



Läkemedel från röttslam i jord och grödor – resultat från krukförsök i Umeå och Vasa

Viveka Öling-Wärnå, Cecilia Palmborg, Nina Åkerback

Interreg



Co-funded by the European Union



Aurora



Viveka Öling-Wärnå (Yrkeshögskolan Novia), Cecilia Palmborg (Sveriges Lantbruksuniversitet), Nina Åkerback (Yrkeshögskolan Novia)
Läkemedel från rötslam i jord och grödor – resultat från krukförsök i Umeå och Vasa

Yrkeshögskolan Novia, Wolffskavägen 31, 65200 Vasa, Finland © Yrkeshögskolan Novia och Öling-Wärnå, Palmborg, Åkerback.

Omslagsfoto Nina Åkerback. Krukförsök i Vasa med vall och korn som insåningsgröda.

Novia Publikation och produktion, serie R: Rapporter 3/2026
ISBN: 978-952-7526-71-2 (Online) ISSN: 1799-4179

CC BY 4.0



Abstrakt

När avloppsslam används som gödsel i jordbruket finns en oro för att läkemedelsrester kan tas upp av grödor och påverka konsumenter. Målet med denna studie var att undersöka hur vanliga läkemedel beter sig i vårt nordliga klimat och om de tas upp av grödorna. Under 2023–2025 genomfördes två krukförsök utomhus i Umeå och Vasa, där lokal matjord som gödslats med rötrest från avloppsslam användes, samt med och utan tillsats av 7–8 vanliga läkemedel i låga koncentrationer (31,5 ng/g torr jord / läkemedel). Odling av korn och timotej användes för att studera om dessa läkemedel stannar kvar i jorden eller upptas i växtdelar. Läkemedelshalterna följdes upp i jord och växtdelar med HPLC-MS/MS laboratorieanalyser.

I jordprover med enbart rötrest hittades inga eller mycket låga läkemedelshalter, men ca 2 år efter försöksstart kunde tre läkemedel (karbamazepin, citalopram, sertralin) fortfarande spåras i jordprov från krukor med tillsatt läkemedel. Läkemedel återfanns även i rötter och växtdelar, dock inte i sädeskorn. Timotej visade tydligt upptag av karbamazepin i strån och blad.

Studien genomfördes inom projektet Boost Nordic Biogas, finansierat av Europeiska unionen via Interreg Aurora.

Nyckelord: avloppsslam, jordbruk, krukförsök, korn, läkemedel, timotej

Abstract

When sewage sludge is used as fertilizer in agriculture, there is a concern that pharmaceutical residues can be taken up by crops and affect consumers. The aim of this study was to investigate how common pharmaceuticals behave in our northern climate and whether they are absorbed by the crops. During 2023–2025, two outdoor pot trials were carried out in Umeå and Vaasa, using local agricultural soil fertilized with digestate from sewage sludge, with and without the addition of 7–8 common pharmaceuticals in low concentrations (31.5 ng/g dry soil / pharmaceutical). Cultivations of barley and timothy were used to study whether these drugs remain in the soil or are taken up by the plants. The drug concentrations were monitored in soil and plant parts with HPLC-MS/MS laboratory analyses.

In soil samples with digestate only, no or very low pharmaceutical levels were found, but about 2 years after the start of the trial, three drugs (carbamazepine, citalopram, sertraline) could still be detected in soil samples from pots treated with added pharmaceuticals. Pharmaceuticals were also found in roots and plant parts, but not in grains. Timothy showed clear uptake of carbamazepine in the straws and leaves.

The study was carried out within the project Boost Nordic Biogas, funded by the European Union via Interreg Aurora.

Key words: agriculture, barley, pharmaceuticals, pot trials, sewage sludge, timothy

Förord

Denna studie gjordes inom projektet [Boost Nordic Biogas](#) i arbetspaket 6: Användning av gödselmedel från biogasverk i jordbruket. Studien var ett samarbete mellan Yrkeshögskolan Novia i Vasa och Institutionen för Växtproduktionsekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Vårt arbete med avloppsslam påbörjades inom ett annat Interregprojekt [Botnia näring i kretslopp](#). Där undersöktes nedbrytning av olika läkemedel under biogasrötning. Denna studie går ett steg längre och undersöker både nedbrytning och ackumulering av läkemedel i jord och upptag av läkemedel i två fodergrödor, korn och timotej.

Studien finansierades av Europeiska unionen via den interregionala fonden Interreg Aurora (Boost Nordic Biogas NYPs-id 20357975). Nationella medfinansierare i Finland var Lapplands förbund och i Sverige Region Västerbotten, Region Västernorrland, Alviksgårdens Lantbruks AB, Bodens kommun, Härnösand Energi och Miljö, Lumire, Norrmejerier, Skellefteå kommun, Vakin. Projektpartners för Boost Nordic Biogas är Yrkeshögskolan Novia (koordinerande partner), Ab Stormossen Oy, BioFuel Region, Sveriges lantbruksuniversitet och SINTEF Narvik.

Katrin Asplund och Jenny Rönnqvist-Norrby tackas för värdefull feedback och kritisk granskning av manuskriptet.

Cecilia Palmborg

FD, Docent, Sveriges Lantbruksuniversitet

Umeå, 2025

Viveka Öling-Wärnå

FD, projektforskare, Yrkeshögskolan Novia

Vasa, 2025

Innehållsförteckning

Introduktion.....	1
Material och metoder	3
Åkerjord och rötrest.....	3
Försöksbeskrivning.....	3
Läkemedel	7
Detektion av läkemedel.....	8
Resultat.....	9
Läkemedel i jord.....	9
Läkemedelsupptag i grödor	12
Diskussion.....	14
Referenser	16

Läkemedel från rötslam i jord och grödor – resultat från krukförsök i Umeå och Vasa

Introduktion

Avloppsslam innehåller näring och organiskt material som åkerjord behöver. Genom att använda slam som gödsel på åkrar kan man återföra viktiga resurser, minska avfall och bidra till ett mer hållbart och cirkulärt samhälle. Av den totala mängden behandlat avloppsslam utnyttjades cirka 50 % inom jordbruket i Finland under 2021–2023. I Sverige låg användningen av avloppsslam på jordbruksmark på samma nivå under samma tid och steg till 60 % under 2024 (Naturvårdsverket, 2024; Vilpanen & Seppälä, 2025). Vid användning av slam som gödsel kan läkemedelsrester och andra föroreningar (så som tungmetaller, organiska miljögifter, mikroplaster, mikroorganismer) som finns i slammet spridas till jord, vatten och grödor (Naturvårdsverket, 2024).

Läkemedel är kemiska ämnen som påverkar biologiska processer – inte bara hos människor och djur, utan också i miljön. För att de ska fungera behöver de vara stabila, vilket innebär att de ibland inte bryts ned helt i kroppen. Som en följd kan rester följa med urin och avföring till avloppsreningsverken, antingen i oförändrad form eller som nedbrytningsprodukter. Detta gör avloppssystemen till den främsta spridningsvägen för läkemedelsrester ut i miljön (Naturvårdsverket, 2024). Vissa läkemedel bryts ner i reningsverken, men många går oförändrade igenom och leder till att läkemedelsrester förekommer i utgående avloppsvatten (i halter från ng/l till mg/l) och i avloppsslam (µg/kg till mg/kg) (Comber m.fl., 2019; Mejías m.fl., 2021; Thiebault m.fl., 2017).

