UPTEC W 19044
Examensarbete 30 hp
Oktober 2019

UPPSALA
UNIVERSITET

Spillvattenvåtmarkers reningseffekt på aktiva läkemedelssubstanser

Johannes Randefelt

REFERAT

Spillvattenvåtmarkers reningseffekt på aktiva läkemedelssubstanser

Johannes Randefelt

Utsläpp av läkemedelsrester till miljön är ett växande problem och negativa effekter på fiskar och vattenlevande djur har observerats vid mycket låga halter. I detta examensarbete studerades fem svenska spillvattenvåtmarkers förmåga att avskilja aktiva läkemedelssubstanser som passerat genom avloppsreningsverket. Halter av 24 läkemedelssubstanser bestämdes i inkommande och utgående vatten till och från spillvattenvåtmarkerna i Eskilstuna, Hässleholm, Nynäshamn, Trosa och Oxelösund. De substanser som generellt sett återfanns i de högsta halterna i inkommande avloppsvatten till våtmarkerna var några vanliga antiinflammatoriska ämnen: naproxen, ibuprofen och diklofenak; några blodtryckssänkande ämnen: atenolol, hydroklortiazid, furosemid och metoprolol; och det lugnande ämnet oxazepam. Dessa ämnen förekom i koncentrationer mellan 0,7 µg/l och 10 µg/l. Resultaten visade att 47 % av de påträffade substanserna reducerades mellan 20 och 80 % och 47 % reducerades 80 % eller mer. Alla våtmarker visade en hög avskiljning av diklofenak, furosemid, hydroklortiazid och naproxen. Avskiljningsgraden för dessa ämnen var 74–100 %. Generellt sett uppvisade alla fem våtmarker en hög reningseffekt på aktiva läkemedelssubstanser men en något högre reningsgrad observerades i Oxelösund, Nynäshamn och Trosa våtmark. En möjlig förklaring till den höga reningseffekten kan vara våtmarkernas karakteristiska hydraulik, där spillvattendammar växelvis fylls och töms, i jämförelse med våtmarkerna i Eskilstuna och Hässleholm som har ett kontinuerligt flöde av spillvatten. En jämförelse gjordes också med tidigare reningsresultat under vinterförhållanden. Resultaten visade att avskiljningen av samtliga substanser var betydligt högre under de nu studerade sommarförhållandena.

Nyckelord: spillvattenvåtmarker, avloppsvatten, spillvatten, läkemedelssubstanser, avskiljning

Institutionen för miljövetenskap och analytisk kemi, Stockholms universitet
Svante Arrhenius väg 8 C, 106 91 Stockholm
ISSN 1401-5765

Abstract

Removal efficiency of pharmaceuticals in full scale constructed wetlands

Johannes Randefelt

The release of pharmaceutical residues to the environment is a growing problem of global concern. Many studies have reported the negative effects of pharmaceutical residues on fish and other aquatic organisms. This master thesis has assessed five constructed wetlands on their removal efficiency of active pharmaceutical substances. Influent and effluent wastewaters were analyzed for 24 common pharmaceutical substances in constructed wetlands in Eskilstuna, Hässleholm, Nynäshamn, Trosa and Oxelösund. The pharmaceuticals found in highest concentration in the influent were some common anti-inflammatory substances: naproxen, ibuprofen and diclofenac; a few antihypertensive substances: atenolol, hydrochlorothiazide, furosemide and metoprolol and the sedative substance, oxazepam. The concentrations varied between 0.7 μg/l and 10 μg/l. For 47% of the substances there was an observed removal efficiency of greater than 80% and for 47% of the substances a removal efficiency of 20–80 % was observed. Diclofenac, furosemide, hydrochlorothiazide and naproxen showed the greatest removal efficiencies, 74–100 %. In general, all five constructed wetlands showed high removal efficiencies for most pharmaceutical compounds, with greater removal efficiencies observed in Oxelösund, Nynäshamn and Trosa. The higher removal efficiency in these wetlands is believed to be due to their characteristic hydraulics, where wastewater basins are filled and emptied, whereas the basins in Eskilstuna and Hässleholm have continuous flow of wastewater. A comparison of removal efficiencies was also assessed for summer and winter conditions in Eskilstuna, Nynäshamn, Trosa and Oxelösund wetlands. The observed removal efficiencies were significantly greater during summer conditions.

Keywords: constructed wetlands, wastewater, pharmaceuticals, removal efficiency

Department of environmental science and analytical chemistry, Stockholm University
Svante Arrhenius väg 8 C, 106 91 Stockholm
ISSN 1401-5765

Förord

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng och är avslutningen på civilingenjörsutbildning i miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet. Detta examensarbete har handletts av Tova Forkman-Fahlgren och Daniel Stråe på WRS AB. Magnus Breitholtz på Institutionen för miljövetenskap och analytisk kemi, Stockholms Universitet, har varit ämnesgranskare.

Jag vill börja med att rikta ett stort tack till företaget WRS AB, för den unika möjligheten att få skriva mitt examensarbete hos dem. Tack till Jonas Andersson på WRS AB, som erbjöd en mycket intressant frågeställning att bygga ett examensarbete kring. Tack till mina handledare Tova Forkman-Fahlgren och Daniel Stråe för alla ovärderliga diskussioner, synpunkter och idéer under arbetets gång.

Jag vill också rikta min tacksamhet till kommunerna i Eskilstuna, Hässleholm, Nynäshamn, Trosa och Oxelösund som finansierat och gjort detta examensarbete möjligt. Jag vill tacka Anna Bogren, Tord Sonander, Michael Nilsson, Klas Dolk, Anders Tollén och alla medarbetare på respektive kommun för all hjälp med data, provtagningar, frågor och svar. Tack till Gunnar Thorsén och Elin Paulsson på IVL Svenska Miljöinstitutet för läkemedelsanalyserna.

Sist men inte minst vill jag tacka min ämnesgranskare Magnus Breitholtz som varit tillgänglig under hela arbetets gång och bidragit med värdefull kunskap till examensarbetet.

Johannes Randefelt

Uppsala, september 2019

Copyright © Johannes Randefelt och Institutionen för miljövetenskap och analytisk kemi, Stockholms universitet.
UPTEC W 19 044, ISSN 1401-5765
Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala 2019

Populärvetenskaplig sammanfattning

Under de tre senaste decennierna har problematiken kring läkemedelsrester i miljön fått ökad uppmärksamhet. Läkemedel och deras nedbrytningsprodukter har hittats i avloppsvatten, ytvatten, grundvatten och även i dricksvatten. I Sverige har läkemedelsanvändningen räknat i dygndoser per invånare sakta men säkert ökat de tolv senaste åren. År 2006 användes 581 dygnsdoser per invånare och år 2018 användes 660 dygnsdoser.

Läkemedel är speciella på många sätt jämfört med andra kemikalier. De är designade för att vara biologiskt aktiva vid mycket låga koncentrationer och många är även svårnedbrytbara. Denna design har sina för- och nackdelar. Fördelarna är att läkemedlen är effektiva och ger önskad terapeutisk effekt hos patienten och att läkemedlen har en lång livslängd, vanligtvis ett par år. Nackdelarna med designen är att de inte bryts ned lätt i naturen och att de där kan orsaka negativa effekter på fisk och andra vattenlevande djur och organismer. Effekter som uppstår i den akvatiska miljön är svåra att upptäcka, eftersom det kan vara svårt att klarlägga orsakssamband. Det kommer dock fler och fler studier som visar på läkemedlens negativa effekter på miljön men det krävs fler studier om hur en lång tids exponering av låga halter av läkemedel kan påverka miljön.

Läkemedelsrester reduceras till viss del med traditionell avloppsreningsteknik, men stora mängder läkemedel passerar igenom dagens avloppsreningsverk utan att brytas ner och hamnar antingen i avloppsslammet eller i sjöar och vattendrag. Nya tekniska lösningar behövs för att minska på utsläppen av läkemedelsrester till miljön. I de stora städerna förväntas energi- och kostnadskrävande tekniska lösningar krävas för avloppen men i mindre och mellanstora avloppsreningsverk kan enklare och billigare lösningar vara ett alternativ. Ett sådant alternativ är spillvattenvåtmarker.

Så kallade spillvattenvåtmarker har använts i Sverige för kompletterande rening av avloppsvatten i över två decennier. Intresset för spillvattenvåtmarker uppstod i Sverige i början av 1990-talet då Oxelösunds våtmark anlades för ökad avskiljning av kväve. I slutet av 1990-talet byggdes ett antal stora våtmarksanläggningar runt i landet, bland annat: Magle våtmark i Hässleholm, Alhagens våtmark i Nynäshamn och Ekeby våtmark i Eskilstuna. I våtmarker sker många processer som bidrar till att rena vatten. Biologisk nedbrytning kan anses vara en av de viktigaste processerna och gynnas av varma förhållanden, ca 15–25 °C. Växter bidrar också till reningen genom att fungera som kontaktyta mellan mikroorganismer och föroreningar. Sorption är en annan mekanism som kan rena vatten genom att substanser binds till varandra (flockas) och på så vis avskiljs från vattnet. Nedbrytning kan också ske med hjälp av solens UV-ljus.

I den här studien har fem svenska spillvattenvåtmarker för rening av läkemedelsrester undersökts. De undersökta våtmarkerna är Ekeby våtmark i Eskilstuna, Magle våtmark i Hässleholm, Alhagens våtmark i Nynäshamn, Trosa våtmark och Brannäs våtmark i Oxelösund.

Kemiska analyser utfördes på inkommande och utgående avloppsvatten för 24 läkemedel i varje våtmark. IVL Svenska Miljöinstitutet utförde läkemedelsanalyserna på sitt laboratorium i Stockholm.

I inkommande och utgående avloppsvatten återfanns 19 av 24 analyserade läkemedel. De ämnen som förekom i högst halter i det inkommande avloppsvattnet till våtmarkerna var några vanliga antiinflammatoriska ämnen; naproxen, ibuprofen och diklofenak, några blodtryckssänkande ämnen; atenolol, hydroklortiazid, furosemid och metoprolol och det lugnande ämnet oxazepam. Dessa läkemedel förekom i halter mellan 0,7 µg/l och 10 µg/l.

Med hjälp av resultaten från läkemedelsanalyserna och flödesdata från varje kommun beräknades hur väl varje våtmark renade en viss läkemedelssubstans. Genom att jämföra hur mycket av ett läkemedel som kom in och ut ur våtmarken kunde en avskiljningsgrad bestämmas för varje läkemedel. Överlag visade alla våtmarker en hög avskiljning av läkemedelsrester. Våtmarkerna i Nynäshamn, Trosa och Oxelösund visade lite högre reningsgrad än våtmarkerna i Eskilstuna och Hässleholm.

En jämförelse gjordes också hur bra våtmarker renar läkemedel under vinter- och sommarförhållanden. Resultaten visade att våtmarker renar läkemedelsrester betydligt bättre under de nu studerade sommarförhållandena.

Förklaringar och beteckningar

Aktiv substans	Substans i läkemedel som är biologiskt aktiv.
ARV	Avloppsreningsverk.
Avloppsvatten	Avloppsvatten är spill- och dagvatten. Spillvatten når avloppsreningsverk via ledningsnät.
Avskiljning	Ämnets minskning i mängd från inkommande vatten till utgående vatten.
Betablockerare	Ämnen som hämmar de fysiologiska funktionerna som överförs via betareceptorer, ämne i hjärtmedicin.
Biologisk rening	Rening som syftar till att bryta ner och avlägsna organiskt material. Detta görs genom att tillsätta olika typer av mikroorganismer som omvandlar det organiska materialet till koldioxid.
BOD_7	Biologisk syreförbrukning är ett mått på hur mycket lösligt syre som behövs för mikroorganismer att bryta ned organiskt material i vatten under sju dagar.
Dagvatten	Dagvatten är tillfälliga flöden av exempelvis regnvatten, smältvatten och spolvatten samt framträngande grundvatten.
Denitrifikation	Kemisk frigörelse av kvävgas, dikväveoxid eller kväveoxid från nitrat eller nitrit i syrefattiga miljöer genom mikroorganismers inverkan.
Definierad dygnsdos	Den förmodade medeldosen till vuxna vid underhållsbehandling vid läkemedlets huvudindikation.

Dos	Med dos menas en viss mängd av ett läkemedel.
Dygnsprov	Ett prov bestående av ett antal delprover som tagits under ett dygn.
Flödesproportionell provtagning	Provtagning av blandprover, bestående av ett antal delprover, som tas på ett sådant sätt att de enskilda blandprovens volym är proportionell mot vattenflödet under respektive provtagningsperiod.
Humana läkemedel	Humana läkemedel avser läkemedel som förskrivs till människor i motsats till läkemedel som används till djur.
Kemisk rening	Syftar till att rena avloppsvattnet från fosfor genom att tillsätta kemikalier som t.ex. järnsulfat.
Kärlkramp	Beteckning på en tillfällig nedsättning av blodflödet i hjärtats kärlkrans.
Mekanisk rening	Syftar till att avlägsna fasta partiklar. Galler, sandfång och försedimentering är de huvudbehandlingssteg som kan användas.
Nitrifikation	Oxidation av ammoniumjoner eller ammoniak till nitrit och nitrat under medverkan av bakterier.
NOEC	No observed effect concentration. Är den högsta koncentrationen av ett ämne då inga effekter observeras på de arter som studeras.
NSAID	Icke-steroida antiinflammatoriska läkemedel.
Ozon	Ozon, O_3, är en gasmolekyl bestående av tre syreatomer. Molekylen är kemiskt mycket aggressiv och har en stor teknisk användning, t.ex. läkemedelsrening.

Parshallränna	Konstruktion i vattendrag som används för flödesmätning.
Personekvivalent (pe)	En personekvivalent motsvarar den mängd nedbrytbart organiskt material som har en biokemisk syreförbrukning på 70 gram löst syre per dygn under sju dygn (BOD_7).
Proteolytiska bakterier	Bakterier som har förmågan att bryta ned proteiner.
Recipient	Recipient är ett vattendrag, sjö eller hav som tar emot renat eller orenat avlopps- eller dagvatten.
SBR	Satsvis biologisk rening.
Skibord	En öppning i en damm för avledning av vatten.
Spillvatten	Spillvatten är förorenat vatten som leds till spillvattenavlopp. Från hushåll avleds hushållsspillvatten från toaletter, samt från bad och disk och tvätt. Industrispillvatten är det spillvatten som släpps ut från områden som används för kommersiell eller industriell verksamhet.
Stickprov	Ett prov bestående av vatten som tagits vid ett och samma tillfälle.
Tot-N	Totalkväve. Halten av samtliga kväveföreningar i vattnet.
Tot-P	Totalfosfor. Halten av samtliga fosforföreningar i vattnet.
Översilningsyta	En översilningsyta är en flackt lutande gräsyta dit vatten leds på bred front längs den övre kanten. Vattnet flödar jämnt och långsamt mot ett uppsamlingsdike eller en damm.

Aktiva läkemedelssubstanser

(Källa: Fass.se)

Amlodipin	Blodtryckssänkande substans.
Atenolol	Blodtryckssänkande substans.
Bisoprolol	Blodtryckssänkande substans.
Citalopram	Antidepressiv substans. Aktiv substans i bland annat läkemedlet Cipramil.
Diazepam	Tillhör en grupp mediciner som kallas för benzodiazepiner. Används som lugnande, för att kontrollera kramper och för att få muskler att slappna av.
Diklofenak	Tillhör inflammationshämmande mediciner. Används för att hindra inflammationer, lindra smärta och sänka feber.
Etinylestradiol	Ett syntetiskt östrogen. Den aktiva substansen finns i många preventivmedel.
Fluoxetin	Aktiv substans i många antidepressiva läkemedel.
Furosemid	Vätskedrivande och blodtryckssänkande läkemedel.
Hydroklortiazid	Blodtryckssänkande substans.
Ibuprofen	Tillhör en grupp läkemedel som kallas icke-steroida antiinflammatoriska läkemedel (NSAID). Används t.ex. vid smärta, reumatiska sjukdomar och feber.
Karbamazepin	Tillhör läkemedelsgruppen antiepileptikum. Lugnande som bland annat används mot epilepsianfall.
Ketoprofen	NSAID-läkemedel.

