

TIETEELLINEN ARTIKKELI

NOORA SALIN, RIIKKA LAUKKANEN-NINIOS JA ANNAMARI HEIKINHEIMO

Teurastamon jätevesien puhdistus ja näytteenotto antimikrobiresistenssin näkökulmasta: Kirjallisuuskatsaus ja tutkimus

Slaughterhouse wastewater treatment and sampling from an antimicrobial resistance perspective: Review and research

YHTEENVETO

Teurastamoiden toiminnassa muodostuu runsaasti jätevettä. Jätevedet ovat koostumuksensa vuoksi ympäristölle haitallisia, minkä vuoksi ne on käsiteltävä ennen laskemista purkuvesistöihin. Teurastamoiden jätevedet käsitellään yleensä samoilla prosesseilla kuin yhdyskuntien jätevedet, ja käsittelyllä pyritään poistamaan etenkin orgaanista ainesta ja ravinteita. Mikrobin poistamiseen voidaan käyttää erilaisia desinfiointimenetelmiä. Jätevedenkäsittelyä ohjaavat useat säädökset ja suositukset, kuten yhdyskuntajätevesidirektiivi (EU) 2024/3019 ja BAT-vertailuasiakirjat, jotka eivät kuitenkaan aseta mikrobiologisia vaatimuksia puhdistetulle jätevedelle. Tavanomaiset puhdistusprosessit ovat useimmiten riittämättömiä poistamaan jätevesien mikrobeja, joten osa bakteereista päätyy kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. Selvitimme kyselytutkimuksen ja teurastamoiden ympäristölupapäätösten avulla suomalaisten teurastamoiden jätevedenkäsittelyä ja näytteenottoa sekä mahdollisuutta hyödyntää jätevesinäytteenottoa antibioottiresistenssin seurannassa. Lisäksi pohdimme jätevesien mahdollista roolia antibioottiresistenssin lähteenä Suomessa. Antibioottiresistenssin hallinta edellyttää sen jatkuvaa seurantaa. Tutkimuksemme tulosten perusteella teurastamoiden nykyinen jätevesinäytteenotto voisi soveltua käsiteltyjen jätevesien bakteerikuorman tutkimiseen, ja sitä voisi olla mahdollista myös kehittää tuotantoeläinten resistenssi- ja mikrobiseurannan täydentäväksi välineeksi.

SUMMARY

Slaughterhouses generate large amounts of wastewater. Due to their composition, these wastewaters are harmful to the environment and must therefore be treated before being discharged into receiving waterbodies. Slaughterhouse wastewaters are generally treated using the same processes as for municipal wastewater, and the treatment aims mainly to remove organic matter and nutrients. Various disinfection methods can be used to eliminate microbes. Wastewater treatment is governed by several regulations and recommendations, such as the Urban Wastewater Treatment Directive (EU) 2024/3019 and BAT reference documents, which do not, however, set microbiological requirements for treated wastewater. Conventional treatment processes are often insufficient to remove microbes from wastewater, so some bacteria end up at municipal wastewater treatment plants. Using a survey and environmental permit decisions for slaughterhouses, we investigated wastewater treatment and sampling practices in Finnish slaughterhouses, as well as the potential to utilize wastewater sampling for monitoring antimicrobial resistance. In addition, we assessed the potential role of wastewater as a source of antibiotic resistance in Finland. Managing antibiotic resistance requires continuous monitoring. Based on the results of our research, the current wastewater sampling practices in slaughterhouses could be suitable for investigating the bacterial load in treated wastewater and could potentially be developed into a complementary tool for monitoring resistance and microbes in food-producing animals.

JOHDANTO

Teurastamoiden tuotantoprosessit tuottavat suuria määriä jätevettä.¹ Teurastamoissa muodostuvien jätevesien määrä ja laatu vaihtelevat teurastamoittain sekä tuotannon eri vaiheissa, riippuen muun muassa teurastettavista eläinlajeista, teurastusmääristä sekä teurastamon prosesseista ja käytännöistä.² Koostumuksensa vuoksi teurastamoiden jätevedet ovat käsittelemättöminä erittäin haitallisia ympäristölle ja vesistöille. Jätevedet sisältävät muun muassa rasvoja, proteiineja, lantaa, sula-matonta rehua, verta, mahdollisesti lääke-jäämiä ja pesuissa käytettävien puhdistus-kemikaalien jäämiä.^{1,2,3} Teurastamoiden jätevesien on myös osoitettu olevan tärkeä reservoaari bakteereille, joilla on vastustus-kykyä kliinisesti tärkeille antibiooteille.^{4,5} Bakteerit ovat lähtöisin teuraseläinten eriteistä, kuten ulosteesta ja virtsasta, ja ne voivat päätyä jätevesiin teurastusprosessin eri vaiheissa, kuten tainnutus-, kaltaus- ja suolistuslaitteistoista sekä teurastamolla tehtävästä eläinten kuljetusautojen pesusta.⁵

Teurastamoiden jätevedet käsitellään pääosin samoilla puhdistusprosesseilla kuin muutkin yhdyskuntien jätevedet.⁶ Käsittelyiden pääasiallinen tarkoitus on vähentää jätevedestä ympäristöä kuormittavia tekijöitä ja minimoida ravinne päästöjä jätevesien purkuvesistöihin.¹ Tavanomaiset jätevedenkäsittelyprosessit poistavat myös jätevesien mikrobeja, mutta eivät kykene kokonaan eliminoimaan niitä, minkä vuoksi teurastamoiden jätevedet voivat tarjota erilaisille taudinaiheuttajille ja antibioottiresistenteille bakteereille väylän kulkeutua ympäristöön ja vesistöihin.^{4,5} Teurastamoiden jätevesillä on todettu olevan merkittävä rooli antibioottiresistenssin leviämiseksi ympäristöön, mikä voi olla uhka ihmisten, eläinten ja ympäristön yhteiselle terveydelle.^{4,5,7,8}

Antibioottiresistenttien bakteerien esiintymisen seuranta jätevesistä voi tarjota arvokasta tietoa jätevesien välityksellä tapahtuvasta antibioottiresistenssin leviämisestä sekä toimia työkaluna antibioottiresistenssin hallinnassa ja torjunnassa.^{9,10,11} Jätevesiseurannan mahdollisuuksia on tutkittu myös teurastamoissa, ja sillä on osoitettu olevan potentiaalia eläimissä esiintyvän antibioottiresistenssin seurannassa.¹²

Esittelemme kirjallisuudessa teurastamoiden jätevesien käsittelymenetel-

YDINKOHDAT

- Selvitimme suomalaisten teurastamoiden jätevesien käsittelyprosesseja ja pohdimme millainen rooli jätevesillä on Suomessa antibioottiresistenssin lähteenä.
- Teurastamoiden jätevesien käsittelyprosessit eivät täysin poista antibioottiresistenttejä bakteereita, vaan osa bakteereista päätyy kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle.
- Ilman jäteveden puhdistusta antibioottiresistenttien bakteerien leviäminen jätevesien kautta muodostaisi merkittävän riskin ihmisten, eläinten ja ympäristön yhteiselle terveydelle.
- Jätevesien mikrobien seuranta voi tarjota arvokasta tietoa antibioottiresistenssin esiintymisestä eläimillä ja auttaa sen leviämisen hallitsemisessa.

