

# **Spridningssimulering i SeaTrack för scenarioberäkning av mikrobiella patogenkoncentrationer i Östra Mälaren.**

*Anders Rimne*

---

**Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety  
Lund University, Sweden**

**Brandteknik och Riskhantering  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet**

**Report 5234, Lund 2007**



**Spridningssimulering i SeaTrack för scenarioräkning  
av mikrobiella patogenkoncentrationer i Östra  
Mälaren.**

**Anders Rimne**

**Lund 2007**

**Titel:**

Spridningssimulering i SeaTrack för scenarioräkning av mikrobiella patogenkoncentrationer i Östra Mälaren.

**Title:**

SeaTrack scenario modelling for assessing microbial concentrations in eastern Mälaren.

**Author/Författare**

Anders Rimne

**Tutor/Handledare**

Henrik Johansson, Lunds Tekniska Högskola

**Report 5234**

**ISSN: 1402-3504**

**ISRN: LUTVDG/TVBB--5234--SE**

Number of pages: 85

Illustrations: Anders Rimne

**Keywords**

Quantitative Microbial Risk Analysis, QMRA , Quantitative Risk Analysis, QRA, scenario modelling, MonteCarlo, SeaTrack

**Sökord**

Kvantitativ mikrobiologisk riskanalys, QMRA, Kvantitativ riskanalys, QRA, scenario modellering, MonteCarlo, SeaTrack

**Abstract**

This master thesis shows how microbial concentrations in raw water can be assessed by scenario modelling of microbial releases from known microbial sources. In this thesis an inventory of potential microbial sources in eastern Mälaren has been performed and 7 major sources of microbial pollution have been identified. The distribution modelling program SeaTrack Östra Mälaren has been used to model release scenarios from the identified microbial sources. By means of MonteCarlo simulations the likelihood of high concentrations of pathogen micro-organisms in the raw water outside the waterworks of Stockholm, resulting from pollution from the identified microbial sources, has been estimated.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2007.

---

Brandteknik och Riskhantering  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60  
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering  
and Systems Safety  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

## Sammanfattning

För att ett samhälle på ett resurseffektivt sätt skall kunna hantera risker från olika verksamheter, är det nödvändigt att bestämma storleken på risken från de enskilda verksamheterna. Ett sätt att bestämma risken för infektion orsakat av vattenburna patogena mikroorganismer i dricksvatten är att utföra en kvantitativ mikrobiell riskanalys (QMRA) vid vattenverken. Vid en sådan QMRA är det viktigt att ta hänsyn till det ingående råvattnets mikrobiologiska kvalitet. Utifrån råvattnets koncentration av patogena mikroorganismer är det i en QMRA möjligt att beräkna vilken dos konsumenten utsätts för.

För att kvantifiera koncentrationerna av patogena mikroorganismer i råvatten kan vattnet analyseras direkt efter mikroorganismer. Då koncentrationerna av patogena mikroorganismer i svenska råvatten ofta är mycket små, och analyser dyra, är det dock i praktiken inte genomförbart att utföra direktanalyser av de stora volymer råvatten som erfordras. Det krävs även långa observationsserier för att beskriva variationen i patogenkoncentrationer vid olika specifika händelser, såsom bräddning från avloppssystem eller pumphaveri i spillvattennät, då händelsefrekvensen ofta är låg. Ett tänkbart alternativ för att få information om koncentrationsvariationen vid sådana händelser är att beräkna möjliga patogenkoncentrationer utifrån spridningssimulering av mikroorganismer i råvattnet vid olika utsläppsscenarier.

I detta examensarbete har en översiktlig inventering gjorts, där utsläppskällor som har ansetts kunna orsaka förhöjda koncentrationer av patogena mikroorganismer vid vattenverken i östra Mälaren, har identifierats. Inventeringen har visat på att större utsläpp av spillvatten till östra Mälaren sker relativt sällsynt.

Spridningssimuleringar i programmet SeaTrack Östra Mälaren har i detta arbete utförts för de 7 utsläppsscenarioer som har bedömts kunna orsaka de högsta koncentrationerna av patogena mikroorganismer vid vattenverkens vattenintag. Arbetet har visat på hur spridningssimuleringsprogrammet SeaTrack Östra Mälaren kan användas för att beräkna vilka maximala koncentrationer av patogena mikroorganismer som kan uppkomma vid olika utsläppsscenarioer. Arbetet har också visat på hur man med hjälp av SeaTrack Östra Mälaren och meteorologisk data genom MonteCarlo-simuleringar kan approximera sannolikheten för olika maximala patogenkoncentrationer vid vattenverkens vattenintag.

De resultat som har erhållits från spridningssimuleringarna tyder på att tillfälliga utsläpp från de studerade utsläppspunkterna mycket sällan leder till höga koncentrationer av patogena mikroorganismer vid vattenverkens vattenintag. Att koncentrationerna blir låga bedöms framför allt bero på att Mälaren är en stor sjö med stora volymer vatten, vilket medför att utsläppen måste transporteras genom stora vattenmassor innan de når vattenverken, och utspädningen blir således stor. Vattenverkens gynnsamma placering bedöms också bidra till att låga koncentrationer erhålls vid simuleringarna.

Denna rapport visar på svårigheterna med att simulera spridning av mikroorganismer i en sjö. För att kunna förutspå hur ett eventuellt utsläpp kommer att spridas måste många antaganden göras. Dessa antaganden bidrar alla med osäkerheter till resultatet. Simuleringarna i arbetet har visat på att vindförhållandena, enligt den använda spridningsmodellen, har stor betydelse för transporten av ett utsläpp i östra Mälaren. För att begränsa antalet simuleringar har grova förenklingar avseende möjliga vindförhållanden fått göras. Detta bidrar med osäkerheter vad det gäller koncentration av patogena mikroorganismer vid vattenverken, samt osäkerheter i frekvens av maximala patogenkoncentrationer vid vattenverken.

Spridningsmodellen SeaTrack Östra Mälaren är inte optimal för simulering av mikrobiella utsläpp. Exempelvis finns ingen algoritm för avdödning av mikroorganismer, och det är heller inte möjligt att simulera utsläpp från flera utsläppskällor samtidigt. Modellen bedöms ändå som användbar för att få en grov uppskattning om vilka maximala koncentrationer av mikroorganismer som kan förekomma vid vattenverkens vattenintag vid olika utsläppsscenario. Ett behov finns dock av att verifiera simuleringens resultat från SeaTrack Östra Mälaren mot verkliga observationer i östra Mälaren.

## Summary

For a society to be able to cope with risks from different activities in a resource efficient way, it is necessary to quantify and compare the risks. One means to quantify the risk of being infected by pathogen micro-organisms in drinking water is to perform a Quantitative Microbial Risk Analysis (QMRA). When doing this it is important to take into account the concentration of pathogens in the raw water going in to the waterworks. By knowing this concentration it is possible to assess the consumer dosage of pathogens by means of a QMRA.

To quantify the concentrations of pathogens in raw water it is possible to perform laboratory analysis. Since the concentrations of pathogens in Swedish raw waters often are very low, and since the analysis are expensive, it is not practically suitable to perform direct analysis of pathogens in such large quantities of water that would be required. To be able to describe the variation in pathogen concentrations due to specific events, such as emergency releases from a sewage net or microbial release due to failure in a sewage pump, it would be necessary to use analyse data from long time series, due to the fact that the frequency of such incidents are relatively low. One possible alternative to gain information on pathogen concentrations related to this type of events is to use distribution modelling programmes to simulate different release scenarios of micro-organisms.

In this thesis an inventory of potential microbial sources in eastern Mälaren has been performed and 7 major sources of microbial pollution have been identified. The inventory has shown that accidental releases of large quantities of sewage are relatively scarce in eastern Mälaren.

The distribution modelling program SeaTrack Östra Mälaren has been used to model release scenarios from the identified microbial sources. By means of MonteCarlo simulations the likelihood of high concentrations of pathogen micro-organisms in the raw water outside the waterworks of Stockholm, resulting from pollution from the identified microbial sources, has been estimated.

The result from this work indicates that temporary releases from the microbial sources in this study very seldom causes high concentrations of pathogens in the raw water outside the waterworks of Stockholm. The main reason for low pathogen concentrations is assessed to be due to the large volumes of water the micro-organisms have to travel through before they reach the waterworks. This causes a large dilution. The favourable locations of the waterworks are also likely to play a roll in the low concentrations in the raw water.

This thesis highlights the difficulties with simulating distribution of micro-organisms in a lake. To predict how a potential microbial release will be distributed in the lake many assumptions have to be made. The assumptions all add uncertainty to the results. The simulations in this thesis show that the wind plays an important roll, according to the SeaTrack model, in how the micro-organisms are spatially distributed in Mälaren. To

limit the number of simulations many crude assumptions had to be made concerning possible wind scenarios. This adds uncertainty to the resulting concentrations of pathogens and to the estimated likelihood of high concentrations outside the waterworks.

The SeaTrack distribution model is not optimal for simulations of microbial releases. As an example there is no algorithm to take into account the inactivation of the microorganisms during the transport from the source to the waterworks. Also it is not possible to simulate releases from more than one source at a time. Even though the model is not optimal, it is assessed to be useful to get a crude estimate of what concentrations of pathogens are likely to be found outside the waterworks in case of a release from a specific microbial source. However, a need to verify the SeaTrack simulation results with actual observations from eastern Mälaren is apparent.



# Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	I
Summary .....	III
Innehållsförteckning .....	I
1 Introduktion.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte och Mål.....	2
1.3 Problemformulering.....	2
1.4 Disposition.....	2
1.5 Avgränsningar .....	2
1.6 Målgrupp .....	3
2 Teori.....	4
2.1 Riskbedömning vid dricksvattenproduktion.....	4
2.1.1 Fekala indikatorbakterier .....	4
2.1.2 Problem med dagens strategi .....	5
2.1.3 Världshälsoorganisationens (WHO) strategi för säkert dricksvatten.....	6
2.2 Kvantitativ Mikrobiell Riskanalys (QMRA).....	8
2.2.1 Avgränsning och faroidentifiering.....	9
2.2.2 Exponerings analys .....	10
2.2.3 Dos-respons samband .....	10
2.2.4 Riskkaraktisering .....	10
2.3 Mikroorganismer .....	10
2.3.1 Bakterier.....	11
2.3.2 Virus.....	12
2.3.3 Protozoer .....	12
2.3.4 Överlevnad i ytvatten.....	13
2.3.5 Transport i ytvatten.....	14
2.4 Modellering av mikrobiella utsläpp vid sjöar och vattendrag .....	15
2.5 Östra Mälaren .....	16
2.5.1 Allmänt .....	16
2.5.2 Översiktlig inventering av avloppshantering vid Östra Mälaren.....	17
2.6 Seatrack Östra Mälaren .....	19
2.7 @Risk och Monte Carlo simulering.....	22
3 Metod .....	24
3.1 Insamlande av data .....	24
3.2 Generella antaganden i modellen .....	25
3.2.1 Testsimuleringar .....	25
3.2.2 Vindstyrka och vindriktning .....	28
3.2.3 Skiktförhållande.....	30
3.2.4 Partiklarnas förmåga att fastna på land.....	30
3.2.5 Kontinuerligt kontra momentant utsläpp .....	31
3.2.6 Isbeläggning kontra öppet vatten.....	31
3.2.6 Sammanfattning av generella antaganden baserade på testsimuleringar.....	31
3.2.7 Lösta partiklar kontra sjunkande partiklar .....	32

3.2.8	Inaktivering av mikroorganismer.....	32
3.2.9	Koncentrationer av patogena mikroorganismer i avloppsvatten .....	33
3.3	Val av scenarion .....	34
3.3.1	Påverkansområde .....	34
3.4	Utsläppsscenario.....	35
3.4.1	Ekebyhovs reningsverk, Ekerö .....	35
3.4.2	Sjöförlagd spillvattenledning under Långtarmen, Ekerö .....	35
3.4.3	Bräddning vid pumpstationen vid Träkvista brygga, Ekerö .....	36
3.4.4	Hammargårdens avloppsanläggning, Ekerö .....	37
3.4.5	Befintlig sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket .....	38
3.4.6	Planerad sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket.....	39
3.4.7	Bräddning vid pumpstationen vid Berghamns brygga.....	40
3.5	Användning av väderdata .....	41
4	Simuleringar.....	43
4.1	Simuleringar i SeaTrack .....	43
4.1.1	Grundinställningar i SeaTrack .....	43
4.1.2	Beräkning av koncentration .....	43
4.2	Simuleringar i @Risk .....	45
4.3	Scenariospecifika antaganden.....	46
4.3.1	Ekebyhovs reningsverk, Ekerö .....	46
4.3.2	Sjöförlagd spillvattenledning under Långtarmen, Ekerö.....	48
4.3.3	Bräddning vid pumpstationen vid Träkvista brygga, Ekerö .....	49
4.3.4	Hammargårdens avloppsanläggning, Ekerö .....	49
4.3.5	Befintlig sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket .....	50
4.3.6	Planerad sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket.....	51
4.3.7	Bräddning vid pumpstationen vid Berghamns brygga.....	51
5.1	Resultat från de olika utsläppsscenario.....	53
5.1.1	Ekebyhovs reningsverk, Ekerö .....	54
5.1.2	Sjöförlagd spillvattenledning under Långtarmen, Ekerö .....	56
5.1.3	Bräddning vid pumpstationen vid Träkvista brygga, Ekerö .....	58
5.1.4	Hammargårdens avloppsanläggning, Ekerö .....	60
5.1.5	Befintlig sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket .....	62
5.1.6	Planerad sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket.....	64
5.1.7	Bräddning vid pumpstationen vid Berghamns brygga.....	66
5.2	Validering av simuleringar .....	68
6	Diskussion.....	71
6.1	Resultatdiskussion .....	71
6.2	Osäkerheter i modellen.....	72
6.2.1	Hydrologisk modell .....	72
6.2.2	Vindförhållande .....	73
6.2.3	Koncentration i avloppsvatten .....	73
6.2.4	Utsläppsvolymer .....	74
6.2.5	Avdödning och Sedimentation.....	74
6.2.6	Koncentrationsberäkning i volymboxar.....	74
6.3	Utveckling av SeaTrack för förbättrad användning i QMRA .....	74
7	Slutsats .....	76

Spridningssimuleringar i SeaTrack för senarioberäkning av microbiella  
patogenkoncentrationer i Östra Mälaren

---

8 Referenser .....	80
Bilagor.....	1



# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten (SLV 2001) kräver att "Beredningen...", vid dricksvattenproduktion, "...skall vara försedd med ett tillräckligt antal säkerhetsbarriärer mot mikrobiologisk förorening." Ett behov finns således av metoder för att systematiskt analysera de mikrobiella riskerna vid dricksvattenproduktion. Inom forskningsprogrammet Urban Water har en modell för kvantitativ mikrobiologisk riskanalys (QMRA) tagits fram (Ashbolt et al. 2005). Modellen är tänkt att användas för beräkning av risker som härstammar från patogena mikroorganismer. Hänsyn tas i modellen till variationer i exempelvis koncentrationer av patogena mikroorganismer i råvattnet samt de olika reningsstegens reningseffekt med avseende på mikroorganismer. För att testa modellen har en fallstudie genomförts i Göteborg (Westrell et al. 2003) och hösten 2006 startade fallstudier vid Stockholm Vatten ABs och Norrvattens vattenverk i Östra Mälaren.

För att analysera risken, från råvattnet, genom reningsprocessen och hela vägen ut till konsumenten, krävs kännedom om koncentrationen av patogena mikroorganismer i råvattnet. Egenskaper och verksamheter inom ett vattens avrinningsområde, exempelvis utmynnande avlopp eller strandnära djurhållning, har stor betydelse för förekomsten och koncentrationen av patogena mikroorganismer i ett råvatten. Överlevnadstiden för, och följaktligen också koncentrationen av, mikroorganismer påverkas av faktorer såsom vattentemperatur, strömningsförhållanden och solljusets intensitet. För vissa råvatten kan koncentrationstoppar härledas till specifika händelser, exempelvis bräddning av avlopp eller haveri i pumpstationer med läckage av avloppsvatten till följd. I den kvantitativa riskanalysen beskrivs variationen i råvattnets patogenkoncentration genom en sannolikhetsfördelning som visar sannolikheten för olika patogenkoncentrationer. I råvatten som är känsliga för specifika händelser kan det vara lämpligt att dela upp sannolikhetsfördelningen så att det uppstår en fördelning representerandes normaltillstånd och en fördelning relaterad till specifika händelser (Petterson et al. 2006).

För att kvantifiera patogenkoncentrationerna i råvatten kan vattnet analyseras direkt efter patogena mikroorganismer eller indirekt via indexorganismer. Då koncentrationerna av patogena mikroorganismer i svenska råvatten ofta är mycket små, och analyser dyra, är det i praktiken inte genomförbart att utföra direktanalyser av de stora volymer råvatten som erfordras. Analyser av indexorganismer är tidskrävande och sker ofta inte med tillräckligt korta tidsintervall för att garantera att en plötslig koncentrationstopp upptäcks. Det krävs också långa observationsserier för att beskriva variationen i patogenkoncentrationer vid olika specifika händelser (bräddning, pumphaveri), då händelsefrekvensen ofta är låg. Analyser av patogena mikroorganismer eller indexorganismer kan således ge en bra uppskattning av hur patogenkoncentrationen varierar under normala förhållanden, men har svårt för att gestalta variationen i de koncentrationstoppar som uppkommer vid specifika händelser.

Ett tänkbart alternativ för att få information om koncentrationsvariationen vid sådana händelser är att beräkna möjliga patogenkoncentrationer utifrån spridningssimulering av mikroorganismer i råvattnet vid olika utsläppsscenarioer. Genom antagande om faktorer såsom händelsefrekvens, storlek på utsläpp, strömningsförhållanden, väderförhållanden etc. är det möjligt att uppskatta en sannolikhetsfördelning för olika patogenkoncentrationer vid specifika händelser. Denna fördelning kan sedan användas separat, eller tillsammans med sannolikhetsfördelningar för koncentrationer vid normalförhållande, som indata i den kvantitativa riskanalysen.

## 1.2 Syfte och Mål

Det övergripande syftet med examensarbetet är att undersöka om spridningssimuleringsprogrammet SeaTrack Östra Mälaren kan användas för att beräkna patogenkoncentrationer vid vattenverkens vattenintag i Östra Mälaren samt att beräkna patogenkoncentrationer för de olycksscenarioer som bedöms ha störst påverkan på råvattnets mikrobiella kvalitet. De beräknade koncentrationerna ska kunna ligga till grund för en QMRA, från råvatten till konsument, vid vattenverken i Östra Mälaren.

## 1.3 Problemformulering

För att nå det övergripande syftet har problemet delats upp i följande delproblem:

1. *Vilka arter av mikroorganismer kan anses representativa för patogena mikroorganismer i svenska råvatten?*
2. *Vilka kriterier ska tillämpas för att identifiera mikrobiella påverkansområden, inom vilka ett potentiellt olyckstillbud kan tänkas ha stor påverkan på patogenkoncentrationen i inkommande vatten till vattenverken i Östra Mälaren?*
3. *Hur ser de mikrobiella påverkansområdena ut för vattenverken i Östra Mälaren?*
4. *Vilka utsläppskällor finns inom påverkansområdena som kan resultera i kraftigt förhöjda koncentrationer av patogena mikroorganismer vid vattenverkens vattenintag?*
5. *Vilka patogenkoncentrationer vid vattenverkens vattenintag kan uppkomma vid olika olycksscenarioer i Östra Mälaren?*
6. *Är modellens resultat tillförlitliga?*

## 1.4 Disposition

Rapporten börjar med en redogörelse för bakgrunden (kapitel 1) till examensarbetet samt en historisk tillbakablick och en teoretisk grund (kapitel 2). I kapitel 3 beskrivs de metoder som använts samt de generella antaganden som gjorts i arbetet. Kapitel 4 redovisar hur simuleringarna gått till samt vilka scenariospecifika antaganden som gjorts vid simuleringarna. Simuleringsresultaten redovisas i kapitel 5. Avslutningsvis följer en diskussion av resultat och osäkerheter (kapitel 6) samt slutsatser (kapitel 7) som kan dras av arbetet.

## 1.5 Avgränsningar

Projektet är ett examensarbete på 20 högskolepoäng, vilket skall motsvara 20 veckors heltidsarbete. Rapporten gör inget anspråk på att vara komplett, det vill säga täcka alla tänkbara riskscenariot, utan skall i första hand visa på hur utsläppssimulering kan

användas vid QMRA. Detta görs genom spridningssimulering av de olycksscenarier som, efter en översiktlig inventering, av författaren bedömts ha störst påverkan på råvattnets mikrobiella kvalitet vid vattenverkens vattenintag i Östra Mälaren. Arbetet behandlar ej diffusa utsläppskällor utan omfattar endast scenarion med kortvariga tillfälliga utsläpp från kända utsläppskällor.

## **1.6 Målgrupp**

Arbetet riktar sig i första hand till den projektgrupp inom mikrobiell riskhantering som utför fallstudier på vattenverken vid Norsborg, Görväln och Lovö. I andra hand riktar sig arbetet till personer med ett allmänt intresse för riskanalys och riskhantering.

## 2 Teori

Vår överlevnad är oavhängig rent vatten. Rent vatten definieras här som vatten som varken skadar en människas hälsa akut eller på lång sikt. Att säkerställa tillgången på rent vatten bör vara av högsta prioritet i alla samhällen. Den idag vanligaste strategin för att bedöma ett dricksvattens tjänlighet med avseende på mikroorganismer är att mäta slutprodukten koncentration av fekala bakterier. Metoden har dock visat sig ha flera svagheter. I kapitel 2.1 återfinns en redovisning av metoden, dess svagheter, samt den av världshälsoorganisationen (WHO) föreslagna handlingsplanen för en säker produktion av rent dricksvatten. Kapitel 2.1 ger också exempel på användningsområden för kvantitativ mikrobiologisk riskanalys, QMRA, vars grundläggande teori förklaras närmare i kapitel 2.2. Kapitel 2.3 behandlar vattenburna mikroorganismer samt deras transport och överlevnad i ytvatten. Några av de faktorer som bör beaktas vid spridningsmodellering av mikroorganismer redovisas i kapitel 2.4. Kapitel 2.5 bidrar med en översiktlig presentation av den för detta projekt aktuella ytvattentäkten Östra Mälaren. Spridningssimuleringsprogrammet SeaTrack Östra Mälaren och statistikprogrammet @Risk, som är de simuleringsverktyg som har använts för detta examensarbete, presenteras i kapitel 2.6 respektive 2.7.

### 2.1 Riskbedömning vid dricksvattenproduktion

En historisk återblick av användandet av indikatorbakterier för att säkerställa rent dricksvatten redovisas i kapitel 2.1.1. Kapitel 2.1.2 belyser svagheter med metoden, medan kapitel 2.1.3 redogör för framtidens dricksvattenproduktion genom att beskriva världshälsoorganisationens (WHO) förslag på strategi för riskhantering inom vattenförsörjningsområdet. I kapitel 2.1.3 ingår också en översiktlig beskrivning av riskmättet DALY, som av WHO föreslås användas för att uttrycka de hälsobaserade mål för vattenproduktion som tar hänsyn till samhällets acceptans för olika risker.

#### 2.1.1 Fekala indikatorbakterier

Sambandet mellan förorenat dricksvatten och smittspridning etablerades av epidemiologen John Snow i England i mitten på 1800-talet. När koleraepidemier härjade i London 1854 upptäckte han att endast personer som druckit vatten från en viss pumpstation smittades, medan grannar, som tog vatten från andra pumpar, klarade sig utan åkommor (Dufour 2003). I slutet av 1800-talet noterades också att vatten som orsakade epidemier ofta var förorenat av avlopp och avföring. Detta föranledde den fram till i våra dagar dominerande riskbedömningsstrategin inom dricksvattenproduktion, att analysera vattnet efter fekala bakterier. Fekala bakterier är en grupp av bakterier som förekommer i tarmar på människor och djur. De är i sig själv ofta inte patogena, men deras närvaro indikerar att vattnet är förorenat av avlopp och avföring. Mänsklig avföring kan ha en hög koncentration av patogena bakterier, virus och parasiter, särskilt under perioder då sjukdomsepidemier förekommer i samhället. Vatten som innehåller höga halter av fekala bakterier kan antas vara förorenat med avföring och kan således inte anses vara tjänligt dricksvatten. En vanlig indikatorbakterie är *Escherichia coli*. Den anses vara särskilt lämplig som indikator då den endast förekommer i tarmar på varmblodiga djur och människor, dessutom oftast i högre koncentration än andra fekala



bakterier (Dufour 2003). Avloppsförorening av dricksvatten är en vanlig orsak till vattenburna sjukdomar och svarade i ytvattentäkter för nästan hälften av de vattenburna sjukdomsutbrotten i Norden mellan 1975 – 1991 (Se tabell 2.1) (Stenström et al. 1994).

