Tampereen yliopisto

Eeva Kari

TEOLLISEN EKOSYSTEEMIN MATERIAALI-, ENERGIA- JA VESIKIERROT

Esimerkkinä Harjavallan suurteollisuuspuisto

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Marika Kokko
Joulukuu 2025

TIIVISTELMÄ

Eeva Kari: Teollisen ekosysteemin materiaali-, energia- ja vesikierrot - Esimerkkinä Harjavallan suurteollisuuspuisto
Material, energy and water circulation in an industrial ecosystem - Industrial park in Harjavalta as an example
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden kandidaattiohjelma, ympäristö- ja energiatekniikan opintosuunta
Joulukuu 2025

Teollinen tuotanto on riippuvaista luonnonvarojen kulutuksesta ja sillä on merkittävät ympäristövaikutukset. Erityisesti metalliteollisuus nojaa uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöön. Ympäristövaikutuksia pystytään kuitenkin vähentämään lisäämällä materiaalien, energian ja veden kiertoa teollisuudessa. Yksi mahdollisuus tällaisen kiertotalousajattelun lisäämiseen teollisuudessa on teollinen ekosysteemi.

Tässä työssä tarkastellaan, mitä teollinen ekosysteemi tarkoittaa ja miten se kytkeytyy kiertotalouteen ja kestävään kehitykseen. Teolliseen ekosysteemiin perehdytään erityisesti kemian- ja metallinjalostusteollisuuden näkökulmasta. Lisäksi tarkastellaan, miten materiaaleja, energiaa ja vettä käytetään teollisuudessa ja miten niitä voidaan kierrättää. Esimerkkinä teollisesta ekosysteemistä käytetään Harjavallan suurteollisuuspuistoa. Työssä kuvataan Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten toimintaa, yritysten välisiä kytköksiä avulla ja analysoidaan yritysten energian- ja vedenkulutusta. Tämän jälkeen tarkastellaan, kuinka hyvin teollinen ekosysteemi ja materiaalien veden ja energian kierto toteutuu Harjavallan suurteollisuuspuistossa ja miltä osin aiheessa on vielä kehitettävää.

Teollinen ekosysteemi on ryhmä teollisia toimijoita, jotka ovat sitoutuneet hallinnoimaan materiaali-, energia- ja vesivirtojaan toisistaan riippuvalla tavalla. Teolliset toimijat sijaitsevat yleensä maantieteellisesti lähellä toisiaan ja niiden muodostama teollinen ekosysteemi jäljittelee luonnon ekosysteemiä. Raaka-aineet ja energia voivat olla uusiutuvista tai uusiutumattomista lähteistä. Energiaa kuluu koneiden ja laitteiden käyttöön, lämmitykseen, ilmanvaihtoon, ilmastointiin ja valaistukseen. Yleisiä energian käyttömuotoja ovat sähkö, paineilma, höyry ja vesi. Vettä käytetään tuotteiden valmistukseen, prosessointiin, jäähdytykseen, lämmitykseen, puhtaanapitoon ja talousvedeksi.

Harjavallan suurteollisuuspuisto on kemian- ja metallinjalostusteollisuuteen sekä prosessienergian hyötykäyttöön keskittynyt tehdasalue. STEP Oy vastaa joki- ja pohjaveden sekä lämmön, höyryn ja paineilman toimituksesta alueen yrityksille. STEP Oy vastaa myös prosesseissa syntyvän lämmön talteenotosta ja sen jakelusta. Oy Linde Gas Ab tuottaa kaasumaista happea, typpeä ja vetyä alueen yritysten tarpeisiin. Nornickel Harjavalta Oy varastoi nesteytettyä maakaasua, jota toimitetaan Oy Linde Gas Ab:lle ja STEP Oy:lle. Boliden Harjavalta Oy toimittaa muun muassa rikkihappoa, rikkidioksidia ja natriumhydroksidia muiden alueen yritysten tarpeisiin. Merkittävimpiä energian- ja vedenkäyttäjiä Harjavallan suurteollisuuspuistossa ovat Nornickel Harjavalta Oy ja Boliden Harjavalta Oy. Kokemäenjoen raakavettä käytetään suurteollisuuspuistossa suuria määriä erityisesti jäähdytykseen, mutta vedenkulutusta on pyritty vähentämään tekemällä jäähdytysvesikierroista suljettuja.

Kehitettävää Harjavallan suurteollisuuspuistossa on erityisesti jätteen määrän vähentämisessä. Nornickel Harjavalta Oy:n ja Boliden Harjavalta Oy:n tuotantoprosesseissa syntyy merkittäiviä määriä sakkoja ja kuonaa, joita sijoitetaan yhtiöiden vaaralliseen jätteen kaatopaikoille. Jätettä voitaisiin kuitenkin tulevaisuudessa hyödyntää esimerkiksi geopolymeerien tai sementin valmistuksessa. Alueen toimintaa kehitettäessä on hyvä tarkastella mahdollisuuksia yritysten välisten kytkösten lisäämiseen. Suurteollisuuspuiston viereen rakentuva akkuklusteri ja vihreän vedyn tuotantolaitos tuovat mahdollisuuksia teollisen ekosysteemin laajentamiseen.

Avainsanat: kiertotalous, teollinen ekosysteemi, materiaalivirta, energiankäyttö, vedenkäyttö, jäähdytysvesikierto, Harjavallan suurteollisuuspuisto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check –ohjelmalla.

Opinnäytteessäni käytetyt tekoälytyökalut ja niiden käyttötarkoitukset on kuvailtu alla:

Scopus AI:
Käyttötarkoitus ja osio, jossa työkalua käytettiin: aihepiiriin liittyvien käsitteiden etsiminen ja lähteiden etsiminen lukuihin 2 ja 3

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien tekoälyllä tuotetut osat, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. TEOLLINEN EKOSYSTEEMI 3
2.1 Teollinen ekologia 3
2.2 Teollinen ekosysteemi kemian- ja metallinjalostusteollisuudessa 3
2.3 Kestävän kehityksen edistäminen teollisen ekosysteemin kautta 4
3. MATERIAALI-, ENERGIA- JA VESIVIRRAT TEOLLISUUDESSA 6
3.1 Materiaalivirrat teollisuudessa 6
3.2 Energiavirrat teollisuudessa 7
3.3 Vesivirrat teollisuudessa 9
4. TEOLLINEN TOIMINTA HARJAVALLAN SUURTEOLLISUUSPUISTOSSA 10
4.1 Harjavallan suurteollisuuspuiston alueella toimivat yritykset 10
4.1.1 Suomen Teollisuuden Energiapalvelut Oy 10
4.1.2 Oy Linde Gas Ab 11
4.1.3 Boliden Harjavalta Oy 11
4.1.4 Nornickel Harjavalta Oy 12
4.1.5 Kemira Oyj 13
4.2 Lähtötiedot ja laskelmat 14
4.3 Materiaali-, energia- ja vesivirrat 15
4.4 Hyödyntämättömät sivuvirrat 18
5. HARJAVALLAN SUURTEOLLISUUSPUISTON TEOLLINEN EKOSYSTEEMI 20
5.1 Materiaali- ja energiavirrat Harjavallan suurteollisuuspuistossa 20
5.3 Vesivirrat Harjavallan suurteollisuuspuistossa 22
5.3 Mahdollisuuksia teollisen ekosysteemin kehitykseen 24
6. JOHTOPÄÄTÖKSET 26
LÄHTEET 28
LIITE A: ENERGIANTUOTANTO HARJAVALLAN SUURTEOLLISUUSPUISTOSSA 31

1. JOHDANTO

Teollinen ekosysteemi on luonnon ekosysteemiä jäljittelevä ryhmä teollisia organisaatioita, jotka hallinnoivat raaka-aineita ja lopputuotteita yhteistyössä ja toisistaan riippuvalla tavalla. Teollisen ekosysteemin avulla pystytään ymmärtämään materiaalien ja energian kierto kokonaisuutena ja sen kautta vähentämään ympäristövaikutuksia. [1, s. 264]

Teolliseen ekosysteemiin tuodaan syötteenä raaka-aineita, energiaa ja vettä. Raaka-aineena hyödynnetään erilaisia luonnonvaroja, jotka voivat olla uusiutuvia tai uusiutumattomia. [1, s. 341] Teollisessa tuotannossa vettä käytetään tuotteiden valmistukseen, prosessointiin, jäähdytykseen, lämmitykseen, puhtaanapitoon ja talousvedeksi [2]. Raaka-aineiden tapaan myös energiavirrat voivat olla uusiutuvista tai uusiutumattomista lähteistä [3]. Energiaa tarvitaan teollisuudessa koneiden ja laitteiden lisäksi lämmitykseen, ilmanvaihtoon, ilmastointiin, valaistukseen ja käyttöveden lämmitykseen. Energian käyttömuotoja ovat sähkön lisäksi muun muassa paineilma, höyry ja vesi. [4, s. 37]

Kandidaatintyön aiheena on teollisen ekosysteemin materiaali-, energia- ja vesivirrat. Työn tavoitteena on selvittää, mitä teollinen ekosysteemi tarkoittaa kemian- ja metallinjalostusteollisuudessa ja miten ekosysteemiajattelu edistää kestävää kehitystä. Esimerkkinä työssä tarkastellaan Harjavallan suurteollisuuspuistoa. Tarkoituksena on selvittää alueelle tulevat raaka-aineet, aineiden kierto alueen sisällä ja alueelta lähtevät tuotteet. Samoin energian osalta selvitetään alueen käyttämä energia ja mahdollinen syntyvä energia. Vesien käytöstä selvitetään vedenoton määrä ja vesien kierrättämisen ja jätevesien osuus. Työn lopussa esitetään joitain kehitysehdotuksia Harjavallan suurteollisuuspuiston teolliselle ekosysteemille.

Tutkimuskysymykset ovat:

1. Mitä teollinen ekosysteemi tarkoittaa?
    1.1. Miten teollinen ekosysteemi edistää kestävän kehityksen toteutumista?
2. Millaisia materiaali-, energia- ja vesivirtoja teollisessa ekosysteemissä on?
3. Miten teollinen ekosysteemi toteutuu Harjavallan suurteollisuuspuistossa?
    3.1. Miten ekosysteemin toteutumista voidaan kehittää?

Taustana työlle toimii vuonna 2004 Oulun yliopiston prosessi- ja ympäristötekniikan osaston julkaisema raportti, jossa käsitellään samaa aihetta [5]. 20 vuoden aikana on kuitenkin tapahtunut monia muutoksia alueen yritysten toiminnassa. Työ rajataan tarkastelemaan Harjavallan suurteollisuuspuistossa tapahtuvaa teollista toimintaa ja siellä toimivia yrityksiä. Lisäksi rajataan teollisen ekosysteemin tarkastelu materiaalien, energian ja veden kiertoon, eikä tarkastella esimerkiksi yritysten hallinnollista yhteistyötä.

Luvut 2 ja 3 ovat teorialukuja. Luvussa 2 käsitellään tarkemmin teollinen ekosysteemi -käsitettä ja sen liittymäkohtia teolliseen ekologiaan ja kiertotalouteen. Luvussa 3 käsitellään energian, materiaalien ja vedenkäyttöä teollisuudessa. Luvussa 4 on esitelty työssä käsiteltävät materiaalit ja menetelmät eli Harjavallan suurteollisuuspuiston yrityksiin liittyvät pohjatiedot. Tulokset eli teollisen ekosysteemin toteutuminen Harjavallan suurteollisuuspuistossa käsitellään luvussa 5 ja luvussa 6 on johtopäätökset.

2. TEOLLINEN EKOSYSTEEMI

Teollinen ekosysteemi on saman tapainen kuin luonnon ekosysteemi tai jäljittelee luonnon ekosysteemiä. Teollinen ekosysteemi on ryhmä teollisia organisaatioita, jotka hallinnoivat raaka-aineita ja lopputuotteita yhteistyössä ja toisistaan riippuvalla tavalla. [1, s. 264] Teollinen ekosysteemi voi käsittää sekä materiaali- että energiavirrat. Teollista ekosysteemiä voidaan tarkastella myös organisatorisesta näkökulmasta, jossa organisaatiot sijaitsevat fyysisesti samalla, rajatulla alueella ja tekevät tiivistä yhteistyötä [6].

