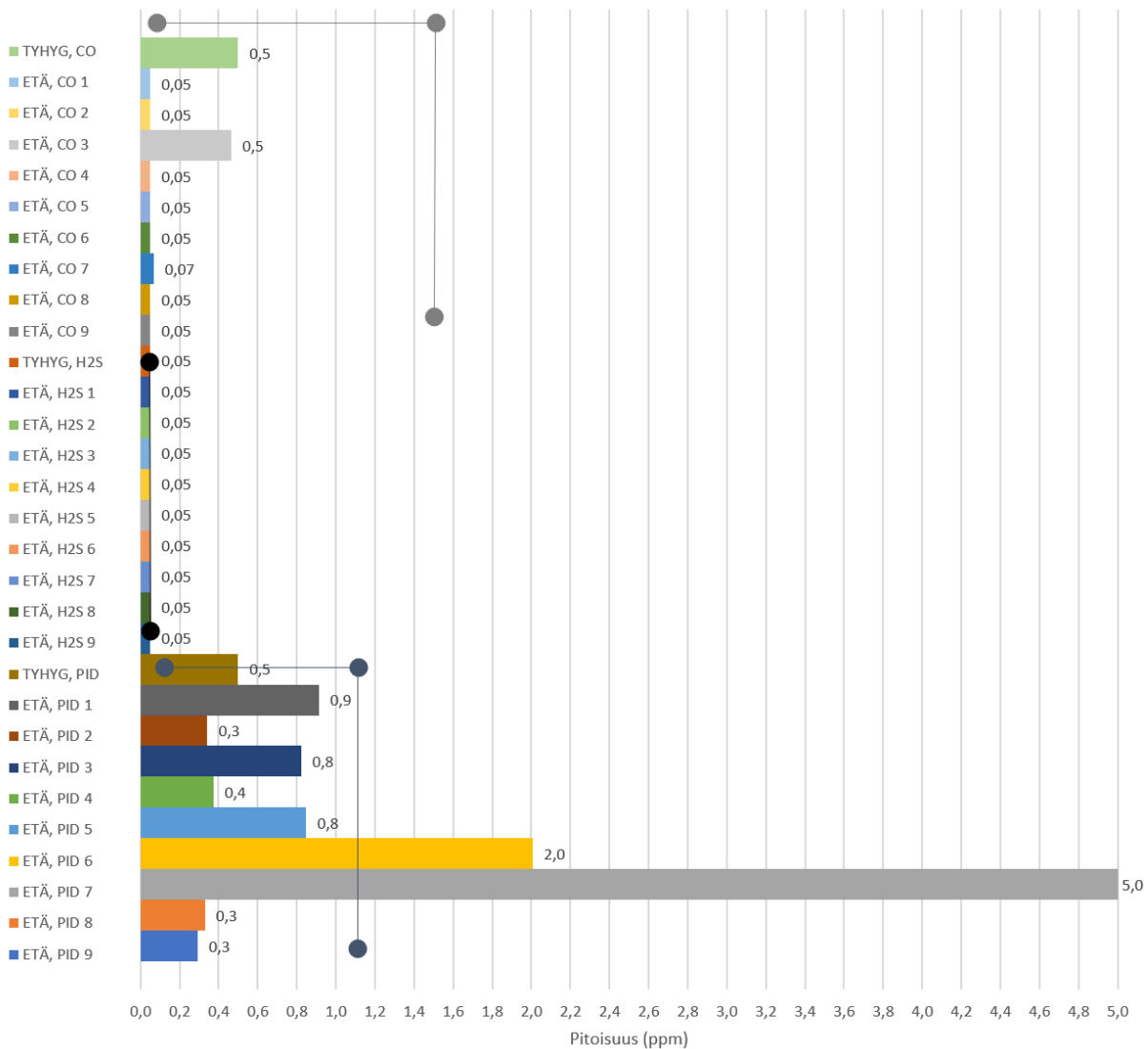
Työntekijäryhmien SEG 1 ja 2 työssä etämittauksia tehtiin yhtenä päivänä. Etämittauksen tulokset olivat samalla tasolla työhygieenisten selvitysten tuloksiin nähden (kuva 13).



Kuva 13. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu ryhmissä SEG1 ja SEG2.

Työntekijäryhmän SEG 4 työssä etämittauksia tehtiin yhdeksänä päivänä (kuva 14). Etämittauksen tulokset olivat työhygieenisten selvitysten tuloksia suurempia kahtena päivänä liuotinainealtistumisen osalta (ETÄ, PID 6 ja 7). Hiilimonoksidi- ja rikkivetypitoisuudet olivat samalla tasolla työhygieenisten selvitysten tulosten kanssa.

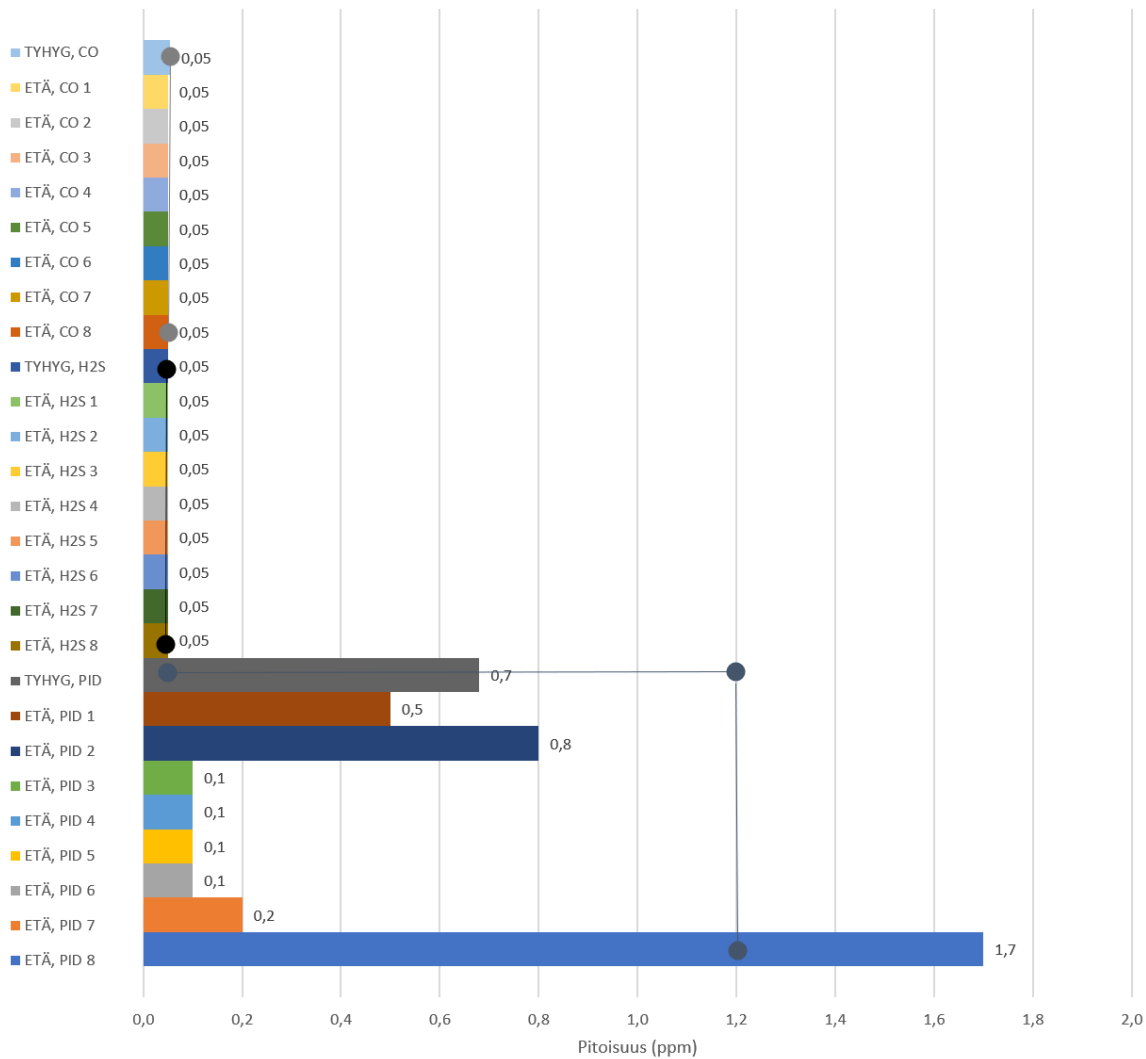
Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu, SEG 4



Kuva 14. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu ryhmässä SEG4.

Työntekijäryhmän SEG 5 työssä etämittauksia tehtiin kahdeksana päivänä (kuva 15). Etämittauksen tulokset olivat työhygieenisten selvitysten tuloksia suurempia yhtenä päivänä liuotinainealtistumisen osalta (ETÄ, PID 8). Hiilimonoksidi- ja rikkivetypitoisuudet olivat samalla tasolla työhygieenisten selvitysten tuloksien kanssa.