I en översiktsstudie baserad på 110 forskningsartiklar från åren 2002–2021 identifierades 305 vanligt förekommande läkemedelssubstanser i avloppsslam. Antibiotika, stimulantia och antidepressiva läkemedel hade de högsta halterna (upp till 232 mg/kg TS), medan diuretika (vätskedrivande), ångstdämpande medel och antikoagulantia (blodförtunnande) förekom i lägre nivåer (upp till 686 µg/kg TS) (Sellier m.fl., 2022). I Finland har läkemedelsrester rapporterats i obehandlat avloppsslam i relativt låga nivåer, exempelvis karbamazepin 0,5 ng/g, diklofenak 26 ng/g, ibuprofen 29 ng/g och ketoprofen 250 ng/g från ett reningsverk i centrala Finland (Lindholm-Lehto m.fl., 2018). Liknande resultat har rapporterats i Sverige. Jönsson m.fl. (2020) fann att de flesta av tolv analyserade antibiotika låg under

detektionsgränsen (20 ng/g TS), med undantag för ciprofloxacin (150–300 ng/g TS). Av 30 övriga läkemedelssubstanser låg 14–16 substanser under 10 ng/g TS och 5–10 substanser under 100 ng/g TS. Endast sertralin uppmättes över 1000 ng/g TS (Dalahmeh, 2025; Jönsson m.fl., 2020).

Läkemedelskoncentrationen i avloppsslam korrelerar ofta med koncentrationen i det inkommande avloppsvattnet, men påverkas även av läkemedelssubstansens fysikalisk-kemiska egenskaper, slammets sammansättning och reningsverkets utformning (Larsson, 2012). Koncentrationerna minskar vanligtvis under efterbehandling av slam, exempelvis vid anaerob nedbrytning och kompostering (Mejías m.fl., 2021). Samtidigt påverkas långt ifrån alla läkemedel av sådana processer, exempelvis i vår tidigare studie bröts diklofenak ned endast (i medeltal) 26 % under 30–45 dagars termofil rötning, vilket vi tidigare rapporterat om i Öling-Wärnå & Åkerback (2022).

De främsta riskerna med att sprida avloppsslam på åkerjord är att läkemedelsrester kan tas upp av växter och därigenom komma in i livsmedelskedjan, att läkemedelsrester kan spridas till grundvatten och ytvatten och påverka vattenlevande organismer, samt att antibiotikaresistenta bakterier kan utvecklas och spridas i miljön (Bondarczuk m.fl., 2016). Forskning visar att läkemedel förekommer i jord som gödslats med avloppsslam (Bolesta m.fl., 2022) och att flera grödor kan ta upp läkemedelssubstanser. Trots att över 1900 aktiva läkemedelssubstanser används globalt är det potentiella upptaget i växtdelar för de flesta av dessa fortfarande okänt, vilket tydligt belyser den stora kunskapsluckan inom området (Burns m.fl., 2018; Sleight m.fl., 2023) (fig. 1). En ökad risk av antibiotikaresistens vid spridning av avloppsslam kunde däremot inte bekräftas i en svensk långtidsstudie där slam applicerats på åkerjord under många år (Rutgersson m.fl., 2020). Svenska långtidsstudier (i Lanna, Igelösa, Ultuna) har dessutom visat att de flesta läkemedel ligger under detektionsgränsen, trots att slamgivorna i dessa försök varit högre än vad som normalt används i praktiken (Dalahmeh, 2025).

Läkemedels rörlighet och upptag i åkerjord styrs av en rad faktorer, både av markens fysiska, kemiska och biologiska egenskaper och av läkemedelssubstansernas egna egenskaper (molekylvikt, oktanol-vatten fördelningskoefficient K_{ow} , syradissociationskonstant pK_a , vattenlöslighet, biologisk nedbrytbarhet). Exempelvis tenderar substanser med stark bindning till organiskt material att ackumuleras mer i marken, medan substanser med hög vattenlöslighet och låg bindning till jordpartiklar transporteras lättare till växternas rötter. Även yttre förhållanden som nederbörd, UV-B strålning och mineraliseringsprocesser är faktorer som påverkar läkemedels förekomst i markmiljöer (Bolesta m.fl. 2022; Gworek m.fl. 2021). En mer ingående bakgrund om läkemedelsrester i miljön, med särskilt fokus på avloppsslam som källa, finns i vår tidigare rapport Öling-Wärnå & Åkerback (2022).



Figur 1. Med över 1900 aktiva läkemedelssubstanser i användning världen över är det potentiella upptaget i växtdelar för majoriteten av dessa ämnen fortfarande okänt (Burns m.fl., 2018; Sleight m.fl., 2023). (Foto: Viveka Öling-Wärnå)

Material och metoder

Åkerjord och rötrest

Lokal matjord (från Vasa, Finland och Umeå, Sverige) användes till krukförsöken. Vid försöksstart togs jordprover för markkarteringsanalys. Jordproverna från Vasa och Umeå skickades för markkarteringsanalys till Hortilab Ab Oy (Närpes, Finland).

Markkartering är en systematisk undersökning av jordens egenskaper i ett odlingsfält, med syftet att optimera växtodlingen genom behovsanpassade insatser. Genom att analysera jordprover får man information om pH-värde, näringsinnehåll (t.ex. fosfor, kalium, magnesium), mullhalt, lerhalt och jordart. Resultaten används för att bedöma gödslings- och kalkningsbehov, samt för att skapa styrfiler för precisionsodling. Vid markkartering tas jordprover från matjordslagret, det övre skiktet av jorden där den största delen av växtaktiviteten sker.

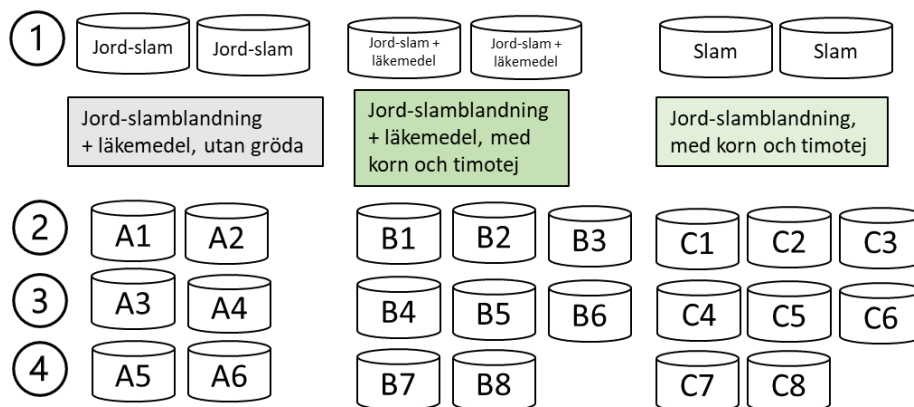
Markkarteringsresultaten visade att matjorden från Vasa var av typen gyttjelera (pH 5.3) och matjorden från Umeå var av typen grovmo (pH 5.9). Båda matjordarna var mullrika. Umeåjorden var mer fosforrik och Vasajorden mer kaliumrik.

Rötrest från rötning med avloppsslam användes som gödselmedel i båda försöken. Rötresten för försöket i Vasa togs från Ab Stormossen Oy (Korsholm, Finland) och till försöket i Umeå togs rötresten från Vatten och Avfallskompetens i Norr AB (Vakin) (Umeå, Sverige). Rötresten var avattnad och den från Stormossen var också komposterad.