<i>Orsak till vattenburet sjukdomsutbrott</i>	<i>Andel</i>
Avloppsförorening av råvatten i kombination med avsaknad av, eller brister i, desinfektion	46%
Korskoppling på ledningsnätet	20%
Förorening från djur eller fåglar	9%
Tillväxt på ledningsnätet	5%
Okänt	20%

*Tabell 2.1.1 Andelen vattenburna sjukdomsutbrott, från dricksvatten producerat från ytvattentäkter i allmänna system i Norden mellan 1975 – 1991, tilldelade olika orsaker. (Bearbetad efter Stenström et al. 1994).*

### 2.1.2 Problem med dagens strategi

Användandet av indikatorbakterier, och då särskilt *E.Coli*, har kraftigt förbättrat kvalitén på dricksvatten över hela världen. Men metoden har flera svagheter. Det visade sig exempelvis i det stora sjukdomsutbrottet i Milwaukee, USA, våren 1993, då över 400 000 personer insjuknade med diarré. Detta trots att det distribuerade dricksvattnet uppfyllde alla gällande säkerhetsföreskrifter (Mac Kenzie et al. 1994). Efterföljande analyser påvisade höga halter av den vattenburna patogena mikroorganismen *Cryptosporidium* i de drabbades avföring. Av utbrottet kunde man dra följande slutsatser:

1. *Smittospridning via dricksvatten är inte endast ett problem för utvecklingsländer.* Det är lätt att bli invaggad i tron att den industrialiserade världen har kommit tillräckligt långt vad det gäller säkerhetskrav vid dricksvattenproduktion att dylika utbrott inte kan inträffa. Milwaukeeutbrottet visade med obarmhärtig tydlighet att så inte är fallet.
2. *Det finns ett behov av nya säkerhetskriterier vid produktion och distribution av dricksvatten.* Det distribuerade vattnet uppfyllde gällande säkerhetskrav, men utbrottet skedde ändå.

Ett av problemen med att använda enstaka bakterier som indikatorer är att en indikatorart, hårt draget, endast kan representera sig själv. Många bakterier, virus och protozoer kan ha helt andra egenskaper vad det gäller överlevnad och naturlig förekomst än de analyserade indikatorbakterierna. Detta är speciellt tydligt när det gäller resistans mot desinfektionsmedel, då virus och protozoer ofta tolererar en betydligt högre dos av desinfektionsmedel än de flesta bakterier (Dufour 2003). Att mäta halten av fekala bakterier i utgående dricksvatten är således ingen garanti för att vattnet är fritt från virus och protozoer.

Av kostnadsskäl är det inte försvarbart att testa vatten efter alla patogena mikroorganismer. Analyser är kostsamma och det kan förekomma mer än 150 olika patogena organismer i urbana vatten (Ashbolt et al. 2005). De flesta förekommer dessutom i väldigt låga koncentrationer, vilket innebär att det krävs stora testvolymmer vatten för att påvisa innehåll av patogena mikroorganismer.

Ett annat problem är att koncentrationen av patogena mikroorganismer i råvatten inte är konstant, utan tvärtom ofta har en stor variation med stundtals höga halter. Det krävs således kontinuerliga mätningar på det utgående dricksvattnet för att man ska kunna vara helt säker på att det är hälsosamt. Metoder för att kontinuerligt analysera dricksvatten för mikroorganismer finns inte idag. Istället förlitar man sig på att de regelbundna prover som tas (vanligtvis i storleksordningen 100 mL) genomförs med tillräckligt korta tidsintervall för att en eventuell koncentrationstopp ska upptäckas. Om väl toppen upptäcks är risken stor att det förorenade vattnet redan nått konsumenten, då bakterieanalyser åtminstone tar en dag att genomföra (Medema et al. 2004).

På grund av dessa brister har myndigheter och internationella intresseorganisationer börjat se sig om efter nya strategier för att bedöma och hantera riskerna med dricksvatten. Framför allt är man intresserad av att arbeta mer proaktivt, det vill säga, man vill kunna förutse och bemästra riskerna innan någon egentlig skada uppstått. Den kanske mest inflytelserika av dessa organisationer är världshälsoorganisationen (WHO).

### **2.1.3 Världshälsoorganisationens (WHO) strategi för säkert dricksvatten**

Sedan 1984 har WHO, genom publikationen *Guidelines for Drinking-Water Quality*, sammanställt riktlinjer för hur dricksvattenproduktion och distribution bör gå till. Här sammanfattas dagens internationella kunskapsläge inom området vattenförsörjning, och rekommendationer ges för vilka strategier som bör anammas för att säkerställa produktion av hälsosamt dricksvatten. Riktlinjerna uppdateras regelbundet allteftersom ny vetenskaplig data inkommer och nya angreppssätt etableras. Dessa råd används över hela världen och ligger till grund för många nationers myndighetsutövning och lagstiftning inom området vattenförsörjning. Riktlinjerna är generella och kan användas såväl utav utvecklingsländer, med små resurser och dåligt utvecklad säkerhetskultur, som utav rika länder med helt andra socio-ekonomiska förutsättningar.

WHO argumenterar för en riskhanteringsstrategi baserad på kostnad/nytta-kalkyler på en nationell nivå. Ett effektivt resursutnyttjande eftersträvas. Av denna anledning förespråkas inte internationella gränsvärden, då sådana krav kan tvinga nationer att satsa oproportionerligt stora resurser för att minska risken för smittospridning via vatten, när dessa resurser kan göra mer nytta för samhällets totala riskbild om de satsas inom någon annan sektor.

Dagens WHO-rekommendationer bygger på ett holistiskt tänkande, där hela systemet, från råvatten, genom alla reningssteg och genom hela distributionsnätet ut till konsumenten, beaktas. Exempelvis menar WHO att insatser för att skydda råvattnet från föroreningar, eller insatser för att se till så att distributionsnätet är säkert, är nog så viktiga som att ha ett toppmodernt reningsverk med alla tänkbara reningssteg. För att förmedla denna helhetssyn ut till de nationella myndigheterna och dricksvattenproducenterna, förespråkar WHO uppförandet av så kallade Water Safety Plans (WSP).

En WSP är en handlingsplan för dricksvattenproducenter, som i mångt och mycket följer HACCP-metodiken (Hazard Analysis Critical Control Point). HACCP är en metod

utvecklad på sjuttioalet inom det amerikanska rymdforskningsprogramet för att försäkra att den mat som togs med upp i rymden inte föranledde matförgiftning hos astronauterna (FDA 2001). HACCP-metoden bygger på övervakning av livsmedlet från råvara, genom förädlingsprocesserna och fram till nästa led i distributionskedjan. Under livsmedlets processväg inrättas så kallade kritiska kontrollpunkter. Vid de kritiska kontrollpunkterna övervakas för processen viktiga kontrollparametrar. Rutiner bestäms för vilka aktioner som ska vidtas om någon kontrollparameter faller utanför tillåtna värden. Metoden är idag väletablerad inom livsmedelsproduktion, och WSP-metodiken kan sägas vara en adaptation av HACCP, skraddarsydd för dricksvattenproduktion. Enligt WHO (WHO 2006) bör en WSP bestå av följande tre nyckelkomponenter:

1. Systemanalys
2. Operationell övervakning
3. Aktionsplaner och dokumentation

*Systemanalysens* mål är att undersöka om slutprodukten, dricksvattnet som levereras till konsumenten, uppnår acceptabel kvalitet. För att göra en sådan bedömning måste hela systemet beaktas. Egenskaper hos råvattnet såväl som hos enskilda reningsprocesser och distributionsnät måste behandlas i analysen. En kvantitativ mikrobiologisk riskanalys, QMRA (se kapitel 2.2), kan vara ett lämpligt verktyg för systemanalysen.

Den *operationella övervakningen* sker genom upprättandet av kritiska kontrollpunkter genom hela systemet. För varje kontrollpunkt bestäms tillåtna värden för de övervakade parametrarna. Värdena ska bestämmas på ett sätt som medför en garanti för att slutprodukten uppfyller de krav som ställs från samhället. Även här kan QMRA-metodiken användas för att bestämma de tillåtna värdena på kontrollparametrarna som medför en acceptabel risk.

*Dokumentation* är en viktig del av en WSP. Dokumentationen ska dels beskriva systemet och dels innefatta *aktionsplaner* över vilka åtgärder som skall vidtas då någon kontrollparameter faller utanför de tillåtna värdena.

Utöver en WSP menar WHO att det krävs att de nationella hälsomyndigheter sätter upp *hälsobaserade mål* för vilka risker som är acceptabla (WHO 2006). Dessa mål ska sättas utifrån samhällets riskacceptans och beakta samhällets totala riskbild. De hälsobaserade målen kan exempelvis uttryckas som en tolerabel sannolikhet för att individen ska drabbas av infektion. En årlig individrisk för infektion på  $10^{-4}$  är ett värde som förespråkas av bland annat den amerikanska miljömyndigheten, EPA (Ashbolt et al. 2005). Detta innebär att man tolererar ett infektionsfall per 10000 invånare och år.

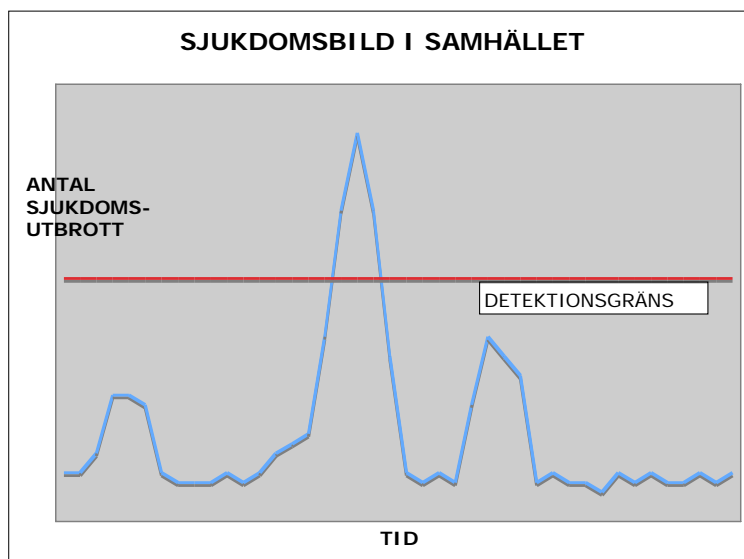
Då symptomen av infektion varierar från inga alls till dödsfall, är det eftersträvansvärt att använda sig av viktade mått som tar hänsyn till symptomens allvarlighetsgrad. Ett sådant mått är DALY (Disability Adjusted Life Years), som är det mått som förespråkas i WHO:s riktlinjer för dricksvatten kvalitet (WHO 2006). Måttet försöker väga in sannolikheten för de olika symptomen, varaktighet samt allvarlighetsgrad. I DALY har dödsfall viktningen 1 medan normal hälsa har viktning 0. Mellan 1 och 0 ligger symptom

av olika allvarlighetsgrad. Viktningen multipliceras med tidsperioden under vilket symptomet yttrar sig. Vid dödsfall multipliceras viktningen med antalet förlorade levnadsår, det vill säga den förväntade livslängden subtraherat med dödsåldern. Efter att ha multiplicerat in de olika sannolikheterna för de olika konsekvenserna kan man beräkna DALY som summan av alla produkter. Eftersom utgången av en infektion kan påverkas av individens fysiska grundtillstånd samt tillgången till behandling, skiftar en infektionstyps beräknade DALY mellan olika samhällen. Exempelvis är det beräknade DALY för 1000 fall av diarréinfektion från rotavirus 480 för fattiga regioner med hög barnadödlighet, och endast 14 i rika länder med goda behandlingsmöjligheter (Pettersson et al. 2006). Fördelarna med DALY är att det inte enbart är tillämpligt för sjukdomar associerade med dricksvatten. DALY kan beräknas för alla typer av hälsorisker vilket gör det möjligt att jämföra risker från vitt skilda sektorer. Måttet tillåter exempelvis jämförelser mellan risker från dricksvatten med risker i trafiken. Korrekt uträknade DALY för ett samhälles samtliga risker kan således ligga till grund för optimalt resursutnyttjande.

När en nations hälsomyndighet väl har specificerat de av samhället accepterade värden för hälsobaserade mål, gärna i form av DALY, används de som riktmärke i systemanalysen i en WSP. Jämförelser med dessa värden avgör om dricksvattenproduktionen kan anses generera dricksvatten av tillräckligt god kvalitet. Att utföra en QMRA kan här vara nödvändigt för att utröna om en reningsanläggning producerar dricksvatten av acceptabel kvalitet.

## **2.2 Kvantitativ Mikrobiell Riskanalys (QMRA)**

För att kunna bestämma de hälsobaserade målen som ska användas som riktvärden i en WSP, det vill säga vilken risk för infektion som ska tolereras i samhället, måste beslutsfattaren beakta samhällets totala hälsosituation, samt hur stora riskerna associerade med dricksvatten är i förhållande till övriga risker i samhället. Om dricksvattnet bidrar med en stor del av samhällets totala risk för infektion, och om konsekvensdelen av riskerna är tydlig och mätbar, kan epidemiologiska studier ge tillräckligt med information. Sådana förhållanden finns framförallt i utvecklingsländer. I industrialiserade länder, där dricksvattnets bidrag till den totala infektionsrisken är förhållandevis litet, är det svårt att enbart med hjälp av epidemiologiska studier bedöma risken. För att smittotillfällen ska återfinnas i epidemiologiska studier krävs det att den drabbade blir så pass sjuk att personen går till läkare. Dessutom måste ett samband bestämmas mellan sjukdomen och dricksvatten, vilket inte alltid görs vid enstaka sjukdomsfall trots att ett samband föreligger. Ytterligare en svårighet vid epidemiologiska studier är att en infektion kan vara asymptomatisk, det vill säga att individen bär på infektionen utan att bli sjuk. Således föreligger troligtvis en kraftig underrapportering resulterande i att epidemiologiska studier lätt kan underskatta risken för vattenburna infektioner (Fewtrell et al. 2001). Figur 2.2 illustrerar hur infektionssituationen i samhället kan se ut.



Figur2.2. Tänkbar sjukdomsbild i samhället där antalet sjukdomsutbrott lätt underskattas.

En kvantitativ mikrobiell riskanalys (QMRA) kan vara ett nödvändigt komplement till epidemiologiska studier för att bedöma riskbilden. Utifrån data över bland annat patogenkoncentrationer i råvattnet, reningsstegens effektivitet och individens vattenkonsumtion kan uppskattningar göras över infektionsrisken. Detta gör det möjligt att beräkna risken, trots att större utbrott inte föreligger. En QMRA visar också vilka patogena organismer som bidrar till den största risken, och säkerhetsåtgärder kan således riktas mot enskilda arter av organismer.

En QMRA kan delas upp i de fyra delkomponenterna avgränsning och faroidentifiering, exponeringsanalys, dos-responssamband samt riskkaraktisering. Dessa redovisas var och en för sig i kapitel 2.2.1 till och med 2.2.4.

### 2.2.1 Avgränsning och faroidentifiering

Vid avgränsning och faroidentifiering identifieras potentiella faror och det bestäms hur riskanalysen skall avgränsas. En viktig fråga att besvara är vad analysresultatet skall användas till. Är man bara intresserad av reningsprocessernas effektivitet mot en viss organism, eller är man intresserad av individens totala risk för infektion vid daglig konsumtion av dricksvatten? Är man intresserad av den nominala processen, det vill säga vilken kvalitet dricksvattnet håller då processen fungerar normalt, eller är man även intresserad av att beräkna "event"-risker som uppkommer då processen fungerar suboptimalt? De olika analyserna ställer olika krav och mängden data som krävs skiftar betydligt. Val av "end-point", det vill säga vad svaret skall mätas i, är också viktigt att bestämma. Är det antalet mikroorganismer i slutprodukten som är intressant, eller är det antalet insjuknande konsumenter? Utifrån svaret på dessa frågor sker ett val av representativa mikroorganismer och en beskrivning av de potentiella hälsoeffekter de ger upphov till.

### **2.2.2 Exponerings analys**

I exponeringsanalysen kartläggs mikroorganismernas vägar fram till vald end-point. Här beräknas också dosen, det vill säga storleken och varaktigheten på exponeringen. För att bestämma vilken dos som når konsumenten av dricksvatten utgår man från vilken patogenkoncentration som finns i råvattnet. Därefter beräknas hur stor andel av mikroorganismerna som lyckas ta sig igenom de olika reningsstegen och genom distributionsnätet fram till konsumenten. För att slutligen bestämma konsumentens dos behövs också information om konsumentens dricksvanor, det vill säga vilken volym vatten konsumerar personen dagligen?

### **2.2.3 Dos-respons samband**

För att bestämma effekterna av en vis dos måste ett dos-respons samband etableras. Sådana samband finns framtagna för en rad patogena mikroorganismer. Sambanden är oftast baserade på försök med djur, eller studier där volontärer har konsumerat en bestämd dos av en mikroorganism.

### **2.2.4 Riskkaraktisering**

I riskkaraktiseringen gör slutligen en sammantagen bedömning av ovanstående steg i syfte att bestämma storleken på risken. I en QMRA tas inte bara hänsyn till medelvärden för alla ingående parametrar, utan metoden möjliggör även att stokastisk och epistemisk variation i ingående parametrar beaktas. Den stokastiska variationen avser här den naturliga variationen av till exempel patogena organismer i vattnet, medan den epistemiska variationen avser osäkerheter i indata som beror på okunskap (Abrahamsson 2002). Genom att använda sig utav sannolikhetsfördelningar och statistiska metoder såsom MonteCarlo-simuleringar, kan resultatet framställas som sannolikhetsfördelningar för de olika konsekvenserna. En bedömning av stokastiska och epistemiska osäkerheter måste även vidtas för att åstadkomma en förtroendeingivande riskkaraktisering.

## **2.3 Mikroorganismer**

De patogena mikroorganismer som förekommer i vatten kan delas in i de tre grupperna bakterier, virus och protozoer. Utöver dessa inkluderas ofta i medicinska sammanhang även parasitiska maskar, helmiter, då deras ägg och larver är mikroskopiskt små (NE 2006, sökord "mikroorganismer"). Helminter beaktas dock inte i detta arbete då denna grupp för närvarande inte anses tillhöra de endemiska infektionsriskerna i utvecklade länder (Ashbolt et al. 2005), det vill säga helminter orsakar ingen ständigt förekommande eller återkommande inhemsk sjukdom i Sverige.

Då det kan förkomma över 150 olika sorters patogena mikroorganismer i ett råvatten är det nödvändigt att i en riskanalys välja ut ett antal organismer som kan anses utgöra ett representativt urval för det studerade råvattnet. Det är i valet viktigt att beakta organismernas egenskaper vad det gäller förekomst i omgivningen, överlevnadsförmåga och benägenhet att orsaka infektion. De utvalda representanterna skall om möjligt uppvisa snarlika egenskaper med de grupper de representerar, och tillsammans bör de

representera det totala utbudet av patogena mikroorganismer i det undersökta råvattnet. Organismernas egenskaper skiftar väsentligt mellan de olika huvudgrupperna. Exempelvis har virus och protozoer ofta betydligt högre överlevnadsförmåga mot desinficeringsmedel än bakterier. Det är således viktigt att i riskanalysen använda åtminstone en representant från varje huvudgrupp. I forskningsprogrammet Urban Water (Ashbolt et al. 2005) föreslås val av representanter baseras på en worst-casekombination av faktorerna:

- Hög frekvens av förekomst
- Hög koncentration
- Låg reningseffekt
- Lång överlevnadstid
- Hög infektionseffektivitet

Kapitel 2.3.1 till och med 2.3.3 beskriver, med avseende på patogenicitet och överlevnad, de olika grupperna av patogena mikroorganismer, samt redogör för valet av dess representanter till denna studie. Representantvalet i detta examensarbete följer i stort samma kriterier som Westrell har använt vid den fallstudie som har genomförts vid Göteborgs vattenverk (Westrell et al. 2003), det vill säga följande kriterier:

- De stora grupperna av mikroorganismer skall vara representerade (bakterier, protozoer och virus)
- Organismen skall förekomma i Sveriges population
- De skall ha dokumenterad bakgrund av att orsaka vattenburna utbrott
- Några av de mest tåliga patogenerna skall tas med
- Organismer med låg infektionsdos ska representeras
- Organismer med allvarligare symptom skall tas med
- Organismen och dess förekomst skall vara tillräckligt beskriven i litteraturen

Kapitel 2.3.4 redogör för de mest betydande faktorerna för de patogena mikroorganismernas överlevnadstid i ytvatten. Faktorer som påverkar mikroorganismernas transport i ytvatten tas upp i kapitel 2.3.5.

### 2.3.1 Bakterier

De flesta vattenburna patogena bakterier infekterar mag- och tarmsystemet på människor och djur och sprids sedan via avföring. Utanför värddjuret har bakterier generellt kortare överlevnadstid än virus och protozoer. Toleransen mot desinfektionsmedel är också ofta lägre.

Släktet *Campylobakter* representera gruppen bakterier i denna studie då de är en av de viktigaste orsakerna till mag-tarminflammation i hela världen. *Campylobakter jejuni* är den art man oftast lyckas isolera vid undersökningar av patienter med diarré (WHO 2006). I Sverige är *Campylobakter* tillsammans med *Giardia* den vanligaste patogena agens som identifieras vid vattenburna sjukdomar. Tilläggas bör dock att det vid endast 30% av de vattenburna sjukdomsutbrotten i Sverige mellan 1980 – 1999 gick att fastställa vilken

agens som orsakat utbrotten (Fewtrell et al. 2001). Infektionseffektiviteten hos *Campylobacter jejuni* är hög i förhållande till andra bakterier, det vill säga antalet organismer som krävs för att orsaka infektion kan vara så litet som 1000 (WHO 2006). De vanligaste symtomen av infektion är magvärk, diarré, uppkastning och feber som varar i ungefär 3 till 7 dagar. *Campylobacter* är zoonotiska, det vill säga de kan spridas mellan djur och människa, och förekommer i både vilda och tama djur.

### 2.3.2 Virus

De vattenburna virus som kan orsaka infektion hos människor anses endast ha människor som värdjur, med undantag av Hepatit E. Majoriteten är således inte zoonotiska. Virus har ofta hög infektionseffektivitet vilket medför att det kan räcka med en konsumtion av enstaka organismer för att individen skall insjukna. Inne i den infekterade cellen sker virusets replikation. Virus kan inte föröka sig utanför värdjuret. Ett virus ytterväggar är kraftigare än cellväggarna hos bakterier vilket medför att virus generellt är tåligare och har längre överlevnadstid utanför värden än bakterier.

*Norovirus* representerar gruppen virus i denna studie. De har valts på grund av att de på senare år blivit en allt vanligare orsak till sjukdomsutbrott både i Sverige och utomlands (Fewtrell et al. 2001). *Norovirus* tillhör gruppen calicivirus och har tidigare benämnts Norwalk-liknande virus (NLV) eller ”små-rund-strukturerade-virus” (SRSV). Symptomen av infektion är bland annat yrsel, uppkastning, magkramper, feber och i ungefär 40% av fallen diarré (WHO 2006). Infektionen går också under namnet vinterkräksjuka på grund av hög utbrottsfrekvens under vinterhalvåret. Symptomen varar oftast mindre än 3 dagar. *Norovirus* är en av de vanligaste orsakerna till utbrott av mag-tarminflammation och viruset drabbar alla åldersgrupper (Lopman et al. 2004).

### 2.3.3 Protozoer

Protozoer är en stor mångformig grupp med den gemensamma nämnaren att de är encelliga. En del protozoer är parasitiska, det vill säga att de utnyttjar resurser på andra organismers direkta bekostnad. Vissa av dessa parasiter använder människan som värdjur med infektion som följd. En del har komplicerade livscyklar med flera stadier innehållande både asexuell och sexuell reproduktion. I vissa stadier produceras cystor, oocystor och ägg med kraftiga väggar vilket gör dem extremt tåliga. Många protozoer är zoonotiska.

*Cryptosporidium* har använts i denna studie som representant för parasitiska protozoer. *Cryptosporidium* producerar extremt tåliga oocystor som sprids via avföring och som vållar svårigheter för många av de vanligaste reningsprocesserna i reningsverken. *Cryptosporidium* var orsaken till det hitintills största registrerade vattenburna sjukdomsutbrottet, då över 400 000 individer insjuknade i Millwaukee, USA. *Cryptosporidium Parvum* är den art som orsakar flest sjukdomsfall hos människor. Infektionseffektiviteten är hög och studier på friska försökspersoner tyder på att det räcker med en konsumtion på ett tiotal oocystor för infektion (WHO 2006). *Cryptosporidium* förekommer i både djur och människor. Symptomen är diarré, och ibland yrsel, uppkastning och feber. Oftast varar sjukdomen i en knapp vecka, men det förekommer fall av sjukdom med en varaktighet av veckor eller månader. Den



infekterade individens initiala hälsa har stor betydelse för utgången av infektionen och infektioner hos individer med nedsatt immunförsvar kan vara livshotande.

### 2.3.4 Överlevnad i ytvatten

Majoriteten av de patogena mikroorganismerna kan överleva perioder i vatten men inte föröka sig. Efter att ha lämnat värdjuret, via till exempel avföring, måste patogenerna således finna en ny värd för att kunna multipliceras. Viktiga undantag är *Legionella* och *Vibrio Cholera* som under gynnsamma förhållanden kan föröka sig utan värdjur (WHO 2006). Flertalet patogena mikroorganismer bryts gradvis ner och förlorar förmågan att infektera efter en tid i ytvatten. Inaktiveringen sker ofta exponentiellt. Temperatur anses vara den viktigaste faktorn för inaktiveringshastighet i ytvattentäkter, men faktorer som intensitet av UV-ljus från solen, salthalt och förekomst av predatorer har också betydelse (Pond et al. 2004). Generellt är överlevnadstiden omvänt proportionell mot temperaturen, det vill säga en lägre temperatur förlänger mikroorganismernas överlevnadstid.