Artikkeli saapui toimitukseen 26. kesäkuuta 2025.

miä sekä teurastamoiden jätevedenkäsittelyä ohjaavia säädöksiä ja muita normeja. Tutkimusosassa selvitämme suomalaisten teurastamoiden jätevedenkäsittelyssä käytettäviä prosesseja sekä arvioimme saatavilla olevan tutkimustiedon valossa, miten ne vaikuttavat jätevesien mikrobeihin. Selvitämme tutkimusosassa lisäksi suomalaisissa teurastamoissa tehtävää jätevesinäytteenottoa sekä pohdimme mahdollisuutta hyödyntää sitä muun muassa osana antibioottiresistenssin seurantaa. Teurastamoiden jätevesien käsittelystä tai teurastamoiden jätevesissä esiintyvistä antibioottiresistenteistä bakteereista ei löydy aikaisempaa julkaistua tietoa Suomesta.

KIRJALLISUUSKATSAUS

Teurastamoiden jätevesien käsittelymenetelmät

Jätevesien aiheuttaman ympäristökuormituksen vuoksi teurastamon jätevedet on käsiteltävä ennen kuin ne voidaan johtaa vesistöihin. Teurastamoiden jätevesien käsittelymenetelmiä on lukuisia, ja ne voidaan

jakaa esikäsittely-, primaari-, sekundaari- ja tertiäärimenetelmiin.¹³ Esikäsittelyssä jätevedestä erotetaan teurastusprosessin aikana syntyneitä karkeaa kiintoainesta. Esikäsittelymenetelmiä ovat esimerkiksi erilaiset siivilät ja seulat sekä laskeutus ja selkeytys.^{6,13} Esikäsittelyn jälkeen jätevedelle tulee tehdä jatkokäsittelynä primaari- ja sekundaarikäsittely. Yksi yleisesti käytössä oleva primaarikäsittelymenetelmä on korkeapaineflotaatio, jossa kiintoaines nostetaan ilmakuplien avulla flotaa-tioaltaan pinnalle, minkä jälkeen pinnalle muodostunut liete poistetaan kaapimalla. Lietteen muodostumista voidaan tehostaa prosessikemikaaleilla, jotka parantavat kiintoaineksen paakkuuntumista ja flotaa-tiota. Korkeapaineflotaatiolla saadaan tehokkaasti vähennettyä jäteveden rasvoja, kiintoainesta sekä biokemiallista ja kemiallista hapenkulutusta.^{1,13}

Muita jäteveden primaarikäsittelymenetelmiä ovat muun muassa sähkösaostus ja kalvosuodatus. Sähkösaostuksessa sähkövirran ja metallin avulla jätevedestä saadaan poistettua orgaanista ainesta, raskasmetalleja ja patogeeneja. Kalvosuodatus-tekniikoilla, kuten mikro-suodatuksella, ultrasuodatuksella, nanosuodatuksella ja käänteis-osmoosilla, voidaan jätevedestä poistaa muun muassa kiintoainesta ja patogeeneja.⁶

Primaarikäsittelyt eivät usein ole riittäviä puhdistamaan teurastamon jätevettä siten, että vaatimukset täyttyisivät päästökriteerien osalta. Tämän vuoksi käytetään sekundaarikäsittelymenetelmiä, joiden pääasiallisena tarkoituksena on poistaa jätevedestä liukoisia orgaanisia aineita, joita on jäänyt jäteveeseen primaarikäsittelyn jälkeen. Sekundaarikäsittelynä käytetään monissa tilanteissa biologista puhdistusta, jossa orgaanista ainesta ja patogeeneja poistetaan jätevedestä mikrobien avulla. Biologisia jätevedenpuhdistusmenetelmiä ovat muun muassa erilaiset anaerobiset ja aerobiset käsittelyt, kuten aktiiviliete ja biosuodatinjärjestelmä.⁶

Tehostettuja hapetustekniikoita eli AOP-tekniikoita (advanced oxidation processes) on kehitetty vaihtoehtoksi perinteisille jätevedenkäsittelymenetelmille.¹ AOP-tekniikat perustuvat kemialliseen reaktioon, jossa epäpuhtaudet poistetaan voimakkaiden hapettimien, kuten hydrok-syyli- ja peroksidien avulla.¹⁴ AOP-tekniikoita voidaan hyödyntää biologisia puhdistusmenetelmiä täydentävinä käsittelymenetel-

TAULUKKO 1 TABLE

Teurastamoiden jätevesikyselyn rakenne ja sisältö.

Structure and content of the slaughterhouse wastewater survey.

Kysymys nro <i>Question no.</i>	Kysymyksen aihe <i>Topic of the question</i>	Kysymystyyppi <i>Question type</i>	Vastausvaihtoehdot <i>Answer options</i>
1	Toiminnan laajuus <i>Scope of operations</i>	Monivalintakysymys: valitse yksi. <i>Multiple choice question: select one.</i>	Teurastamo/Pienteurastamo/Riistan käsittelylaitos <i>Large-scale slaughterhouse / Small-scale slaughterhouse / Game handling establishment</i>
2	Teurastettavat eläinlajit <i>Animal species slaughtered</i>	Monivalintakysymys: valitse yksi tai useampi. <i>Multiple choice question: select one or more.</i>	Nauta/Sika/Lammas, vuohi /Hevonen/Siipikarja/Tarhattu riista / Luonnonvarainen riista <i>Cattle/Pig/ Sheep, goat /Horse/Poultry/ Farmed game / Wild game</i>
3	Millaisia käsittelyjä jätevedelle tehdään teurastamon yhteydessä? <i>What kind of treatments are applied to wastewater at the slaughterhouse?</i>	Avoin kysymys. <i>Open question.</i>	Kysymyksen kuvauksessa annettu esimerkkejä erilaisista käsittelymenetelmistä ja pyydetty kuvaamaan jätevedenkäsittelyn eri vaiheet. <i>The question description provides examples of different treatment methods and asks to describe the different stages of wastewater treatment.</i>
4	Minne teurastamon jätevesi johdetaan käsittelyn jälkeen? <i>Where is the slaughterhouse wastewater discharged after treatment?</i>	Monivalintakysymys: valitse yksi. <i>Multiple choice question: select one.</i>	Kunnalliseen jätevesiverkkoon / Muualle, minne? (avoin vastaus) <i>To the municipal sewerage system / Elsewhere, specify? (open answer)</i>
5	Otetaanko teurastamolla näytteitä jätevedestä? <i>Are wastewater samples taken at the slaughterhouse?</i>	Monivalintakysymys: valitse yksi tai useampi. <i>Multiple choice question: select one or more.</i>	Otetaan lattiakaivoista. / Otetaan teurastamon jätevesitankista ennen teurastamon tekemää jätevedenkäsittelyä. / Otetaan teurastamon jätevesitankista teurastamon tekemän jätevedenkäsittelyn jälkeen. / Otetaan muualta, mistä? (avoin vastaus) / Jätevedestä ei oteta näytteitä teurastamolla. <i>Taken from floor drains. / Taken from the slaughterhouse wastewater tank before treatment. / Taken from the slaughterhouse wastewater tank after treatment. / Taken elsewhere, specify? (open answer) / No sampling of wastewater at the slaughterhouse.</i>
6	Miten jätevesinäytteet otetaan teurastamolla? <i>How are wastewater samples taken at the slaughterhouse?</i>	Monivalintakysymys: valitse yksi tai useampi. <i>Multiple choice question: select one or more.</i>	Vanutikulla. / Nestemäisenä kertianäytteenä astiaan. / Nestemäisistä kertianäytteistä koottuna kokoomanäytteenä astiaan. / Muulla tavoin, miten? (avoin vastaus) <i>With a swab. / As a liquid grab sample into a container. / As a composite sample compiled from liquid grab samples into a container. / In another way, how? (open answer)</i>
7	Kuinka usein jätevesinäytteitä otetaan teurastamolla? <i>How often are wastewater samples taken at the slaughterhouse?</i>	Avoin kysymys. <i>Open question.</i>	
8	Mitä jätevesinäytteistä tutkitaan ja miksi (esim. lainsäädännön vaatimus)? <i>What is analyzed from the wastewater samples and why (e.g., legal requirement)?</i>	Avoin kysymys. <i>Open question.</i>	

minä, ja niitä voidaan käyttää joko jäteveden primaari- tai sekundaarikäsittelynä. Yksi AOP-tekniikoiden hyöty on niiden teho jäteveden patogeeneihin ilman tarvetta lisätä jäteveeseen ylimääräisiä kemikaaleja. Esimerkkejä AOP-tekniikoista ovat otsonointi, gammasäteilytys sekä UV-säteilyn ja vetyperoksidin yhdistäminen.¹