Försöksbeskrivning

I odlingsförsöken användes 3L krukor i Vasa och 10L hinkar i Umeå (fig. 2). Både hinkar och kärl hade hål i botten och ett finmaskigt nät i botten användes för att inte jorden skulle rinna ut. I försöken på båda orterna odlades vall (timotej, sort: Grindstad) med korn (sort:

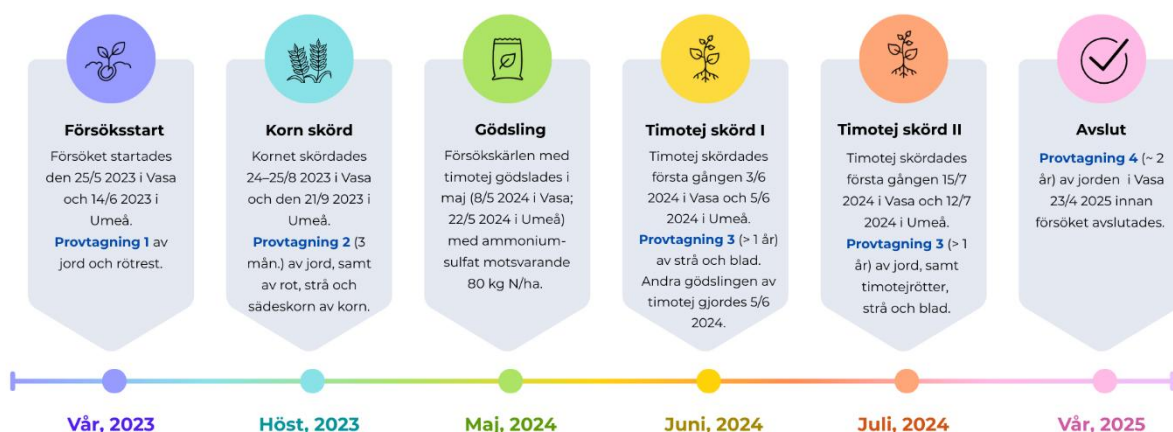
Severin) som insåningsgröda. (Korn skördades första året och timotej andra året.) Total tre serier ingick i försöken. En serie där odlingskärl fylldes med lokal jord blandat med lokal rötrest (kontroll, C). Två serier hade samma blandning av jord och rötrest som kontrollen men med tillsats av 7–8 läkemedel. I kontrollkärlen och i ena serien (B) av odlingskärlen med läkemedelstillsats såddes 12 frön/kruka och 35 frön/hink av korn och 21 mg frön/kruka och 61 mg frön/hink av timotej. De återstående kärlen (A) fick vara osådda (fig. 2). Försöket startades den 25/5 2023 i Vasa och 14/6 2023 i Umeå.



Figur 2. Krukförsök i Vasa (ovan, vänster) med 3-literskrukor och i Umeå (ovan, höger) med 10-litershinkar. I båda försöken odlades vall med korn som insåningsgröda. Schematisk bild över försöksupplägget i Vasa, 1–4 anger provtagningstillfälle. I Umeå var försöksupplägget likadant, bara att 6 hinkar per serie ingick i försöket. (Foto: Nina Åkerback och Cecilia Palmberg.)

Odlingskärlen stod utomhus och vattnades 1–3 gånger per vecka vid behov. Ogrärensning gjordes vid två tillfällen i Umeå (i början av juli och i början av augusti 2023) och vid tre tillfällen i Vasa (i slutet av juli, i början och slutet av augusti 2023). I de osådda hinkarna drogs ogräset upp med rötterna, skakades av, klipptes i bitar och lades tillbaka i hinkarna. I de sådda hinkarna klipptes ogräset av vid jordytan och lades tillbaka efter klippning i bitar för att inte störa grödan. I Umeå stod varje hink i en back och i Vasa stod krukorna på låga fat. Strax före skörd i Umeå regnade det så mycket att vatten blev stående i backarna. Då tömdes dessa två gånger.

Jordprov togs i samband med försöksstarten (provtagning 1), vid slutskörden varje odlingssäsong (provtagning 2 & 3) och i Vasa även två år efter försöksstarten (provtagning 4) (fig. 3). Vanligen sammanslogs jordprover från 2–3 krukor/hinkar för att få ett mera representativt prov och för att spara på analyskostnader.



Figur 3. Tidslinje över försöket och med info om provtagningstillfällena av jord och växtdelar. Tidslinjen skapad med Canva (www.canva.com).

Kornet skördades 24–25/8 2023 i Vasa och den 21/9 2023 i Umeå. Gräs och kornplantor separerades med så mycket rötter som det var möjligt att få med (fig. 4). Kornrötterna sköljdes av med vatten både innan och efter att de klipptes bort från strået. Den sista sköljningen gjordes med avjoniserat vatten. Rötterna fick rinna av på papper. Axen klipptes av och tröskades i en stationär tröska i Umeå och för hand i Vasa. I kvarvarande hinkar och krukor klipptes kornet av på 20 cm höjd (i Umeå) och 10–15 cm höjd (i Vasa). Växtdelarna sammanslogs från flera krukor för att uppnå tillräcklig mängd för läkemedelsanalyserna (minimum vikt: 20 g / prov). Alla prov frystes efter vägning och transporterades även frysta till analyslaboratoriet.





Figur 4. Kornet vid skörd (övre, vänster) och kornplanter strax före separering av delarna (övre, högre). Timotej redo för skörd (nedre, vänster), timotejrötter (nedre, mitten) och jordklump med timotejstubb från 3-literskruka (nedre, höger). (Foto: Cecilia Palmborg, Nina Åkerback, Viveka Öling-Wärnå.)

Inför vintern 2023–2024 bäddades odlingskärlen in i ett frosttäckte och en presenning innan snön kom och kärlen fick stå ute under snön hela vintern. När snön smält bort togs skyddet bort 8/4 2024 i Vasa och den 2/5 2024 i Umeå. Före gödslingen rensades ogräs bort och lades på jorden i hinkarna. I de osådda hinkarna drogs all vegetation upp och lades på jorden. Försökskärlen med timotej gödslades i maj (8/5 2024 i Vasa; 22/5 2024 i Umeå) med ammoniumsulfat motsvarande 80 kg N/ha. Det blev 0,613 g per kruka och 1,72 g ammoniumsulfat per hink. Detta löstes upp i 150 ml vatten till krukorna i Vasa och 220 ml vatten till hinkarna i Umeå som hällades över kärlets hela yta. Direkt efter fick hinkarna ytterligare ca 200 ml vatten som sköljde ur flaskan som ammoniumlösningen varit i. Vid behov vattnades hinkarna en gång i veckan och krukorna två gånger i veckan. Ogräsrensning gjordes vid två tillfällen (27/5 och 4/6 2024 i Umeå; 15/7 och 15/8 2024 i Vasa). Den andra gödslingen av timotej gjordes 5/6 2024 i både Vasa och Umeå.

Timotejodlingarna skördades vid två tillfällen, i juni och juli, 2024 (fig. 3). Vid första tillfället klipptes timotejen på 7 cm höjd och det klippta gräset frystes ned. Kornstubben togs inte tillvara. Vid andra tillfället klipptes gräset så nära jorden som möjligt (2–4 cm). Kornstubb, växtrester och ogräs sorterades bort och analyserades inte. I Umeå separerades rötter och jord för hand på ett fjärdedels tårtbits-segment av jordklumpen, och i Vasa på hela jordklumpen. (fig. 4). Även rötter som satt fast i nätet i botten togs tillvara. Rötterna tvättades och den sista sköljningen gjordes med avjoniserat vatten (i Umeå användes 1 och 2 mm såll vid tvättning av rötterna). Rötterna fick därefter rinna av och torka i rumstemperatur. Den lösa jorden blandades om och prov togs från flera ställen.

I de vegetationsfria hinkarna vältes jorden ut, blandades om och prov togs slumpmässigt. Det var mycket mindre rötter än i timotejhinkarna och rötterna provtogs inte.

Det var inga väsentliga skillnader i produktion av korn och gräs (timotej) mellan de krukor och hinkar som fått läkemedelstillsats och kontrollerna (tab. 1). Däremot var det oftast mer biomassa i Umeå än i Vasa. Detta gällde särskilt rötterna. I Umeå tvättades dock bara en

fjärdedel av gräsrötterna i jorden 2024 medan alla rötter som satt fast i nätet togs tillvara. Vi justerade rotbiomassan genom att multiplicera med fyra, men detta kan ha gett en överskattning.

Tabell 1. Färskvikter (g per m²) av korn och timotej som skickades till läkemedelsanalys.