2.1 Teollinen ekologia

Teollinen ekosysteemi on osa teollista ekologiaa. Teollinen ekologia perustuu ajatukselle, että teolliset systeemit noudattavat luonnon systeemien periaatteita. Teollisessa ekologiassa tutkitaan materiaalin ja energian virtoja ja niiden vaikutuksia ympäristöön. Lisäksi tutkitaan resurssien käytön taloudellisia, sosiaalisia ja poliittisia vaikutuksia. Käsite teollisesta ekologiasta voidaan ulottaa myös hallinnolliseen systeemiin. [1, s. 264]

Teollisen ekologian käsitteessä on samoja piirteitä kuin tällä hetkellä paljon käytetyssä kiertotalous-käsitteessä. Kiertotalous on tuotanto- ja kulutusmalli, jossa olemassa olevat materiaalit ja tuotteet hyödynnetään mahdollisimman pitkälle. Tuotteiden elinkaarta pyritään pidentämään lainaamalla, vuokraamalla, kunnostamalla ja kierrättämällä. Jätemäärä pyritään minimoimaan ja materiaalit hyödyntämään uudelleen. [7] Teollinen ekologia on yksi tapa edistää kiertotalouden toteutumista.

2.2 Teollinen ekosysteemi kemian- ja metallinjalostusteollisuudessa

Kemian- ja metallinjalostusteollisuus hyödyntää monia uusiutumattomia raaka-aineita, joita on vain rajallisesti saatavilla. Yhteiskunta on kuitenkin hyvin riippuvainen teollisuuden tuotteista. EU on määrittänyt kriittiset raaka-aineet, joiden kysyntä tulee kasvamaan digitalisaation ja energiatehokkuuden lisääntyessä ja ilmastoneutraaliutta tavoiteltaessa. Osa kriittisistä aineista on määritelty myös strategisiksi raaka-aineiksi, joita tarvitaan vihreään siirtymään, digitalisaatioon ja puolustusteollisuuteen. Strategisten raaka-aineiden tarjonta ja kysyntä eivät tällä hetkellä kohtaa ja tuotannon

lisääminen on haastavaa. [8] Metallien suuren kysynnän vuoksi jalostusteollisuus on riippuvainen kaivostoiminnalla saatavista neitseellisistä raaka-aineista [9].

Ekosysteemiajattelua voidaan edistää lisäämällä kierrätysraaka-aineiden hyödyntämistä (urban mining) [9]. Kuitenkin neitseellisiä raaka-aineita joudutaan edelleen hankkimaan ja on tärkeä huolehtia kaivostoiminnan sivuvirtojen hyödyntämisestä. Tällä hetkellä kaivostoiminnassa syntyy suuria määriä jätettä, jota ei pystytä hyödyntämään. [10] EU:n kriittisiä raaka-aineita koskevassa säädöksessä on asetettu tavoitteita vuodelle 2030. Tällöin unionin malmien, mineraalien tai rikasteiden louhintakapasiteetilla tuotettaisiin vähintään 10 %:a strategisten raaka-aineiden kulutuksesta. Unionin jalostuskapasiteetilla on tavoitteena voida tuottaa 40 %:a unionin vuotuisesta strategisesta raaka-aineiden kulutuksesta. Lisäksi tavoitteena on, että kierrätyskapasiteetilla tuotetaan vähintään 25 %:a strategisten raaka-aineiden kulutuksesta. Samasta kolmannesta maasta saa tulla enintään 65 %:a kriittisestä materiaalista. [11]

Suomessa Kemianteollisuus ry on asettanut tavoitteen olla luontopositiivinen ja hiilineutraali vuonna 2045. Keskeisenä keinona tavoitteiden saavuttamiseen on bio- ja kiertotalous, jossa sivuvirtoja ja kierrätysraaka-aineita pystyttäisiin hyödyntämään. [12] Kemianteollisuudessa on tapana sijoittaa toisiinsa liittyviä toimintoja maantieteellisesti samalle alueelle, jolloin muodostuu teollisuuspuisto. Teollisuuspuistoja kehittämällä voidaan edistää teollisen ekosysteemin toteutumista. [13] Kemian- ja metallinjalostusteollisuuden lisäksi teollisia ekosysteemejä on käytössä muun muassa metsäteollisuudessa. Eri toimialat linkittyvätkin, kun selluntuotannon ympärille pyritään saamaan myös sivuvirtoja jalostavaa kemianteollisuutta. [14]

2.3 Kestävän kehityksen edistäminen teollisen ekosysteemin kautta

Kestävä kehitys on yhteiskunnallista muutosta, jonka tavoitteena on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville mahdollisuus hyvään elämään. Toiminnassa ja päätöksenteossa tulee ottaa huomioon kestävän kehityksen kolme osa-aluetta: ekologinen kestävyys, taloudellinen kestävyys sekä sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys. [15]

Teollinen ekosysteemi on hyvä tapa edistää kestävää kehitystä teollisessa toiminnassa. Yritykset pystyvät lisäämään materiaalien, energian ja veden kiertoa uudelleenkäyttämällä ja kierrättämällä niitä teollisessa ekosysteemissänsä. Teolliset ekosysteemit vaativat jatkuvaa kehitystä kohti kestävämpää toimintaa, sillä teollisuus on edelleen merkittävä ympäristöpäästöjen aiheuttaja. Kehityksestä onkin hyötyä niin yritykselle, teollisuudenalalle kuin yhteiskunnallekin. [16]

Ymmärtämällä teollinen materiaalien ja energian kierto kokonaisuudessaan, pystytään vähentämään ympäristövaikutuksia. Työkaluina voidaan käyttää elinkaariarviointia sekä materiaalivirtalaskentaa. [1, s. 264] Kestävän kehityksen mukaisessa teollisessa ekosysteemissä energian, materiaalien ja vedenkulutus on optimoitu, jätteen määrä minimoitu. [6] Tavoitteena on luontoa vastaavat suljetut kierrot teollisuudessa, jossa jätteet voitaisiin hyödyntää raaka-aineena ja prosessi ei olisi altis häiriöille, vaan pystyisi mukautumaan muutoksiin [1, s. 264].

3. MATERIAALI-, ENERGIA- JA VESIVIRRAT TEOLLISUUDESSA

Monia välttämättömiä hyödykkeitä tuotetaan prosessiteollisuudella, kuten kemianteollisuudella ja kaivosteollisuudella. Kemianteollisuudessa ja kaivosteollisuudessa hyödynnetään suurta määrää lämpöä ja energiaa, joiden avulla pystytään kemiallisesti muuttamaan raaka-aineita lopputuotteiksi. [17, s. 15] Syötteellä tarkoitetaan systeemiin tuotua materiaalia tai energiaa [1, s. 267]. Tuotteella puolestaan tarkoitetaan systeemillä tuotettua ainetta tai energiaa [1, s. 403].

3.1 Materiaalivirrat teollisuudessa

Materiaalivirralla tarkoitetaan luonnosta ihmisten käyttöön otettua, siirrettyä tai muutettua ainetta [18]. Materiaalivirtoja voidaan tarkastella materiaalivirta-analyysin avulla. Materiaalivirta-analyysillä pystytään systemaattisesti määrittämään materiaalien virtoja ja varastoja, joita tarkastellaan rajatun systeemin ja ajanjakson sisällä. Materiaalivirta-analyysiä tarkastellaan massatasapainon avulla, jossa huomioidaan prosessin syötteet, varastot ja lopputuotteet. [19, s. 3]

Systeemiin tuodaan syötteitä, kuten raaka-aineita. Raaka-aineena hyödynnetään erilaisia luonnonvaroja. Luonnonvarat voivat olla uusiutuvia tai uusiutumattomia. Uusiutumattomia luonnonvaroja on saatavilla rajallisesti tai ne uusiutuvat erittäin hitaasti. [1, s. 351–352] Niitä ovat esimerkiksi fossiiliset luonnonvarat, metallit ja mineraalit [20]. Uusiutuvia luonnonvaroja taas syntyy nopeasti lisää uusiutumattomiin luonnonvaroihin verrattuna, ja niihin kuuluu esimerkiksi biomassa, kuten puu [1, s. 430]. Raaka-aineet voidaan luokitella myös orgaanisuuden perusteella. Orgaaniset raaka-aineet sisältävät hiiltä ja ovat peräisin elollisista organismeista. Epäorgaaniset raaka-aineet puolestaan eivät ole peräisin elollisista organismeista eivätkä siis sisällä hiiltä. [1, s. 267]

Suomessa käytettiin vuonna 2024 raakapuuta yhteensä 76,7 miljoonaa kiintokuutiometriä. Tästä suurin osa, 82 %:a, käytettiin metsäteollisuuden tarpeisiin. Metsäteollisuuden puunkäyttö jakautui puutuoteteollisuuden ja massateollisuuden kesken. Loput 18 %:a raakapuusta käytettiin energiaksi pientaloissa, sekä lämpö- ja voimalaitoksilla. [21]

Suomen kaivosteollisuudessa kokonaislouhinta vuonna 2022 oli kokonaisuudessaan 119,4 miljoonaa tonnia, josta hyötylouhinta 49,6 miljoonaa tonnia. Hyötylouhintaan kuuluu malmi, karbonaattikivet ja teollisuusmineraalit. [22] Metallimalmikaivosten

lopputuotteena syntyy arvottomien mineraalien poiston jälkeen metallimalmirikastetta [23]. Metallimalmirikasteita vietiin ulkomaille 0,264 miljoonaa tonnia ja tuotiin Suomeen 4,1 miljoonaa tonnia [22]. Ferrokromia pystytään tuottamaan täysin kotimaisista raaka-aineista, mutta esimerkiksi sinkin, nikkelin, kuparin ja koboltin valmistus on riippuvaista tuontiraaka-aineista [23].

Materiaalien muoto muuttuu prosesseissa. Kaivo- ja metalliteollisuuden tuotantoprosesseissa maasta kaivetuista neitseellisistä malmeista erotetaan metallit. [19, s. 53–54] Kemianteollisuudessa raaka-aineita prosessoidaan muun muassa polymeroinnilla, hapetuksella ja pelkistyksellä. Öljystä valmistetaan erilaisia petrokemikaaleja, kuten muovia. [24, s. 1] Lääkeaineita puolestaan voidaan valmistaa synteesillä, eristämällä niitä luonnosta tai fermentaatiolla [24, s. 331]

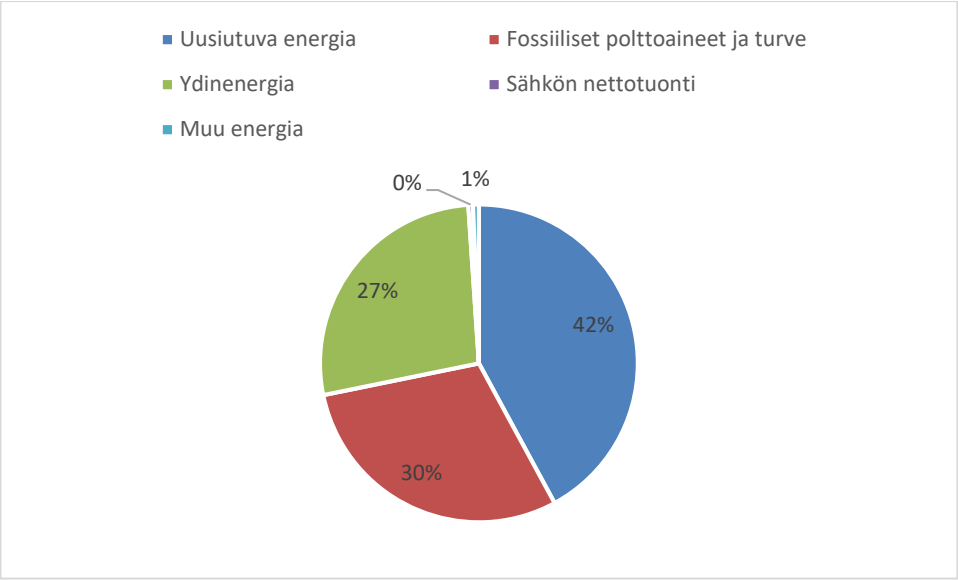
Neitseellisten primääriraaka-aineiden lisäksi raaka-aineena voidaan käyttää myös kierrätettyjä raaka-aineita, joita saadaan esimerkiksi kierrättämällä primääriraaka-aineesta valmistettuja tuotteita tai hyödyntämällä teollisuudessa syntyviä jätteitä ja sivuvirtoja [25]. Paperi- ja pakkausjätettä voidaan hyödyntää uusien paperi- ja kartonkituotteiden valmistamiseen. Metalleja voidaan ottaa talteen elektroniikasta, ajoneuvoista ja kotitalousjätteestä ja sulattaa, jalostaa ja prosessoida uudelleen. Lasista voidaan valmistaa uudestaan lasia, samoin kuin muovijätettä voidaan hyödyntää uusiin tuotteisiin. [26]