Vissa bakteriers förmåga att genomgå strukturell förändring då de utsätts för yttre stress, förlänger också överlevnadstiden betydligt. Bakterierna går in i ett VBNC-stadie (Viable but non-culturable/levande men ej odlingsbart) då de blir mindre i storlek och mer stabila.

Antalet studier av patogena mikroorganismers inaktivering i ytvatten är begränsat. Studierna har oftast genomförts i laboratoriemiljö där enstaka stressfaktorer såsom temperatur eller UV-instrålning testats. De skiftande förutsättningarna gör att resultaten är svåra att jämföra mellan olika studier.

Av de organismer som har valts att representera de patogena mikroorganismerna i detta arbete är det *Campylobakter* som i allmänhet anses ha sämst överlevnadsförmåga i ytvatten. Studier i laboratoriemiljö, med vatten från en sjö i Norge, har visat på en 99,9-procentig avdödning av *Campylobakter* inom 3 respektive 2 dagar för vattentemperaturerna 4°C och 10°C (Lund 1996). Liknande resultat har erhållits för vissa genotyper av *Campylobakter* i en studie av Talibart, medan andra genotyper i denna studie dock tycks ha haft en obetydlig inaktivering den första veckan av den studerade tidsperioden (Talibart et al. 2000). En studie av Blaser, med 4-gradigt vatten från 4 olika lokaler längst Coloradofloden, visar också på att den inledande inaktiveringshastigheten av *Campylobakter* i ytvatten kan variera väsentligt. I vatten från 2 av de 4 lokalerna inaktiverades organismerna relativt snabbt. I de övriga 2 vattnen inaktiverades knappast några organismer alls under den inledande tidsperioden (Blaser et al. 1980). Trots den i många fall snabba avdödningen av *Campylobakter* finns det studier som visar på överlevnadstider på veckor för *Campylobakter* under gynnsamma förhållanden (Buswell et al. 1998).

Både *Cryptosporidium* och *Norovirus* anses ha betydligt lägre inaktiveringshastigheter än *Campylobakter*. Avdödningss hastigheten för *Cryptosporidium* rapporteras i vatten med en temperatur på 5°C vara cirka 0,01 log<sub>10</sub>/dygn, vilket innebär att om koncentrationen ursprungligen var 10<sup>3</sup> organismer/L, så är koncentrationen efter ett dygn 10<sup>-2,99</sup> organismer/L. I 15-gradigt vatten rapporteras i samma studie en avdödning med 0,006-0,024 log<sub>10</sub>/dygn (Medema et al 1997). I en studie av *Norovirus* upptäcktes ingen

signifikant skillnad i mängden viralt genom i vatten med temperaturerna 10°C och 20°C på 262 respektive 140 dagar (Gassilloud et al 2003).

Baserat på bland andra ovan nämnda studier har man inom det europeiska forskningssamarbetet MicroRisk beräknat halveringstider för *Cryptosporidium* och *Campylobakter*, vid en vattentemperatur av 10°C, till 35-69 dygn respektive 0,2-1,4 dygn. *Norovirus* antas ha en halveringstid av 39 dygn vid en vattentemperatur av 30°C (Pond et al. 2004).

Vissa studier visar även på att adsorption till partiklar kan förlänga överlevnadstiden i vatten för mikroorganismer (LaBelle et al. 1980). Det är således möjligt att överlevnadstiderna för mikroorganismer i avloppsutsläpp förlängs, på grund av tillgången på partiklar och organiskt material i avloppsvattnet. Buswell (Buswell et al 1998) har visat på att överlevnaden för *Campylobakter* ökade när andra organismer var närvarande inom en biofilm, något som ytterligare talar för att inaktiveringen av mikroorganismer i avloppsutsläpp kan vara lägre än de avdödningshastigheter som uppmäts i laboratorieförsök med sjö eller flodvatten.

### 2.3.5 Transport i ytvatten

De flest patogena mikroorganismer har ingen förmåga att själv påverka sin rörelse i omgivningen, utan förlitar sig på transport via rörelser i jord, luft och vatten. I vatten följer mikroorganismerna med strömmar och vågrörelser antingen som enskilda individer eller aggregerade till partiklar. Partiklarnas storlek och vikt har betydelse för dess benägenhet till sedimentation. Små partiklar har större möjligheter att röra sig långa sträckor i floder och sjöar än större partiklar, vilket medför en ökad risk i en dricksvattentäkt. Bottensedimentet i sjöar och vattendrag kan innehålla stora mängder patogener, som kan frigöras vid sedimentomrörning vid till exempel bottentrålning eller muddring. Studier har visat på 100 – 1000 gånger högre bakteriehalter i bottensediment än i vattnet ovanför sedimentet (Donsel et al. 1971).

Under sommar och vinter bildas i sjöar ofta en tydlig skiktning av vattenlager med olika temperatur. Under sommaren ligger ett lager varmt vatten, med låg densitet, ovanför ett kallare, och tyngre, bottenlager. Utbytet av vatten mellan skikten begränsas, vilket också påverkar mikroorganismernas öde. Under perioder av skiktning kan bottenvattnet försämrats på grund av partikelsedimentation. När omblandning sker under höst och vår kan de sedimenterade mikroorganismer återföras till vattnet (Dufour 2003).

Kraftigt regn har stort inflytande på transporten av mikroorganismer. Stora regnmängder gör att mikroorganismer fästa vid marken, både i urbana och rurala områden, spolats loss och transporteras med vattnet ut till sjöar och vattendrag. Avrinning från jordbruksmark och mark använd för djurhållning kan exempelvis innehålla stora mängder patogena mikroorganismer, och påverkan på råvattnets kvalitet kan vara väsentlig. Regn i urbana områden leder till stora volymer vatten som rinner av hårdgjorda ytor. Resultatet kan bli hydraulisk överbelastning vid reningsverken, så att man vid reningsverken tvingas släppa igenom dagvatten och avloppsvatten, som bara är delvis renat, eller i värsta fall inte renat alls. Många avloppssystem bygger på att man vid extremt höga flöden kan brädda, det

vill säga släppa ut avlopps- och dagvatten utan rening, för att inte slå ut hela reningsverk eller pumpstationer. Bräddning innebär ofta en kraftig ökning av patogena mikroorganismer i recipientvattnet. Det ökade flödet i vattendragen vid kraftiga regnväder kan också innebära att den mikrobiella transporttiden från ett ställe till ett annat minskar, vilket i sin tur leder till mindre tid för de naturliga reningsstegen nedbrytning och sedimentation.

Temperaturen på inflödet till en sjö påverkar hur vattnet sprids i sjön. Är inflödet betydligt kallare än sjön i övrigt, strömmar det inkommande vattnet längst sjöbotten. Är vattnet varmare lägger det sig på ytan.

## **2.4 Modellering av mikrobiella utsläpp vid sjöar och vattendrag**

Modellering av mikroorganismers ursprung och öde i en ytvattentäkt och dess avrinningsområde kan vara mycket användbart för att analysera, värdera och hantera täktens sårbarhet för höga halter av patogena mikroorganismer. En komplett modell av ett avrinningsområde består, enligt Jamieson (Jamieson et al. 2004), av tre delar, där man i första delen identifierar och karakteriserar de mikrobiella källorna, i andra delen modellerar överlevnad och transport i och ovan jord, och i tredje delen modellerar överlevnad och transport i vattendrag och sjöar. En sådan exakt modellering är dock mycket komplex och involverar såväl antropogena som hydrogeologiska, hydrologiska, kemiska, fysiska och biologiska parametrar.

Antropogena parametrar är sådana som påverkas av människans användning av avrinningsområdet och vattentäkten. Exempel kan vara om marken i omkringsliggande område används till odling, boskap, bostäder, hårdgjorda ytor etc., eller om vattnet i vattentäkten används för friluftsliv och båttrafik. Även de olika typer av avloppsvatten som bildas vid olika verksamheter inom avrinningsområdet, samt de olika metoderna för omhändertagande av detta, är betydande antropogena faktorer.

Hydrogeologiska faktorer som påverkar mikroorganismernas öde är exempelvis hur vattnet rör sig ovan och i jord från utsläppskälla till vattendrag, samt markens fuktinnehåll.

Väl framme i vattendraget sprids organismerna beroende på hydrologiska parametrar som advektion, dispersion och i liten omfattning även av diffusion. Advektion beskriver den transport som sker med vattnets medelhastighet, och dispersion beskriver den slumpvisa transport som sker på grund av lokala hastighetsvariationer och strömmar. Diffusion styrs av naturens vilja att utjämna skillnader i koncentration, och är ofta av liten betydelse, i relation till advektion och dispersion, i vattendrag.

Kemiska och fysiska parametrar, såsom mikroorganismernas och de i vattnet suspenderade partiklarnas ytladdning, har betydelse för mikroorganismernas benägenhet att aggregeras till varandra och till partiklar. Storleken och densiteten på de bildade partiklarna har stor betydelse för sedimentationshastigheten som följer Stokes lag. Andra kemiska och fysiska parametrar som påverkar mikroorganismernas öde är pH, strålning och temperatur.

En biologisk parameter av intresse är tillgången av predatorer, såsom vissa protozoer, som äter, och därigenom inaktiverar, andra mikroorganismer.

Jamieson (Jamieson et al. 2004) betonar att de stora kunskapsluckor som finns vad det gäller de aktuella mikroorganismernas uppträdande i naturen gör att det är svårt att utveckla användbara modeller. Speciellt mikroorganismernas benägenhet att bilda aggregat med andra mikroorganismer eller partiklar, samt hur detta påverkar sedimentationen, anses av Jamieson vara ett område som kräver mer uppmärksamhet.

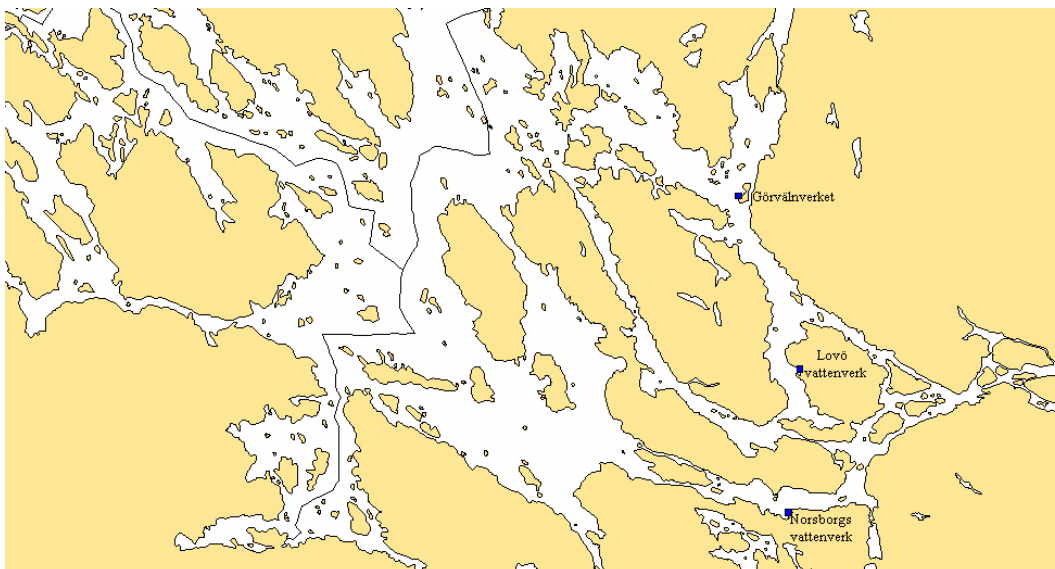
## 2.5 Östra Mälaren

Det övergripande syftet med examensarbetet är att undersöka om spridningssimuleringsprogrammet SeaTrack Östra Mälaren kan användas för att beräkna patogenkoncentrationer vid vattenverkens vattenintag i Östra Mälaren samt att beräkna patogenkoncentrationer för de olycksscenarioer som bedöms ha störst påverkan på råvattnets mikrobiella kvalitet. Nedan följer en områdesbeskrivning av Östra Mälaren, som är platsen för de tre vattenverken vid Norsborg, Lovö och Görväln, samt en sammanfattning av den översiktliga inventering av avloppshantering vid Östra Mälaren, som har utförts i detta arbete.

### 2.5.1 Allmänt

Mälaren är med en yta av 1120 km<sup>2</sup> och en volym av 13 km<sup>3</sup> en av Europas största sjöar, och Sveriges tredje största sjö. Sjöns avrinningsområde är hela 22600 km<sup>2</sup>, vilket motsvarar en tjugondel av Sveriges totala landareal. Varje sekund passerar i genomsnitt cirka 160 m<sup>3</sup> vatten genom Mälarens utlopp i Norrström, vilket motsvarar ett årligt utflöde av cirka 5 miljarder m<sup>3</sup> (Granström 2003). Cirka 1/8 av Sveriges befolkning är bosatt inom Mälarens avrinningsområde, vilket medför att hela 5 % av Mälarens utflöde tillförs via kommunala avloppsreningsverk, dagvatten och industri (Mälarens VVF 2007). Mälaren är inte bara en stor recipient av avloppsvatten, utan också en grundförutsättning för Stockholms dricksvattenproduktion och konsumtion. De tre vattenverken vid Norsborg, Lovö och Görväln förser i stort sätt alla Stockholms invånare med dricksvatten, och totalt är cirka 1,6 miljoner personer anslutna till dricksvattnenätet. Mälaren är också viktig som transportled, och årligen passerar cirka 4500 fartyg med en sammanlagd godsvikt på 4 miljoner ton genom Södertäljekanal (Mälarens VVF 2007).

Mälaren är uppdelad i flera delbassänger och består av ett stort antal öar, holmar och fjärdar i varierande storlekar (figur 2.5.1). Medeldjupet är cirka 12,8 meter. Västra Mälaren är grund med flacka stränder och en femtedel av sjöns totala vattenyta har ett djup på mindre än 3 meter. Djupast är sjön i Öster med ett maxdjup av cirka 60 meter. Mellan den grundare västra delen och den djupa östra delen av sjön befinner sig Björkfjärdarna och Prästfjärdarna, som är de största vattenbassängerna i Mälaren. Uppehållstiden i dessa fjärdar är 2-3 år. I östra Mälaren delar sig sjön i en nordlig och en sydlig gren med vardera cirka 80 m<sup>3</sup>/s i flöde (VAI VA-projekt 2001). Norsborgs vattenverk tar sitt råvatten från den södra grenen, medan Görväln och Lovö vattenverk tar sitt vatten från den norra grenen.



Figur 2.5.1. Karta över Mälaren från programmet SeaTrack Östra Mälaren.

## 2.5.2 Översiktlig inventering av avloppshantering vid Östra Mälaren

Kommunerna Upplands-Bro, Järfälla, Stockholm, Huddinge, Botkyrka, Salem och Ekerö har alla strandlinje mot den östra delen av Mälaren. Nedan redovisas en sammanställning av den översiktliga inventering av de olika kommunernas avloppshantering som har utförts i detta examensarbete. Uppgifterna är hämtade, där inget annat anges, dels från respektive kommuns ansvariga förvaltningar och dels från rapporten *Östra Mälaren – riskbedömning av akuta händelser som kan orsaka råvattenförsämring* (Tyréns 2007).

### *Upplands-Bro*

Upplands-Bro har ett duplikat avloppssystem, vilket innebär separata ledningar för spillvatten respektive för dagvatten. Risken för hydraulisk överbelastning och utsläpp av orenat spillvatten minskas härigenom. Inga kommunala reningsverk i Upplands-Bro har Mälaren som recipient. Nödavlopp från pumpstationer eller läckage från spillvattenledningar är tänkbare utsläppsscenario. En sjöförlagd spillvattenledning leder allt spillvatten från Kungsängen och Bro under Stäketsundet. Ledningen har ett medelflöde av 8000 m<sup>3</sup>/dygn. Vid stora inläckage av dagvatten kan flödet uppgå till 20000 m<sup>3</sup>/s. Ledningen är lagd på 1960-talet och planer finns på att ersätta ledningen med en ny sjöförlagd ledning söder om Stäketön. Den nya ledningens längd under vatten är enligt planerna 4600 meter. Den befintliga ledningens längd under vatten uppskattas till cirka 600 meter.

### *Järfälla*

Järfälla har duplikat avloppssystem. Ovan nämnda sjöförlagda spillvattenledning leds till en spillvattentunnel på Järfällas sida av Stäketsundet. Nödavlopp från pumpstationer eller läckage från spillvattenledningar är tänkbare utsläppsscenario.

### *Stockholm*

Stockholm Vatten AB ansvarar för hanteringen av avloppsvatten i Stockholm. Ledningsnätet består delvis av ett duplikat system och delvis av ett kombinerat system. Cirka 40% av den bebyggda ytan och 50 % av den hårdgjorda ytan är anslutna till det kombinerade ledningssystemet. 246 mil ledningar, 15 mil bergtunnel samt 19 magasin, med en sammanlagd volym av 115 000 m<sup>3</sup>, ingår i avloppsnätet. Den stora andelen kombinerat avloppssystem i Stockholm medför att relativt stora volymer orenat avloppsvatten når recipienter. Under ett år med normal nederbörd och drift avleds cirka 0,3 miljoner m<sup>3</sup> orenat avloppsvatten ut till recipienterna Mälaren och Saltsjön i samband med kraftig nederbörd. Det stora flertalet av de cirka 300 bräddavloppsbrunnarna i det kombinerade systemet är belägna öster om zonen för vattenverken, det vill säga nedströms vattenverkens vattenintag. Det mest västra området för bräddning från Stockholms ledningsnät, således det område som ligger närmast vattenverken, är vid Lövstafjärden. Bräddfrequensen är där beräknad till 15 gånger per år med en total beräknad bräddvolym på 621 m<sup>3</sup> (Kjellsson et al. 2002). Inget av Stockholms reningsverk släpper ut avloppsvatten till Mälaren. Bräddavlopp innehållande spillvatten, nödavlopp från pumpstationer eller läckage från spillvattenledningar är tänkbara utsläppsscenarioer från Stockholm.

### *Huddinge*

Stockholm Vatten AB ansvarar för hantering av avloppsvatten i Huddinge kommun. Bräddavlopp innehållande spillvatten, nödavlopp från pumpstationer eller läckage från spillvattenledningar är tänkbara utsläppsscenario.

### *Botkyrka*

Den del av Botkyrka kommun som gränsar till Mälaren har ett duplikat avloppssystem. Nödavlopp från pumpstationer eller läckage från spillvattenledningar är tänkbara utsläppsscenario. Ett större utsläpp av spillvatten till Mälaren från 2003 är känt. En beräknad volym av 3628 m<sup>3</sup> under 504 timmar nödvleddes då på grund av stopp i en avloppsledning. Utsläppet skedde någonstans i Hallunda men exakt var är inte känt. Avståndet från Norsborgsvattenverk till de närmsta pumpstationerna i norra botkyrka uppskattas till knappt 2 kilometer.

### *Salem*

Salems kommun har inga pumpstationer som bräddar norrut direkt till mälaren.

### *Ekerö*

Ekerö är den enda kommun inom vattenverkens planerade gemensamma skyddsområde som har ett större kommunalt reningsverk. Ekebyhovs reningsverk tar emot avloppsvatten från de cirka 15 000 invånarna i tätorterna Ekerö och Stenhamra. Cirka 5000 m<sup>3</sup> avloppsvatten renas per dygn och leds därefter ut i Fiskarfjärden i Mälaren. Vid extrema flöden, eller vid problem i driften av reningsverket, kan orenat avloppsvattenvatten nödvleddas ut i Mälaren. Det händer årligen att avloppsvatten nödvleddes på detta sätt.

Ekerö har ett duplikat avloppssystem som innehåller 31 pumpstationer varav 30 är utrustade med nödavlopp till Mälaren. Mitt emot Norsborgs vattenverk finns 6 pumpstationer varav den med störst beräknat flöde, 240 m<sup>3</sup>/dygn, ligger vid Tråkvista Brygga. Bräddavloppet för denna pumpstation utmynnar cirka 1 meter under vattenytan. Under det långsmala sundet som skiljer öarna Ekerö och Färingsö åt, Långtarmen, finns en sjöförlagd spillvattenledning, med ett beräknat flöde på 1046 m<sup>3</sup>/dygn. Läckage på denna ledning har enligt uppgift inträffat. Ansvariga på tekniska förvaltningen i Ekerö kommun bedömer att det tar mellan 12 och 24 timmar att laga ett eventuellt läckage på ledningen.

Vid Mörbyfjärden, ur vilken Lovö vattenverk tar sitt råvatten, finns inom Ekerö kommun tre mindre gemensamhetsanläggningar för avlopp lokaliserade vid Skå Barnby, Lunda och Hammargården. Av dessa bedöms endast anläggningen vid Hammargården kunna brädda direkt till Mälaren. Anläggningen är godkänd för avloppsvatten från upp till 200 personer.

## **2.6 Seatrack Östra Mälaren**

Nedan följer en beskrivning av det spridningssimuleringsprogrammet som har använts för att simulera utsläpp av avloppsvatten i östra Mälaren.

Den mjukvara som används vid utsläppssimuleringarna i detta arbete heter SeaTrack Östra Mälaren, och har tidigare används av bland andra Stockholm Vatten, för beräkning och presentation av olika ämnens spridning i östra Mälaren. Programmet är utvecklat av SMHI, och är en för Mälaren anpassad version av SeaTrack v 3.1. SeaTrack är kanske främst utvecklat i syfte att simulera utsläpp av olja, då man genom att ange vilken typ av olja det rör sig om kan få programmet att använda särskiljda algoritmer, som tar hänsyn till de olika oljornas flytkraft, avdunstning och lösningsförmåga. Det finns även möjligheter att simulera länsor för att stoppa spridning av olja. Om utsläpp av andra ämnen skall simuleras, anges istället om ämnet löser sig i vattnet, flyter eller sjunker. Väljs ett sjunkande ämne måste en sedimentationshastighet anges, med vilken ämnet sjunker. Flytande ämnen lägger sig på vattenytan, och blir således mer känsliga för vindstyrka och vindriktning. Ett löst ämne varken sjunker eller flyter, utan följer med i vattnets rörelser. Programmet tillåter även bakåtberäkningar, vilket gör det möjligt att utifrån ett lokaliserat utsläpp spåra dess härkomst.

Användargränssnittet är baserat på GIS-verktyget (Geografiskt Informations System) MapInfo MapX™. Möjlighet finns att direkt på kartbilden placera ut punkten för utsläppet samt eventuella länsor. Alternativt kan utsläppspunktens koordinater skrivas in i det så kallade beräkningsformuläret tillsammans med övriga uppgifter om utsläppet. Övriga parametrar som skrivs in i beräkningsformuläret, tillsammans med övre och undre gräns för respektive parameter, redovisas i tabell 2.6a.

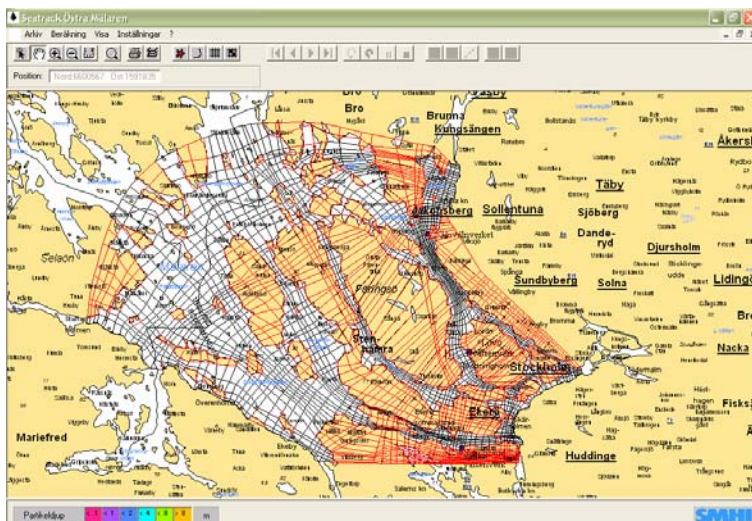
<i>Parameter</i>	<i>Minvärde</i>	<i>Maxvärde</i>
År	1900	2100
Klockslag	00:00	23:59
Latitud (grader)	N 50	N 70
Longitud (grader)	O 10	O 40
Antal partiklar	1	300
Vattentemperatur (°C)	-10	40
Utsläppets varaktighet (h)	1	300
Utsläppsdjup (m)	0	56 m (största djupet inom modellens beräkningsområde)
Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	0	10000
Mängd (m <sup>3</sup> )	0,001	10000
Vindfaktor (%)	0	100
Sedimentationshastighet (m/ dygn)	0	100000
Länsdjup (m)	0	10
Antal studsar	0	10
Beräkningslängd (timmar)	1	300

*Tabell 2.6a Variabla parametrar i SeaTrack Östra Mälaren, samt parametrarnas tillåtna min- och maxvärde (SMHI 2002).*

Till SeaTrack Östra Mälaren medföljer kartskikt som visar Mälarens strandlinje, landytor, vattenverkens placering, ort- och platsnamn, samt det beräkningsrutnät som används vid beräkningarna. Figur 2.6 visar användargränssnittet för SeaTrack Östra Mälaren med tillhörande kartskikt.



## Spridningssimuleringar i SeaTrack för senarioberäkning av microbiella patogenkoncentrationer i Östra Mälaren



Figur 2.6. Användargränssnitt för SeaTrack Östra Mälaren med de tillhörande kartskikten Mälarens strandlinje, landtyper, vattenverkens placering, ort- och platsnamn, samt det beräkningsrutnät som används vid beräkningarna.