Metoprolol	Selektiv betablockerare. Används bland annat mot högt blodtryck och hjärtsvikt.
Naproxen	NSAID-läkemedel. Används mot reumatoid artrit, migrän och som smärtstillande.
Oxazepam	Lugnande medel. Används mot ångest, ängslan, rastlöshet och sömnsvårigheter.
Paracetamol	Smärtstillande läkemedel.
Propranolol	Betareceptorblockerare. Används bland annat mot högt blodtryck och kärlkramp.
Ramipril	Används mot högt blodtryck, kardiovaskulär prevention och njursjukdom.
Ranitidin	Syrahämmande medel. Används bland annat mot magsår, halsbränna och sura uppstötningar.
Risperidon	Antileptikum. Används mot schizofreni.
Sertralin	Aktiv substans i antidepressiva läkemedel och selektiva serotoninåterupptagshämmare.
Simvastatin	Används för behandling av höga kolesterolvärden och prevention av kardiovaskulära sjukdomar.
Terbutalin	Används mot astma och kroniskt obstruktiv lungsjukdom.
Warfarin	Antikoagulant. Används som blodförtunnande.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING 1
1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR 2
1.2 UTFÖRANDE 2
1.3 AVGRÄNSNINGAR 2
2 BAKGRUND 3
2.1 LÄKEMEDEL 3
2.2 LÄKEMEDLENS VÄG TILL VATTENMILJÖN 3
2.3 LÄKEMEDLENS MILJÖEFFEKTER 4
2.4 TEKNIKER FÖR ATT RENA LÄKEMEDELSRESTER OCH ANDRA OÖNSKADE ÄMNEN FRÅN AVLOPPSVATTEN 5
2.5 SPILLVATTENVÅTMARKER 6
2.5.1 Olika typer av spillvattenvåtmarker 6
2.5.2 Spillvattenvåtmarkers egenskaper och reningsprocesser 7
2.5.3 Tidigare studier om spillvattenvåtmarkers avskiljningsförmåga av läkemedelsrester 7
3 METOD 10
3.1 ANLÄGGNINGARNA 10
3.1.1 Geografisk placering 10
3.1.2 Ekeby våtmark 10
3.1.3 Alhagens våtmark 12
3.1.4 Trosa våtmark 14
3.1.5 Brannäs våtmark 15
3.1.6 Magle våtmark 17
3.2 PROVTAGNINGSMETODIK 18
3.3 BERÄKNINGSMETODIK 19
3.4 RENINGSTEKNISKA PARAMETRAR 20
3.5 DESIGN, YTA OCH UPPEHÅLLSTID – LIKHETER OCH OLIKHETER 21
3.6 KEMISKA ANALYSER AV LÄKEMEDELSRESTER 22
3.7 VATTENBALANS I VÅTMARKERNA 22
3.8 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR BERÄKNINGAR 22
4 RESULTAT 23
4.1 ALLMÄNNA PARAMETRAR 23
4.2 AKTIVA LÄKEMEDELSSUBSTANSER 23
4.2.1 Förekomst av aktiva läkemedelssubstanser 23
4.2.2 Avskiljning av aktiva läkemedelssubstanser 25
4.2.3 Avskiljning under sommar- och vinterförhållanden 27

5 DISKUSSION 28
5.1 VÅTMARKERNAS GENERELLA RENINGSSTATUS 28
5.2 FÖREKOMST AV AKTIVA LÄKEMEDELSSUBSTANSER 28
5.3 AVSKILJNING AV AKTIVA LÄKEMEDELSSUBSTANSER 29
5.4 AVSKILJNING AV LÄKEMEDELSSUBSTANSER UNDER SOMMAR- OCH VINTERFÖRHÅLLANDEN 29
5.5 FELKÄLLOR 30
6 SLUTSATSER 31
7 REFERENSER 32
8 APPENDIX 36
APPENDIX A Flödesdata, nederbördsdata och avdunstningsdata 36
APPENDIX B Avskiljning av aktiva läkemedelssubstanser 36

1 INLEDNING

Statistik från eHälsomyndigheten visar att den historiska försäljningsvolymen av läkemedel i Sverige stadigt har ökat mellan 2002 och 2014 (eHälsomyndigheten, 2014). Den globala läkemedelsanvändningen 2020 förväntas nå 4,5 trillioner doser, en ökning på 24 % jämfört med 2015 (Aitken & Kleinrock, 2015). Generellt sett fortsätter läkemedelsanvändningen att öka, delvis driven av en ökad efterfrågan på läkemedel som behandlar åldersrelaterade sjukdomar och kroniska sjukdomar och av förändringar inom klinisk prövning (OECD, 2015).

En ökad användning av läkemedel innebär en ökad belastning på miljön om inte reningsmetoderna förbättras. Den ökande tillförseln av läkemedelsrester från samhället till den akvatiska miljön har ökat medvetenheten om potentiella negativa miljöeffekter (Ternes et al., 2007). Studier har visat att utsläpp av läkemedelsrester i vattenmiljön kan resultera i utveckling av antibiotikaresistenta mikroorganismer, beteendeförändringar hos fisk och skev könsfördelning hos vattenlevande organismer (Graae et al., 2017). I dagsläget saknas det tillfredsställande kunskap om hur utsläpp av läkemedelsrester till vattenmiljön påverkar människors hälsa och om de risker som finns vid långtidsexponering av låga koncentrationer av läkemedelsrester (WHO, 2012). Eftersom långtidseffekterna av läkemedelsrester i miljön är så svåra att förutse är det viktigt att inte ta några onödiga risker för miljön och människors hälsa. Det är därför motiverat att införa avancerad rening av läkemedelsrester från avloppsvatten (Naturvårdsverket, 2017).

Den kvantitativt största källan till läkemedelsrester i miljön i Sverige kommer från läkemedel som utsöndras via urin och avföring och hamnar i våra avloppsreningsverk (Naturvårdsverket, 2017). Dagens avloppsreningsverk är inte konstruerade för att rena avloppsvatten från läkemedelssubstanser, dock avskiljs en del med traditionell avloppsreningsteknik. Främst sker avskiljningen genom biologisk nedbrytning och via adsorption till slampartiklar (Naturvårdsverket, 2017). Konsekvenserna av ineffektiv läkemedelavskiljning vid avloppsreningsverken är att stora mängder läkemedelsrester kommer ut i vattendrag och ytvatten. Trots låga koncentrationer som kan variera mellan andelar per miljard till andelar per trillion så kan dessa substanser ha en negativ påverkan på det akvatiska ekosystemet (Zhang et al., 2016).

För att hållbart och resurseffektivt minska läkemedelsresterna som släpps ut till miljön, behöver sannolikt både uppströmsåtgärder och nedströmsåtgärder tillämpas. Förbättrade reningstekniker av avloppsvatten är en del av lösningen på problemet, men även andra åtgärder behövs såsom åtgärder för att minska på överanvändandet av läkemedel i samhället. Införandet av avancerad reningsteknik är förknippat med miljökostnader som ökad energianvändning och kemikalieanvändning (Naturvårdsverket, 2017). Det kan därför vara intressant att utreda vilka enklare och billigare alternativ som finns. Ett

lovande alternativ och kompletterande reningssteg för konventionella avloppsreningsverk är spillvattenvåtmarker. Flera studier har visat att spillvattenvåtmarker har stor potential att reducera organiska mikroföroreningar och aktiva läkemedelssubstanser (Hijosa-Valsero et al., 2010, Zhang et al., 2016). Spillvattenvåtmarker förbrukar lite energi och har relativt låga underhållskostnader (Hijosa-Valsero et al., 2010).

1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Detta examensarbete syftade till att öka kunskapen om spillvattenvåtmarkers reningseffekt på aktiva läkemedelssubstanser genom litteratur- och fältstudier. Kemiska analyser av läkemedelsrester i inkommande och utgående vatten till och från fem svenska spillvattenvåtmarker undersöktes. Utifrån dessa analyser utvärderades våtmarkernas reningseffekt med avseende på de aktiva läkemedelsubstanserna. Den nu aktuella studien utfördes under sommarförhållanden. En jämförelse gjordes också med tidigare reningsresultat under vinterförhållanden (Näslund, 2010). Näslunds examensarbete fungerade som underlag för jämförelser av avskiljningsgraden under sommar- och vinterförhållanden. Hypotesen är att spillvattenvåtmarkerna reducerar läkemedelsrester till en större grad under sommarförhållanden än under vinterförhållanden, men att avskiljningen beror på typen av läkemedelssubstans och våtmarkens specifika egenskaper. Följande tre frågeställningar har formulerats:

- Hur ser förekomsten ut av aktiva läkemedelssubstanser i spillvattenvåtmarker?
- Hur bra avskiljer spillvattenvåtmarker aktiva läkemedelssubstanser?
- Hur stor är skillnaden i avskiljning av läkemedelssubstanser i spillvattenvåtmarker under vinterförhållanden jämfört med sommarförhållanden?

1.2 UTFÖRANDE

Examensarbetet påbörjades med en litteraturstudie för att få kunskap och insikt om läkemedel och deras miljöeffekter samt spillvattenvåtmarkers potential att reducera dessa. Information om respektive spillvattenvåtmark samlades in och sammanställdes. Sedan utformades en provtagningsplan för hur, när och var vattenprover i våtmarkerna skulle tas. Provtagningen utfördes under två veckor i juni mellan 4 juni 2019 och 13 juni 2019 och därefter utfördes kemiska analyser av IVL Svenska Miljöinstitutet.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

Detta examensarbete har begränsats till att undersöka läkemedelsavskiljningen i fem spillvattenvåtmarker. Våtmarkerna som undersöktes var Trosa våtmark, Alhagens våtmark i Nynäshamn, Ekeby våtmark i Eskilstuna, Brannäs våtmark i Oxelösund och Magle våtmark i Hässleholm. De fyra förstnämnda våtmarkerna undersöktes på grund av att de studerats i ett tidigare examensarbete (Näslund, 2010) och att en uppföljning på detta examensarbete därför var intressant. Konsultföretaget WRS AB har också varit involverat i planeringen och projekteringen av de fyra förstnämnda våtmarkerna, varför

dessa våtmarker också var av intresse. Magle våtmark i Hässleholm har också undersökts eftersom Hässleholms kommun varit intresserade av att delta i studien. I studien har det inte varit möjligt att inkludera alla läkemedelssubstanser på marknaden, utan har begränsats till de 24 läkemedel som ingick i IVL Svenska Miljöinstitutets läkemedelspaket.

2 BAKGRUND

2.1 LÄKEMEDEL

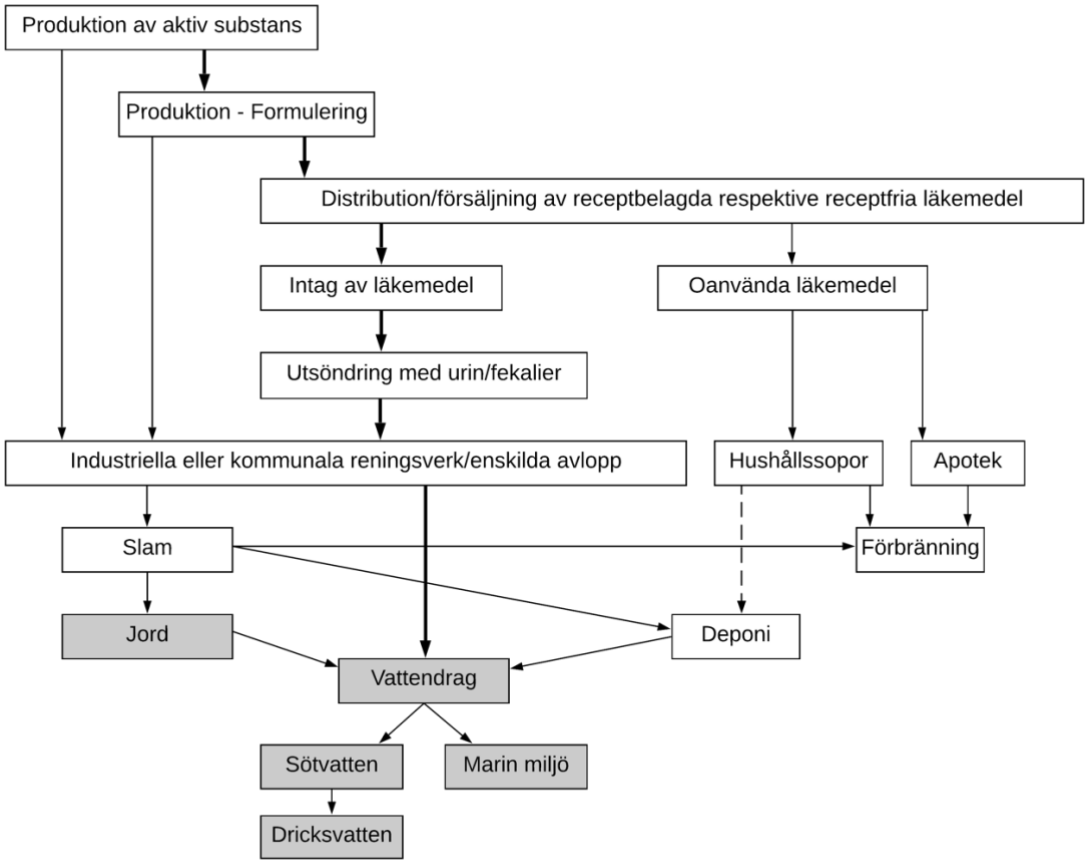
Majoriteten av dagens läkemedel framställs syntetiskt för att uppnå tillräckligt hög biologisk aktivitet och för att vara tillräckligt kemiskt stabila (Naturvårdsverket, 2008). Läkemedel är designade för att vara effektiva vid låga doser i kroppen och stabila mot t.ex. magsyra och mikrobiell nedbrytning. En av de negativa följderna av denna persistens är att läkemedel heller inte bryts ner effektivt i avloppsreningsverk (Baresel et al., 2015).

Läkemedelsanvändningen ökar på grund av en ökande befolkning, utvecklingsländernas ökade inkomster, en ökad medellivslängd och genom att nya läkemedel introduceras på marknaden (Apoteket AB, 2005). I Sverige har läkemedelsanvändningen ökat, från 1360 definierade dygnsdoser (DDD) per 1000 invånare och dag år 2006 till 1500 DDD/1000 invånare och dag år 2014 (Baresel et al., 2015).

2.2 LÄKEMEDLENS VÄG TILL VATTENMILJÖN

För att förstå vilka miljökonsekvenser användningen av läkemedel bidrar till är det viktigt att förstå dess väg igenom samhället. I figur 1 visas en översikt av flöden och spridning av läkemedelssubstanser. Den största källan till läkemedel och läkemedelsrester i miljön kommer från mänsklig konsumtion (Naturvårdsverket, 2017). Läkemedel och deras metaboliter utsöndras från kroppen via urin och/eller fekalier och hamnar i våra avloppsreningsverk. Läkemedelsresterna lämnar systemet på tre olika sätt: 1) antingen bryts de ner, 2) hamnar i det utgående renade avloppsvattnet, eller så 3) hamnar de i avloppsslammet. I många fall kan nivåerna av dessa ämnen vara så höga i vattendrag nedströms vissa reningsverk, att de har en klar negativ miljöpåverkan (Graae et al., 2017).

De avgörande faktorerna som styr förekomsten av läkemedelsrester i ytvatten är deras respektive försäljningsvolymer, utspädning av det utgående avloppsvattnet i recipienten och respektive läkemedels nedbrytningsegenskaper. Läkemedlets kemiska egenskaper påverkar till stor del om den kommer nå vattenmiljön eller inte. Det finns lagliga krav att läkemedel ska vara stabila i 2–5 år i förpackningen vilket medför att läkemedel ofta har kemiska egenskaper som gör dem svårnedbrytbara. Vissa läkemedelsrester som penicillin och det smärtstillande läkemedlet acetaminophen bryts ned nära fullständigt i avloppsreningsverk medan andra läkemedelsrester som karbamazepin passerar avloppsreningsverken opåverkade (Wennmalm, 2011).