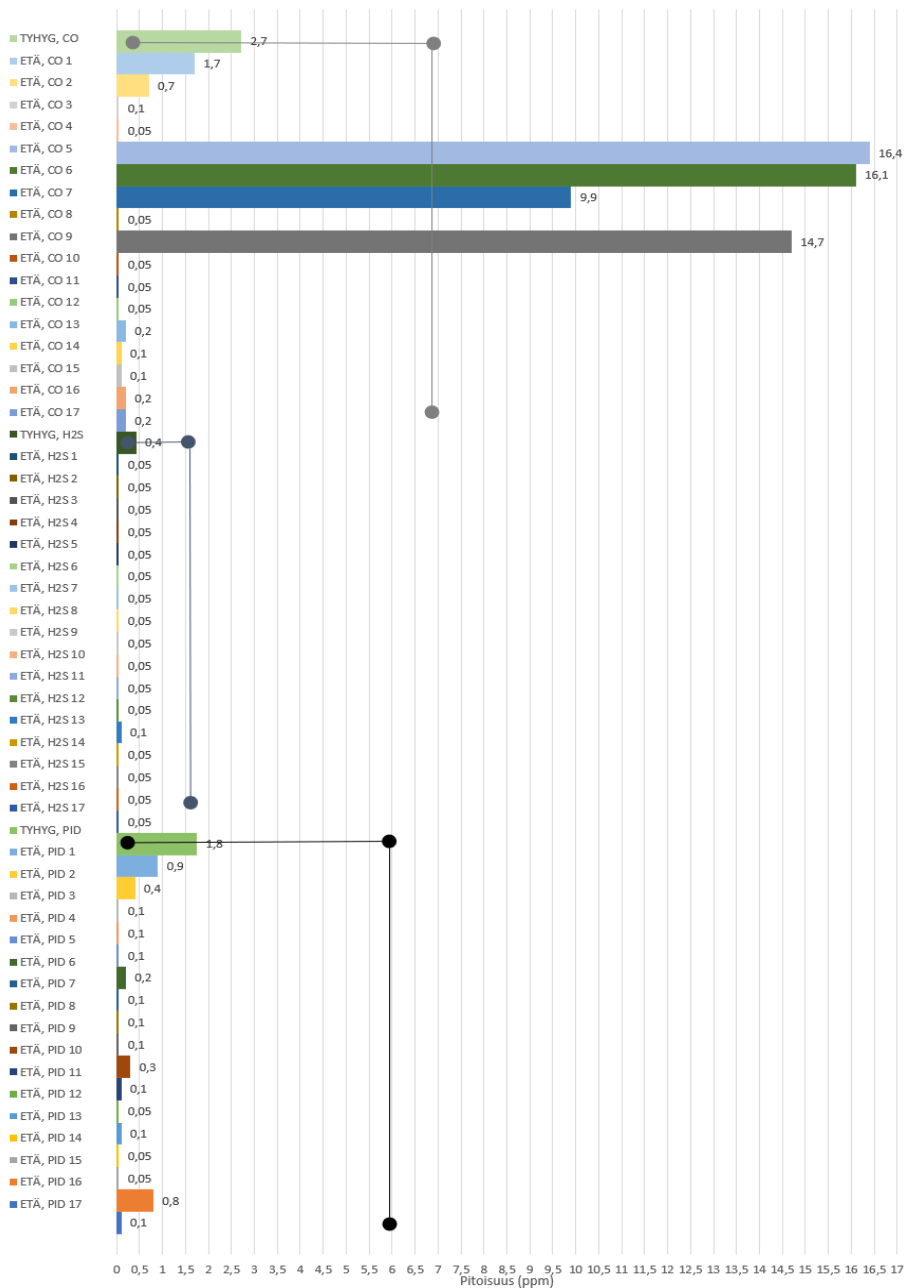
Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu, SEG 5



Kuva 15. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu ryhmässä SEG5.

Työntekijäryhmän SEG 6 työssä etämittauksia tehtiin 17 päivänä (kuva 16). Etämittauksen tulokset olivat työhygieenisten selvitysten tuloksia suurempia neljänä päivänä hiilimonoksidaltistumisen osalta (ETÄ, CO 5, 6, 7 ja 9). Rikkivety- ja liuotinainepitoisuudet olivat samalla tasolla työhygieenisten selvitysten tuloksien kanssa.

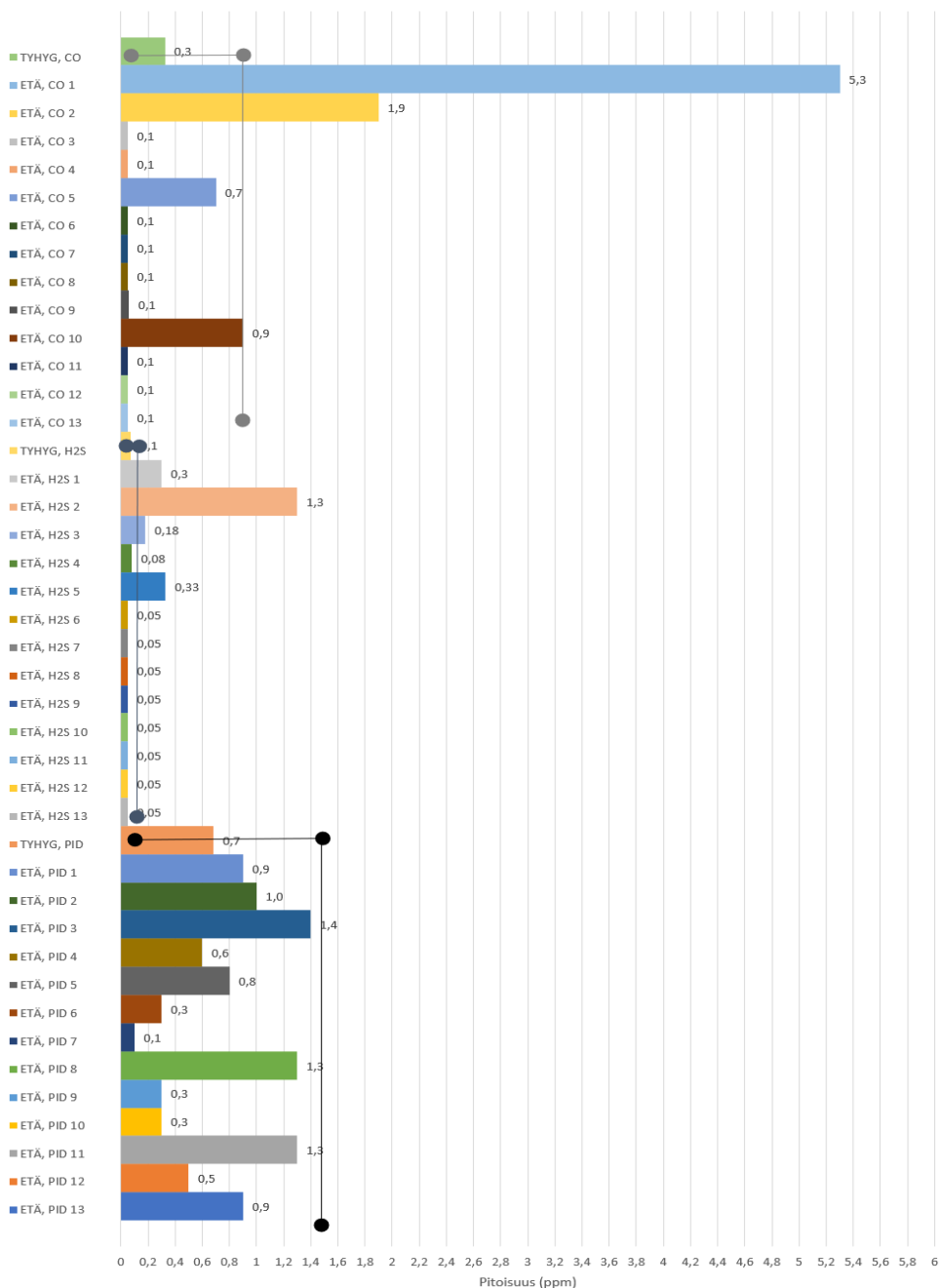
Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu, SEG 6



Kuva 16. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu ryhmässä SEG6.

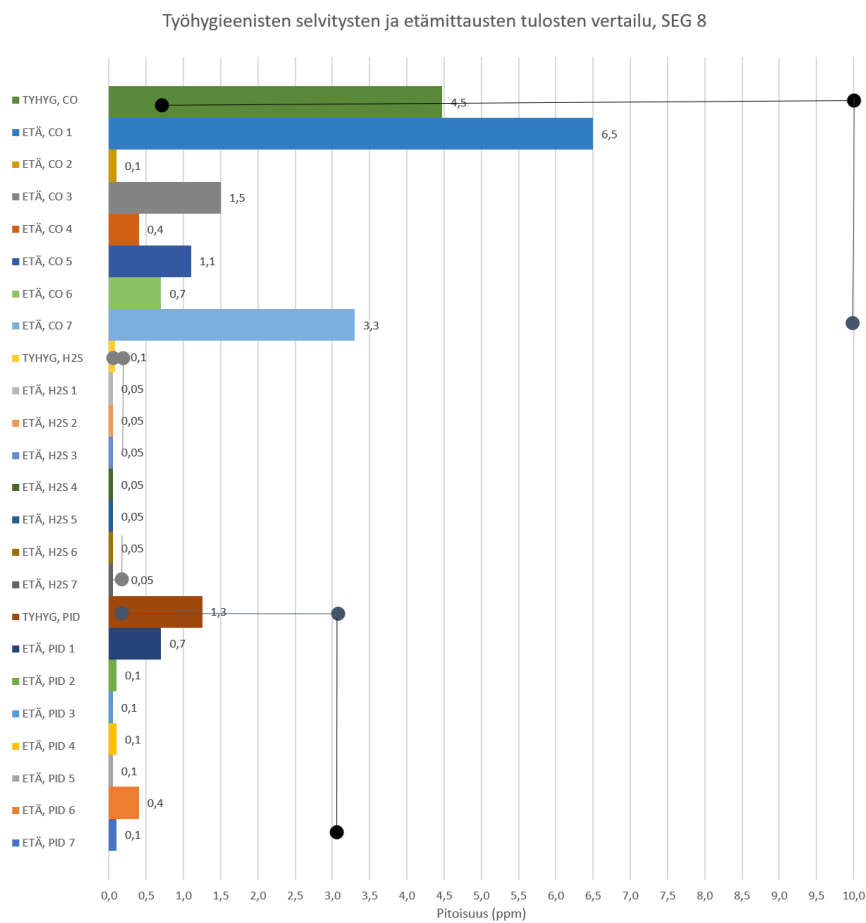
Työntekijäryhmän SEG 7 työssä etämittauksia tehtiin 13 päivänä (kuva 17). Etämittauksen tulokset olivat työhygieenisten selvitysten tuloksia suurempia kahtena päivänä hiilimonoksidaltistumisen osalta (ETÄ, CO 1 ja 2) ja neljänä päivänä rikkivetyaltistumisen osalta (ETÄ, H₂S 1, 2, 3 ja 5). Liutainainepitoisuudet olivat samalla tasolla työhygieenisten selvitysten tuloksien kanssa.

Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu, SEG 7



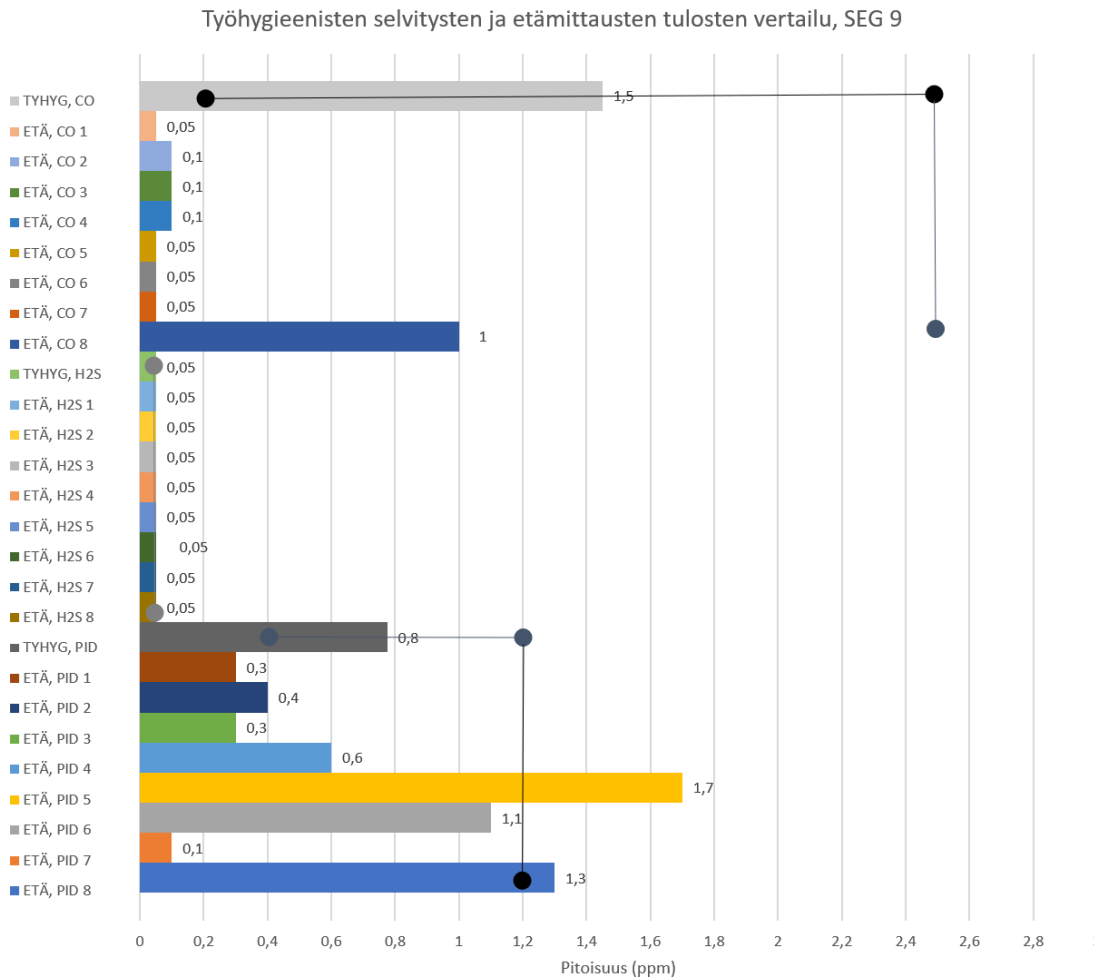
Kuva 17. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu ryhmässä SEG7.

Työntekijäryhmän SEG 8 työssä etämittauksia tehtiin seitsemänä päivänä (kuva 18). Etämittauksen tulokset olivat samalla tasolla työhygieenisten selvitysten tuloksiin nähden.



Kuva 18. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu ryhmässä SEG8.

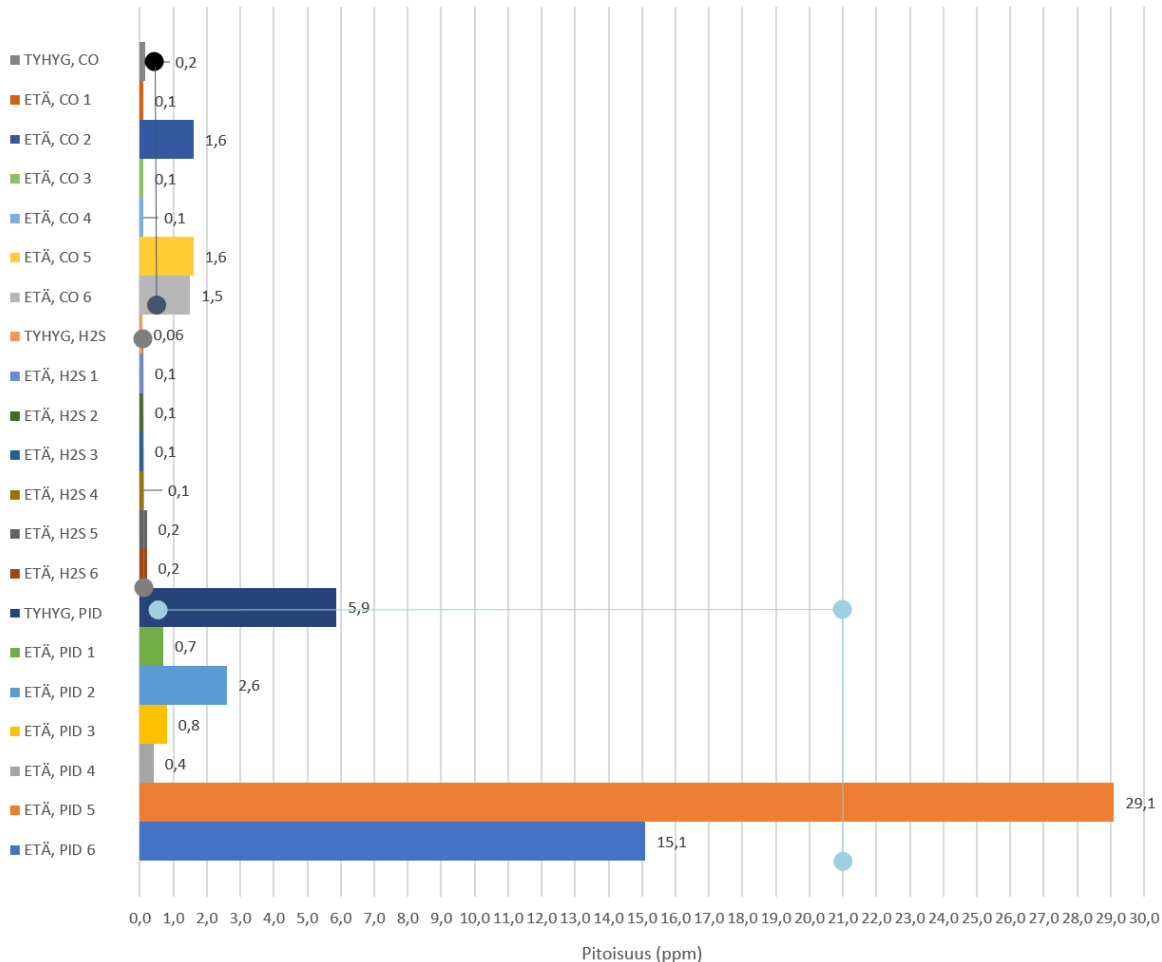
Työntekijäryhmän SEG 9 työssä etämittauksia tehtiin kahdeksana päivänä (kuva 19). Etämittauksen tulokset olivat työhygieenisten selvitysten tuloksia suurempia kahtena päivänä liuotinainealtistumisen osalta (ETÄ, PID 5 ja 8). Hiilimonoksidi- ja rikkivetypitoisuudet olivat samalla tasolla työhygieenisten selvitysten tuloksien kanssa.



Kuva 19. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu ryhmässä SEG9.

Työntekijäryhmän SEG 10 työssä etämittauksia tehtiin kuutena päivänä (kuva 20). Etämittauksen tulokset olivat työhygieenisten selvitysten tuloksia suurempia kolmena päivänä hiilimonoksidi-, rikkivedyn- ja luotinainealtistumisten osalta (ETÄ, CO 2, 5, 6, ETÄ H₂S 5, 6 ja PID 5).

Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu, SEG 10



Kuva 20. Työhygieenisten selvitysten ja etämittausten tulosten vertailu ryhmässä SEG10.

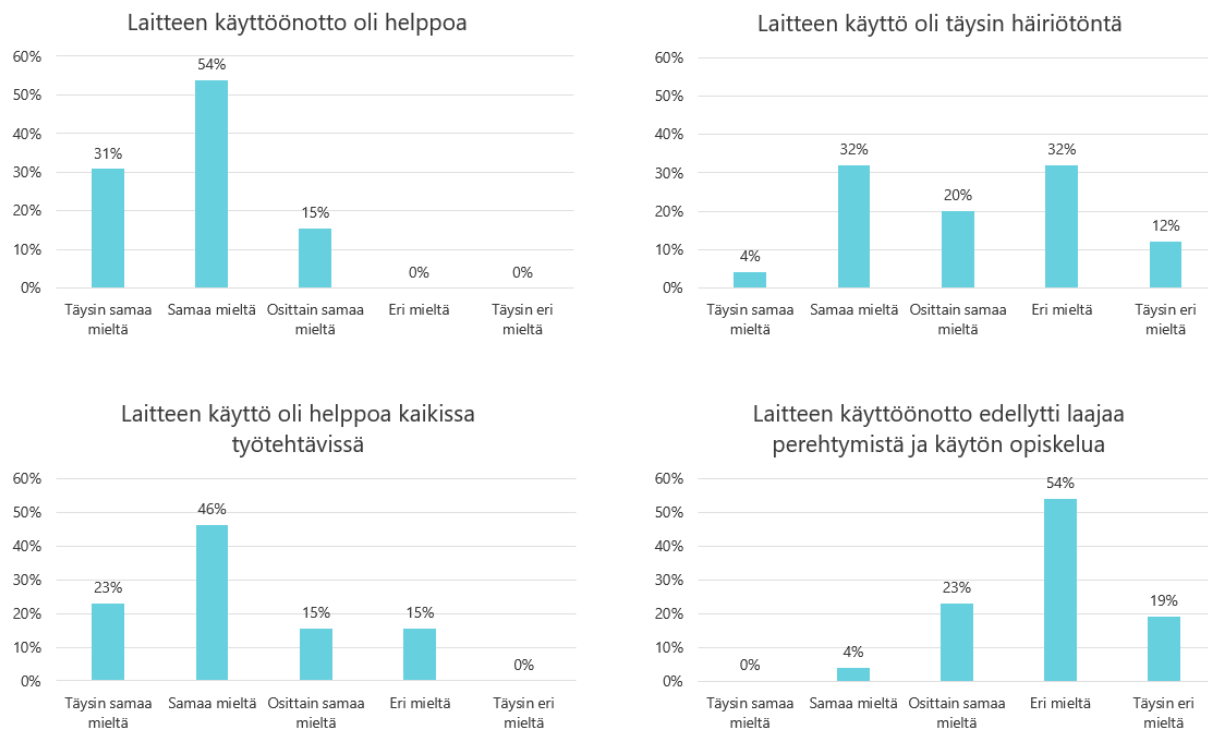
Etämittausten aikana työntekijöiden (SEG1, 2, 4-10) työssä hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ylittyi suurimmillaan neljä kertaa työpäivässä ja näitä ylityksiä oli yhtenä työpäivänä 70 työpäivästä. Hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ylittyi kolme kertaa kahtena työpäivänä, kaksi kertaa viitenä työpäivänä ja yhden kerran seitsemänä työpäivänä 70 työpäivästä. 55 työpäivänä hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ei ylittynyt. Rikkivedyn HTP_{15min} raja-arvo ylittyi neljä kertaa ainoastaan yhtenä päivänä 70 työpäivästä. Rikkivedyn HTP_{15min} raja-arvo ylittyi kolme kertaa yhtenä työpäivänä, kaksi kertaa kahtena työpäivänä ja yhden kerran kahtena työpäivänä 70 työpäivästä. 64 työpäivänä rikkivedyn HTP_{15min} raja-arvo ei ylittynyt.

