

**NOURYON FINLAND OY OULUN TEHTAAN HAASTEET
JA VAHVUUDET SIIRRYTTÄESSÄ TEOLLISUUS 5.0:AA
KOHTI**

Korva Niilo

Opinnäytetyö

Uudistuvan teollisuuden asiantuntija
Insinööri (Ylempi AMK)

2024

Uudistuvan teollisuuden asiantuntija
Insinööri (Ylempi AMK)

Tekijä	Niilo Korva	Vuosi	2024
Ohjaaja(t)	DI Mari-Selina Kantola		
Toimeksiantaja	Nouryon Finland Oy Antti Rämö (PQC Manager)		
Työn nimi	Nouryon Finland Oy Oulun tehtaan haasteet ja vahvuudet siirryttäessä teollisuus 5.0:aa kohti		
Sivumäärä	51		

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin Nouryon Finland Oy Oulun tehtaan siirtymistä kohti Teollisuus 5.0 -aikakautta. Työssä analysoitiin tehtaan keskeisiä haasteita ja vahvuuksia, kuten digitalisaation, ihmiskeskeisyyden ja kestävän kehityksen tuomia vaatimuksia ja mahdollisuuksia. Erityisesti tarkastelun kohteina olivat älykkäät tuotantoprosessit sekä ympäristöystävällisten ratkaisujen kehittäminen. Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa strategisia suosituksia, jotka tukevat tehtaan kilpailukykyä ja kestävyyttä Teollisuus 5.0 -muutoksessa.

Tietoperustassa tehtiin kirjallisuuskatsaus Teollisuus 4.0:sta ja 5.0:sta sekä käsiteltiin lyhyesti niitä edeltäviä teollisuuden vallankumouksia. Teollisuus 5.0 keskiössä olivat resilienssi, ihmiskeskeisyys ja kestävä kehitys. Näitä teemoja analysoitiin Oulun tehtaan toimintaympäristössä. Tutkimusmenetelmänä käytetään tapaustudkimusta, jossa hyödynnettiin Nouryonin Sustainability Report 2023 Executive Summary:ssa esitettyjä mittareita. Näiden mittareiden avulla vertailtiin Oulun tehtaan suorituskykyä emoyhtiön sisällä ja analysoitiin kehityksen suuntaa eri aikapisteissä.

Tulokseksi saatiin, että Oulun tehdas menestyi verrattain hyvin energian puhtauudessa, päästöttömyydessä, naisten osuudessa johtotehtävissä ja turvallisuudessa. Kehittämiskohteiksi havaittiin energiatehokkuus, veden käyttö, henkilöstön sukupuolijakauma ja ISO-14001-sertifikaatin hankkiminen.

Johtopäätöksenä todettiin, että Oulun tehdas oli valmistautunut hyvin Teollisuus 5.0:n vaatimuksiin suhteessa omaan toimintaympäristöönsä, mutta tietyillä osaluilla oli vielä parannettavaa. Tulokset tarjosivat tehtaan johdolle suuntaviivat tulevaisuuden kehitykseen. Tämän työn tuloksia voitiin hyödyntää johdon strategiatyössä ja operatiivisen toiminnan kehittämisessä.

Avainsanat

prosessiteollisuus, teollinen vallankumous, kestävä kehitys

Expert in Renewing Industry
Master of Engineering

Author	Niilo Korva	Year	2024
Supervisor(s)	Mari-Selina Kantola, M. Sc.		
Commissioned by	Nouryon Finland Oy Antti Rämö (PQC Manager)		
Title	Challenges and strengths of Nouryon Finland Oy's Oulu plant in the transition towards industry 5.0		
Number of pages	51		

In this thesis process the transition of Nouryon Finland Oy's Oulu plant towards the Industry 5.0 era was examined. The study analyzed the plant's key challenges and strengths, focusing on the demands and opportunities brought by digitalization, human-centric approaches, and sustainable development. Special attention was given to intelligent production processes and the development of environmentally friendly solutions. The goal of the research was to provide strategic recommendations that enhance the plant's competitiveness and sustainability in the Industry 5.0 transition.

The theoretical framework includes a literature review of Industry 4.0 and 5.0, along with a brief overview of preceding industrial revolutions. At the core of Industry 5.0 are resilience, human-centricity, and sustainability. These themes were analyzed within the operational environment of the Oulu plant. The study employed a case study methodology, utilizing metrics from Nouryon's Sustainability Report 2023 – Executive Summary. These metrics were used to compare the Oulu plant's performance against that of the parent company and to analyze development trends over different time periods.

The result was that the Oulu factory was relatively successful in terms of energy purity, zero emissions, the proportion of women in management positions and safety. Development targets were found to be energy efficiency, water use, gender distribution of the workforce and obtaining the ISO-14001 certificate.

In conclusion, it was stated that the Oulu factory was well prepared for the requirements of Industry 5.0 in relation to its own operating environment, but there was still room for improvement in certain areas. The results provided the factory management with guidelines for future development. The results of this work were utilized in the management's strategy work and in the development of operational activities.

Keywords process Industry, industrial revolution, sustainable development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	8
1.2	Nouryon Finland Oy Oulun tehtaan esittely	8
2	TEOLLISUUS 1.0 – 3.0	9
3	TEOLLISUUS 4.0	10
3.1	Internet of Things ja kyberturvallisuus	11
3.2	Cloud computing ja cyber-physical systems (CPS)	12
3.3	Artificial intelligence (AI) ja machine learning (ML)	12
3.4	Big Data ja analytiikka	13
3.5	Augmented reality (AR) ja simulation.....	14
3.6	Autonomous Robots	15
3.7	Additive manufacturing (AM)	15
3.8	Digitaaliset kaksoset (DT).....	16
4	TEOLLISUUS 5.0	17
4.1	Henkilöstömäärä ja sen vaihtuvuus	18
4.2	Työtapaturmat ja työturvallisuusstandardit	19
4.3	Kestävä kehitys, päästöt ja hiilijalanjälki, energiankulutus	19
4.4	Hazardous air pollutants	20
4.5	Kemiallinen hapenkulutus ja makeanveden kulutus	21
4.6	Jäte.....	21
4.7	Resilienssi ja kestävä kehityksen suorituskyky	22
4.8	Ympäristöjohtamisen ja laadunhallintajärjestelmän standardi	23
4.9	Teollisuus 4.0:n ja Teollisuus 5.0:n erot ja yhteydet	23
5	TUTKIMUSMENETELMÄT	25
6	TULOKSET	26
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
8	POHDINTA	45
8.1	Tulevaisuuden suunnat ja suositukset.....	46
	LÄHTEET.....	48

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on syntynyt useiden tahojen arvokkaan tuen ja panoksen avulla. Kiitän työn tilaajaa Nouryon Finland Oy:ta yhteistyöstä ja luottamuksesta työn toteutuksessa sekä työnantajaani Stora Enso Oyj:tä työaikana saamastani tuesta. Lämpimät kiitokset kuuluvat erityisesti ohjaajilleni Antti Rämölle ja Mari-Selina Kantaselle, joiden asiantunteva ohjaus ja kannustus ovat olleet korvaamattomia tämän työn valmistumisessa. Lopuksi haluan kiittää opinahjoani Lapin Ammattikorkeakoulua siitä, että olen saanut mahdollisuuden toteuttaa opintoni ja kehittää osaamistani tätä työtä varten.

Kotkassa 03.11.2024

Niilo Korva

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AI	Artificial Intelligence
AM	Additive Manufacturing
AR	Augmented Reality
COD	Chemical Oxygen Demand
CPS	Cyber-Physical Systems
DT	Digital Twins
GJ	Gigajoule
HAP	Hazardous Air Pollutants
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
LTIR	Lost Time Incident Rate
ML	Machine Learning
Nox	Nitrogen Oxides
OHSA	Occupational Health and Safety Administration
RC	Responsible Care
TRIR	Total Recordable Incident Rate

1 JOHDANTO

Teollisuus 5.0 on paljon puhuttava ja trendikäs aihe koronakriisin jälkimainingeissa, globaalien konfliktien, geopoliittisten jännitteiden sekä alati kiihtyvän ilmastomuutoksen ja luontokadon vallitessa. Eritotenkin Euroopan talous ja teollisuus ovat nojanneet paljon kaupankäyntiin Venäjän ja Kiinan sekä muiden kolmannen maailman maiden kanssa. Kauppasuhteet ovat kärsineet merkittävästi viime aikoina, eikä helpotusta ole näkyvissä lähitulevaisuudessa. Euroopassa sekä muuallakin länsimaissa tulee pyrkiä omavaraisuuteen energian ja kriittisten raaka-aineiden osalta, mikä luonnostaan ajaa meitä kiihtyvällä nopeudella kohti Teollisuus 5.0:aa. Teollisuus 5.0:ssa kuvailut toimintatavat voisivat olla keino pärjätä edessä häämöttävässä kauppasodassa epädemokraattisia ja taantumuksellisia maita vastaan. Tarvitsemme hyvinvoivan, turvallisen ja vakaan yhteiskunnan, jotta kykenemme voittamaan kilpailun tulevaisuuden teknologioiden herruudesta, esimerkiksi tekoälyn sekä kvanttitietokoneiden saralla.

Tavoitteena tässä työssä on määritellä Nouryonin Oulun tehtaan nykyinen tilanne suhteessa Teollisuus 4.0:aan ja Teollisuus 5.0:aan. Sen pohjalta pyritään määrittelemään tulevan kehityksen kannalta kriittisimmät kehityskohteet. Lisäksi tavoitteena työssä on luoda ymmärrystä nykytilanteesta ja tulevaisuuden tavoitteista, joiden pohjalta voidaan määritellä toiminnan painopistettä. Työn alussa käydään läpi kirjallisuuskatsaus Teollisuus 4.0:sta sekä 5.0:sta sekä lyhyesti niitä edeltävistä teollisuuden vallankumouksista. Seuraavaksi siirrytään määrittelemään Teollisuus 5.0:n kannalta merkityksellisimmät muutokset teollisuudelle ja mahdollisesti kyseiselle tuotantolaitokselle. Seuraavaksi näitä muutosalueita mitataan eri aikapisteissä Nouryon Oulun tehtaalla erinäisillä yleisesti hyväksytyillä mittareilla. Mittauksilla voidaan luoda kuvaajia, joilla voidaan havainnollistaa eri osa-alueiden muutossuuntaa verraten Teollisuus 5.0:n viitekehukseen. Näin saadaan informaatiota pisimmälle kehittyneistä alueista sekä huomiota vaativista kehityskohteista. Lisäksi voidaan mahdollisesti antaa suosituksia uusien mittareiden luomisesta, mikäli tulee esille kehitysalueita.

Tämä työ kytkeytyy opintoihini hyvin, sillä aihetta on joko käsitelty suoraan tai sivuten lähes jokaisella kurssilla. Työelämään opinnäytetyölläni voisin tuoda syvempää ymmärrystä Teollisuus 5.0:sta sekä eritotenkin sen keskiössä olevista kolmesta aiheesta: resilienssistä, ihmiskeskeisyydestä sekä kestävästä kehityksestä. Toivon saavani tästä oppimiskokemuksesta eväitä sekä kehitysideoita tulevaisuuden työhaasteisiini.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tämän työn on tilannut Nouryon Finland Oy, Oulun tehdas. Työ ja sen tulokset antavat tilaajalle näkemystä kehityksestään Teollisuus 5.0 viitekehityksessä ja siten päätöksenteon suuntaviivoista tulevaisuuden kehitystä varten. Työssä haetaan vastauksia asioihin, joissa Nouryon Oulun tehdas on jo edistynyt Teollisuus 5.0 -viitekehityksen asettamaan suuntaan, ja missä asioissa Nouryon Oy:n tehtaalla on vielä parannettavaa. Näin voidaan osoittaa konkreettisia kehityskohteita Nouryon Oulun tehtaan johdolle. Tuloksen tarkoitus on siis selkeyttää tehtaan tulevaisuuden toiminnan kannalta keskeisiä kehitystarpeita. Muutostilanteisiin varautuminen vaatii ennakkointia, jota tämän työn tuloksilla tehostetaan. Konkreettiset opinnäytetyöstä johdettavat hyödyt voivat näkyä johdon strategiassa, mikä tulee näkymään Teollisuus 5.0:n mukaisena kehityksenä toimintaympäristössä.

1.2 Nouryon Finland Oy Oulun tehtaan esittely

Nouryon Finland Oy:n Oulun tehdas sijaitsee Nuottasaaren teollisuusalueella. Nykyisin Nouryonin Oulun tehtaalla valmistetaan elektrolyyttisesti natriumkloraatia ja vetyä. Tehtaan tuotannon pääraaka-aine on natriumkloridi. Lisäksi alueella varastoidaan natriumkloraatia, suolahappoa, natriumhydroksidia ja pieniä määriä muita kemikaaleja. Tehtaan vuotuinen nimelliskapasiteetti on 55 000 tonnia natriumkloraatia. Lisäksi tehdas työllistää 25 henkilöä. Tehdas on perustettu 1957 Oulu Osakeyhtiön toimesta, jonka jälkeen sen omistajina ovat toimineet Akzo Nobel sekä nykyisin Nouryon BV. (Korva 2024.)

2 TEOLLISUUS 1.0 – 3.0

Teollisuus 4.0 ja Teollisuus 5.0 ovat viitekehyksiä, joilla pyritään esittämään teollistuneen maailman tuotantoteknologista kehitystä. Ne ovat niin kutsuttuja teollisia vallankumouksia. Tässä luvussa käsitellään erityisesti näitä kahta viitekehystä edeltäviä teollisuuden vallankumouksia. (Groumos 2021, 464-471.)

Teollisuus 1.0 alkoi 1700-luvulla ja sen keskiössä olivat höyryvoima sekä mekaniikka. Näillä uusilla keksinnöillä saatiin nostettua tuotantonopeutta ja -määrää moninkertaiseksi. Teollisuus 1.0 ja sen edistysaskeleet muokkasivat yhteiskuntaa paljon, sillä aikaisemmin talous oli keskittynyt maatalouteen, ja nyt ihmiset alkoivat enenevässä määrin muuttaa kaupunkeihin ja työskennellä tehtaissa. Teollisuus 1.0 laukaisi bruttokansantuotteen nopean kasvun, mikä johti tuloerojen kasvuun ja keskiluokan syntyyn sisältäen esimerkiksi tehtaiden johtohenkilöstön. Lisäksi tavaroiden ja ihmisten liikkuvuus nopeutui sekä lisääntyi höyrylaivojen ja junien yleistyessä. (Groumos 2021, 464-471.)

Teollisuus 2.0 alkoi 1800-luvulla ja sen keskiössä olivat sähköistyminen ja uusien energialähteiden, kuten vesivoiman, keksiminen. Valmistusmenetelmät kehittyivät Teollisuus 2.0 -aikakautena Henry Fordin keksimä liukuhihnavalmistus yleistyi. Informaatioteknologia otti kehitysaskeleita lennättimen keksimisen myötä. Polttomoottorit ja autot olivat aikakauden merkittäviä keksintöjä. Maatalous koneistui ja kemialliset lannoitteet syntyivät. (Groumos 2021, 464-471.)

Ensimmäisen ja toisen teollisen vallankumouksen aikana työntekijöiden työoloista ei huolehdittu. Työolot olivat vaaralliset ja työajat pitkiä. Naisten ja lasten palkkaaminen oli yleistä, sillä heille voitiin maksaa pienempää palkkaa. (Groumos 2021, 464-471.)