Figur 1. *Översikt av flöden och spridning av läkemedelssubstanser för human användning till miljön (Baserat på Graee et al., 2017). Huvudflödet är markerat med tjockare pilar.*

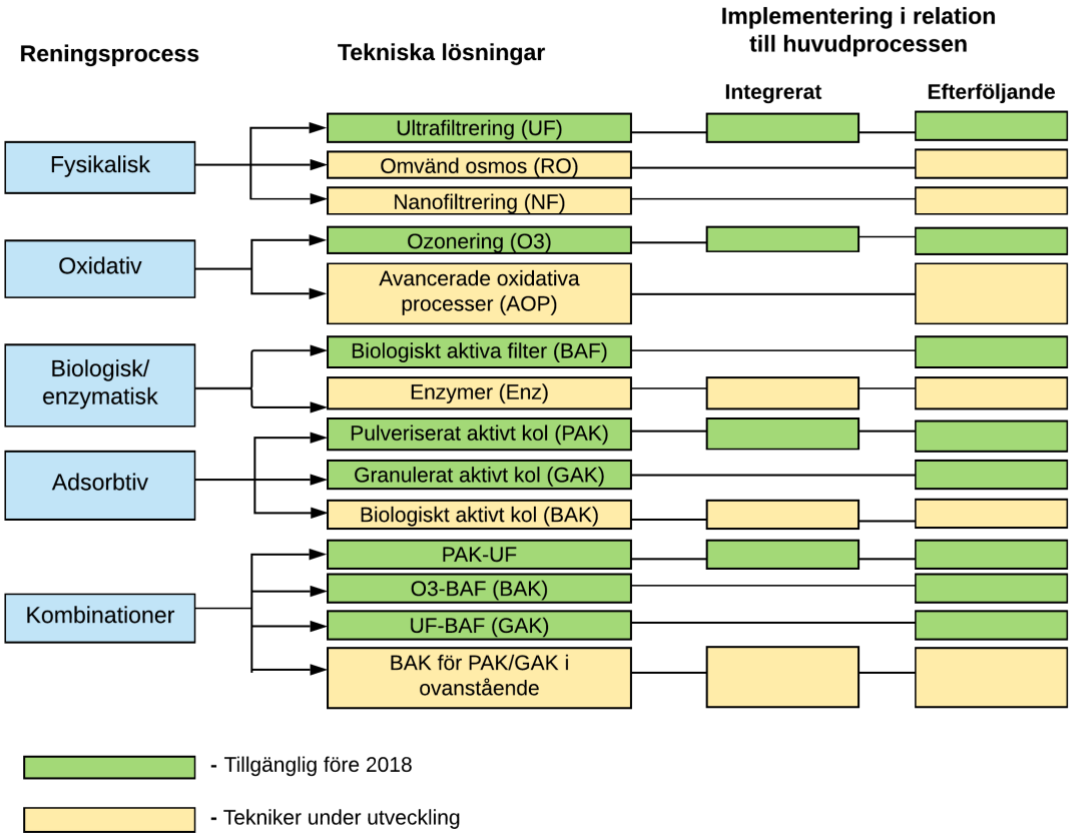
2.3 LÄKEMEDLENS MILJÖEFFEKTER

Läkemedel representerar en av de få grupperna av kemiska ämnen som är speciellt designade för att påverka levande celler. De aktiva substanserna i läkemedel kan därmed påverka andra levande organismer vars receptorer, hormoner och enzymer påminner om människans (Gunnarsson et al., 2008). De flesta läkemedel är kemiskt stabila och lite fettlösliga. Läkemedelsrester bryts ner i varierande grad i avloppsreningsverk, och vissa av dem bryts inte ner alls och lämnar avloppsreningsverken i aktiv form (Wennmalm, 2011). När dessa aktiva läkemedel når recipienten kan de påverka vattenlevande organismer. Miljöeffekter som setts hos bland annat fisk, är skev könsfördelning, försämrad reproduktionspotential och ackumulering av aktiva läkemedelssubstanser i cellvävnad (Wennmalm, 2011).

Fortfarande vet man väldigt lite om läkemedelsresters effekter på miljön. Många av de tester som gjorts för att studera läkemedels ekotoxikologi är de samma som använts för att studera akut toxiciteten för vanliga industriella kemikalier (Wahlberg et al., 2010). Skillnaden är att läkemedel sällan är akut toxiska och därför är det svårt att förutse effekter på miljön. Ett av de första uppmärksammade fallen av läkemedelsresters negativa effekter på miljön är från 1990-talet i England, där sportfiskare nästan bara fick upp honfiskar. Till en början trodde man att orsaken berodde på utsläpp av industriella kemikalier med östrogena effekter men vetenskapliga studier som utfördes på hanfiskar nedanför utsläppen på de engelska avloppsreningsverken visade att hanfiskarna producerade ett protein som bara finns hos fertila honor. Effekten kunde kopplas till avloppsvattnets innehåll av det syntetiska östrogenet etinylestradiol som finns i p-piller (Wahlberg et al., 2010). Denna läkemedelssubstans är ett mycket potent hormonstörande ämne och är mer än 10 gånger så verksamt i fisk som det naturliga hormonet estradiol (Porseryd, 2018). Ett annat potent läkemedel är diklofenak, som är vanligt förekommande i ytvatten. En studie utförd av Memmert et al. (2013) redovisar att fiskar kan påverkas av diklofenak redan vid relativt låga halter, mellan 1 och 5 µg/l. I en studie utförd av Kwak et al. (2018) undersöktes naproxens toxicitet hos fiskar och vattenloppor. I studien bestämdes NOEC-värden för kräftdjursarterna *moina macrocopa* och *daphnia magna*, vilka var 0,3 mg/l respektive 10 mg/l.

2.4 TEKNIKER FÖR ATT RENA LÄKEMEDELSRESTER OCH ANDRA OÖNSKADE ÄMNEN FRÅN AVLOPPSVATTEN

Avloppsreningsverk är inte konstruerade för att bryta ner rester av läkemedelsrester eller andra farliga ämnen och dagens avloppsreningsverk avlägsnar inte alla dessa ämnen (Naturvårdsverket, 2008). Avloppsreningsverk har dock visat sig ha en förmåga att reducera vissa läkemedelsrester, men att avskiljningen varierar mycket mellan olika substanser (Naturvårdsverket, 2008). Det finns ett antal tekniker för rening av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen från avloppsvatten. De olika teknikerna kan delas in i olika reningsmetoder: fysikaliska, oxidativa, biologiska samt adsorptiva. En översikt av dessa framgår i figur 2. De tekniker som gett bäst resultat för rening av läkemedelsrester enligt Wahlberg et al. (2010) är aktivt kol, membranfiltrering med omvänd osmos och ozonering.



Figur 2. *Schematisk överblick av olika reningstekniker och deras implementering i avloppsreningsverk. (Baserat på Baresel et al., 2017)*

2.5 SPILLVATTENVÅTMARKER

Begreppet ”våtmark” innefattar en bred samling av olika vattenmiljöer. Definitionen av våtmark enligt Naturvårdsverket: ”Våtmark är sådan mark där vatten under en stor del av året finns nära, i eller strax över markytan samt vegetationstäckta vattenområden.” (Naturvårdsverket, 1993). I denna rapport avses sådana våtmarker som anläggs som kompletterande behandlingssteg till avloppsreningsverk, så kallade spillvattenvåtmarker. Det är en naturnära teknik som bland annat nyttjar biologisk nedbrytning, sorption, växter och solbelysning för att rena avloppsvatten. Spillvattenvåtmarker anläggs ofta i syfte att rena avloppsvatten från kväve, fosfor och partikulärt material men många studier har också visat på att våtmarker har potential att avskilja vanligt förekommande läkemedelsrester i avloppsvatten (Zhang et al., 2016).

2.5.1 Olika typer av spillvattenvåtmarker

Det finns olika typer av spillvattenvåtmarker, den typen som studeras i detta examensarbete är av typen med ytvattenflöde. På engelska kallas dessa “free water surface” constructed wetlands (FWS). En annan typ av våtmark med ytvattenflöde som har flytande växter kallas för ”free-floating plant” (FFP) constructed wetlands. Det finns också ”horizontal sub-surface flow” (HSSF) och ”vertical sub-surface flow” (VSSF)

constructed wetlands (Vymazal, 2007). HSSF och VSSF är vad man i Sverige skulle kalla för markbäddar eller rotzonsanläggningar.

En typisk konstgjord våtmark med ytvattenflöde har ytor med öppet vatten och är till utseendet lika naturliga våtmarker. Dessa våtmarker innehåller både flytande vegetation, under- och övervattensvegetation (Vymazal, 2013). Djupet i denna typ av våtmarker kan variera allt mellan 0,2 och 2,5 meter (Vymazal, 2013, Hässleholms Vatten AB, 2007). I den nu aktuella studien har också två våtmarker med översilningsytor undersökts, dem i Trosa och i Nynäshamn. Översilningsytor bidrar till att syresätta vattnet och fastlägga partiklar (Nynäshamns kommun, 2018). När avloppsvattnet rinner igenom våtmarken behandlas den av processer som sedimentation, filtrering, oxidation, avskiljning, adsorption och utfällning (Kadlec & Wallace, 2009).

2.5.2 Spillvattenvåtmarkers egenskaper och reningsprocesser

Våtmarker är komplexa biologiska system och att förutsäga reningsgraden för en viss läkemedelssubstans genom en våtmark är svårt eftersom detta beror på många olika faktorer: våtmarkens karakteristiska design, driftsmässiga och miljömässiga betingelser, egenskaper på det inkommande avloppsvattnet, vegetation, kemiska egenskaperna hos substanserna osv. I våtmarker samexisterar aeroba, anaeroba och anoxiska mikromiljöer och det är dessa miljöer som bidrar till att reducera ett brett spektrum av olika läkemedelssubstanser. Huvudsakligen bidrar biologisk nedbrytning, sorption, upptag av växter och fotonedbrytning till avskiljning av läkemedelsrester i våtmarker (Verlicchi & Zambello, 2014). Våtmarkers förmåga att förbättra vattenkvalitén på utgående avloppsvatten beror i hög grad på de bakteriella kolonier som är närvarande i våtmarken (Berglund et al, 2014).

2.5.3 Tidigare studier om spillvattenvåtmarkers avskiljningsförmåga av läkemedelsrester

I en tidigare studie om spillvattenvåtmarkers reningseffekt på läkemedelsrester utförd av Näslund (2010) undersöktes samma våtmarker som i den nu aktuella studien, fast under vinterförhållanden. Studien visade att 50–70 % av de påträffade substanserna som undersöktes, avskildes i någon grad (>20 %) medan 15 % avskildes i stor utsträckning (>80 %). I samma studie visade det sig att våtmarkerna i Nynäshamn (Alhagens våtmark) och Oxelösund (Brannäs våtmark) hade bättre rening än våtmarkerna i Trosa och Ekeby. I inkommande vatten till våtmarkerna var de dominerande substanserna i princip desamma. De substanser med högst koncentration var metoprolol, ibuprofen, ketoprofen, sotalol och atenolol vilka är läkemedelsämnen för hjärtproblem samt smärt- och inflammationssjukdomar. Ett av studiens resultat var också att olika läkemedelssubstanser avskildes olika bra i de olika våtmarkerna och att reningsgraden tycks bero på våtmarkens utformning och egenskaper. Tabell 1 visar avskiljningsgraden för 12 aktiva läkemedelssubstanser under vinterförhållanden i Eskilstuna, Nynäshamn, Trosa och Oxelösund våtmark (Näslund, 2010). Den negativa avskiljningsgraden för karbamazepin i Trosa våtmark indikerar att mängden av ämnet ökar ut från våtmarken.

Tabell 1. Avskiljningsgrad för Eskilstunas, Nynäshamns, Trosas och Oxelösunds våtmark vecka 7 och 8 år 2010. Baserat på (Näslund, 2010).

	Eskilstuna [%]	**Nynäshamn [%]**	**Trosa [%]**	**Oxelösund [%]**
Atenolol	27	53	53	53
Bisoprolol	26	22	36	29
Citalopram	45	84	97	63
Diklofenak	31	24	30	36
Ibuprofen	38	80	5	88
Karbamazepin	12	11	-19	21
Ketoprofen	56	3	19	32
Metoprolol	-3	30	27	18
Naproxen	34	46	50	75
Oxazepam	*	21	-26	48
Ranitidin	-39	92	56	88
Sertralin	0	*	*	94

**Avskiljningsgrad saknas*

Breitholtz et al. (2011) anger i sin studie att avskiljningsgraderna som beräknas för våtmarkerna är jämförbara med de för konventionella avloppsreningsverk. För ämnen som diklofenak och karbamazepin var den estimerade avskiljningsgraderna i spannet 24–36 % och 11-21 % vilket är jämförbart med avskiljningsgraden i konventionella avloppsreningsverk.

Enligt (Verlicchi & Zambello, 2014) kan våtmarker avskilja vissa vanligt förekommande läkemedelsrester som t.ex. naproxen, salicylsyra, ibuprofen, koffein med jämförbar effektivitet som konventionella avloppsreningsverk. Enligt Verlicchi & Zambello (2014) så finns det ingen korrelation mellan aktiva läkemedelssubstansers kemiska egenskaper och avskiljningsgraden. Fastän ibuprofen och ketoprofen har liknande kemiska egenskaper så reduceras ibuprofen mer effektivt i avloppsvatten än ketoprofen. Det spekuleras att detta beror på specifika grupper hos molekylen, som t.ex. de två aromatiska ringarna hos ketoprofen. Uppehållstiden i en våtmark är en betydande faktor som styr hur väl aktiva läkemedelssubstanser reduceras. Ju längre uppehållstiden är desto större avskiljning ses hos de flesta substanser, speciellt för hydrofobiska ämnen som hormoner (Verlicchi & Zambello, 2014). En stark korrelation hittades mellan uppehållstiden och avskiljningsgraden av koffein, salicylsyra, ketoprofen och clofibrinsyra (Verlicchi & Zambello, 2014).

En studie som jämförde sju olika våtmarkskonfigurationer visade att våtmarker med ytvattenflöde (SF-CWs) hade de bästa reningseffekterna året runt jämfört med de andra våtmarkskonfigurationerna. Avskiljningen av ketoprofen i våtmarkerna varierade mellan 11 och 50 % under vintern och den bästa avskiljningen observerades hos våtmarkerna med ytvattenflöde (Hijosa-Valsero et al, 2010). Nedbrytning av ketoprofen

tros vara relaterat till fotonedbrytningsprocesser och våtmarksanläggningar med ytvattenflöde släpper in mera solljus (Hijosa-Valsero, 2010).

Temperatur har också en betydande effekt på nedbrytningen av läkemedelsrester som t.ex. koffein, naproxen, salicylsyra, methyldihydrojasmonate, galaxolide och tonalide. Mikroorganismer i våtmarker når vanligtvis sin optimala aktivitet under varma vattenförhållanden (15–25 °C), speciellt nitrifierande och proteolytiska bakterier (Hijosa-Valsero et al, 2010). I samma studie kom man fram till att biotiska processer dominerar över abiotiska processer som t.ex. adsorption, som också är temperaturberoende process men som gynnas av låga vattentemperaturer. Författarna kommenterar dock att varma temperaturer inte är den enda orsaken till god avskiljningen av läkemedelssubstanser utan att sommarförhållanden (höga temperaturer, solljus och växtaktivitet) bidrar till en högre läkemedelsavskiljning. En slutsats från den studien är också att biotiska processer dominerar över abiotiska processer för nedbrytningen av de studerade läkemedelssubstanserna.

3 METOD

Spillvattenvåtmarkerna som undersökts i denna studie är Ekeby våtmark, Alhagens våtmark, Trosa våtmark, Brannäs våtmark och Magle våtmark. Från varje våtmark samlades flödesproportionella dygnsprover in på inkommande och utgående avloppsvatten, förutom för det utgående avloppsvattnet i Trosa våtmark. Därefter utfördes kemiska analyser av 24 aktiva läkemedelssubstanser. För att komplettera bilden av vattenkvalitén i våtmarkerna har också analysresultat för BOD_7, totalkväve, totalfosfor och ammoniumkväve använts. Anläggningarnas geografiska placering visas i figur 3.