I SeaTrack representeras ett utsläpp av maximalt 300 partiklar. Ju fler partiklar som används, desto mer verklighetstroget blir modellens resultat, samtidigt som beräkningarna tar längre tid. Används 300 partiklar motsvarar varje partikel 1/300 del av den totala utsläppsvolymen.

Utsläppet kan antingen vara momentant, det vill säga alla partiklar släpps iväg samtidigt, eller kontinuerligt, då partiklarna släpps iväg med jämna intervall. Varaktigheten av det kontinuerliga utsläppet anges i beräkningsformuläret.

I beräkningsformuläret finns även möjligheten att ange vilken vindfaktor ett ämne eller föremål skall ha, det vill säga med vilken procent av vindhastigheten ett flytande föremål skall simuleras med. För lösta och sjunkande ämnen används istället en inbyggd teoretisk formel som beskriver strömmarnas variation nära ytan. För varje simulering anges vindriktning och vidstyrka i tidsteg om tre timmar, samt vilka skiktningförhållanden som föreligger vid den aktuella tidpunkten. Det finns även möjlighet att använda sig av ett scenario då Mälaren är täckt av is, vilket medför att spridningsförloppet är oberoende av vidstyrka och vindriktning.

Om någon av de utsläppta partiklarna stöter emot land eller botten kan valet göras att dessa partiklar fastnar på land, eller att de studsar tillbaka ut i vattnet. Om valet görs att partiklarna kan fastna, anges hur många på varandra följande studsar mot land som krävs för att en partikel skall fastna. Väljs 0 studsar fastnar partikeln direkt vid första kontakten med land eller botten.

Simuleringsberäkningarna görs i beräkningsprogrammet ParTrack, som ingår som en del i SeaTrack Östra Mälaren. Vid varje simulering utgår programmet från förberäknade strömfält för specifika väder- och strömförhållanden. Dessa strömfält extrapoleras vid en simulering, enligt en särskild formel, för att motsvara de väderförhållanden som valts.

För SeaTrack Östra Mälaren finns 18 stycken förberäknade strömfält, beräknade för de vind- och skiktningförhållanden som redovisas i tabell 2.6b. De förberäknade väder- och skiktförhållandena har valts ut efter analyser av ström-, temperatur- och vädermätningar som gjorts i området (SMHI 2002).

Vind	Sommarskiktning	Vinterskiktning
5 m/s	8 (1 för vardera vindriktning)	8 (1 för vardera vindriktning)
Is (0 m/s)	1	1

Tabell 2.6b. Vind- och skiktningförhållanden för de 18 förberäknade strömfälten i SeaTrack Östra mälaren. (Bearbetad efter SMHI 2002).

De 18 strömfälten finns lagrade i 18 strömfältsfiler som medföljer SeaTrack Östra Mälaren. Strömfältsfilerna är således modellens beskrivning av hur strömmarna ser ut i Mälaren vid vindstyrkan 5 m/s i de 8 vindriktningarna (N, NO, O, SO, etc.) under sommar respektive vinter skiktning, samt hur strömmarna ser ut då sjön är isbelagd. Med vinterskiktning menas egentligen att ingen skiktning alls av vattnet föreligger. Sommarskiktningen i modellen är en för området typisk temperaturskiktning som uppkommer på sommaren då varmt vatten lägger sig ovanpå det kallare bottenvattnet. En liknande skiktning kan uppkomma på vintern då vatten med temperatur nära 0°C lägger sig ovanpå det något tyngre vattnet med en temperatur nära 4°C (sötvatten har störst densitet vid 4°C). Därför är det möjligt att i programmet använda sig av vinterscenariot isbelagd sjö med ”sommarskiktning”.

För att verifiera att spridningssimuleringarna i SeaTrack beskriver verkligheten har försök med bojutsläpp gjorts i Vättern. Modellen har med gott resultat kunnat förutse de utsläppta bojarnas spridning (Liungman 2006, SMHI, muntligen). Något liknande test har, enligt uppgift från SMHI, dock ej utförts i Mälaren.

## 2.7 @Risk och Monte Carlo simulering

I detta kapitel beskrivs kortfattat teorin för MonteCarlo-simuleringar samt det statistikprogram, @Risk, som har använts för MonteCarlo-simuleringar i detta arbete.

Nedan följer en kortfattad beskrivning av teorin för MonteCarlo-simulering. För att förenkla beskrivningen används ett exempel, där målet är att beräkna det förväntade antalet patogena organismer (N) som kan komma att släppas ut från ett avloppsutsläpp, utifrån koncentrationen (C) av mikroorganismer i avloppsvattnet, samt volymen (V) av det utsläppta avloppsvattnet.

I de båda parametrarna, koncentration och volym, förekommer en naturlig variation. Variation i koncentration av patogena mikroorganismer i avloppsvattnet beror bland annat på var avloppet härstammar ifrån och på hur infektionssituationen ser ut i samhället. Variation i utsläppt volym beror på flödet i ledningarna samt varaktigheten av utsläppet. Genom att använda sig av medelkoncentrationen patogena organismer i avloppsvattnet ( $C_{medel}$ ) och medelvolymen av avloppsutsläpp ( $V_{medel}$ ) kan man enkelt beräkna ett mått på det antal patogena organismer som kan förväntas släppas ut ( $N_{medel}$ ) enligt ekvation 2.7.

$$C_{medel} \times V_{medel} = N_{medel} \quad (\text{Ekvation 2.7})$$

Om sannolikhetsfördelningarna för de båda parametrarna är kända är det möjligt att på samma vis beräkna ett ”konservativt” värde på det förväntade antalet utsläppta patogena organismer genom att använda sig av exempelvis värdet av den 95-percentilen,  $P_{95}$ , i de båda fördelningarna.

Kan de båda parametrarna  $C$  och  $V$  antas var oberoende, vilket antas i detta exempel, är det också möjligt, men ofta mycket tidskrävande, att rent matematiskt kombinera de båda sannolikhetsfördelningarna för  $C$  och  $V$  till en sannolikhetsfördelning för  $N$ . Ett sätt att komma runt detta tidskrävande moment är att approximera den matematiska lösningen genom att låta en slumpgenerator dra ett värde ur vardera parameters sannolikhetsfördelning och lösa ekvationen för  $N$ . Om proceduren upprepas ett stort antal gången (10000 eller mer) representerar det resulterande omfånget för  $N$  ganska väl den beräknade sannolikhetsfördelningen för parametern  $N$ . Metoden med återupprepade dragningar ur parametrarnas fördelningar kallas för MonteCarlo-simulering (Kammen 1999).

MonteCarlo-metoden är relativt beräkningsintensiv, men med dagens datorresurser är detta oftast inget problem. Det finns i dag ett antal mjukvaror som tillåter MonteCarlo-simuleringar. I detta examensarbete används programvaran @Risk från Palisade Corporation. Programmet är byggt i excellformat, vilket gör det relativt enkelt att använda för brukare med vana från Excel. I @Risk beskrivs de ingående parametrarnas fördelningar som någon av det stora antal i programmet förprogrammerade fördelningar som finns att tillgå. Beräkningsfunktioner, bestående av de ingående parametrarna, skrivs därefter in i excellarket. Vid simulering väljs det antal beräkningsloopar som programmet skall utföra, för att önskat resultat skall erhållas. För vare loop drar @Risk ett slumpvis valt värde ur de ingående fördelningarna, som därefter används i beräkningsfunktionerna. Resultatet av simuleringarna blir en approximation av sannolikhetsfördelningen för den beroende parametern.

## 3 Metod

För att uppnå examensarbetets syfte, att undersöka om spridningssimuleringsprogrammet SeaTrack Östra Mälaren kan användas för att beräkna patogenkoncentrationer vid vattenverkens vattenintag i Östra Mälaren, samt att beräkna patogenkoncentrationer för de olycksscenarioer som bedöms ha störst påverkan på råvattnets mikrobiella kvalitet, har simuleringar i SeaTrack utförts för ett antal scenarion som potentiellt kan medföra förhöjda halter mikroorganismer vid vattenverken. Resultat från simuleringarna har därefter använts i kombination med tillgänglig utsläppsstatistik, väderstatistik och mikrobiell litteraturdata för att i statistikprogrammet @Risk genom MonteCarlo-simuleringar uppskatta sannolikheter för de patogenkoncentrationer som kan uppkomma vid vattenverken i de olika undersökta scenarierna. I kapitel 3.1 redovisas vilka data som ligger till grund för de utsläppssimuleringar som har utförts. Kapitel 3.2 redovisar grunden för de generella antagandena som gjorts vid simuleringarna. Hur de olika utsläppsscenarioerna har valts, samt vilka scenarion som valts, redovisas i kapitel 3.3 respektive 3.4. Kapitel 3.5 beskriver hur väderdata som har erhållits har använts vid simuleringarna.

### 3.1 Insamlande av data

För att kunna identifiera tänkbara utsläppsscenarioer som potentiellt medför förhöjda halter patogena mikroorganismer vid de tre vattenverken i Östra Mälaren, samt för att ta del av utsläppsdata från historiska utsläpp, har kontakt tagits med de till Östra Mälaren angränsande kommunerna Upplands-Bro, Järfälla, Ekerö, Botkyrka och Salem. Vad det gäller de till området angränsande kommunerna Stockholm och Huddinge har dialog förts med Norrvatten och Stockholm Vatten AB, som är de bolag som ansvarar för Stockholms och Huddinges vatten- och avloppsförsörjning. Fokus har legat på att identifiera utsläppskällor från avloppssystem, då dessa står för en betydande del av de sjukdomsutbrott i Norden som uppkommer från vattenburna patogena mikroorganismer i dricksvatten producerat från ytvatten (tabell 2.1).

Det material som har efterfrågats har dels varit kartor över reningsverk, kända bräddpunkter och större avloppsledningar, och dels information (tid, plats, volym, andel spillvatten etc.) om kända nödavlopp och bräddningar de senaste åren. Den information som har erhållits har varit av skiftande kvalitet. Överlag tycks dock utsläppen av orenat spillvatten från de omkringliggande kommunerna till Mälaren vara små, med undantag av en del större bräddningar från Stockholm. Att utsläppen är relativt stora från Stockholm jämfört med utsläppen från övriga kommuner, beror på att stora delar av Stockholm täcks av kombinerade avloppssystem, där både spillvatten och dagvatten leds i samma ledningar, medan övriga kommuner till stor del har duplikata system, med dagvatten och spillvatten i separerade ledningar. De kombinerade systemen är mer känsliga för kraftig nederbörd, vilket leder till fler tillfällen för bräddning och utsläpp av större volymer orenat spillvatten. Det kombinerade systemet i Stockholm består av cirka 92 mil ledningar och innehåller cirka 300 bräddavlopp varav vilka ungefär 250 är direkt anslutna till recipienterna Mälaren eller Saltsjön (Kjellson 2002).

Från vattenverken vid Norsborg och Lovö har bakteriologisk data insamlats för vissa tidsperioder då kända utsläpp av avloppsvatten till östra Mälaren skett. Syfte med detta har varit att försöka utröna om spridningsmodellens simulerade resultat, med avseende på transporttid och utspädning, stämmer överens med verkliga observationer vid vattenverken.

Från Norsborgs vattenverk har väderdata avseende vindriktning och vindhastighet inhämtats. Denna data har legat till grund för de antaganden om väderförhållanden som använts vid spridningssimuleringarna i SeaTrack.

Litteraturvärden rörande mikrobiell förekomst i avloppsvatten, överlevnad i ytvatten etc. har inhämtats från publicerade vetenskapliga artiklar. Vikt har lagts vid att i så stor utsträckning som möjligt använda data från svenska förhållanden.

### 3.2 Generella antaganden i modellen

Vid simulering i SeaTrack är det nödvändigt att göra en mängd antaganden för att begränsa antalet simuleringar. Exempelvis är det möjligt att i SeaTrack ändra vindstyrka och vindriktning var tredje timme under de 300 fiktiva timmar som en simulering kan pågå. Detta innebär således cirka  $2 \cdot 10^{90}$  ( $8^{(300/3)}$ ) olika simuleringar enbart om vindriktningen tillåts skifta i de åtta olika väderstrecken var tredje timme, om man nöjer sig med att använda en konstant vindhastighet. Det säger sig själv att detta ofantliga antal simuleringar inte låter sig göras, speciellt inte som en del av ett examensarbete, utan kraftiga begränsningar i antalet simulerade scenarion måste göras.

För att avgöra de olika parametrarnas inflytande har utförliga testsimuleringar gjorts för ett utsläppsscenario vid Berghamns brygga (N 6585250; Ö 1613725). Valet av placering har grundats på att Berghamns brygga ligger ungefär mitt emellan Görvälns vattenverk och Lovö vattenverk, vilket gör det möjligt för ett utsläpp att nå ettdera verket. Berghamns brygga utgör också en känd bräddpunkt från Stockholms dag- och spillvattennät, med en normalårsbräddning på cirka 565 m<sup>3</sup> (Kjellson 2002). Avstånden till vattenverken har också bedömts som goda för att visa på effekterna av de olika testparametrarna.

De parametrar som undersökts har varit vindstyrka, vindriktning, skiktning, partiklarnas förmåga att fastna på land, kontinuerligt kontra momentant utsläpp samt isbeläggning. Totalt har 153 simuleringar gjorts för Berghamns brygga med olika antagande avseende ovan nämnda parametrar. Resultatet av testsimuleringarna redovisas i Bilaga 1.

Resultatet har legat till grund för de generella antaganden som därefter har använts vid simuleringarna i SeaTrack av de olika utsläppsscenarierna.

#### 3.2.1 Testsimuleringar

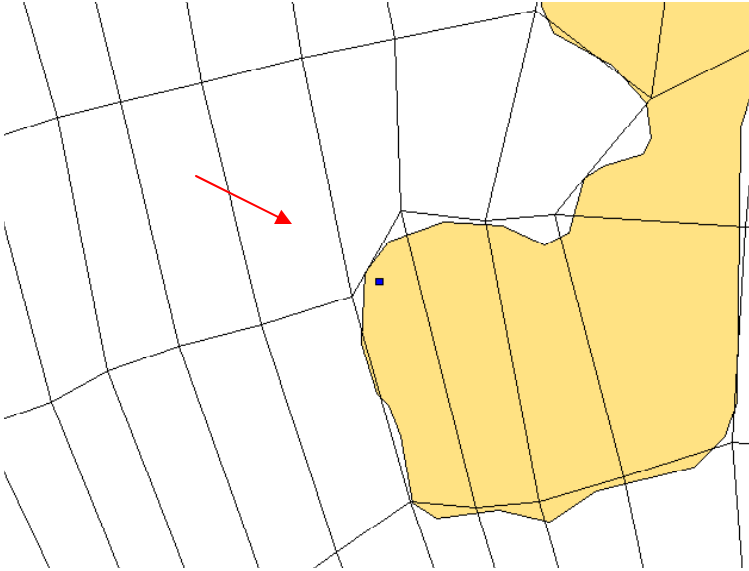
Grundinställningen för testsimuleringarna redovisas i tabell 3.2.1.

<i>Parametrar</i>	<i>Grundinställning</i>
Utsläppspunkt	N: 6585250; Ö: 1613725
Utsläppsdjup	1 meter under vattenytan
Typ av utsläpp	Momentant
Ämnesegenskaper	Löst ämne
Antal partiklar	300
Skiktförhållande	Ingen skiktning
Simuleringstid	288 timmar (12 dygn)

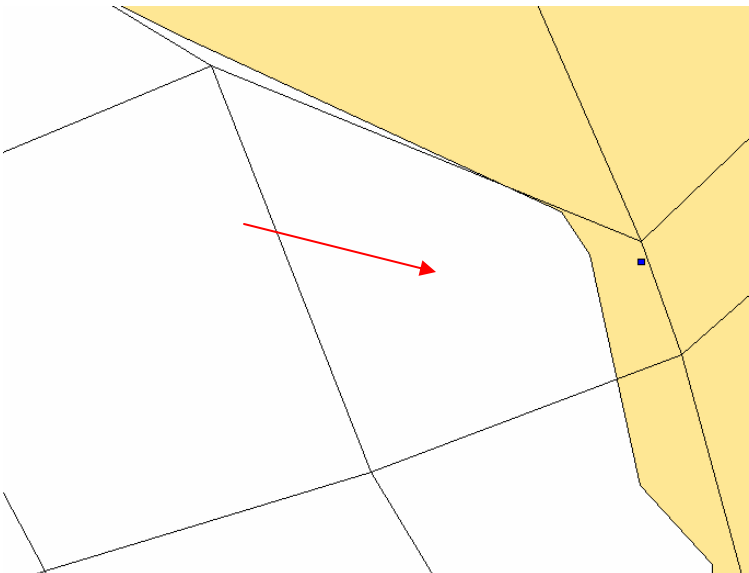
*Tabell 3.2.1. Grundinställningar för testsimuleringar i SeaTrack.*

Vid varje simulering har partiklarnas antal i vattnet utanför vattenverkens vattenintag observerats. Det rutnät som visas i SeaTrack har utnyttjats för att avgränsa en volym vatten i vilken antalet partiklar har räknats. Utifrån kartor över vattenverkens intagsledning samt flygfoto över vattenverken har de rutor i SeaTrack valts som bedömts inrymma vattenverkens vattenintag (VAI VA-projekt 2001, samt flygfoto från eniro.se). De valda rutorna redovisas i figurerna 3.2.1a–3.2.1c. Lovö vattenverk och Görvälns vattenverk har möjlighet att ta vatten från olika intagsdjup beroende på vattnets kvalitet vid den aktuella tidpunkten. Görvälns vattenverk kan välja att ta vatten antingen från 4 eller 22 meters djup, och Lovö vattenverk har intagsledning på 5, 10, 15 och 23 meters djup (VAI Va-projekt 2001). För att kunna bedöma koncentrationen partiklar vid de olika intagsdjupen har antalet partiklar noterats för djupintervallet 2 – 8 meter samt >8 meter. Intagen på 4 respektive 5 meter antas ta sitt vatten från djupintervallet 2 - 8 meter, medan övriga intag antas ta vatten från ett djup mellan 8 meter och botten. Norsborgs vattenverk har endast ett intagsdjup på 11 meter under vattenytan, vilket har medfört att endast partiklar på ett djup >8 meter har noterats i den valda rutan utanför Norsborgs vattenverk vid simuleringarna. Intervallet från 8 meter ner till botten av Mälaren kan tyckas grovt, men är i den använda versionen av SeaTrack den mest detaljerade djupangivelsen för partiklarnas djup under 8 meter. De utvalda rutorna i kombination med de två olika djupintervallen utgör volymboxar i vilka en partikelkoncentration kan beräknas genom division av antalet partiklar genom volymen av boxen.

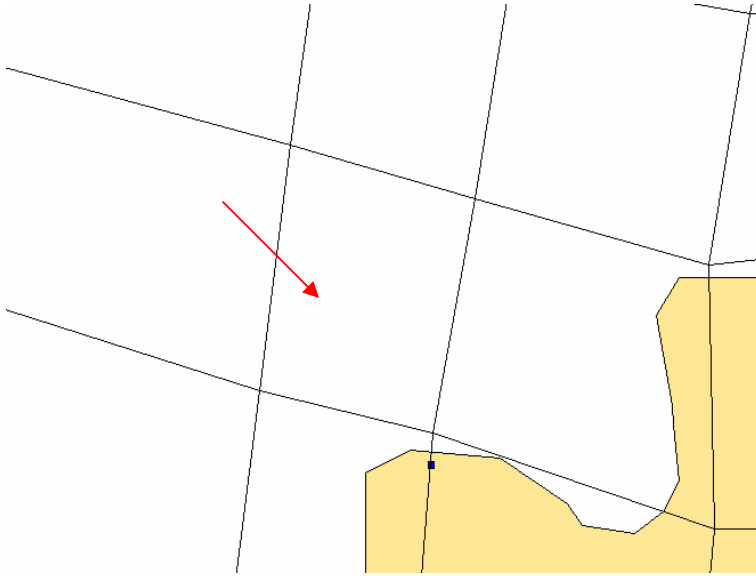
Resultatet från varje simulering redovisas som största antalet partiklar som har förekommit inom de observerade volymboxarna utanför vattenverken. En tidsangivelse i timmar efter utsläppets start till det att maxkoncentrationen uppnås, redovisas också. För att få ett mått på varaktigheten av utsläppets påverkan på vattenverken anges också tidpunkten för den första respektive den sista partikeln inom de olika volymboxarna.



*Figur 3.2.1a. Röd pil visar vald ruta för beräkning av partikelkoncentration för råvattnet vid Görvälns vattenverk.*



*Figur 3.2.1b. Röd pil visar vald ruta för beräkning av partikelkoncentration för råvattnet vid Lovö vattenverk.*



Figur 3.2.1c. Röd pil visar vald ruta för beräkning av partikelkoncentration för råvattnet vid Norsbors vattenverk.

### 3.2.2 Vindstyrka och vindriktning

För att testa vindstyrkans och vindriktningens påverkan på spridningen av partiklar i Östra Mälaren har simuleringar gjorts i åtta olika vindriktningar för vindstyrkorna 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 8 m/s samt 14 m/s. Således har 56 simuleringar utförts i detta syfte. Resultatet redovisas i Bilaga 1a. Resultatet visar på att vindstyrkan har stor påverkan på hur partiklarna sprids. Exempelvis når inga partiklar i simuleringarna fram till Lovö vattenverk vid vindstyrkor upp till 2 m/s medan vindstyrkor på 3 m/s och däröver resulterar i relativt höga antal partiklar både över och under 8 meters djup. Vid vindar över 4 m/s förekommer det också att partiklar sprids ända ner till Norsborgs vattenverk. Resultaten visar också tydligt på vindriktningens betydelse för spridningsförfarandet. Endast vid vissa vindriktningar sprids partiklarna till de olika vattenverken.

Baserat på ovanstående testsimuleringar och analyserad väderstatistik (tabell 3.2.2a), har det bedömts såsom rimligt att i vidare simuleringar låta vindstyrkan representeras av de tre olika styrkorna 2 m/s, 4 m/s samt 7 m/s, där 2 m/s får representera vindar i intervallet 0 – 2,5 m/s, 4 m/s representerar intervallet 2,5 – 5 m/s och 7 m/s representerar vindstyrkor större än 5 m/s.



Vindstyrka (m/s)	% av antalet dagar	
0 - 1	2,5	30,2
1 - 2,5	27,7	
2,5 - 3	12,8	54,9
3 - 4	25,0	
4 - 5	17,1	
5 - 6	9,0	14,9
6 - 7	3,7	
>7	2,2	

*Tabell 3.2.2a. Väderstatistik från Norsborgs vattenverk mellan 010204 – 040204. Tabellen visar procent av antalet dagar med en viss medelvindstyrka samt det sammanslagna procenttalet för de tre valda intervallen för vindstyrka.*

De åtta olika vindriktningarna N, NV, V, SV, S, SO, O och NO ger väsentligt skiljda resultat i testsimuleringarna (Bilaga 1a). Det har därför bedömts nödvändigt att i vidare simuleringar använda alla dessa vindriktningar. Vindriktningen norr, N, tas med trots att den är, som synes i tabell 3.2.2b, ytterst sällan förekommande i området. För att begränsa antalet simuleringar har antagandet gjorts att vindriktning och vindstyrka är konstanta genom hela simuleringsperioden. Detta är en grov förenkling av verkligheten, men nödvändig av resursmässiga skäl avseende arbetets tidsåtgång. Exakt hur denna förenkling påverkar resultatet är svårt att förutsäga. Mindre variation av vindriktning och vindhastighet bör resultera i en mindre utspridning av partiklarna vilket medför att simuleringar med konstanta vindförhållanden bör ge upphov till en mer koncentrerad partikelsvärm. Om denna mer koncentrerade partikelsvärm passerar inom området för vattenintag vid ett vattenverk resulterar simuleringar med konstanta vindförhållanden således i högre koncentrationer mikroorganismer i råvattnet, än motsvarande simuleringar med varierande vindförhållanden. I ett sådant fall kan simuleringar med konstanta vindförhållanden anses ge resultat som överskattar sannolikheterna för de högsta patogenkoncentrationerna. Det kan dock inte uteslutas att en mer koncentrerad partikelflock i simuleringarna passerar just utanför området för vattenintag vid ett vattenverk, vilket resulterar i en lägre koncentration av mikroorganismer i det uttagna råvattnet än vad simuleringar med varierande vindförhållanden ger upphov till. I ett sådant fall underskattas sannolikheten för de högsta patogenkoncentrationerna vid vattenverken. Det är även tänkbart att vissa kombinationer av vindförhållanden kan resultera i att ett stort antal partiklar ansamlas utanför ett vattenverk och ger upphov till höga patogenkoncentrationer i råvattnet. Vid simuleringar med konstanta vindförhållanden tas ingen hänsyn till sådana kombinationer av vindförhållanden.

Vindriktning	% av antalet dagar
Nord (N)	0
Nordost (NO)	0,9
Ost (O)	9,5
Sydost (SO)	21,1
Syd (S)	21,6
Sydväst (SV)	24,6
Väst (V)	20,2
Nordväst (NV)	2,1

Tabell 3.2.2b. Väderstatistik från Norsborgs vattenverk mellan 010204 – 040204. Tabellen visar procent av antalet dagar med en viss medelvindriktning.