Tertiärikäsittely on jäteveden puhdistusprosessin jälkikäsittelyvaihe, jonka tarkoituksena on ravinteiden, kuten typen ja fosforin, sekä kiintoaineen poistaminen. Tertiärikäsittelyjen käyttöä teurastamoiden jätevesien käsittelyssä rajoittavat kuitenkin niiden korkeat kustannukset.¹³

Mikrobien poistamiseen jätevedestä on yleisesti käytetty desinfiointia. Perinteisiä desinfiointimenetelmiä ovat kloori, klooridioksidi, otsoni, peretikkahappo ja UV-säteily. Kehittyneempiä desinfiointimenetelmiä ovat muun muassa jo aikaisemmin mainitut AOP- ja kalvosuodatus tekniikat. Luonnonmukaisia jäteveden desinfiointimenetelmiä ovat muun muassa hidas hiekkasuodatus, kosteikot sekä auringonvalon käyttö.¹⁴

Jätevesien eri käsittelymenetelmillä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, joten tapana on yhdistää useita puhdistustekniikoita, jotta saavutettaisiin tehokas puhdistustulos. Käsittelymenetelmien valintaan vaikuttavat muun muassa käsiteltävän jäteveden ominaisuudet, käytettävissä olevat menetelmät, voimassa oleva lainsäädäntö sekä kustannukset.¹

Teurastamoiden jätevedenkäsittelyä ohjaavat säädökset

Suomessa teurastamoiden jätevesien käsittelyä ohjaavat esimerkiksi EU-tasolta tulevat yhdyskuntajätevesidirektiivi (EU) 2024/3019 sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU teollisuuden ja karjankasvatuksen päästöistä. Teurastamoihin koskevat myös Euroopan komission julkaisemat parhaita käytettävissä olevia tekniikoita koskevat BAT-vertailuasiakirjat (Best Available Technology), joissa on teurastamoiden jätevedenkäsittelyyn liittyvää ohjeistusta ja suosituksia.¹⁵ Kansallisessa ympäristönsuojelulaissa 527/2014 on määritelty teurastamoiden tuotantokapasiteetille raja, jonka ylittyessä teurastamolta vaaditaan ympäristölupa.

Edellä mainitut säädökset ja suositukset sekä mahdollinen teurastamon ympäristölupa asettavat enimmäispitoisuuksia

teurastamoiden jätevesien ympäristöä kuormittaville tekijöille, kuten biologiselle hapenkulutukselle, kemialliselle hapenkulutukselle sekä typpi- ja fosforipäästöille. Lisäksi teurastamoiden ja vesihuoltolaitoksen välisessä teollisuusjätevesisopimuksessa voidaan asettaa ehtoja jätevesien käsittelystä ennen niiden johtamista viemäriverkostoon.¹⁶ Teollisuusjätevesisopimuksen tarkoituksena on turvata viemäriverkoston ja jätevedenpuhdistamoiden toiminta silloin, kun asumajätevesistä poikkeavaa jätevettä johdetaan viemäriverkostoon, ja tämä voi haitata jätevettä vastaanottavan vedenpuhdistamon toimintaa.

Teurastamoiden jätevesien käsittelyyn tulee vaatimuksia myös sivutuotelainsäädännöstä. Sivutuoteasetuksen täytäntöönpanoasetus (EU) N:o 142/2011 edellyttää, että teurastamoissa on jäteveden käsittelyn ensimmäisenä vaiheena esikäsittelyprosessi eläinperäisen aineksen talteen ottamiseksi. Se voi olla esimerkiksi vesilukko tai seula, joka varmistaa, että esikäsittelyn läpi virranneessa jätevedessä olevat kiinteät partikkelit ovat enintään kuuden millimetrin kokoisia. Asetus myös kieltää veren ja maidon hävittämisen jätevesivirran mukana.

TUTKIMUS

Aineisto ja menetelmät

Keräsimme tutkimusta varten kyselyaineiston Webropol-kyselysovelluksella kesällä 2024. Kyselyn sisältö on esitetty taulukossa 1. Kyselyyn vastattiin anonymisti. Kysely lähetettiin sähköpostitse Suomessa sijaitsevien 14 ison teurastamon, 41 pienteurastamon ja kuuden riistan käsittelylaitoksen toimijoille, pois lukien poroteurastamot. Isolla teurastamolla tarkoitetaan teurastamo, jossa teurastetaan vuodessa yli 5 000 eläinyksikköä tai yli 300 000 lintua. Eläinyksiköiden muuntokertoimet on määritelty EU-lainsäädännössä.^{17,18} Pienteurastamolla tarkoitetaan lainsäädännön mukaan toimivaltaisten viranomaisten riskianalysin perusteella nimeämää teurastamo, jossa teurastusta harjoitetaan vain osan aikaa työpäivästä tai koko työpäivän ajan, mutta ei viikon jokaisena työpäivänä.¹⁷ Riistan käsittelylaitoksella tarkoitetaan teurastamo, jossa teurastetaan loppuun pääasiassa luonnonvaraista riistaa.¹⁹

Aineistoon otettiin mukaan myös aluehallintoviraston vesi- ja ympäristölupien tietopalvelusta julkisesti saatavilla olevat teurastamoiden ympäristölupapäätökset. Ympäristölupapäätöksissä on ku-

vattu teurastamoiden käyttämät jätevesien käsittelyprosessit ja jätevesinäytteenotolle asetetut vaatimukset.

TULOKSET

Kyselytutkimukseen vastasi neljä isoa teurastamo, kymmenen pienteurastamo ja kolme riistan käsittelylaitosta. Lisäksi saatavilla olivat neljän ison teurastamon ympäristölupapäätökset, joista saadut tiedot eivät olleet päällekkäisiä kyselyvastauksiin verrattuna. Näin ollen aineistomme kattoi 57 % isoista teurastamoista, 24 % pienteurastamoista ja 50 % riistan käsittelylaitoksista, jotka olivat toiminnassa aineiston koostamisen aikaan (taulukko 2).