Teollisuus 3.0 alkoi 1950-luvun tienoilla ja sen keskiössä oli automatisoituminen. Transistorien ja mikroprosessorien keksiminen johti automatisoitumiseen, mikä vapautti ihmisiä manuaalisesta työstä sekä lisäsi tuottavuutta ja tuotteiden tasalaatuisuutta. Digitaaliset anturit sekä tietokoneet ja tiedonsiirtoverkot yleistyivät ja tulivat osaksi teollisuutta. Yhteiskunta muuttui entistä tasa-arvoisemmaksi ja hyvinvointi lisääntyi, mutta ympäristön saastuttaminen ja hyväksikäyttö kasvoivat entisestään. (Groumos 2021, 464-471.)

3 TEOLLISUUS 4.0

Teollisuus 4.0 määriteltiin 2011 Saksassa, jolloin kyseinen konsepti esiteltiin Hannoverin messuilla Saksan koulutuksen ja tutkimuksen ministeriön mandaatilla työskennelleen työryhmän toimesta (Culot, Nassimbeni, Orzes & Sartor 2020). Digitaalinen valmistusekosysteemi Teollisuus 4.0:n alla koostuu useista komponenteista, kuten älytehtaista, älykkäistä toimittajista ja älykkäistä asiakkaista (Ghobakhloo, Fathi, Iranmanesh, Maroufkhani & Morales 2021). Teollisuus 4.0 kuvaa valmistusteollisuuden digitalisaatiota, jossa edistyneitä teknologioita integroidaan osaksi teollisuuden koneita ja prosesseja. Tämän teknologisten ratkaisujen yhdistämisen tavoitteena on tehostaa tuotannon toimintaa maksimaalisesti, parantaa tuotantokykyä ja lisätä automaation astetta. Tällainen yhteys luo älykkään, verkottuneen ja dataohjautuvan ekosysteemin, joka optimoi teollisuuden toimintaa uudella tavalla. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

Teollisuus 4.0 -viitekehys yhdistää digitaalisen ja fyysisen maailman käyttämällä erilaisia teknologioita. Digitaalisen puolen teknologiat, kuten tekoäly, koneoppiminen, suurten tietomassojen (Big Data) käsittely, pilvipalvelut ja kyberturvallisuus muodostavat perustan, joka mahdollistaa älykkään datan hyödyntämisen. Fyysisellä puolella teknologiat kuten automatisointi, robotiikka, esineiden internet (IoT), kyberfyysiset järjestelmät ja lisätty todellisuus valmistuksessa tuovat uuden ulottuvuuden teollisuuden koneisiin ja prosesseihin. Yhdessä nämä teknologiat mahdollistavat teollisuuden toiminnan optimoinnin, tuotannon joustavuuden ja kysyntälähtöisen valmistuksen, johtuen älykkäiden tehtaiden syntymisestä, jotka pystyvät tuottamaan entistä älykkäämpiä ja tehokkaampia ratkaisuja. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

Teollisuus 4.0 edustaa teknologiavetoista vallankumousta, joka on muokannut radikaalisti teknologian, teollisuuden sekä yhteiskunnallisten rakenteiden ja toimintatapojen kehitystä viimeisten vuosikymmenten aikana. Tämä vallankumous on parantanut tuotantoprosessien tehokkuutta ja tuotteiden laatua merkittävästi hyödyntämällä uusimpia saavutuksia, kuten suurten tietoinesten analytiikkaa, tekoälyä ja digitaalisia kaksoiskappaleita. Vaikka Teollisuus 4.0 tuo mukanaan monia etuja, se keskittyy pääasiassa teollisuuden tuottavuuden ja joustavuuden parantamiseen, jättäen vähemmälle huomiolle kestäväen kehityksen tavoitteet ja

työntekijöiden hyvinvoinnin. (Huang, Wang, Li, Zheng, Mourtzis & Wang 2022, 424-428.)

Teollisuus 4.0 -viitekehyksen keskiössä on useita erilaisia teknologisia keksintöjä. Näihin lukeutuu muun muassa Internet of Things, kyberturvallisuus, pilvipalvelut ja tekoäly. Nämä teknologiset saavutukset mahdollistivat teollisuuden räjähdysmäisen tehokkuuden lisääntymisen. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

3.1 Internet of Things ja kyberturvallisuus

Internet of Things (IoT) tarkoittaa verkkoa, jossa fyysiset laitteet ja esineet on varustettu antureilla, ohjelmistoilla ja muilla teknologioilla, joiden avulla ne voivat kerätä ja vaihtaa tietoa internetin kautta. Zizic ym. (2022) kuvaavat, että IoT on keskeinen osa Teollisuus 4.0:aa, koska se mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonkeruun ja automatisoidun päätöksenteon teollisissa ympäristöissä. IoT-teknologian avulla laitteet voivat kommunikoida keskenään ja ihmisten kanssa, mikä parantaa tuotantotehokkuutta ja vähentää virheitä. Siirtyessä kohti Teollisuus 5.0:aa, IoT käytetään entistä enemmän ihmiskeskeisissä sovelluksissa, joissa teknologia toimii ihmisten tukena ja ympäristöystävällisempänä ratkaisuna. (Zizic, Mladineo, Gjeldum & Celent 2022.)

Kyberturvallisuus Teollisuus 4.0 -kontekstissa on keskeinen osa teollisuuden digitalisaatiota, koska se suojaa verkotettuja järjestelmiä ja laitteita, kuten IoT-laitteita, pilvipalveluita ja teollisuusautomaatiota, kyberuhkilta. Teollisuus 4.0:lle tyypilliset älykkäät järjestelmät, jotka ovat yhteydessä internetiin ja keskenään, lisäävät merkittävästi kyberhyökkäysten riskiä, koska nämä järjestelmät tuottavat ja käsittelevät valtavia määriä dataa reaaliajassa. Raja Santhin ja Muthuswamyn (2023) mukaan kyberturvallisuus on kriittinen, sillä ilman vahvaa tietoturvaa yritykset altistuvat datavarkauksille, häirinnälle ja operatiivisille riskeille, jotka voivat heikentää koko tuotantoketjun toimintaa. Hajautettu infrastruktuuri ja digitaalinen integrointi vaativat siis tehokkaita tietoturvaratkaisuja, kuten salauksen, käyttäjäautentikoinnin ja reaaliaikaisen valvonnan, jotta järjestelmät voidaan suojata kyberhyökkäyksiltä ja tietomurroilta. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

3.2 Cloud computing ja cyber-physical systems (CPS)

Cloud computing viittaa Teollisuus 4.0 -kontekstissa pilvipalveluiden käyttöön teollisten prosessien ja datan hallinnassa. Tämä tarkoittaa, että yritykset voivat talentaa, käsitellä ja analysoida suuria määriä tietoa reaaliaikaisesti pilvipalveluiden kautta ilman, että heidän tarvitsee ylläpitää omaa fyysistä infrastruktuuria. Zizic ym. (2022) korostavat, että pilvilaskenta mahdollistaa älykkäiden järjestelmien integroinnin ja antaa pääsyn tietoihin mistä tahansa, mikä parantaa tuotannon tehokkuutta ja joustavuutta. Pilvipalvelut tukevat myös IoT-ratkaisuja, jolloin eri laitteet ja sensorit voivat jakaa tietoa keskenään saumattomasti. Tämä on keskeinen osa Teollisuus 4.0 tavoitteita, joissa digitalisaatio ja älykkäät teknologiat yhdistyvät tuottavuuden ja innovaatioiden lisäämiseksi. (Zizic ym. 2022.)

Cyber-physical systems (CPS) ovat järjestelmiä, joissa fyysiset ja digitaaliset komponentit yhdistyvät saumattomasti keskenään, mahdollistamalla reaaliaikaisen tiedonvaihdon ja toiminnan automatisoinnin. Näissä järjestelmissä sensorit keräävät tietoa fyysisistä prosesseista, ja tieto analysoidaan digitaalisesti, minkä jälkeen järjestelmä voi reagoida ja ohjata fyysisiä prosesseja automaattisesti. CPS-järjestelmät ovat keskeisiä Teollisuus 4.0 -viitekehyksen teknologioita, sillä ne parantavat tuotannon joustavuutta ja tehokkuutta yhdistämällä fyysiset laitteet ja digitaaliset analytiikkajärjestelmät, mahdollistaen tuotannon reaaliaikaisen optimoinnin. CPS-järjestelmät toimivat usein yhdessä muiden Teollisuus 4.0 -teknologioiden, kuten IoT ja pilvipalveluiden, kanssa. Tämä mahdollistaa järjestelmien paremman integroinnin, datan hallinnan sekä älykkäiden päätöksentekoprosessien toteuttamisen, jolloin tuotantoketjun eri osat voivat toimia tehokkaammin ja luotettavammin. (Zizic ym. 2022.; Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

3.3 Artificial intelligence (AI) ja machine learning (ML)

Artificial Intelligence (AI) tarkoittaa Teollisuus 4.0 -kontekstissa kehittyneitä algoritmeja ja koneoppimista, joita käytetään automatisoimaan monimutkaisia prosesseja ja tekemään älykkäitä päätöksiä tuotannon optimoinnissa. AI voi analysoida suuria datamääriä reaaliajassa ja tehdä päätöksiä, jotka ohjaavat automaatiota ja parantavat tuotannon tehokkuutta sekä joustavuutta. AI integroituu muihin

teknologioihin, kuten IoT:een ja kyberfyysisiin järjestelmiin, mikä mahdollistaa ennakoivan huollon, laadunvalvonnan ja resurssien optimoinnin tuotantolinjoilla. Tämä ei ainoastaan paranna prosessien tehokkuutta, vaan vähentää myös inhimillisiä virheitä ja auttaa yrityksiä vastaamaan muuttuviin markkinatarpeisiin nopeammin ja joustavammin. (Zizic ym. 2022.; Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

Machine Learning (ML) viittaa Teollisuus 4.0 -kontekstissa tekoälytekniikoihin, joiden avulla järjestelmät voivat oppia ja parantaa toimintaansa automaattisesti ilman, että niitä tarvitsee erikseen ohjelmoida jokaista tehtävää varten. ML käyttää suuria määriä dataa analysoidakseen ja tunnistaakseen malleja, joita voidaan hyödyntää tuotannon optimoinnissa, ennakoivassa kunnossapidossa ja laadunvalvonnassa. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

ML:n avulla teollisuusjärjestelmät voivat esimerkiksi ennustaa mahdollisia laitevikojen ajankohtia ja vähentää seisokkien määrää analysoimalla historiallisia tietoja ja reaaliaikaisia antureiden lukemia. Tämä parantaa tuotantoprosessien tehokkuutta ja vähentää kustannuksia. Lisäksi ML voi auttaa optimoimaan tuotannon muuttuvien olosuhteiden perusteella, jolloin voidaan varmistaa, että resurssit käytetään mahdollisimman tehokkaasti. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

3.4 Big Data ja analytiikka

Big Data ja analytiikka ovat Teollisuus 4.0:n keskeisiä elementtejä, koska ne mahdollistavat valtavien datamäärien keräämisen, tallentamisen ja analysoinnin tuotannon ja liiketoiminnan optimointia varten. Teollisuus 4.0:n digitalisoidut järjestelmät, kuten IoT-laitteet ja kyberfyysiset järjestelmät, tuottavat jatkuvasti suuria määriä dataa. Big Data viittaa juuri näihin suurimittaisiin tietomassoihin, joita kerätään tuotantoprosesseista ja muista liiketoiminnan toiminnoista. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

Analytiikan avulla tämä data voidaan jalostaa käyttökelpoiseksi tiedoksi, jota käytetään tuotantoprosessien optimointiin, ennakoivaan kunnossapitoon ja laadunparantamiseen. Analytiikka auttaa tunnistamaan trendejä, poikkeamia ja ennus-

tamaan tulevia tarpeita, mikä johtaa resurssien tehokkaampaan käyttöön ja päätöksenteon parantumiseen. Näin yritykset voivat reagoida nopeasti muuttuviin markkinatilanteisiin ja tehostaa prosessejaan. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

3.5 Augmented reality (AR) ja simulation

Augmented Reality (AR) tarkoittaa teknologiaa, joka yhdistää digitaalisia elementtejä reaali maailman ympäristöön, parantaen työntekijöiden kykyä suorittaa tehtäviä ja ratkaista ongelmia tuotantoprosesseissa. AR:lla on erityisen suuri rooli teollisuuden koulutuksessa, huollossa ja laitteiden asennuksessa, koska se voi tarjota reaaliaikaista tietoa ja ohjeita käyttäjälle näyttämällä virtuaalisia elementtejä todellisuuden päälle. Tämä parantaa tehokkuutta ja vähentää inhimillisiä virheitä, mikä on tärkeää erityisesti monimutkaisissa tuotantoympäristöissä. AR:n hyödyntäminen edistää myös kestävästä kehitystä, koska se voi vähentää tarpeetonta matkustamista ja parantaa resurssienhallintaa, tukien näin YK:n kestävästä kehityksen tavoitteita. (Mabkhot ym. 2021.; Zizic ym. 2022.)

Simulaatio viittaa Teollisuus 4.0 -kontekstissa tietokonepohjaisiin malleihin, joiden avulla voidaan luoda virtuaalinen kopio fyysisistä prosesseista, tuotteista tai tuotantolinjoista. Tämän teknologian avulla yritykset voivat testata ja optimoida tuotantoa ennen kuin fyysisiä muutoksia tehdään, mikä säästää aikaa ja resursseja. Simulaatioita käytetään esimerkiksi uusien tuotantoprosessien suunnittelussa, joissa voidaan arvioida ja ennustaa erilaisia skenaarioita ennen niiden käyttäntöön viemistä. Tämä parantaa tehokkuutta ja vähentää riskejä, koska mahdolliset ongelmat voidaan tunnistaa etukäteen. (Mabkhot ym. 2021.; Zizic ym. 2022.)

Simulaatio tukee myös kestävästä kehitystä, koska sen avulla voidaan optimoida tuotannon resurssien käyttöä, kuten energiaa ja raaka-aineita, mikä vähentää jätettä ja ympäristövaikutuksia. Tämä teknologia on olennainen osa Teollisuus 4.0 digitalisaatiota, koska se yhdistää fyysisen ja digitaalisen maailman auttaen yrityksiä tekemään parempia päätöksiä tuotantoprosesseissa. (Mabkhot ym. 2021.; Zizic ym. 2022.)