Prosessissa syntyvät tuotteet eivät välttämättä mene suoraan kuluttajalle, vaan ne voivat myös olla puolivalmisteita tai välituotteita. Lopputuotetta siis jatkojalostetaan vielä toisessa prosessissa, jotta niistä saadaan valmistettua valmiita kuluttajille meneviä tuotteita. [27]

3.2 Energiavirrat teollisuudessa

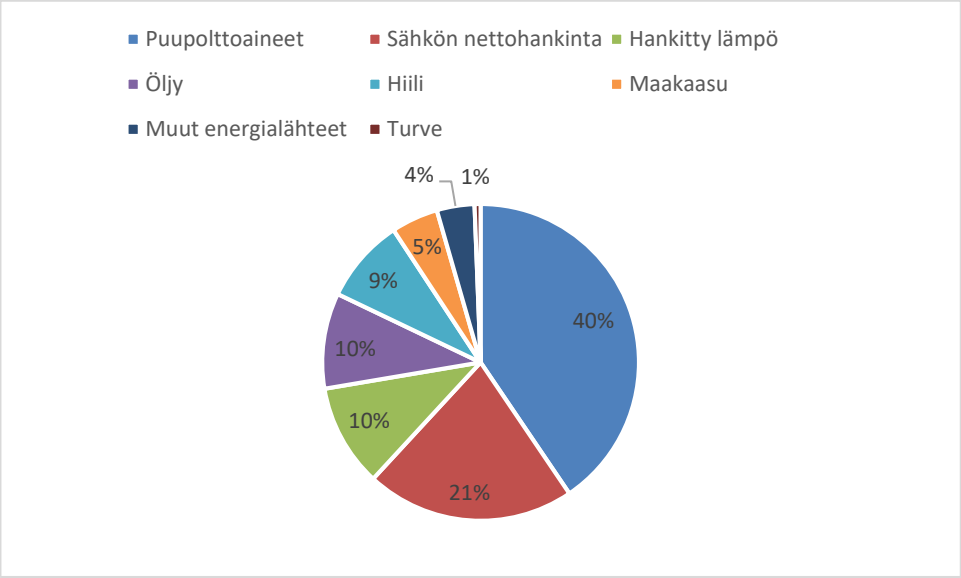
Raaka-aineiden tapaan myös energiavirrat voivat olla uusiutuvista tai uusiutumattomista lähteistä. Uusiutuvaan energiaan luokitellaan vesi-, tuuli- ja aurinkovoima sekä puun poltto. Uusiutumatonta energiaa puolestaan ovat esimerkiksi kivihiili, öljy ja maakaasu. [3]

Kokonaiskulutus Suomessa oli 1 320 000 terajoulea. Kuvassa 1 on esitetty Suomen energiakulutuksen jakautuminen eri energianlähteittäin. Uusiutuvan energian osuus on suurin ja energiaa tuotetaan erityisesti puupolttoaineiden avulla. Kuitenkin fossiilisten polttoaineiden osuus (30 %) on edelleen melko korkea. [28]



Kuva 1. *Energian kokonaiskulutus Suomessa 2023 [28].*

Vuonna 2023 teollisuuden energiankäyttö oli Suomessa 454 000 terajoulea, mikä on noin 34 %:a Suomen kokonaiskulutuksesta. Teollisuuden energiankäytöstä 96 790 TJ muodostui sähköstä, mikä on 43 %:a Suomen kokonaiskulutuksesta. Eniten polttoaineena käytettiin puuta (183 841 TJ) ja lisäksi polttoaineina käytettiin esimerkiksi öljyä, hiiltä ja maakaasua. Hankittua lämpöä oli 47 500 TJ. [29]



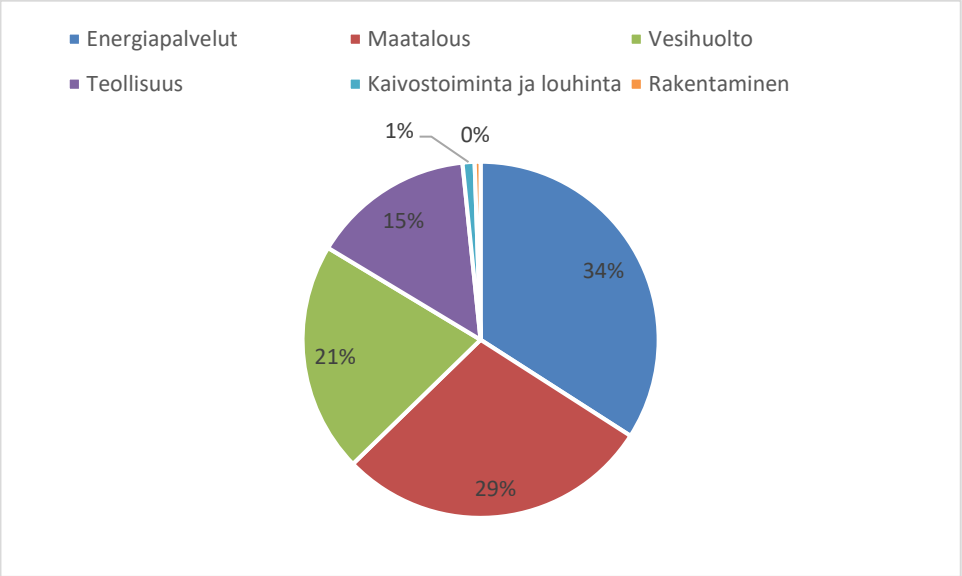
Kuva 2. *Teollisuuden energiankäyttö energialähteittäin Suomessa 2023 [29].*

Teollisuudessa energiaa kuluttavat tuotantoprosessissa teollisuusalan mukaan esimerkiksi koneet ja laitteet, kompressorit ja pumput. Energiaa tarvitaan teollisuudessa myös kiinteistöjen lämmitykseen, ilmanvaihtoon, ilmastointiin, valaistukseen ja käyttöveden lämmitykseen. Energian käyttömuotoja ovat sähkön lisäksi muun muassa paineilma, höyry ja vesi. [4, s. 34–37] Prosessista voidaan ottaa lämpöä talteen ja

hyödyntää sitä muissa tuotantoprosesseissa tai lämpöä voidaan toimittaa kaukolämmöksi.

3.3 Vesivirrat teollisuudessa

Vesi on merkittävä resurssi lähes kaikenlaisessa teollisuudessa. Raakaveden lähteenä voi olla pohjavesi tai pintavesi ja vettä voidaan käsitellä tuotannon tarpeita varten. Eri sektoreiden vertailussa vuonna 2022 EU:ssa eniten vettä on kulutettu energiapalveluissa (Kuva 3). Siellä vettä on käytetty jäähdytykseen yli 65 000 miljoonaa kuutiota vuodessa. Teolliseen tuotantoon (manufacturing) on käytetty lähes 30 000 miljoonaa kuutiota vuonna 2022. Toimialojen yhteenlaskettu vedenkulutus oli 196 600 miljoonaa kuutiota. [30]



Kuva 3. *Vedenkäyttö EU:ssa toimialoittain 2022 [30].*

Teollisessa tuotannossa vettä käytetään tuotteisiin, prosessointiin, jäähdytykseen, lämmitykseen, puhtaanapitoon ja talousvedeksi. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa käytetään paljon tuotteiden raaka-aineena vettä. Paperiteollisuudessa puolestaan suuri osa vedestä kuluu sellun prosessointiin. [2]

Yleinen vedenkäyttökohde on jäähdytys. Energiantuotannon lisäksi jäähdytys on merkittävä osa vedenkäyttöä myös teollisessa tuotannossa [2]. Jäähdytys toteutetaan lämmönvaihtimilla, joissa virtaavalla viileällä vedellä toteutetaan jäähdytys. Myös lämmitys voidaan toteuttaa lämmönvaihtimen avulla. [31, s. 277]

Vedenkulutusta voidaan vähentää uudelleenkäyttämällä ja kierrättämällä vettä. Esimerkiksi jäähdytysvesikierroista voidaan tehdä suljettuja. [2] Vettä voidaan myös puhdistaa ja hyödyntää uudestaan prosesseissa [26].

4. TEOLLINEN TOIMINTA HARJAVALLAN SUURTEOLLISUUSPUISTOSSA

Harjavallan suurteollisuuspuisto on kemian- ja metallinjalostusteollisuuteen sekä prosessienergian hyötykäyttöön keskittynyt tehdasalue. Yritykset jakavat yhdessä erityisesti veden ja energian lähteet, mutta myös hyödyntävät toistensa sivuvirtoja ja lopputuotteita. Alueella käsitellään vaarallisia kemikaaleja ja toiminnalla on merkittävät ympäristövaikutukset, mutta ekosysteemiajattelun kautta ympäristövaikutuksia pystytään pienentämään. [32]

4.1 Harjavallan suurteollisuuspuiston alueella toimivat yritykset

Boliden Harjavalta Oy:llä on Harjavallan suurteollisuuspuistossa kupari- ja nikkelisulatot. Lisäksi yhtiö valmistaa rikkituotteita rikkihappotehtaallaan. Norilsk Nickel Harjavalta Oy (Nornickel Harjavalta Oy) valmistaa suurteollisuuspuistossa nikkeliä ja nikkelikemikaaleja. Kemira Oyj valmistaa Harjavallassa alumiini- ja natriumkemikaaleja sekä laimennettua rikkihappoa. [32]

Oy Linde Gas Ab (ent. Oy AGA Ab) valmistaa Harjavallan tuotantoyksikössään kaasumaista happea, typpeä ja vetyä suurteollisuuspuiston kupari- ja nikkelituotannon tarpeiksi. Suomen Teollisuuden Energiapalvelut Oy (STEP Oy) vastaa suurteollisuuspuiston energiahuollosta. Lisäksi yritys toimittaa alueen toimijoille joki- ja pohjavettä. [28] [32]

4.1.1 Suomen Teollisuuden Energiapalvelut Oy

STEP Oy tuottaa pääasiassa höyryä Harjavallan suurteollisuuspuiston yrityksille. Yhtiö hyödyntää höyrynjakelussa myös teollisuusprosesseista talteen otettua lämpöä. Lisäksi STEP Oy toimittaa paineilmaa ja vettä teollisuusalueelle, sekä prosessi- ja kaukolämpöä suurteollisuuspuiston ja Harjavallan kaupungin tarpeisiin. [33]

Höyryntuotantoon käytettävä pellettikattila (biohöyrykattila) on rakenteeltaan vesiputkikattila, jossa pellettipöly poltetaan pölypolttimella. Puupelletin lisäksi polttoaineena voidaan käyttää nesteytettyä maakaasua. [34] Biohöyrykattilan lisäksi STEP Oy:llä on muun muassa höyrykattila, useita lämmöntalteenottokattiloita ja höyrystyskattila. Paineilmaa tuotetaan paineilmakompressoreilla. [33]

STEP Oy toimittaa jokivettä ja pohjavettä suurteollisuuspuiston toimijoiden tarpeisiin. Jokivettä johdetaan kahta imuputkea pitkin rantapumppaamoon, jonka toimintaa

valvotaan jatkuvatoimisesti. Puhdistamolla vesi prosessoidaan mekaanisella välpällä ja korisihtisuotimella, joiden jälkeen vesi pumpataan suurteollisuuspuiston alueelle. [35]

4.1.2 Oy Linde Gas Ab

Oy Linde Gas Ab valmistaa kaasumaisen hapen, typen ja vedyn lisäksi tuotantoyksikössä nestemäisiä ilmakaasuja ja kaasumaista vetyä yhtiön muille asiakkaille [36]. Harjavallan tuotantoyksikössä on kolme ilmakaasutehdasta sekä vetykaasutehdas [37].