3.1 ANLÄGGNINGARNA

3.1.1 Geografisk placering

Figur 3. *Karta över anläggningarnas geografiska placering. (A) Ekeby våtmark i Eskilstuna. (B) Alhagens våtmark i Nynäshamn. (C) Trosa våtmark. (D) Brannäs våtmark i Oxelösund. (E) Magle våtmark i Hässleholm. Bakgrundskartan är hämtad från Lantmäteriet (2019).*

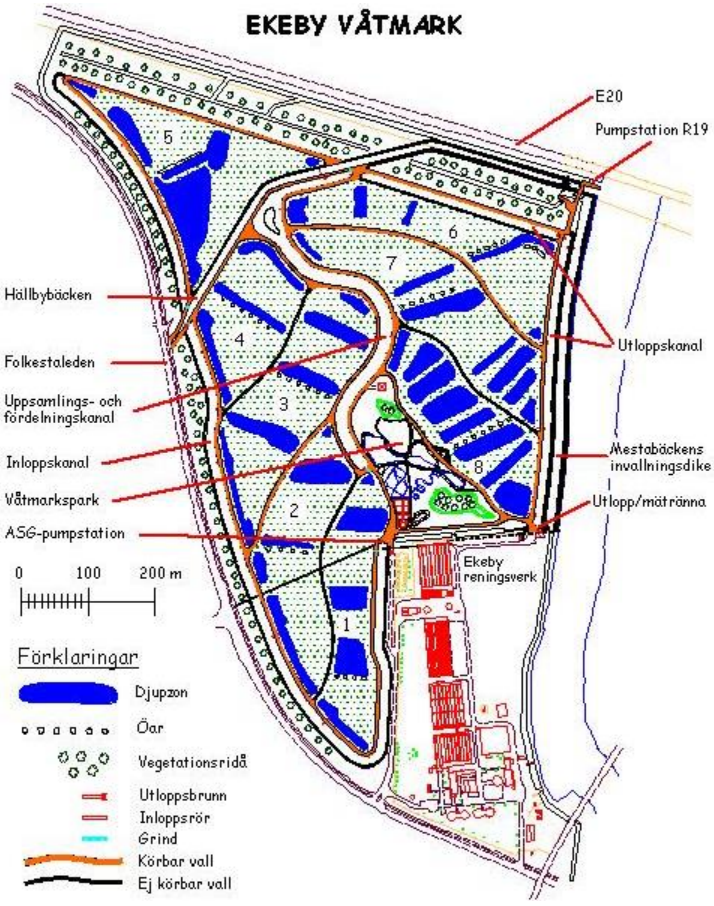
3.1.2 Ekeby våtmark

Ekeby avloppsreningsverk tar emot spillvatten från centralorten Eskilstuna samt Torshälla, Hällby, Hällberga och Kjula och är beläget väster om centralorten Eskilstuna. Reningen av avloppsvattnet sker via mekanisk, kemisk och biologisk rening samt ett

efterpoleringssteg i Ekeby våtmark innan det släpps ut i recipienten Eskilstunaån (Eskilstuna Energi & Miljö, 2016). Totalt var 89 934 pe anslutna till reningsverket vid slutet av 2016 och den tillståndsgivna belastningen var 130 000 pe (Eskilstuna Energi och Miljö, 2016). Figur 4 visar Ekeby avloppsreningsverk och våtmark.

Figur 4. *Flygfoto på Ekeby avloppsreningsverk och våtmark. Källa: Eskilstuna Energi & Miljö.*

Ekeby våtmark är Sveriges största anlagda våtmark och togs i bruk år 1999. Våtmarken anlades med huvudsyftet att avskilja kväve från det mekaniskt, kemiskt och biologiskt förbehandlade avloppsvattnet (Andersson & Kallner, 2002). Våtmarkens uppgift är också att förbättra vattnets kvalité genom att minska belastningen av fosfor och suspenderade ämnen till recipienten (Flyckt, 2010). Ekeby våtmark inleds med en inloppskanal som fördelar det utgående renade avloppsvattnet till fem parallella dammar. Från dessa dammar leds sedan vattnet vidare till en gemensam uppsamlingskanal som för vattnet vidare till ytterligare tre parallella dammar. Dammsystemet avslutas med en gemensam uppsamlingskanal som rinner förbi en provtagningsstation innan det når Eskilstunaån och vidare till Mälaren. Våtmarkens vattentäckta dammyta är 28 hektar och medeldjupet i dammarna är ca 1 m. Vattenflödet till och från dammarna regleras av skibord med fjärrstyrd nivåreglering samt flödesbelastning till inloppskanalen. Uppehållstiden i våtmarken är ca 6 dagar (Flyckt, 2010). Medelflödet är 43 200 m^3/dygn (Eskilstuna Energi & Miljö, 2016). Figur 5 visar en skiss av Ekeby våtmark.

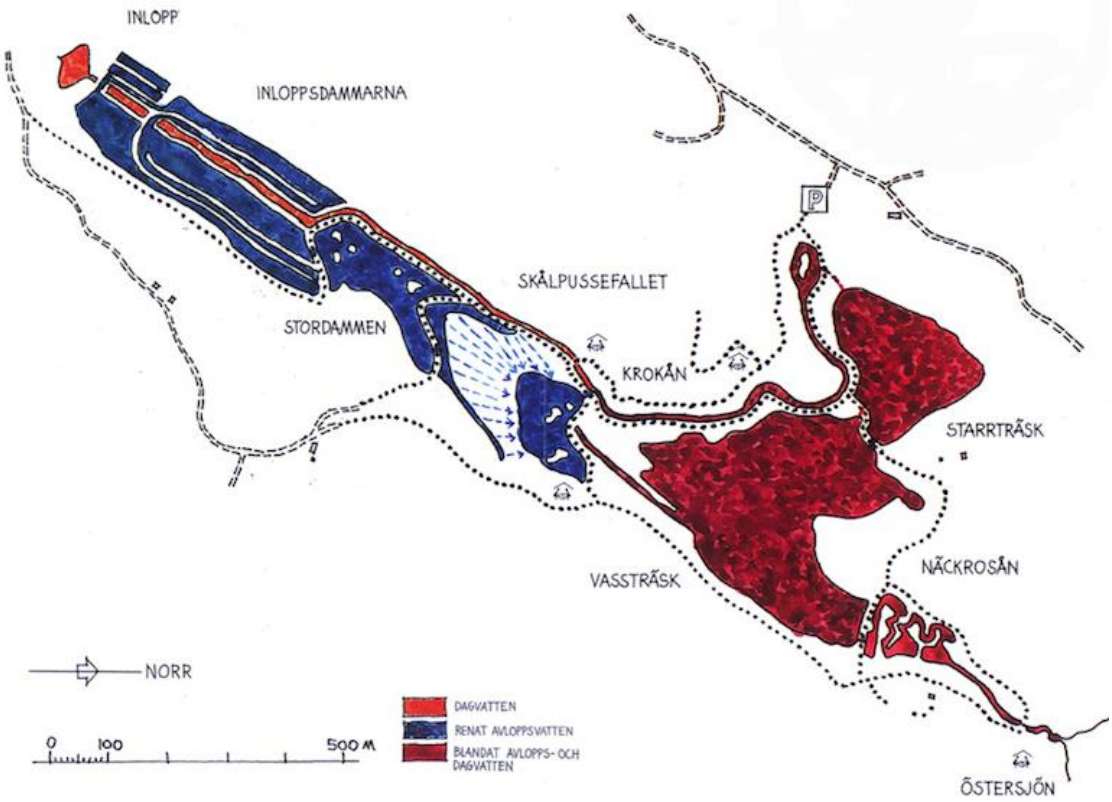


Figur 5. *Skiss på Ekeby avloppsreningsverk och våtmark. Dammarna är numrerade från 1–8. Källa: Eskilstuna Energi & Miljö.*

3.1.3 Alhagens våtmark

Våtmarken i Alhagen byggdes år 1997 som ett komplett biologiskt reningssteg för kväveavskiljning till Nynäshamns avloppsreningsverk. Vid denna tid hade reningsverket bara förbehandling och kemisk fällning. Idag har avloppsreningsverket mekanisk, biologisk och kemisk rening med efterföljande rening i våtmarken. Avloppsreningsverket i Nynäshamn har tillstånd för 20 000 pe och har en årlig inkommande medelbelastning på 17 183 pe (Franquiz, pers. kommun, 2019). Alhagens våtmark består av två delar, en övre teknisk del på 12 ha och en nedre del som är mera naturlik på 16 ha vilket ger total vattentäckt yta på 28 ha (af Petersens et al., 2015). Våtmarken har en uppehållstid på ca 11–14 dagar (Näslund, 2010). Den övre delen är designad för att möjliggöra effektiv mineralisering av BOD och nitrifiering av ammoniumkväve. Detta sker genom att grunda vegetationsrika dammar ömsevis fylls och töms. Den nedre delen av våtmarken består av vegetationsrika kanaler och dammar där vattnet långsamt får rinna igenom. Denna del av våtmarken gynnar denitrifikationen (gödande nitrat löst i vatten omvandlas av bakterier till oskadligt luftkväve). Figur 6 visar ett flygfoto på våtmark Alhagen. Figur 7 visar en skiss på våtmarken.

Figur 6. *Våtmark Alhagen i Nynäshamn. Foto: Marcus Nilsson. Källa: WRS AB*

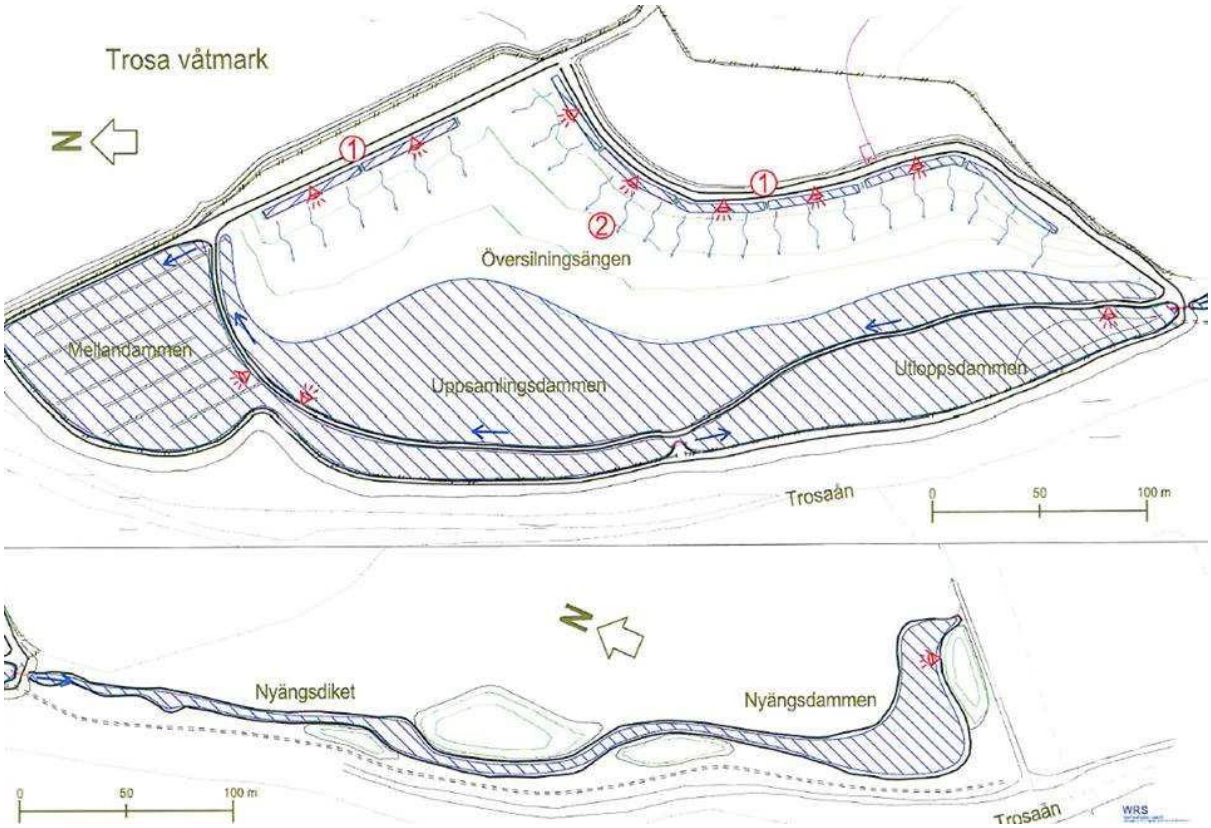


Figur 7. *Skiss över våtmark Alhagen. Orange färg visar dagvatten. Blå färg visar renat avloppsvatten. Röd färg visar blandat avlopps- och dagvatten. Figuren är hämtad från Näslund (2010) och används med tillstånd av WRS AB.*

3.1.4 Trosa våtmark

Trosa våtmark anlades och togs i drift 2003 för att fungera som ett efterpoleringssteg till den mekaniska, kemiska och biologiska reningen i Trosa avloppsreningsverk. Trosa våtmark är placerad en bit norr om Trosa tätort, mellan väg 218 och Trosaån. Avloppsreningsverket ligger nere vid hamnen och pumpar det renade avloppsvattnet i en 2,8 km lång tryckledning till våtmarken. Reningsverket belastas med upp till 5200 pe men har tillstånd för 6000 pe. Våtmarken består av en översilningsyta och flera dammar (Carlsen, 2015). Våtmarken har en teoretisk uppehållstid på ca 8 dagar och en yta på 6 ha (Näslund, 2010). Det inkommande vattnet till våtmarken fördelas jämnt ut över en översilningsyta som syftar till att nitrifiera och bryta ner kvarvarande organiskt innehåll i vattnet. Därefter passerar vattnet genom tre seriella dammar varefter en provtagningspunkt för utgående vatten finns. År 2015 poängterades det i ett examensarbete (Carlsen, 2015) att våtmarken inte fungerat tillfredställande på grund av att våtmarken belastats allt för hårt under många år. Detta beror på att avloppsreningsverket haft problem med den aktiva slamprocessen och att det renade utgående vattnet haft låga syrehalter, höga halter av suspenderande ämnen och BOD_7 som skadat översilningsängen. Översilningsängens funktion har försämrats vilket gjort att vattnet som strilat över ytan inte har syresatts lika bra och som resultat har nitrifikationsprocessen försämrats (Carlsen, 2015). Figur 8 visar ett flygfoto av Trosa våtmark och figur 9 visar en skiss av Trosa våtmark.

Figur 8. *Flygfoto av Trosa våtmark. Foto: Janne Höglund. Källa: WRS AB.*

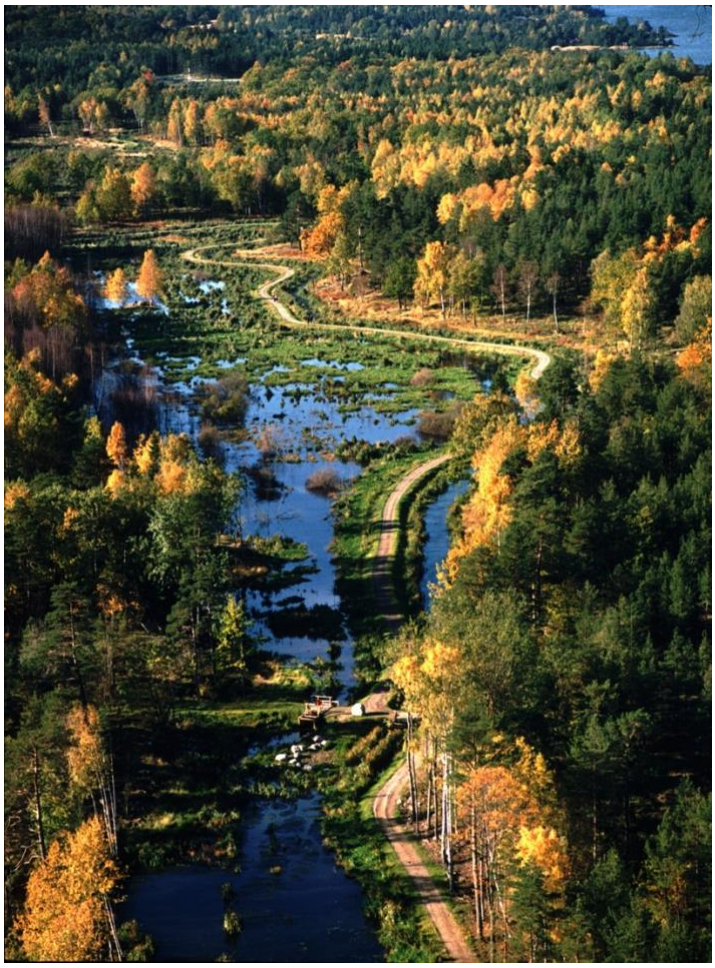


Figur 9. *Skiss över Trosa våtmark. (1) Fördelningsdammar. (2) Översilningsängen. Källa: WRS AB.*