3.6 Autonomous Robots

Autonomiset robotit viittaavat itsenäisesti toimiviin, älykkäisiin robottijärjestelmiin, jotka pystyvät suorittamaan tehtäviä ilman ihmisen jatkuvaa ohjausta. Nämä robotit hyödyntävät sensoriteknologiaa, tekoälyä ja koneoppimista tehdäkseen reaaliaikaisia päätöksiä ja mukautuakseen muuttuvissa tuotanto-olosuhteissa. (Zizic ym. 2022.; Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

Autonomiset robotit ovat keskeisiä tuotannon automatisoinnin parantamisessa, sillä ne pystyvät kommunikoimaan muiden koneiden kanssa ja jakamaan dataa, mikä parantaa koko tuotantoketjun tehokkuutta ja vähentää inhimillisten virheiden riskiä. Nämä robotit voivat työskennellä ihmisten rinnalla, ja niiden joustavuus mahdollistaa tehtävien hoitamisen monimutkaisissa ympäristöissä, mikä tuo uusia innovaatioita ja parantaa tuottavuutta. (Zizic ym. 2022.; Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

Autonomiset robotit ovat erityisen hyödyllisiä, koska ne voivat toimia 24/7, vähentäen työvoimakustannuksia ja nopeuttaen tuotantoprosesseja, mikä tukee Teollisuus 4.0:n tavoitetta saavuttaa korkeampi automaatioaste ja tuotannon joustavuus. (Zizic ym. 2022.; Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

3.7 Additive manufacturing (AM)

Additive Manufacturing (AM), eli materiaalia lisäävä valmistus, on Teollisuus 4.0:n keskeinen teknologia, joka mahdollistaa tuotteiden valmistamisen kerrostamalla materiaalia kerros kerrokselta digitaalisesta mallista. Tämä eroaa perinteisistä valmistusmenetelmistä, jotka perustuvat materiaalin poistamiseen, kuten leikkaamiseen tai poraamiseen. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

AM tarjoaa monia etuja, kuten mahdollisuuden luoda monimutkaisia rakenteita, jotka olisivat mahdottomia tai erittäin kalliita valmistaa perinteisillä menetelmillä. Lisäksi se mahdollistaa valmistuksen mukauttamisen yksilöllisiin tarpeisiin, ja se vähentää materiaalihävikkiä, koska vain tarvittava materiaali käytetään. AM tukee joustavaa ja kustannustehokasta tuotantoa, erityisesti prototyyppien valmistuksessa ja pienissä tuotantosarjoissa. (Raja Santhi & Muthuswamy 2023, 947-979.)

3.8 Digitaaliset kaksoset (DT)

Digital Twins (DT) Teollisuus 4.0 -kontekstissa ovat digitaalisten ja fyysisten järjestelmien tarkkoja virtuaalisia malleja, jotka mahdollistavat reaaliaikaisen tiedonvaihdon näiden kahden välillä. Digital Twins -teknologian avulla voidaan simuloida, analysoida ja optimoida fyysisiä prosesseja ja järjestelmiä ennakoivasti, mikä parantaa tehokkuutta ja vähentää riskejä. Näitä virtuaalisia malleja voidaan käyttää esimerkiksi laitteiden huollon ennakointiin, tuotantoprosessien optimointiin ja uusien tuotteiden testaukseen ilman fyysistä prototyyppiä. (Mabkhot ym. 2021.)

Digital Twins yhdistää datan keräämisen fyysisistä laitteista, kuten sensoreista, ja käyttää tätä tietoa parantaakseen prosessien joustavuutta ja tehokkuutta. Tämä mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon, jolloin laitteiden mahdolliset ongelmat voidaan havaita ja korjata ennen varsinaista vikaantumista, mikä säästää aikaa ja resursseja. Lisäksi Digital Twins edistää kestävästä kehitystä vähentämällä tuotantoon liittyviä virheitä ja materiaalihukkaa, mikä tukee myös YK kestävästä kehityksen tavoitteita. (Mabkhot ym. 2021.)

4 TEOLLISUUS 5.0

Teollisuus 5.0 on nouseva viitekehys, joka edustaa teollisuuden viidettä vallankumousta. Teollisuus 5.0 rakentuu vahvasti Teollisuus 4.0 -viitekehysten jatkeeksi. Teollisuus 5.0:n keskeiset teknologiat sisältävät digitaalisia ja operatiivisia ratkaisuja, jotka tukevat teollisuuden digitaalista muodonmuutosta. Näihin kuuluu helpottavia teknologioita, kuten datan analysointi, pilvipalvelut ja yritysjärjestelmät, jotka toimivat teollisuuden 5.0:n peruspilareina. Teollisuus 5.0 edustaa digitaalista muutosta, joka vaikuttaa arvonluonnin ja toimitusprosessien mikro- ja makrotasolla. Tämä muutos ilmenee adaptiivisina älytehtaina, logistiikkana, toimittajina, tuotteina, asiakkaina ja sidosryhminä, jotka muodostavat yhtenäisen sosioekologisen arvonluontiekosysteemin. (Ghobakhloo, Iranmanesh, Tseng, Grybauskas, Stefanini & Amran 2023, 432-447.)

Teollisuus 5.0:n mahdollistavat teknologiat, kuten kognitiiviset kyberfyysiset järjestelmät, älykäs tekoäly ja ihmisen vuorovaikutusteknologiat, tähtäävät luomaan kestävämmän, ihmiskeskeisemmän ja tehokkaamman teollisen toiminnan. Nämä innovaatiot tukevat ekologisia ja sosiaalisia arvoja, edistäen samalla turvallisempaa ja tuottavampaa yhteistyötä ihmisten ja koneiden välillä. (Ghobakhloo ym. 2023, 432-447.)

Teollisuus 5.0 -viitekehysten mukaisen teollisuusstrategian muovautuminen eroaa Teollisuus 4.0:n viitoittamasta strategiasta siten, että Teollisuus 5.0:n keskiössä ovat suorituskyky ja kestävä kehitys (European Commission 2021, 3-13.). Teollisuus 5.0:n sosiaalinen näkökulma korostaa ihmislähtöisyyttä ja yhteiskunnallista suuntautumista edistämällä työvoiman uudelleen- ja täydennyskoulutusta, suuntaamalla teknologian kehitystä ihmisten tarpeiden mukaisesti ja parantamalla teollisen työympäristön turvallisuutta ja mukavuutta (Ghobakhloo ym. 2023, 432-447.). Yhteiskunnallisesti ja poliittisesti se pyrkii lisäämään sosiaalista hyvinvointia minimoimalla työmarkkinoiden häiriöt sekä estämällä työvoiman jakautumisen (Ghobakhloo ym. 2023, 432-447.). Teollisuus 5.0 keskittyy yhteiskunnallisen sietokyvyn vahvistamiseen teknologian ja tiedon avulla, jotta pystytään hallitsemaan ihmisen sekä luonnon aiheuttamia katastrofeja (Ghobakhloo ym. 2023, 432-447.). Ihmiskeskeisyys on yksi Teollisuus 5.0 -viitekehysten keskeisimmistä käsitteistä, joka asettaa ihmisten tarpeet tuotannon keskiöön, kysyen

mitä teknologia voi tehdä työntekijöiden hyväksi ja miten se olisi hyödyksi (Zizic ym. 2022.).

4.1 Henkilöstömäärä ja sen vaihtuvuus

Henkilöstömäärän mittaaminen on keskeinen tekijä yrityksen suorituskyvyn arvioinnissa, koska se antaa tietoa henkilöstön käytöstä ja sen vaikutuksesta liiketoimintaan. Henkilöstömäärä liittyy suoraan yrityksen pääomarakenteeseen ja tuotavuuteen, ja sen seuranta auttaa optimoimaan resurssien jakamista. Tunnusluvut, kuten "revenue per employee" (tuloa per työntekijä), voivat tarjota perustietoa, mutta henkilöstön tehokkuuden mittaaminen edellyttää syvempää analyysia, joka ottaa huomioon inhimillisen pääoman laajemmat vaikutukset yrityksen menestykseen. (Simón, Raquel & Pilar 2007, 1-12.)

On tärkeää mitata naisten osuus työvoimasta erityisesti teollisuuden aloilla, koska se antaa tietoa sukupuolten tasa-arvon kehityksestä ja työelämän monimuotoisuudesta. Lisäksi se edistää innovaatioita ja parantaa yrityksen kilpailukykyä, kun työvoima on monipuolisempi. Mittaaminen myös auttaa tunnistamaan esteitä, kuten sukupuolittuneen syrjinnän tai uramahdollisuuksien puutteen, ja mahdollistaa tasa-arvon parantamiseen tähtäävien ratkaisujen kehittämisen. (Janis & Zulkipli 2020, 27-34.)

Työntekijöiden vaihtuvuusprosentti (Employee Turnover Rate) määritellään työntekijöiden lähtemisen määräksi organisaatiosta tietyn ajanjakson aikana. Tämä voi sisältää vapaaehtoisen eroamisen, irtisanomisen, eläköitymisen tai sopimuksen päättymisen. Vaihtuvuusprosentti lasketaan jakamalla lähteneiden työntekijöiden määrä keskimääräisellä työntekijämäärällä ja kertomalla tämä sadalla. Korkea vaihtuvuus on usein merkki ongelmista, kuten alhaisesta työtyytyväisyydestä, ja se voi johtaa organisaation lisäkustannuksiin ja tehokkuuden heikkeneemiseen. (Kean 2015.)

4.2 Työtapaturmat ja työturvallisuusstandardit

Total Recordable Incident Rate (TRIR) on työturvallisuuden keskeinen mittari, joka arvioi yrityksen työtapaturmien kokonaismäärää suhteessa työtunteihin. Soltanzadeh ym. (2022) tutkivat kemianteollisuuden tapaturmia ja korostivat TRIR merkitystä teollisuudenalalla, jossa turvallisuusriskit ovat suuret. TRIR:ä antaa laajan kuvan tapaturmista ja auttaa analysoimaan syitä sekä ennaltaehkäisemään tulevia onnettomuuksia. Tutkimuksen mukaan TRIR on hyödyllinen indikaattori riskinhallinnan ja työturvallisuuden kehittämiseksi, erityisesti korkean riskin aloilla, kuten kemianteollisuudessa. (Soltanzadeh ym. 2022, 531-537.)

Lost Time Incident Rate (LTIR) mittaa työpaikan turvallisuutta seuraamalla tapaturmia, jotka johtavat työntekijän poissaoloon. LTIR lasketaan jakamalla työstä poissaoloon johtaneiden tapaturmien määrä kokonaisilla tehdyillä työtunneilla ja kertomalla tämä luku miljoonalla. LTIR:n tarkoitus on auttaa organisaatioita seuraamaan ja arvioimaan työtapaturmien vakavuutta ja määrää, erityisesti tapauksissa, joissa työntekijä ei voi jatkaa työtään tapaturman jälkeen. Tämä mittari on kriittinen prosessiturvallisuuden indikaattori riskienhallinnassa ja turvallisuuskulttuurin parantamisessa. (Pasman 2012, 27-35.)

ISO 45001 on työterveys- ja työturvallisuusjohtamisen standardi, joka keskittyy turvallisten työolojen luomiseen. Se korvasi aiemman OHSAS 18001 -standardin ja edistää ennakoivaa riskienhallintaa. Teollisuus 5.0 -viitekehyksessä ISO 45001 tukee ihmiskeskeistä ja teknologiapainotteista teollisuutta, jossa työntekijöiden turvallisuus ja hyvinvointi ovat keskeisiä. Standardi auttaa integroimaan kehittyneen teknologian ja ihmisen yhteistyön turvallisiin työympäristöihin, edistäen automaation ja ihmisten rinnakkaista työskentelyä turvallisesti. (SFS 2024a.)

4.3 Kestävä kehitys, päästöt ja hiilijalanjälki, energiankulutus

Kestävä kehitys on myös Teollisuus 5.0 -viitekehyksen keskeinen käsite, jossa keskitytään uudelleen käyttämään, hyödyntämään ja kierrättämään luonnonvaroja sekä leikkaamaan hukkaa ja vähentämään ympäristövaikutuksia (Zizic ym. 2022). Teollisuus 5.0 pyrkii Maan biosfäärin ja luonnonvarojen säilyttämiseen siir-

tymällä perinteisestä lineaarisesta talousmallista kohti kiertotaloutta, sisällyttämällä kestävästä innovaatiota tuotteisiin ja prosesseihin sekä helpottamalla uusiutuvien resurssien käyttöönottoa (Ghobakhloo ym. 2023, 432-447.).

Kestävästä kehitystä voidaan tukea teollisuudessa siten, että vähennetään päästöjä ja yrityksen hiilijalanjälkeä. Hiilijalanjälki ottaa huomioon yrityksen suorat ja epäsuorat päästöt sekä niiden kompensointitoimet (Ekokompassi 2023). Kasvihuonepäästöt edistävät ilmaston lämpenemistä (Sabljic. 2009, 8-11.). Kasvihuonekaasuja ovat esimerkiksi hiilidioksidi, metaani, typpioksi ja halogeeniyhdisteet (Sabljic. 2009, 8-11.). Typpioksidit ovat yhdisteitä, jotka aiheuttavat lukuisia ympäristöllisiä ja terveydellisiä haittoja, esimerkiksi happosateiden muodossa (Boningari & Smirniotis 2016, 133-141.). Hyödyntämällä uusiutuvia energianlähteitä kuten aurinko- ja tuulivoimaa, joilla voidaan vähentää tuotannosta johtuvia päästöjä (Philibert 2017, 6.).

Teollisuus 5.0 -aikakaudella energiankulutuksen tehokas mittaaminen on keskeistä kestävyystavoitteiden saavuttamisessa, erityisesti kun yritykset pyrkivät optimoimaan energiantensiivisiä prosessejaan ja vähentämään hiilijalanjälkeään. Itse tuotettu vety sivutuotteena tarjoaa merkittävän ratkaisun, joka vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista ja edistää energiaturvallisuutta. Vihreän vedyn hajautettu tuotanto on myös ympäristöllisesti ja taloudellisesti kannattava tapa hyödyntää ylijäämäenergiaa. (Kalchschmid, Erhart, Angerer, Roth & Hohmann 2023.; Masoomi, Sahebi, Ghobakhloo & Mosayebi 2023, 94-112.; Khaleel ym. 2024, 71-80.)

4.4 Hazardous air pollutants

Hazardous air pollutants (HAPs) viittaavat ilmassa oleviin haitallisiin yhdisteisiin, jotka aiheuttavat vakavia riskejä ihmisten terveydelle ja ympäristölle. Kelly ja Fussell (631-649, 2015) toteavat, että HAPit, kuten raskasmetallit (esim. elohopea ja lyijy) ja orgaaniset yhdisteet (esim. bentseeni ja formaldehydi), voivat aiheuttaa monenlaisia terveysongelmia, kuten hengitystiesairauksia, syöpää ja muita pitkäaikaisia vaurioita. HAPeja esiintyy usein suurina pitoisuuksina erityisesti kaupunkialueilla, missä teollisuus ja liikenne lisäävät niiden määrää ilmassa. (Kelly & Fussell 2015, 631-649.)

Teollisuus 5.0 -kontekstissa HAPeja pyritään vähentämään hyödyntämällä uusia teknologioita ja ihmiskeskeistä ajattelutapaa. Tämä tarkoittaa ennakoivien menetelmien, kuten tekoälyn ja data-analyysin käyttöä, joilla päästöjä voidaan hallita paremmin ja minimoida niiden haitalliset vaikutukset ympäristöön ja ihmisiin. Teollisuus 5.0 -periaatteisiin kuuluu lisäksi kestävä kehityksen edistäminen niin, että tuotannon tehokkuuden lisäksi keskitytään myös ympäristönsuojeluun ja terveysturvallisuuden parantamiseen. (Kelly & Fussell 2015, 631-649.)

4.5 Kemiallinen hapenkulutus ja makeanveden kulutus

COD (kemiallinen hapenkulutus) mittaa orgaanisen aineen määrää jätevedessä, mikä kertoo, kuinka paljon happea tarvitaan orgaanisten yhdisteiden hapettamiseen vedessä. Tämä mittaus on tärkeä, koska se auttaa arvioimaan jäteveden saastumistasoa ja sen mahdollisia ympäristövaikutuksia vesistöihin. Korkea COD-arvo viittaa siihen, että jätevesi sisältää paljon happea kuluttavia aineita, mikä voi johtaa veden happikadon riskiin ja vaarantaa vesiekosysteemin. COD-arvon hallinta on keskeinen osa teollisuuden jätevedenkäsittelyä ja ympäristövaikutusten vähentämistä. (Nasr, Doma & Abdel-Halim 2007, 275-286.)