Kaikissa tutkimusaineiston isoissa teurastamoissa, pienteurastamoissa ja riistan käsittelylaitoksissa jätevesi puhdistettiin ennen sen laskemista kunnalliseen viemäriverkostoon tai umpikaivoon tai ennen käyttöä lannoitteena pellolla (taulukko 3). Isoissa teurastamoissa jäteveden esikäsittelymenetelmät vaihtelivat teurastamoittain, ja karkean kiintoaineen erottamiseen käytettiin yhdestä kolmeen eri menetelmää. Pienteurastamoista kaikki hyödynsivät jätevedenkäsittelyssä ensimmäisenä vaiheena lattiakaivossa olevaa siivilää, jota yli puolet aineiston pienteurastamoista täydensi rasvanerotuskaivolla tai sakokaivolla. Riistan käsittelylaitoksissa kiintoaines erotettiin joko lattiakaivon siivilällä tai hiekanerotuskaivolla. Esikäsittelyn jälkeen kaikki isot teurastamot käyttivät jäteveden jatkokäsittelyyn flotatioprosessia. Sitä tehostettiin useimmiten ilmastuksella tai kemikaaleilla, kuten ferri-sulfaattilla, ferrikloridilla tai saostuspolymeerillä. Kahdessa isossa teurastamossa jätevedenkäsittelyssä hyödynnettiin bakteereita, jotka hajottavat jäteveden kiintoainesta ja rasvaa. Pienteurastamoissa tai riistan käsittelylaitoksissa jätevedenkäsittelyyn ei mainittu sisältyvän primaari- tai sekundaarikäsittelyitä.

Kaikki tutkimusaineistossa mukana olevat isot teurastamot laskivat käsittelemänsä jätevedet viemäriverkostoon, josta ne päätyvät kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle (taulukko 3). Pienteurastamoista 70 % ja kaikki riistan käsittelylaitokset päästivät jäteveden esikäsittelyn jälkeen viemäriverkostoon tai umpikaivoon, josta jätevesi tyhjennetään jätevedenpuhdistamolle. Kahdessa pienteurastamossa umpikaivon jätevesi hygienisoitiin kalkkis-tiloimalla ennen sen lannoitekäyttöä

TAULUKKO 2 TABLE

Aineiston kattavuus ja aineistossa mukana olevissa teurastamoissa teurastettavat eläinlajit.
Coverage of the dataset and animal species slaughtered in the included slaughterhouses.

Teurastamotyyppi Type of slaughterhouse	Isot teurastamot Large-scale slaughterhouses	Pienteurastamot Small-scale slaughterhouses	Riistan käsittelylaitokset Game handling establishments
Teurastamoiden kokonaismäärä ^a Total number of slaughterhouses ^a	14	41	6
Mukana aineistossa Included in dataset	8 ^b	10	3
Kattavuus (%) Coverage (%)	57 %	24 %	50 %
Teurastettavat eläinlajit Animal species slaughtered	Nauta (3/8) Cattle (3/8) Siipikarja (3/8) Poultry (3/8) Sika (2/8) Pig (2/8)	Lammas/vuohi (9/10) Sheep/goat (9/10) Nauta (8/10) Cattle (8/10) Luonnonvarainen riista (7/10) Wild game (7/10) Sika (6/10) Pig (6/10) Hevonen (6/10) Horse (6/10) Tarhattu riista (5/10) Farmed game (5/10)	Luonnonvarainen riista (3/3) Wild game (3/3)

^a Vuonna 2024 aineiston koostamisen aikaan toiminnassa olleet isot teurastamot, pienteurastamot ja riistan käsittelylaitokset.
^a Large-scale slaughterhouses, small-scale slaughterhouses, and game handling establishments operating in 2024 at the time of dataset compilation.
^b Neljä kyselyvastausta ja neljä ympäristölupapäätöstä.
^b Four survey responses and four environmental permit decisions.

pellolla. Yhdessä pienteurastamossa esikäsitelty jätevesi imeytettiin useamman peräkkäisen sakokaivon jälkeen maaperään. Kaikissa tutkimusaineistossa mukana olevissa isoissa teurastamoissa kerättiin jätevesinäytteitä tutkittavaksi (taulukko 3). Jätevesinäytteet otettiin teurastamolla tehdyn jätevedenkäsittelyprosessin jälkeen, ja kahdessa teurastamossa myös ennen käsittelyprosessia. Näytteet otettiin nestemäisinä, ja yksi näyte koostui joko kertanäytteistä kootusta kokoomänäytteestä tai automaattisen näytteenottimen ottamasta vuorokauden koontinäytteestä. Näytteenottotiheys vaihteli neljästä kerrasta vuodessa kahteen kertaan kuukaudessa. Tyypillisin näytteenottotiheys oli kerran kuukaudessa. Jätevesinäytteistä tutkittiin yleisimmin kiintoaineksen määrä sekä kemiallinen ja biologinen hapenkuutus, jotka kuvaavat jätevedessä olevan or-

gaanisen aineksen määrää. Muita jätevesinäytteistä tutkittavia fysikaaliskemiallisia muuttujia olivat muun muassa kokonaishfosfori, kokonaistyyppi, pH ja sähkönjohtavuus. Aineiston joukossa oli myös yksi iso teurastamo, jonka jätevedestä määritettiin heterotrofinen pesäkeluku. Muutoin aineistosta ei käynyt ilmi jätevedestä tehtäviä mikrobimääryksiä. Pienteurastamoista ja riistan käsittelylaitoksista vain yhdessä pienteurastamossa otettiin jätevesinäytteitä. Näytteenotosta vastasi kunnan valvontaviranomainen, eikä vastauksesta käynyt ilmi tarkempia tietoja näytteenottotiheydestä tai jätevedestä tehtävistä tutkimuksista.

POHDINTA

Aineiston perusteella isojen teurastamoiden jätevesien käsittelyprosessit ovat Suomessa keskenään hyvin samankaltaisia.

Sekä kyselyvastaukset että ympäristölupapäätökset antoivat samansuuntaista tietoa teurastamoissa käytettävistä jätevedenkäsittelyprosesseista. Tämä viittaa siihen, että aineistomme edustaa tyypillisiä isoissa teurastamoissa sovellettavia menetelmiä. Kyseiset prosessit lisäksi vastaavat pitkälti tavanomaisia fysikaaliskemiallisia ja biologisia menetelmiä, joita lihateollisuudessa yleisesti käytetään.⁶ Myös useat teurastamot Euroopassa käsittelevät jätevedet vastaavin prosessein.¹⁵ Tavanomaiset kemialliset ja biologiset jätevedenkäsittelyprosessit eivät kuitenkaan ole riittäviä poistamaan jätevesistä antibioottiresistenttejä bakteereita.^{20,21} Teurastamoiden osalta näyttöä tästä on saatu useassa eurooppalaisessa teurastamoiden jätevesiä käsittelevässä tutkimuksessa.^{4,5,22,23,24,25} Teurastamoiden omien tavanomaisia biologisia ja kemiallisfysikaalisia prosesseja hyödyntävien jäteveden-

TAULUKKO 3 TABLE

Tutkimusaineistoon kuuluvissa isoissa teurastamoissa, pienteurastamoissa ja riistan käsittelylaitoksissa käytössä olevat jätevesien käsittelymenetelmät, jäteveden määränpää käsittelyiden jälkeen sekä jätevesinäytteistä tehtävät tutkimukset.

Wastewater treatment methods used in large-scale slaughterhouses, small-scale slaughterhouses, and game handling establishments included in the research data, and the destination of wastewater after treatment and analysis of wastewater samples.