			B läkemedel (g per m ²)	C kontroll (g per m ²)
Korn 2023	Strån Umeå		532	539
	Sädeskorn			
	Umeå		568	494
	Rötter Umeå		790	885
	Strå Vasa		377	377
	Kärnor Vasa		397	375
	Rötter Vasa		337	302
Timotej 2024	Gräs Umeå	skörd 1, juni	888	949
	Gräs Umeå	skörd 2, juli	2114	1967
	Gräsrötter			
	Umeå	juli	6362	6768
	Gräs Vasa	skörd 1, juni	1047	1298
	Gräs Vasa	skörd 2, juli	1675	1657
	Gräsrötter Vasa	juli	1473	2151

Läkemedel

Valet av läkemedel till försöken baserades på läkemedelskonsumtion i Finland (Fimea, 2021), att de har påvisats ansamlas till slam (Filipsson, 2015; Malmberg, 2014; Marttinen m.fl., 2014) och/eller har påvisade effekter i miljön (Janusinfo, u.å.). Valet anpassades också enligt analyslaboratoriets detektionsmöjligheter för läkemedlet. De åtta utvalda läkemedlen beställdes i pulverform från Merck eller VWR. Dagen före försöksstart löstes läkemedlen upp i metanol (Supelco) med en slutkoncentration på 1 mg/ml – stam-lösning. Läkemedelslösningarna förvarades i amber glaströr med kork (med parafilm runt korken) vid -20 °C fram till användning (fig. 5).



Figur 5. Färdiga läkemedelslösningar (1 mg/ml) i amber glaströr inför start av krukförsöken i Vasa.

Vid försöksstarten färdigställdes en lösning innehållande de 7–8 utvalda läkemedlen (bisoprolol tillsattes endast i försöket i Vasa). Stam-lösningarna späddes ut med avjoniserat vatten till en slutlig koncentration på 500 µg/l per respektive läkemedel.

Läkemedelsblandningen tillsattes (100 ml / kruka; 350 ml/ hink) till jorden och blandades om väl. Den slutliga mängden per läkemedel som tillsattes var 0,031 mg/kg torr jord. För att få veta hur mycket läkemedel som fanns i rötresten analyserades två rötrestprov per försök (tab. 2).

Tabell 2. Läkemedel använda och analyserade i försöken. Bisoprolol tillsattes endast i försöket i Vasa, men förekom i rötresten i båda länderna. Läkemedelsmängderna som tillsattes via rötresterna räknades ut från analyser av två rötrestprover per försök. Urvalskriterier baserad på läkemedelskonsumtion i Finland 2021 (Fimea, 2021), slamaffinitet (Filipsson, 2015; Malmberg, 2014; Marttinen m.fl., 2014) och miljörisk (Janusinfo, u.å.).

Läkemedel	Medicinsk effekt	Urvalskriterier	Tillsatt med rötrest (Umeå) ng/g torr jord	Tillsatt med rötrest (Novia) ng/g torr jord	Tillsatt med vatten ng/g torr jord
Bisoprolol	betablockerare	Hög belastning, måttlig miljörisk	0,10	0,06	31,5
Citalopram	antidepressiv	Hög slamaffinitet	0,60	0,04	31,5
Diklofenak	smärtlindrande, anti-inflammatorisk	Hög/måttlig miljörisk	0,11	0,09	31,5
Ibuprofen	smärtlindrande, anti-inflammatorisk	Hög belastning, hög/måttlig miljörisk	Ej detekterat	Ej detekterat	31,5
Karbamazepin	antiepileptika	Hög/måttlig miljörisk	0,07	0,10	31,5
Metoprolol	betablockerare	Måttlig miljörisk	0,12	0,07	31,5
Tetracyklin	antibiotika	Hög slamaffinitet, resistensrisk	4,83	0,34	31,5
Sertralin	antidepressiv	Hög belastning, hög slamaffinitet	1,80	0,04	31,5

Detektion av läkemedel

Bestämning av läkemedelsmängder i jord, slam och växtdelar utfördes med metoden HPLC-MS/MS vid IVL Svenska Miljöinstitutets laboratorium (Stockholm, Sverige). Metoden kombinerar högupplösande vätskekromatografi (HPLC) med tandem-masspektrometri (MS/MS), vilket möjliggör separation, identifiering och kvantifiering av ämnen med mycket hög känslighet och noggrannhet. Endast de läkemedel som anges i tabell 3 analyserades i denna studie.

Proverna extraherades genom vätskeextraktion följt av fastfasextraktion på HLB-kolonner. För kvantifiering användes följande internstandarder: Carbamazepine-¹³C¹⁵N, Diclofenac-

¹³C₆, Hydrochlorothiazide-¹³C₆, Atenolol-d₇, Metoprolol-d₇ och Ibuprofen-d₃, Ciprofloxacin-d₈, Fluconazole-d₄, Sulfamethoxazole-¹³C₆, Clarithromycin-N-methyl-d₃, samt Trimetoprim-d₃.

Detektionsgräns (LOD) och kvantifieringsgräns (LOQ) rapporterades med resultaten (tab. 3). Detektionsgränsen för läkemedel kan variera beroende på provmatris och provets förbehandling. I denna studie rapporterades detektionsgränsen mellan 1–25 ng/g, medan kvantifieringsgränsen låg mellan 3–83 ng/g. Samtliga resultat som redovisas i denna rapport översteg LOD- och LOQ-gränserna. Det är dock värt att notera att tetracyklin uppvisade något högre detektions- och kvantifieringsgräns än de övriga analyserade läkemedlen. Ibuprofen hade likaså en något högre kvantifieringsgräns i jämförelse med de andra substanserna.

Tabell 3. Rapporterade detektions- (LOD) och kvantifieringsgräns (LOQ) för de analyserade läkemedlen med HPLC-MS/MS.

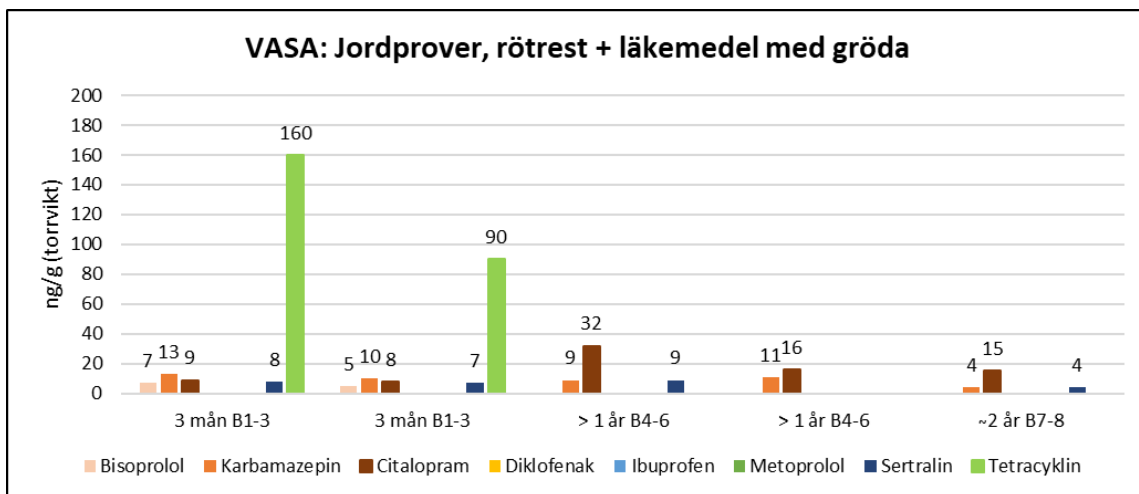
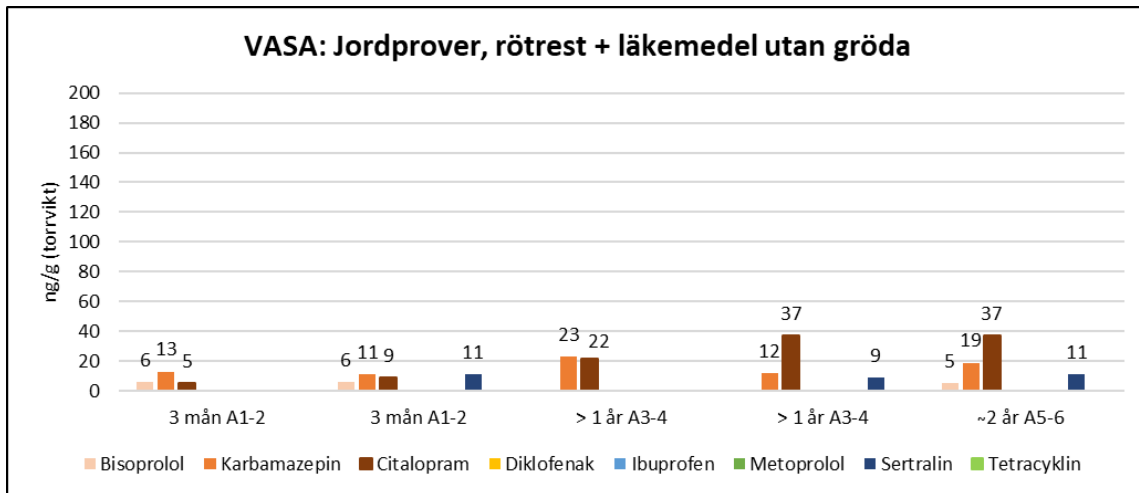
Läkemedel	LOD (ng/g torrsvikt)	LOQ (ng/g torrsvikt)
Bisoprolol	1–5	3–14
Karbamazepin	1–2	3–12
Citalopram	1	3–5
Diklofenak	2–5	6–14
Ibuprofen	5–8	14–26
Metoprolol	1	3–5
Sertralin	1–3	3–7
Tetracyklin	3–25	11–83