Operaattoreiden 1 ja 3 (SEG 1 ja SEG2) sekä asentajien 2 (SEG4) töissä ei havaittu etäseurannan aikana ja paikannustietojen perusteella hälytyksiä korkeista pitoisuuksista tai tapaturmavaaroista. Asentajat 1 (SEG 3) eivät halunneet osallistua etäseurantaan. Asentajien 3 (SEG 5) työssä hälytyksiä pitoisuuksista tai tapaturmavaaroista esiintyi paikannustietojen perusteella yhdessä uudessa työkohteessa työhygieenisiin selvityksiin verrattuna. Kyseinen kohde erottui selkeästi altistavana kohteena etäseurannan aikana. Operaattoreiden 2 (SEG 6) töissä altistavimmat työkohteet olivat etäseurannan aikana ja paikannustietojen

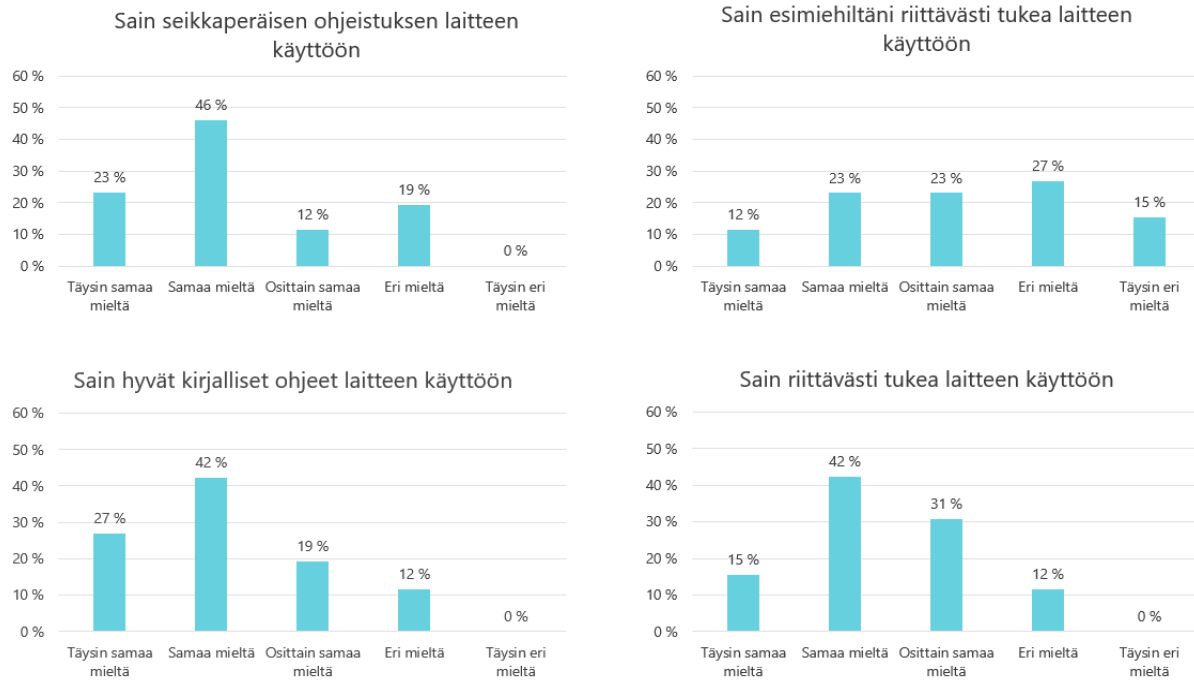
perusteella samalla alueella työhygieenisten selvitysten kanssa. Hälytysten määrä tosin oli etäseurannan aikana selkeästi vähäisempi. Konesalin hoitajien (SEG 7) töissä löytyi paikannustietojen ja etäseurannan aikana uusia altistavia kohteita seitsemän kappaletta ja uusia tapaturmakohteita kuusi kappaletta. Uusia kohteita löytyi todennäköisesti siksi, että etäseuranta-aika oli riittävän pitkä (13 päivää). Prosessimiesten (SEG 8) töissä altistavimmat työkohteet olivat paikannustietojen perusteella samoilla alueilla kuin työhygieenisissä selvityksissä. Vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 9) työssä hälytyksiä tuli etäseurannan aikana liuotinaineista (PID) eikä niinkään hiilimonoksidista kuten työhygieenisten selvitysten yhteydessä. Etäseurannan aikana vuorohuoltotyöntekijöiden PID hälytykset tulivat työkohteessa tapahtuneesta liuotinaineiden käytöstä. Maalauslinjan työntekijöiden (SEG 10) etäseurannan aikana liuotinainehälytykset painottuivat maalauslinjalle, pumppaamolle ja pumppaamon läheisyyteen. Hälytyksiä saatiin myös kohteista, joissa työntekijät eivät todennäköisesti edes liikkuneet. Syy paikannuksen mahdolliseen virheeseen ei tutkimuksessa selvinnyt. Etäseurannan tulokset olivat maalauslinjan työntekijöiden osalta samansuuntaisia työhygieenisten selvitysten hälytyksiin nähden.

4.3.1 Etäluettavien mittareiden käyttökokemuskysely ja kysely työturvallisuudesta

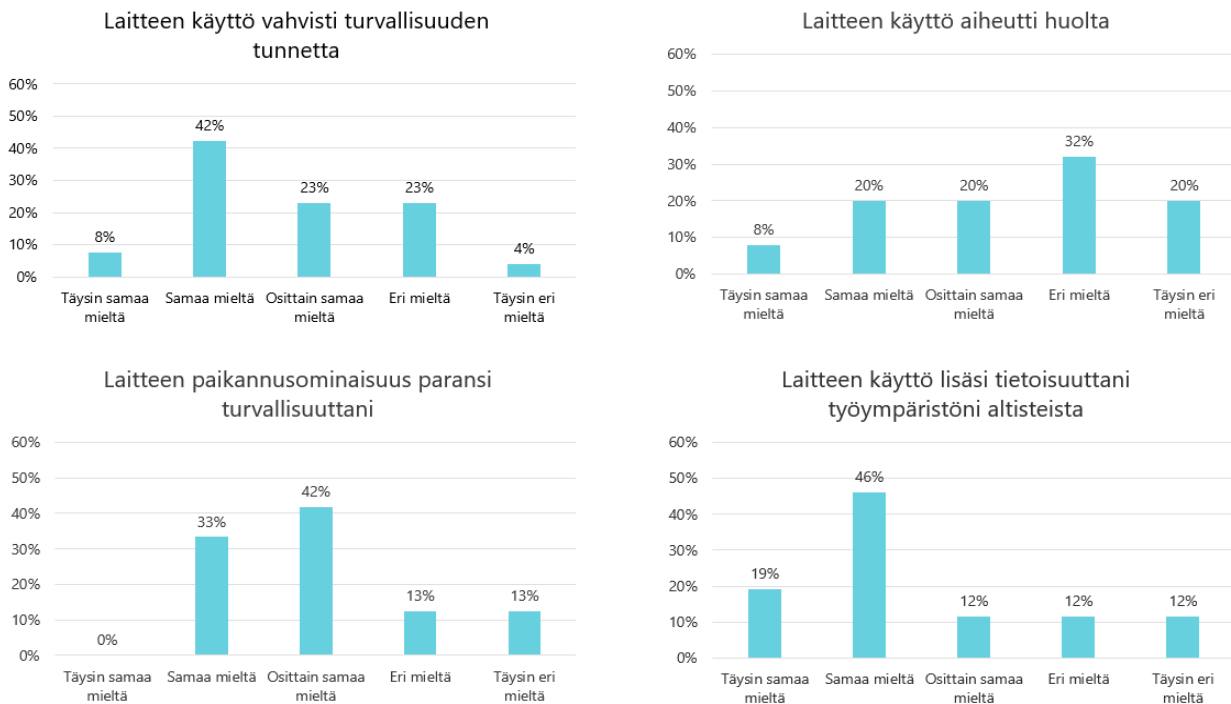
Etäluettavien mittareiden käyttökokemuskyselyyn vastasi 27 työntekijää, joista 10 työskenteli tutkimuskohteessa 1 ja 17 työntekijää tutkimuskohteessa 2. Valtaosa vastaajista oli sitä mieltä, että etäluettavan mittarin käyttöönotto oli helppoa ja sitä oli helppo käyttää kaikissa työtehtävissä (kuva 21). Kokemukset laitteen häiriötömyydestä jakaantuivat. Myös ohjeet ja ohjeistus koettiin pääosin hyvinä, mutta 42 % vastaajista koki esihenkilöltä saadun tuen riittämättömänä (kuva 22). Kaksi kolmannelta vastaajista koki, että laitteen käyttö lisäsi tietoisuutta työympäristön altisteista ja puolet koki laitteen käytön vahvistavan turvallisuuden tunnetta työssä. Etäluettavan mittarin käyttö aiheutti huolta noin puolelta vastaajista (kuva 23). Työntekijöiden mielipiteet liittyen etäluettavan mittarin jatkokäyttöön jakaantuivat (kuva 24).