		Isot teurastamot								Pienteurastamot										Riista ^a		
		Large-scale slaughterhouses								Small-scale slaughterhouses										Game ^a		
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3
Esikäsittely / Preliminary treatment	Siivilä tai välppä <i>Sieve or screen</i>																					
	Rasvan- hiekan- tai höyhenerotuskaivo <i>Grease, sand, or feather separation well</i>																					
	Separaattori <i>Separator</i>																					
	Sakokaivo <i>Septic tank</i>																					
Primaari-/sekundaarikäsittely <i>Primary/secondary treatment</i>	Bakteerikäsittely <i>Bacterial treatment</i>																					
	Flotaatio <i>Flotation</i>																					
Hygienisointikäsittely <i>Sanitising treatment</i>	Kalkkistabilointi <i>Lime stabilization</i>																					
Jäteveden määränpää käsittelyiden jälkeen <i>Destination of wastewater after treatment</i>	Kunnallinen jätevesiverkko <i>Municipal sewerage system</i>																					
	Umpikaivo <i>Cesspool</i>																					
	Peltolevitys <i>Land application</i>																					
	Imeytyskenttä <i>Absorption field</i>																					
Jätevesitutkimukset <i>Analysis of wastewater samples</i>	Fysikaalis-kemiallinen <i>Physico-chemical</i>																					
	Bakteriologinen <i>Bacteriological</i>																					
	Tehtävät tutkimukset ei tiedossa <i>Analysis carried out not known</i>																					
	Ei tutkita <i>Not examined</i>																					

^a Riistan käsittelylaitokset

^a Game handling establishments

käsittelyiden läpikäyneistä jätevesistä on löydetty muun muassa patogeenisia ja ES-BL-entsyymiä tuottavia *E. coli* -bakteereita, metisilliiniresistenttejä *Staphylococcus aureus* -bakteereita (MRSA) sekä niin sanottuja ESKAPE-bakteereita. ESKAPE on lyhenne, jolla viitataan ryhmään bakteereita (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* ja *Enterobacter* spp.). Ne ovat merkittäviä taudinaiheuttajia ja niissä esiintyy merkittävää antibioottiresistenssiä. Jätevesistä eristetyillä bakteereilla todettiin eri tutkimuksissa moniresistenssiä useille kliinisesti tärkeille antibiooteille.^{4,5,22} Tutkimuksissa oli mukana nautoja, sikoja, lampaita, vuohia ja siipikarjaa teurastavia teurastamoita, jotka sijaitsivat Portugalissa, Ranskassa ja Saksassa. Suomen osalta ei löydy vastaavaa tietoa antibioottiresistenttien bakteerien esiintymisestä teurastamoiden jätevesissä, mutta aiheeseen liittyen on menossa tutkimus. Muissa maissa tehtyjen tutkimusten ja niistä saatujen tulosten perusteella voimme kuitenkin olettaa, että myös Suomessa bakteereita ja muita mikrobeja kulkeutuu teurastamoiden jätevedenpuhdistuksen läpi.

Suomessa isojen teurastamoiden jätevedet johdetaan teurastamoiden oman esikäsittelyn jälkeen kunnalliseen viemäriverkostoon ja edelleen kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. Aineistomme perusteella myös pääosa pienteurastamoiden ja riistan käsittelylaitosten jätevesistä päätyvät kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle joko suoraan esikäsittelyn jälkeen tai umpikaivon kautta. Pienteurastamoiden osalta kyselyn vastausprosentti jäi kuitenkin alhaiseksi, mikä voi heikentää tulosten yleisettävyyttä. Vaikka alhainen vastausprosentti ei automaattisesti merkitse suurta vääristymää tuloksissa, on myös mahdollista, että kyselyyn vastasivat vain sellaiset pienteurastamot, joissa jätevedenkäsittely on asianmukaisesti järjestetty.²⁶

Useimmat kunnalliset jätevedenpuhdistamot Suomessa käyttävät mekaanis-biologis-kemiallisia jätevedenkäsittelyprosesseja.²⁷ Jätevedenpuhdistamoiden käsittelyt läpikäyneen veden mikrobiologisille epäpuhtauksille ei ole toistaiseksi asetettu mitään lakisääteisiä raja-arvoja EU-lainsäädännössä tai kansallisessa lainsäädännössä. Euroopan unionin jäsenmaiden jätevedenpuhdistamoissa on noudatettava yhdyskuntajätevesidirektiiviä sen varmis-

tamiseksi, että jätevedet käsitellään asianmukaisesti ennen niiden johtamista vesistöihin. Direktiiviä päivitettiin viimeksi vuonna 2024. Päivitetty direktiivi (EU) 2024/3019 toi lainsäädäntöön veloitteen seurata antibioottiresistenssiä yhdyskuntajätevesissä. Seurantavelvoite kohdistuu erityisesti suuriin jätevedenpuhdistamoihin. Päivitettyä direktiivissä tiukennettiin myös ravinteiden poistoon liittyviä vaatimuksia. Vaatimuksia puhdistusmenetelmistä, joilla vähennettäisiin jätevesien mikrobiologista kuormitusta vesistöille, ei kuitenkaan sisällytetty direktiiviin päivityksen yhteydessä. Näin ollen säädösten mukaisesti puhdistettuna jätevesi voi sisältää vielä runsaasti mikrobeja, mukaan lukien antibioottiresistenttejä bakteereita.²⁸

Savin ym.⁴ ovat löytäneet ESKAPE-bakteereita teurastamoiden esikäsitlemistä jätevesistä, jotka ohjattiin jatkokäsittäväksi kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. ESKAPE-bakteereita löydettiin myös kyseisen kunnallisen jätevedenpuhdistamon purkuvesistöstä. Kunnallinen jätevedenpuhdistamo käsitteli alueen muitakin jätevesiä, joten purkuvesistöjen ESKAPE-bakteerit ovat voineet olla peräisin myös muulta kuin yksinomaan teurastamoista. Tutkimus kuitenkin osoittaa sen, että teurastamoiden jätevedet ovat merkittävä antibioottiresistenttien bakteerien lähde kunnallisille jätevedenpuhdistamoille. Jätevedenpuhdistamoiden tavanomaisten käsittelyprosessien ollessa riittämättömiä poistamaan mikrobiologisia epäpuhtauksia, päätyvät antibioottiresistentit bakteerit jätevesien purkuvesistöihin ja niiden kautta edelleen muualle ympäristöön.

Pérez-Etayon ym.⁷ tutkimuksessa moniresistenttejä bakteereita eristettiin useista Etelä-Ranskan ja Pohjois-Espanjan alueen purkuvesistöistä, joihin teurastamoiden, sairaaloiden ja jätevedenpuhdistamoiden käsitteliä jätevesiä lasketaan. Lai ym.²⁹ ovat puolestaan tutkineet jätevesien purkuvesistöjä Ruotsissa ja todenneet puhdistetun jäteveden päästämisen ympäristöön lisäävän antibioottiresistenssiin vaikuttavien resistenssigeenistöjen eli resistomien määrää jätevesiä vastaanottavissa vesistöissä. Teurastamoiden jätevesien merkitystä antibioottiresistenssin levittäjänä ympäristöön on tuotu esiin useissa muissa tutkimuksissa, joissa antibioottiresistenttejä bakteereita on löydetty sekä teurastamoiden jätevesistä että

niitä käsittelevien jätevedenpuhdistamoiden purkuvesistöistä.^{30,31,32}

Toisaalta antibioottiresistenttien bakteerien määrää on mahdollista vähentää jätevedenpuhdistuksella esimerkiksi lisäämällä prosessiin tehokas tertiäärikäsittely eli jäteveden jälkikäsittelyvaihe. Gouliourisin ym.³³ tutkimuksessa kunnallisen jätevedenpuhdistamon käyttämä puhdistusprosessi, johon sisältyy UV-valoon perustuva loppudesinfointi, osoitautui tehokkaaksi keinoksi vähentää tai täysin estää vankomysiinille resistenttien *Enterococcus faecium* -bakteerien pääsy ympäristöön jäteveden mukana.