Resultat

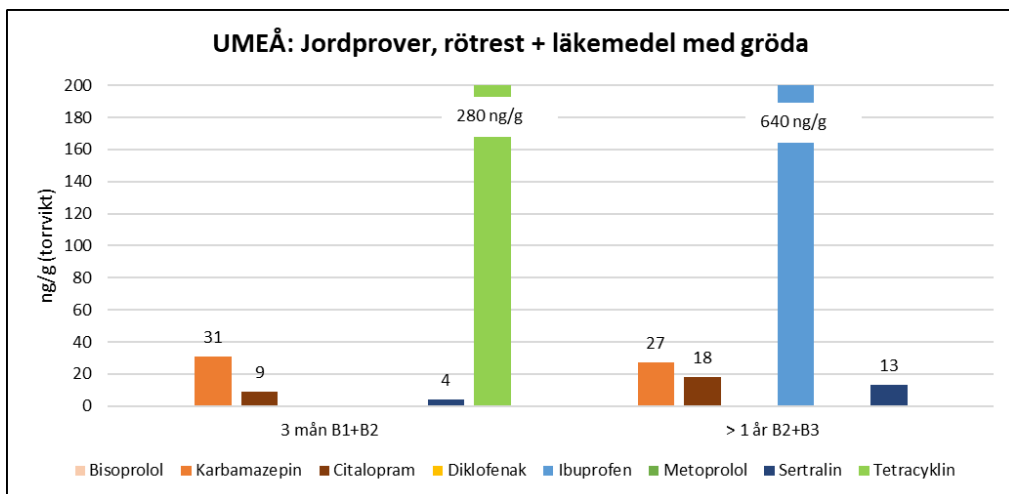
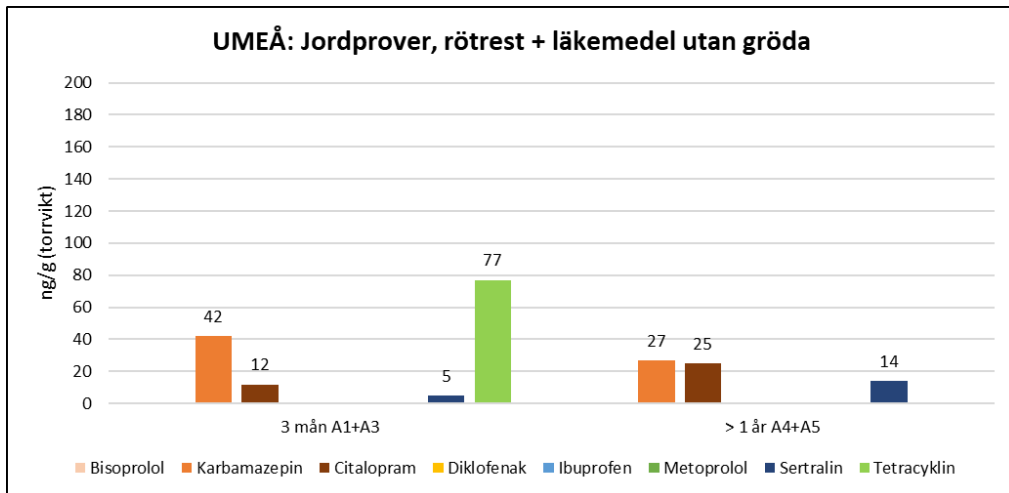
Läkemedel i jord

Försöken visade tydligt att vissa typer av läkemedel kan kvarstå länge i jord efter tillsats. Skillnader mellan krukor med enbart rötrest och de som fått tillsatta läkemedel blev märkbar redan efter några månader. I de krukor som fått extra läkemedel kunde fyra till fem läkemedel (bisoprolol, karbamazepin, citalopram, sertralin och tetracyklin) spåras i jorden tre månader efter tillsats (fig. 6 & 7).

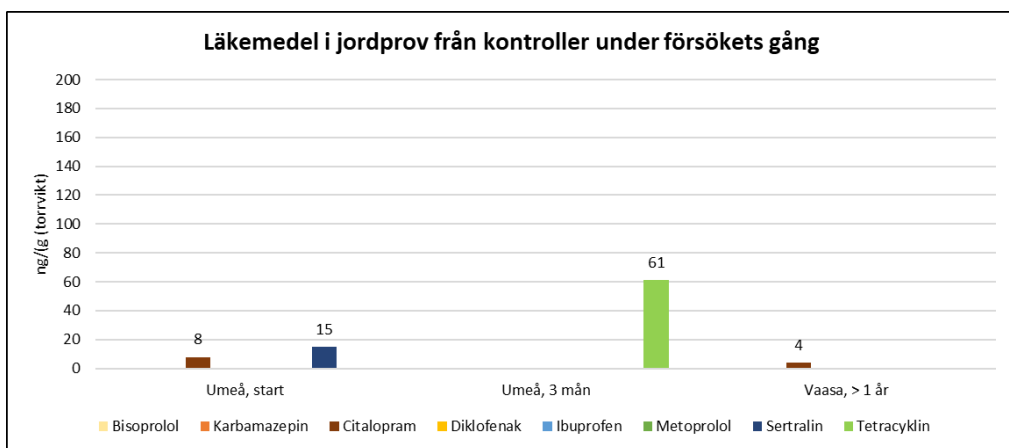
Efter drygt ett år fanns fortfarande detekterbara halter av karbamazepin, citalopram, sertralin och enstaka fall av ibuprofen kvar i jorden (fig. 6 & 7). Nästan två år efter försöksstart kunde karbamazepin, citalopram och sertralin fortfarande spåras i jorden från behandlade krukor. Intressant nog hittades även bisoprolol i jord (från krukor utan gröda i Vasa), två år efter start – ett ämne som inte kunde spåras efter ett år, men som fanns vid start och efter tre månader (fig. 6).



Figur 6. Läkemedel i jordprov vid 3 mån., > 1 år och nästan 2 år efter försöksstart i Vasa. Övre figurer visar resultat från krukor utan gröda (A.) och nedre resultat med gröda (B.). Jordprover från 2–3 krukor slogs samman innan analys. Figureerna visar duplikat av dessa sammanslagna prover från provtagning 2 (3 mån.) och 3 (> 1 år).



Figur 7. Läkemedel i jordprov vid 3 mån., > 1 år efter försöksstart i Umeå. Övre figurer visar resultat från hinkar utan gröda (A.) och nedre resultat med gröda (B.). Jordprover från 2 krukor har sammanslagits före analys.