Makeanveden kulutuksen mittaaminen on tärkeää, koska se auttaa seuraamaan vedenkäytön tehokkuutta ja vähentämään ympäristövaikutuksia erityisesti vettä paljon kuluttavilla teollisuudenaloilla. Tämä on erityisen merkityksellistä, koska makean veden resurssit ovat rajalliset, ja sen käytön optimointi voi vähentää veden saastumista ja jäteveden syntyä. Teollisuuden prosessien, kuten elintarvike- ja tuoretuotteiden käsittelyn, vedenkulutuksen minimointi vähentää ympäristöjalanjälkeä ja parantaa kestävyttä. (Ölmez & Kretzschmar, 2009, 686-693.)

4.6 Jäte

Teollisuus 5.0:n tavoitteena on vahvistaa kestävä kehityksen tavoitteita teollisuudessa keskittymällä ympäristön ja ihmisten hyvinvointiin, mikä liittyy läheisesti jätehuollon kehittämiseen ja teollisuuden päästöjen vähentämiseen. Mittarit, kuten Total absolute waste, Total waste intensity ja Percentage waste reused, auttavat yrityksiä seuraamaan ja vähentämään tuotannossa syntyviä jätemääriä. Te-

ollisuus 5.0 -konseptissa tavoitellaan siirtymistä kiertotalouteen ja "6R-periaatteen" (Recognize, Reconsider, Realize, Reduce, Reuse ja Recycle), mikä kannustaa minimoimaan jätettä ja hyödyntämään tuotannossa syntyvät materiaalit uudelleen. (Mesjasz-Lech 2023, 1816-1825.)

Vaaralliselle jätteelle tarkoitetut mittarit, kuten Absolute hazardous waste ja Absolute hazardous waste to landfill, ovat erityisen tärkeitä, koska Teollisuus 5.0 pyrkii vähentämään ympäristölle haitallisten aineiden käyttöä ja poistamaan tarpeettomat jätteet. Teollisuus 5.0 hyödyntää kehittyneitä digitaalisia teknologioita, kuten tekoälyä ja reaaliaikaista data-analytiikkaa, jotta jätevirtojen ja resurssien hallinta olisi tarkkaa ja ennakoivaa. (Mesjasz-Lech 2023, 1816-1825.)

4.7 Resilienssi ja kestävän kehityksen suorituskyky

Resilienssi on Teollisuus 5.0 -viitekehyksen keskeinen käsite, joka viittaa häiriötilanteiden sietokykyyn teollisessa tuotannossa. Resilienssin tarkoitus on antaa tukea joustavien prosessien ja mukautuvan tuotanto kapasiteetin muodossa kriisi tilanteissa (Zizic ym. 2022). Kokonaisvaltaisessa lähestymistavassaan Teollisuus 5.0 keskittyy jätteen ja päästöjen vähentämiseen, resurssien tehokkaaseen käyttöön sekä uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämiseen tuotannossa ja jake-lussa, sekä vastaamaan maailmanlaajuisiin kestävyysongelmiin, kuten tuotteiden käyttöiän lyhenemiseen ja kierrätysmahdollisuuksiin (Ghobakhloo ym. 2023, 432-447.).

EcoVadis Performance Index mittaa yritysten kestävän kehityksen suorituskykyä neljällä pääalueella: ympäristö, työolot ja ihmisoikeudet, eettisyys ja kestävä han-kinta. Järjestelmä perustuu yrityksen antamiin tietoihin sekä ulkoisiin lähteisiin, kuten median ja kansalaisjärjestöjen raportteihin, joista kerätään tietoa yrityksen toiminnan kokonaisvaltaiseksi arvioimiseksi. (Apiday 2024.)

EcoVadis-arviointimenetelmä antaa yrityksille kokonaispisteet, jotka kuvaavat niiden kestävän kehityksen strategioiden ja toimien laatua sekä tuloksia. Arvioin-nissa käytetään painotettua keskiarvoa, jossa 25 % pisteistä perustuu politiikkoi-hin, 40 % toiminnan konkreettisiin toimiin ja 35 % saavutettuihin tuloksiin. Pistey-tyksen perusteella yritykset voivat saada tunnustuksia, kuten Platinum- (parhaat 1 %), Gold- (parhaat 5 %) tai Silver-mitalin (parhaat 25 %). (Apiday 2024.)

4.8 Ympäristöjohtamisen ja laadunhallintajärjestelmän standardi

ISO 14001 on ympäristöjohtamisen standardi, joka edistää organisaatioiden ympäristövaikutusten hallintaa. Teollisuus 5.0 -viitekehyksessä tämä standardi tukee älykkäiden teknologioiden ja ihmisten yhteistyötä ympäristönsuojelussa. Se integroi kestävätkä toimintatavat ja ennakoivan ympäristöriskien hallinnan teollisuusprosesseihin. Teollisuus 5.0 korostaa ihmiskeskeisyyttä ja vastuullisuutta, joten ISO 14001 auttaa organisaatioita varmistamaan ympäristöystävällisen tuotannon teknologisen kehityksen rinnalla, vähentäen samalla negatiivisia ympäristövaikutuksia. (SFS 2024c.)

ISO 9001 on laadunhallintajärjestelmän standardi, joka asettaa vaatimukset organisaation prosessien hallinnalle ja asiakastyytyvyyden varmistamiselle. Teollisuus 5.0 -viitekehukseen kuuluessaan se tukee ihmiskeskeistä ja älyteknologioihin perustuvaa tuotantoa. Tämä standardi auttaa organisaatioita integroiimaan ihmisten ja koneiden yhteistyön laadunhallintaan, samalla parantaen prosessien tehokkuutta ja luotettavuutta. Standardi edistää laadunvalvontaa ja riskienhallintaa, mikä tukee kestävätkä, teknologisesti kehittyvätkä teollisuutta. (SFS 2024b.)

4.9 Teollisuus 4.0:n ja Teollisuus 5.0:n erot ja yhteydet

Teollisuus 4.0 ja Teollisuus 5.0 ovat peräkkäisiä teollisen vallankumouksen vaiheita, jotka edistävät tuotantoteknologian kehitystä, mutta eroavat toisistaan tavoitteiden, arvojen ja lähestymistapojen osalta. Teollisuus 4.0 keskittyy vahvasti automaatioon, digitalisaatioon ja tuottavuuden maksimoimiseen. Sen päämääränä on tehostaa tuotantoprosesseja, vähentää kustannuksia ja lisätä tuottavuutta yhdistämällä fyysiset ja digitaaliset järjestelmät. Teollisuus 5.0 vie tätä näkökulmaa eteenpäin painottamalla kestävätkä kehitystä, ihmiskeskeisyyttä ja resilienssiä. Se pyrkii tuomaan tasapainoa teknologian, ympäristön ja yhteiskunnan välillä keskittyen vastuulliseen tuotantoon sekä ihmisten hyvinvointiin. (Ghobakhloo ym. 2024.)

Kestävä kehitys on arvo, joka erottaa nämä viitekehukset selkeästi toisistaan. Teollisuus 4.0:n lähtökohtana on prosessien tehokkuuden parantaminen teknologioilla, kuten IoTä, kyberfyysisillä järjestelmillä ja pilvilaskennalla. Kestävän kehityksen tavoitteet ovat usein toissijaisia ja riippuvat siitä, miten ne tukevat tuotannon tehokkuutta. Teollisuus 5.0 puolestaan integroi kestävän kehityksen arvoja toimintatapoihinsa ja asettaa ympäristöystävällisyyden ja resurssien tehokkaan käytön keskiöön. Tavoitteena on myös vastata ilmastonmuutoksen ja luonnon monimuotoisuuden köyhtymisen haasteisiin hyödyntämällä uusimpia teknologioita ja tekoälyä, mikä mahdollistaa ympäristöystävällisemmän tuotantoketjun. (Ghobakhloo ym. 2024.)

Lisäksi Teollisuus 4.0 ja 5.0 eroavat toisistaan teknologian ja ihmistyön suhteessa. Teollisuus 4.0:n teknologian ensisijainen rooli on vähentää ihmistyötä automaation ja koneoppimisen avulla, mikä ei suoraan tue työntekijöiden hyvinvointia tai turvallisuutta. Teollisuus 5.0 lähestyy teknologian käyttöä ihmiskeskeisemmin, jolloin teknologia toimii työvälineenä ihmisten rinnalla. Tämä viitekehys painottaa työntekijöiden hyvinvointia ja turvallisuutta sekä teknologian ja ihmisten välistä yhteistyötä. Näin ollen työympäristö tukee teknologista ja sosiaalista kestävyyttä sekä edesauttaa kokonaisvaltaista työn laatua. (Ghobakhloo ym. 2024.)

Vaikka Teollisuus 4.0 ja Teollisuus 5.0 hyödyntävät samoja teknologioita, kuten tekoälyä, IoTä ja robotiikkaa, niiden käytön tarkoitus ja lähestymistapa eroavat toisistaan. Teollisuus 5.0:n tavoitteena on hyödyntää näitä teknologioita ihmiskeskeisemmällä ja vastuullisemmalla tavalla, mikä erottaa sen Teollisuus 4.0:n painottamasta tehokkuuskeskeisestä näkökulmasta. Näin ollen Teollisuus 4.0 ja 5.0 täydentävät toisiaan, mutta niiden keskeinen ero on painotuksessa: Teollisuus 4.0 keskittyy tuottavuuden maksimointiin, kun taas Teollisuus 5.0 painottaa kestävästä kehityksestä, ihmiskeskeisyyttä ja sosiaalista vastuullisuutta. Näiden viitekehysten yhdistäminen voisi tukea modernin, yhteiskuntavastuullisen ja kestävästi kehitettävän tuotannon tavoitteita. (Ghobakhloo ym. 2024.)

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä opinnäytetyö on tapaustutkimus, jossa tutkitaan tilaajan muutosprosessia suhteessa Teollisuus 5.0 -viitekehykseen. Tapaustutkimus soveltuu kyseisessä työssä hyvin tutkimusmenetelmäksi, sillä se huomioi työn tilaajan näkökulman ja yksittäisen tehtaan työstä saaman hyödyn, mutta ottaa kuitenkin kattavasti huomioon muut ilmiöön vaikuttavat tekijät.

Tapaustutkimus lähtee kehittämistehtävästä tai -ongelmasta, jonka jälkeen perehdytään siihen käytännössä ja teoriassa, jonka seurauksena tehtävä voi myös täsmentyä. Seuraavaksi siirrytään empiirisen aineiston keruuseen ja analysointiin eri menetelmillä: haastattelut, kyselyt, havainnointi jne., tämä voi johtaa paluuseen aikaisempaan vaiheeseen ja lopulta päästään viimeiseen vaiheeseen eli kehittämis ehdotuksiin tai -malleihin. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti. 2015, 52-55.)

Yhteistyössä tilaajan kanssa määritetään mittarit, joilla voidaan mitata Teollisuus 5.0 -viitekehyksen keskeisiä muuttujia. Valittujen mittareiden pohjalta kerätään data eri aikapisteistä, joiden pohjalta voidaan analysoida kehitystä viime vuosien ajalta. Tuloksista tullaan saamaan tarkkaa tietoa liittyen Nouryon Oy Oulun tehtaan resilienssiin, kestävään kehitykseen sekä ihmiskeskeisyyteen liittyvissä teemoissa. Näistä johdetaan viime vuosien ajalta kehityssuunnat eri ala-alueilla, joita hyödyntäen voidaan luoda kehityssuunnitelma liittyen Nouryon Oy Oulun tehtaan tulevaisuutta edistäen. Raportointi suoritetaan kirjallisesti sekä havainnollistavina kuvioina.

Mittareiksi valikoitui Nouryonin omassa Sustainability report 2023 – Executive Summary:ssa esitetyt mittarit. Raportti edusti Nouryonin suorituskykyä kansainvälisesti. Vastaavat luvut saatiin Nouryonin Oulun tehtaalta, jolloin voitiin verrata Oulun tehtaan kilpailukykyä Nouryonin sisällä kyseisillä mittareilla.

Nouryonin sustainability-raportin mittarit ovat hyvin linjassa Teollisuus 5.0 viitekehyksen kanssa. Mittarit edustavat kestävää kehitystä, resilienssiä sekä ihmiskeskeisiä arvoja.

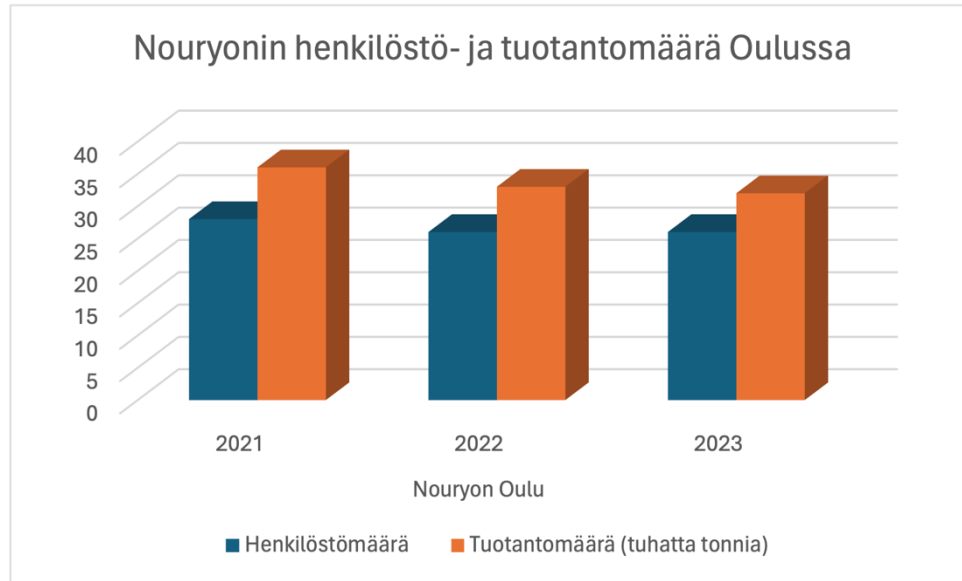
6 TULOKSET

Nouryonin tuotantomäärä kansainvälisesti on 3 727, 3 661 ja 3 371 tuhatta tonnia vuosina 2021, 2022 ja 2023. Henkilöstömäärä tänä samana aikavälinä on hieman noussut alkaen 7 771:stä ja 7 909:stä laskien 8 236:n (Kuvio 1).