Jäteveden ohella teurastamoiden jätevesilietteen on todettu olevan toinen merkittävä reitti, jota kautta taudinaiheuttajat ja antibioottiresistentit bakteerit voivat kulkeutua ympäristöön.^{23,24} Aineistomme perusteella osassa Suomen pienteurastamoista umpikaivoon kertynyt jätevesilietteen kalkkistabiloidaan ja levitetään pellolle lannoitteeksi. Lannoitekäytöllä jätevesilietteen ravinteet saadaan hyötykäyttöön, mutta toisaalta jäteveden bakteerit voivat päätyä maaperään.^{23,24} Kalkkistabilointi on todettu tehokkaaksi menetelmäksi vähentää jätevesilietteessä esiintyviä taudinaiheuttajia.^{34,35} Jos lietteen hygienisointi kalkilla epäonnistuu, on mahdollista, että teurastamoiden jätevesilietteen sisältää edelleen taudinaiheuttajia ja antibioottiresistenttejä bakteereita. Peltolevityksessä ne päätyvät ympäristöön.^{35,36}

Yhteenvetona voimme todeta, että Suomessa teurastamoiden jätevedenkäsittelyprosessit eivät todennäköisesti poista jätevesissä esiintyviä bakteereita. Myös jätevesilietteet voivat toimia bakteerien leviämisreittinä ympäristöön, jos lietteiden hygienisointikäsittelyssä on puutteita. Kuinka merkittävän riskin teurastamoiden jätevedet ja jätevesilietteet voisivat aiheuttaa Suomessa antibioottiresistenttien bakteerien leviämiselle jätevesien kautta ympäristöön? Tilannetta voi suuntaa antavasti arvioida tuotantoeläinten resistenssiseurannan tulosten kautta. Suomessa tuotantoeläinten antibioottiresistenssin seurantaa tehdään osana EU:n pakollista seurantaohjelmaa. Tämän lisäksi antibioottiresistenssiä seurataan vapaaehtoisilla ohjelmilla ja kartotusluontoisesti. Teurastamoissa otetuissa näytteissä on tuotantoeläimiltä eristetyillä bakteereilla todettu Suomessa antibioottiresistenssiä kansainvälisesti ver-

tailtuna suhteellisen vähän. Esimerkiksi broilereilta otetuissa seurantänäytteissä ESBL- tai AmpC-entsyymiä tuottavien *E. coli* -bakteerien esiintyvyys on viime vuosina ollut keskimäärin 0,8 % ja teurassioilla keskimäärin 6,5 %.^{37,38} Vertailun vuoksi EU:n jäsenmaissa vuonna 2021 ESBL- tai AmpC-entsyymiä tuottavien *E. coli* -bakteerien esiintyvyys broilereilla oli keskimäärin 34,9 % ja teurassioilla keskimäärin 43,4 %.³⁹ Metisilliiniresistenttien *Staphylococcus aureus* -bakteerien (MRSA) esiintyvyys suomalaisissa teurassioissa on huolestuttavampi. Vuosien 2009–2010 aikana tehdyssä kartoituksessa suomalaisissa teurassioissa MRSA-bakteeria todettiin 22 %:ssa tutkituista sikaeristä.⁴⁰ Kartoitus toistettiin vuosien 2016–2017 aikana. Tuolloin MRSA-bakteeria todettiin jo lähes 80 %:ssa tutkituista sikateuraseristä.⁴¹ Seuraava MRSA-kartoitus toteutettiin vuoden 2025 aikana.

Resistenssiseurannan tulosten perusteella Suomessa teuraseläimillä esiintyvä antibioottiresistenttejä bakteereita. Teurastamoiden jätevesiin päätyessään ne voivat levitä ympäristöön. Suomen hyvän resistenssitilanteen ansiosta riski on kuitenkin pienempi kuin monessa muussa maassa. Tästä huolimatta tähän ihmisten, eläinten ja ympäristön yhteistä terveyttä uhkaavaan vaaraan on syytä suhtautua vakavasti. Resursseja tulisi suunnata tehokkaampien jätevedenpuhdistusprosessien kehittämiseen, jotta teurastamoiden jätevesien mukana ympäristöön päätyvää bakteerikuormaa voidaan vähentää. Yhtä lailla on tärkeää kiinnittää entistä enemmän huomiota keinoihin, joilla voidaan vähentää antibioottiresistenttien bakteerien päätymistä jätevesiin. Teuraseläinten osalta yksi olennainen tekijä on antibioottien käyttötarpeen minimoiminen alkutuotannossa. Maailmanlaajuisesti valtaosa antibiooteista käytetään tuotantoeläimille.⁴² Antibioottien käytön sijaan tuotantoeläinten sairauksia tulisi ehkäistä kiinnittämällä huomiota eläintilojen olosuhteisiin ja tautisuojaukseen sekä eläinten rokotuksiin. Vähentämällä resistenssin kehittymistä eläintiloilla voidaan vähentää sen päätymistä eläinten mukana teurastamoille.

Antibioottiresistenssin hallinnassa on tärkeää seurata jatkuvasti resistenssin esiintyvyyttä ja yleisyyttä. Yhden lisätyökalun resistenssin seurantaan voi

tarjota jätevesiseuranta. Jätevesiin perustuvasta näytteenotosta on saatu lupaavia tuloksia ihmisten antibioottiresistenssin väestötason seurannassa.^{43,44,45,46} Teurastamoiden jätevesiseurannan mahdollisuuksia on puolestaan tutkittu tuotantoeläimissä esiintyvän antibioottiresistenssin seurannassa.¹²

Kaikissa tutkimusaineistoomme kuuluvissa isoissa teurastamoissa otetaan jätevesinäytteitä. Suomessa yli 90 % teurastettavista eläimistä teurastetaan isoissa teurastamoissa (Ruokavirasto, henkilökohtainen tiedonanto). Jos kaikissa Suomen isoissa teurastamoissa kerättäisiin jätevesinäytteitä antibioottiresistenssin seurantaa varten, olisi pelkästään näistä saatava aineisto maanlaajuisesti hyvin kattava. Isoissa teurastamoissa jätevesinäytteet koostetaan vuorokauden ajalta otetuista näytteistä, mikä tekee niistä edustavampia kuin jos näyte otettaisiin yhtenä kertänäytteenä. Toisaalta näytteenotto tehdään vasta teurastamon tekemän jätevedenkäsittelyn jälkeen, koska sen tarkoituksena on tarkkailla viemäriverkoston johdettavien jätevesien laatua ja kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle aiheutuvaa kuormitusta. Nykyisellään teurastamoiden jätevesinäytteenotto voisi soveltua käsiteltyjen jätevesien mikrobi-kuorman tutkimiseen ja antaa tietoa mikrobien ja antibioottiresistenssin leviämisestä eteenpäin jätevesien mukana.¹¹ Hyötyä voitaisiin saada myös näiden tietojen yhdistämisestä ihmisten jätevesiseurantaan. Tämä koskee erityisesti tilanteita, joissa kunnallinen jätevedenpuhdistamo käsittelee teurastamoilta peräisin olevaa jätevettä, jolloin teurastamon jätevesillä voi olla merkittäviä vaikutuksia kunnallisen jätevedenpuhdistamon jätevesianalyysiin.