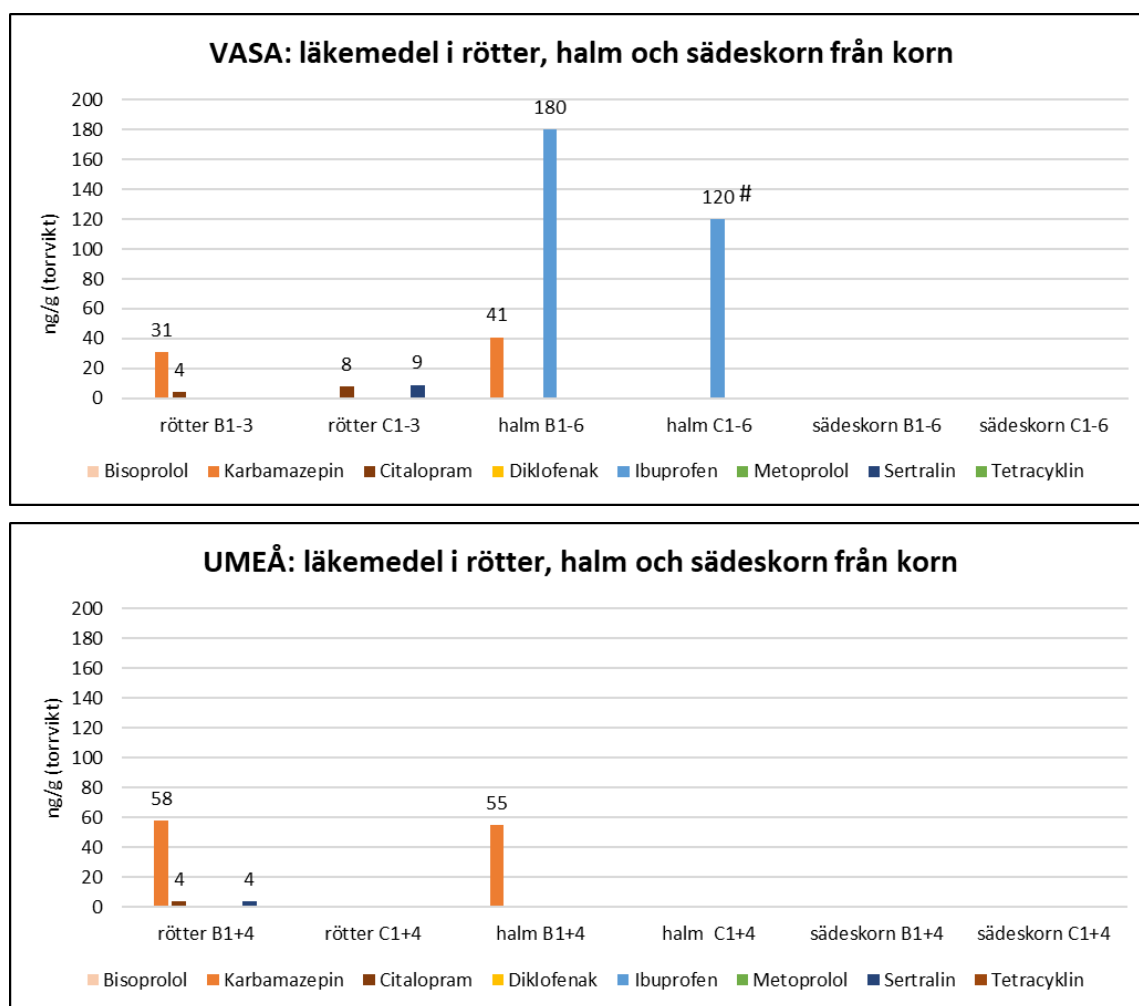
Figur 8. Läkemedel i jordprov från kontroller under hela försökets gång i Umeå och Vaasa. Jordprover från 2-3 kärll har sammanslagits före analys.

I jordprover från kontrollkrukorna (utan tillsats av läkemedel) hittades inga eller mycket låga halter under hela försökstiden. Läkemedel detekterades i jordprover från kontrollkrukorna endast vid tre tillfällen, vilket framgår av figur 8. Jord från kontrollkrukorna var helt fria från de undersökta läkemedlen vid två år från försöksstart i Vaasa.

Läkemedelsupptag i grödor

Analysen av grödorna visar att vissa läkemedel kan spåras i både rötter och växtdelar. Tre läkemedel – karbamazepin, citalopram och sertralin – hittades i rötterna från korn och timotej där läkemedel hade tillsatts (fig. 9 & 10). I kornrötter detekterades karbamazepin och citalopram i prover från både Vasa och Umeå. Spår av sertralin fanns även i kornets rötter i Umeå. Överraskande nog fanns även spår av citalopram och sertralin i rötter från kontrollkrukorna i Vasa. Detta kan bero på att dessa två läkemedel också hittades i rötresten (fig. 9).

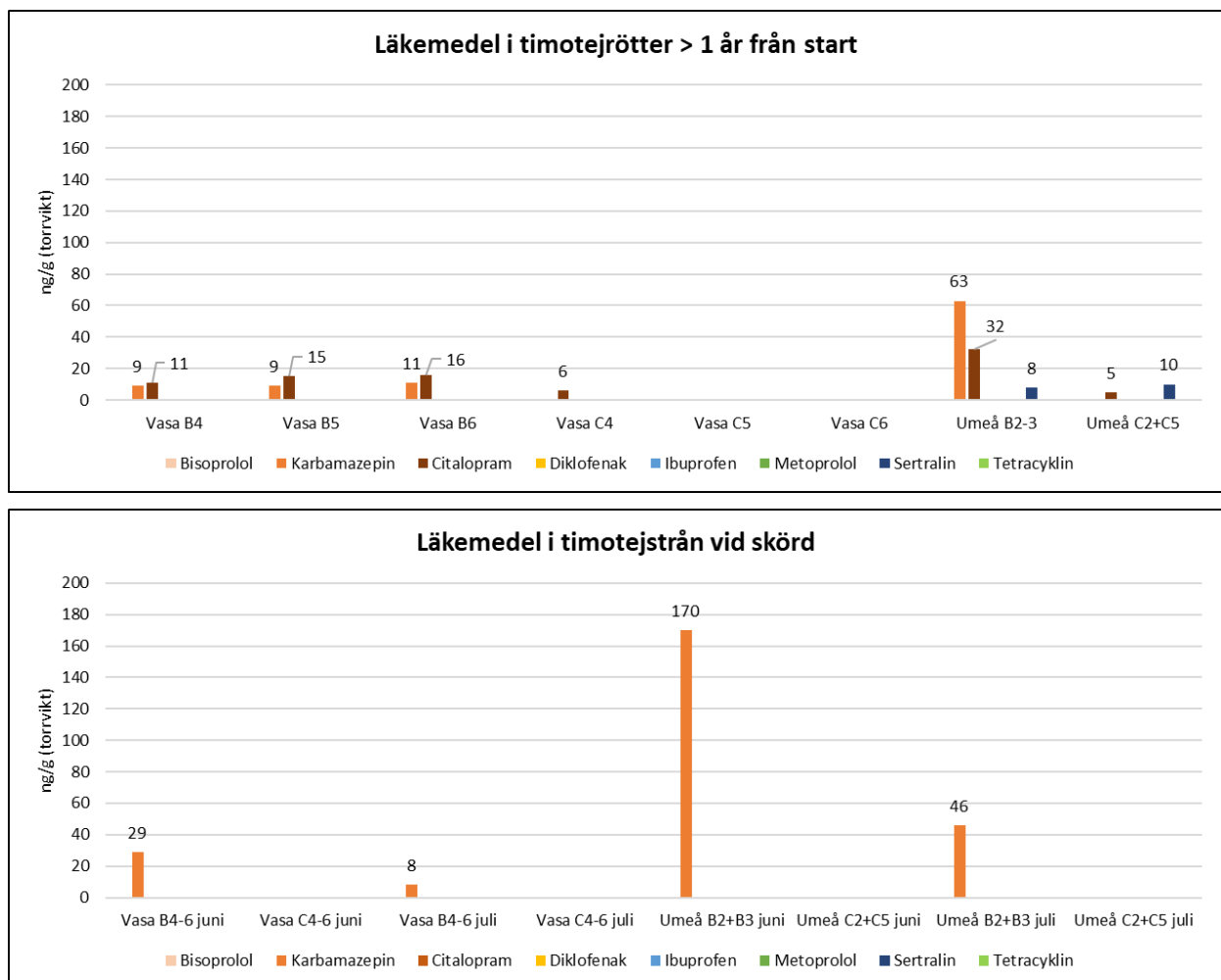
I kornhalm från krukor med tillsatt läkemedel detekterades karbamazepin. Ibuprofen uppmättes också i kornhalm från Vasa (fig. 9). Däremot i själva sädeskornen hittades inga spår av läkemedel varken i prover från Umeå eller Vasa.