Ilmakaasutehtaalla puhdistetaan epäpuhtauksista ilmaa, josta saadaan eroteltua happea, argonia ja typpeä. Ilma puristetaan kompressorissa noin 6 bar:n paineeseen ja puristuksessa syntynyt lämpö otetaan talteen. Vesi, hiilidioksidi ja hiilivedyt poistetaan molekyyliseulassa ja puhdistettu ilma johdetaan jäähdytettäväksi päälämmönvaihtimen. Tämän jälkeen ilma nesteytetään ja happi, argon ja typpi erotetaan tislauskolonnissa. Argonista poistetaan vielä happea raaka-argonkolonnissa ja puhdistusyksikössä ja typpeä puhdasargonkolonnissa. [36]

Vetytehtaalla hajotetaan nesteytettyä maakaasua ja puhdistetaan siitä saatu vetykaasu [32]. Vuoteen 2017 asti raaka-aineena käytettiin teollisuusbensiiniä. Vetytehtaan prosessissa syöte kuumennetaan ja siitä poistetaan rikki. Syöte sekoitetaan höyryyn, tulistetaan ja johdetaan reformeriuuniin, missä se hajoaa vetyä sisältäväksi kaasuseokseksi. Kaasu jäähdytetään ja johdetaan kuumareaktorille, jossa vesi ja hiilimonoksidi muunnetaan vedyksi ja hiilidioksidiksi. Reaktiossa prosessikaasun lämpötila on noussut, joten raaka-aine jäähdytetään ja lämpöä hyödynnetään syötteen lämmityksessä. Vetykaasu puhdistetaan molekyyliseulatyyppisissä adsorbereissa. Poistokaasut käytetään myöhemmin reformeriuunin polttoaineena. [36]

4.1.3 Boliden Harjavalta Oy

Boliden Harjavalta Oy:n kuparisulatolla kuparin liekkisulatuksessa raaka-aineena käytetään kupariirikastetta. Raaka-aineena käytetään pieniä määriä myös sekundäärisiä raaka-aineita, kuten sakkoja ja prosessoitua elektroniikkaromua. [38] Kuivaamoon menevään syöttöseokseen sekoitetaan puhtaita rikastelaatuja, rikasteseosta ja hiekkaa. Kuivaamossa seokseen lisätään kuonarikaste ja seos kuivataan höyrykuivaimella. Liekkisulatuksessa syötetään rikastepolttimeen rikasteseosta ja happirikastettua ilmaa. Prosessissa syntyy kuparikiveä ja kuonaa. Jäähtyneestä kaasusta poistetaan kiintoaineet, jonka jälkeen sitä käytetään rikkihapon ja nestemäisen rikkidioksidin valmistukseen. [39]

Kuparikivi kuljetetaan konvertteriin, johon panostetaan hiekkaa kuonan muodostamiseksi. Ensimmäinen vaihe on kuonapuhallus, jossa rautasulfidi hapetetaan rikkidioksidiksi ja raudan oksideiksi. Toinen vaihe on rikkaaksi puhallus, jossa rikki hapetetaan rikkidioksidiksi. Konvertterikupari siirretään anodiuuniin puhdistettavaksi. Rikki hapetetaan rikkidioksidiksi puhaltamalla sulaan ilmaa. Happi poistetaan propaanilla. Metallisula valetaan anodivalimossa anodilevyiksi, jotka kuljetetaan Porin kuparielektrolyysiin. Liekkisulatuksessa ja konvertoinnissa syntyvät kuonat jäähdytetään, murskataan ja kuljetetaan kuonarikastamolle. Siellä otetaan talteen kuonassa jäljellä oleva kupari, joka toimitetaan takaisin liekkisulatusuuniin, sekä arvometallit vaahdotuksen avulla. Kuparihienokuona toimitetaan kaatopaikalle. [39]

Nikkelin liekkisulatuksen prosessi toimii saman kaltaisesti kuin kuparinkin. Eri rikastelaaduista ja hiekasta muodostetaan seos, joka kuivataan rumpukuivaimessa. Kuivauksessa käytetään typpeä, jolla estetään rikasteen pasuttuminen ja vähennetään rikkidioksidin muodostumista. Nikkelisulatolla käytetään DON-prosessia (Direct Outotec Nickel Flash Smelting), jossa rikastepolttimeen syötetään syöttöseosta ja happirikastettua polttoilmaa. Rikasteen rikki ja rauta hapettuvat tuottaen lämpöä. Liekkisulatuksessa syntyy kuonaa ja nikkelikiveä. Liekkisulatuksen kuona käsitellään sähköuunissa, jossa otetaan talteen arvometallit pelkistämällä. Panosprosessiin panostetaan koksia, kuonaa ja uunien ränneistä saatavaa mursketta. Liekkisulatusuunin ja sähköuunin kivi rakeistetaan rakeistustiilen avulla. Sähköuunin nikkelikuona rakeistetaan vesisuihkussa. [39]

Rikkihappotehtailla liekkisulatusuuneilta tulevat poistokaasut pestään pesutorneissa kostuttamalla sitä laimealla rikkihappoliuoksella. Tämän jälkeen kaasusta erotetaan märkäsähkösuodattimilla happosumua. Kaasu kuivataan imeyttämällä sen sisältämä kosteus rikkihappoon ja jäljelle jäänyt happosumu poistetaan pisaranerottimilla. Kuivattu kaasu puhalletaan pääkaasupuhaltimilla rikkidioksidi hapetusreaktoreihin ja osa rikkidioksidilaitokselle. Rikkidioksidi hapetetaan katalyytin avulla rikkitrioksidiksi. Tämän jälkeen rikkitrioksidi johdetaan imeytystorneihin ja imeytetään väkevään rikkihappoon, missä syntyy tuotehappoa. Rikkihappotehtaalla kaasua pestäessä syntyy laimeaa ja epäpuhtauksia sisältävää pesuhappoa, joka väkevöidään ja hajotetaan tai kuljetetaan muualle hyödynnettäväksi tai syötetään liekkisulatusuuniin. [39]

4.1.4 Nornickel Harjavalta Oy

Nornickel Harjavalta Oy:n nikkelituotteita ovat metalliset katodit, briketit ja pulveri, sekä nikkelikemikaalit. Muita tuotteita ovat kobolttisulfaatti, ammoniumsulfaatti ja kuparisulfidi.

Raaka-aineena käytetään nikkelikiveä ja kemikaaleja, kuten rikkihappo, ammoniakki, lipeä, happi, typpi, vety, suolahappo ja sooda. [40]

Raaka-aineena käytettävä nikkelikivi jauhetaan ja liuotetaan liuottamoilla. Aluksi suoritetaan yksivaiheinen atmosfääriliuotus elektrolyysin hapanta paluuliuosta käyttäen. Tämän jälkeen raudan saostuksessa syntyy sivutuotteena rautasakkaa, joka neutraloidaan kalkilla ja sijoitetaan yhtiön kaatopaikalle. Syntyvä intermediaatti liuotetaan omassa paineliuotuslinjassaan ja syntyy kalkkipitoista rautasakkaa. Yksivaiheisesta atmosfääriliuotuksesta nikkelipitoinen liuos jatkaa kaksivaiheiseen atmosfääriliuotukseen, jossa syntyy liuotusjäännöksenä kuparisakkaa, joka toimitetaan muualle jalostettavaksi. [40]

Nikkeliliuoksen puhdistusta jatketaan uuttoprosesseilla. Liuottamolta tulleesta liuoksesta poistetaan kobolttia kobolttiuutolla. Osa nikkeliliuoksesta johdetaan kobolttiuuton jälkeen elektrolyysiin ja pelkistämölle ja osa nikkeliliuoksesta menee nikkeliuuttoon. Kobolttiliuos menee koboltin puhdistusuuton lävitse kemikaalitehtaalle, jossa siitä tuotetaan kobolttisulfaattia kiteyttämällä. Nikkelisulfidin liuotuksesta tuleva kalsiumpitoinen nikkeliliuos jatkaa kalsiumuuttoon, jossa syntyy jätteenä metallikarbonaattisakkaa. [40]

Elektrolyysissä nikkeliliuosta saostetaan elektrolyyttisesti liukenemattomien lyijyanodien avulla. Nikkeli saostuu katodeina toimivien siemenlevyjen pintaan. Elektrolyysin anolyyttiliuosta johdetaan takaisin liuottamolle käytettäväksi liuotusprosessissa. Pelkistämöllä puolestaan vetypelkistetään nikkelipitoista ammoniakkiliuosta panoksittain autoklaaveissa korkeassa lämpötilassa ja vetypaineessa. Syntyy nikkelipulveria, joka erotetaan liuoksella sakeuttamalla ja suodattamalla. Kuivauksen jälkeen nikkelipulveri pakataan sellaisenaan tai briketoidaan. [40]

Kemikaalitehtaalla valmistetaan nikkelisulfaattia kiteyttämällä. Nikkelikarbonaattia taas saostetaan nikkelisulfaattiliuoksesta käyttämällä natriumkarbonaattia saostimena. Nikkelioksidia voidaan valmistaa kalsinoimalla nikkelikarbonaattia. Nikkelihydroksidia saostetaan nikkelisulfaatti- tai nikkelikloridiliuoksesta käyttämällä saostimena natriumhydroksidia. [40]

4.1.5 Kemira Oyj

Kemira Oyj:n alumiinisulfaattitehtaalla valmistetaan alumiinisulfaattia rakeisena sekä liuoksena. Raaka-aineina käytetään kiinteää alumiinihydraattia, rikkihappoa ja vettä. Lisäksi tehtaalla valmistetaan rautapitoista alumiinisulfaattia. Tällöin alumiinisulfaattiin syötetään rautasulfaattia. [41]

Erikoishappotehtaalla laimennetaan väkevää rikkihappoa. Lisäksi tehtaalla pakataan nk. kemiallisesti puhdasta rikkihappoa. [41] Vuodesta 2018 Kemira Oyj:n Harjavallan tuotantoyksikössä on valmistettu natriumbisulfiittia. Raaka-aineina käytetään rikkidioksidia, vettä ja natriumhydroksidiliuosta. [42]

4.2 Lähtötiedot ja laskelmat

Tiedot Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten raaka-aineiden käytöstä, tuotantomääristä, energiankulutuksesta ja vedenkulutuksesta on saatu yritysten ympäristöluvista [34] [36] [39] [40] [42]. Joitain tietoja on täydennetty verkkolähteistä löytyvillä tiedoilla. Ympäristöluvissa on ilmoitettu arvoja useammalta vuodelta ja niistä on otettu yrityskohtaiset keskiarvot pohja- ja jokivedenkäytöstä sekä energiankäytöstä kuvaa 7 varten.

Luvussa 4.3 Boliden Harjavalta Oy:n ja Nornickel Harjavalta Oy:n raaka-aineiden ja tuotteiden määrät on pyöristetty 1000 tonnin tarkkuudelle. Kuvissa luvussa 5.2 on käytetty kaikkien yritysten osalta tarkkoja lähtöarvoja, mikäli mahdollista. Kemira Oyj:n ympäristöluvan tietoihin on lisätty arviot natriumbisulfiitin pohjavedenkulutuksesta. Vedenkulutukset on pyöristetty taulukoihin lukuun 4.3 100 m^3:n tarkkuudella.