Tulevaisuudessa teurastamoiden jätevesien tutkiminen voisi teoriassa tarjota mahdollisuuden tuotantoeläimillä esiintyvien mikrobien ja antibioottiresistenssin seurantaan. Ihanteellinen näyte olisi silloin kokoomänäyte, joka edustaa yhtä tuotantopäivää ja on otettu kohdasta, jossa teuraseläimistä peräisin olevat mikrobit ovat runsaimmillaan. Jätevesinäytteeseen ei saisi olla sekoittuneena esimerkiksi teurastamon saniteettitiloista peräisin olevia ihmisten erittämiä mikrobeja eikä pesu- ja desinfointiainesten jäämiä, jotka voisivat vaikuttaa tutkittavien mikrobien elinkykyyn. Näytteen-

ottoajankohdassa tulisi ottaa huomioon tilojen pesuajakautet ja mahdolliset desinfointiainejäämät. Lisäksi tulisi ottaa huomioon jätevedenpuhdistuksen vaikutukset mikrobimääriin. Jotta voitaisiin tutkia eläinten kantamaa mikrobis-toa, tulisi näyte ottaa ennen jäteveden käsittelyprosesseja. Myös viemäriputkiton biofilmit voivat vaikuttaa jätevedessä esiintyviin bakteereihin.¹⁰

Näytteenotto- ja analyysimenetelmiä kehittämällä teurastamoiden jätevesitutkimus voisi toimia täydentävänä työkaluna nykyiselle teurastamoilla tehtävälle resistenssiseurannalle. Jäteveden tutkimisen etuna olisi sen tarjoama materiaali laajemman eläinjoukon osalta yksittäisistä eläimistä kerättävien näytteiden sijaan.¹² Lisäksi jätevesinäytteenotto on kustannustehokkaampi vaihtoehto, koska se vaatii vähemmän resursseja ja aiheuttaa vähemmän häiriötä teurastamon tuotantolinjalle kuin näytteiden kerääminen yksittäisistä eläimistä. Sekvensointimenetelmät ovat myös yleistyneet jätevesitutkimuksissa ja niiden etuna on mahdollisuus useiden eri taudinaiheuttajien ja resistenssigeenien kartoitukseen samasta näytteestä.¹⁰

Jätevesinäytteenoton kehittäminen tuotantoeläinten kantamien mikrobien seurantaan voisi puolestaan antaa mahdollisuuden seurata lähes reaaliaikaisesti erilaisten taudinaiheuttajien ja zoonosien esiintymistä tuotantoeläimillä.^{10,46} Jätevesiseuranta ei kuitenkaan korvaa eläinkohtaista prevalenssitutkimusta, vaan antaisi täydentävää tietoa populaatiotasolla.¹⁰ Kaiken kaikkiaan jätevesitutkimuksen kehittäminen on keskeistä, jotta sen potentiaalia voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää kokonaisvaltaisesti ihmisten, eläinten ja ympäristön yhteisen terveyden tueksi.

Eläinlääkärilehden
vertaisarvioidut artikkelit,
joiden kirjoittajista joku
on Helsingin yliopistosta,
julkaistaan avoimesti
Helsingin yliopiston kirjaston
tietokannoissa alkaen vuodesta
2016. Keväällä 2022 niiden
lisenssiksi valittiin CC-BY.

KIRJOITTAJIEN OSOITTEET

Noora Salin, ELL, erityisasiantuntija,
Ruokavirasto, Mustialankatu 3, 00790 Helsinki,
noora.salin@ruokavirasto.fi.

Artikkeli on osa kirjoittajan erikoistumistutkintoa.

Riikka Laukkanen-Ninios, dosentti, vanhempi yliopistonlehtori,
Helsingin yliopisto, eläinlääketieteellinen tiedekunta,
elintarvikehygienian ja ympäristöterveyden osasto.

Annamari Heikinheimo, ELT, apulaisprofessori,
Helsingin yliopisto ja tutkimusprofessori, Ruokavirasto



Kaikki lähteet ja lisää
tieteellisiä artikkeleita löytyy
QR-koodin takaa osoitteesta
sell.fi/tieteelliset-artikkelit.

LÄHDEVIITTEET

1. Bustillo-Lecompte CF, Mehrvar M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *J Environ Manage*. 2015;161:287–302.
2. Johns MR. Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: A review. *Bioresour Technol*. 1995;54:203–16.
3. Tritt WP, Schuchardt F. Materials flow and possibilities of treating liquid and solid wastes from slaughterhouses in Germany. A review. *Bioresour Technol*. 1992;41:235–45.
4. Savin M, Bierbaum G, Hammerl JA, Heinemann C, Parcina M, Sib E ym. Antibiotic-resistant bacteria and antimicrobial residues in wastewater and process water from German pig slaughterhouses and their receiving municipal wastewater treatment plants. *Sci Total Environ*. 2020;727:138788.
5. Savin M, Bierbaum G, Hammerl JA, Heinemann C, Parcina M, Sib E ym. ESKAPE Bacteria and Extended-Spectrum-β-Lactamase-Producing *Escherichia coli* Isolated from Wastewater and Process Water from German Poultry Slaughterhouses. *Appl Environ Microbiol*. 2020;86:e02748-19.
6. Bustillo-Lecompte C, Mehrvar M. Slaughterhouse Wastewater: Treatment, Management and Resource Recovery. Kirjassa: Farooq R, Ahmad Z, toim. *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*. Lontoo: InTech; 2017, 153–74.
7. Pérez-Etayo L, González D, Leiva J, Vitas AI. Multidrug-Resistant Bacteria Isolated from Different Aquatic Environments in the North of Spain and South of France. *Microorganisms*. 2020;8:1425.
8. McEwen SA, Collignon PJ. Antimicrobial Resistance: A One Health Perspective. *Microbiol Spectr*. 2018;6:521–47.
9. Chau KK, Barker L, Budgell EP, Vihta KD, Sims N, Kasprzyk-Hordern B ym. Systematic review of wastewater surveillance of antimicrobial resistance in human populations. *Environ Int*. 2022;162:107171.
10. Tiwari A, Kurittu P, Al-Mustapha AI, Heljanko V, Johansson V, Thakali O ym. Wastewater surveillance of antibiotic-resistant bacterial pathogens: A systematic review. *Front Microbiol*. 2022;13:977106.
11. Tiwari A, Krolicka A, Tran TT, Räisänen K, Ásmundsdóttir ÁM, Wikmark OG ym. Antibiotic resistance monitoring in wastewater in the Nordic countries: A systematic review. *Environ Res*. 2024;246:118052.
12. Heljanko V, Karama M, Kymäläinen A, Kurittu P, Johansson V, Tiwari A ym. Wastewater and environmental sampling holds potential for antimicrobial resistance surveillance in food-producing animals - a pilot study in South African abattoirs. *Front Vet Sci*. 2024;11:1444957.
13. Mittal G. Treatment of wastewater from abattoirs before land application - a review. *Bioresour Technol*. 2006;97:1119–35.
14. Collivignarelli M, Abbà A, Benigna I, Sorlini S, Torretta V. Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants. *Sustainability*. 2017;10:86.
15. European Commission. Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-Products Industries. 2005.
16. Teollisuusjätevesiöpias. Vesilaitosyhdistys. 2016, 4. painos. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 50.
17. Komission delegoitu asetus (EU) 2019/624 lihan tuotantoa koskevan virallisen valvonnan suorittamista sekä elävien simpukoiden tuotanto- ja uudelleensijoitusalueita koskevista erityissäännöistä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2017/625 mukaisesti.
18. Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/627 ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläinperäisten tuotteiden virallisen valvonnan suorittamista koskevista yhdenmukaisista käytännön järjestelyistä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2017/625 mukaisesti ja komission asetuksen (EY) N:o 2074/2005 muuttamisesta virallisen valvonnan osalta.
19. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 853/2004 eläinperäisiä elintarvikkeita koskevista erityisistä hygieniasäännöistä.
20. Jäger T, Hembach N, Elpers C, Wieland A, Alexander J, Hiller C ym. Reduction of Antibiotic Resistant Bacteria During Conventional and Advanced Wastewater Treatment, and the Disseminated Loads Released to the Environment. *Front Microbiol*. 2018;9:2599.
21. Bouki C, Venieri D, Diamadopoulos E. Detection and fate of antibiotic resistant bacteria in wastewater treatment plants: A review. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2013;91:1–9.
22. Savin M, Alexander J, Bierbaum G, Hammerl JA, Hembach N, Schwartz T ym. Antibiotic-resistant bacteria, antibiotic resistance genes, and antibiotic residues in wastewater from a poultry slaughterhouse after conventional and advanced treatments. *Sci Rep*. 2021;11:16622.
23. da Costa PM, Vaz-Pires P, Bernardo F. Antimicrobial Resistance in *Escherichia coli* Isolated in Wastewater and Sludge from Poultry Slaughterhouse Wastewater Plants. *J Environ Health*. 2008;70:40–5.
24. Um MM, Barraud O, Kérouédan M, Gaschet M, Stalder T, Oswald E ym. Comparison of the incidence of pathogenic and antibiotic-resistant *Escherichia coli* strains in adult cattle and veal calf slaughterhouse effluents highlighted different risks for public health. *Water Res*. 2016;88:30–8.
25. Dupouy V, Doublet B, Arpaillange N, Praud K, Bibbal D, Brugère H, ym. Dominant plasmids carrying extended-spectrum β-lactamases blaCTX-M genes in genetically diverse *Escherichia coli* from slaughterhouse and urban wastewaters. *Environ Microbiol Rep*. 2016;8:789–97.
26. Groves RM, Peytcheva E. The Impact of Nonresponse Rates on Nonresponse Bias: A Meta-Analysis. *Public Opin Q*. 2008;72:167–89.
27. Vesilaitosyhdistys [kotisivu internetissä, haettu 26.2.2025]. Jätevesi ja lietteet. Vesilaitosyhdistys 2025. <https://www.vesilaitosyhdistys.fi/mita-on-vesihuolto/jatevesi-ja-lietteet/>.
28. Rizzo L, Manaia C, Merlin C, Schwartz T, Dagot C, Ploy MC ym. Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: A review. *Sci Total Environ*. 2013;447:345–60.
29. Lai FY, Muziasari W, Virta M, Wiberg K, Ahrens L. Profiles of environmental antibiotic resistomes in the urban aquatic recipients of Sweden using high-throughput quantitative PCR analysis. *Environ Pollut*. 2021;287:117651.
30. Homeier-Bachmann T, Heiden SE, Lübcke PK, Bachmann L, Bohnert JA, Zimmermann D ym. Antibiotic-Resistant Enterobacteriaceae in Wastewater of Abattoirs. *Antibiotics*. 2021;10:568.