Figur 9. Förekomst av läkemedel i rötter, halm och sädeskorn från korn odlade i Vasa och Umeå. B står för jordprover från kärn som behandlats med tillsats av läkemedel och har haft gröda. C står för kontroll, utan tillsats av läkemedel och har haft gröda. # Ibuprofen hittades i kornhalm från kontroll, vid upprepad analys av samma prov (fyra månader senare) var resultatet negativt. Detta kan tyda på dålig omblandning av provet eller möjligtvis att ämnet brutits ner över tid.

Från krukor med tillsatta läkemedel detekterades karbamazepin och citalopram i timotejrötter, och även spår av citalopram påträffades i timotejrötter från kontrollkrukorna. I Umeå observerades liknande resultat, men där återfanns också sertralin i rötterna. Likaså förekom det låga halter av citalopram och sertralin i timotejrötter från kontrollerna i Umeå (fig. 10).

Timotejstrån och blad visade tydliga tecken på upptag av karbamazepin (fig. 10). I Vasa uppmättes halter på 27–32 ng/g (medeltal 29 ng/g för tre enskilda prov) vid första skörden, och 5–10 ng/g (medeltal 8 ng/g) vid den andra skörden en månad senare. I Umeå var karbamazepin halterna högre: 170 ng/g i juni och 46 ng/g i juli. Inget upptag av läkemedel hittades i timotejstrån och -blad från kontrollerna.



Figur 10. Spår av läkemedel i timotejrötter (övre) och timotejstrån och -blad (nedre), lite mer än ett år efter försöksstart. Prover från Vasa analyserades enskilt, medan två prover per behandling sammanslogs före analys från Umeå. Resultaten för timotejstrån från Vasa är medeltal av tre enskilda prov. B står för jordprover från kärl som behandlats med tillsats av läkemedel och har haft gröda. C står för kontroll, utan tillsats av läkemedel och har haft gröda.

Diskussion

Resultaten visar att vissa läkemedel kan tas upp av grödor och finnas kvar under hela växtsäsongen, vilket innebär en ökad risk för spridning genom livsmedelskedjan. Det är dock viktigt att notera att inga av de läkemedel som undersöktes i vår studie återfanns i kornets kärna – den del vi människor konsumerar. Läkemedelsrester i ätliga växtdelar som rapporterats i andra studier har generellt förekommit i mycket låga halter, även om enstaka ämnen kan nå nivåer som är relevanta för riskbedömning, särskilt i rotgrödor och sallad (Gworek m.fl., 2021; Sleight m.fl., 2023).

Överföring till djur via foder, och vidare till mjölk och kött, är mindre utforskad. Chițescu m.fl. visade genom matematisk modellering att mjölkorns kött och mjölk kan kontamineras när djuren äter förorenat foder. Enligt studien rör det sig dock om mycket små mängder, som bedöms utgöra en låg risk för människors hälsa (Chițescu m.fl., 2014).

I vår studie hittades karbamazepin, citalopram och sertralin i både rötter och växtdelar som timotejstrån och kornhalm från krukor med tillsats av läkemedlen. Timotej visade särskilt tydligt upptag av karbamazepin, med mätbara halter i både rötter och strån. Halterna minskade över tid, men långsamt.

Karbamazepin används främst för att förebygga epileptiska anfall och är känt för att ha låg avskiljningsgrad ($\leq 10\%$) i avloppsreningsverk, stark bindning till organiskt material och en lång halveringstid i jord på cirka 365 dagar. Karbamazepin är välstuderat och har rapporterats ansamlas i grödor såsom rädisa, rajgräs, sallad, spenat, gurka och paprika (Knight m.fl., 2017). Betydligt mindre forskning finns om upptaget av citalopram och sertralin i grödor, men citalopram har tidigare hittats i lök, rädisa- och spenatrötter i krukförsök (Menacherry m.fl., 2023). Citalopram och sertralin är antidepressiva läkemedel som väcker oro på grund av sina negativa effekter på vattenlevande organismer (Hubená m.fl., 2023; Ma m.fl., 2022).

I vår studie kunde ett fåtal läkemedel, särskilt karbamazepin, citalopram och sertralin, spåras i jorden nästan två år efter att de tillsatts. Våra resultat styrker således att de är persistenta (långlivade) läkemedel och bryts ner mycket långsamt i jorden. Positivt i våra försök var att jord med enbart rötrest (utan tillsats av läkemedel) uppvisade låga eller inga halter av de undersökta läkemedlen, vilket tyder på att slam i sig inte alltid behöver vara en stor källa till läkemedel i åkerjord, om slammängden följer lantbrukets rekommendation och slammet inte innehåller anmärkningsvärt höga halter av något läkemedel. Liknande resultat har påvisats från Sverige med långvarig spridning (23, 40, respektive 65 år) av avloppsslam på odlingsmark, där största delen av de analyserande läkemedelsresterna var under detektionsnivå vid provtagning 1–3 år efter senaste slamgödsling (Dalameh, 2025).

Resultaten för en del av läkemedlen i vår studie uppvisade oväntade mönster, med fynd som inte var konsekventa över tid. Till exempel återfanns bisoprolol i jord från krukor utan gröda två år efter försöksstart, trots att läkemedlet inte kunde spåras efter ett år. Ibuprofen

påträffades i kornhalm från kontrollkrukor, men vid en upprepad analys var provet negativt. Detta kan bero på svårighet att ta ett representativt prov när en liten mängd ska analyseras, vilket ger viss osäkerhet i resultaten.

Antibiotikan tetracyclin hittades endast i jordprover i början av försöken, vilket tyder på snabb urlakning eller nedbrytning, trots att ämnet binder starkt till jord – särskilt vid lågt pH (Conde-Cid m.fl., 2020). Diklofenak och metoprolol påträffades inte i jord- eller växtprover, vilket överensstämmer med förväntningarna. Diklofenak har visserligen låg avskiljningsgrad i avloppsreningsverk (10–20 %) (Nystén m.fl., 2019), men bryts samtidigt ned relativt snabbt i jord med en halveringstid på 2–30 dagar (Xu m.fl., 2009). Metoprolol uppvisar en bred variation i halveringstid i jord (15–239 dagar) (Kodešová m.fl., 2016), men bedöms trots detta ha låg risk för bioackumulering (Janusinfo, 2021).

Våra resultat väcker viktiga frågor om spridning av läkemedelsrester i miljön och deras påverka på ekosystem och livsmedelsproduktion. Nedbrytningen av läkemedel i jord och hur de tas upp av grödor under nordiska klimatförhållanden behöver studeras under längre tidsperioder för att ge bättre förståelse av riskerna – och av möjligheterna att minska miljöpåverkan.