Energiankulutuksen osalta yritykset ovat ilmoittaneet tietoja hieman eri tavoilla. Boliden Harjavalta Oy on ilmoittanut ostetun sähkön, lämmön ja höyryn arvot, joita käytetään kuvassa 6 [39]. Kemira Oyj ja Oy Linde Gas Ab ovat ilmoittaneet arvot energiankulutuksena, mutta ympäristöluvissa lämmön kerrotaan koostuvan höyrystä ja kaukolämmöstä, joten voidaan olettaa energiankulutuksen olevan sama kuin ostetun energian määrä [41] [36]. Lisäksi Kemira Oyj:n arvioitu energiankulutus natriumbisufiitille on 360 MWh/a, mutta hakemuksessa ei ole ilmoitettu onko arvo sähkön- vai höyrynkulutusta [42]. Siksi arvoa ei ole sovellettu kuviin. Nornickel Harjavalta Oy on ilmoittanut vaihteluvälit sähkön ja lämmön käytölle, joista on otettu keskiarvot [40]. Kuvaa 6 varten on oletettu, että nämä arvot ovat ostetun energian määriä. Energiankulutukset on pyöristetty 1 GWh:n tarkkuudelle.

Koska yritysten voimassa olevat ympäristöluvat ovat pääosin vuodelta 2014, tiedot tuotannosta, energian- ja vedenkäytöstä ovat ympäristöluvan myöntämistä edeltävältä ajalta. Lukuarvot ovatkin jo melko vanhoja ja niihin on voinut tulla muutoksia ympäristölupien laatimisen jälkeen. Kuitenkin tarkasteltavat ympäristöluvat ovat edelleen voimassa, joten voidaan olettaa, etteivät mahdolliset muutokset vaikuta merkittävästi työn tuloksiin.

4.3 Materiaali-, energia- ja vesivirrat

Oy Linge Gas Ab käyttää raaka-aineena ympäröivää ilmaa (1 150 000 000 m³n/a) [36], sekä vedyn raaka-aineena nesteytettyä maakaasua [37]. Boliden Harjavalta Oy:n pääraaka-aineina käytetään kuparirikastetta, nikkelirikastetta, sekundäärisiä raaka-aineita ja hiekkaa (Taulukko 1). Lisäksi tuotannossa käytetään apuaineina kemikaaleja, kuten natriumhydroksidia, kalkkia, ferrosulfaattia ja vaahdotuskemikaaleja. [39]

Taulukko 1. *Boliden Harjavalta Oy:n pääraaka-aineiden käyttömäärät keskiarvona vuosilta 2008–2013 [39].*

Raaka-aine	**Käyttömäärä (t/a)**
Kuparirikaste	469 000
Nikkelirikaste	262 000
Sekundääriset raaka-aineet	27 000
Hiekka	143 000

Nornickel Harjavalta Oy käyttää nikkelituotteiden raaka-aineena nikkelikiveä, nikkelisakkoja ja sekundäärisiä nikkeliä sisältäviä raaka-aineita [43] yhteensä noin 300 000 – 500 000 tonnia vuodessa, riippuen tuotantomäärästä (60 000 – 90 000 t). Lisäksi tuotantoprosessissa käytetään monia kemikaaleja, kuten rikkihappoa, ammoniakkia, lipeää, happea, typpeä, vetyä, suolahappoa ja soodaa. [40] Kemira Oyj käyttää raaka-aineena alumiinihydroksidia enimmillään 7 000 t/a, alumiinihydroksidisakkaa 300 t/a, rikkidioksidia 20 000 t/a, rikkihappoa 38 000 t/a ja sitruunahappoa 4 t/a [42] [40].

Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten pääasiallisia lopputuotteita on esitetty taulukossa 2. Lopputuotteiden määrät on ilmoitettu yritysten ympäristöluvissa useammalle vuodelle. Näistä tiedoista on laskettu keskiarvot ja keskiarvot on pyöristetty tuhannen tarkkuudella.

Taulukko 2. *Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten lopputuotteita.*

	Tuote	**Määrä**
Boliden Harjavalta Oy (2008–2012) [39]	Rikkihappo	593 000 t/a
	Anodikupari	157 000 t/a
	Nikkelikivi	51 000 t/a
	Nestemäinen rikkidioksidi	34 000 t/a
Nornickel Harjavalta Oy (2005–2010) [40]	Nikkeli ja nikkeliyhdisteet	47 000 t/a
	Kobolttiliuos	1 000 t/a
	Ammoniumsulfaatti	71 000 t/a
Kemira Oyj (2004–2010) [41] [42]	Alumiinisulfaatti	40 000 t/a
	Natriumbisulfiitti (arvioitu)	50 000 t/a
	Laimennettu rikkihappo	2 000 t/a
Oy Linde Gas Ab (2008–2013) [36]	Happi, nestemäinen	40 000 m³/a
	Typpi, nestemäinen	40 000 m³/a
	Argon, nestemäinen	8 500 m³/a
	Happikaasu	198 000 000 m³/a
	Typpikaasu	10 000 000 m³/a
	Vetykaasu$_{234}$	15 400 000 m³/a

STEP Oy:n tuotantoon kuuluu useita kattiloita ja niiden tuotantoa säädellään Suurteollisuuspuiston yritysten tarpeiden mukaan. Taulukossa 3 on esitetty STEP Oy:n tuotantotehot Harjavallan suurteollisuuspuistossa. [33] Biohöyrykattila on ensisijaisesti Nornickel Harjavalta Oy:n tarpeita varten [33] ja sillä tuotetaan noin 250 GWh vuodessa lämpöä ja höyryä yrityksen tarpeisiin [34]. Boliden Harjavalta Oy:n prosesseissa vapautuu merkittäviä määriä lämpöä ja yritys myy lämpöä keskimäärin (vuosina 2008–2012) 300 GWh vuodessa [39]. Lämmön talteenottoa varten onkin STEP Oy:llä käytössä

kolme kattilaa ja lämpöä jaellaan Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten käyttöön, mutta myös kaukolämmöksi Harjavallan kaupungille [32].

Harjavallan suurteollisuuspuiston yritykset käyttävät energiaa sähkön, lämmön ja höyryn muodossa. STEP Oy toimittaa myös paineilmaa yrityksille. [33] Yritysten keskimääräiset sähkön ja lämmön ja höyryn kulutukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3. *Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten energiankulutus (GWh).*

	Boliden Harjavalta Oy (2008–2012) [39]	**Nornickel Harjavalta Oy** (2005–2010) [40]	**Kemira Oyj** (2004–2010) [40]	**Oy Linde Gas Ab** (2008–2013) [36]	**Yhteensä**
Ostettu sähkö	168	175	2	<1	345
Ostettu lämpö ja höyry	28	350	4	<1	381

Raakavedeksi otetaan suurteollisuuspuiston käyttöön Kokemäenjoesta vettä noin 20 miljoonaa kuutiota vuodessa. Jokivettä käytetään erityisesti jäähdytysvetenä. Lisäksi Nornickel Harjavalta Oy valmistaa jokivedestä ja pelkistämöltä palaavasta laimenneesta jäähdytysvedestä kemikaalitehtaalla demineralisoitua vettä (desalinaatio) [40]. Yrityksen omien tarpeiden lisäksi se toimittaa demineralisoitua vettä STEP Oy:lle kattilavedeksi [34]. Pohjavesi toimitetaan teollisuusalueella sijaitsevalta pohjavedenottamolta. [44] Pohjavettä hyödynnetään prosessivetenä tuotteiden valmistuksessa, liuosmaisten tuotteiden raaka-aineena ja pesuvetenä. Pohjavettä käytetään myös talous- ja saniteettivetenä, mikä jätetään tästä tarkastelusta ulkopuolelle. [41] Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten vedenkäyttö on esitetty taulukossa 5. Oy Linde Gas Ab:n vedenkäytön tarkastelusta on jätetty vuosi 2008 pois, sillä silloin pohjaveden käyttöä on korvattu merkittävästi jokiveden käytöllä.

Taulukko 4. *Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten vedenkulutus (m³/a).*

	Boliden Harjavalta Oy (2008–2012) [39]	**Nornickel Harjavalta Oy** (2005–2010) [40]	**Kemira Oyj** (2004–2010) [40]	**Oy Linde Gas Ab** (2009–2013) [36]	**Yhteensä**
Pohjavesi	226 700	323 200	29 100	90	601 400
Jokivesi	15 666 700	12 628 900	9 000	582 000	29 036 600

Boliden Harjavalta Oy:n jätevedenpuhdistamolle johdetaan monen alueen toimijan prosessijätevesiä [44]. Nornickel Harjavalta Oy:llä on oma jätevedenpuhdistamo, jossa yrityksen prosessijätevesiä puhdistetaan. Puhdistetut jätevedet johdetaan läntistä viemäriä (jätevesiviemäriä) pitkin Kokemäenjokeen [44]. Jäähdytysvedet johdetaan jäähdytysvesiviemärin kautta Kokemäenjokeen suoraan, mutta niiden laatua tarkkaillaan. [40]

4.4 Hyödyntämättömät sivuvirrat

Sekä Boliden Harjavalta Oy:n että Nornickel Harjavalta Oy:n tuotantoprosesseissa syntyy suuria määriä sivuvirtoja, joita ei hyödynnetä tällä hetkellä. Nornickel Harjavalta Oy:llä on oma vaaralliseen jätteen kaatopaikka suurteollisuuspuiston alueella. Merkittävimmät sinne sijoitettavat jätteet ovat rautasakka, kalsiumrautasakka ja metallikarbonaattisakka. Jätteiden määrät on kuvattuna taulukossa 5. [40]

Taulukko 5. *Nornickel Harjavalta Oy:n kaatopaikalle sijoittamat jätteet [40].*

	2009	**2010**	**2011**	**2012**
Rautasakka (t/a)	14 000	25 000	9 000	6 000
Kalsiumrautasakka (t/a)	100	5 000	3 000	1 500
Metallikarbonaattisakka (t/a)		900	2 000	1 800

Boliden Harjavalta Oy sijoittaa myös tuotannon sivuvirtoina muodostuvia jätejakeita kaatopaikoillensa. Sijoitettavia jakeita ovat kuparihienokuona, rakeistettu nikkelikuona ja ferriarsenaattisakka. Jakeiden määrät on esitetty taulukossa 5. Näistä kuparihienokuona ja ferriarsenaattisakka ovat vaarallisia jätteitä. [39]

Taulukko 6. *Boliden Harjavalta Oy:n kaatopaikalle sijoittamat jätteet [39].*

	2011	**2012**
Kuparihienokuona (t/a)	350 000	400 000
Rakeistettu nikkelikuona (t/a)	150 000	140 060
Ferriarsenaattisakka (t/a)	2 000	1 800

Harjavallan suurteollisuuspuiston yritysten toiminnassa syntyy myös muita jätejakeita, joihin kuuluu prosessien sivuvirtoja, rakennusjätettä ja tavanomaisia jätejakeita [40]. Kuitenkin kaatopaikalle sijoitettavien jakeiden määrät ovat merkittävästi suurempia.

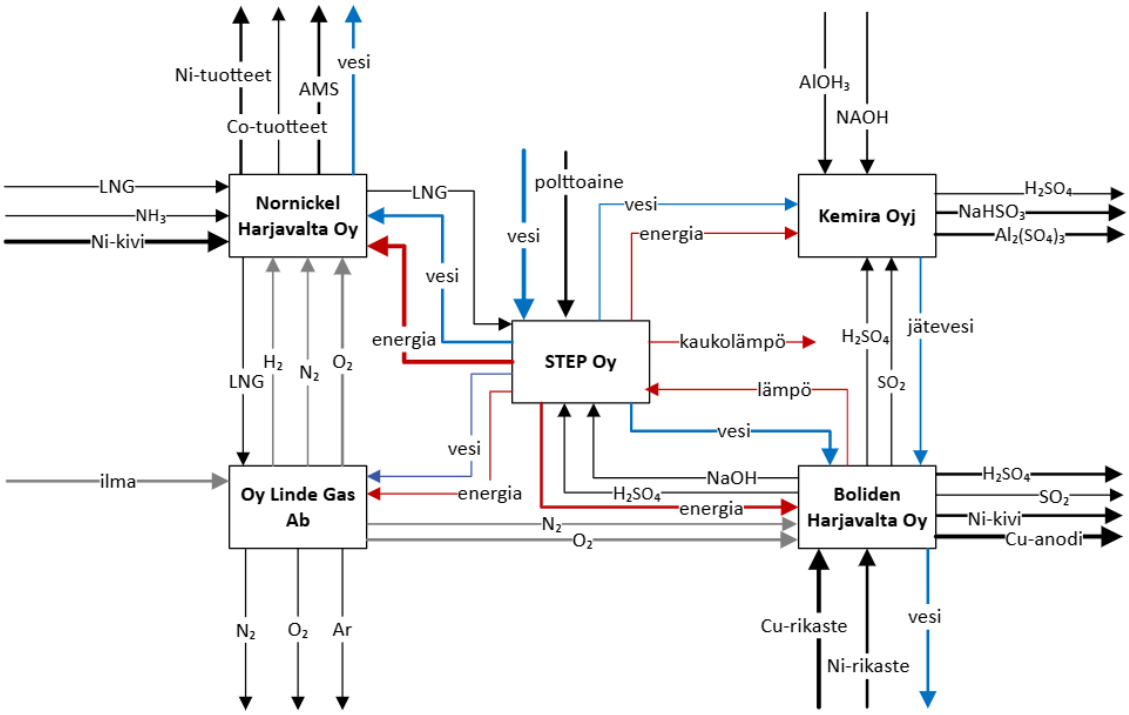
5. HARJAVALLAN SUURTEOLLISUUSPUISTON TEOLLINEN EKOSYSTEEMI

Harjavallan suurteollisuuspuistossa teollinen ekosysteemi toteutuu erityisen hyvin erityisesti energian ja veden osalta. STEP Oy toimittaa kaikille alueen toimijoille lämpöä, höyryä, paineilmaa, jokivettä ja pohjavettä. [33] Lisäksi Oy Linde Gas Ab:n ilmakaasutehdas ja vetytehdas toimivat pääosin suurteollisuuspuiston yritysten tarpeita varten ja yritysten välille onkin solmittu pitkät sopimukset [37].