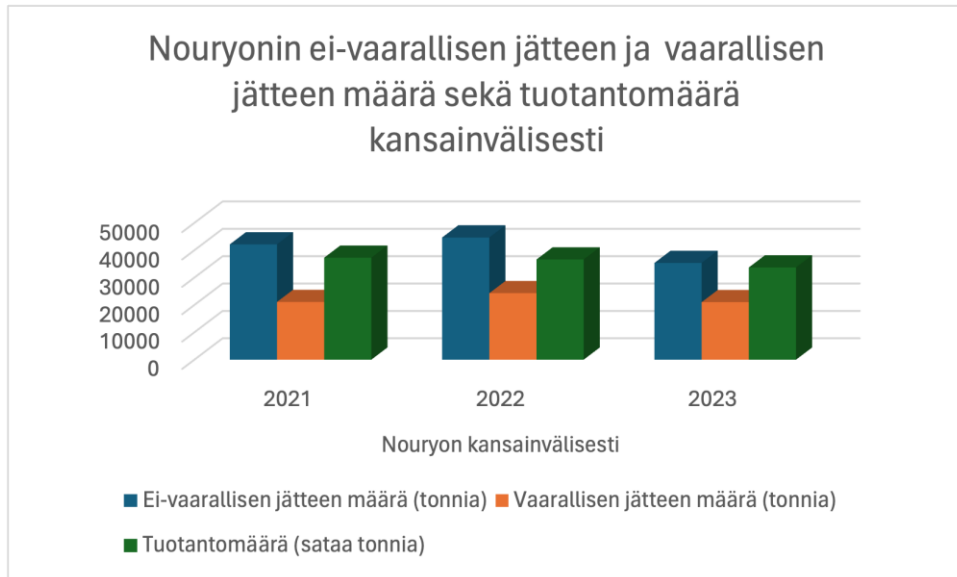
Kuvio 1. Nouryonin henkilöstö- ja tuotantomäärä kansainvälisesti.

Oulussa Nouryon Oy Finland työllistää 28, 26 ja 26 henkilöä vuosina 2021, 2022 ja 2023. Tuotantomäärä Oulussa on ollut vuosittain 36, 33 ja 32 tuhatta tonnia samojen vuosien aikana. Tämä on yhteensä noin 1% koko Nouryonin kansainvälisestä tuotannosta (Kuvio 2).



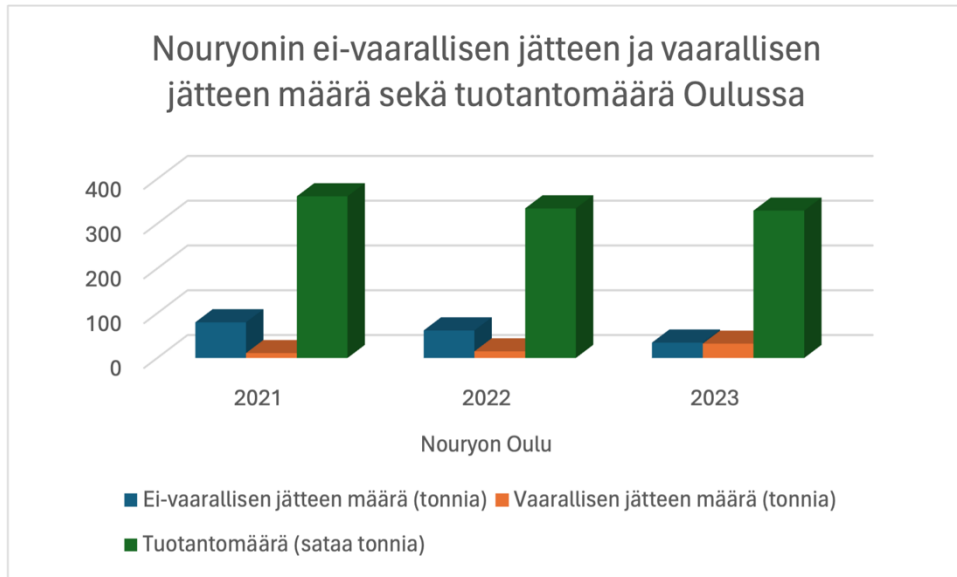
Kuvio 2. Nouryonin henkilöstö- ja tuotantomäärä Oulussa.

Nouryonilla kansainvälisesti ei-vaarallisen ja vaarallisen jätteen määrä vaikuttavat pysyneen kutakuinkin samalla tasolla suhteessa tuotantoon seurantajakson aikana. Vuosina 2021, 2022 ja 2023 ei-vaarallista jätettä syntyi 42 146, 44 652 ja 35 368 tonnia, vaarallista jätettä syntyi 21 097, 24 306 ja 21 025 tonnia, tuotantomäärien ollessa 37 270, 36 619 ja 33 715 sataa tonnia (Kuvio 3).



Kuvio 3. Nouryonin ei-vaarallisen jätteen ja vaarallisen jätteen määrä sekä tuotantomäärä kansainvälisesti.

Nouryonilla Oulussa ei-vaarallisen ja vaarallisen jätteen määrä vaikuttavat pysyneen kutakuinkin samalla tasolla suhteessa tuotantoon seurantajakson aikana, lukuun ottamatta vuotta 2023, jolloin Oulun tehtaalla alueella puhdistettiin saastunutta maaperää, josta syntyi paljon jätettä. Vuosina 2021, 2022 ja 2023 ei-vaarallista jätettä syntyi 79,7, 61,5 ja 34,3 tonnia, vaarallista jätettä syntyi 10,9, 14,7 ja 31,9 tonnia, tuotantomäärien ollessa 361, 334 ja 329 sataa tonnia (Kuvio 4).



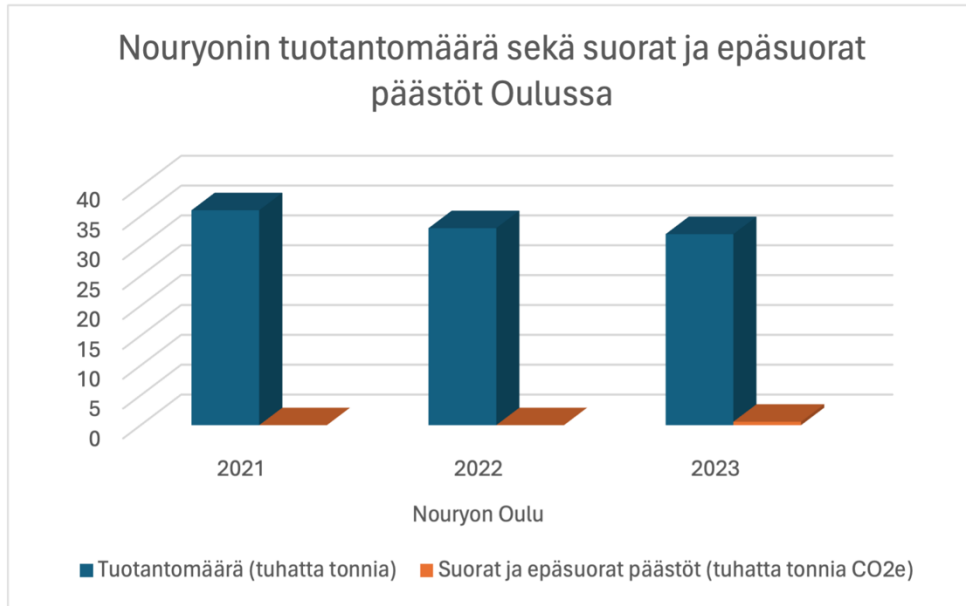
Kuvio 4. Nouryonin ei-vaarallisen jätteen ja vaarallisen jätteen määrä sekä tuotantomäärä Oulussa.

Nouryonin tuotantomäärä kansainvälisesti oli 3 727, 3 661 ja 3 371 tuhatta tonnia vuosina 2021, 2022 ja 2023. Suorat ja epäsuorat päästöt tänä samana aikana olivat 1 467, 1 498 ja 1 294 tuhatta tonnia. Merkittävää muutosta ei ollut havaittavissa (Kuvio 5).



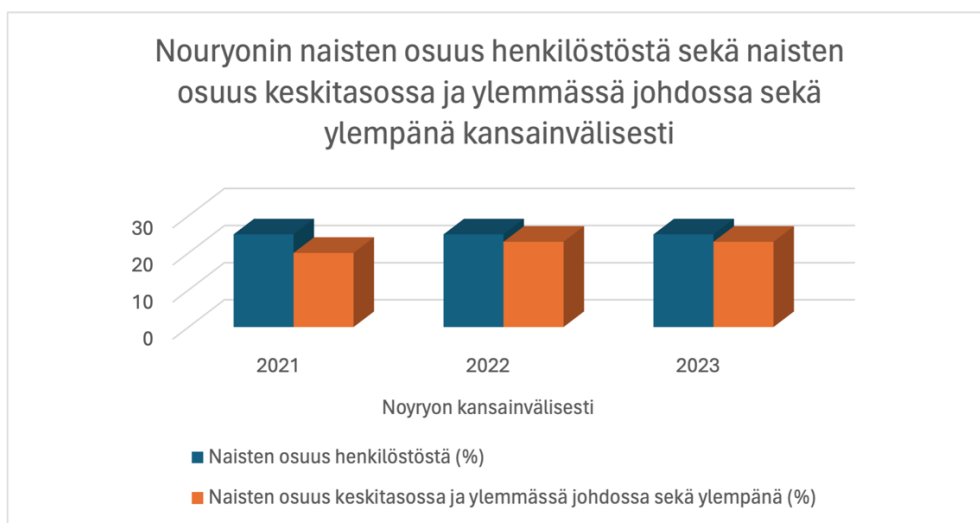
Kuvio 5. Nouryonin tuotantomäärä sekä suorat ja epäsuorat päästöt kansainvälisesti.

Nouryonin tuotantomäärä Oulussa oli 36, 33 ja 32 tuhatta tonnia vuosina 2021, 2022 ja 2023. Suorat ja epäsuorat päästöt tänä samana aikana olivat 0, 0 ja 0,573 tuhatta tonnia. Vuoden 2023 päästöt olivat selitettävissä naapuritehtaan seisokilla, jonka höyryä on aikaisemmin pystytty hyödyntämään, nyt höyryä jouduttiin tuottamaan polttamalla öljyä väliaikaisesti (Kuvio 6).



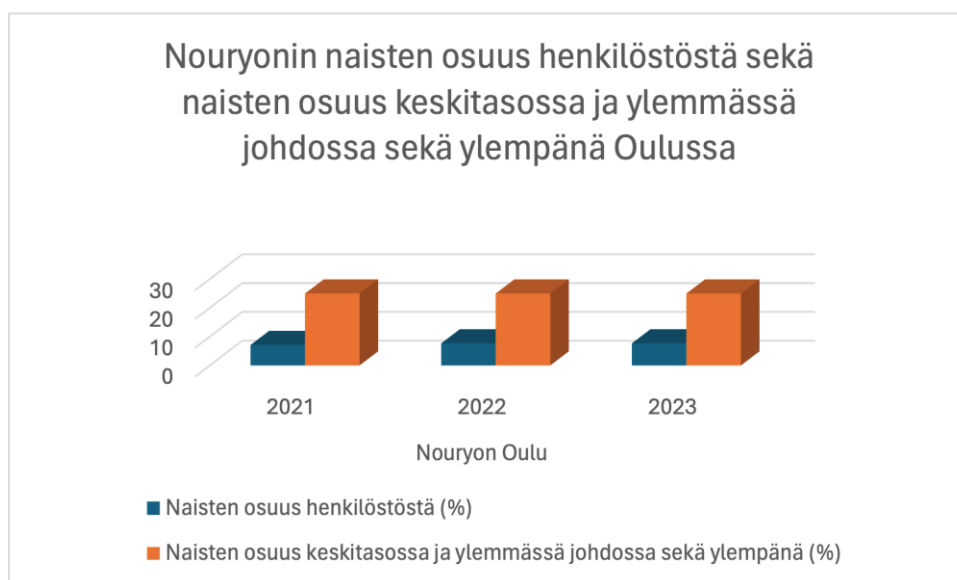
Kuvio 6. Nouryonin tuotantomäärä sekä suorat ja epäsuorat päästöt Oulussa.

Nouryonin naisten osuus henkilöstöstä kansainvälisesti vuosina 2021, 2022 ja 2023 ovat pysyneet samana 25%:ssa. Johtotehtävissä olevien naisten määrä samana seurantajaksona oli 20%, 23% ja 23% osoittaen hienoista nousua (Kuvio 7).



Kuvio 7. Nouryonin naisten osuus henkilöstöstä sekä naisten osuus keskitasossa ja ylemmässä johdossa sekä ylempänä kansainvälisesti.

Nouryonin naisten osuus henkilöstöstä Oulussa vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 7,14%, 7,7% ja 7,7%, mikä on melko matala verrattaessa Nouryoniin kansainvälisesti. Toisaalta naisten osuus johtotehtävissä oli vuosina 2021, 2022 ja 2023 25% joka vuonna, mikä on hienoisesti enemmän kuin Nouryonilla kansainvälisesti (Kuvio 8).



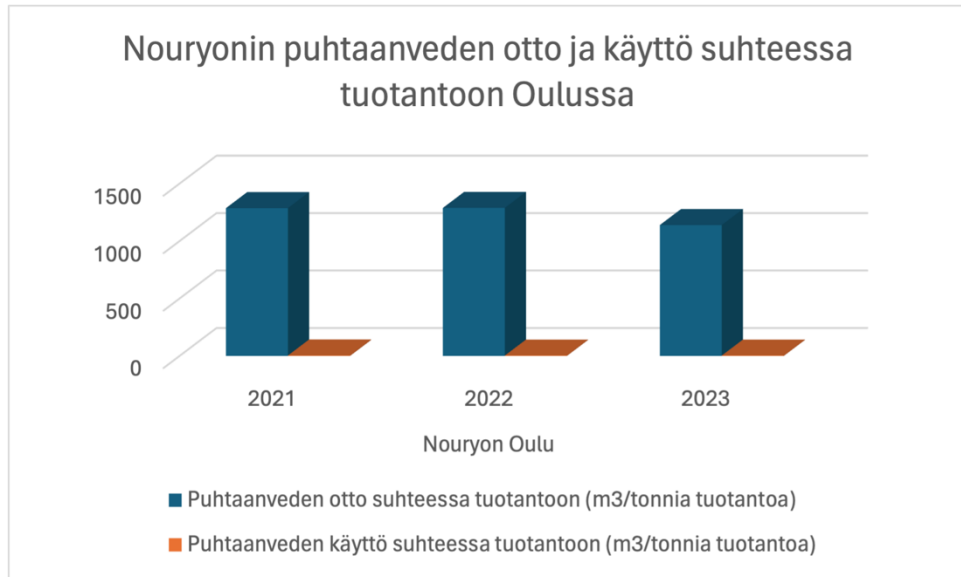
Kuvio 8. Nouryonin naisten osuus henkilöstöstä sekä naisten osuus keskitasossa ja ylemmässä johdossa sekä ylempänä Oulussa.

Nouryonin puhtaanveden otto suhteessa tuotantoon kansainvälisesti vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 43,4 m³/tonnia tuotantoa, 41,9 m³/tonnia tuotanto ja 44,9 m³/tonnia tuotantoa. Puhtaan veden käytön suhteessa tuotantoon samana aikana ollessa 3,85 m³/tonnia tuotantoa, 3,96 m³/tonnia tuotantoa sekä 4,24 m³/tonnia tuotantoa (Kuvio 9).