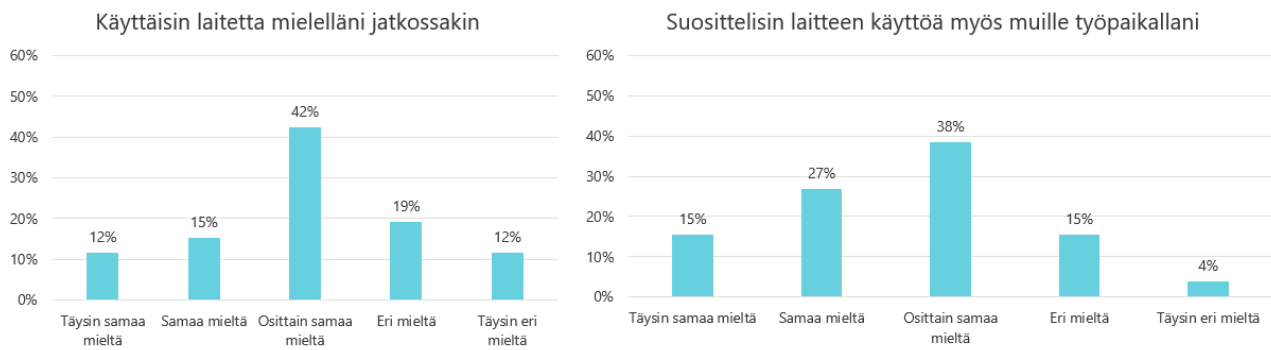
Kuva 21. Työntekijöiden mielipiteet liittyen etäluettavan mittarin käytön helppouteen.



Kuva 22. Työntekijöiden mielipiteet liittyen saamaansa tukeen ja ohjeistukseen etäluettavan mittarin käyttökokeilussa.



Kuva 23. Työntekijöiden mielipiteet liittyen etäluettavan mittarin aiheuttamiin tunteisiin.



Kuva 24. Työntekijöiden mielipiteet liittyen etäluettavan mittarin jatkokäyttöön.

Etäluettavan mittarin hyvinä puolina mainittiin useimmiten altistumisen mittausta tai altisteiden tunnistus ja hälytys. Myös laitteen herkkyyttä ja paikannusominaisuutta pidettiin hyvänä. Yksittäiset vastaajat pitivät hyvinä ominaisuuksina myös laitteen keveyttä, väriä, selkeää näyttöä ja äänenvoimakkuutta. Huonoina puolina etäluettavassa mittarissa mainittiin hälytyksen kuittauksen toimimattomuus, mittarin paino tai koko sekä kaatumishälytys ja sen herkkyyks. Yksittäiset vastaajat pitivät paikannusta, vilkkuvia valoja, hälytysääntä ja laitteen hurinaa huonoina puolina.

Kyselyyn vastanneet työntekijät kokivat työturvallisuuden parantuneen omassa työssä vähän (43 %) tai huomattavasti (27 %). Reilu neljännes vastaajista koki, että työturvallisuus ei ole parantunut, mutta ei myöskään huonontunut omassa työssä. Kolme prosenttia koki työturvallisuuden huonontuneen selvästi. Eniten päivittäisissä turvallisuuskäytännöissä parannusta tutkimuskohteessa 1 raportoitiin henkilökohtaisissa suojaimeissa ja suojavälineissä (89 % vastanneista), kun taas tutkimuskohteessa 2 eniten parannusta koettiin epäkohdista ja puutteista ilmoittamisessa ja turvallisuushavainnoissa (81 % vastanneista). Työlupaprosessin ja radiopuhelinten käytön koettiin huonontuneen tutkimuskohteessa 1 (44 % vastaajista) ja myös tutkimuskohteessa 2 raportoitiin radiopuhelinten heikkenneen (14 % vastaajista).

Liki kaikki vastaajat kertoivat, että heidän työssään viestitään turvallisuudesta monin keinoin: "Ilmoitustaululla päivittäin"; "joka päivä juttelemalla"; "turvavartit"; "viikkopalaverit, turvallisuushavainnot"; vaaratilanneilmoitukset"; "infotaulut, turvallisuuskoulutukset"; "HSE-raportit"; "Kyllä siitä puhutaan koko ajan" ja valtaosa vastaajista (74 %) koki turvallisuusviestinnän edistävän turvallisuuden tunnetta. Turvallisuuden tunteen puolestaan koettiin vaikuttavan työskentelyyn (87 % vastanneista). Turvallisuuden tunteen koettiin olevan työssä pääosin hyvä, mutta vastauksissa nousi esiin työn vaaratekijöiden tiedostamisen/tunnistamisen tärkeys. Turvallisuuden tunnetta edistävät myös suojarusteiden käyttö, työympäristön tunteminen, kommunikointi sekä työhön sitoutunut ja kaverista huolta pitävä työntekijäjoukko. Turvallisuuden tunnetta puolestaan heikentävät mm. kiire, välinpitämättömyys turvaohjeita kohtaan ja korjausta odottavat rikot. Hieman yli puolet vastaajista koki, että turvallisuuden tunne työssä oli lisääntynyt kaasuhälyttimien käytön aikana, 43 %:n mukaan tällä ei ollut vaikutusta ja 3 % kertoi turvallisuuden tunteen vähentyneen kaasuhälyttimen käytön aikana.

Vaaratilanteiden ennaltaehkäisyssä tärkeinä keinoina nähtiin mm. ennakoiva huolto, hyvä perehdytys työtehtäviin, suojarusteisiin panostaminen, kiireen poistaminen, työn suunnittelu ja viime hetken arviointi sekä vaaratilanteiden läpikäynti ja niistä oppiminen.

5 Johtopäätökset

Tavoite 1: Työntekijöiden turvallisuuden lisääminen

Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli työntekijöiden turvallisuuden lisääminen etäluettavan mittaustekniikan avulla. Työntekijöiltä kysyttiin kokemuksia etäluettavasta mittaustekniikasta alkuhaastattelussa ja mittarin käyttökokeilun jälkeen. Työntekijät kokivat etäluettavan mittarin parhaina ominaisuuksina altistumisen mittauksen, altisteiden tunnistuksen ja siitä aiheutuvan hälytyksen. Puolet työntekijöistä koki mittarin vahvistavan turvallisuuden tunnetta ja kolmannes koki paikannusominaisuuden parantavan turvallisuutta. Toisaalta 26 % koki, että paikannusominaisuus ei paranna turvallisuutta ja laitteen paikannusominaisuus herätti ennen laitteen käyttökokeilua eniten epäilyksiä. Yhden työntekijäryhmän työntekijät eivät osallistuneet laitteen itsenäiseen käyttökokeiluun (etäseuranta). Noin 75 % työntekijöistä koki, että etäluettava mittari lisäsi tietoisuutta työympäristön altisteista.

Etäluettavan tekniikan paikannustietoja, pitoisuustietoja ja hälytyksiä verrattiin tässä tutkimuksessa myös työntekijöiden työaikakirjaustietoihin. Tämän vertailun perusteella etäluettavan tekniikan käytön avulla voitiin tunnistaa työkohteita, joissa liuotinaise- tai kaasupitoisuudet olivat hetkellisesti tai työjaksojen aikana korkeita. Etäluettavan tekniikan käytön ja etäseurannan avulla onnistuttiin selkeästi havaitsemaan altistavia työkohteita yli puolessa tutkimuksen kohteista eli operaattoreiden 1, 2 ja 3 (SEG1, 2 ja 6), asentajien 3 (SEG 5) ja konesalin hoitajien (SEG 7) ja osittain maalauslinjan työntekijöiden (SEG 10) töissä. Näiden työntekijäryhmien altistavista työkohteista parhaiten kartalta erottuivat sellaiset kohteet, jotka olivat ulkona, kohteet erottuivat yksittäin sovelluksen kartalta ja joissa altisteiden pitoisuudet olivat korkeat. Hälytyksistä parhaiten erottuivat kaasujen (hiilimonoksidi ja rikkivety) ja liuotinaiseiden (PID) hälytykset. Asentajien 1 ja 2 (SEG 3 ja SEG4) töissä esiintyi työaikakirjausten ja pitoisuustietojen perusteella kaksi altistavaa työkohdetta, joista toisesta ei havaittu tulevan hälytystä, vaikka etäluettavan mittarin PID-sensorin suuren pitoisuuden hälytysraja ylitettiin. Tämä kohde sijaitsi korjaamon sisällä. PID-sensorin hälytysrajojen asettaminen havaittiin myös vaikeaksi, etenkin tilanteissa, jos työntekijän työympäristössä esiintyy joissain työkohteissa haitallisempia (mm. syöpävaarallisia) altisteita ja joissain kohteissa ei. PID mittarin turvallinen käyttö edellyttääkin työympäristön altisteiden tuntemusta esimerkiksi hiiliputkimenetelmällä tehtynä, jotta yksittäisistä liuotinaiseista ja niiden pitoisuuksista saadaan tarkka ja kattava kuva. Tämän jälkeen voi pohtia onko PID-sensorin hälytysrajoja mahdollista asettaa työympäristön altisteiden arvioimiseen turvallisesti. Haasteina altistavien työkohteiden erottamisessa olivat monikerroksiset työkohteet tai rakennukset, tai kohteet, jotka eivät ole havaittavissa suoraan sovelluksen kartalta. Operaattoreiden 2 (SEG 6) työaikakirjausten perusteella altistavimmat työkohteet olivat rakennuksen kellarissa, ja näitä ei paikannustietojen ja hälytysten perusteella voitu päätellä. Prosessimiesten (SEG 8) ja vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 9) työssä ei selkeästi erotettu kuilua tai verstasta sovelluksen kartalta. Haasteita näiden kohteiden erottamiseen aiheuttivat myös prosessimiesten ja vuorohuoltotyöntekijöiden osittain sama työalue (molempien työntekijäryhmien hälytykset tulivat osin samoilla alueilla) sekä työntekijöiden tupakointi, joka antoi hälytyksiä hiilimonoksidista. Kaikkia tupakkapaikkoja ei myöskään pystytty selkeästi kartasta havaitsemaan. Maalauslinjan työntekijöiden (SEG 10) töissä maalauslinjaa oli sovelluksen kartalta vaikea havaita. Maalauslinjan työntekijöiden töissä hälytyksiä tuli kohteista, joissa työntekijät eivät todennäköisesti edes liikkuneet. Kiinteässä mittauspisteessä pumppaamossa sijainneen mittauspisteen hälytykset paikantuivat läheiselle junaradalle. Tässä kohteessa paikannuksen virhe oli etäluettavan mittarin teknisistä tiedoista poiketen yli viisi metriä. Syy tähän paikannuksen virheeseen ei tutkimuksessa selvinnyt.