31. Araújo C, Torres C, Silva N, Carneiro C, Gonçalves A, Radhouani H ym. Vancomycin-resistant enterococci from Portuguese wastewater treatment plants. *J Basic Microbiol.* 2010;50:605–9.
32. Ali A, Sultan I, Mondal AH, Siddiqui MT, Gogry FA, Haq QMR. Lentic and effluent water of Delhi-NCR: a reservoir of multidrug-resistant bacteria harbouring bla CTX-M, bla TEM and bla SHV type ESBL genes. *J Water Health.* 2021;19:592–603.
33. Gouliouris T, Raven KE, Moradigaravand D, Ludden C, Coll F, Blane B ym. Detection of vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* hospital-adapted lineages in municipal wastewater treatment plants indicates widespread distribution and release into the environment. *Genome Res.* 2019;29:626–34.
34. Avery LM, Williams AP, Killham K, Jones DL. Heat and lime-treatment as effective control methods for *E. coli* O157:H7 in organic wastes. *Bioresour Technol.* 2009;100:2692–8.
35. Pasoń Ł, Stańczyk-Mazanek E. Effect of sewage sludge liming on drug-resistant bacteria of the Enterobacteriaceae family. *Desalination Water Treat.* 2023;301:135–42.
36. Stańczyk-Mazanek E, Stępniań L. Analysis of migration of pathogenic drug-resistant bacteria to soils and groundwater after fertilization with sewage sludge. *Plos one.* 2021;16:e0256936.
37. Nykäsenoja S, Olkkola S, Verkola M, Biström M, Grönthal T, Autio T ym. Finnish Veterinary Antimicrobial Resistance Monitoring and Consumption of Antimicrobial Agents. *FINRES-Vet* 2022. *Ruokavirasto* 2023.
38. Verkola M, Nykäsenoja S, Olkkola S, Biström M, Grönthal T, Pohjanvirta T ym. Finnish Veterinary Antimicrobial Resistance Monitoring and Consumption of Antimicrobial Agents. *FINRES-Vet* 2023. *Ruokavirasto* 2024.
39. European Food Safety Authority (EFSA), European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). The European Union summary report on antimicrobial resistance in zoonotic and indicator bacteria from humans, animals and food in 2021–2022. *EFSA J.* 2024;22(2).
40. Zoonoosikeskus [kotisivu internetissä, haettu 26.2.2025]. Metisilliiniresistentti *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Ruokavirasto*, [päivitetty lokakuu 2022]. <https://www.ruokavirasto.fi/zoonoosikeskus/mikrobilaakeresistenssi/zoonoosibakteerien-resistenssi/metisilliiniresistentti-staphylococcus-aureus-mrsa/>.
41. Nykäsenoja S, Pohjanvirta T, Biström M, Raunio-Saarnisto M, Kaartinen L, Helin-Soilevaara H ym. Finnish Veterinary Antimicrobial Resistance Monitoring and Consumption of Antimicrobial Agents. *FINRES-Vet* 2016–2017. *Evira* 2018.
42. Pokharel S, Shrestha P, Adhikari B. Antimicrobial use in food animals and human health: time to implement 'One Health' approach. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2020;9:181.
43. Huijbers PMC, Larsson DGJ, Flach CF. Surveillance of antibiotic resistant *Escherichia coli* in human populations through urban wastewater in ten European countries. *Environ Pollut.* 2020;261:114200.
44. Heljanko V, Johansson V, Räisänen K, Anttila VJ, Lyytikäinen O, Jalava J ym. Genomic epidemiology of nosocomial carbapenemase-producing *Citrobacter freundii* in sewerage systems in the Helsinki metropolitan area, Finland. *Front Microbiol.* 2023;14.
45. Heljanko V, Tyni O, Johansson V, Virtanen JP, Räisänen K, Lehto KM ym. Clinically relevant sequence types of carbapenemase-producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* detected in Finnish wastewater in 2021–2022. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2024;13:14.
46. Al-Mustapha AI, Tiwari A, Johansson V, Heljanko V, Kirsi-Maarit L, Lipponen A ym. Characterization of methicillin resistant *Staphylococcus Aureus* in municipal wastewater in Finland. *One Health.* 2024;19:100881.