### 3.2.3 Skiktförhållande

För att testa hur spridningen av partiklar påverkas av vattnets temperaturskiktning har simuleringar utförts med det skiktförhållande, en för området typisk sommarskiktning, som finns som valmöjlighet i SeaTrack Östra Mälaren. Simuleringar har gjorts i åtta vindriktningar för vindstyrkorna 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s och 8 m/s. Sammanlagt 32 simuleringar har gjorts i detta syfte. Resultaten har jämförts med resultaten för motsvarande vindstyrkor i scenarion utan skiktning och redovisas i Bilaga 1b. Sommarskiktning visar sig kunna medföra såväl ökade som minskade partikelkoncentrationer i de båda studerade djupintervallen. Vindriktningar och vindstyrkor, som i tidigare simuleringar med oskiktade förhållanden ej medfört spridning av partiklar till vattenverken, visar sig i skiktade förhållanden kunna resultera i partikelspridning till vattenverken. Således har det bedömts som nödvändigt att i vidare simuleringar använda såväl oskiktade som skiktade förhållanden.

### 3.2.4 Partiklarnas förmåga att fastna på land

I SeaTrack finns en funktion som gör det möjligt att låta partiklarna fastna då de stöter emot land eller sjöbotten. Det går även att ange hur många studsar mot land som krävs för att en partikel skall fastna. För att testa hur denna funktion påverkar simuleringsresultatet har simuleringar utförts där de utsläppta partiklarna direkt fastnar då de stöter emot land eller sjöbotten. Simuleringar har utförts för 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s samt 8 m/s och har jämförts med simuleringar av scenarion med motsvarande vindstyrkor utan möjlighet för partiklarna att fastna. Jämförelsen redovisas i Bilaga 1c. Som väntat blir det i flertalet fall något lägre koncentrationer då partiklarna ges möjlighet att fastna på land jämfört med scenarion där partiklarna studsar. En del vindriktningar och vindstyrkor som tidigare resulterat i partiklar vid vattenverken gör inte det i simuleringarna där partiklarna ges möjlighet att fastna på land. Dock förekommer det fall där partiklarnas antal är högre i scenariot med möjlighet till att fastna, jämfört med samma scenario utan möjlighet för partiklarna att fastna. Det är svårt att hitta någon logisk förklaring till detta, utan resultatet får tillskrivas de slumpmässiga spridningsfunktionerna som finns i programmet.

Baserat på ovanstående testsimuleringar, och på det faktum att det är svårt att hitta litteraturuppgifter till grund för hur många studsar som skall krävas för att en mikroorganism skall fastna på land, antas i vidare simuleringar den för resultatet konservativa hållningen att partiklarna ej kan fastna på land eller sjöbotten.

### 3.2.5 Kontinuerligt kontra momentant utsläpp

För att undersöka skillnaden i partikelspridning vid ett momentant utsläpp, där hela utsläppsvolymen släpps ut vid samma tidpunkt, jämfört med ett kontinuerligt utsläpp, där utsläppsvolymen släpps ut under ett längre tidsintervall, har testsimuleringar utförts för scenarion med ett kontinuerligt utsläpp med en varaktighet på 24 timmar. Vindstyrkorna 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s och 8 m/s har använts och jämförelser har gjorts med resultaten från scenarion med motsvarande vindstyrker för momentana utsläpp. Jämförelserna redovisas i Bilaga 1d. Simuleringarna av det kontinuerliga utsläppet visar, som sig bör, inte på några väsentliga skillnader vad det gäller vilka vindriktningar och vindstyrkor som sprider partiklar till de olika verken. Simuleringarna med kontinuerligt utsläpp visar på något lägre partikelkoncentrationer jämfört med motsvarande simuleringar av momentana utsläpp i 13 fall, och något högre koncentrationer i 11 fall.

Valet av momentana utsläpp kontra kontinuerliga utsläpp har inte bedömts vara av avgörande betydelse, och i vidare simuleringar behandlas samtliga utsläpp som momentana.

### 3.2.6 Isbeläggning kontra öppet vatten

För att avgöra isens betydelse för spridningen av partiklar har detta scenario simulerats. Eftersom isen avskiljer vattnet från vinden är detta scenario oberoende av vindförhållanden. Resultatet redovisas i Bilaga 1e. Vid simuleringen nådde inga partiklarna något av vattenverket. Utsläppet rör sig cirka 1,5 km i sydöstlig riktning från utsläppspunkten.

Då resultatet i denna simulering skiljer sig betydligt från övriga resultat har det ansetts som nödvändigt att ta med ett scenario med isbeläggning av Mälaren i vidare simuleringar.

### 3.2.6 Sammanfattning av generella antaganden baserade på testsimuleringar

Ovan redovisade testsimuleringar, har legat till grund för de generella antaganden, som har medfört att det för varje vald utsläppspunkt har utförts simuleringar för 49 olika förhållanden, bestående av 48 olika väderklasser med varierande vindstyrka och vindriktning, samt en väderklass då sjön är täckt av is. Tabell 3.2.6 sammanfattar vilka antaganden avseende vindstyrka, vindriktning, skikt- och ytförhållanden som görs i vidare simuleringar i detta arbete.

<i>Parametrar</i>	<i>Antal valda förhållanden</i>
Vindriktningar	8 (N, NO, O, SO, S, SV, V, NV)
Vindstyrkor	3 (2 m/s, 4 m/s, 7 m/s)
Skiktningförhållanden	2 (oskiktat, sommarskiktning)
Ytförhållanden	2 (öppet vatten, isbelagt)
Totalt antal simuleringar / utsläppspunkt	49

*Tabell 3.2.6. Antagna väder-, skikt- och ytförhållanden vid de spridningssimuleringar i SeaTrack som har utförts i detta examensarbete.*

### 3.2.7 Lösta partiklar kontra sjunkande partiklar

Tidigare i denna rapport har aggregation av mikroorganismer, samt den sedimentation som aggregation medför, behandlats som en viktig del för att korrekt modellera mikroorganismers spridning i ytvatten. I SeaTrack finns möjlighet att simulera utsläpp av sedimenterande partiklar genom att ange en sedimentationshastighet med vilken partiklarna sjunker mot botten. Det är dock i verkligheten omöjligt att ange en sedimentationshastighet som gäller för samtliga utsläppta partiklar, då vissa kommer att transporteras såsom lösta partiklar, och andra kommer att transporteras i klumpar av aggregerade mikroorganismer och annat partikulärt material. Det finns få uppgifter om hur stor andel av patogena mikroorganismer i avloppsvatten som är lösta, respektive hur många som är associerade till annat material. Det är troligt att en andel av de patogena mikroorganismerna i avloppsvatten, är associerade med så pass stora partiklar och material, att de sedimenterar till botten relativt nära utsläppskällan. En andel kommer troligen att vara associerade med partiklar av en sådan storlek, att de fortfarande kan transporteras långa sträckor, trots att sedimentation påverkar deras transport i vattnet. Ytterligare en andel mikroorganismer kommer att transporteras som enskilda individer, med så liten storlek och vikt, att gravitation och sedimentation kan försummas i jämförelse med andra transportmekanismer i ytvattnet. Hur stora de olika andelarna är har ej gått att återfinna i litteraturen.

I de simuleringar av transport av mikroorganismer som har utförts i detta examensarbete har det antagits att samtliga mikroorganismer transporteras såsom lösta partiklar, opåverkade av sedimentation. Detta är naturligtvis en grov förenkling. Alternativet har varit att göra dubbla simuleringar, där en simulering görs för partiklar opåverkade av sedimentation, och en simulering med partiklar med en viss sedimentationshastighet. Det har dock visat sig vara mycket svårt att hitta relevanta litteraturuppgifter att grunda valen av sedimentationshastighet och andel sedimenterande partiklar på. Den alternativa metoden resulterar dessutom i dubbelt så många spridningssimuleringar, vilket av tidsmässiga skäl inte har varit genomförbart inom ramen för detta examensarbete. Valet av att simulera alla partiklar såsom opåverkade av sedimentation har ansetts utgöra en konservativ hållning, då möjligheterna till långväga transport kan antas vara större om partiklarna är opåverkade av sedimentation.

### 3.2.8 Inaktivering av mikroorganismer

Som nämnts tidigare i rapporten är det svårt att i litteraturen hitta relevanta inaktiveringstider avseende mikroorganismer i naturliga förhållanden. De studier som gjorts har till stor del utförts i laboriemiljö där stressfaktorer, i de flesta fall, studerats var och en för sig. Resultaten är också svåra att jämföra, då studierna skiljer sig åt i många avseenden. För att modellera avdödningen på ett meningsfullt sätt är det nödvändigt att utgå ifrån svenska förhållanden, kanske framför allt i avseende på vattentemperatur. Temperaturen i svenska ytvatten är ofta betydligt lägre än temperaturer i ytvatten i övriga Europa. Det bör medföra en längre överlevnad i svenska vatten, då avdödningen generellt är proportionell mot temperaturen. De inaktiveringstider som nämnts i tidigare kapitel tyder på att avdödningen av mikroorganismer, i synnerhet virus och protozoer, har liten betydelse under det tidförlopp av drygt tolv dygn som är möjliga

att simulera i SeaTrack. Vad det gäller *Campylobakter* kan påverkan av avdödning vara mer betydelsefull. I SeaTrack finns inte någon algoritm för att ta hänsyn till mikrobiell inaktivering. Det bör dock vara möjligt att i efterhand, utifrån de simulerade transporttiderna och inaktiveringstider från litteraturen, göra en modell som tar hänsyn till avdödning. Då litteraturdata är knapphändig, och då den begränsade data som finns tyder på att avdödningen inom det simulerade tidsförloppet är av begränsad betydelse, har det inte bedömts som resurseffektivt att inom ramen för detta examensarbete konstruera en dylik modell. Således tar simuleringsresultaten ingen hänsyn till den avdödning av mikroorganismen som sker mellan utsläppskällan och vattenverken. Den använda modellen är i detta avseende konservativ och överskattar koncentrationerna av mikroorganismerna i råvattnet.

### 3.2.9 Koncentrationer av patogena mikroorganismer i avloppsvatten

De fördelningar över koncentrationer av mikroorganismer i avloppsvatten som har använts i detta arbete är för *Cryptosporidium* och *Campylobakter* desamma som tidigare använts av Westrell vid den QMRA som genomförts vid VA-verket i Göteborg (Westrell et al. 2003). Samtliga fördelningar är log-normala vilket är en fördelning som ofta används för att beskriva förekomsten av mikroorganismer i naturen (Ottoson 2006).

För *Cryptosporidium* baserar sig fördelningen på en studie av Ottoson, i vilken en kartläggning av förekomsten av *Giardia* och *Cryptosporidium* i 4 svenska avloppsreningsverk har genomförts. I studien återfanns *Cryptosporidium* oocystor i 4 av 6 prov i koncentrationer mellan 16 och 200 oocystor/L (Ottoson 2001). Resultaten är i paritet med liknande studier genomförda i exempelvis England (Bukhari et al. 1997). Utifrån dessa studier har *Cryptosporidium* antagits ha en lognormal fördelning, med ett väntevärde av 60 och en standardavvikelse på 80 oocyst/L. I det statistikprogram som har använts, @Risk, kallas denna fördelning RiskLognorm(60; 80).

Fördelningen för *Campylobakter* baseras i Westrells arbete på en studie gjord av Höller 1988 där förekomsten av *Campylobakter* i en stor stad i Tyskland studerats (Höller 1988). Artikeln är skriven på tyska, och försök att återfinna den i digitalt format via internet har i detta arbete misslyckats. Utifrån denna studie antas *Campylobakter* i avloppsvatten ha en lognormal koncentrationsfördelning med ett väntevärde av 160000 och en standardavvikelse på 680000 bakterier/L. I @Risk heter den använda fördelningen RiskLognorm(16E4; 68E4).

För *Norovirus* har den antagna fördelningen baserats på koncentrationer uppmätta vid ett avloppsreningsverk vid Hammarby sjöstad, Stockholm, i en studie gjord av Ottoson m.fl. (Ottoson et al. 2006). I studien återfanns *Norovirus* i 8 av 22 prov. Koncentrationerna varierade mellan 550 och 4500 MPN/L (Most probable number – mest troliga antal) med ett medel på 300 MPN/L. Under vinterhalvåret återfanns *Norovirus* i 6 av 7 prov. Under resten av året återfanns *Norovirus* endast i 2 av 15 prov. Provresultaten tyder på en säsongsvis variation av *Norovirus*, med högre förekomstfrekvens under vintern än under resten av året. I detta examensarbete antas dock en konstant fördelning under året med ett väntevärde på 300 virus/L och en standardavvikelse på 1200. Fördelningen antas vara lognormal och kallas i @Risk för RiskLognorm(300; 1200).

### 3.3 Val av scenarion

Valen av utsläppsscenario för simulering har grundat sig på den översiktliga inventering av tänkbara föroreningskällor som har utförts. Genom kontakt med de till östra Mälaren kringliggande kommunerna, samt Stockholm Vatten AB, har kända bräddpunkter och potentiella utsläppskällor av avloppsvatten identifierats. Tre rapporter, framtagna för Stockholm vatten AB och Norrvatten, har också varit till stöd vid valen av scenarion. Dessa är:

- *Vattenskydd Östra Mälaren – Ytvattentäkterna Lovö, Norsborg, Görväln samt Skytteholm. VAI VA-Projekt AB 2001*
- *Konsekvensbedömning för skydds-zoner för vattenverken vid Lovö, Norsborg, Görväln samt Skytteholm. SWECO VIAK 2003*
- *Östra Mälaren – Rikbedömning av akuta händelser som kan orsaka råvattenförsämring. Tyréns 2007*

Vid valen av scenarion har framför allt fyra faktorer beaktats; storlek på utsläpp, närhet till vattenverken, utsläppens mikrobiella innehåll och utsläppsfrekvens.

#### 3.3.1 Påverkansområde

För att bestämma ett mikrobiellt påverkansområde runt vattenverken kan transporttiderna mellan utsläppskälla och vattenverk studeras. Simuleringar i SeaTrack har visat att föroreningar kan, Mälarens långa omsättningstid till trots, förflytta sig långa avstånd på en i mikrobiologiska avseenden relativt kort tid. Transporttiden styrs, enligt spridningsmodellen, till stor del av vilka vindförhållanden som råder vid tidpunkten för utsläppet och strax därefter. Exempelvis visar simuleringar av utsläpp vid modellens västra gräns, vid Selaön väster om de stora fjärdarna Prästfjärden och Stora Björkfjärden, att det vid sommarskiktning och vindar med en vindstyrka av 7 m/s i västlig riktning knappt tar fyra dygn, för att höga partikelkoncentrationer skall förekomma utanför Norsborgs reningsverk, förlagt 30 kilometer öst om utsläppspunkten. Om spridningsmodellen antas representera verkligheten kan det således inte uteslutas att en förorening, i gynnsamma förhållanden, kan ta sig i stort sätt över hela Mälaren inom en tillräckligt kort tid för att patogena mikroorganismer fortfarande kan vara livskraftiga. Hela SeaTracks beräkningsområde får därför anses utgöra vattenverkens mikrobiella påverkansområde.

Vid den inventering av avloppshantering och potentiella utsläppskällor vid Östra Mälaren som har utförts i detta arbete (se kapitel 2.5.2) har det inventerade området utgjorts av de för vattenverken föreslagna gemensamma skyddsområde enligt rapporten Vattenskydd Östra Mälaren, (VAI-VA Projekt AB 2001). Denna skydds-zon består, enligt ovan nämnda rapport, av ett vattenområde med cirka 3-6 timmars transporttid till vattenverken.

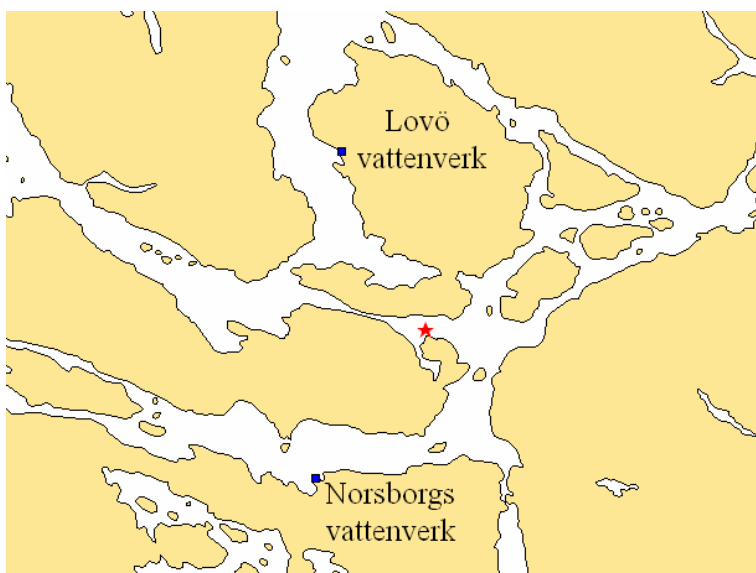
### 3.4 Utsläppsscenario

Nedan beskrivs de utsläppsscenario som valts för spridningssimuleringar samt en motivering till varför de valts.

#### 3.4.1 Ekebyhovs reningsverk, Ekerö

Inom den till vattenverken föreslagna yttre skyddszonen finns endast ett större kommunalt reningsverk; Ekebyhovs reningsverk. Placerat mitt emellan Norsborgs vattenverk och Lovö vattenverk, tar Ekebyhovs reningsverk emot avlopp från två tredjedelar av Ekerö kommuns 22000 invånare (SWECO VIAK 2003). Cirka 5000 m<sup>3</sup> avloppsvatten renas per dygn och leds därefter ut i Fiskarfjärden i Mälaren. Vid extrema flöden eller vid problem i driften av reningsverket kan stora volymer orenat avloppsvattenvatten nödvändigtvis ut i Mälaren. Det händer årligen att avloppsvatten nödvändigtvis på detta sätt. Utloppet utmynnar cirka 4 meter under vattenytan.

Storleken av utsläppsvolymer samt reningsverkets placering motiverar varför Ekebyhovs reningsverk har valts vid utsläppssimuleringarna. Det simulerade utsläppets placering redovisas i figur 3.4.1.



Figur 3.4.1. Stjärnan visar vald utsläppspunkt för simuleringar av avloppsutsläpp från Ekebyhovs reningsverk. Utsläppsdjupet har i simuleringarna antagits vara 4 meter.

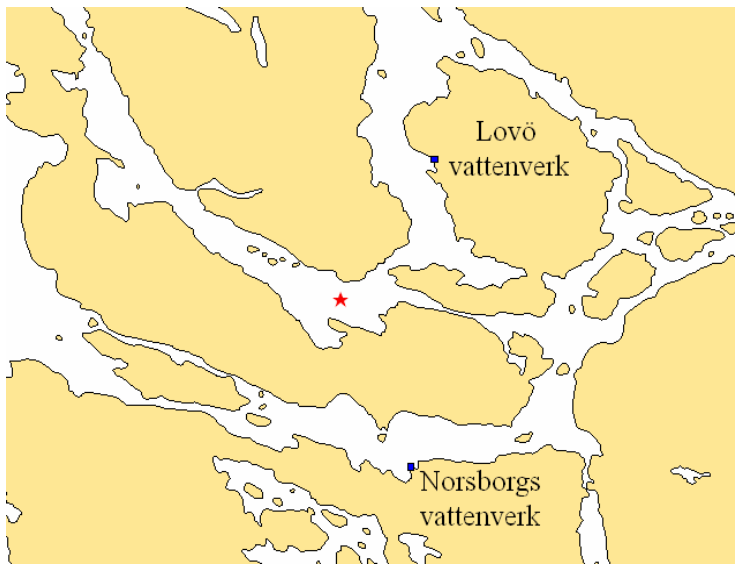
Avstånden från utsläppspunkten till de båda vattenverken vid Norsborg och Lovö är i SeaTrack uppmätta till 4550 respektive 4850 meter.

#### 3.4.2 Sjöförlagd spillvattenledning under Långtarmen, Ekerö

Den sjöförlagda ledningen under Långtarmen, det långsmala sundet mellan Ekerö och Färingsö, leder spillvatten från samhället Stenhamra till Ekebyhovs reningsverk. Flödet vid pumpstationen innan den sjöförlagda sträckan av ledningen har enligt tekniska förvaltningen i Ekerö kommun ett beräknat flöde av cirka 1050 m<sup>3</sup>/dygn. Ett läckage på ledningen medför att spillvatten leds ut i Långtarmen, som står i förbindelse med

Mörbyfjärden, ur vilken Lovö vattenverk tar sitt råvatten. Frekvensen för ledningsbrott och kraftigt läckage från spillvattenledningar är svår att uppskatta. Ett försök till uppskattning har gjorts i rapporten *Riskidentifiering av urbana VA-system* (Olofsson et al. 2001). I rapporten uppskattas frekvensen till 0,2 rörbrott per 10 km ledning och år. Utsläppet uppskattas i samma rapport kunna pågå under timmar till någon vecka beroende på hur snabbt läckaget upptäcks, samt på hur lång tid som krävs för att vidta åtgärder. På tekniska förvaltningen i Ekerö kommun uppskattas tiden för att stoppa ett läckage på spillvattenledningen under Långtarmen till mellan 12 och 24 timmar.

Ledningens närhet till främst Lovö vattenverk motiverar varför läckage på ledningen valts som ett scenario vid utsläppssimuleringarna. Det simulerade utsläppets placering redovisas i figur 3.4.2. Ledningen följer sjöbotten och läckage har i simuleringarna antagits ske på ett djup av 1,9 meter, som ungefärligen motsvarar bottendjupet för spridningsmodellen i den valda punkten.



Figur 3.4.2. stjärnan visar vald utsläppspunkt för simuleringar av läckage från spillvattenledning under Långtarmen. Utsläppet har i simuleringarna antagits ske på ett djup av 1,9 meter.

Avstånden från utsläppspunkten till de båda vattenverken vid Norsborg och Lovö är i SeaTrack uppmätta till 4750 respektive 4450 meter.

### 3.4.3 Brädning vid pumpstationen vid Träkvista brygga, Ekerö

Längst Ekerös södra strandkant, mitt emot Norsborgs reningsverk, ligger samhället Lundhagen. Totalt sex pumpstationer för avloppsvatten finns längs strandlinjen, av vilka pumpstationen vid Träkvista brygga har det största beräknade flödet, motsvarande 240 m<sup>3</sup>/dygn (tekniska förvaltningen Ekerö kommun). Brädning sker direkt till Mälaren i ett utlopp på ett ungefärligt djup av 1 meter. I rapporten *Riskidentifiering av urbana VA-system* (Olofsson m.fl. 2001) uppskattas frekvensen för haveri i pumpstation till 2,5 gånger per 100 anläggningar och år. Ur 2003, 2004 och 2005 års miljörapporter för Ekebyhavs reningsverk framgår det att frekvensen för driftstörningar i Ekerös



spillvattenpumpstationern verkar vara betydligt högre än så. Vid åtminstone 16 separata tillfällen under dessa 3 år har någon av Ekeröds 31 pumpstationer drabbats av driftstörningar som resulterat i bräddning. Detta motsvarar en frekvens på cirka 17 gånger per 100 anläggningar och år. Totalt har cirka 14450 m<sup>3</sup> avloppsvatten bräddats från pumpstationer i Ekerös kommun under de tre studerade åren.

Det korta avståndet mellan pumpstationens bräddutlopp och vattenintaget vid Norsborgs vattenverk motiverar valet av Träkvista brygga för utsläppssimuleringar. Det simulerade utsläppets placering redovisas i figur 3.4.3.



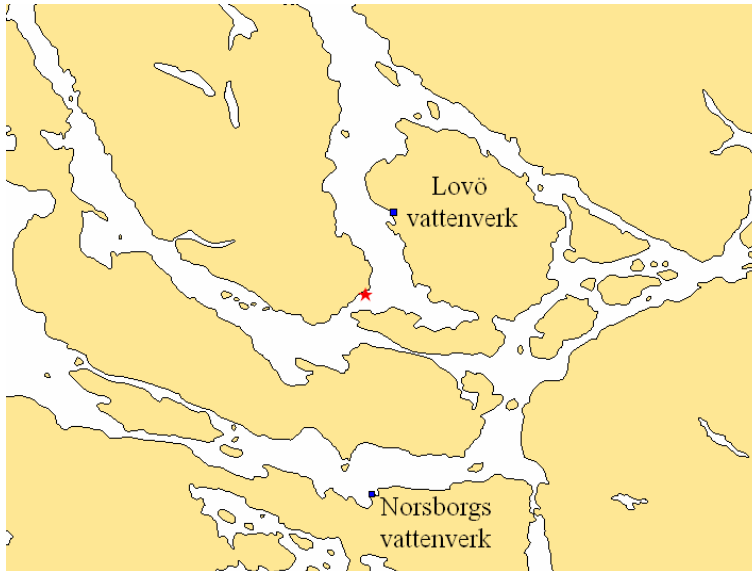
*Figur 3.4.3. Stjärnan visar vald utsläppspunkt för simuleringar av avloppsvattenutsläpp från bräddpunkten vid Träkvista brygga. Utsläppet har antagits ske på 1 meters djup.*

Avståndet från utsläppspunkten till Norsborgs vattenverk är i SeaTrack uppmätt till 1375 meter.

#### **3.4.4 Hammargårdens avloppsanläggning, Ekerö**

Vid Hammargården på Färingsös sydöstkust finns en avloppsanläggning godkänd för att ta emot avloppsvatten från 200 personer. Möjlighet till bräddning finns, enligt miljökontoret i Ekerö kommun, exempelvis vid strömavbrott. Någon frekvens för bräddning av anläggningen har ej uppskattats. Utloppet för anläggningen är placerat cirka 100 meter ut i Mörbyfjärden. Uppgifter om utsläppspunktens djup har ej erhållits.