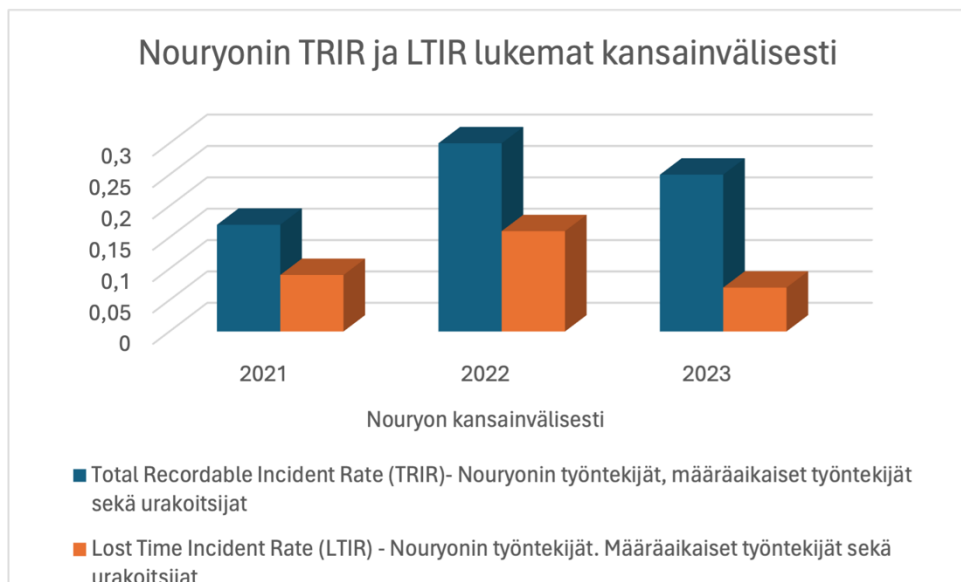
Kuvio 9. Nouryonin puhtaanveden otto ja käyttö suhteessa tuotantoon kansainvälisesti

Nouryonin puhtaanveden otto suhteessa tuotantoon Oulussa vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 1 287,09 m³/tonni tuotantoa, 1 288,84 m³/tonni tuotanto ja 1 139,67 m³/tonni tuotantoa. Puhtaan veden käytön suhteessa tuotantoon samana aikana ollessa 4,43 m³/tonnia tuotantoa, 3,81 m³/tonnia tuotantoa sekä 3,84 m³/tonnia tuotantoa (Kuvio 10).



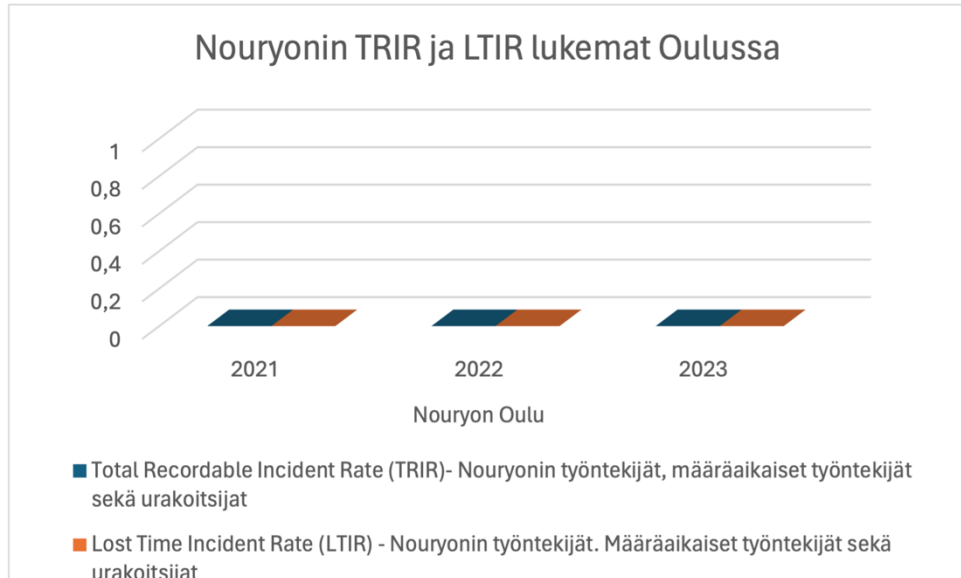
Kuvio 10. Nouryonin puhtaanveden otto ja käyttö suhteessa tuotantoon Oulussa

Nouryonin TRIR luvut kansainvälisesti vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 0,17, 0,3 ja 0,25 sekä LTIR luvut samana aikana olivat 0,09, 0,16 ja 0,07 (Kuvio 11).



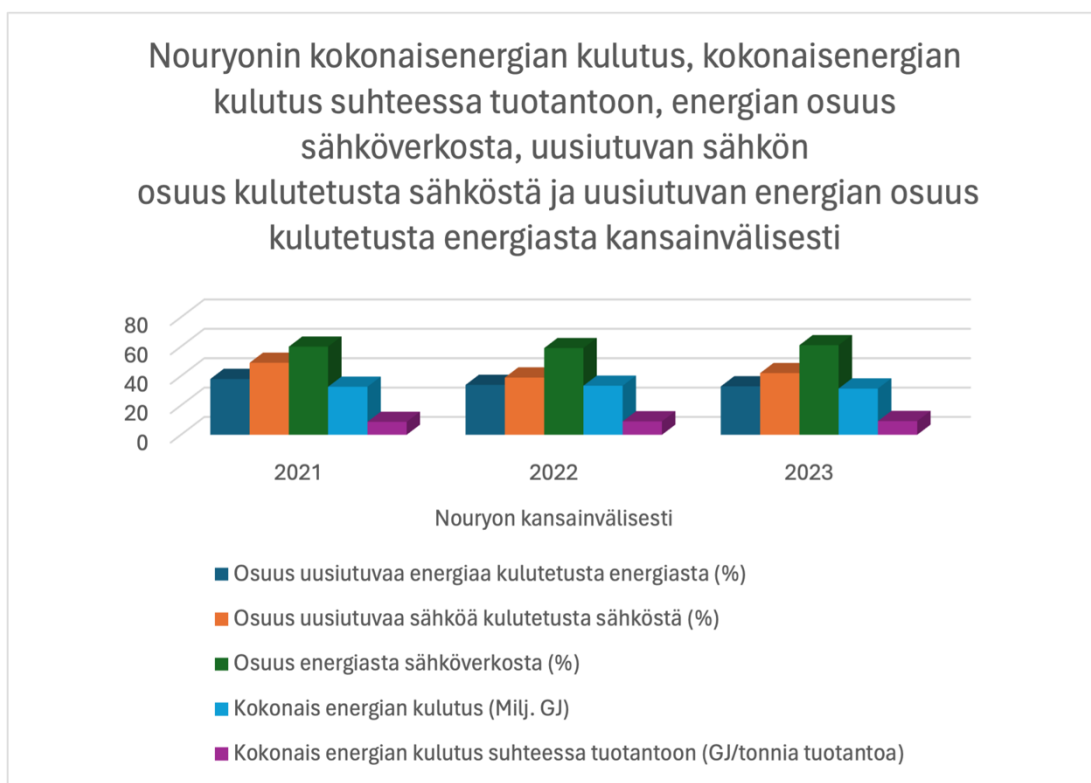
Kuvio 11. Nouryonin TRIR ja LTIR lukemat kansainvälisesti

Nouryonin TRIR luvut Oulussa vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 0, 0 ja 0 sekä LTIR luvut samana aikana olivat 0, 0, ja 0. Luvut ovat huomattavasti matalammat Oulussa kuin Nouryonilla kansainvälisesti (Kuvio 12).



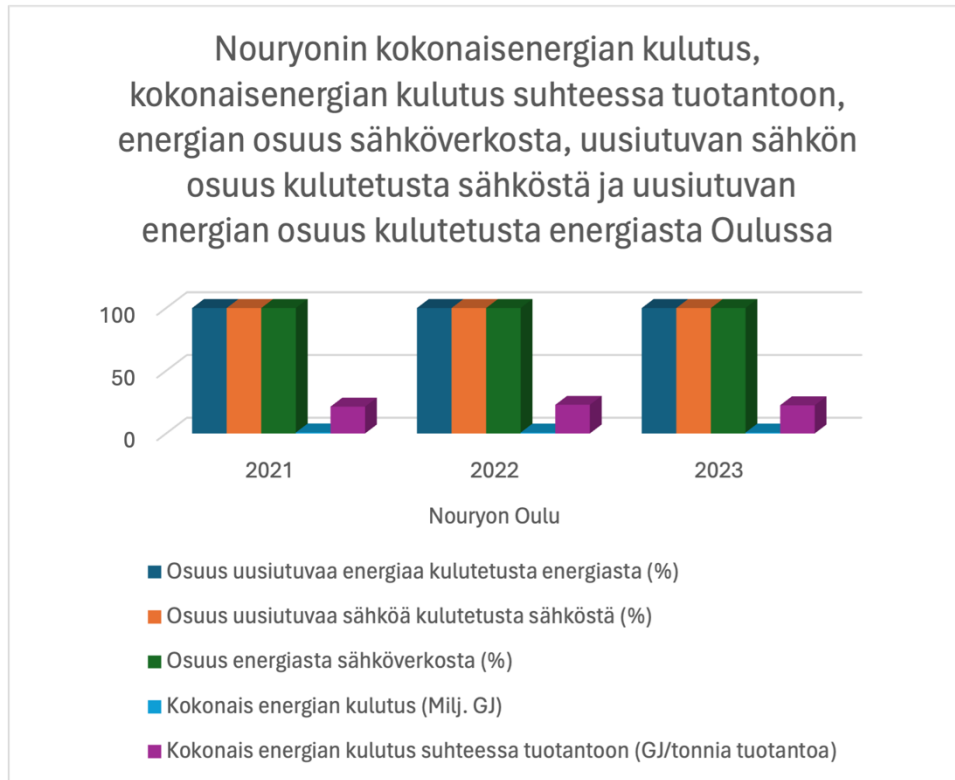
Kuvio 12. Nouryonin TRIR ja LTIR lukemat Oulussa

Nouryonilla kansainvälisesti osuus uusiutuvaa energiaa kulutetusta energiasta vuosina 2021, 2022 ja 2023 oli 38%, 34% ja 33%, trendi on laskeva. Osuus uusiutuvaa sähköä kulutetusta sähköstä samana aikajaksona oli 49%, 39% ja 42% tässäkin voidaan nähdä laskua vuodesta 2021. Osuus energiasta suoraan sähköverkosta samana aikajaksona oli 60%, 59% ja 61%. Kokonaisenergian kulutus samalla aikajaksolla oli 32,7 Milj. GJ, 33,4 Milj. GJ ja 31,5 Milj. GJ. Kokonaisenergian kulutus suhteessa tuotantoon samana aikajaksona oli 8,81 GJ/tonni tuotantoa, 9,15 GJ/tonni tuotantoa ja 9,34 GJ/tonnia tuotantoa (Kuvio 13).



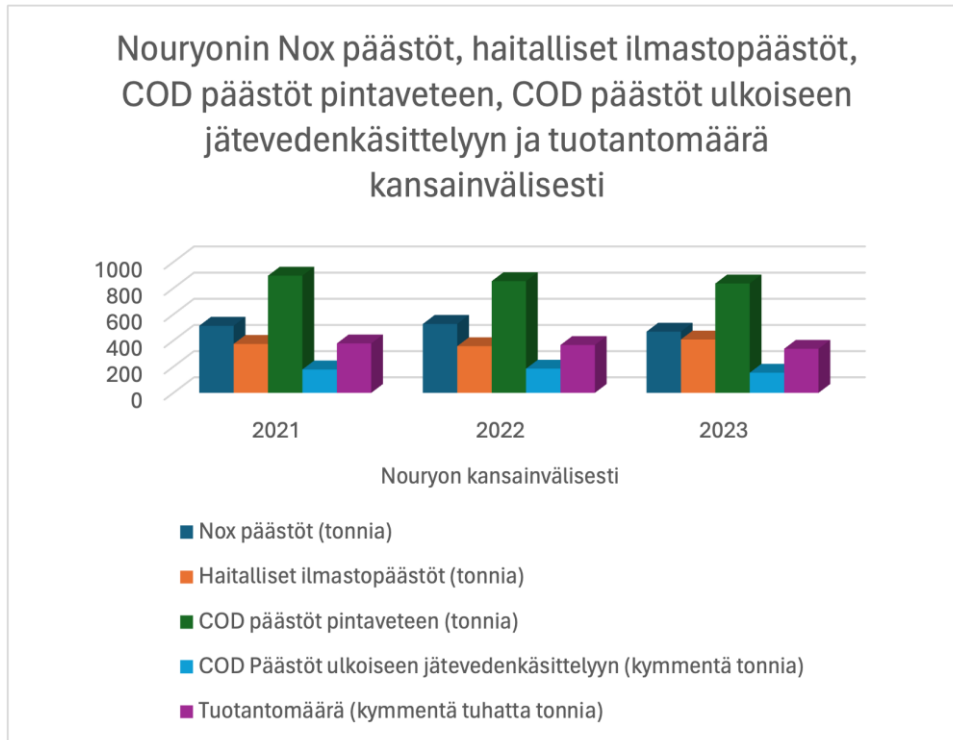
Kuvio 13. Nouryonin kokonaisenergian kulutus, kokonaisenergian kulutus suhteessa tuotantoon, energian osuus sähköverkosta, uusiutuvan sähkön osuus kulutetusta sähköstä ja uusiutuvan energian osuus kulutetusta energiasta kansainvälisesti

Nouryonilla Oulussa osuus uusiutuvaa energiaa kulutetusta energiasta vuosina 2021, 2022 ja 2023 oli 100%, 100% ja 100%. Osuus uusiutuvaa sähköä kulutetusta sähköstä samana aikajaksona oli 100%, 100% ja 100%. Osuus energiasta suoraan sähköverkosta samana aikajaksona oli 100%, 100% ja 100%. Kokonaisenergian kulutus samalla aikajaksolla oli 0,773 Milj. GJ, 0,733 Milj. GJ ja 0,713 Milj. GJ. Kokonaisenergian kulutus suhteessa tuotantoon samana aikajaksona oli 21,36 GJ/tonni tuotantoa, 22,83 GJ/tonni tuotantoa ja 22,45 GJ/tonnia tuotantoa (Kuvio 14).