Etämittareiden käyttö vahvisti tietoa jo tiedetyistä vaaranpaikoista. Etäluettavan mittarin käytön avulla löydettiin lisäksi uusia työkohteita ja uusia työntekijäryhmiä, joiden altistumiseen tulisi kiinnittää jatkoissa enemmän huomiota.

Tavoite 2: Etäluettavan mittarin käytettävyys työntekijöiden avun tarpeen arvioinnissa ja ensiavun saannissa.

Työntekijöiden avun tarvetta havainnointiin tutkimuksessa etäluettavan mittarin kaatumishälytysten avulla. Kaatumishälytyksiä antavan kiintyvyyssanturin herkkyys oli asetettu arvoon 50 % maksimista ja hälytykset havainnoitiin työntekijöiden työalueilta sovelluksen karttoja hyväksi käyttäen ja kohteissa tehtyjen havaintojen perusteella. Hälytyksiä kaatumisista tuli asentajien 2 (SEG 4) ja asentajien 3 (SEG 5) töissä ahtaissa työkohteissa. Näiden kohteiden osalta pohdittiin, että kohteet on hyvä käydä katsomassa paikan päällä läpi riskinarviointimielessä, että onko kohteissa tapaturmavaarojen osalta parantamisen varaa. Asentajien 3 työssä etäluettava mittari putosi työntekijältä ja lopetti toimintansa vuodon korjauksen aikana. Mittarin putoamisen jälkeen pitoisuus- ja tapaturmatiedot eivät siirtyneet enää mittarin käyttäjältä sovelluksen pilvipalveluun. Hälytyksiä kaatumisista tuli operaattoreiden 1 ja 3 (SEG1 ja SEG2), konesalin hoitajien (SEG 7), prosessimiesten (SEG 8) ja vuorohuoltotyöntekijöiden (SEG 9) töissä tilanteissa, kun siirryttiin valvomosta työkohteisiin, operaattoreiden 1 ja 3, asentajien 1 (SEG 3) ja operaattoreiden 2 (SEG 6) töissä kun istahdettiin tupakkapaikalle ja maalauslinjan työntekijöiden (SEG 10) töissä ulkoalueilla ja osin kohteissa, joissa työntekijät eivät todennäköisesti edes liikkuneet. Todellisia kaatumisia ei tutkimuksen aikana raportoinut yksikään työntekijä.

Etäluettavien mittarin käyttökokeilun aikana huomattiin laitteen antavan helposti vääriä hälytyksiä etenkin kaatumisesta (kiintyvyyssanturin herkkyysasetuksella 50 % maksimista). Osa työntekijöistä jopa intoutui testaamaan laitetta menemällä nopeasti kyykkyy useita kertoja. Näitä kyykkyy menon aikaisia hälytyksiä ei olisi voitu erottaa todellisista hälytyksistä, jos työntekijöiden työtä työkohteissa ei olisi seurattu ja työntekijöitä haastateltu mittarin toiminnasta. Kirjallisuudessa on esitetty, että kaatumisanturit tulisi sijoittaa lähelle ihmisen massakeskusta, jotta kaatumishälytyksistä saataisiin paras tarkkuus. On myös havaittu, että kaatumisia on erilaisia. Vanhemmat työntekijät voivat kaatua hitaasti ja näitä kaatumisia eivät nykyiset järjestelmät välttämättä pysty havaitsemaan [35]. Myös hälytyksen kuittauksessa havaittiin ajoittain ongelmia:

"Mittari oli mielenkiintoinen aluksi pitää, näki oman työympäristön altisteet. Joissain työtehtävissä laite piti jatkuvaa hälytystä huutaen, kuittauksesta huolimatta huutohälytys jatkui kohta uudelleen. Tämän vuoksi mittari jäikin toimiston pöydälle, koska siitä aiheutui osittain häiriötä."

Jos etäluettavia mittareita on tarkoitus käyttää ensiavun tarpeen ja sen kohdentumisen havaitsemisessa, olisi hyvä selvittää ja pohtia mittarin käytön lisäksi mm. seuraavia asioita:

- kiihtyvyyssanturin herkkyyden säätö: millä asetuksella havaitaan oikeat kaatumiset ja vältetään nk. väärät hälytykset.
- paikannuksen virheeseen liittyvät seikat: onko mittareita testattu ennakkoon paikannuksen virheiden osalta; mikä virhettä voi aiheuttaa; onko omalla työpaikalla sellaisia kohteita, joissa virhettä ilmenee.
- toimintatavat hälytyksiin liittyen: kenellä on oikeus katsoa hälytyksiä; kuka hälytyksiin reagoi ja miten toimitaan; toimintatapa hälytyksen tullessa korkeasta rakennuksesta tai kohteesta, jota ei erota suoraan kartalta; toimintatapa uusien altistavien kohteiden kohdalla.

Tavoite 3: Lisää tietoa työpaikoille lainsäädännön tulkintaan ja toimenpiteiden toteuttamiseen.

Kolmantena tavoitteena oli selvittää, voidaanko etäluettavan tekniikan avulla huomioida nykyistä paremmin lyhytaikaisten altistumisjaksojen määrä työvuoron aikana. Lyhytaikaisten altistumisjaksojen määrät mitattiin tässä tutkimuksessa etäluettavan mittarin avulla 119 työpäivän aikana. Etäluettavien mittareiden, niiden käyttöliittymän (Blackline Live) ja Microsoft Excelin avulla voitiin määrittää lyhytaikaisten altistumisjaksojen määrät altisteittain. Altistumisjaksojen määrittäminen näin suuresta aineistosta vaati paljon työaikaa, mihin ei välttämättä ole kaikissa yrityksissä resursseja. Tässä tutkimuksessa kaikkien työntekijöiden hiilimonoksidialtistumisen HTP_{15min} raja-arvo ylittyi suurimmillaan neljä kertaa työpäivässä ja näitä ylityksiä oli yhteensä työhygieenisten selvitysten ja etäseurannan aikana noin 2 % työpäivistä. Hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ylittyi kolme kertaa noin 6 %:ssa työpäivistä, kaksi kertaa noin 10 %:ssa työpäivistä, kerran noin 15 %:ssa työpäivistä ja hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ei ylittynyt kertaakaan 67 %:ssa työpäivistä. Rikkivedyn HTP_{15min} raja-arvo ylittyi suurimmillaan neljä kertaa työpäivässä ja näitä ylityksiä oli yhteensä työhygieenisten selvitysten ja etäseurannan aikana alle 1 %:ssa työpäivistä. Rikkivedyn HTP_{15min} raja-arvo ylittyi kolme kertaa myös alle 1 %:ssa työpäivistä, kaksi kertaa noin 4 %:ssa työpäivistä, kerran noin 8 %:ssa työpäivistä ja hiilimonoksidin HTP_{15min} raja-arvo ei ylittynyt kertaakaan 86 %:ssa työpäivistä. Tutkimuksen perusteella lyhytaikaisten altistumisjaksojen esiintyvyys 4 kappaletta 8 tunnin työpäivässä oli hiilimonoksidin ja rikkivedyn osalta yhteensä alle 3 % työpäivistä. Toimenpiteitä edellyttäviä lyhytaikaisia yli 4 kertaa HTP_{15min}-arvoa vastaavia altistumisjaksoja 8 tunnissa ei tässä tutkimuksessa esiintynyt.

Tästäkin huolimatta suurilta kaasupitoisuuksilta tulee osata suojautua ja kaasuvaaralliset paikat työalueilta on hyvä tuntea, jotta tarpeetonta altistumista kaasuille voidaan välttää. Tässä tutkimuksessa erittäin suuria kaasupitoisuuksia havaittiin operaattoreiden 2 (SEG 6) työssä. Heidän altistumisensa ylitti AEGL_{2, 10min}-arvon hiilimonoksidin osalta (pitoisuus yli 420 ppm) hetkellisesti noin 10 sekunnin ajaksi työvuoron aikana. Rikkivedyn AEGL_{2, 10min}-arvo (yli 41 ppm) ylittyi hetkellisesti korkeintaan 60 sekunnin ajaksi työvuoron aikana. Näitä suuria pitoisuuksia esiintyi työntekijän joutuessa kaasupilveen. Myös prosessimiesten (SEG 8) työssä hiilimonoksidin AEGL_{2, 10min}-arvo ylittyi hetkellisesti noin 10 sekunnin ajaksi. Prosessimiesten työssä suuria hiilimonoksidipitoisuuksia esiintyi hyvin paikallisesti. Kaasuvaaralliset paikat olivatkin työntekijöiden yleisessä tiedossa ja kaasujen vaaroilta osattiin suojautua ennen työkohteeseen menoa.

Tavoite 4: Työntekijän pitkäaikaisen altistumisen arviointi ja lisätiedon tuottaminen ammattitautien torjuntaan ja tutkimiseen.