5.1 Materiaali- ja energiavirrat Harjavallan suurteollisuuspuistossa

Harjavallan suurteollisuuspuiston alueella yritykset toimittavat tiettyjä kemikaaleja toisilleen. STEP Oy käyttää prosesseissaan natriumhydroksidia ja rikkihappoa. Ne toimitetaan suoraan Boliden Harjavalta Oy:n rikkihappotehtaalta putkistoa pitkin voimalaitokselle. Nornickel Harjavalta Oy vastaa nesteytetyn maakaasun (LNG) terminaalista, josta maakaasua toimitetaan putkistoa pitkin STEP Oy:lle, sekä viereiselle Oy Linde Gas Ab:n vetytehtaalle. [32] Oy Linde Gas Ab Toimittaa Boliden Harjavalta Oy:lle happea ja typpeä, sekä Nornickelille happea, typpeä ja vetyä [37]. Boliden Harjavalta Oy toimittaa Kemira Oyj:lle muun muassa rikkihappoa, josta laimennetaan tuotteita, sekä rikkidioksidia. [41]

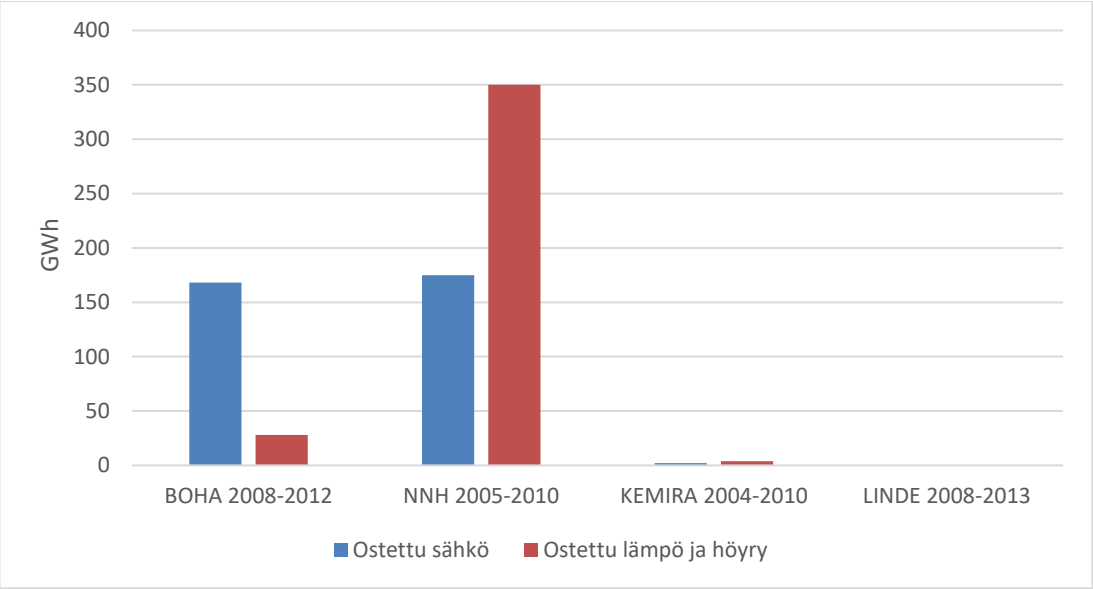
Kuvassa 5 on esitetty yksinkertaistettu kaavio Harjavallan suurteollisuuspuiston teollisen ekosysteemin materiaali- ja energiavirroista. Kuvassa on esitetty pääraaka-aineet ja päätuotteet sekä energian- ja vedenkäyttö, mutta kuvasta on jätetty pois syntyvät jätteet. Oy Linde Gas Ab:lta systeemistä poistuvat typpi, happi ja argon ovat nestemäisessä muodossa. Energiaan sisältyy lämpö, höyry ja paineilma.



Kuva 4. *Materiaali- ja energiavirtoja Harjavallan suurteollisuuspuistossa. Veden kiertoa kuvataan sinisillä nuolilla ja energian kiertoa punaisilla nuolilla. Kiinteät ja nestemäiset aineet on kuvattu mustilla ja kaasut harmailla nuolilla. Kuvassa AMS tarkoittaa ammoniumsulfaattia. Kuvassa on esitetty pääraaka-aineet ja tuotteet, ja nuolten paksuudella on pyritty korostamaan suurimpia virtoja.*

Nornickel Harjavalta Oy ja Boliden Harjavalta Oy ovat selkeästi merkittävimpiä energiankäyttäjiä alueen yrityksistä (Kuva 6). Boliden Harjavalta Oy:llä energiaa käytetään prosessien ylläpitoon, rikasteiden sulatukseen ja metallisulien lämpimänä pitoon. Yrityksen prosesseista liekkisulatus ja rikkihapon valmistus vapauttavat paljon lämpöä. Lämpöä otetaan talteen savukaasuista ja hyödynnetään omissa prosesseissa, kuten kuivamolla. STEP Oy toimittaa talteen otettua lämpöä myös alueen muille yrityksille ja Harjavallan kaupungille.

Boliden Harjavalta Oy:n myydyn energian suuruus on 300 GWh ja oman lämmön- ja höyryntuotannon vuoksi ostetun lämmön ja höyryn tarve on vain 28 GWh. [39] Nornickel Harjavalta Oy:n sähkönkulutus on 175 GWh ja lämmön- ja höyrynkulutus 300 GWh. Ympäristöluvassa kerrotaan lämmön ja höyrynkulutuksen koostuvan 60–70 % suurteollisuuspuiston alueella syntyvästä hukkalämmöstä. [40]

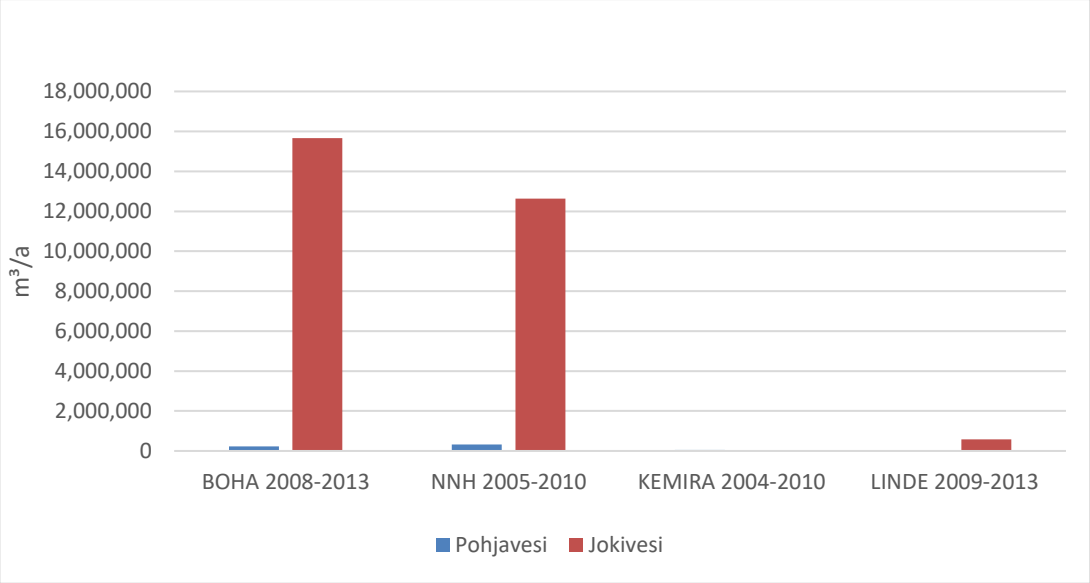


Kuva 5. *Yritysten energiankäyttö Harjavallan suurteollisuuspuistossa. Yritysten nimistä on käytetty lyhenteitä BOHA (Boliden Harjavalta), NNH (Nornickel Harjavalta), Kemira ja Linde (Oy Linde Gas Ab).*

Nornickel Harjavalta Oy:n korkeaa energiankulutusta selittää tuotannossa käytettävät prosessit. Kemiallisia reaktioita säädellään paineen ja lämpötilan avulla. Esimerkiksi liuottamolla liuotusprosessit ja pelkistämöllä ammoniakkiliuoksen vetypelkistys autoklaaveissa vaativat toimiakseen korkeaa lämpötilaa. Kemikaaleja käsitellään paljon liuosmuodossa, jolloin niiden hallintaan tarvitaan pumppuja, jotka myös kuluttavat energiaa. Lisäksi esimerkiksi elektrolyysi perustuu sähkövirran hyödyntämiseen. [40]

5.3 Vesivirrat Harjavallan suurteollisuuspuistossa

Boliden Harjavalta Oy ja Nornickel Harjavalta Oy ovat myös vedenkulutuksen osalta alueen yritysten kärjessä (Kuva 7). Boliden Harjavalta Oy kuluttaa jokivettä 15 666 700 m³/a ja pohjavettä 226 700 m³/a. Nornickel Harjavalta Oy:n vedenkulutus on samaa suuruusluokkaa: 12 628 900 m³/a jokivettä ja 328 200 m³/a jokivettä. Oy Linde Gas Ab:n ja Kemira Oyj:n vedenkäyttö on huomattavasti pienempää ja niiden osuus on vain noin 2 % kaikkien neljän toimijan kokonaiskulutuksesta. Suurin osa vedenkulutuksesta muodostuu jokiveden käytöstä, mitä ympäristölupien perusteella otetaan vuodessa yhteensä noin 29 miljoonaa kuutiota. Jokivedenkulutus on kuitenkin tästä hieman laskenut, sillä 2023 sitä käytettiin noin 20 miljoonaa kuutiota [44]. Vettä käytetään tuotteiden valmistuksessa, jäähdytyksessä sekä pesuvetenä [41].