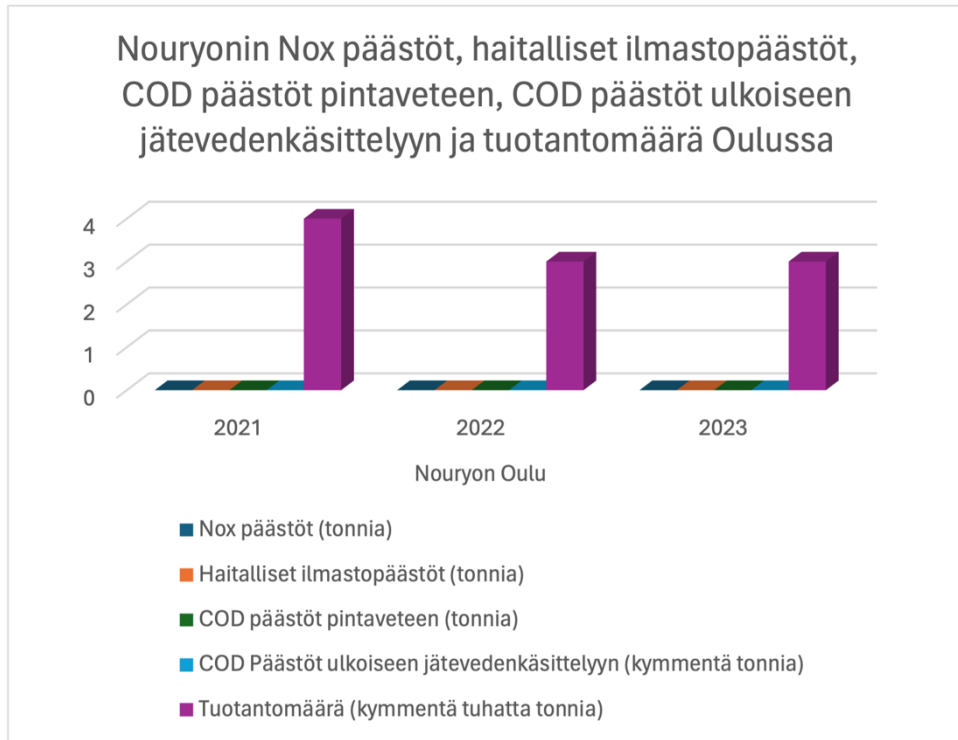
Kuvio 14. Nouryonin kokonaisenergiankulutus, kokonaisenergiankulutus suhteessa tuotantoon, energian osuus sähköverkosta, uusiutuvan sähkön osuus kulutetusta sähköstä ja uusiutuvan energian osuus kulutetusta energiasta Oulussa

Nouryonin Nox-päästöt kansainvälisesti vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 513 tonnia, 527 tonnia ja 468 tonnia. Vaikuttaisi että siellä on tapahtunut laskua. Samana aikajaksona haitalliset ilmastopäästöt olivat 374 tonnia, 357 tonnia ja 408 tonnia. Samana aikajaksona COD päästöt pintaveteen olivat 896 tonnia, 854 tonnia ja 836 tonnia. Samana aikajaksona COD päästöt ulkoiseen jätevedenkäsittelyyn olivat 179 kymmentä tonnia, 185 kymmentä tonnia ja 154 kymmentä tonnia. Tuotantomäärän ollessa samana aikajaksona 378 kymmentä tuhatta tonnia, 366 kymmentä tuhatta tonnia ja 337 kymmentä tuhatta tonnia (Kuvio 15).



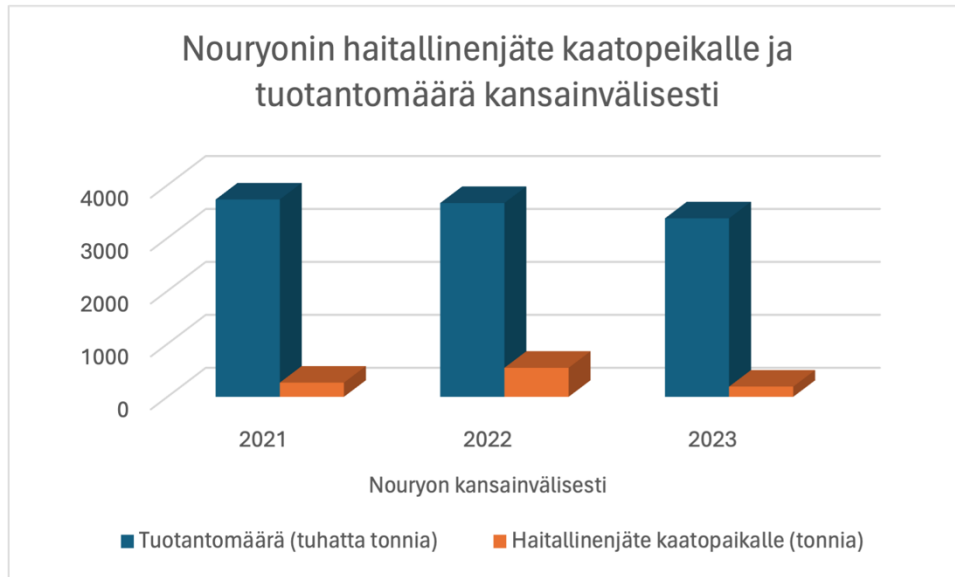
Kuvio 15. Nouryonin Nox-päästöt, haitalliset ilmastopäästöt, COD päästöt pintaveteen, COD päästöt ulkoiseen jätevedenkäsittelyyn ja tuotantomäärä kansainvälisesti

Nouryonin Nox-päästöt Oulussa vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 0 tonnia, 0 tonnia ja 0 tonnia. Samana aikajaksona haitalliset ilmastopäästöt olivat 0 tonnia, 0 tonnia ja 0 tonnia. Samana aikajaksona COD päästöt pintaveteen olivat 0 tonnia, 0 tonnia ja 0 tonnia. Samana aikajaksona COD päästöt ulkoiseen jätevedenkäsittelyyn olivat 0 kymmentä tonnia, 0 kymmentä tonnia ja 0 kymmentä tonnia. Tuotantomäärän ollessa samana aikajaksona 4 kymmentä tuhatta tonnia, 3 kymmentä tuhatta tonnia ja 3 kymmentä tuhatta tonnia (Kuvio 16).



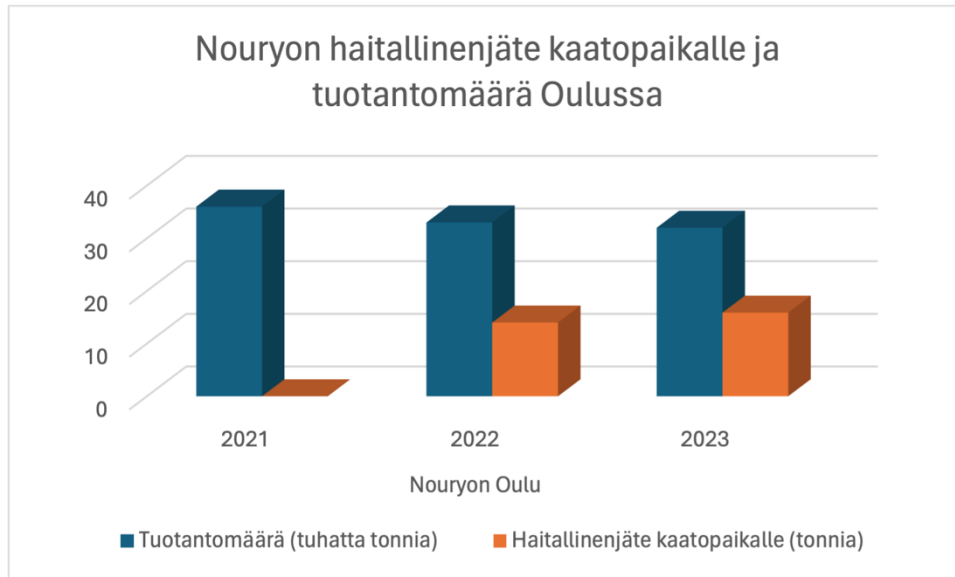
Kuvio 16. Nouryonin Nox-päästöt, haitalliset ilmastopäästöt, COD päästöt pintaveteen, COD päästöt ulkoiseen jätevedenkäsittelyyn ja tuotantomäärä Oulussa

Nouryonin tuotantomäärä kansainvälisesti vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 3 727 tuhatta tonnia, 3 661 tuhatta tonnia ja 3 371 tuhatta tonnia. Samana aikajaksolla haitallistajätettä kaatopaikalle 268 tonnia, 548 tonnia ja 193 tonnia (Kuvio 17).



Kuvio 17. Nouryonin haitallinenjäte kaatopaikalle ja tuotantomäärä kansainvälisesti

Nouryonin tuotantomäärä Oulussa vuosina 2021, 2022 ja 2023 olivat 36 tuhatta tonnia, 33 tuhatta tonnia ja 32 tuhatta tonnia. Samana aikajaksena haitallistajätettä kaatopaikalle 0 tonnia, 14 tonnia ja 15,88 tonnia. Haitallistajätettä on syntynyt Oulussa väliaikaisesti vanhojen saasteiden puhdistuksessa maaperästä (Kuvio 18).



Kuvio 18. Nouryonin haitallinenjäte kaatopaikalle ja tuotantomäärä Oulussa

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Nouryon Oy Finland tuottaa 1 % Nouryonin kaikesta tuotannosta, sen henkilöstön ollessa noin 0,32 % Nouryonin koko henkilöstöstä. Henkilöstön tai paremminkin Oulun tehtaan kulttuurin vahvuutena voitaisiin nähdä sen erittäin matalat TRIR- ja LTIR-luvut, jotka ovat nolla koko seurantajaksoilla. Nouryonissa kansainvälisesti TRIR- ja LTIR-luvut ovat suhteellisesti huomattavasti suuremmat. Vaikka henkilöstö tekee suhteellisen paljon tuotantoa henkilöstömääräänsä nähden Oulussa, he kykenevät tekemään sen turvallisesti, mikä kielii terveestä yrityskulttuurista.

Oulussa on hieman enemmän naisia johtotehtävissä kuin Nouryonilla kansainvälisesti, se on Oulun kannalta hieno saavutus naisten tasa-arvon kehittämisen kannalta hyvin miesvaltaisella alalla. Kehityskohteena voitaisiin Oulun kannalta pitää naisten kokonaisuuden kasvattamista henkilöstössä tulevaisuudessa, sillä siinä ollaan Oulussa Nouryonin kansainvälisiä lukuja jäljessä huomattavasti. Oulussa naisten osuus henkilöstöstä oli 7-8 % seurantajakson aikana kun taas Nouryonilla kansainvälisesti samat luvut olivat koko seurantajakson ajan 25 %.

Oulun tehdas kuluttaa hieman yli kaksinkertaisen määrän energiaa tuotettua tonnia kohden verrattaessa Nouryoniin kansainvälisesti. Kulutetun energian määrää selittää kyseisen tehtaan pääprosessi eli elektrolyysi, joka luonnostaan kuluttaa paljon energiaa. Oulun tehtaan kuluttama energia sekä sähkö ovat 100 % uusiutuvaa koko seurantajakson ajalta. Nouryonissa kansainvälisesti uusiutuvaa sähköä kulutetusta sähköstä oli keskimäärin 45 % sekä energiasta uusiutuvaa oli keskimäärin 35 % seurantajakson aikana. Huolimatta Oulun tehtaan suuresta energian kulutuksesta, energian käyttö on kestäväällä pohjalla. Mahdollinen kehityskohde Oulussa voisi olla prosessin energiatehokkuuden parantaminen sekä mahdollisesti prosessin sivutuotteena syntyvän vedyn jalostaminen energiaksi.

Oulussa tehdas ottaa keskimäärin noin kolmekymmentä kertaa enemmän puhdasta vettä tuotettua tonnia kohti kuin Nouryon kansainvälisesti keskimäärin seurantajakson aikana. Vedenottoa selittää Oulun tehtaan prosessin laatu, joka vaatii paljon jäähdytysvettä. Jäähdytysvesi ei prosessissa saastu, se vain lämpenee

ja se lämpökin pyritään ottamaan siltä osin talteen kuin se on tehokasta ja kannattavaa. Puhtaanvedenkäyttö suhteessa tuotettuun tonniin on Oulussa seurantajakson aikana ollut laskusuuntainen, kun taas Nouryonilla kansainvälisesti se on ollut noususuuntainen. Käyttö on seurantajakson lopussa Oulussa absoluuttisena arvona mitattuna vähäisempää kuin Nouryonissa kansainvälisesti keskimäärin. Nouryoniin kansainvälisesti vertailtaessa Oulu pärjää siis hyvin, mutta se ei tarkoita, etteikö veden käyttöä ja ottoa tulisi kehittää kestävämpään suuntaan.

Suoria ja epäsuoria päästöjä (CO₂e) Oulussa ei syntynyt viimeistä vuotta lukuun ottamatta ollenkaan. Vuonna 2023 päästöjä syntyi 573 tonnia, mikä johtui viereisen tehtaan tuotannon alasajoa vaativasta kattavasta uudistuksesta, jolloin tuotantoprosessin vaatimaa höyryä ei ollut saatavilla ja sitä jouduttiin tuottamaan öljyä polttamalla. Öljyn polttamisesta syntyy hiilidioksidipäästöjä. Kansainvälisesti Nouryonilla suoria ja epäsuoria päästöjä syntyi merkittävässä määrin enemmän, noin 1,4 miljoonaa tonnia vuodessa seurantajakson aikana. Oulun vahvuuksiin voidaan lukea vähäpäästöisyys, mikä on ehdottomasti Teollisuus 5.0 viitekehyksen mukaista.

Haitallisia ilmastopäästöjä Oulusta ei seurantajakson aikana tullut yhtään. Nox-päästöjä ei myöskään syntynyt yhtään. COD-päästöjä ei syntynyt pintaveteen eikä sitä myöskään päätyntä ulkoiseen vedenpuhdistukseen. Kansainvälisesti Nouryonilla syntyi Nox-päästöjä sekä haitallisia ilmastopäästöjä satoja tonneja. COD-päästöjä syntyi pintaveteen ja ulkoiseen jätevedenpuhdistukseen kumpaankin tuhansissa tonneissa mitattavia määriä. Tällä osa-alueella Oulun tehdas pärjäsikin kansainvälisesti Nouryoniin verrattuna erinomaisesti, parannettavaa ei löytynyt.

Jätettä Oulun tehtaalla syntyi noin puolet vähemmän tuotettua tonnia kohden seurantajakson aikana. Oulussa sekä kansainvälisesti seurantajakson aikana jätteen määrä suhteessa tuotantoon laski. Oulussa on myös ollut nähtävillä haitallisen kaatopaikkajätteen määrän merkittävää kasvua. Kansainvälisesti haitallisen kaatopaikkajätteen määrä laski seurantajakson aikana. Oulussa oli nähtävillä haitallisen jätteen määrän nousua, joka selittyy vuosikymmenien takaisten päästöjen aiheuttaman maa-aineksen pilaantumisen korjaustoilla. Pilaantunutta maa-ainesta on poistettu ja se on pääasiassa päätyntä kaatopaikalle.

ISO-14001/RC-14001 sertifikaatti löytyy Oulusta, kuten Nouryonissa kansainvälisesti keskimäärin yli 90 % tuotantoyksiköistä. Lisäksi Oulusta löytyy ISO-9001 sertifikaatti ja saman aikaisesti se on löydettävissä noin 85 % muista Nouryonin tuotantoyksiköistä. OHSA-18001/RC-180011 ja ISO45001 sertifikaatti löytyy noin 40 % tuotantoyksiköstä Nouryonilla kansainvälisesti. Oulussakin ISO45001 sertifikaatti on ollut voimassa, mutta sitä ei ole sisäisesti tai ulkoisesti koettu tarpeelliseksi ja tehdas on jätetty sertifioimatta vuodesta xxxx lähtien. Sertifikaatin vaatimat asiat ovat olemassa, monilta osin myös käytössä Oulussa, niitä ei vain ole auditoitu ja täten sertifioitu. Sertifikaatit ovat tärkeitä, sillä niillä voidaan osoittaa toiminnan olevan hyvin organisoitua sekä toteutettua. Oulun tehtaalle kehityskohdeena voisi pitää ISO45001 sertifioitua.