Valet av Hammargårdens avloppsanläggning för utsläppssimuleringar motiveras av att anläggningen släpper ut spillvatten direkt i Mörbyfjärden, ur vilken Lovö vattenverk tar sitt råvatten. Det simulerade utsläppets placering redovisas i figur 3.4.4. Utsläppets djup har vid simuleringarna antagits vara 1,9 meter.



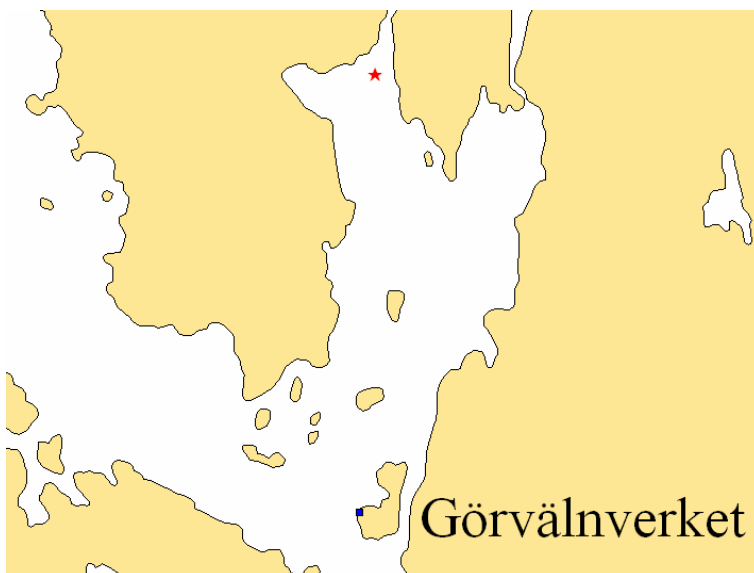
Figur 3.4.4. stjärnan visar vald utsläppspunkt för simuleringar av avloppsutsläpps från avloppsanläggningen vid Hammargården. Utsläppet har i simuleringarna antagits ske på 1,9 meters djup.

Avståndet från utsläppspunkten till vattenverket vid Lovö är i SeaTrack uppmätt till 2450 meter. Till vattenverken vid Görväln och Norsborg är avstånden uppmätta till 12350 respektive 5700 meter.

### 3.4.5 Befintlig sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket

Den sjöförlagda spillvattenledningen leder allt spillvatten från Kungsängen och Bro under Stäketsundet till Järfälla. Ledningens längd under vatten bedöms vara cirka 650 meter och det maximala djupet under vattenytan är cirka 15 meter. Ledningen har ett medelflöde av 8000 m<sup>3</sup>/dygn. Vid stora inläckage av dagvatten kan flödet uppgå till 20000 m<sup>3</sup>/s. Frekvensen för ledningsbrott och kraftigt läckage från spillvattenledningar uppskattas enligt rapporten *Riskidentifiering av urbana VA-system* (Olofsson m.fl. 2001) till 0,2 rörbrott per 10 km ledning och år. Utsläppet uppskattas i samma rapport kunna pågå under timmar till någon vecka beroende på hur snabbt läckaget upptäcks, samt på hur lång tid som krävs för att vidta åtgärder.

Det stora flödet av spillvatten samt ledningens närhet till Görvälns vattenverk motiverar valet av Stäketledningen för utsläppssimuleringar. Det simulerade utsläppets placering redovisas i figur 3.4.5. Utsläppets djup antas i simuleringarna vara 15 meter.



*Figur 3.4.5. Stjärnan visar vald utsläppspunkt för simuleringar av läckage från befintlig spillvattenledning vid Stäket. Utsläppet har i simuleringarna antagits ske på 15 meters djup.*

Avstånden från utsläppspunkten till vattenverken vid Görväl och Lovö är i SeaTrack uppmätta till 6250 respektive 16200 meter.

### **3.4.6 Planerad sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket**

Den planerade dragningen för den ledning som eventuellt skall ersätta den i föregående kapitel nämnda spillvattenledning, resulterar i att ledningen kommer cirka 1,5 kilometer närmare Görvälns vattenverk. Ledningens längd under vatten ökas också från tidigare cirka 650 meter till planerade 4600 meter. Det nya läget kan potentiellt bidra till högre koncentrationer mikroorganismer vid Görvälns vattenverk vid ett eventuellt läckage då transportavståndet minskas. Det bedöms sålunda som intressant att jämföra utsläppssimuleringar från en punkt på den befintliga ledningen, med en punkt på den planerade ledningen. Det simulerade utsläppets placering redovisas i figur 3.4.6. Utsläppet har i simuleringarna antagits ske på 13,5 meters djup, vilket ungefärligen motsvara bottendjupet i modellen vid den valda utsläppspunkten.



*Figur 3.4.6. Stjärnan visar vald utsläppspunkt för simuleringar av läckage från planerad spillvattenledning vid Stäket. Utsläppet har i simuleringarna antagits ske på ett djup av 13,5 meter.*

Avstånden från utsläppspunkten till vattenverken vid Görväln och Lovö är i SeaTrack uppmätta till 4600 respektive 14500 meter.

### **3.4.7 Bräddning vid pumpstationen vid Berghamns brygga**

Det mest västra området för bräddning från Stockholms ledningsnät är vid Lövstafjärden. Den punkt vid Lövstafjärden som under ett år med normal nederbörd beräknas ha störst bräddvolym, 565 m<sup>3</sup>/år, och högst bräddfrequens, 15 ggr/år, är pumpstationen vid Berghamns brygga. Berghamns brygga ligger ungefär mitt emellan Görvälns och Lovö vattenverk. Enlig uppgift från Stockholm Vatten AB innehåller det bräddade vattnet cirka 5 % spillvatten. Utsläppsdjupet är, enligt uppgift från Stockholms Vatten AB, cirka 1 meter.

Bräddpunktens förhållandevis stora bräddvolym och punktens placering mellan vattenverken motiverar valet av bräddpunkten vid Berghamns brygga för utsläppssimuleringar. Det simulerade utsläppets placering redovisas i figur 3.4.7. Utsläppet har i simuleringarna antagits ha ett djup av 1 meter.



Figur 3.4.7. Stjärnan visar vald utsläppspunkt för simuleringar av avloppsutsläpp för bräddpunktens vid Berghamns brygga. Utsläppet har i simuleringarna antagits ske på 1 meters djup.

Avstånden från utsläppspunkten till vattenverken vid Görvälnerket och Lovö är 5900 respektive 4850 meter.

### 3.5 Användning av väderdata

De data avseende väderförhållanden i östra Mälaren som har använts i detta examensarbete är hämtad från Stockholm Vatten ABs meteorologiska station vid Norsborgs vattenverk. De uppgifter som har erhållits är uppmätta under perioden 2001-02-04 till och med 2004-02-04. Två dygn under denna period, 2002-03-17 respektive 2002-03-18, saknar mätvärden. Väderdatan visar dygnsmedelvärden för vindriktning (grader mellan 0 – 360), samt dygnsmedelvärden för vindstyrka (m/s).

Varje års mätvärden har delats upp i två perioder, sommar respektive vinter, i syfte att ta hänsyn till de olika skiktförhållanden som kan bildas i Mälaren. Månadsvisa temperaturmätningar vid olika djup i Östra Mälaren visar på att en temperaturskiktning tenderar till att uppkomma i slutet på maj och vara till mitten på oktober (Lännergren 2002). Det har sålunda bedömts såsom lämpligt att indela åren i dels en period med sommarskiktning, från och med den 1 juni till och med den 15 oktober, och dels en period utan skiktning bestående av övrig tid.

Data för de olika perioderna har därefter sorterats efter rådande väderförhållanden enligt de 48 väderklasser som tidigare redovisats (se kapitel 3.2.6). Frekvensen för varje väderklass, det vill säga andelen dagar inom en viss väderklass av det totala antalet dagar under hela perioden, har beräknats.

Vid analys av tillgängliga meteorologisk data har det framkommit att vissa väderklasser inte är representerade i datamaterialet. Exempelvis har det under mätperioden aldrig

inträffat att medelvindriktningen under en mät dag varit åt norr. För att inte helt ignorera scenarion med nordliga vindar, eftersom dessa troligtvis kan förekomma även vid Mälaren, har dagar med vissa väderklasser lagts till i datamaterialet, så att varje väderklass skall vara representerad med åtminstone en frekvens motsvarande en dag ur respektive sommar och vinterperiod. För vinterperioden har följande 4 väderklasser adderats till datamaterialet; Nordlig vind 0 -2,5 m/s, Nordostlig vind 0 – 2,5 m/s, Nordlig vind 2,5 – 5 m/s samt Nordlig vind >5 m/s. För perioden med sommarskiktning har följande 5 väderklasser adderats till datamaterialet; Nordlig vind 0 – 2,5 m/s, Nordostlig vind 0 – 2,5 m/s, Nordvästlig vind 0 – 2,5 m/s, Nordlig vind 2,5 – 5 m/s samt Nordlig vind > 5 m/s.

Av statistik från SMHI ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)) framgår det att Östra Mälaren i genomsnitt är täckt av is cirka 78 dagar om året. Utifrån denna uppgift har frekvensen för väderklasserna under vinterperioden, justerats med faktorn  $(1-(78/228))$ , vilket motsvarar den andel av det totala antalet vinterdagar per år då östra Mälaren inte är täckt av is. Frekvensen som används i de väderscenarion då Mälaren är täckt av is är 78/365.

För att förtydliga hur frekvenserna för de olika väderklasserna har beräknats visas två exempel nedan:

*”Sydostlig vind, 0 – 2,5 m/s, sommarskiktning”:*

*Det totala antalet dagar under mätperioden som tillhör perioden med sommarskiktning är 411. Eftersom 5 dagar representerades de 5 väderklasser som ej påträffats under mätperioden, adderats till materialet, utgörs det bearbetade materialet av 416 dagar. Under mätperioden har 34 somrardagar registrerats med vindriktning åt SO och vindhastighet mellan 0 och 2,5 m/s. Frekvensen under sommarperioden för väderklassen ”SO vind 0 – 2,5 m/s”, blir således  $34/416=0,0817$ . Då perioden med sommarskiktning antas vara i 137 av 365 dagar på ett år beräknas den årliga frekvensen av väderklassen sommarskiktning med SO vind och vindhastighet 0 -2,5 m/s genom  $0,0817*(137/365)=0,0307$ .*

*”Ostlig vind, 0 – 2,5 m/s, vinterskiktning”:*

*Det totala antalet dagar under mätperioden som tillhör vinterperioden är 683. Eftersom 4 dagar representerades de 4 väderklasser som ej påträffats under mätperioden, adderats till materialet, utgörs det bearbetade materialet av 687 dagar. Under mätperioden har 20 vinterdagar registrerats med vindriktning åt O och vindhastighet mellan 0 och 2,5 m/s. Frekvensen under vinterperioden för väderklassen ”O vind 0 – 2,5 m/s” blir således  $20/687=0,0291$ . Eftersom Mälaren är täckt av is under cirka 78 av periodens 228 vinterdygn, och sålunda inte påverkas av vindförhållanden, justeras den beräknade frekvensen enligt  $0,0291*(1-78/228)=0,0191$ . Då perioden med vinterskiktning antas vara i 228 av 365 dagar på ett år beräknas den årliga frekvensen av väderklassen vinterskiktning med O vind och vindhastighet 0 -2,5 m/s genom  $0,0191*(228/365)=0,0120$ .*

## 4 Simuleringar

I kapitel 4.1 redovisas hur simuleringarna i SeaTrack har gått till. Hur resultaten från simuleringarna i SeaTrack vidare har använts i @Risk redovisas i kapitel 4.2. För varje vald utsläppspunkt redovisas i kapitel 4.3 vilka scenariospecifika antaganden som gjorts samt den information som antagandena baseras på.

### 4.1 Simuleringar i SeaTrack

För var och en av de 7 utvalda utsläppspunkterna (se kapitel 3.4) har simuleringar gjorts i de 49 väderklasser som har antagits i kapitel 3.2.6. Spridningsförloppet har följts för varje tidssteg om 1 timma. För varje väderklass har det maximala antalet partiklar inom de i kapitel 3.2.1 valda volymboxarna utanför respektive vattenverk noterats. För varje simulering har det också noterats vid vilken tid första respektive sista partikel har befunnit sig inom de valda volymboxarna, samt tidpunkten för det maximala antalet partiklar inom varje volymbox. Resultatet av simuleringarna i SeaTrack redovisas i Bilaga 2.

#### 4.1.1 Grundinställningar i SeaTrack

Vid samtliga simuleringar har utsläppen antagits vara momentana, bestående av 300 lösta partiklar som ej kan fastna på land. Simuleringstiden har vid alla utsläppspunkter, med undantag av Berghamns brygga, varit 298 timmar. Enligt användarhandledningen som medföljer SeaTrack skall det vara möjligt att simulera hela 300 timmar, men detta har vid upprepade försök misslyckats i detta arbete. Skillnaden mellan resultat från simuleringar med 300 timmar jämfört med resultat från 298 timmar är dock troligtvis försumbar. För Berghamns brygga har simuleringstiden varit 288 timmar, då detta var den simuleringstid på 12 dygn som användes vid testsimuleringarna i kapitel 3.2.1, från samma utsläppspunkt. De saknade 10 simuleringstimmarna bör inte ha någon större inverkan på slutresultatet. Tidsperioden vid simuleringar i SeaTrack anges med datum och klockslag, och har i detta arbete startat 2007-02-01 klockan 00:00 och varat till och med 2007-02-13 klockan 10:00 (med undantag av Berghamns brygga som följaktligen har en sluttid 10 timmar tidigare, d.v.s. 2007-02-13 klockan 00:00). Volymen av utsläppet har angetts till  $50 \text{ m}^3$  och vattentemperaturen har antagits vara  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Densiteten har antagits vara  $999 \text{ kg/m}^3$ . Varken tidpunkten på året, vattentemperaturen, densiteten eller vald utsläppsvolym skall enligt uppgift från SMHI påverka hur partiklarna sprids i simuleringar med lösta ämnen. Således har de ovan antagna värdena på vattentemperatur, utsläppsvolym, densitet och tidpunkt på året ingen praktisk betydelse för simuleringresultatet.

#### 4.1.2 Beräkning av koncentration

För att kunna beräkna koncentration av partiklar utanför vattenverken behövs kännedom om antalet partiklar i, samt volymen av, de studerade volymboxarna. Antalet partiklar har fått genom att helt enkelt räkna det maximala antalet partiklar i var och en av

volymboxarna. Volymen har bestämts genom att den, utifrån SeaTrack beräknade, arean av de 3 rutor som redovisas i figur 3.2.1a–3.2.1b, har multipliceras med de djupintervall som studeras. Då Görvälns och Lovös vattenverk har intagningsdjup på 4 respektive 5 meter studeras djupintervallet 2–8 meter utanför dessa verk. Samtliga tre vattenverk har dessutom vattenintag på djup större än 8 meter varvid djupintervallet från 8 meter och ner till botten studeras utanför samtliga verk. För att bestämma bottennivån i de 3 valda rutorna har djupet testats i 5 punkter i vardera ruta. Då programmet meddelar om ett antaget utsläppsdjup vid en utsläppspunkt är för djupt i förhållande till de bottennivåer som spridningsmodellen grundar sig på, är det möjligt att testa bottennivån genom att pröva vilka utsläppsdjup som godkänns av programmet i en viss punkt. Resultatet från djuptesten i vardera testpunkt, samt de antagna bottendjupen, det vill säga de beräknade medeldjupen i vardera ruta, redovisas i tabell 4.1.2a.

Utanför Lovö vattenverk har ett antal punkter upptäckts, i vilka ett utsläppsdjup på flera hundra meter kan antas, utan att SeaTrack protesterar. Detta är naturligtvis inte rimliga bottendjup, och skall enligt SeaTracks användarhandledningen inte vara möjliga att anta. Troligtvis föreligger det ett fel i spridningsprogrammets inprogrammerade bottennivå i dessa punkter. Resultaten från dessa testpunkter har ersatts av bottendjup i närliggande punkter med mer rimliga bottennivåer.

Vattenverk	Koordinater (m i RT 90)	Bottennivå (m)
Görväln	N 6590237; Ö 1610237	23,9
	N 6590394; Ö 1610142	20,2
	N 6590437; Ö 1610276	20,1
	N 6590040; Ö 1610225	28,1
	N 6590079; Ö 1610343	27,9
Görväln medeldjup		24,0
Lovö	N 6580335; Ö 1613688	44,8
	N 6580297; Ö 1613868	44,6
	N 6580203; Ö 1613631	43,1
	N 6580286; Ö 1613598	36,7
	N 6580287; Ö 1613795	36,2
Lovö medeldjup		41,1
Norsborg	N 6572445; Ö 1613179	19,5
	N 6572557; Ö 1613128	12,9
	N 6572518; Ö 1613247	9,4
	N 6572353; Ö 1613221	9,2
	N 6572384; Ö 1613102	12,8
Norsborg medeldjup		12,8

Tabell 4.1.2a. Bottendjup vid olika punkter bestämda genom djuptest i SeaTrack Östra Mälaren.

Tabell 4.1.2b redovisar de studerade rutornas beräknade areor, samt djupen och de beräknade volymerna för de studerade volymboxarna.



	Görveln 2-8	Görveln >8	Lövö 2-8	Lövö >8	Norsborg >8
Area (m <sup>2</sup> )	61740	61740	70470	70470	31489
Djup (m)	6,0	16,0	6,0	33,1	4,8
Volym (m <sup>3</sup> )	370440	987840	422820	2332557	151147

Tabell 4.1.2b. Beräknade areor, djup och volymer för de studerade volymboxarna.

Varje enskild partikel i spridningssimuleringarna antas utgöra 1/300 del av den totala utsläppsvolymen. Om utsläppsvolymen,  $V_{\text{utsläpp}}$ , och koncentrationen av mikroorganismer i utsläppet,  $C_{\text{utsläpp}}$ , är kända är det möjligt att beräkna koncentrationen mikroorganismer utanför vattenverken,  $C_{\text{vattenverk}}$ , enligt ekvation 4.1.2.

$$C_{\text{vattenverk}} = V_{\text{utsläpp}} * C_{\text{utsläpp}} * \frac{N_p}{300 * V_{\text{box}}} \quad (\text{Ekvation 4.1.2})$$

$N_p$  är antalet partiklar i volymboxen, och  $V_{\text{box}}$  är boxens volym. Detta förutsätter att koncentrationen av mikroorganismer i boxen kan antas vara homogen, det vill säga att mikroorganismerna är jämt utspridda i hela volymen.

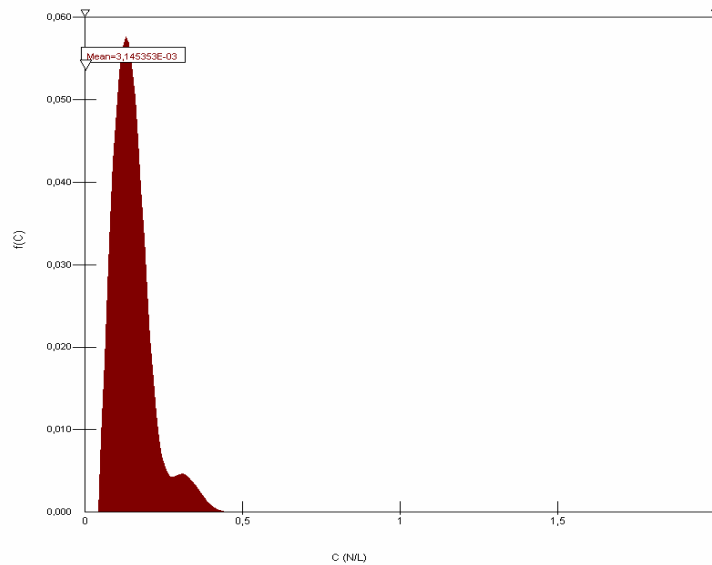
## 4.2 Simuleringar i @Risk

De resultat som har erhållits ur spridningssimuleringar i SeaTrack, det vill säga det maximala antalet partiklar inom varje studerad volymbox för varje väderklass och utsläppskälla, har använts för att beräkna en utspädningsfaktor motsvarande  $N_p/(300 * V_{\text{box}})$  i ekvation 4.1.2. Denna faktor är ett mått på hur stor utspädning av det ursprungliga utsläppet som har skett under transporten från utsläppskällan fram till vattenverken. Faktorn är oberoende av utsläppets volym och koncentration, vilket möjliggör att fördelningar för utsläppsvolym och utsläppskoncentration helt enkelt kan multipliceras med varandra, och med utspädningsfaktorn, för att en fördelning över den maximala koncentrationen av mikroorganismer vid vattenverken skall erhållas för varje väderklass. Frekvensen för en viss utspädningsfaktor har erhållits genom att addera frekvenserna för de väderklasser som resulterat i samma utspädningsfaktor. De olika frekvenserna för de olika utspädningsfaktorerna, har för varje utsläppskälla bildat en diskret fördelning över utspädningsfaktorn, för var och en av de studerade volymboxarna vid vattenverken. Genom att multiplicera denna diskreta fördelning,  $p(U)$ , med fördelningar för utsläppets volym,  $f(V_{\text{utsläpp}})$ , och koncentration,  $f(C_{\text{utsläpp}})$ , har det för varje utsläppskälla beräknats en frekvensfördelning för maximalkoncentrationer av de olika mikroorganismerna,  $f(C_{\text{vattenverk}})$ , utanför vart och ett av vattenverken, enligt ekvation 4.2. Frekvensfördelningen  $f(C_{\text{vattenverk}})$  är modellens approximation av sannolikhetsfördelningen för vilka maximala koncentrationer som kan nå fram till de olika vattenverken från olika utsläppskällor.

$$f(C_{\text{vattenverk}}) = f(V_{\text{utsläpp}}) * f(C_{\text{utsläpp}}) * p(U) \quad (\text{Ekvation 4.2})$$

För att bestämma  $f(C_{\text{vattenverk}})$  har MonteCarlo-simuleringar utförts i @Risk. I dessa har 10000 iterationer utförts. Detta innebär att programmet har beräknat koncentrationen utanför varje vattenverk,  $C_{\text{vattenverk}}$ , 10000 gånger, genom att för varje gång ta ett värde ur vardera ingående fördelning.

I figur 4.2 visas en graf över den i @Risk framtagna fördelningen  $f(C_{\text{vattenverk}})$  avseende koncentrationen av *Cryptosporidium* vid volymboxen i djupintervallet mellan 2-8 meter utanför Görvälns vattenverk. Grafen avser ett utsläpp från den befintliga spillvattenledningen vid Stäket.



Figur 4.2. Grafen visar den framtagna fördelningen  $f(C_{\text{vattenverk}})$  avseende koncentrationen av *Cryptosporidium* vid volymboxen i djupintervallet mellan 2-8 meter utanför Görvälns vattenverk. Grafen avser ett utsläpp från den befintliga spillvattenledningen vid Stäket.

### 4.3 Scenariospecifika antaganden

I detta kapitel beskrivs vilka antaganden som gjorts för varje utsläppskälla för att erhålla fördelningarna  $f(V_{\text{utsläpp}})$  och  $f(C_{\text{utsläpp}})$ , för beräkning av  $f(C_{\text{vattenverk}})$  enligt ekvation 4.2.

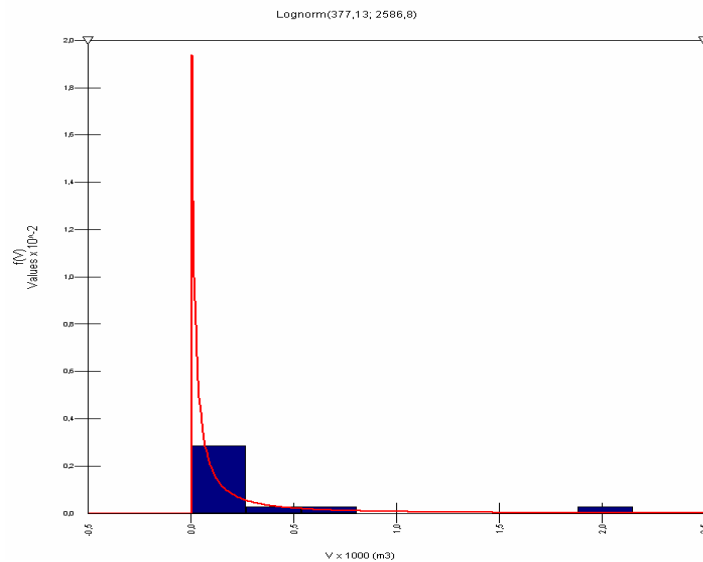
#### 4.3.1 Ekebyhovs reningsverk, Ekerö

För att få en uppfattning om utsläppsfrekvens och utsläppsvolymer från Ekebyhovs reningsverk har de tre senaste årens miljörapporter från reningsverket studerats (Ekebyhovs reningsverks miljörapporter för år 2003, 2004, 2005). Av dem framgår det att verket har nödavlett sammanlagt 3625 m<sup>3</sup> orenat avloppsvatten under totalt 18 dygn. Vid en muntlig kontakt med en ansvarig för reningsverket har det framkommit att den största kända bräddningen av spillvatten vid verket skedde 1997, då 7000 m<sup>3</sup> orenat avloppsvatten släpptes ut under två dygn (Anders Garmark, muntligen 2007). Datum och volymer för bräddningarna vid Ekebyhovs reningsverk redovisas i tabell 4.3.1. Flera utsläpp, som har skett inom loppet av en vecka, har i tabellen angivits som ett bräddtillfälle. Utsläppen i november 2004, med drygt 2 veckors tidsskillnad, har ansetts vara 2 separata bräddtillfällen.