Kuva 6. *Yritysten vedenkäyttö Harjavallan suurteollisuuspuistossa.*

Boliden Harjavalta Oy käyttää pohjavettä sulatolla uunien jäähdytykseen. Jäähdytys toteutetaan suljetulla kierrolla, jossa virtausmäärä noin 2000 m³/h ja haihtunutta vettä korvataan pohjavedellä 7 m³/h. Lisäksi pohjavettä käytetään joihinkin pienehköihin lämmityskohteisiin. [39]

Jokiveden kulutus Boliden Harjavalta Oy:llä on tunnissa noin 1788 m³. Jokivettä käyttäviä suljettuja jäähdytysvesikiertoja on esimerkiksi sähköuunin piipun ja anodivalimon jäähdytykset, joissa haihtunutta vettä korvataan lisäämällä jokivettä kiertoon. Suljetussa kierrossa on myös rakeistuksiin käytettävät vedet, jossa virtaama on 400 m³/h ja uutta jokivettä otetaan kiertoon 20 m³/h. Avoimena jäähdytysvesikiertona on esimerkiksi nikkelisähköuunin piipun jäähdytys, josta vesiä johdetaan jokeen noin 160 m³/h. Myös konvertterien puhallusilmakompressorien jäähdytysvedet johdetaan viemäriin. Boliden Harjavalta Oy johtaa jäähdytysvesiä yhteensä arviolta 500 m³/h jäähdytysvesiviemärin kautta jokeen. Jokivettä käytetään myös kuonanrikastamon prosessivetenä ja suodatettuna rikkihapon laimennukseen, mikä lisää jokiveden kulutusta. [39]

Nornickel Harjavalta Oy käyttää jokivettä jäähdytykseen keskimäärin 1 200 m³/h. Yhtiön tuotanto-osastoista kemikaalitehtaalla ja liuottamolla on suljetut jäähdytysvesikierrot, jotka on toteutettu jäähdytysvesitornien avulla. Pelkistämöllä ja elektrolyysissä jäähdytysvesikierrot eivät ole suljettuja ja jäähdytysvesiä johdetaan jokeen. Jokeen johdetaan myös lauhdevesiä. Pelkistämöltä jäähdytys- ja lauhdevesiä johdetaan 1000–2 080 m³/h, elektrolyysistä ja liuottamolta jäähdytysvesiä johdetaan 60–230 m³/h jokeen. Otetusta jokivedestä noin 3 % käytetään desalinaatioon eli demineralisoidun veden valmistukseen. [40]

Kemira Oyj käyttää pohjavettä alumiinisulfaattitehtaalla prosessivetenä, tuotteiden valmistukseen ja pesuvetenä sekä erikoishappotehtaalla tuotteiden laimennoksiin, jäähdytykseen ja pesuvetenä [41]. Natriumbisulfiittitehtaalla pohjavettä käytetään prosessivetenä sekä pesu- ja jäähdytysvetenä [42]. Raakavettä (jokivesi) käytetään alumiinisulfaattitehtaalla liuosmaisten tuotteiden valmistuksessa, jäähdytykseen ja pesuvetenä [41]. Natriumbisulfiittitehtaalla raakavettä käytetään jäähdytykseen. Vuonna 2018 jäähdytysvesikierrosta on tehty lähes suljettu, mikä vähentää raakaveden käyttöä entisestään. Käytettyjä vesiä hyödynnetään tuotannossa ja prosessijätevesiä ei synny, joten tuotannossa ei synny käsittelyä vaativia jätevesiä. [42]

Oy Linde Gas Ab:n jäähdytysvesijärjestelmään kuuluu yksi avoin ulkoallas ja seitsemän jäähdytysvesitornia. Jäähdytysvesitorneissa vettä jäähdytetään haihtumisen avulla, jolloin järjestelmä on suljettu. Vesi selkeytetään altaassa, jossa partikkelit saostuvat altaan pohjalle. Jäähdytysvesikierrosta pois valutettava vesimäärä on noin 2 % virtaamasta ja järjestelmään on tarve lisätä jokivettä noin 150 m³/h. Tuotantotilojen lattiakaivoista vedet johdetaan Boliden Harjavalta Oy:n jätevedenpuhdistamolle [36].

STEP Oy hankkii jokivedestä valmistettua demineralisoitua kattilavettä Nornickel Harjavalta Oy:ltä 150 000 m³ vuodessa. STEP Oy:n pellettihöyrylaitoksella syntyy vain pieniä määriä jätevesiä. Saniteetti- ja prosessijätevedet johdetaan kaupungin viemäriverkoston kautta puhdistettavaksi. Pesuvedet ja lämpöpintojen puhdistusvedet puolestaan Suurteollisuuspuiston (Boliden Harjavalta Oy:n) jätevedenpuhdistamolle. [34]

Boliden Harjavalta Oy:n jätevedenpuhdistamolla puhdistetaan yhtiön omien jätevesien, STEP Oy:n, Oy Linde Gas Ab:n jätevesien lisäksi osa Nornickel Harjavalta Oy:n jätevesistä. Puhdistamon kapasiteetti on 1200 m³/h, josta noin neljäsosa on normaalisti käytössä. Nornickel Harjavalta Oy:llä on myös oma jätevedenpuhdistamo, jossa loput yhtiön jätevesistä käsitellään. Jätevettä muodostuu normaalitoiminnassa 50–250 m³/h ja puhdistamon kapasiteetti on 400 m³/h. Kaikki käsitellyt jätevedet johdetaan läntistä viemäriä pitkin Kokemäenjokeen. [40] Suurteollisuuspuiston yritysten yhteisen jäähdytysvesiviemärin kokonaisvirtaama on noin 1 900 m³/h (16 644 000 m³/a) ja yli puolet (58 %) pumpatusta jokivedestä palautuu jäähdytysvesiviemärin kautta jokeen. [39]

5.3 Mahdollisuuksia teollisen ekosysteemin kehitykseen

Harjavallassa tuotettavat kupari, nikkeli ja koboltti kuuluvat EU:n määrittelemiin kriittisiin raaka-aineisiin, joten niille on todennäköisesti kysyntää tulevaisuudessakin [8].

Suurteollisuuspuiston välittömään läheisyyteen Torttilan alueelle on viime vuosina tullut uusia toimijoita, jotka keskittyvät akkujen tuotantoon ja vetytalouteen, mutta tuotantoa ei ole saatu vielä suuremmassa mittakaavassa käyntiin. Akkuklusterin toteutuminen loisi kuitenkin lisää mahdollisuuksia teollisen ekosysteemin kehittämiselle. [45]

Tällä hetkellä STEP Oy:llä on suunnitteilla jätteen rinnakkaispolttolaitos, jolla tuotettaisiin pellettihöyrylaitoksen tapaan prosessihöyryä Harjavallan suurteollisuuspuiston teollisten toimijoiden tarpeisiin. Polttoaineena käytettäisiin elinkeinotoiminnoista ja kotitalouksista syntyvistä jätteistä valmistettua polttoainetta, tavanomaista ja vaarallista jätettä sekä biopolttoainetta. [46] Rinnakkaispolttolaitos tarjoaisi mahdollisuuden hyödyntää energiaksi alueella syntyviä jätteitä, eikä niitä tarvitsisi kuljettaa toisaalle [46].

Vuosien varrella alueen yritysten väliltä on myös katkennut kytköksiä. Vuoden 2004 tarkastelussa Outokumpu Harjavalta Copper Oy:n nikkelikiveä toimitettiin OMG Harjavalta Nickel Oy:n jatkoprosessoitavaksi. Kemira Oyj:n toiminta oli myös laajempaa ja yritys toimitti esimerkiksi ammoniakkia OMG Harjavalta Nickel Oy:n käyttöön. [5] Vihreän vedyn tuotanto Harjavallassa voisi mahdollistaa myös vihreän ammoniakin tuotannon, jolloin ammoniakkia ei tarvitsisi kuljettaa muualta raaka-aineeksi.

Teollisen ekologian ja kiertotalouden mukaista olisi, että tällä hetkellä kaatopaikalle sijoitettavia kuonaa ja sakkoja pystyttäisiin hyödyntämään. Nikkelin sulatuksessa syntyvää kuonaa ja liuottamisessa syntyvää sakkaa voitaisiin mahdollisesti käyttää geopolymeerien valmistuksessa. Geopolymeeriä tuotetaan sekoittamalla metallurgisiin jätteisiin emäksistä, alkaloivaa liuosta. Alkaloinnilla saadaan stabiloitua haitallisia aineita vähemmän haitalliseen muotoon ja muodostuvaa materiaalia voidaan hyödyntää esimerkiksi betonin sijasta. Menetelmän hyödyntämistä estää esimerkiksi alkaloivien liuosten korkea hinta. Kuonaa voitaisiin hyödyntää myös korvaavissa sementtimateriaaleissa, kun sementin tuotannossa korvattaisiin osa kalsiumkarbonaattipohjaisesta Portlandsementistä kuonalla. Tällöin kuona vaatisi hienontamista, jotta se saataisiin sopivaan muotoon. [47]

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Teollinen ekosysteemi -käsite sisältyy teolliseen ekologiaan. Teollinen ekologia perustuu ajatukselle, että teolliset systeemit noudattavat luonnon systeemien periaatteita. Teollisessa ekologiassa tutkitaan materiaalin ja energian virtoja ja niiden vaikutuksia ympäristöön. Teollinen ekosysteemi on saman tapainen kuin luonnon ekosysteemi tai jäljittelee luonnon ekosysteemiä. Teollinen ekosysteemi on ryhmä teollisia organisaatioita, jotka hallinnoivat raaka-aineita ja lopputuotteita yhteistyössä ja toisistaan riippuvalla tavalla. Organisaatiot sijaitsevat yleensä fyysisesti samalla, rajatulla alueella.

Teollinen ekosysteemi on hyvä tapa edistää kestävää kehitystä teollisessa toiminnassa, kun ymmärretään teollinen materiaalien ja energian kierto kokonaisuudessaan. Yritykset pystyvät lisäämään materiaalien kiertoa uudelleenkäyttämällä ja kierrättämällä materiaaleja teollisessa ekosysteemissänsä. Kestävän kehityksen mukaisessa teollisessa ekosysteemissä energian, materiaalien ja vedenkulutus on optimoitu ja jätteen määrä minimoitu. Tavoitteena on luontoa vastaava suljettu kierto, jossa jätteet voitaisiin hyödyntää raaka-aineena ja prosessi ei olisi altis häiriöille, vaan pystyisi mukautumaan muutoksiin.

Teolliseen ekosysteemiin tuodaan syötteenä raaka-aineita, energiaa ja vettä. Raaka-aineena hyödynnetään erilaisia luonnonvaroja, jotka voivat olla uusiutuvia tai uusiutumattomia. Teollisessa tuotannossa vettä käytetään tuotteisiin, prosessointiin, jäähdytykseen, lämmitykseen, puhtaanapitoon ja talousvedeksi. Raaka-aineiden tapaan myös energiavirrat voivat olla uusiutuvista tai uusiutumattomista lähteistä. Energiaa tarvitaan teollisuudessa koneiden ja laitteiden lisäksi lämmitykseen, ilmanvaihtoon, ilmastointiin, valaistukseen ja käyttöveden lämmitykseen. Energian käyttömuotoja ovat sähkön lisäksi muun muassa paineilma, höyry ja vesi.

Teollinen ekosysteemi toteutuu Harjavallan suurteollisuuspuistossa hyvin erityisesti energian- ja vedenkulutuksen osalta. STEP Oy toimittaa kaikille alueen yrityksille lämpöä, höyryä sekä vettä. Saman toimittajan hyödyntäminen säästää resursseja ja helpottaa tehdasalueen kehittämistä entistä resurssitehokkaammaksi. Myös kaasujen toimituksen osalta teollinen ekosysteemi toteutuu hyvin. Oy Linde Gas Ab toimittaa Nornickel Harjavalta Oy:n ja Boliden Harjavalta Oy:n tarpeisiin happea, typpeä ja vetyä.

Merkittävimpiä energian- ja vedenkäyttäjiä Harjavallan suurteollisuuspuistossa ovat Nornickel Harjavalta Oy ja Boliden Harjavalta Oy. Nornickel Harjavalta Oy:n energiankulutusta selittää esimerkiksi prosesseissa käytettävät korkeat lämpötilat ja

paineet. Boliden Harjavalta Oy:n prosesseissa vapautuu paljon lämpöä, jota pystytään ottamaan talteen ja hyödyntämään yhtiön omissa prosesseissa, mutta myös myymään alueen muille toimijoille ja kaukolämmöksi. Kokemäenjoen raakavettä käytetään suurteollisuuspuistossa erityisesti jäähdytykseen ja vedenkulutusta on pyritty vähentämään tekemällä jäähdytysvesikierroista suljettuja. Joesta otetusta vedestä noin 58 % palautuu jäähdytysvesiviemäriä pitkin jokeen. Vesi, joka ei palaudu jokeen, jää esimerkiksi jäähdytysvesikiertoon, josta vesi lopulta haihtuu. Vesi siirtyy myös lopputuotteisiin. Likaantuneet vedet johdetaan puhdistuksen kautta läntistä viemäriä pitkin jokeen.