Tässä tutkimuksessa työntekijöiden altistumista kaasuille ja liuotinaisille arvioitiin standardin SFS-EN 689:2018 + AC:2019:en mukaisesti. Samoin altistuvat ryhmät (SEG 1-10) muodostettiin alkukartoituskyselyn yhteydessä ja ryhmät pyrittiin valitsemaan niin, että ryhmien työntekijät edustaisivat ryhmän sisällä samalla tavalla altistuvia työntekijöitä. Tutkimuksessa ryhmätason tuloksien testaus osoitti, että liuotinaisiden pitoisuudet noudattivat hyvin Log-normaalijakaumaa ($R^2=0,83-0,95$) ja ryhmät onnistuttiin valitsemaan pääsääntöisesti oikein. Maalauslinjan työntekijöiden ryhmätason tarkastelu osoitti, että työntekijöistä olisi voitu muodostaa yhden SEG-ryhmän sijaan kaksi ryhmää: maalarit + sekoittajat ja muut maalauslinjan työntekijät. SEG-ryhmiä muodostettaessa olisikin hyvä huomioda, että samalla työalueella työskentelevät työntekijät eivät välttämättä altistu samalla tavoin, vaan työtehtävä vaikuttaa altistumiseen. Jos ryhmän tuloksia käsitellään virheellisesti yhtenä ryhmänä (A+B), vaikka samoin altistuvia ryhmiä tulisi olla kaksi (A ja B), suositukset tai toimenpiteet työntekijöiden altistumisen vähentämiseksi voivat olla toisille liian raskaat (vähiten altistuvat, SEG A) ja toisille liian kevyet (eniten altistuvat, SEG B).

Standardin mukaisen ryhmätason alustavan testin (preliminary test) tarkastelu edellyttää ryhmän sisällä kolmea altistumismittaustulosta. Tässä tutkimuksessa yhden työntekijäryhmän osalta liuotinaisaltistumisia oli ainoastaan kaksi kappaletta, joten standardin mukaista tarkastelua tälle ryhmälle ei ollut mahdollista tehdä. Näitä kahta tulosta voidaan hyödyntää altistumisarvioinnissa kuitenkin jatkossa jos/kun mittauksia saadaan tältä ryhmältä lisää, jolloin standardin mukainen tarkastelu voidaan tehdä.

Alustavien testin mukaisia tarkasteluja tehtiin tässä tutkimuksessa liuotinaisaltistumisen osalta. Ryhmätasolla yhden työntekijäryhmän kaikki liuotinaisiden yhteispitoisuuden tulokset olivat alle 20 % raja-arvosta, joten työntekijöiden altistuminen noudatti raja-arvoa eikä raja-arvo ylity. Toisen ryhmän osalta yksi ryhmän tuloksista oli raja-arvoa suurempi, jolloin työntekijöiden altistuminen ei noudata liuotinaisiden yhteispitoisuuden raja-arvoa ja raja-arvo ryhmässä ylittyi. Tutkimuksessa havaittiin, että raja-arvo ylittyi tämän ryhmän työssä yhden työtehtävän aikana. Herääkin kysymys, että kuuluuko tämän ryhmän töihin normaalisti hyvin altistavia työvaiheita vai oliko tämä poikkeus? Onko myös muita työvaiheita, jotka aiheuttavat suuren altistumisen? Olisiko ryhmän raja-arvon ylittymistä huomattu, jos mittauksia ei olisi pyritty tekemään standardin mukaisesti vaikka, kuutta tulosta ryhmän edustajista ei saatukaan. Työntekijäryhmän etämittauksissa havaittiin yksi päivä, jolloin liuotinaisiden vaihtelu ylitti etämittauksen yhteydessä työhygieenisten mittausten liuotinaisiden vaihteluvälin ja standardin mittauksia laajempi etäseuranta antoi viitteitä siitä, että tämän ryhmän työhön voi kuulua muitakin altistavia työtehtäviä. Yhden ryhmän (SEG 6) liuotinaisiden osalta standardin mukainen tarkastelu osoitti mahdollisuudesta liuotinaisiden raja-arvon ylitykselle, kun ryhmän tuloksissa oli pitoisuustasoja noin 25 % raja-arvosta. Vastaavanlaiseen tulkintaan päästiin standardin tarkastelun mukaan myös yhden ryhmän hiilimonoksiditulosten perusteella, kun ryhmän tuloksissa oli pitoisuustasoja noin 36–50 % raja-arvosta. Molempien ryhmien tulokset olivat log-normaalisti jakautuneita. Tieteellisessä kirjallisuudessa onkin havaittu, että SFS-EN 689:2018 + AC:2019 standardin mukainen päätöksenteko, noudatetaanko mittaustulosten suhteen raja-arvoa, on aikaisempaa standardia tiukempi [34].

Kaasujen osalta usean työntekijäryhmien töissä työntekijöiden työpäivän aikainen kaasu-altistumisen keskiarvo oli menetelmän määritysrajaa pienempi. Standardin SFS-EN 689:2018+AC:2019 mukainen ryhmätason tarkastelu alle määritysrajan tuloksissa olisi vaatinut erillisen ohjelman näiden tulosten käsittelyyn ja laskentaan, mikä ei kuitenkaan noudata standardissa EN 482 määriteltyjä epävarmuusvaatimuksia. Tässä tutkimuksessa päädyttiin siihen, että näitä kaasujen määritysrajaa pienempiä tuloksia ei erikseen laskettu standardin SFS-EN 689:2018+AC:2019 vaatimalla tavalla, vaan todettiin, että kyseisissä alle määritysrajan pitoisuuksissa työntekijöiden altistuminen kaasuille oli vähäistä ja todennäköisyys raja-arvon ylittymiselle on

hyvin epätodennäköinen. Alle määrittysrajan tuloksia olisikin standardin mukaan kohdeltava niin, että tulosten tulkinnassa päästään luotettavaan lopputulokseen.

Etämittausten avulla työntekijöiden altistumista kaasuille ja liuotainaineille seurattiin SEG-ryhmissä standardin kuutta mittaustulosta laajemmin etäseurannan kestäessä 1-2 viikkoa. Tutkimuksessa havaittiin, että vaikka standardin edellyttämillä mittauksilla saadaan hyvä kuva työntekijöiden altistumisesta, niin pidempään kestäväillä työntekijöiden etäseurannalla altistumistilanteista saatiin tarkempia tietoja. Etäseurannassa havaittiin standardin mukaisia työhygieenisiä selvityksiä suurempia tuloksia liuotainaineiden ja rikkivedyn pitoisuusvaihteluiden osalta 9 %:ssa mittauspäivistä ja hiilimonoksidin osalta 13 %:ssa mittauspäivistä. Etäseurannan aikana havaittiin, että näinä altistavimpina päivinä altistumisen suuruus nousi riskien arvioinnissa korkeintaan yhden askeleen ylöspäin, hiilimonoksidin osalta kohtalaisesta merkittävään ja rikkivedyn osalta vähäisestä kohtalaiseen riskiin.

Tavoite 5: Uuden tekniikan sujuva käyttöönotto ja käyttö

Tutkimuskirjallisuudessa on tutkittua tietoa uusista puettavista mittausteknologioista. Hyvinä puolina näissä tutkimuksissa nähty mm. pitoisuuksien ajallisen ja paikallisten vaihteluiden havaitseminen, avun hälytys ongelmatilanteissa ja paikannus [12–16, 18]. Uusiin teknologioihin on liitetty myös monia haasteita, mm. työntekijöiden yksityisyyteen ja tiedonkeruun luottamuksellisuuteen liittyvät seikat [11–16, 18]. Jotta työntekijät ottaisivat uuden sensoriteknologian mahdollisimman hyvin vastaan ja käyttöön, olisi hyvä perustaa käyttö työntekijöiden vapaaehtoisuuteen, ei pakkoon. Lisäksi työntekijöille tulisi tehdä läpinäkyvästi selväksi mitä kaikkea dataa käytetään ja varmistaa, että dataa kerätään vain työaikana. Valittu sensori tulisi olla toimivaksi testattu ennen kuin se otetaan käyttöön työpaikalla. Tärkeintä on kuitenkin varmistaa turvallinen datansiirto ja tallennus. [19]

Tässä tutkimuksessa etäluettavan tekniikan käyttöönottoon ja käyttöön tehtiin malliratkaisu hankkeessa etäluettavien mittareiden käytöstä saatujen kokemusten ja mittausten pohjalta. Malliratkaisu on ladattavissa Työympäristön riskienhallinnan malliratkaisut-sivustolta (www.ttl.fi/malliratkaisut). Malliratkaisun avulla pyrittiin antamaan ohjeistusta uuden teknologian valintaan liittyviin seikkoihin ja sujuvaan käyttöönottoon työpaikalla, vastaamaan mm. siihen, miten yksityisyydensuojakysymykset tulee huomioida etäluettavan tekniikan käyttöönotossa ja miten työntekijöille tiedotetaan uuden tekniikan tuomasta mahdollisesta hyödyistä parhaalla mahdollisella tavalla.

Lähteet

1. Sutela, H, Pärnänen A, Keyriläinen M. 2019. Dikijajan työelämä – Työolotutkimuksen tuloksia 1977-2018. Tilastokeskus Helsinki 2019.
2. Rikkidioksidi. 2022. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet. Työterveyslaitos. [Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Rikkidioksidi \(ttl.fi\)](#)
3. Kloori. 2022. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet. Työterveyslaitos. [Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Kloori \(ttl.fi\)](#)
4. Vainio H, Liesivuori J, Lehtola M, Louekari K, Engström K, Kauppinen T, Kurppa K, Riipinen H, Savolainen K, Tossavainen A. 2005. Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. Työterveyslaitos Helsinki.
5. Typpihappo. 2023. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet. Työterveyslaitos. [Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Typpihappo \(ttl.fi\)](#)
6. Orgaaniset liuottimet. Työterveyslaitos. [Orgaaniset liuottimet | Työterveyslaitos \(ttl.fi\)](#)
7. Liuotinaivosairaus. Työterveyslaitos [Liuotinaivosairaus | Työterveyslaitos \(ttl.fi\)](#)
8. Parikka H, Rajaniemi J, Saarela E, Satomaa K, Rajala J. 2007. Pintakäsittelylaitoksen päästö- ja toimintakykytutkimus. Loppuraportti. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Vierimaantie 7, 84100 Ylivieska.
9. HTP-arvot 2018. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. 2018. Sosiaali- ja terveysministeriön julkiasuja 9/2018. Sosiaali- ja terveysministeriö Helsinki.
10. Blacklinesafety G7. Laite-esite. Sarlin Oy Ab.
11. Schall Jr M.C, Sesek R.F, Cavuoto L.A. 2018. Barriers to the adoption of wearable sensors in the workplace: A survey of occupational safety and health professionals. Human Factors. Vol 60, No. 3, 351-362.
12. Johle B.D, Potdukhe P.A, Gawai N.S. 2013. Automatic LPG booking, leakage detection and real time gas measurement monitoring system. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 1192-1195.
13. Perez A.O, Bierer B, Scholz L, Wöllenstein J, Palzer S. 2018. A wireless gas sensor network to monitor indoor environmental quality in schools. Sensors 2018, 18, 4345, 1-13.
14. Sun S, Zheng X, Villalba-Diez J, Ordieres-Mere J. 2019. Indoor air-quality data-monitoring system: Long-term monitoring benefits. Sensors 2019, 19, 4157, 1-18.
15. Anas M, Haider S.M, Sharma P. 2017. Gas monitoring and testing in underground mines using wireless technology. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Vol. 6, Issue 01, 412-416.
16. Aliyu F, Al-Shaboti M, Garba Y, Sheltami T, Barnawi A, Morsy M.A. 2015. Hydrogen sulfide (H₂S) gas safety system for oil drilling sites using wireless sensor network. Procedia Computer Science 63 (2015) 499-504.