<i>Datum för bräddning vid Ekebyhavs reningsverk</i>	<i>Bräddvolym (m<sup>3</sup>)</i>
4/2-2003	2153
18/3-2003	412
4/2-2004	567
(17+22)/3-2004	53
28/4-2004	2
14/6-2004	10
5/7-2004	71
9/11-2004*	9
24/11-2004*	9
6/1-2005	7
12/6-2005	59
(25+27+28)/7-2005	208
(8+10+15)/8-2005	139

*Tabell 4.3.1. Datum och bräddvolym för Ekebyhavs reningsverk enligt verkets miljörapporter från 2003-2005. \*I miljörapporten för 2004 är utsläppen den 9/11 och 24/11 angivna med en total volym av 18 m<sup>3</sup> som här har delats upp i 2 likvärdiga utsläpp av vardera 8 m<sup>3</sup>.*

Utifrån denna utsläppsdata har en sannolikhetsfördelning över ett utsläpps förväntade volym tagits fram genom bearbetning av data i programmet BestFit. BestFit är den del av det tidigare nämnda statistikprogrammet @Risk som föreslår lämpliga fördelningar till inmatad data. Den antagna fördelningen för utsläppsvolym,  $f(V_{\text{utsläpp}})$ , som har använts vid beräkningarna i detta arbete har varit den av BestFit föreslagna lognormalfördelningen, med väntevärdet 377,13 och standardavvikelsen 2586,8. I programmet @Risk heter denna funktion RiskLognorm(377,13 ; 2586,8). En grafisk bild över hur väl den antagna fördelningen överensstämmer med de indata som har använts redovisas i figur 4.3.1. Hur väl den antagna fördelningen överensstämmer med indata beskrivs också av Chi-square-värdet som för denna anpassning i BestFit beräknats till 0,62. I den antagna fördelningen är sannolikheten för ett utsläpp större än 7000 m<sup>3</sup> 0,007, vilket motsvarar en ungefärlig återkomsttid av 30 år.



Figur 4.3.1. Den antagna fördelningen (röd linje) i förhållande till de indata som har använts. Bild från statistikprogrammet BestFit.

Eftersom Ekerö har ett duplikat avloppssystem, har allt vatten som når reningsverket antagits vara 100% spillvatten. Koncentrationerna av mikroorganismer i utsläppet,  $f(C_{\text{utsläpp}})$ , har således antagits vara fördelade enligt de sannolikhetsfördelningar som tidigare beskrivits i kapitel 3.2.9.

### 4.3.2 Sjöförlagd spillvattenledning under Långtarmen, Ekerö

För att bestämma en fördelning för utsläppsvolymer,  $f(V_{\text{utsläpp}})$ , vid läckage från den sjöförlagda spillvattenledningen under Långtarmen, har uppgifter om flödet i ledningen och utsläppets förväntade varaktighet använts.

Uppgifter om det beräknade flödet vid Brandholmens pumpstation, som är den pumpstation som trycker vattnet genom ledningen, har erhållits från Ekerö kommun. Enligt dessa uppgifter är flödet 43,6 m<sup>3</sup>/h. Flödet i ledningen har i detta arbete antagits vara normalfördelat med ett väntevärde på 43,6 m<sup>3</sup>/h och en standardavvikelse på 5. I @Risk heter fördelningen RiskNormal(43,6; 5).

Enligt uppgifter från tekniska förvaltningen i Ekerös kommun varar ett läckage från ledningen i bästa fall cirka 12 timmar, och i värsta fall cirka 24 timmar. Varaktigheten på utsläppet har i detta arbete antagits vara likformigt fördelad med minsta värde 12 timmar och största värde 24 timmar. Denna fördelning kallas i @Risk för RiskUniform(12; 24).

En fördelning över förväntade utsläppsvolymer vid läckage på ledningen under Långtarmen, motsvarande  $f(V_{\text{utsläpp}})$  i ekvation 4.2, erhålls genom att multiplicera fördelningen för utsläppets varaktighet med fördelningen för flödet i ledningen.

Eftersom Ekerö har ett duplikat avloppssystem har allt vatten som läcker ut från ledningen antagits vara 100% spillvatten. Koncentrationerna av mikroorganismer i utsläppet,  $f(C_{\text{utsläpp}})$ , har således antagits vara fördelade enligt de sannolikhetsfördelningar som tidigare beskrivits i kapitel 3.2.9.

#### **4.3.3 Bräddning vid pumpstationen vid Träkvista brygga, Ekerö**

På samma sätt som i föregående utsläppsscenario har fördelningen för den förväntade utsläppsvolymen vid pumpstationen vid Träkvista brygga beräknats genom en fördelning för utsläppets förväntade varaktighet, samt en fördelning över det förväntade flödet genom pumpstationen.

I uppgifter från tekniska förvaltningen i Ekerös kommun anges flödet genom pumpstationen vid Träkvista brygga vara  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ . I detta arbete har flödet antagits vara normalfördelat med ett väntevärde av 10 och en standardavvikelse av 3. Denna fördelning kallas i @Risk för RiskNormal(10; 3).

Uppgifter från Ekebyhovs reningsverks miljörapporter för 2003-2005 tyder på att varaktigheten av bräddningar från pumpstationer i Ekerö kommun kan vara upp till 9 dygn. Då de utsläppssimuleringar som har utförts i SeaTrack har antagits vara momentana har det bedömts som olämpligt att låta en momentan spridningssimulering motsvara ett utsläpp med varaktigheten 9 dygn. Varaktigheten på utsläppet har i simuleringarna begränsats till en maximal varaktighet av 2 dygn. Utsläppen har antagits vara uniformt fördelad med minsta värde 1 timme och största värde 48 timmar. Denna fördelning kallas i @Risk för RiskUniform(1; 48).

Eftersom Ekerö har ett duplikat avloppssystem har allt vatten som bräddas vid pumpstationen vid Träkvista brygga från antagits vara 100% spillvatten. Koncentrationerna av mikroorganismer i utsläppet,  $f(C_{\text{utsläpp}})$ , har således antagits vara fördelade enligt de sannolikhetsfördelningar som tidigare beskrivits i kapitel 3.2.9.

#### **4.3.4 Hammargårdens avloppsanläggning, Ekerö**

Den fördelning som har använts för den förväntade utsläppsvolymen vid en bräddning från Hammargårdens avloppsanläggning baseras på uppgifter om antalet anslutna, producerad mängd avloppsvatten per ansluten, samt förväntad varaktighet av utsläppet.

Avloppsanläggningen är av tillsynsmyndigheten godkänd för att motta avloppsvatten från 200 personer. I arbetet har antalet anslutna antagits variera mellan 100 och 200 med ett troligaste värde på 150. Antalet har antagits vara triangelfördelat. Denna fördelning kallas i @Risk för RiskTriang(100; 150; 200).

Mängden producerat avloppsvatten per ansluten har uppskattats ur uppgifter från tekniska förvaltningen i Ekerös kommun gällande volym avloppsvatten per invånare i olika områden inom kommunen. Volymerna varierar mellan  $0,15 \text{ m}^3/\text{dygn}$  upp till  $0,30 \text{ m}^3/\text{dygn}$ . I detta arbete har volymen producerat avloppsvatten per ansluten antagits vara

triangelfördelad med ett minsta värde av  $0,15 \text{ m}^3/\text{dygn}$ , ett troligaste värde av  $0,20 \text{ m}^3/\text{dygn}$  och ett största värde av  $0,30 \text{ m}^3/\text{dygn}$ .

Inga uppgifter har erhållits om varaktigheten av en eventuell bräddning vid avloppsanläggningen. Bräddning har anses kunna förekomma framför allt vid strömavbrott, då pumpen i anläggningen stannar. Kortvariga strömavbrott med varaktigheten någon timme har i detta arbete antagits vara dominerande, men avbrott upp till två dygn har antagits kunna förekomma. Fördelningen över varaktigheten har antagits vara triangelfördelad med ett minsta värde av  $0,04 \text{ dygn}$  (cirka 1 h) och ett största värde av  $2 \text{ dygn}$ . Det troligaste värdet för bräddningens varaktighet har antagits vara samma som minsta värdet, det vill säga  $0,04 \text{ dygn}$ . Fördelningen benämns i @Risk som RiskTriang(0,04; 0,04; 2).

Allt vatten som bräddas vid avloppsanläggningen vid Hammargården har antagits vara 100% spillvatten. Fördelningarna för koncentrationen av mikroorganismer i utsläppet,  $f(C_{\text{utsläpp}})$ , har således antagits följa de sannolikhetsfördelningar som tidigare beskrivits i kapitel 3.2.9.

#### 4.3.5 Befintlig sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket

För att bestämma en fördelning för utsläppsvolymer,  $f(V_{\text{utsläpp}})$ , vid läckage från den sjöförlagda spillvattenledningen under vid Stäket, har uppgifter om flödet i ledningen och utsläppets förväntade varaktighet använts.

I de uppgifter som erhållits från Upplands-Bros kommun anges ledningen ha ett medelflöde av  $8000 \text{ m}^3/\text{dygn}$ , ett minimiflöde av  $6000 \text{ m}^3/\text{dygn}$  och ett maximalt flöde av  $12000 \text{ m}^3/\text{dygn}$ . Flödet har i detta arbete antagits vara normalfördelat med ett väntevärde på  $8000 \text{ m}^3/\text{dygn}$  och en standardavvikelse på  $1685 \text{ m}^3/\text{dygn}$ . Standardavvikelsen har valts så att percentil 99 motsvarar det angivna maxflödet av  $12000 \text{ m}^3/\text{dygn}$ . Fördelningen har begränsats så att det lägsta möjliga värdet som flödet kan anta är  $6000 \text{ m}^3/\text{dygn}$ . Funktionen i @Risk kallas RiskNormal(8000; 1685; riskTruncate(6000;)).

Inga uppgifter har erhållits om ett potentiellt utsläpps troliga varaktighet. Varaktigheten har i arbetet antagits vara triangelfördelat, med ett lägsta värde av  $0,5 \text{ dygn}$ , ett troligaste värde av  $1 \text{ dygn}$ , och ett högsta värde av  $2 \text{ dygn}$ . Fördelningen kallas i @Risk för RiskTriang(0,5; 1; 2).

En fördelning över förväntade utsläppsvolymer vid läckage på ledningen under Långtarmen, motsvarande  $f(V_{\text{utsläpp}})$  i ekvation 4.2, erhålls genom att multiplicera fördelningen för utsläppets varaktighet med fördelningen för flödet i ledningen.

Eftersom Upplands-Bro har ett duplikat avloppssystem har allt vatten vid ett eventuellt läckage på spillvattenledningen antagits vara 100% spillvatten. Koncentrationerna av mikroorganismer i utsläppet,  $f(C_{\text{utsläpp}})$ , har således antagits vara fördelade enligt de sannolikhetsfördelningar som tidigare beskrivits i kapitel 3.2.9.

#### 4.3.6 Planerad sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket

Samma fördelningar, avseende utsläppsvolym och koncentrationer av mikroorganismer i ett eventuellt utsläpp, som tidigare har använts vid utsläppsscenarioet med läckage från den befintliga spillvattenledningen, har även använts vid utsläppsscenarioet med läckage från den planerade ledningen.

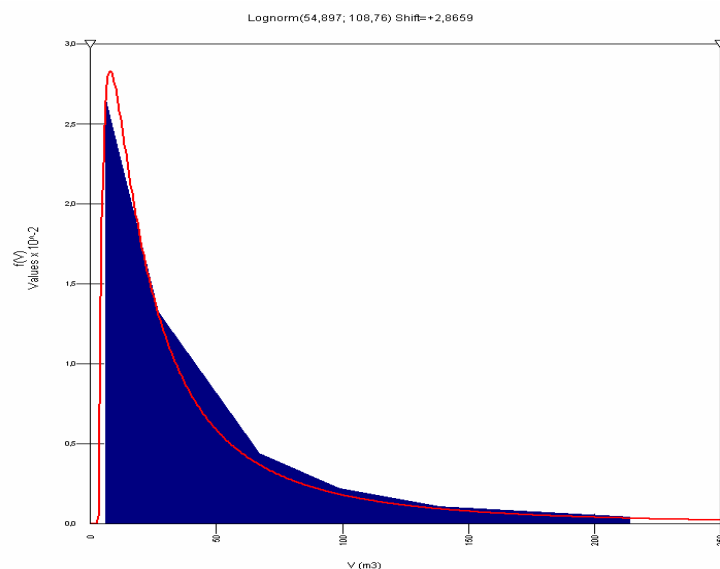
#### 4.3.7 Bräddning vid pumpstationen vid Berghamns brygga

Vid antagandet av fördelningen för den förväntade utsläppsvolymer från pumpstationen vid Berghamns brygga har uppgifter från *Plan 2002 – Bräddning från ledningsnätet i Stockholm* (Kjellson 2002) använts. I rapporten finns beräknade utsläppsvolymer från olika bräddpunkter baserade på nederbördsmängder för ett normalår. Uppgifter för Berghamns brygga redovisas i tabell 4.3.7.

Bräddvolymer vid Berghamns brygga (m <sup>3</sup> )	Bräddfrekvens (ggr/år)
6	12
27	6
67	2
99	1
138	0,5
214	0,2

Tabell 4.3.7. Bräddvolymer och bräddfrekvens för pumpstationen vid Berghamns brygga ett år med normal nederbörd. Bearbetad efter Kjellson 2002.

I programmet BestFit har en fördelning över de förväntade utsläppsvolymerna anpassats med utgångspunkt från bräddfrekvens och bräddvolym i tabell 4.3.7. En övre gräns för vilket värde bräddvolymen kan anta har satts till 1000 m<sup>3</sup> per bräddtillfälle. En grafisk redovisning av hur väl den antagna fördelningen stämmer överens med de indata som har använts visas i figur 4.3.7. Hur väl den antagna fördelningen överensstämmer med indata beskrivs också av RMSErr (Root-Mean Squared Error) som i BestFit beräknats till 1,2E<sup>-7</sup>.



Figur 4.3.7. Den antagna fördelningen (röd linje) i förhållande till de indata som har använts. Bild från statistikprogrammet BestFit.

Den antagna fördelningen för utsläppsvolymer är lognormal med ett väntevärde av  $54,897 \text{ m}^3$  och en standardavvikelse på  $108,76$ . Fördelningen är förskjuten med  $+2,8659$ , vilket innebär att den minsta möjliga utsläppsvolymer vid en bräddning antas vara cirka  $3 \text{ m}^3$ . I @Risk tecknas den antagna fördelningen som `RiskLognorm(54,897; 108,76; RiskShift(2,8659); RiskTruncate(; 1000 ))`.

Enligt uppgift från Stockholm Vatten består det bräddade vattnet normalt till 95 % av dagvatten och endast till 5 % av spillvatten. I simuleringarna i @Risk har det bräddade vattnets spillvatteninnehåll antagits vara normalfördelat runt 0,05 (5 %), med en standardavvikelse av 0,02. För att inte utsläppsvolymer skall kunna anta ett negativt värde har fördelningen avgränsats med ett lägsta värde av 0 % spillvatten. I @Risk benämns den antagna fördelningen `RiskNormal(0,05; 0,02; RiskTruncate(0;))`. För att erhålla den förväntade volymen spillvatten vid en eventuell bräddning från Berghamns brygga, har fördelningen för den totala utsläppsvolymer multiplicerats med fördelningen för andelen spillvatten i utsläppet.



## 5 Resultat

Resultaten från beräkningarna av de maximala koncentrationer som kan uppkomma vid utsläpp från de olika utsläppskällorna redovisas i kapitel 5.1. Kapitel 5.2 redovisar det försök till validering av utsläppsmodellen som har utförts.

### 5.1 Resultat från de olika utsläppsscenarioerna

För varje utsläppskälla redovisas modelleringsresultaten från de 10000 iterationer som utförts i @Risk i två tabeller. Tabellerna visar ett antal nyckeltal avseende vilka maximala koncentrationer av mikroorganismer som kan uppkomma vid vattenverkens vattenintag.

Tabell (a) i varje delkapitel, redovisar de uppskattade sannolikheterna för att ett utsläpp från en specifik utsläppskälla skall nå de olika studerade volymboxarna inom cirka 300 timmar. Uppskattningarna grundar sig på den sammanlagda frekvensen av de väderklasser som resulterat i att de simulerade utsläppen nått fram till vattenverken.

Tabell (b) i varje delkapitel, visar mått på den förväntade frekvensen för maxkoncentrationer av mikroorganismer utanför varje vattenverk, givet att ett utsläpp från en utsläppskälla har inträffat. De nyckeltal som har valts för resultatpresentationen i tabell (b) är; medelkoncentration, minimikoncentration, maximal koncentration,  $p(x>0,1)$ ,  $p(x>1)$ ,  $p(x>10)$ , samt  $P_{99}$ . Medelkoncentrationen är det genomsnittliga värdet av de 10000 maxkoncentrationer som har beräknats i MonteCarlo-simuleringarna. Minimi- och maximal koncentration är den lägsta respektive den högsta koncentration som har beräknats vid simuleringarna.  $p(x>0,1)$  motsvarar den andel av simuleringarna som resulterat i en koncentration under 0,1 mikroorganismer/L. På samma sätt motsvarar  $p(x>1)$  och  $p(x>10)$  de andelar av simuleringarna som resulterat i koncentrationer under 1 respektive 10 mikroorganismer/L.  $P_{99}$  motsvara den 99:de percentilen, det vill säga, en koncentration som endast överstigs av 1 % av de 10000 simuleringarna.

Utöver de två tabellerna visas för varje utsläppskälla också en bild från utsläppssimuleringarna i SeaTrack. Bilden visar hur de simulerade partiklarna är spridda vid den tidpunkt då det största antalet partiklar finns inom en av de studerade rutorna utanför vattenverken.

I Bilaga 3 redovisas, utöver de i detta kapitel redovisade nyckeltalen för resultaten av MonteCarlo-simuleringarna, även  $p(x>0,001)$ ,  $p(x>0,01)$ ,  $P_{95}$  samt  $P_{99,9}$ . Fullständiga resultat från simuleringarna i SeaTrack redovisas i bilaga 2. I bilagan återfinns för varje väderklass och utsläppskälla det maximala antalet partiklar inom de i kapitel 3.2.1 valda volymboxarna utanför respektive vattenverk. För varje simulering har det också noterats vid vilken tid första respektive sista partikel har befunnit sig inom de valda volymboxarna, samt tidpunkten för det maximala antalet partiklar inom varje volymbox.

Vid vissa scenarion är sannolikheten att ett utsläpp skall nå ett visst vattenverk mycket små, tex 1/100 eller 1/1000. I sådana fall skiljer sig kanske bara 10 av 10000

simuleringsresultat från koncentrationen 0. Detta innebär att den uppskattning av sannolikheter för en vis koncentration som redovisas i tabell b i varje delkapitell, i ett sådant fall endast baseras på ett tiotal värden. Genom att i den diskreta fördelningen för utspädningsfaktorn (se kapitel 4.2) ta bort sannolikheten för att utspädningsfaktorn skall vara 0, det vill säga att inga partiklar når vattenverket, kan en uppskattad sannolikhetsfördelning för koncentrationen av mikroorganismer vid ett vattenverk givet att utsläppet når fram till verket erhållas. Genom att i efterhand multiplicera in sannolikheten för att utsläppet skall nå vattenverket kan den nya fördelningen ge kompletterande information till tabell b utan att antalet simuleringar utökas. I Bilaga 4 redovisas tabeller för de olika utsläppsscenarioerna innehållande koncentrationer och uppskattade sannolikheter för koncentrationer, givet att utsläppen når fram till respektive vattenverk.

### 5.1.1 Ekebyhavs reningsverk, Ekerö

Utsläppssimuleringarna visar på, att ett utsläpp från Ekebyhavs reningsverk, vid ogymsamma väderförhållanden, kan nå samtliga vattenverk inom den studerade tidsperioden (Tabell 5.1.1a). Simuleringsresultaten tyder på att Görvälns vattenverk, har större sannolikhet att drabbas av partiklar från ett eventuellt utsläpp, än vattenverket på Lovö. Norsborgs vattenverk har lägst uppskattad sannolikhet att drabbas av ett utsläpp från Ekebyhavs reningsverk.

<i>Volymbox</i>	<i>Uppskattad sannolikhet</i>
Lovö 2m - 8m	0,134
Lovö >8m	0,0866
Görväln 2m - 8m	0,137
Görväln >8m	0,137
Norsborg >8m	0,00359

*Tabell 5.1.1a. Uppskattad sannolikhet för att ett utsläpp från Ekebyhavs reningsverk skall transporteras till vattenintagen vid vattenverken.*

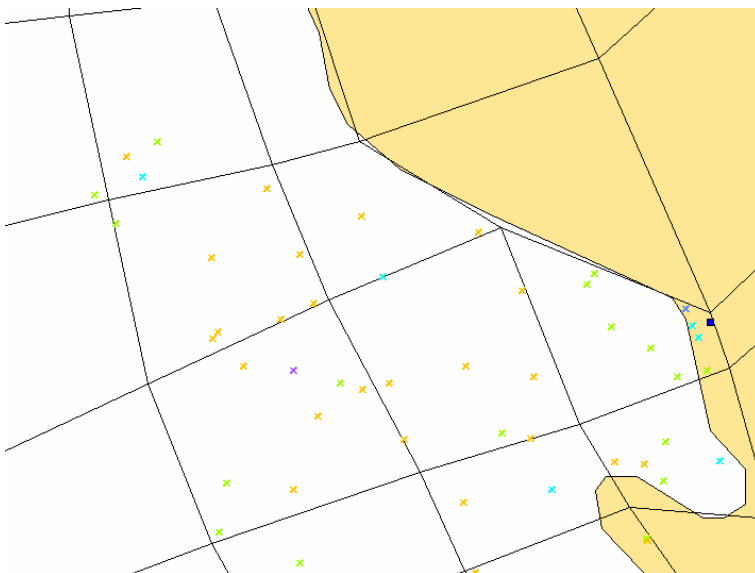
Av tabell 5.1.1b framgår det att de beräknade koncentrationerna av *Cryptosporidium* och *Norovirus* är under 1 organism/L för samtliga verk. Frekvensen för simuleringar med koncentrationer av *Campylobakter* över 1 organism/L är som högst  $1,7E^{-2}$  vilket motsvarar cirka 2 gånger per 100 utsläpp.

Spridningssimuleringar i SeaTrack för senarioberäkning av microbiella  
patogenkoncentrationer i Östra Mälaren

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
<b>Lövö 2-8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	8,0E-05	0	8,6E-02	0	0	0	1,3E-03
<i>Norovirus</i>	3,4E-04	0	2,2E-01	7,0E-04	0	0	4,6E-03
<i>Campylobacter</i>	1,4E-01	0	8,8E+01	5,1E-02	1,7E-02	3,0E-03	2,2E+00
<b>Lövö &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	9,0E-06	0	1,9E-02	0	0	0	1,3E-04
<i>Norovirus</i>	3,2E-05	0	3,3E-02	0	0	0	3,5E-04
<i>Campylobacter</i>	2,2E-02	0	5,7E+01	1,5E-02	3,2E-03	4,0E-04	1,9E-01
<b>Görväln 2-8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	5,4E-05	0	3,3E-02	0	0	0	1,2E-03
<i>Norovirus</i>	3,6E-04	0	7,0E-01	5,0E-04	0	0	3,8E-03
<i>Campylobacter</i>	1,5E-01	0	2,2E+02	5,4E-02	1,6E-02	1,7E-03	1,8E+00
<b>Görväln &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	8,9E-06	0	4,3E-03	0	0	0	1,8E-04
<i>Norovirus</i>	4,8E-05	0	1,3E-01	1,0E-04	0	0	6,2E-04
<i>Campylobacter</i>	2,2E-02	0	1,7E+01	2,1E-02	4,4E-03	4,0E-04	3,3E-01
<b>Norsborg &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	4,6E-06	0	1,9E-02	0	0	0	0
<i>Norovirus</i>	1,7E-05	0	8,7E-02	0	0	0	0
<i>Campylobacter</i>	1,9E-03	0	4,6E+00	2,4E-03	3,0E-04	0	0

Tabell 5.1.1b. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från Ekebyhovs reningsverk. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer givet att ett utsläpp har skett.

Figur 5.1.1 visar partiklarnas utbredning vid den tidpunkt då flest partiklar har befunnit sig i någon av de studerade volymboxarna. I scenariot med utsläpp från Ekebyhovs reningsverk har simuleringen av väderklassen ”sydöstlig vind, 7 m/s, sommarskiktning” resulterat i det största antalet partiklar i någon av volymboxarna. 8 partiklar befinner sig, 28 timmar efter utsläppet, i djupintervallet 2-8 meter i den studerade rutan utanför Lovö vattenverk.



Figur 5.1.1. Bilden visar spridningen av partiklar 28 timmar efter utsläppet från Ekebyhovs reningsverk vid väderklassen ”SO, 7 m/s, sommarskiktning”. Brunfärgade partiklar befinner på större djup än 8 meter medan gröna och turkosa partiklar finns i djupintervallet 2-8 meter. Partiklar av annan färg befinner sig yttligare än 2 meter.

### 5.1.2 Sjöförlagd spillvattenledning under Långtarmen, Ekerö

Tabell 5.1.2a visar att inga simuleringar av utsläpp från spillvattenledningen under Långtarmen har resulterat i att partiklar nått den studerade volymboxen utanför Norsborgs vattenverk. Inte helt oväntat visar simuleringarna att Lovö vattenverk är det vattenverk som har högst uppskattad sannolikhet att drabbas av utsläpp från ett läckage på ledningen.