3.1.5 Brannäs våtmark

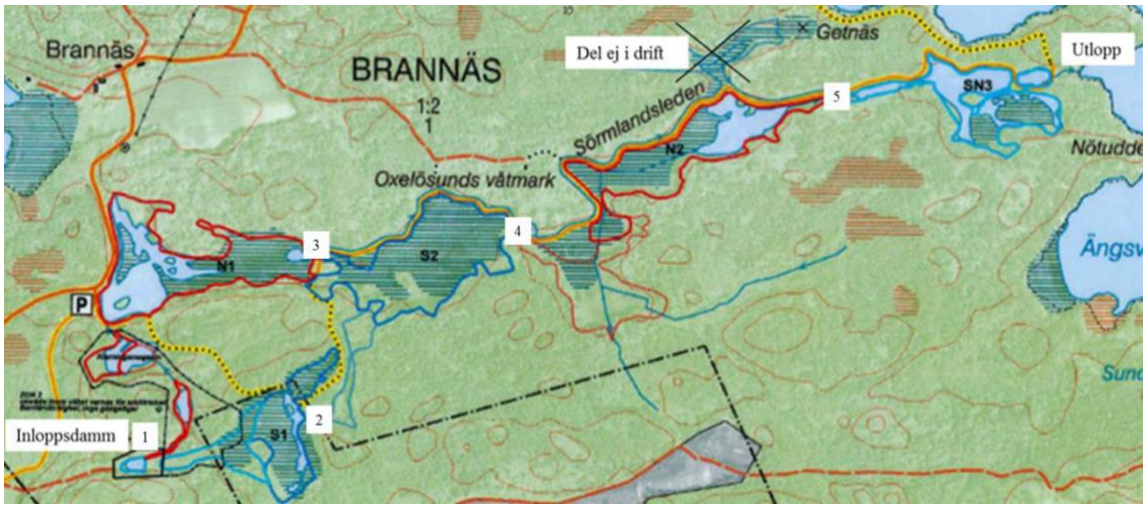
3.1.5.1 Beskrivning av anläggningen

Våtmarken i Oxelösund anlades år 1993 för att tillsammans med reningsverket omhänderta spillvatten från kommunens tätort. Våtmarksanläggningen var den första av sitt slag i hela Sverige och byggdes för att ha ett biologiskt steg i vattenreningsprocessen, kväverening av det kommunala avloppsvattnet. År 2004 ersattes det gamla verket med satsvis biologisk reningsteknik (SBR). Idag genomgår avloppsvattnet mekanisk, biologisk och kemisk rening innan det når våtmarken. 2010 genomfördes omfattande restaureringsarbeten på våtmarken där bland annat röjningsarbeten utfördes på landstränder, bryn, bäck- och dammsystem vid utloppet. Dessutom utfördes en del schaktning- och rensningsarbeten där en del öppna dammar och öar skapades (Byström et al, 2017). Figur 10 visar en del av Brannäs våtmark i Oxelösund.



Figur 10. *Flygfoto av Brannäs våtmark. Källa: WRS AB.*

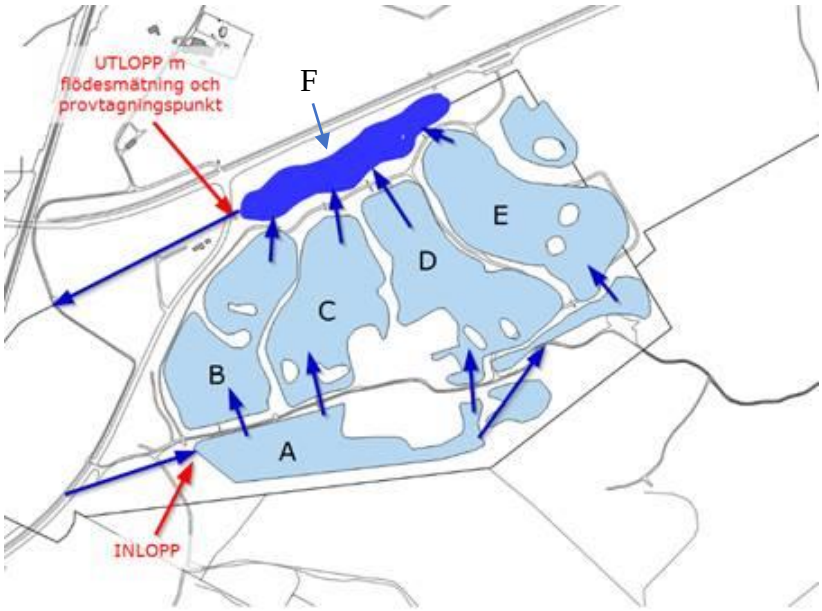
Våtmarken är uppbyggd av två parallella system, se figur 11, som består av totalt fyra stycken överdämningskärr som ömsevis fylls och töms på vatten. Den sista delen av våtmarken består av ett dammsystem med vattenfall och en bäck som leder ut i havet. Våtmarken har ett medeldygnsflöde på 3700 m^3/dygn, en uppehållstid på ca 7 dagar och (Byström et al, 2017). Våtmarkens totala våtyta yta är 23 ha (Andersson & Kallner, 2002).



Figur 11. *Överblick av Brannäs våtmark. Behandlingen sker i två parallella system, det södra (S1 och S2) och det norra (N1 och N2). Punkterna 1–5 är luckor som kan stängas och öppnas för att slussa fram vattnet mellan de olika dammarna. Källa: Byström et al, 2017.*

3.1.6 Magle våtmark

Vattnet i hässleholms avloppsreningsverk renas i fem steg: mekanisk, biologisk, kemisk, filtrering samt slutligen i en anlagd våtmark (Hässleholms Vatten AB, 2018). 2018 hade avloppsreningsverket en inkommande årsmedelbelastningen på 21 726 pe och var dimensionerat för 45 000 pe (Hässleholms Vatten AB, 2019). Magle våtmark i Hässleholms kommun byggdes år 1995 som många andra spillvattenvåtmarker på den tiden för att införa ett ytterligare reningssteg till det befintliga avloppsreningsverket. Avsikten med våtmarken var att klara av 50 % kväverening vid avloppsreningsverket samtidigt som kommunen var intresserade av att reducera fosforutsläppen för att motverka övergödningen av Finjasjön nedströms. Våtmarken ska fungera som denitrifikationssteg och dels att växter tar upp kväve och fosfor som växtnäring (Hässleholms Vatten AB, 2007). Spillvattnet tillförs våtmarken från avloppsreningsverket via en 1,5 km lång ledning till en första fördelningskanal (A), se figur 12. Sedan fördelas vattnet jämnt i fyra parallella dammserier (B, C, D och E). Från dammarna förs sedan vattnet till en uppsamlingskanal (F) varefter det passerar en parshallränna med kontinuerlig flödesmätning och sedan rinner ut i Maglekärrsbäcken och vidare till Finjasjön. Våtmarken har en uppehållstid på ca 7 dygn och en total area på 30 ha varav 20 ha är öppen vattenyta (Hässleholms Vatten AB, 2007). Figur 13 visar ett flygfoto av Magle våtmark.



Figur 12. *Överblick av Magle våtmark i Hässleholm. A = fördelningsdamm. B–E= parallella dammserier. F= uppsamlingskanal. Källa: Hässleholms kommun.*

Figur 13. *Flygfoto av Magle våtmark i Hässleholm. Källa: Hässleholms kommun.*

3.2 PROVTAGNINGSMETODIK

Provtagningen i de fem våtmarkerna skedde under vecka 23 och 24 år 2019. I Oxelösund togs proverna den 4 juni. I Hässleholm togs proverna den 11 juni. I Eskilstuna och Nynäshamn togs proverna den 12 juni. I Trosa togs proverna den 13 juni.

För samtliga våtmarker togs ett flödesproportionellt dygnsprov på inkommande och utgående vatten till och från våtmarkerna förutom för Trosa och Hässleholm våtmark där endast ett stickprov togs på det utgående vattnet. Inkommande och utgående vatten provtogs samma dag. För samtliga prover där flödesproportionella dygnsprover tagits har vatten börjats samla in med automatiska provtagare ett dygn före insamling av provet. De automatiska provtagarna samlade in vatten i plastdunkar. Vid insamling av prov hälldes ca 1 liter provvatten över till mindre provflaskor som omgående kyldes ner och transporterades till IVLs labb i Stockholm för läkemedelsanalys.

Ett antagande var att flödesproportionella dygnsprover ger någorlunda representativa värden för halter av läkemedelssubstanser i inkommande och utgående vatten.
Ett antagande var också att halterna av läkemedelsrester i inkommande vatten till våtmarkerna har varit relativt konstanta under våtmarkernas uppehållstider.
Vidare har antagits att det utgående vattnet har en homogen sammansättning till följd av våtmarkernas långa uppehållstider. Det ansågs därför inte ske några större förändringar i utgående halter och stickproven som togs på det utgående vattnet i Trosa och Hässleholm ansågs således vara representativa.

I alla fem våtmarker tog respektive kommuns driftpersonal prov på inkommande och utgående vatten för BOD_7, totalfosfor, totalkväve och ammoniumkväve som en del av kommunens egna övervakningsarbete. Analysresultaten för dessa vattenprover har fungerat som underlag för att komplettera bilden av vattenkvalitén i våtmarkerna under provtagningsperioden för läkemedelsresterna för att se att våtmarken fungerat som normalt. Alla provtagningar som kommunen utförde inföll högst en vecka ifrån de provtagningar som utfördes för läkemedelsresterna.

Vid de respektive provtagningstillfällena av läkemedelsresterna tillfrågades driftpersonalen om hur vädret varit upp till en vecka innan provtagningen för att säkerställa att driften i avloppsreningsverken fungerade som normalt. Driftpersonalen i respektive kommun kommenterade att nederbördsmängderna varit mycket små under och innan provtagningsperioden. Denna information kontrollerades mot SMHIs nederbördsdata, vilket visade små nederbördsmängder under och innan provtagningarna.

3.3 BERÄKNINGSMETODIK

Övervakningsdata för varje våtmark har samlats in för 2–10 år tillbaka. Detta data har sedan analyserats och använts för att beräkna mängdavskiljningen av BOD_7, totalkväve, totalfosfor och ammoniumkväve och 24 stycken läkemedelssubstanser.

$$\text{Avskiljning (kg)} = \frac{[(\sum \text{ink.konc}_i * \text{ink.flöde}_i) - (\sum \text{utg.konc}_i * \text{utg.flöde}_i)]}{1000} \quad (1)$$

$$\text{Avskiljning (\%)} = \frac{Avskiljning\ (kg)}{(\sum ink.konc_i * ink.flöde_i)} * 100 \quad (2)$$

$$\text{Teoretisk uppehållstid (dygn)} = \frac{V}{ink.flöde_i} \quad (3)$$

Avskiljning (kg) = avskiljning av ämnet i våtmarken under ett dygn [kg/dygn]

Avskiljning (%) = avskiljningen av ämnet i våtmarken under ett dygn [%/dygn]

Ink. $konc_i$ = inkommande medelkoncentration för dag *i* [mg/l]

Ink. $flöde_i$ = inkommande medelflöde för dag *i* [m^3/dygn]

Utg. $konc_i$ = utgående medelkoncentration för dag *i* [mg/l]

Utg. $flöde_i$ = utgående medelflöde för dag *i* [m^3/dygn]

V = volym [m^3]

i = antal dagar, i = 1,…,92
(92 dagar är summan av alla dagar i juni, juli och augusti månad 2018)

Faktorn 1000 används för att beräkna från [mg/l] till [kg/m^3]

3.4 RENINGSTEKNISKA PARAMETRAR

För att möjliggöra jämförelse och tolkning av resultaten sammanställs i tabell 2 parametrar som belastning, avskiljningsgrad, avskiljning, inkommande halter, flöde, area, medeldjup, volym och uppehållstid för de fem våtmarkerna. Data har valts för perioden juni till augusti år 2018 istället för den aktuella perioden med orsak att den aktuella studien bara provtagit under ett enda tillfälle vilket inte anses ge lika representativa värden som data för den längre perioden. Data för perioden juni till augusti 2018 anses vara representativa för provtagningsperioden i den nu aktuella studien.

Tabell 2. Belastning, avskiljningsgrad, avskiljning, inkommande medelhalt, medelflöde, areal, medeldjup, volym och teoretisk uppehållstid för de fem våtmarkerna under perioden juni–augusti 2018. Beräknat med data från respektive kommun samt Andersson & Kallner (2002). För beräkningsmetod se avsnitt 3.4 Beräkningsmetodik, ekvation (1), (2) och (3).

		Eskilstuna	**Hässleholm**	**Nynäshamn**	**Trosa**	**Oxelösund**
Belastning [kg/ha]	BOD_7	390	73,3	127	94,6	46,5
	Tot-P	39,4	7,64	6,70	4,13	3,49
	Tot-N	1630	560	315	760	172
	NH_4-N	166	24,9	243	710	3,03
Avskiljningsgrad [%]	BOD	–120	–38	67	–13	87
	Tot-P	43	33	77	32	82
	Tot-N	36	77	78	53	99
	NH_4-N	51	69	79	57	80
Avskiljning [kg/ha]	BOD	–472	–27,8	85,1	–12,3	40,3
	Tot-P	16,9	2,55	5,16	1,32	2,87
	Tot-N	587	430	246	403	170
	NH_4-N	84,7	17,1	192	405	2,44
Ink. medelhalt [mg/l]	BOD	3,3	1,9	9,7	6,0	4,3
	Tot-P	0,3	0,2	0,5	0,3	0,3
	Tot-N	14	15	24	48	16
	NH_4-N	1,4	0,7	18	45	0,3
Medelflöde [m^3/dygn]		35 400	8220	4020	1030	2820
Areal [ha]		28	20	28	6	23
Medeldjup [m]		1	0,5	0,5[1]	0,5[2]	0,5[2]
Volym [m^3]		280 000	100 000	140 000	30 000	115 000
Teoretisk uppehållstid [dygn]		8	12	35	29	41

[1]Baserat på Andersson & Kallner (2002)

[2]Antagit ett medeldjup på 0,5 m

3.5 DESIGN, YTA OCH UPPEHÅLLSTID – LIKHETER OCH OLIKHETER

De våtmarker som studerats i detta arbete är ytvattenvåtmarker, som kan delas in i två undergrupper: de som växelvis fylls och töms och/eller har översilningsyta eller de som konstant är fyllda. Alhagen, Brannäs och Trosa våtmark är av den första sorten och Ekeby och Magle våtmark är av den andra sorten. Växelvis fyllning och tömning kan förväntas gynna vattnets syresättning och därigenom nitrifikationen medan en konstant vattenfylld våtmark kan förväntas gynna denitrifikationen på grund av de lägre syrehalterna i vattnet. Alla våtmarker förutom Trosa är i samma storleksordning, 21–28 ha, medan Trosa våtmark endast är 6 ha. Uppehållstiden för samtliga våtmarker är ca en

vecka med undantag för Alhagens våtmark i Nynäshamn som har en uppehållstid på ca 14 dagar.

3.6 KEMISKA ANALYSER AV LÄKEMEDELSRESTER

IVL Svenska Miljöinstitutet har bestämt mängden läkemedel i vattenproverna. Vattenprov har extraherats med hjälp av fastfaskolonner. Analys har skett med HPLC-MS/MS på IVL:s laboratorium i Stockholm. Atenolol-d7, $^{13}C_{15}N$-Karbamazepin, Metoprolol-(isopropyl-d7)$^{13}C_6$-Diklofenak, $^{13}C_6$-Hydroklortiazid och d3-Ibuprofen har använts som internstandarder för kvantifiering. Analysen utförd av Elin Paulsson i Stockholm 2019-07-11.

3.7 VATTENBALANS I VÅTMARKERNA

För att kunna beräkna på mängdavskiljning av läkemedelsrester, BOD, totalkväve, totalfosfor och ammoniumkväve i de fem våtmarkerna, har hänsyn tagits till vattenbalansen. De mest betydande parametrarna för vattenbalansen i våtmarkerna är inkommande flöde till våtmarken (från avloppsreningsverken) och utgående flöde från våtmarken till recipient, eftersom dessa parametrar är av störst storleksordning. I alla beräkningar har det antagits att det ej sker något inläckage eller utläckage till/från våtmarkerna, utan att skillnader i flöde beror på nederbörd, avdunstning och växtupptag i våtmarkerna (evapotranspiration). Inkommande och utgående flöden för de fem våtmarkerna under den nu aktuella provtagningsperioden presenteras i appendix, se tabell A1.

3.8 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR BERÄKNINGAR

Data har använts från respektive kommun för att beräkna på medelflöden, halter, avskiljning och avskiljningsgrad för respektive våtmark. För Trosa våtmark hade inte kommunen någon data på det utgående flödet så det utgående flödet från våtmarken har beräknats med hjälp av nederbörds- och avdunstningsdata från SMHI. I appendix presenteras nederbörds- och avdunstningsdata som använts för Trosa våtmark, se tabell A2.