Teollisen ekosysteemin toteutuminen on ollut aiemmin joiltain osin vielä paremmalla tasolla Harjavallan suurteollisuuspuistossa, mutta yritysten välinen yhteistyö on vähentynyt vuosien varrella. Mahdollisuutena teollisen ekosysteemin laajentamiseen on Harjavallan suurteollisuuspuiston viereen rakentuva akkuklusteri ja vihreän vedyn tuotantolaitos. Vaarallisen jätteen kaatopaikoille sijoitettavia kuonaa ja sakkoja voitaisiin hyödyntää esimerkiksi geopolymeereissä tai sementin valmistuksessa, jolloin saataisiin vähennettyä jätteen määrää. Tulevaisuudessa kestävää tuotantoa tavoiteltaessa ja uusia tuotantosuuntia kartoittaessa on tärkeä huomioida alueella syntyvät materiaalit ja mahdollisuudet yritysten välisten kytkösten lisäämiseen.

LÄHTEET

[1] Cleveland CJ, Morris C. Dictionary of Energy (Expanded Edition). Elsevier; 2009. https://app.knovel.com/kn/resources/kpDE00000Y/toc.

[2] Sachidananda M, Rahimifard S. Reduction of Water Consumption within Manufacturing Applications. Leveraging Technology for a Sustainable Worldr; 2012, p. 455–60. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29069-5_77.

[3] United Nations. What is renewable energy? Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.10.2025): https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy.

[4] Thumann A, Niehus T, Younger WJ. Handbook of Energy Audits (9th Edition). River Publishers; 2013. https://app.knovel.com/kn/resources/kpHEAE0006/toc.

[5] Heino J, Koskenkari T. Harjavallan suurteollisuuspuisto teollisena ekosysteeminä. Oulun yliopisto. 2004.

[6] Burström T, Lahti T, Parida V, Wincent J. Industrial ecosystems: A systematic review, framework and research agenda. Technological Forecasting & Social Change; 2024;208:123656. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123656.

[7] Euroopan parlamentti. Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? Verkkosivu. 2023. Saatavissa (viitattu 20.10.2025): https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta.

[8] GTK. Kriittiset ja strategiset raaka-aineet. Geologian tutkimuskeskus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.10.2025): https://www.gtk.fi/ajankohtaista/kriittiset-ja-strategiset-raaka-aineet/.

[9] Zeng X, Xiao T, Xu G, Albalghiti E, Shan G, Li J. Comparing the costs and benefits of virgin and urban mining. Journal of Management Science and Engineering; 2022;7:98–106. https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.05.002.

[10] Kinnunen PH-M, Kaksonen AH. Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization. Journal of Cleaner Production 2019;228:153–60. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.171.

[11] Euroopan Komissio. EU:n kriittisiä raaka-aineita koskeva säädös. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.11.2025): https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_fi.

[12] Kemianteollisuus ry. Luontopositiivinen ja hiilineutraali kemia. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.12.2025): https://www.kemianteollisuus.fi/vastuullisuus/luontopositiivinen-ja-hiilineutraali-kemia/.

[13] Lyu Y, Tian J, Chen L. Enabling sustainable chemical manufacturing from product to industrial ecosystem. Resources, Conservation and Recycling; 2023;192:106915. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106915.

[14] Metsä Fibre. Teolliset ekosysteemit. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.12.2025): https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/vastuullisuus/ihmiset-ja-yhteiskunta/teolliset-ekosysteemit/).

[15] Ympäristöministeriö. Mitä on kestävä kehitys? 2023. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.10.2025) https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys.

[16] Harala L, Alkki L, Aarikka-Stenroos L, Al-Najjar A, Malmqvist T. Industrial ecosystem renewal towards circularity to achieve the benefits of reuse - Learning from circular construction. Journal of Cleaner Production; 2023;389:135885. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135885.

[17] Tu J, Yeoh GH, Liu C. Computational Fluid Dynamics - A Practical Approach (3rd Edition). Elsevier; 2018. https://app.knovel.com/kn/resources/kpCFDAPA21/toc.

[18] Tieteen termipankki. Ympäristötieteet: materiaalivirta. 2025. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.10.2025): https://tieteentermipankki.fi/wiki/Ympäristötieteet:materiaalivirta).
[19] Brunner PH, Rechberger H. Handbook of Material Flow Analysis. 2nd ed. CRC Press; 2016. https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781315313450/handbook-material-flow-analysis-paul-brunner-helmut-rechberger
[20] Suomen ympäristökeskus. Sekä uusiutumattomien että uusiutuvien luonnonvarojen käytöllä on rajansa. Ympäristö.fi. 2022. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.10.2025): https://www.ymparisto.fi/fi/seka-uusiutumattomien-etta-uusiutuvien-luonnonvarojen-kaytolla-rajansa.
[21] Luonnonvarakeskus. Puun käyttö kääntyi kasvuun vuonna 2024. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.11.2025): https://www.luke.fi/fi/uutiset/puun-kaytto-kaantyi-kasvuun-vuonna-2024.
[22] Kaivosteollisuus ry. Kaivosala Suomessa. 2025. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.11.2025): https://www.kaivosteollisuus.fi/kaivosala-suomessa/).
[23] Kaiva.fi. Metallimalmikaivokset ja metallinjalostus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.11.2025): https://kaiva.fi/kaivannaisala/kaivostoiminta/metallimalmikaivokset/.
[24] Ali MF, Ali BME, Speight JG, editors. Handbook of Industrial Chemistry: Organic Chemicals. 1st Edition. McGraw-Hill Education; 2005. https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071410373.
[25] Tieteen termipankki. Geologia: sekundäärinen raaka-aine. 2025. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.11.2025): https://tieteentermipankki.fi/wiki/Geologia:sekundäärinen raaka-aine.
[26] Khan IA, Haq F, Kiran M, Aziz T. Circular economy and waste management: transforming waste into resources for a sustainable future. International Journal of Environmental Science and Technology; 2025;22:17327–46. https://doi.org/10.1007/s13762-025-06750-5.
[27] Cambridge dictionary. Intermediate goods. 2025. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.11.2025): https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/intermediate-goods (accessed November 20, 2025).
[28] Tilastokeskus. Ydin-, tuuli- ja vesivoiman kasvu vauhdittivat siirtymää kohti puhtaampaa energiajärjestelmää vuonna 2023. 2024. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.11.2025): https://stat.fi/julkaisu/cln32y7ve5mem0bvzcoduq5xx.
[29] Tilastokeskus. Teollisuuden energiankäyttö väheni 2 % vuonna 2023. 2024. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.10.2025): https://stat.fi/julkaisu/cln1pthbq6msy0bw1zi85mjzp.
[30] European Environment Agency. Water abstraction by source and economic sector in Europe 2024. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.10.2025): https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/water-abstraction-by-source-and.
[31] Doran PM. Bioprocess engineering principles. Second edition. Elsevier; 2013. https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780122208515/bioprocess-engineering-principles.
[32] Harjavallan suurteollisuuspuisto. Harjavallan suurteollisuuspuiston turvallisuustiedote 2021. https://www.suurteollisuuspuisto.com/wp-content/uploads/2021/06/Turvallisuustiedote-26.5.2021.pdf.
[33] STEP Energy. Harjavallan Suurteollisuuspuisto. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.11.2025): https://www.stepenergy.veolia.fi/kumppanuudet/harjavallan-suurteollisuuspuisto.
[34] Aluehallintovirasto. Suomen Teollisuuden Energiapalvelut - STEP Oy:n ympäristönsuojelulain (527/2014) mukainen hakemus, joka koskee pellettihöyrylaitoksen toimintaa sekä hakemus toiminnan aloittamiseksi muutoksenhausta huolimatta, Harjavalta. 2015. Nro 304/2015/1. Dnro ESAVI/11819/2014.
[35] STEP Oy. Vedenottomäärän lisääminen Kokemäenjoesta, Harjavalta 2020.

[36] Aluehallintovirasto. Oy AGA Ab:n vetytehtaan ympäristöluvan lupamääräysten tarkistamista koskeva hakemus, Harjavalta. 2014. Nro 237/2014/1. Dnro ESAVI/137/04.08/2011.
[37] Linde Stories. Harjavallassa juhlittiin uusittuja tuotantolaitoksia. 2017. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.11.2025): https://linde-stories.com/fi/harjavallassa-juhlittiin-uusittuja-tuotantolaitoksia/.
[38] Aluehallintovirasto. Hakemus, joka koskee suurteollisuusalueelle rakennettavan rikkihappotehtaan 8 (RH8) toimintaa sekä hakemus toiminnan aloittamiseksi muutoksenhausta huolimatta, Harjavalta 2015. Nro 116/2015/1. Dnro ESAVI/12257/2014.
[39] Aluehallintovirasto. Boliden Harjavalta Oy:n Harjavallan kupari- ja nikkelisulaton, rikkihappotehtaiden sekä tavanomaisen ja vaarallisen jätteen kaatopaikkojen ympäristölupapäätösten lupamääräysten tarkistamista koskeva hakemus, Harjavalta. 2014. Nro 239/2014/1. Dnro ESAVI/147/04.08/2011.
[40] Aluehallintovirasto. Norilsk Nickel Harjavalta Oy:n kemikaalitehtaan, nikkelituotannon ja vaarallisten jätteiden kaatopaikan ympäristölupien lupamääräysten tarkistamista koskeva hakemus sekä hakemus päätöksen noudattamiseksi muutoksenhausta huolimatta koskien kobolttisulfaattituotannon aloittamista, Harjavalta. 2014. Nro 240/2014/1. Dnro ESAVI/148/04.08/2011.
[41] Aluehallintovirasto. Kemira Oyj:n Harjavallan kemikaalitehtaan ja kemikaalivaraston ympäristöluvan lupamääräysten tarkistamista koskeva hakemus, Harjavalta. 2014. Nro 238/2014/1. Dnro ESAVI/139/04.08/2011.
[42] Aluehallintovirasto. Kemira Oyj: Harjavallan tehtaiden toiminnan muutos ja toiminnan aloittamislupa, Harjavalta. 2018. Nro 5/2018/1. Dnro ESAVI/7655/2017.
[43] Nornickel Harjavalta. Nikkelituotannon kokenut erikoisosaaja. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.11.2025): https://www.nornickel.fi/tuotteemme/tuotantoprosessi (accessed November 13, 2025).
[44] Haavisto M, Pihlavisto-Hakala J. Kokemäenjoki ja metalliteollisuuden vesivastuullisuus. Prizztech Oy; 2025. https://www.prizz.fi/media/teknologiametallit/teknologiametallit-materiaalit/vesivastuullisuus.pdf.
[45] Joensuu J. Fortum, BASF ja Nornickel yhteistyöhön Harjavallassa – tulossa yli sata uutta työpaikkaa. Yle Uutiset. 2020. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.10.2025): https://yle.fi/a/3-11244619.
[46] Aluehallintovirasto. STEP Oy: Rinnakkaispolttolaitoksen ympäristölupa ja toiminnan aloittamislupa, Harjavalta. 2023. Nro 295/2023. Dnro ESAVI/26603/2022.
[47] Bartzas G, Tsakiridis PE, Komnitsas K. Nickel industry: Heavy metal(loid)s contamination - sources, environmental impacts and recent advances on waste valorization. Current Opinion in Environmental Science & Health; 2021. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584421000258.

LIITE A: ENERGIANTUOTANTO HARJAVALLAN SUURTEOLLISUUSPUISTOSSA

Taulukko 7. *STEP Oy:n tuotantotehot Harjavallan suurteollisuuspuistossa [33].*

	Teho (MW)
Biohöyrykattila	30
Höyrykattila	20
Ni-lämmöntalteenottokattila	24
Cu-lämmöntalteenottokattila	20
Konvertterilämmöntalteenottokattila	12
Höyrystyskattila	16
Tulistuskattila	5
Apukattila	16
Noviter-kattila	10
Kuumavesikattilat	2+4+4
Kaukolämpökattila	3
Paineilmakompressorit	9,3