Referenser

- Bolesta, W., Głodniok, M., & Styszko, K. (2022). From Sewage Sludge to the Soil—Transfer of Pharmaceuticals: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10246. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610246>
- Bondarczuk, K., Markowicz, A., & Piotrowska-Seget, Z. (2016). The urgent need for risk assessment on the antibiotic resistance spread via sewage sludge land application. *Environment International*, 87, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.11.011>
- Burns, E. E., Carter, L. J., Snape, J., Thomas-Oates, J., & Boxall, A. B. A. (2018). Application of prioritization approaches to optimize environmental monitoring and testing of pharmaceuticals. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 21(3), 115–141. <https://doi.org/10.1080/10937404.2018.1465873>
- Chițescu, C. L., Nicolau, A. I., Römkens, P., & Van Der Fels-Klerx, H. J. (2014). Quantitative modelling to estimate the transfer of pharmaceuticals through the food production system. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 49(7), 457–467. <https://doi.org/10.1080/03601234.2014.896659>
- Comber, S., Gardner, M., Sörme, P., & Ellor, B. (2019). The removal of pharmaceuticals during wastewater treatment: Can it be predicted accurately? *Science of The Total Environment*, 676, 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.113>
- Conde-Cid, M., Núñez-Delgado, A., Fernández-Sanjurjo, M., Álvarez-Rodríguez, E., Fernández-Calviño, D., & Arias-Estévez, M. (2020). Tetracycline and Sulfonamide Antibiotics in Soils: Presence, Fate and Environmental Risks. *Processes*, 8(11), 1479. <https://doi.org/10.3390/pr8111479>
- Dalahmeh, S. S. (2025). *Läkemedelsrester i slamgödsland åkermark – förekomst och risker*. Uppsala University. www.diva-portal.org/smash/get/diva2:2007868/FULLTEXT03.pdf
- Filipsson, I. (2015). *Latrin som substrat vid rötning—Utvärdering av biogaspotential och reduktion av läkemedelsrester* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A856733&dswid=-7363>
- Fimea. (2021). *Fimea, läkemedelsstatistik*. https://fimea.fi/sv/soktjanster_och_forteckningar/lakemedelsstatistik
- Gworek, B., Kijeńska, M., Wrzosek, J., & Graniewska, M. (2021). Pharmaceuticals in the Soil and Plant Environment: A Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(4), 145. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04954-8>
- Hubená, P., Horký, P., Grabic, R., Grabicová, K., Douda, K., Slavík, O., & Randák, T. (2023). Aggression repeatability in stressed fish in response to an environmental concentration of sertraline and lunar cycle as evidenced by brain metabolomics. *Aquatic Toxicology*, 264, 106707. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106707>
- Janusinfo. (u.å.). *Janusinfo/Läkemedel och miljö*. Janusinfo region Stockholm. Hämtad 21 december 2021, från

<https://janusinfo.se/beslutsstod/lakemedelochmiljo.4.72866553160e98a7ddf1d01.html>

Janusinfo. (2021, juni 28). *Metoprolol*. Janusinfo region Stockholm.

https://janusinfo.se/beslutsstod/lakemedelochmiljo/pharmaceuticalsandenvironmen t/databaseenven/metoprolol.5.30a7505616a041a09b062b52.html?utm_source=copilot.com

Jönsson, H., Dalahmeh, S., & Thorsén, G. (2020). *Läkemedel och hormoner i avloppsslam under lagring, kompostering och ammoniakbehandling*. Energi och teknik. <https://publications.slu.se/?file=publ/show&id=106666>

Knight, E. R., Carter, L. J., & McLaughlin, M. J. (2017). Bioaccumulation, uptake, and toxicity of carbamazepine in soil–plant systems. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(4), 1122–1130. <https://doi.org/10.1002/etc.4053>

Kodešová, R., Kočárek, M., Klement, A., Golovko, O., Koba, O., Fér, M., Nikodem, A., Vondráčková, L., Jakšík, O., & Grabic, R. (2016). An analysis of the dissipation of pharmaceuticals under thirteen different soil conditions. *Science of The Total Environment*, 544, 369–381. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.085>

Larsson, J. (2012). Utsläpp från läkemedelsindustri påverkar miljön—Antibiotikautsläpp riskerar också vår egen hälsa. *Läkartidningen*, 109(14–15), 750–753.

Lindholm-Lehto, P. C., Ahkola, H. S. J., & Knuutinen, J. S. (2018). Pharmaceuticals in processing of municipal sewage sludge studied by grab and passive sampling. *Water Quality Research Journal*, 53(1), 14–23. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2018.022>

Ma, Y., Xu, D., Li, C., Wei, S., Guo, R., Li, Y., Chen, J., & Liu, Y. (2022). Combined toxicity and toxicity persistence of antidepressants citalopram and mirtazapine to zooplankton *Daphnia magna*. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(44), 66100–66108. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20203-3>

Malmborg, J. (2014). *Reduktion av läkemedelsrester och andra organiska föroreningar vid hygienisering av avloppsslam* (Nos. 2014–21). Svensk Vatten Utveckling. <https://vattenbokhandeln.svenskvatten.se/produkt/reduktion-av-lakemedelsrester-och-andra-organiska-foro-reningar-vid-hygienisering-av-avloppsslam/>

Marttinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T., & Tampio, E. (2014). *Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi* (BIOSAFE-hankkeen loppuraportti MTT raportti 135). <http://www.mtt.fi/mtrraportti/pdf/mtrraportti135.pdf>

Mejías, C., Martín, J., Santos, J. L., Aparicio, I., & Alonso, E. (2021). Occurrence of pharmaceuticals and their metabolites in sewage sludge and soil: A review on their distribution and environmental risk assessment. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 30, e00125. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2021.e00125>

Menacherry, S. P. M., Kodešová, R., Švecová, H., Klement, A., Fér, M., Nikodem, A., & Grabic, R. (2023). Selective accumulation of pharmaceutical residues from 6 different soils by plants: A comparative study on onion, radish, and spinach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(18), 54160–54176. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26102-5>

- Naturvårdsverket. (2024). *Läkemedel i miljön*. Naturvårdsverket.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljofororeningar/organiska-miljogifter/lakemedel-i-miljon/#:~:text=L%C3%A4kemedel%20som%20kommer%20ut%20i,om%20%C3%A4kemedlens%20p%C3%A5verkan%20p%C3%A5%20milj%C3%B6n>.
- Nystén, T., Äystö, L., Laitinen, J., Mehtonen, J., Alhola, K., Leppänen, M., Perkola, N., Vieno, N., Sikanen, T., Yli-Kauhaluoma, J., Karlsson, S., Virtanen, V., & Teräsalmi, E. (2019). *Ympäristöön päätyvää lääkekuormaa voidaan vähentää* [SYKE Policy Brief]. Suomen Ympäristökeskus.
https://issuu.com/suomenymparistokeskus/docs/syke_policybrief_2019-05-17_ymparis
- Rutgersson, C., Ebmeyer, S., Lassen, S. B., Karkman, A., Fick, J., Kristiansson, E., Brandt, K. K., Flach, C.-F., & Larsson, D. G. J. (2020). Long-term application of Swedish sewage sludge on farmland does not cause clear changes in the soil bacterial resistome. *Environment International*, 137, 105339.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105339>
- Sellier, A., Khaska, S., & Le Gal La Salle, C. (2022). Assessment of the occurrence of 455 pharmaceutical compounds in sludge according to their physical and chemical properties: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 426, 128104.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128104>
- Sleight, H., Boxall, A. B. A., & Toet, S. (2023). Uptake of Pharmaceuticals by Crops: A Systematic Review and Meta-analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 42(10), 2091–2104. <https://doi.org/10.1002/etc.5700>
- Thiebault, T., Boussafir, M., & Le Milbeau, C. (2017). Occurrence and removal efficiency of pharmaceuticals in an urban wastewater treatment plant: Mass balance, fate and consumption assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3), 2894–2902. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.039>
- Vilpanen, M., & Seppälä, P. (2025). *Yhdyskuntaliikenteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus vuosilta 2021–2023* [Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 98]. https://www.vesilaitosyhdistys.fi/site/assets/files/10041/yhdyskuntaliikenteen_kasittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_2025.pdf
- Xu, J., Wu, L., & Chang, A. C. (2009). Degradation and adsorption of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in agricultural soils. *Chemosphere*, 77(10), 1299–1305. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.09.063>
- Öling-Wärnå, V., & Åkerback, N. (2022). *Reduktion av läkemedel under anaerob rötning*. Yrkeshögskolan Novia. <https://www.novia.fi/assets/Publikationer/Serie-R-Rapporter/Reduktion-av-lakemedel-under-anaerob-rotning.pdf>