4 RESULTAT

4.1 ALLMÄNNA PARAMETRAR

Inkommande- och utgående halter samt avskiljningsgrad för BOD_7, totalfosfor, totalkväve och ammoniumkväve liksom anläggningarnas flöden redovisas i tabell 3 och tabell 4.

Tabell 3. Inkommande och utgående halter [mg/l] av BOD_7, totalfosfor, totalkväve och ammoniumkväve i de fem våtmarkerna. Prover tagna mellan 29 maj och 13 juni 2019. Värdena i tabellen är avrundade.

Våtmark	Provpunkt	BOD_7 [mg/l]	Tot-P [mg/l]	Tot-N [mg/l]	NH4-N [mg/l]
Eskilstuna	In	3,3	0,3	14	1,4
	Ut	7,0	0,2	8,3	0,6
Hässleholm	In	1,9	0,2	15	0,7
	Ut	3,8	0,2	4,8	0,3
Nynäshamn	In	9,7	0,5	24	18
	Ut	4,1	0,2	6,6	4,9
Trosa	In	6,0	0,3	48	45
	Ut	6,8	0,2	23	20
Oxelösund	In	4,3	0,3	16	0,3
	Ut	3,1	0,3	1,2	0,3

Tabell 4. Mängdavskiljning [%] av BOD_7, totalfosfor, totalkväve och ammoniumkväve och flöde i de fem våtmarkerna. Prover tagna mellan 29 maj och 13 juni 2019. Värdena i tabellen är avrundade.

Våtmark	BOD [%]	Tot-P [%]	Tot-N [%]	NH4-N[%]	Flöde [m^3/dygn]
Eskilstuna	–108	30	33	60	34200
Hässleholm	*	71	59	*	9400
Nynäshamn	47	77	76	77	4230
Trosa	75	64	34	35	980
Oxelösund	91	96	99	86	3760

*avskiljningsgrad saknas på grund av databrist

4.2 AKTIVA LÄKEMEDELSSUBSTANSER

4.2.1 Förekomst av aktiva läkemedelssubstanser

I tabell 5 presenteras resultat för uppmätta koncentrationer av aktiva läkemedelssubstanser i inkommande och utgående avloppsvatten i de fem våtmarkerna. I inkommande avloppsvatten till våtmarkerna återfanns 19 av 24 analyserade läkemedel, men i mycket varierande halter. I utgående avloppsvatten återfanns 15 av 24 analyserade läkemedel, de flesta i betydligt lägre koncentrationer. De läkemedel som uppmättes i högst halter i inkommande avloppsvatten varierade mellan våtmarkerna. De ämnen som generellt sett återfanns i de högsta halterna i inkommande avloppsvatten var några vanliga smärtstillande/antiinflammatoriska ämnen (naproxen, ibuprofen och diklofenak), några blodtryckssänkande ämnen (atenolol, hydroklortiazid, furosemid och metoprolol) och det lugnande ämnet oxazepam. Dessa ämnen förekom i koncentrationer mellan 700 ng/l och 10 000 ng/l. De ämnen som återfanns i de högsta halterna i utgående avloppsvattnet från våtmarkerna var oxazepam, metoprolol, ibuprofen och karbamazepin, i halter från 500 ng/l till 4300 ng/l.

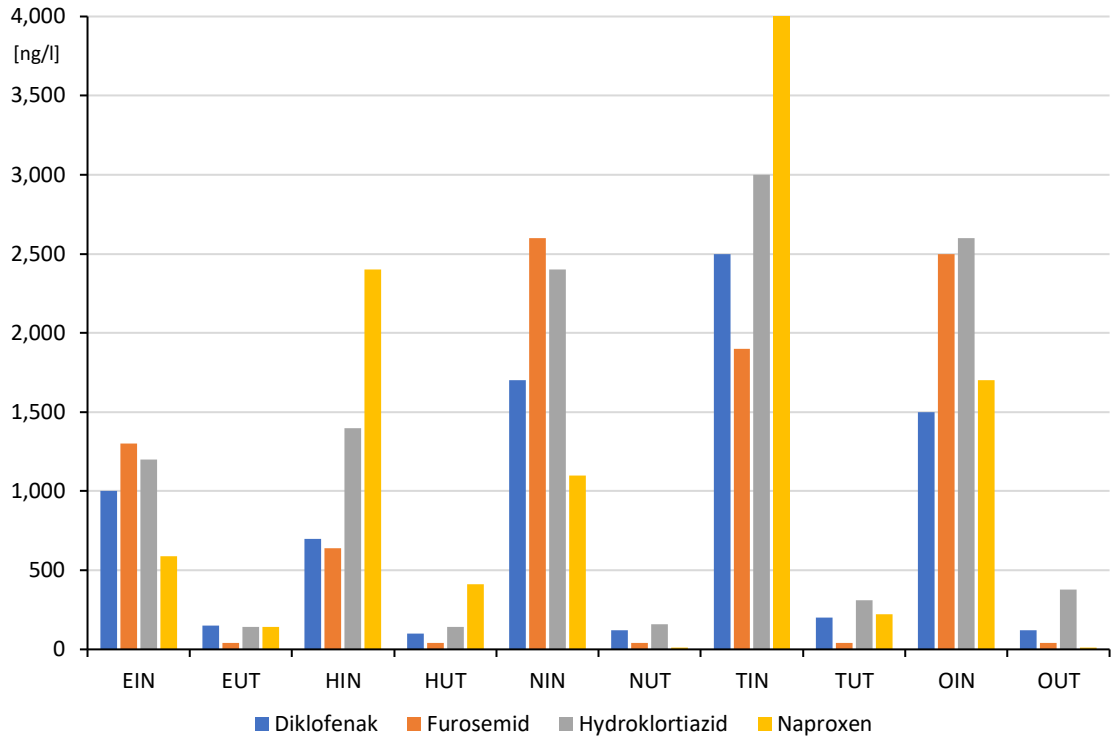
Tabell 5. Koncentrationer av uppmätta läkemedelssubstanser i inkommande och utgående flöden till våtmarkerna. (E = Eskilstuna, H = Hässleholm, N = Nynäshamn, T = Trosa och O = Oxelösund).

Substans	**EIN** ng/l	**EUT** ng/l	**HIN** ng/l	**HUT** ng/l	**NIN** ng/l	**NUT** ng/l	**TIN** ng/l	**TUT** ng/l	**OIN** ng/l	**OUT** ng/l
Amlodipin	*	*	42	*	*	*	*	*	140	*
Atenolol	*	*	920	200	*	*	*	*	1200	*
Bisoprolol	*	**	130	89	**	*	3,8	*	530	92
Citalopram	*	*	600	210	*	*	*	*	620	**
Diklofenak	1000	150	700	98	1700	120	2500	200	1500	120
Fluoxetin	*	*	75	21	*	*	*	*	70	*
Furosemid	1300	*	640	*	2600	*	1900	*	2500	*
Hydroklortiazid	1200	140	1400	140	2400	160	3000	310	2600	380
Ibuprofen	**	**	6100	560	1300	**	2800	220	430	**
Karbamazepin	*	*	590	500	*	*	*	*	650	500
Ketoprofen	*	*	290	*	*	*	*	*	320	*
Koffein	*	*	16000	5400	*	*	*	*	*	*
Metoprolol	12	**	2100	1400	34	**	31	**	2200	510
Naproxen	590	140	2400	410	1100	*	10000	220	1700	*
Oxazepam	*	*	4900	4300	*	*	*	*	3500	1900
Paracetamol	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Propranolol	**	*	130	28	**	*	**	*	180	24
Ramipril	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ranitidin	*	*	21	*	**	*	3	*	26	*
Risperidon	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Sertralin	*	*	160	9	*	*	*	*	81	*
Simvastatin	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Terbutalin	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Warfarin	3	4	9	11	6	7	12	9	9	6

*Ämnet har ej kunnat detekteras, halten är under detektionsgränsen.

**Ämnet har kunnat detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektions- och kvantifieringsgränsen.

I figur 14 redovisas halter av diklofenak, furosemid, hydroklortiazid och naproxen i inkommande och utgående avloppsvatten till och från de fem våtmarkerna. Med ett undantag (naproxen – Hässleholm) var halterna lägre i inkommande avloppsvatten till våtmarkerna i Eskilstuna och Hässleholm. Skillnaderna i utgående halter var små.



Figur 14. *Fyra läkemedel [ng/l] i inkommande och utgående avloppsvatten till och från våtmarkerna. (E = Eskilstuna, H = Hässleholm, N = Nynäshamn, T = Trosa och O = Oxelösund).*

4.2.2 Avskiljning av aktiva läkemedelssubstanser

Avskiljningsgraden beräknades för 19 läkemedelssubstanser och redovisas i tabell 6. Avskiljningen i våtmarkerna beräknades för alla läkemedel vars halter i inkommande avloppsvatten till våtmarkerna var mätbara och analysresultaten bedömdes tillförlitliga. I de fall där halterna av läkemedel i det utgående avloppsvattnet varit för låga för att detekteras eller kvantifieras, användes halten för detektions- eller kvantifieringsgränsen för respektive läkemedelssubstans för att kunna bestämma en minsta avskiljningsgrad. I appendix presenteras resultat för antal läkemedel och deras avskiljningsgrad, se figurer B1-B5.

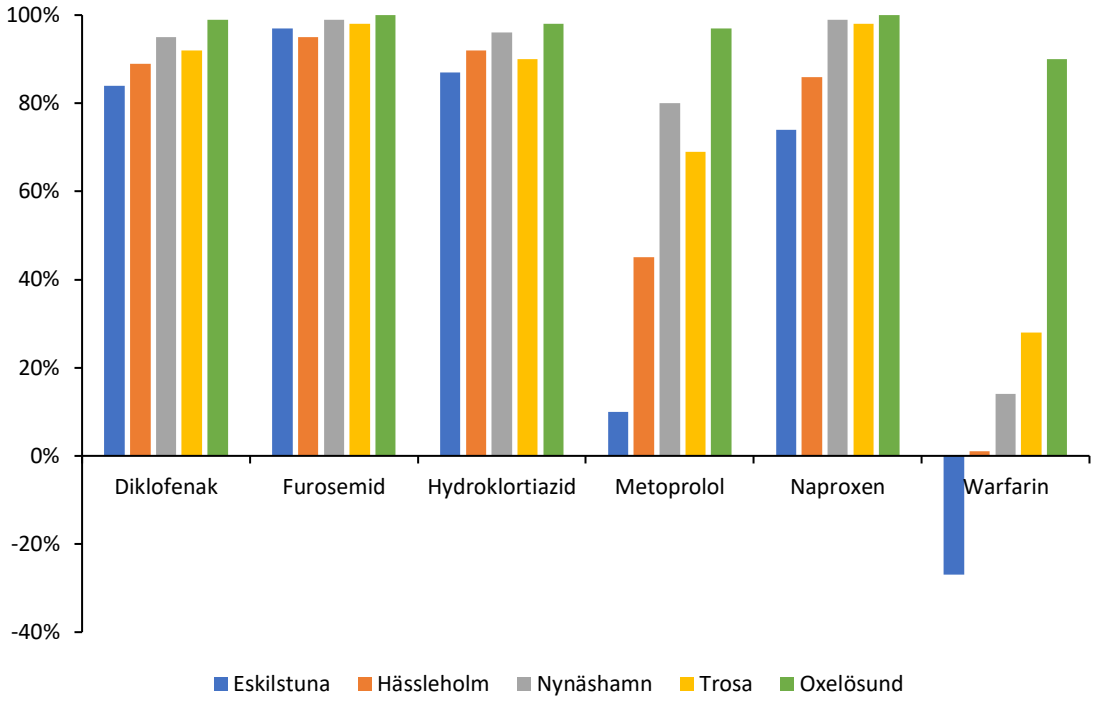
Tabell 6. Avskiljningsgrader för Eskilstuna, Hässleholm, Nynäshamn, Trosa, Oxelösund våtmark (E = Eskilstuna, H = Hässleholm, N = Nynäshamn, T = Trosa och O = Oxelösund).

Substans	**E [%]**	**H [%]**	**N [%]**	**T [%]**	**O [%]**
Amlodipin	*	**84	*	*	**99
Atenolol	*	82	*	*	100
Bisoprolol	*	44	*	**75	98
Citalopram	*	71	*	*	**99
Diklofenak	84	89	95	92	99
Fluoxetin	*	77	*	*	100
Furosemid	**97	**95	**99	**98	100
Hydroklortiazid	87	92	96	90	98
Ibuprofen	*	92	**98	92	**99
Karbamazepin	*	31	*	*	89
Ketoprofen	*	**94	*	*	**99
Koffein	*	72	*	*	*
Metoprolol	**10	45	80	**69	97
Naproxen	74	86	**99	98	100
Oxazepam	*	28	*	*	92
Paracetamol	*	*	*	*	*
Propranolol	*	82	*	*	98
Ramipril	*	*	*	*	*
Ranitidin	*	**96	*	**68	**99
Risperidon	*	*	*	*	*
Sertralin	*	96	*	*	100
Simvastatin	*	*	*	*	*
Terbutalin	*	*	*	*	*
Warfarin	–27	1	14	28	90

**Avskiljningsgraden har inte varit möjlig att fastställa då ingående halt eller utgående halt var under kvantifiering- eller detektionsgränsen.*

***Avskiljningsgraden är större eller lika med det givna värdet.*

I figur 15 redovisas avskiljning [%] av sex läkemedelssubstanser i de fem våtmarkerna. Det framgår att avskiljningsgraden i Eskilstuna och Hässleholms våtmark är något lägre för respektive substans (med undantag för ämnet hydroklortiazid) jämfört med våtmarkerna i Nynäshamn, Trosa och Oxelösund.



Figur 15. *Avskiljning [%] av sex läkemedelssubstanser i de fem studerade spillvattenvåtmarkerna.*

4.2.3 Avskiljning under sommar- och vinterförhållanden

I tabell 7 redovisas avskiljningen av tolv läkemedelssubstanser i de fem våtmarkerna under sommarförhållanden (denna studie) bredvid tidigare resultat under vinterförhållanden (Näslund, 2010). Överlag är avskiljningsgraden för alla substanser betydligt högre under sommarförhållanden än under vinterförhållanden. Diklofenak har under sommarförhållanden en avskiljningsgrad på 84–99 % medan det på vintern observeras en avskiljningsgrad på 24–36 %. För metoprolol observeras avskiljningsgrader på 10–97 % sommartid att jämföra med –3 till 30 % vintertid, och för naproxen observeras avskiljningsgrader på 74–100 % sommartid respektive 34–75 % vintertid.

Tabell 7. Sammanställning av avskiljningsgrader för Eskilstuna, Nynäshamn, Trosa och Oxelösund våtmark under vinterförhållanden (Näslund, 2010) och sommarförhållanden år 2019 (denna studie). (E_V = Eskilstuna vinter, E_S = Eskilstuna sommar, N_V = Nynäshamn vinter, N_S = Nynäshamn sommar, T_V = Trosa vinter, T_S = Trosa sommar, O_V = Oxelösund vinter, O_S = Oxelösund sommar).

	E_S	**E_V**	**N_S**	**N_V**	**T_S**	**T_V**	**O_S**	**O_V**
Atenolol	*	27	*	53	*	53	100	53
Bisoprolol	*	26	*	22	75	36	98	29
Citalopram	*	45	*	84	*	97	99	63
Diklofenak	84	31	95	24	92	30	99	36
Ibuprofen	*	38	98	80	92	5	99	88
Karbamazepin	*	12	*	11	*	–19	89	21
Ketoprofen	*	56	*	3	*	19	99	32
Metoprolol	10	–3	80	30	69	27	97	18
Naproxen	74	34	99	46	90	50	100	75
Oxazepam	*	*	*	21	*	–26	92	48
Ranitidin	*	–39	*	92	68	56	99	88
Sertralin	*	0	*	*	*	*	100	94

**Reningsgrad saknas*

5 DISKUSSION

5.1 VÅTMARKERNAS GENERELLA RENINGSSTATUS

Vid en jämförelse av avskiljningen av BOD_7, totalfosfor, totalkväve och ammoniumkväve under å ena sidan provtagningsperioden och å andra sidan sommaren 2018 (juni, juli och augusti) kan en uppfattning fås om våtmarkerna fungerade normalt under de nu aktuella provtagningarna, se tabell 2 och 4. Enligt resultaten för kväveavskiljning under de två jämförda perioderna har Eskilstuna, Nynäshamn och Oxelösund våtmark fungerat som normalt under den nu aktuella provtagningsperioden medan Trosa och Hässleholm har haft lite lägre kväveavskiljning än vanligt. De lägre värdena för kväveavskiljningen återspeglas dock inte i resultaten för beräknade avskiljningsgrader för de olika läkemedelssubstanserna. Trosa och Hässleholm våtmark påvisar avskiljningsgrader i samma storleksordning som de andra våtmarkerna, se tabell 6.