17. Pilvipalveluiden turvallisuus. Mitä organisaatioiden tulisi huomioida pilvipalveluja hyödyntäessä. Viestintävirasto Kyberturvallisuuskeskus. [Pilvipalveluiden tietoturva organisaatioille.pdf \(kyberturvallisuuskeskus.fi\)](#)
18. Perez-Garrido C, Gonzalez-Gastano F.J, Chaves-Dieguez D, Rodriguez-Hernandez P.S. 2014. Wireless remote monitoring of toxic gases in shipbuilding. *Sensors* 2014, 14, 2981-3000.
19. Howard J, Murashov V, Cauda E, Snawder J. 2022. Advanced sensor technologies and the future of work. *Am J Int Med.* 65: 3-11.
20. SFS-EN 689:2018 + AC:2019:en. 2019. Workplace exposure. Measurement of exposure by inhalation to chemical agents. Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values. CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.
21. Työtapaturmien määrä nousi vuonna 2022 aiemmin arvioitua enemmän. 2023. Tapaturmavakuutuskeskus. [Työtapaturmien määrä nousi vuonna 2022 aiemmin arvioitua enemmän | Tapaturmavakuutuskeskus \(TVK\) \(sttinfo.fi\)](#)
22. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa 24/2020 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet
23. DrägerSensor & Portable instruments handbook 2nd edition. 2011. Dräger Safety AG & Co. KGaA, Lübeck, Germany.
24. Valtioneuvoston asetus kemiallisista tekijöistä työssä (715/2001). 2001. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki.
25. 2021 Tapaturmavakuutus numeroina. 2023. Tapaturmavakuutuskeskus 1/2023. [Työtapaturmavakuutus numeroina 2021 \(tyotapaturmatieto.fi\)](#)
26. Palkansaajien tapaturmat. 2022. Tilastokeskus. https://www.stat.fi/til/ttap/2016/ttap_2016_2018-11-30_kat_001.fi.html
27. Selander K, Alasoini T. 2022. Digitalisaation hyödyntäminen ja vaikutukset työnantajien ja työntekijöiden kokemana: MEADOW-kyselyn tuloksia, Työterveyslaitos.
28. Lausuntopyyntö VNS 6/2018 vp Valtioneuvoston selonteko liikuntapolitiikasta. 2018. Työterveyslaitos Helsinki.
29. Kuula E, Alaja K. 2021. Jatkuvasti muuttuva työelämä vaatii uudenlaisia metataitoja, mitä ne ovat? *Telma-lehti.*
30. Blacklinesafety PID response factors 2020. Technical/Application Article 02 Version 1.0 13th October 2020 WRH/FD/NJG from ION Science.
31. Blacklinesafety. G7C. Tekninen tietolomake. www.BlacklineSafety.com
32. HTP-arvot 2020. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. 2020. Sosiaali- ja terveysministeriön julkiasuja 2020:24. Sosiaali- ja terveysministeriö Helsinki.
33. EPA. Access acute exposure guideline levels (AEGs) values. [Access Acute Exposure Guideline Levels \(AEGs\) Values | US EPA](#)
34. D'Errico A, Houba R, Kromhout H. 2021. Is the new EN689 a better standard to test compliance with occupational exposure limits in the workplace? *Annals of Work Exposures and Health*, 2021, 1–4.

35. Nantajeewarawat E, Thiemjarus S. 2014. Automatic fall monitoring: A review. *Sensors* 2014, 14, 12900-12936; doi:10.3390/s140712900.
36. Laitinen S, Rissanen R, Santonen T. 2017. Kiertotalouden työperäiset altistumisriskit. Työterveyslaitos Helsinki.
37. Valtioneuvoston asetus syöpäsairauden vaaraa aiheuttavista, perimää vaurioittavista ja lisääntymiselle vaarallisista tekijöistä työssä (113/2024). 2024. Sosiaali- ja terveysministeriö.

Työterveyslaitos

LAITTEEN KÄYTTÖ

1. **Lataa laite yhdistämällä** latausyhde laitteeseen (kuva 1) ja katso, että latausvalo palaa (punainen) ja laitteen näyttöön ilmestyy patterin kuva (kuva 2).



Kuva 1.



Kuva 2.

2. Laite latautuu täyteen varaukseen noin 4-6 h.
3. **Ota laite latauksesta työvuoron alkaessa** ja laita laite virtapainikkeesta päälle (kuva 3). Laitteen käynnistymiseen menee n. 2,5 min. Laite on käyttövalmis, kun vihreä valo palaa laitteen yläosassa (kuva 4)



Kuva 3.



Kuva 4.

ETÄLUETTAVA TURVALLISUUS -PROJEKTI

4. Avaa laitteen takana oleva kiinnitysklipsi (kuva 5) ja **laita laite työvaatteeseesi kiinni** kiinnitysklipsiä käyttäen ”rintataskun” kohdalle (kuva 6).

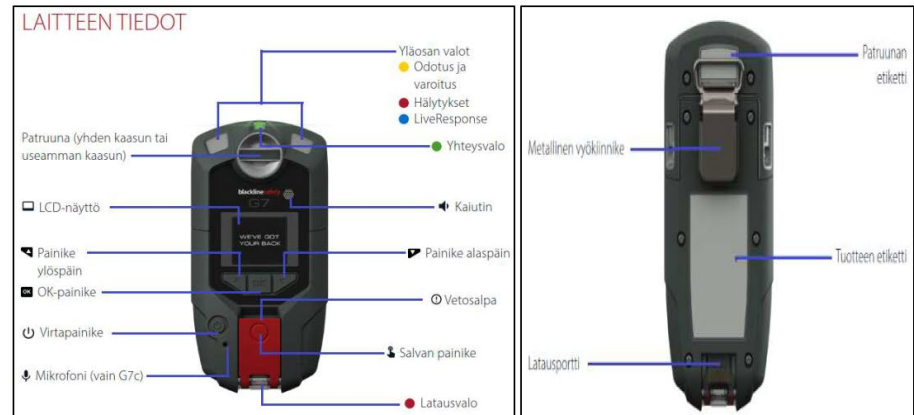


Kuva 5.



Kuva 6.

5. **Käytä laitetta koko työvuoron ajan!** Mahdolliset laitehälytykset ja toimiminen niissä sekä laitteen tiedot on esitetty seuraavalla sivulla.
6. **Työvuoron päätyttyä sammuta laite** kuvan 3 painikkeesta painamalla sitä yhtäjaksoisesti 3 sekuntia ja **laita laite latautumaan** ohjeen kohdan 1 mukaisesti.



Kuva 7.

Kuva 8.

Työterveyslaitos

ETÄLUETTAVA TURVALLISUUS -PROJEKTI

Mahdolliset laitehälytykset ja toimiminen niissä

1. **Fall Detection hälytys** (keltainen ja vihreä vilkkuvalo ja ääni) ilmestyy mittarin putoamisen tai henkilön kaatumisen seurauksena! Hälytys kuitataan painamalla salvan painikkeesta (kuva 9) ja mittari on tämän jälkeen käyttövalmis.
2. **Blacklinesafety logging off...** hälytys (keltainen ja vihreä vilkkuvalo ja ääni) ilmestyy mittariin, kun siihen tulee uusi päivitys (kuva 10). Mittari käynnistyy hetken päästä uudelleen ja on käyttövalmis.
3. **Low gas detected** hälytys eli alemman kaasuvaaran hälytys = (keltainen ja vihreä vilkkuvalo ja ääni) ilmestyy mittariin, kun kaasu tai liuotainainepitoisuus ylittää raja-arvon (HTP_{gh}-arvo). Hälytys kuitataan painamalla samanaikaisesti laitteen YLÖS ja ALAS painikkeita (kuva 11).
4. **High gas alert** hälytys eli ylemmän kaasuvaaran hälytys = (punainen ja vihreä vilkkuvalo ja ääni) ilmestyy mittariin, kun kaasu tai liuotainainepitoisuus ylittää raja-arvon (HTP_{15min}-arvo). Hälytys kuitataan painamalla samanaikaisesti laitteen YLÖS ja ALAS painikkeita (kuva 12). Kyseisten painikkeiden painaminen ei kuitenkaan lopeta hälytystä. Hälytys loppuu, kun työntekijä on siirtynyt altisteettomaan paikkaan.
5. **Under limit** hälytys tapahtuu, kun mitattu pitoisuus on alle laitteen mitta-alueen. Tällainen hälytys voi tapahtua esimerkiksi ylemmän kaasuvaaran hälytyksen jälkeen (kuva 13). Hälytyksen saa pois sammuttamalla laite painamalla laitteen virtapainikkeesta 3 sekuntia ja käynnistämällä laite uudelleen samasta painikkeesta.



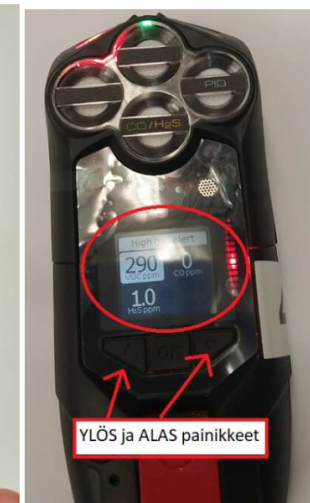
Kuva 9.



Kuva 10.



Kuva 11.



Kuva 12.



Kuva 13



Työsuojelurahasto
Arbetskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

Työterveyslaitos
Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

PL 40, 00032 Työterveyslaitos

www.ttl.fi

ISBN 978-952-391-151-2 (PDF)