8 POHDINTA

Teollisuus 4.0:n teknologioiden soveltaminen Teollisuus 5.0 -kontekstissa on avainasemassa. Toisin sanoen kyse on enemmänkin ajattelutavan kehittämisestä siinä, miten teknologioita hyödynnetään. Aikaisemmin teknologiaa on hyödynnetty melko puhtaasti vain liikevoiton maksimoinniksi, välittämättä ympäristöstä, yhteiskunnasta ja ihmisistä pitkällä aikavälillä. Toisin sanoen Teollisuus 4.0:n tehokkuus- ja tehostamisajattelu on viety liian pitkälle. Teollisen mittakaavan tuotannon katsantokantaa pitäisi avartaa pitemmän aikavälin voiton ja hyvinvoinnin luomiseen, johon liittyy vahvasti ympäristön, ilmaston, ihmisten ja maapallon hyvinvointi. Historiallisesti on keskitytty kilpailemaan voitoista ”kustannuksella, millä hyvänsä”. Kolmannen teollisen vallankumouksen aikana voitontavoittelu tehtiin ihmisten kustannuksella, aiheuttaen inhimillistä kärsimystä. Myöhemmin voittoa on enenevässä määrin tehty ympäristön kustannuksella, mikä on luonut tilanteen, jossa maapallon ilmasto, vesistöt ja maaperä ovat saastuneet ja saastuvat kiihtyvällä nopeudella kohti kriittistä pistettä, josta ei ole paluuta.

Sen lisäksi voittoa on luotu heikompiosaisen maiden väestön kustannuksella. Länsimaissa ollaan tilanteessa, jossa meille tulee pakolaisia kehitysmaista huonoista elinolosuhteista, jotka osittain selittyvät sillä, että kehitysmaat ovat jääneet länsimaiden kehityksen jalkoihin. Siten on syntynyt massiivisia siirtolaismassoja, jotka hakevat parempaa elämää länsimaista. Meidän tulisi kyetä auttamaan kehittymättömämpien maiden kansoja, luomalla reilumpaa kaupan käyntiä, ja pyrkimällä hillitsemään saastumista. Näin antaisimme tilaa, mahdollisuuden, työkalut sekä aikaa heikompiosaisille kansoille kehittyä.

Agenda 2030 ja Teollisuus 5.0 nivoutuvat toisiinsa. Suomen hallitus on sitoutunut kestävän kehityksen edistämiseen, jossa teknologiaa käytetään ihmisten, ympäristön ja yhteiskunnan hyvinvoinnin hyväksi. Agenda 2030 tavoitteet, kuten ilmastotoimet, reilukauppa ja sosiaalinen oikeudenmukaisuus, tukevat Teollisuus 5.0 periaatteita, jotka painottavat pitkän aikavälin kestävyttä. Monikansallisille yrityksille tämä tuo mahdollisuuksia parantaa kilpailukykyä, tehokkuutta ja vastuullisuutta globaaleilla markkinoilla noudattamalla kestävän kehityksen periaatteita.

8.1 Tulevaisuuden suunnat ja suositukset

Merkittävä asia tuotannon kehityksessä ja kilpailukyvyssä on sähkön hinta, johon muutoksia on mahdollista tuottaa myös yrityksiä korkeammalla taholla, hallituksella. Hallitus voisi esimerkiksi jakaa Suomen vähintään kahteen sähkön hinta-alueeseen esim. pohjoiseen ja eteläiseen, pohjoisen raskaan energiatiheän teollisuuden, tuotannon ja työpaikkojen turvaamiseksi. Olisi myös hyvä varmistaa yritysten kyky huolehtia omasta energiatehokkuudestaan.

Jatkossa yritysten ja tehtaiden tehokkuuden vertailua voisi hyödyttää uuden tehokkuusmittarin luominen. Mittarilla mitattaisiin organisaatiotehokkuutta ja sitä voitaisiin käyttää vertailussa vastaavien tehtaiden kanssa. Mittarissa otettaisiin huomioon tuotantoon käytetyt henkilötyötunnit, tapaturmat, sairauspoissaolot, kunnossapitotyötunnit ja nämä ilmoitettaisiin miljoonaa tuotettua tonnia kohden. Tämän mittarin avulla voitaisiin verrata organisaation suorituskykyä sisäisesti sekä ulkoisesti, ja toisaalta sitä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi markkinoinnissa, jolloin asiakas voisi vertailla eri organisaatioiden tehokkuutta suhteessa hyvinvointiin. Toisaalta esimerkiksi tulevaisuudessa yritystuki-, energia- ja tullipolitiikassa voitaisiin ottaa tämänkaltaisia mittareita huomioon. Samanlaisia mittareita voitaisiin luoda myös ympäristövaikutuksista ja paikallisista sosioekonomisista vaikutuksista. Tällaisten mittareiden käyttöönotto ja seuranta ajaisivat läpinäkyvyyttä sekä entistä vastuullisempaa, ihmiset, ympäristön ja tehokkuuden huomioonottavaa päätöksentekoa.

Jatkuvan kehityksen merkitystä ei voi olla painottamatta liikaa teollisuuden tulevaisuuden kannalta. Kehitys on merkittävä osa elämää. Se on tarpeellista yrityksille, valtioille, yksilöille sekä kutakuinkin mille tahansa entiteetille tai instituutiolle. Globalistuminen ja kilpailun koveneminen aiheuttavat jatkuvia muutoksia työmarkkinoille, ja muutoksiin mukautuminen vaatii jatkuvaa kehittymistä. Ne, jotka eivät pysty kehittymään häviävät kovassa kilpailussa. Meillä on rajallinen kyky ennakoida muutoksia, mutta ne eivät aina tule suurina yllätyksinä. Vaikka voisimme suurella todennäköisyydellä olla varmoja tulevasta muutoksesta, emme silti aina kykene ennakoimaan ja sopeutumaan muutokseen tehokkaasti. Esimerkiksi ilmastonmuutosta torjuessa emme ole ihmiskuntana kyenneet tekemään riittävän vaikuttavia ratkaisuja ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi. Teollisuus 5.0:n

mukaiset toimintatavat ovat avainasemassa rakentaessamme resilienttiä ja hyvinvoivaa liiketoimintaa huomioon ottaen tulevaisuuden haasteet resurssien ja energian tuotannon suhteen. Varmistaaksemme resilienssin ja hyvinvoinnin yhteiskunnan kaikilla osa-alueilla, on meidän kaikkien kyettävä kehittämään Teollisuus 5.0:n viitoittamaan suuntaan erityisesti kiertotalouden periaatteiden mukaisesti.

Elämän monimuotoisuus on rikkaus, sillä se mahdollistaa monia asioita, kuten muutokseen sopeutumisen. Jokainen ihminen on erilainen ja kykenee sopeutumaan muutokseen eri tavoin. Jatkossa tarvitsemmekin paljon erilaisia ihmisiä tulevaisuuden haasteiden edessä. Tässä kohtaa korostuu Teollisuus 5.0 -viitekehityksen ihmiskeskeisyys, jota kunnioittamalla pystymme parantamaan yksilöiden ja siten myös työyhteisöjen ja yksittäisten yritysten resilienssiä.

Nähdäkseni Oulun tehdas on edennyt tiellä kohti Teollisuus 5.0:n mukaista tulevaisuutta hienosti. Suomen kaltainen kehittynyt maa on mahdollisesti antanut tehtaalle etua kilpailussa ekologisuudesta verraten Nouryonin kansainväliseen sisäiseen kilpailuun. Suomen hallitus on sitoutunut agenda 2030 mukaisiin arvoihin ja niiden edistämiseen, tämän pohjalta voidaan olettaa, että tulevaisuudessa-kin Oulun tehtaalla tulee olemaan ympäristön luomia mahdollisuuksia kehittyä entistäkin ekologisemmaksi, esimerkiksi vetytalouden kehittyessä.

Nouryon Finland Oy Oulun tehtaalla voitaisiin harkita omaa sähköntuotantoa. Tehtaassa syntyy prosessin sivutuotteena merkittäviä määriä vetyä. Vetyä voitaisiin esimerkiksi varastoida, ja siitä voitaisiin sähkön hintapiikkien aikaan tehdä sähköä. Tämä vaatisi investointeja, jotta vetyenergiaa pystyttäisiin energiatuotannossa hyödyntämään. Investoinnin kannattavuus vaatii kustannustehokkuusarvion.

Lopuksi voidaan todeta Nouryonin Oulun tehtaalla olevan verrattain hyvässä asemassa Nouryoniin kansainvälisesti kyvyssään vastata Teollisuus 5.0 viitekehityksen asettamiin haasteisiin ja tarttua sen luomiin mahdollisuuksiin. Oulun tehdas on edennyt hyvin Teollisuus 5.0 viitekehityksen ohjaamaan suuntaan ja sitoutumalla näihin arvoihin on tehtaalla jatkossa hyvät mahdollisuudet olla menestyksessä.

LÄHTEET

Apiday 2024. The guide to EcoVadis certification: frequently asked questions. Viitattu 16.09.2024 <https://www.apiday.com/blog-posts/the-guide-to-ecovadis-certification-frequently-asked-questions#what-is-an-ecovadis-rating-the-assessment-methodology>

Boningari, H. & Smirniotis, P-G. 2016. Impact of nitrogen oxides on the environment and human health: Mn-based materials for the NOx abatement. *Current Opinion in Chemical Engineering*, Vol 13, 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2016.09.004>.

Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G. & Sartor, M. 2020. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, Vol 226, 107617. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>

Ekokompassi 2023. Hiilijalanjäljen laskenta opastaa toimenpiteisiin käytännön ympäristötyössä. Viitattu 12.09.2024 <https://ekokompassi.fi/yrityksen-hiilijalanjalki-vastuullisen-yrityksen-kompassi/>

European Commission 2021. Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe ESIR Policy Brief No. 3, 3-13. Viitattu 05.02.2024 https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-transformative-vision-europe_en

Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P. & Morales, M-E. 2021. Industry 4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants, *Journal of Cleaner Production*, Vol 302. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052>.

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Tseng, M-L., Grybauskas, A., Stefanini, A. & Amran, A. 2023. Behind the definition of Industry 5.0: a systematic review of technologies, principles, components, and values. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 40:6, 432-447. DOI: 10.1080/21681015.2023.2216701

Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Fathi, M., Rejeb, A., Foroughi, B. and Nikbin, D. 2024. Beyond Industry 4.0: a systematic review of Industry 5.0 technologies and implications for social, environmental and economic sustainability, *Asia-Pacific Journal of Business Administration*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/APJBA-08-2023-0384>

Groumpos, P-P. 2021. A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions, *IFAC-PapersOnLine*, Vol 54, Issue 13, 464-471. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492>.

Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D. & Wang, L. 2022. Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol 64, 424-428. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.010>.

Janis, I. & Zulkipli, M. 2020. Female Employment in the Manufacturing Sector of Industry 4.0: A SWOT Analysis. *Sains Humanika*, 12(2-2), 27-34.
<https://doi.org/10.11113/sh.v12n2-2.1781>

Kalchschmid, V., Erhart, V., Angerer, K., Roth, S. & Hohmann, A. 2023. Decentral Production of Green Hydrogen for Energy Systems: An Economically and Environmentally Viable Solution for Surplus Self-Generated Energy in Manufacturing Companies? *Sustainability*. Vol 15, 2994.
<https://doi.org/10.3390/su15042994>

Kean, N.C. 2015. Determinants of Employee Turnover in Manufacturing Company. Thesis, School of Business Management, College of Business Universiti Utara Malaysia. Viitattu 18.09.2024
etd.uum.edu.my/5520/2/s812378_02.pdf

Kelly, F.J. & Fussell, J.C. 2015. Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environ Geochem Health* 37, 631–649. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9720-1>

Khaleel, M., Yusupov, Z., Guneser, M. T., Nassar, Y., El-Khozondar, H., Ahmed, A. & Alsharif, A. 2024. Towards Hydrogen Sector Investments for Achieving Sustainable Electricity Generation. *Solar Energy and Sustainable Development*. Vol 13, 71-80. <https://doi.org/10.51646/jsesd.v13i1.173>

Korva, T. 2024. Nouryon Finland Oy. Toimitusjohtajan kanssa käyty keskustelu Nouryon Finland Oy:n Oulun tehtaasta 26.11.2024

Mabkhot, M.M., Ferreira, P., Maffei, A., Podržaj, P., Mądział, M., Antonelli, D., Lanzetta, M., Barata, J., Boffa, E., Finžgar, M., Paško, Ł, Minetola, P., Chelli, R., Nikghadam-Hojjati, S., Wang, X.V., Priarone, P.C., Lupi, F., Litwin, P., Stadnicka, D. & Lohse, N. 2021. "Mapping Industry 4.0 Enabling Technologies into United Nations Sustainability Development Goals". *Sustainability (Basel, Switzerland)*. Vol 13, Nro 5, 2560. <https://doi.org/10.3390/su13052560>

Masoomi, B., Sahebi, I. G., Ghobakhloo, M. & Mosayebi, A. 2023. Do industry 5.0 advantages address the sustainable development challenges of the renewable energy supply chain?, *Sustainable Production and Consumption*, Vol 43, 94-112. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.018>

Mesjasz-Lech, A. 2023. Can Industry 5.0 be seen as a remedy for the problem of waste in industrial companies?, *Procedia Computer Science*, Vol 225, 1816-1825. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.171>.

Nasr, F.A., Doma, H.S. & Abdel-Halim, H.S. 2007. Chemical industry wastewater treatment. *Environmentalist* 27, 275–286.
<https://doi.org/10.1007/s10669-007-9004-0>

Nouryon 2022a. ESG Reporting, highlights and key facts. Viitattu 30.01.2024
<https://www.nouryon.com>.

Nouryon 2022b. Sustainability Report 2022. Viitattu 30.01.2024
<https://www.nouryon.com/globalassets/nouryon/4.-company/4.-sustainability/downloads/sustainability-report-2022-english.pdf>

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2015. Kehittämistyön menetelmät: Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3.-4. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy, 52-55.

Pasman, H. 2012. Process Safety Performance Indicators. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, Vol. VII, No. 2, 27-35. DOI: 10.2478/v10281-012-0007-8

Philibert, C. 2017. Renewable Energy for Industry. Pariisi Cedex: IEA Publications, 6.

Raja Santhi, A. & Muthuswamy, P. 2023. Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. International journal on interactive design and manufacturing. Vol 17, Nro 2, 947-979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>

Sabljić, A. 2009. Environmental and Ecological Chemistry. Vol 1, 8-11. Oxford: Eolss Publishers Co. Ltd.

SFS 2024a. Viitattu 17.09.2024. <https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittu-standardit/iso-45001-tyoterveys-ja-tyoturvallisuusjohtaminen/>

SFS 2024b. Viitattu 17.09.2024. <https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittu-standardit/iso-9001-laadunhallinta/>

SFS 2024c. Viitattu 17.09.2024. <https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittu-standardit/iso-14000-ymparistojohtamisen-standardisarja/>

Simón, C., Raquel, M. & Pilar, R. 2007. Beyond 'Revenue Per Head'?: Human Capital Metrics, Firm Performance and the Teaching of HRM in Business Schools Instituto de Empresa Business School Working Paper No. WP07-05, 1-12. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1014638>

Soltanzadeh, A., Yarandi, MS., Jazari, MD. & Mahdinia, M. 2022. Incidence investigation of accidents in chemical industries: A comprehensive study based on factor analysis. Process Saf Prog. 2022; 41(3): 531-537. doi:10.1002/prs.12335

Suomen YK-liitto 2023. Planeetan rajat. Viitattu 30.01.2024
<https://www.ykliitto.fi/kestava-kehitys/planeetan-rajat>

Zizic, M.C., Mladineo, M., Gjeldum, N. & Celent, L. 2022. From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology. Energies 2022, Vol 15, 5221. <https://doi.org/10.3390/en15145221>.

Ölmez, H. & Kretzschmar, U. 2009. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact, LWT - Food Science and Technology, Vol 42, Issue 3, 686-693. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.001>.