5.2 FÖREKOMST AV AKTIVA LÄKEMEDELSSUBSTANSER

De ämnen som i denna studie hittades i högst koncentrationer i inkommande avloppsvatten till våtmarkerna har också påträffats i högst koncentrationer i en tidigare utförd studie om spillvattenvåtmarker. Läkemedelssubstanserna atenolol, ibuprofen och metoprolol påvisades också i höga koncentrationer i inkommande avloppsvatten i en studie om spillvattenvåtmarkers reningseffektivitet under vinterförhållanden (Näslund, 2010).

Många av de inkommande halterna till de nu studerade våtmarkerna är så pass höga för vissa substanser att de kan påverka och skada vattenlevande organismer. I Trosa

våtmark var halten av diklofenak i det inkommande vattnet 2,5 µg/l vilket har påvisat negativa effekter på fiskar (Memmert et al., 2013). Naproxen återfanns i halter upp till 10 µg/l i de nu studerade våtmarkerna men dessa halter anses inte vara tillräckligt höga för att påverka fiskar och vattenlevande organismer (Kwak et al., 2018).

5.3 AVSKILJNING AV AKTIVA LÄKEMEDELSSUBSTANSER

Överlag visade spillvattenvåtmarkerna en mycket god förmåga att avskilja läkemedelsrester. Av de 19 ämnena som detekterades i det inkommande avloppsvattnet reducerades 9 stycken mer än 80 %. Bäst avskiljning uppvisade furosemid, ibuprofen, ketoprofen och sertralin med en avskiljning på minst 92 %. Bisoprolol, karbamazepin, metoprolol, oxazepam och warfarin visade väldigt varierande avskiljningsgrader, mellan –27 % och 98 %. Warfarin var den enda läkemedelssubstansen som hade en negativ avskiljning. Förmodligen kan den negativa avskiljningen av Warfarin förklaras av att halterna i det inkommande och utgående avloppsvatten var mycket låga, nära detektions- och kvantifieringsgränsen.

Det finns en viss osäkerhet i bestämning av halter för respektive läkemedelssubstans och detta kan ge en stor påverkan på avskiljningsgraden. Wahlberg et al. (2010) visade att osäkerheten i den beräknade avskiljningsgraden påverkades mest då halterna av läkemedelsrester i avloppsvattnet var låga. Avskiljningsgraden för Warfarin är ett sådant exempel. Av de studerade våtmarkerna uppvisade Oxelösund den bästa avskiljningsförmågan generellt sett. Samtliga analyserade substanser hade en avskiljningsgrad på 89–100 % i Oxelösunds våtmark. Den höga avskiljningen skulle kunna förklaras av att flödet ut från våtmarken varit mycket låg under provtagningsperioden vilket gjort att uppehållstiden i våtmarken ökat betydligt. På grund av att olika läkemedelssubstanser detekterades i olika våtmarker har det inte varit möjligt att beräkna avskiljningsgraden för samma läkemedelssubstanser i alla våtmarker. Detta har gjort det svårare att jämföra de olika våtmarkerna med varandra med avseende på avskiljningsgrad. Endast för 6 stycken läkemedelssubstanser kunde avskiljningen beräknas i alla fem våtmarker.

5.4 AVSKILJNING AV LÄKEMEDELSSUBSTANSER UNDER SOMMAR- OCH VINTERFÖRHÅLLANDEN

Avskiljningsgraden under sommarförhållanden var avsevärt högre för de flesta läkemedelssubstanser jämfört med under vinterförhållanden. De låga avskiljningsgraderna under vinterförhållanden kan troligen förklaras av låga vattentemperaturer, låg biologisk aktivitet, låg inkommande solstrålning och dåliga syreförhållanden. Enligt Hijosa-Valsero et al. (2010) så når mikroorganismer i våtmarker sin optimala aktivitet under varma vattenförhållanden, ca 15–25 °C, vilket kan förklara varför en högre avskiljning observerades i spillvattenvåtmarkerna under denna studie jämfört med studien av Näslund (2010) som utfördes under vinterförhålladen. Även längre uppehållstid skulle kunna gynna funktionen sommartid. Det är alltså svårt att dra några slutsatser om betydelsen av olika reningsmekanismer utifrån skillnaderna i resultat mellan sommar- och vinterförhållanden.

5.5 FELKÄLLOR

Det finns många faktorer som kan ha påverkat resultaten. Provtagning, provkonservering och transport till laboratoriet är några. För att kvalitetssäkra dessa vidtogs åtgärder såsom att undvika kontamination vid provtagning, frysa ned prover snabbt (för att undvika eventuell biologisk nedbrytning av lättnedbrytbara läkemedel) och snabb transport till laboratoriet i Stockholm. För att säkerställa att de beräknade avskiljningsgraderna är korrekta och rimliga måste hänsyn tas till utspädning och koncentrering av vattnet i spillvattenvåtmarken. Det inkommande flödet till våtmarken var i de flesta fall högre än det utgående flödet under provtagningsperioden. Flödesskillnader kan anses vara en av de viktigaste felkällorna i denna studie. Vid beräkning av avskiljningsgraden för de olika läkemedelssubstanserna så spelar värdet på inkommande- och utgåendeflöden en stor roll. I de fall där flödesdata inte varit korrekta, t.ex. vid felkalibrering av flödesmätare, kan det bli stora skillnader i beräknade avskiljningsgrader för de olika substanserna. Ett sådant fall skulle kunna vara flödesdata för Brannäs våtmark i Oxelösund, där det utgående flödet från våtmarken endast var en sjundedel av det inkommande flödet till våtmarken under den nu aktuella provtagningsperioden. Att flödet skiljer sig så mycket mellan inkommande och utgående flöde är anmärkningsvärt. För alla våtmarker fanns det flödesdata på inkommande- och utgående avloppsvatten förutom Trosa våtmark, där det endast fanns flödesdata för inkommande avloppsvatten. Det utgående flödet i Trosa våtmark beräknades med hjälp av nederbörds- och avdunstningsdata och anses inte ha påverkat resultaten vid beräkningar av avskiljningsgrader. Det beräknade utgående flödet i Trosa våtmark blev bara 4 % mindre än det inkommande flödet till våtmarken. Sannolikt var flödet ut ur våtmarken ännu mindre i verkligheten på grund av den höga avdunstningen som kan observeras under varma sommarmånader. De beräknade avskiljningsgraderna i Trosa våtmark kan alltså förväntas vara modesta jämfört med verkliga förhållanden. En svaghet med den nu aktuella studien är också att prover endast togs vid ett och samma tillfälle på inkommande och utgående avloppsvatten i respektive våtmark. Ett mera tillförlitligt tillvägagångssätt hade varit att provta vid flera olika provtagningstillfällen. I den nu aktuella studien fanns inte tillräckliga finansiella resurser för att genomföra detta. Den flödesproportionella provtagningen i den nu aktuella studien anses dock vara en robust metod som ger representativa resultat men avskiljningsgraderna bör tolkas med varsamhet. En god avskiljning av läkemedelsrester kan ses i alla fem våtmarker men kunskapen är fortfarande begränsad gällande vad som sker med läkemedelsresterna i våtmarkerna. Frågeställningar för fortsätta studier skulle kunna vara:

- Bryts läkemedlen ner eller ackumuleras de i våtmarkerna?
- Hur påverkas ekosystemen i våtmarkerna av de ackumulerade läkemedelsresterna?
- Vilka är de viktigaste mekanismerna för avskiljning och/eller nedbrytning?

6 SLUTSATSER

I denna studie undersöktes fem svenska spillvattenvåtmarkers förmåga att avskilja läkemedelsrester under sommarförhållanden. Halter av 24 olika läkemedelssubstanser bestämdes i inkommande och utgående vatten till och från spillvattenvåtmarkerna i Eskilstuna, Hässleholm, Nynäshamn, Trosa och Oxelösund. Utifrån dessa halter och med hjälp av flödesdata har avskiljningsgrader beräknats för de olika läkemedelssubstanserna. En jämförelse av avskiljningsgrader i denna studie gjordes med en tidigare studie gjord under vinterförhållanden. Frågeställningarna kan besvaras på följande sätt:

- Studien visade att av de 24 undersökta läkemedelssubstanserna återfanns 19 av 24 läkemedelssubstanser i spillvattenvåtmarkerna. De ämnen som återfanns i de högsta halterna i inkommande vatten till våtmarkerna var några vanliga antiinflammatoriska ämnen: naproxen, ibuprofen och diklofenak. Några blodtryckssänkande ämnen: atenolol, hydroklortiazid, furosemid och metoprolol och det lugnande ämnet oxazepam. Halterna på dessa ämnen varierade mellan 0,7 µg/l och 10 µg/l.

- Den aktuella studien påvisar att spillvattenvåtmarker har god potential att reducera ett brett spektrum av vanligt förekommande läkemedelsrester i avloppsvatten. 47 % av de påträffade substanserna reducerades mellan 20 och 80 % och 47 % reducerades 80 % eller mer. Alla våtmarker visade en hög avskiljning av diklofenak, furosemid, hydroklortiazid och naproxen. Avskiljningsgraden för dessa ämnen var 74–100 %.

- Överlag påvisade spillvattenvåtmarkerna en betydligt högre avskiljning av de studerade läkemedelssubstanserna under sommarförhållanden än under vinterförhållanden. Skillnaderna i avskiljningsgrader för respektive ämne under sommar- och vinterförhållanden var som störst för läkemedelssubstanserna diklofenak, metoprolol och naproxen. För diklofenak observerades en av avskiljningsgrad på 84–99 % under sommarförhållanden och en avskiljningsgrad på 24–36 % under vinterförhållanden. För metoprolol observerades en avskiljningsgrad på 10–97 % under sommarförhållanden respektive –3 till 30 % under vinterförhållanden, och för naproxen observerades en avskiljningsgrad på 74–100 % under sommarförhållanden respektive 34–75 % under vinterförhållanden.

7 REFERENSER

Af Petersens, E., Ridderstolpe, P., Byström, Y. (2015). *Våtmark Alhagen – Bedömning av hydraulisk kapacitet och reningsfunktion vid ökad belastning*. WRS Uppsala AB. Rapport nr 2015-0809-A.

Aitken, M. & Kleinrock, M. (2015). *Global Medicines Use in 2020 – Outlook and Implications.* New Jersey, USA. IMS Institute for Healthcare Informatics.

Andersson, J. & Kallner, S. (2002). *De fyra stora - en jämförelse av reningsresultat i svenska våtmarker för avloppsvattenrening.* Svenskt Vatten AB. (VA-Forsk; 2002–6). Tillgänglig: https://wrs.se/om-oss/forskning-utveckling/ [07-06-2019]

Apoteket AB. (2005). *Läkemedel och miljö*. 1008-01. Tillgänglig: http://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/riskanalys-och-provtagning/2005-05-20_bok---lakemedel-och-miljo-apoteket-2005.pdf [12-04-2019]

Baresel, C., Cousins, A.P., Hörsing, M., Ek, M., Ejhed, H., Allard, A., Magnér, J., Westling, K., Wahlberg, C., Fortkamp, U., Söhr, S. (2015). *Pharmaceutical residues and other emerging substances in the effluent of sewage treatment plants – Review on concentrations, quantification, behavior, and removal options*. IVL Swedish Environmental Institute: B2226.

Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., Olshammar, M. (2017). *Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsreningsvatten*. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport Nr C 235. På uppdrag av Naturvårdsverket.

Berglund, B., Khan, G.A., Weisner, S.E.B., Ehde, P.M., Fick, J., Lindgren, P. (2014). *Efficient removal of antibiotics in surface-flow constructed wetlands, with no observed impact on antibiotic resistance genes*. Science of the Total Environment 476-477 (2014) 29-37.

Breitholtz, M. & Larsson, J. (2009). *Sammanvägd ekotoxikologisk bedömning av studier utförda vid Sjöstadsverket och Henriksdals reningsverk under 2007 och 2008.* Rapportnummer: 10SV75. Stockholm: Stockholm Vatten.

Breitholtz, M., Naslund, M., Strae, D., Borg, H., Grabic, R., Fick, J. (2011). *An evaluation of free water surface wetlands as tertiary sewage water treatment of micro-pollutants*.

Byström, Y., Forkman, T., Ridderstolpe, Peter. (2017). *Skötselplan Oxelösund* våtmark. Oxelö Energi & WRS AB.

Carlsen, I. (2015). *Efterpolering med våtmark – Hur kan det användas vid Haga reningsverk?.* Mälardalens högskola Eskilstuna & Västerås.

eHälsomyndigheten (2015). *Läkemedelsförsäljningen i Sverige 2014 - Ett tabellverk baserat på försäljningsuppgifter från öppenvårdsapotek och försäljningsställen för vissa receptfria läkemedel.* Stockholm. 2015/04214.

Eskilstuna Energi & Miljö. (2016). *Miljörapport År 2016 Ekeby avloppsreningsverk, Ekeby 2:5*. Diarienummer EEM.6565-2017. Reviderad 2017-06-14/AA. Tillgänglig: https://www.eem.se/globalassets/privat/vatten-och-avlopp/dokument/miljorapport-2016-ekeby.pdf [10-06-2019]

Eskilstuna Energi & Miljö. (2019). Miljörapport 2018 Textdel – Ekeby Avloppsreningsverk.

FASS. (2019). https://www.fass.se/LIF/startpage

Flyckt, L. (2010). *Reningsresultat, drifterfarenheter och kostnadseffektivitet i svenska våtmarker för spillvattenrening*. Linköpings universitet. Institutionen för fysik, kemi och biologi. LITH-IFM-A-EX--10/2377—SE

Graae, L., Magnér, J., Ryding, S., Westergren, R. (2017). *Miljönyttan av uppströmsåtgärder för minskad spridning av läkemedel i miljön*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. B 2280.

Gunnarsson, L., Jauhiainen, A., Kristiansson, E., Nerman, O., Larsson, D.G.J. (2008). *Evolutionary Conservation of Human Drug Targets in Organisms used for Environmental Risk Assessments*. Environ. Sci. Technol. 42, 5807-5813

Hijosa-Valsero, M., Matamoros, V., Sidrach-Cardona, R., Martin-Villacorta, J., Becares, E., Bayona, J.M. (2010). *Comprehensive assessment of the design configuration of constructed wetlands for the removal of pharmaceuticals and personal care products from urban wastewaters*. Water Research. Volume 44, Issue 12, June 2010, Pages 3669-3678

Hässleholms Vatten AB (2007). *Magle våtmark – Reningsverk och fågelparadis i Hässleholm*. Tillgänglig: http://www.hassleholmsvatten.se/pdf/mainfo-2007.pdf [26-06-2019]

Hässleholms Vatten AB (2018). *Miljörapport 2017 – Hässleholms avloppsreningsverk*. Tillgänglig: http://www.hassleholmsvatten.se/pdf/MR-HLM2017.pdf [26-06-2019]

Hässleholms Vatten AB (2019). *Miljörapport 2018 för Hässleholms avloppsreningsverk – Textdel.*

Kadlec, R.H., Wallace, S.D. (2009). *Treatment Wetlands. Vol 2nd ed*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Kwak, K., Ji, K., Kho, Y., Kim, P., Lee, J., Ryu, J., Choi, K. (2018). *Chronic toxicity and endocrine disruption of naproxen in freshwater waterfleas and fish, and steroidogenic alteration using H295R cell assay.* Chemosphere. Volume 204, August 2018, Pages 156-162.

Lantmäteriet (2019). *E-tjänsten kartsök och ortnamn*. Topografisk Sverige karta.

Li, Y., Zhu, G., Ng, N.J., Tan, S.K. (2014). *A review on removing pharmaceutical contamitants from wastewater by constructed wetlands: design, performance and mechanism*. Sci Total Environ, 468-469 (2014), pp. 908-932

Memmert, U., Peither, A., Burri, R., Weber, K., Schmidt, T., Sumpter, J. P., & Hartmann, A. (2013). Diclofenac: New data on chronic toxicity and bioconcentration in fish. *Environmental toxicology and chemistry*, *32*(2), 442–452. doi:10.1002/etc.2085

Naturvårdsverket. (1993). *Markavvattning – Tillämpning av naturvårdslagens bestämmelser enligt 18 c och 18 d §§*. Sida 12. ISSN 0282-7271

Naturvårdsverket. (2008). *Avloppsreningsverkens förmåga att ta hand om läkemedelsrester och andra farliga ämnen*. Rapport 5794. ISBN 978-91-620-5794-7.pdf

Naturvårdsverket. (2017). *Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen - Behov, teknik och konsekvenser*. Stockholm. Rapport 6766.

Nynäshamns kommun. (2011). *Våtmark Alhagen – Drift- och skötselinstruktion. Framtaget av WRS Uppsala AB.*

Näslund, M. (2010). *Behandlingsvåtmarkers reningseffekt på aktiva läkemedelssubstanser under vinterförhållanden – En studie av fyra svenska våtmarker för avloppsrening*. Institutionen för tillämap miljövetenskap, Stockholms Universitet. ISSN 1401-5765

Porseryd, T. (2018). *Endocrine Disruption in Fish - Effects of 17α-ethinylestradiol exposure on non-reproductive behavior, fertility and brain and testis transcriptome.* Doktornsavhandling på Södertörns högskola.

OECD (2015). "Pharmaceutical consumption", in *Health at a Glance 2015: OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris.
DOI: https://doi.org/10.1787/health_glance-2015-68-en

Ternes, T.A., Bonerz, M., Herrmann, N., Teiser, B., Andersen, H.R. (2007). *Irrigation of treated wastewater in Braunschweig, Germany: an option to remove pharmaceuticals and musk fragrances*. Chemosphere, 66 (2007), pp. 894-904

Verlicchi, P. & Zambello, E. (2014). *How efficient are constructed wetlands in removing pharmaceuticals from untreated and treated urban wastewaters? A review*. Science of The Total Environment. Volumes 470-471; pages 1281-1306.

Vymazal, J. (2007). *Removal of nutrients in various types of constructed wetlands.* Science of the Total Environment, 380, 48-65.

Vymazal, J. (2013). *Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review*. Ecological Engineering: Volume 61, Part B, December 2013, Pages 582-592.

Wahlberg, C., Björlenius, B., Paxéus, N. (2010). *Läkemedelsrester i Stockholms vattenmiljö – Förekomst, förebyggande åtgärder och rening av avloppsvatten*. (No. ISBN 978-91-633-6642-0). Stockholm Vatten AB. https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdf1/rapporter/avlopp/avloppsrening/lakemedelsrapport_slutrapport.pdf [10/05/2019]

Wennmalm, Å. (2011). *Pharmaceuticals: Environmental Effects*. Encyclopedia of Environmental Health: Pages 462-471.

WHO (2012). *Pharmaceuticals in drinking water*. ISBN: 978924150208.

Zhang, D., Luo, J., May, Z., Lee, Z.M.P., Maspolim, Y., Gersberg, R.M., Liu, Y., Tan, S.K., Ng, W.J. (2016). *Characterization of bacterial communities in wetland mesocosms receiving pharmaceutical-enriched wastewater*. Ecological Engineering. Volume 90: Pages 215-224

Muntliga referenser

Franquiz, Amparo. Kvalitetsansvarig på miljö- och samhällsbyggnadsförvaltningen. Nynäshamns kommun.

8 APPENDIX

APPENDIX A Flödesdata, nederbördsdata och avdunstningsdata

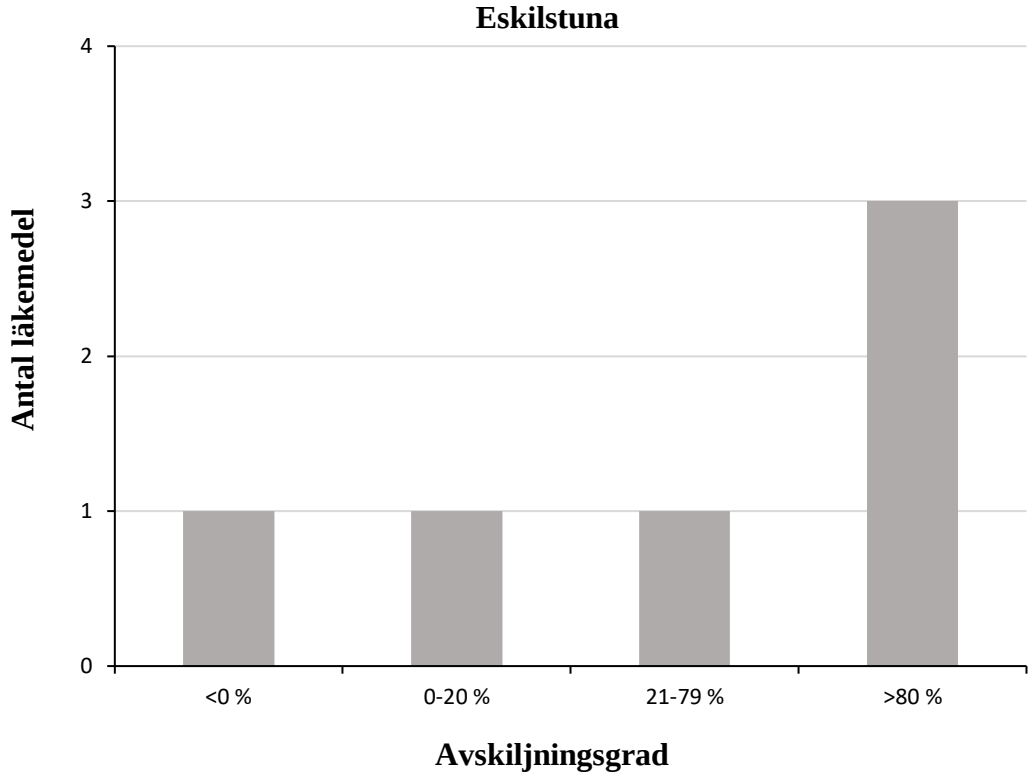
Tabell A1: Inkommande och utgående flöde under provtagningsperioden i respektive våtmark.

	Eskilstuna	Hässleholm	Nynäshamn	Trosa	Oxelösund
Inkommande flöde [m3/dygn]	34 218	9400	4227	980	3760
Utgående flöde [m3/dygn]	36 783	7700	2849	937	528

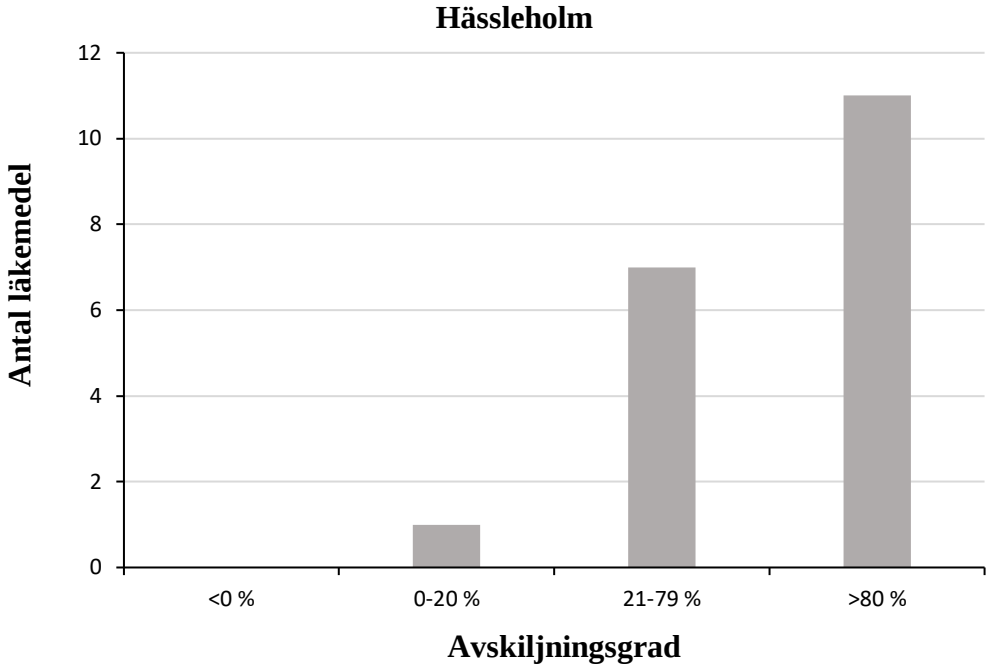
Tabell A2: Nederbördsdata och avdunstningsdata från Aspa mätstation för en vecka innan provtagningen i Trosa våtmark.

Enhet	Nederbörd	Avdunstning
mm	6,6	11,7

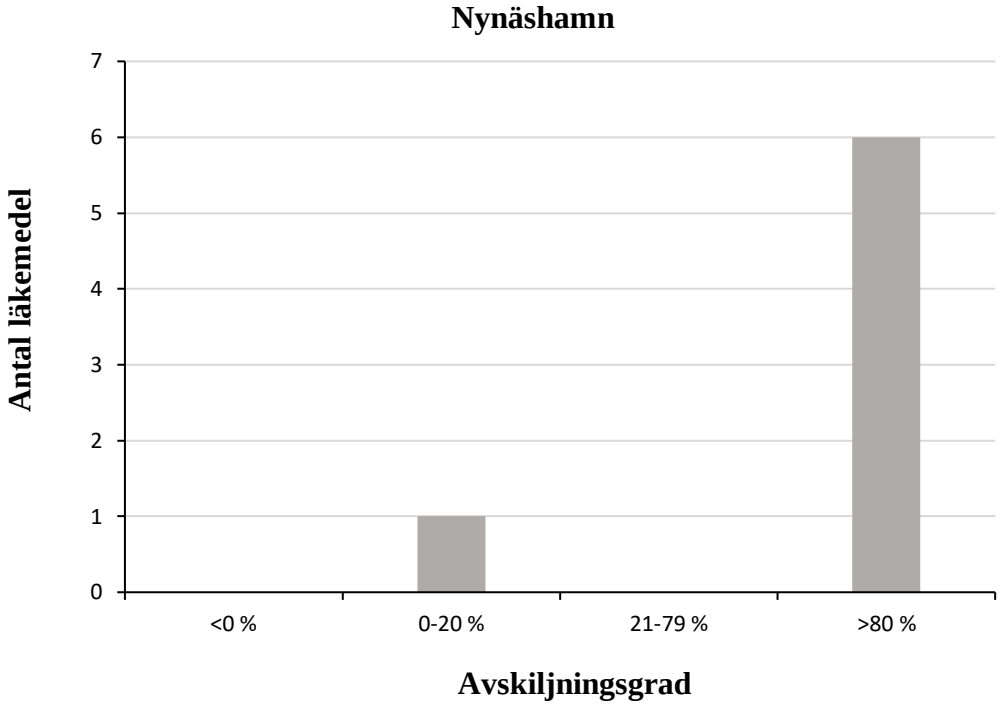
APPENDIX B Avskiljning av aktiva läkemedelssubstanser



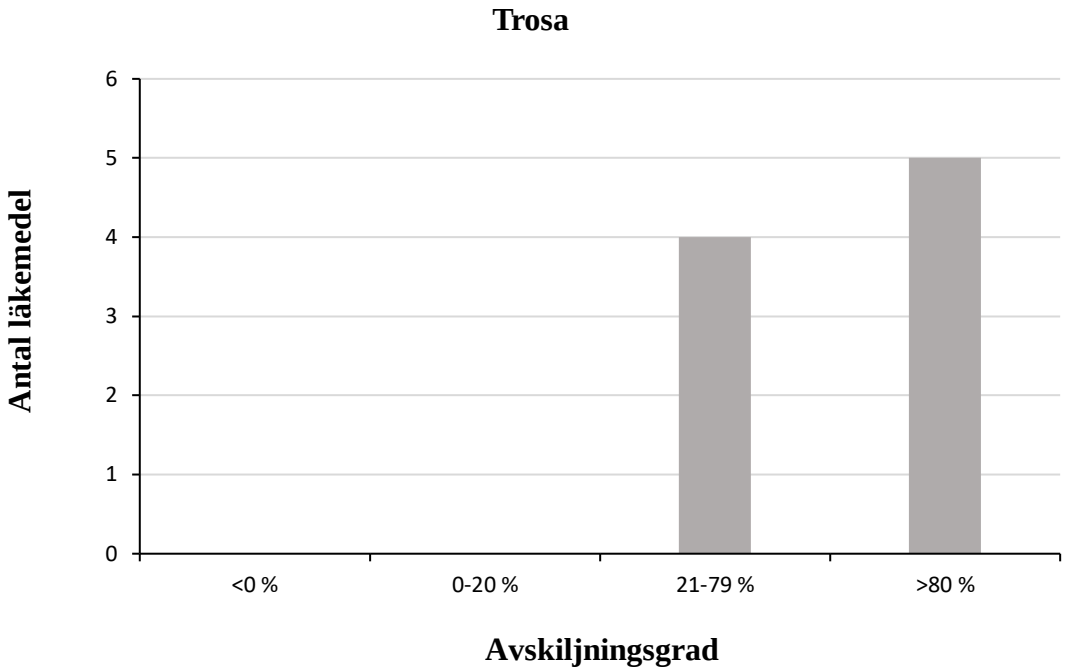
Figur B1. *Antal läkemedel och avskiljningsgrad i Ekeby våtmark i Eskilstuna.*



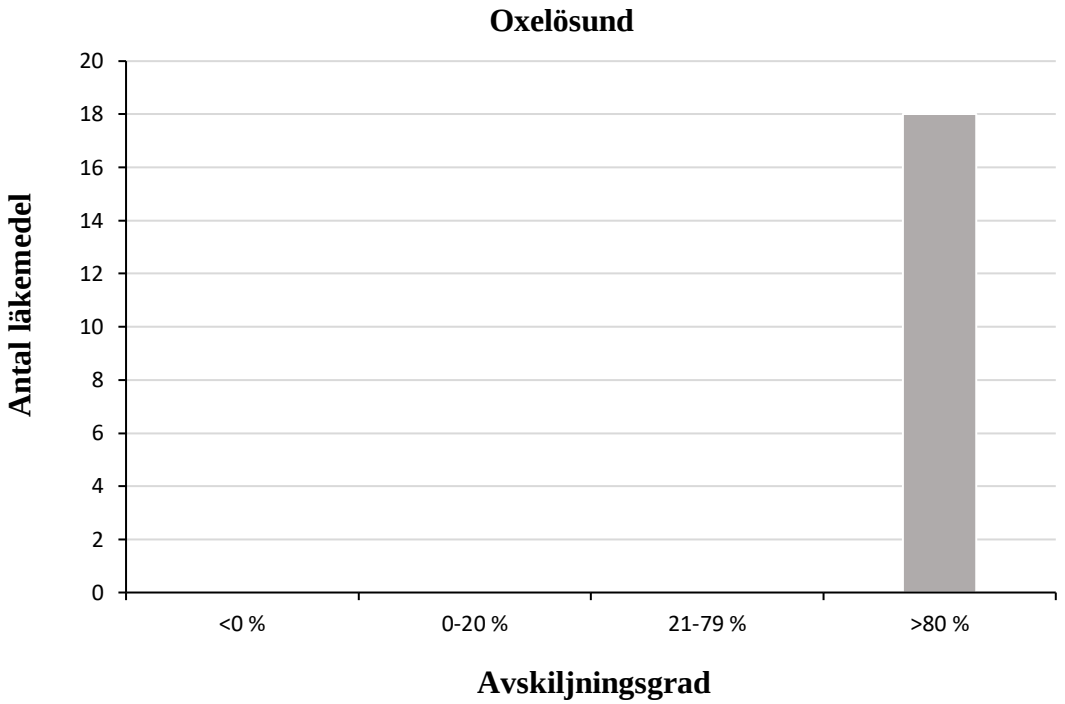
Figur B2. *Antal läkemedel och avskiljningsgrad i Magle våtmark i Hässleholm.*



Figur B3. *Antal läkemedel och avskiljningsgrad i Alhagens våtmark i Nynäshamn.*



Figur B4. *Antal läkemedel och avskiljningsgrad i Trosa våtmark.*



Figur B5. *Antal läkemedel och avskiljningsgrad i Brannäs våtmark i Oxelösund.*