Volymbox	Uppskattad sannolikhet
Lövö 2m - 8m	0,201
Lövö >8m	0,180
Görveln 2m - 8m	0,0803
Görveln >8m	0,146
Norsborg >8m	0

Tabell 5.1.2a. Uppskattad sannolikhet för att ett utsläpp från ett läckage på spillvattenledningen under Långtarmen skall transporteras till vattenintagen vid vattenverken.

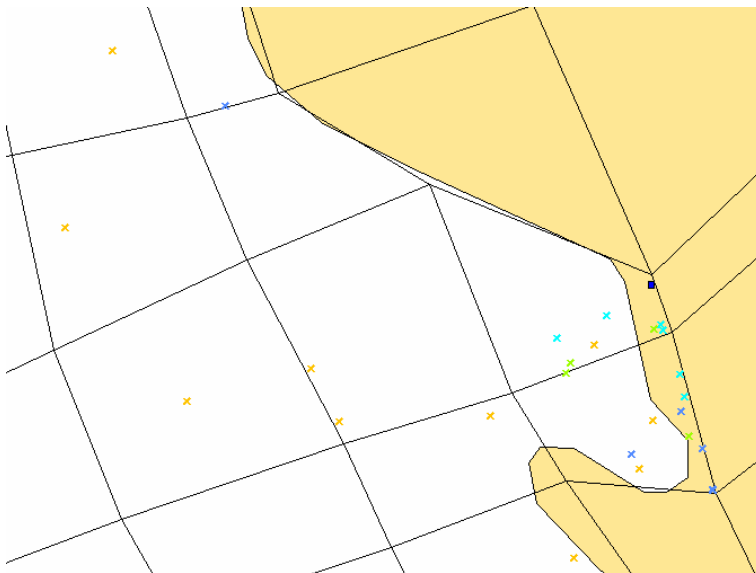
I de simuleringar som har utförts av läckage på spillvattenledningen under Långtarmen har inga koncentrationer av *Cryptosporidium* eller *Norovirus* över 1 organism/L erhållits. Den uppskattade frekvensen av utsläpp som når denna koncentration vad det gäller *Campylobakter* är som högst  $5,1E^{-2}$ . Detta inträffar i djupintervallet 2-8 meter utanför Lovö vattenverk.

Spridningssimuleringar i SeaTrack för senarioberäkning av microbiella  
patogenkoncentrationer i Östra Mälaren

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
<b>Lövö 2-8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	1,1E-04	0	1,5E-02	0	0	0	1,9E-03
<i>Norovirus</i>	6,1E-04	0	1,7E-01	4,0E-04	0	0	1,3E-02
<i>Campylobacter</i>	2,6E-01	0	1,1E+02	1,5E-01	5,1E-02	4,4E-03	5,2E+00
<b>Lövö &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	2,0E-05	0	2,2E-03	0	0	0	3,6E-04
<i>Norovirus</i>	1,0E-04	0	2,9E-02	0	0	0	1,9E-03
<i>Campylobacter</i>	6,0E-02	0	4,2E+01	7,5E-02	1,1E-02	4,0E-04	1,1E+00
<b>Görväln 2-8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	3,3E-05	0	1,4E-02	0	0	0	7,9E-04
<i>Norovirus</i>	1,6E-04	0	4,3E-02	0	0	0	3,3E-03
<i>Campylobacter</i>	8,8E-02	0	5,3E+01	5,4E-02	1,6E-02	1,4E-03	1,7E+00
<b>Görväln &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	3,7E-05	0	3,7E-03	0	0	0	7,0E-04
<i>Norovirus</i>	1,7E-04	0	1,0E-01	1,0E-04	0	0	3,1E-03
<i>Campylobacter</i>	1,2E-01	0	1,3E+02	8,3E-02	2,1E-02	1,5E-03	2,0E+00

Tabell 5.1.2b. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från läckage på spillvattenledning under Långtarmen. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer givet att ett utsläpp har skett.

Figur 5.1.2 visar partiklarnas utbredning vid den tidpunkt då flest partiklar har befunnit sig i någon av de studerade volymboxarna. I scenariot med läckage på spillvattenledningen under Långtarmen har simuleringen av väderklassen ”nordvästlig vind, 4 m/s, sommarskiktning” resulterat i det största antalet partiklar i någon av volymboxarna. 6 partiklar befinner sig, 228 timmar efter utsläppet, i djupintervallet 2-8 meter i den studerade rutan utanför Lovö vattenverk.



Figur 5.1.2. Bilden visar spridningen av partiklar 228 timmar efter utsläppet från spillvattenledningen under Långtarmen vid väderklassen "NV, 4 m/s, sommarskiktning". Brunfärgade partiklar befinner sig på större djup än 8 meter medan gröna och turkosa partiklar finns i djupintervallet 2-8 meter. Partiklar av annan färg befinner sig ytligare än 2 meter.

### 5.1.3 Bräddning vid pumpstationen vid Träkvista brygga, Ekerö

Enligt simuleringarna drabbar bräddningar från pumpstationen vid Träkvista brygga främst Norsborgsvattenverk (tabell 5.1.3a). En väderklass, "Sydostlig vind, 7 m/s, sommarskiktning", resulterade i att en partikel efter 231 timmar även nådde Lovö vattenverk.

Volymbox	Uppskattad sannolikhet
Lövö 2m - 8m	0,000902
Lövö >8m	0
Görveln 2m - 8m	0
Görveln >8m	0
Norsborg >8m	0,0920

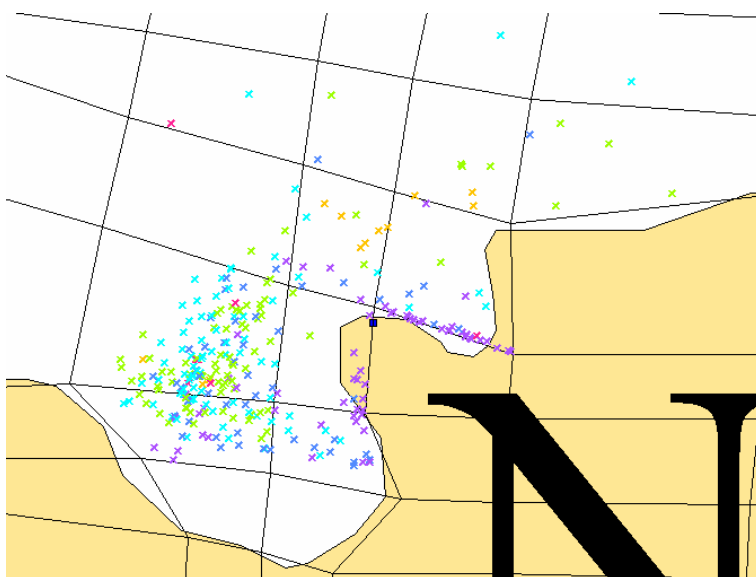
Tabell 5.1.3a. Uppskattad sannolikhet för att ett utsläpp från en bräddning vid pumpstationen i Träkvista brygga skall transporteras till vattenintagen vid vattenverken.

I de simuleringar som utförts av en bräddning vid pumpstationen i Träkvista brygga har inga koncentrationer av *Cryptosporidium* eller *Norovirus* över 1 organism/L erhållits (tabell 5.1.3b). Den uppskattade frekvensen av utsläpp som når denna koncentration vad det gäller *Campylobakter* är som högst 0,014. Att värdena för  $P_{99}$  för Lovö är 0 innebär att minst 99% av simuleringarna har resulterat i koncentration 0, något som överensstämmer bra med den uppskattade sannolikheten för partiklar att nå Lovö, som redovisas i tabell 5.1.3a.

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
Lövö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,6E-07	0	2,8E-04	0	0	0	0
<i>Norovirus</i>	6,1E-06	0	5,2E-02	0	0	0	0
<i>Campylobacter</i>	4,3E-04	0	1,5E+00	1,0E-03	1,0E-04	0	0
Norsborg >8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,0E-05	0	6,1E-03	0	0	0	7,8E-04
<i>Norovirus</i>	1,8E-04	0	1,7E-01	1,0E-04	0	0	3,6E-03
<i>Campylobacter</i>	7,8E-02	0	6,5E+01	5,1E-02	1,4E-02	1,0E-03	1,3E+00

Tabell 5.1.3b. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från pumpstationen vid Träkvista brygga. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer givet att ett utsläpp har skett.

Figur 5.1.3 visar partiklarnas utbredning vid den tidpunkt då flest partiklar har befunnit sig i någon av de studerade volymboxarna. I scenariot med bräddning från pumpstationen vid Träkvista brygga har simuleringen av väderklassen ”nordlig vind, 2 m/s, sommarskiktning” resulterat i det största antalet partiklar i någon av boxarna. 6 partiklar befinner sig, 148 timmar efter utsläppet, på ett djup större än 8 meter i den studerade rutan utanför Norsborgs vattenverk. I flera av simuleringarna har stora ansamlingar av partiklar cirkulerat i bukten väster om Norsborgs vattenverk. De flest partiklar befinner sig dock ytligare än 8 meter.



Figur 5.1.3. Bilden visar spridningen av partiklar 148 timmar efter utsläppet från pumpstationen vid Träkvista brygga vid väderklassen ”N, 2 m/s, sommarskiktning”. Brunfärgade partiklar befinner på större djup än 8 meter medan gröna och turkosa partiklar finns i djupintervallet 2-8 meter. Partiklar av annan färg befinner sig ytligare än 2 meter.

### 5.1.4 Hammargårdens avloppsanläggning, Ekerö

Av tabell 5.1.4a framgår att utsläpp från avloppsanläggningen vid Hammargården i spridningssimuleringarna har nått samtliga studerade volymboxar. Den uppskattade sannolikheten för att ett utsläpp skall nå vattenverken är störst för vattenverket på Lovö. Minst sannolikt är det enligt simuleringresultaten att ett utsläpp når Norsborgs vattenverk.

<i>Volymbox</i>	<i>Uppskattad sannolikhet</i>
Lövö 2m - 8m	0,396
Lövö >8m	0,377
Görveln 2m - 8m	0,165
Görveln >8m	0,173
Norsborg >8m	0,000902

*Tabell 5.1.4a. Uppskattad sannolikhet för att ett utsläpp från avloppsanläggningen vid Hammargården skall transporteras till vattenintagen vid vattenverken.*

I de simuleringar som har utförts av utsläpp från avloppsanläggningen vid Hammargården har inga koncentrationer av *Cryptosporidium* eller *Norovirus* över 1 organism/L erhållits (tabell 5.1.4b). Den uppskattade sannolikheten av utsläpp som når denna koncentration vad det gäller *Campylobakter* är som högst 0,0095.

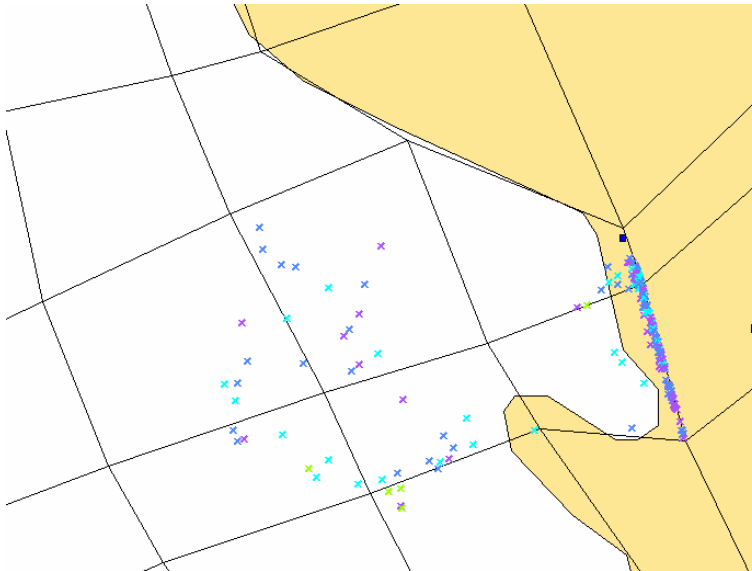


Spridningssimuleringar i SeaTrack för senarioberäkning av microbiella  
patogenkoncentrationer i Östra Mälaren

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
Lovö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	2,2E-05	0	3,7E-03	0	0	0	3,6E-04
<i>Norovirus</i>	1,1E-04	0	9,6E-02	0	0	0	2,2E-03
<i>Campylobacter</i>	6,3E-02	0	7,3E+01	7,7E-02	9,5E-03	6,0E-04	9,3E-01
Lovö >8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,7E-06	0	2,6E-04	0	0	0	2,4E-05
<i>Norovirus</i>	9,2E-06	0	4,6E-03	0	0	0	1,7E-04
<i>Campylobacter</i>	5,1E-03	0	1,2E+00	9,6E-03	4,0E-04	0	9,7E-02
Görväln 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	7,1E-06	0	1,0E-03	0	0	0	1,5E-04
<i>Norovirus</i>	4,0E-05	0	4,0E-02	0	0	0	7,5E-04
<i>Campylobacter</i>	1,9E-02	0	6,4E+00	3,2E-02	3,1E-03	0	3,9E-01
Görväln >8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,5E-06	0	3,3E-04	0	0	0	2,8E-05
<i>Norovirus</i>	6,8E-06	0	2,1E-03	0	0	0	1,4E-04
<i>Campylobacter</i>	3,8E-03	0	1,3E+00	7,7E-03	2,0E-04	0	8,0E-02
Norsborg >8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,7E-08	0	2,4E-04	0	0	0	0
<i>Norovirus</i>	1,3E-07	0	7,3E-04	0	0	0	0
<i>Campylobacter</i>	6,3E-05	0	4,9E-01	1,0E-04	0	0	0

Tabell 5.1.4b. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från avloppsanläggningen vid Hammargården Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer givet att ett utsläpp har skett.

Figur 5.1.4 visar partiklarnas utbredning vid den tidpunkt då flest partiklar har befunnit sig i någon av de studerade volymboxarna. I scenariot med utsläpp från avloppsanläggningen vid Hammargården har simuleringen av väderklassen ”västlig vind, 2 m/s, sommarskiktning” resulterat i det största antalet partiklar i någon av volymboxarna. 26 partiklar befinner sig, 271 timmar efter utsläppet, i djupintervallet 2-8 meter i den studerade rutan utanför Lovö vattenverk. Som synes i figur 5.1.4 befinner sig flertalet av partiklarna inne vid strandkanten. Vattenverkets intagningspunkter ligger mellan 65 och 290 meter ut i vattnet (VAI VA-Projekt AB 2001).



Figur 5.1.4. Bilden visar spridningen av partiklar 271 timmar efter utsläppet från avloppsanläggningen vid Hammargården vid väderklassen "V, 2 m/s, sommarskiktning". Brunfärgade partiklar befinner sig på större djup än 8 meter medan gröna och turkosa partiklar finns i djupintervallet 2-8 meter. Partiklar av annan färg befinner sig yligare än 2 meter.

### 5.1.5 Befintlig sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket

Av tabell 5.1.5a framgår det att den uppskattade sannolikheten för att ett utsläpp skall nå någon av de studerade volymboxarna är störst för djupintervallet 2-8 meter utanför Görvelns vattenverk. Inga partiklar i simuleringarna har transporterats till vattenverket vid Norsborg.

Volymbox	Uppskattad sannolikhet
Lövö 2m - 8m	0,00180
Lövö >8m	0,000902
Görveln 2m - 8m	0,164
Görveln >8m	0,0766
Norsborg >8m	0

Tabell 5.1.5a. Uppskattad sannolikhet för att ett utsläpp från den befintliga spillvattenledningen vid Stäket skall transporteras till vattenintagen vid vattenverken.

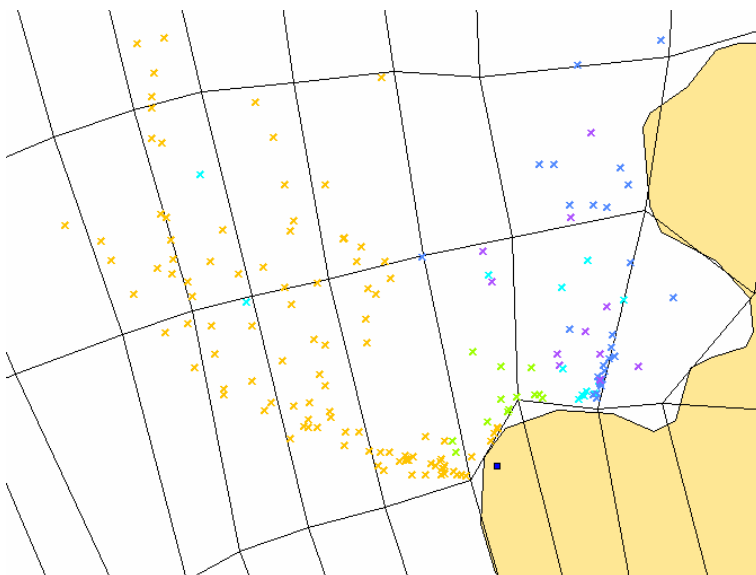
I de simuleringar som har utförts av utsläpp från den befintliga spillvattenledningen vid Stäket har frekvensen för koncentrationer över 1 organism/L som högst varit 0,00010, 0,0030 samt 0,12 avseende *Cryptosporidium*, *Norovirus* och *Campylobakter* (tabell 5.1.5b).

Spridningssimuleringar i SeaTrack för senarioberäkning av microbiella  
patogenkoncentrationer i Östra Mälaren

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
Lovö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	8,2E-06	0	1,9E-02	0	0	0	0
<i>Norovirus</i>	3,1E-05	0	1,6E-01	1,0E-04	0	0	0
<i>Campylobacter</i>	5,2E-02	0	1,9E+02	2,0E-03	1,3E-03	5,0E-04	0
Lovö >8							
<i>Cryptosporidium</i>	5,1E-07	0	2,0E-03	0	0	0	0
<i>Norovirus</i>	1,9E-05	0	1,8E-01	1,0E-04	0	0	0
<i>Campylobacter</i>	1,2E-03	0	7,5E+00	6,0E-04	2,0E-04	0	0
Görväln 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,2E-03	0	1,4E+00	6,0E-03	1,0E-04	0	7,3E-02
<i>Norovirus</i>	1,7E-02	0	1,8E+01	2,5E-02	3,0E-03	1,0E-04	3,1E-01
<i>Campylobacter</i>	7,7E+00	0	4,7E+03	1,5E-01	1,2E-01	6,2E-02	1,5E+02
Görväln >8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,9E-04	0	1,4E-01	4,0E-04	0	0	7,5E-03
<i>Norovirus</i>	1,7E-03	0	1,8E+00	3,3E-03	2,0E-04	0	2,2E-02
<i>Campylobacter</i>	8,2E-01	0	1,2E+03	7,1E-02	4,4E-02	1,3E-02	1,4E+01

Tabell 5.1.5b. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från den befintliga spillvattenledningen vid Stäket. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer givet att ett utsläpp har skett.

Figur 5.1.5 visar partiklarnas utbredning vid den tidpunkt då flest partiklar har befunnit sig i någon av de studerade volymboxarna. I scenariot med läckage från den befintliga spillvattenledningen vid Stäket har simuleringen av väderklassen ”nordvästlig vind, 7 m/s, sommarskiktning” resulterat i det största antalet partiklar i någon av volymboxarna. 32 partiklar befinner sig, 28 timmar efter utsläppet, på ett djup större än 8 meter i den studerade rutan utanför Görvälns vattenverk.



Figur 5.1.5. Bilden visar spridningen av partiklar 28 timmar efter utsläppet från den befintliga spillvattenledningen vid Stäket vid väderklassen "NV, 7 m/s, sommarskiktning". Brunfärgade partiklar befinner sig på större djup än 8 meter medan gröna och turkosa partiklar finns i djupintervallet 2-8 meter. Partiklar av annan färg befinner sig ytligare än 2 meter.

### 5.1.6 Planerad sjöförlagd spillvatten ledning vid Stäket

Av tabell 5.1.6a framgår det, att den uppskattade sannolikheten för att ett utsläpp från den planerade spillvattenledningen vid Stäket, skall nå någon av de studerade volymboxarna, är störst utanför Görvälns vattenverk. Inga partiklar i simuleringarna har transporterats till vattenverket vid Norsborg.

Volymbox	Uppskattad sannolikhet
Lövö 2m - 8m	0,00630
Lövö >8m	0,00449
Görveln 2m - 8m	0,115
Görveln >8m	0,125
Norsborg >8m	0

Tabell 5.1.6a. Uppskattad sannolikhet för att ett utsläpp från den planerade spillvattenledningen vid Stäket skall transporteras till vattenintagen vid vattenverken.

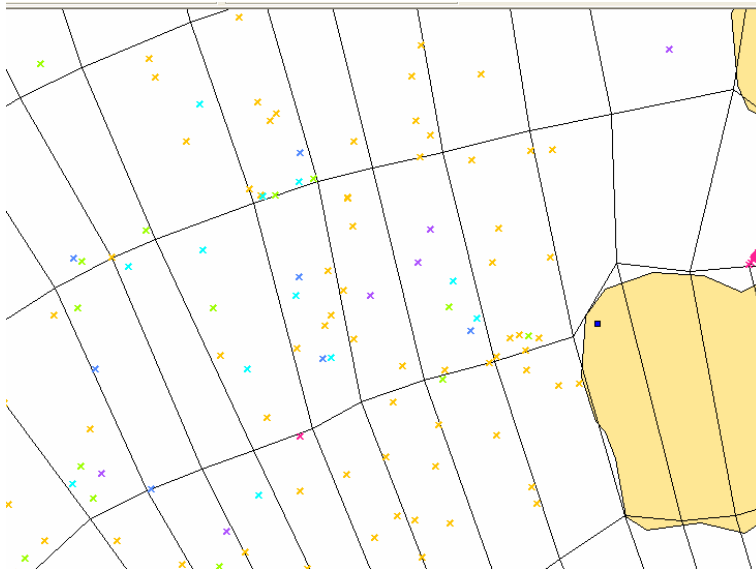
I de simuleringar som har utförts av utsläpp från den planerade spillvattenledningen under Stäket har frekvensen för koncentrationer över 1 organism/L som högst varit 0,0008 och 0,087 avseende *Norovirus* respektive *Campylobakter* (tabell 5.1.5b). För *Cryptosporidium* har inga koncentrationer över 1 organism/L erhållits.

Spridningssimuleringar i SeaTrack för senarioberäkning av microbiella  
patogenkoncentrationer i Östra Mälaren

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
Lovö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	2,5E-05	0	2,5E-02	0	0	0	0
<i>Norovirus</i>	1,0E-04	0	2,9E-01	2,0E-04	0	0	0
<i>Campylobacter</i>	1,1E-01	0	3,5E+02	6,3E-03	4,2E-03	1,5E-03	0
Lovö >8							
<i>Cryptosporidium</i>	4,8E-06	0	7,0E-03	0	0	0	0
<i>Norovirus</i>	2,2E-05	0	5,7E-02	0	0	0	0
<i>Campylobacter</i>	1,2E-02	0	4,9E+01	3,9E-03	1,7E-03	2,0E-04	0
Görväln 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,1E-03	0	2,8E-01	1,2E-03	0	0	2,3E-02
<i>Norovirus</i>	5,5E-03	0	3,5E+00	1,1E-02	8,0E-04	0	1,1E-01
<i>Campylobacter</i>	3,2E+00	0	2,8E+03	1,1E-01	8,7E-02	3,6E-02	5,2E+01
Görväln >8							
<i>Cryptosporidium</i>	4,7E-04	0	1,1E-01	1,0E-04	0	0	1,1E-02
<i>Norovirus</i>	2,4E-03	0	1,5E+00	4,5E-03	2,0E-04	0	4,8E-02
<i>Campylobacter</i>	1,5E+00	0	2,0E+03	1,2E-01	7,2E-02	2,1E-02	2,3E+01

Tabell 5.1.6b. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från den planerade spillvattenledningen vid Stäket. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer givet att ett utsläpp har skett.

Figur 5.1.6 visar partiklarnas utbredning vid den tidpunkt då flest partiklar har befunnit sig i någon av de studerade volymboxarna. I scenariot med läckage från den planerade spillvattenledningen vid Stäket har simuleringen av väderklassen ”nordlig vind, 7 m/s, vinterskiktning” resulterat i det största antalet partiklar i någon av volymboxarna. 10 partiklar befinner sig, 242 timmar efter utsläppet, på ett djup större än 8 meter i den studerade rutan utanför Görvälns vattenverk.



Figur 5.1.6. Bilden visar spridningen av partiklar 242 timmar efter utsläppet från den planerade spillvattenledningen vid Stäket vid väderklassen "N, 7 m/s, vinterkiktning". Brunfärgade partiklar befinner sig på större djup än 8 meter medan gröna och turkosa partiklar finns i djupintervallet 2-8 meter. Partiklar av annan färg befinner sig yligare än 2 meter.

### 5.1.7 Bräddning vid pumpstationen vid Berghamns brygga

Simuleringarna som har utförts för scenariot med avloppsutsläpp från pumpstationen vid Berghamns brygga, tyder på att utsläppet kan nå samtliga verk under ogynnsamma väderförhållanden. Sannolikheten att utsläppet skall påträffas i någon av de studerade volymboxarna uppskattas vara störst för boxarna på ett djup större än 8 meter utanför Lovö och Görveln (tabell 5.1.7a).

Volymbox	Uppskattad sannolikhet
Lovö 2m - 8m	0,196
Lovö >8m	0,282
Görveln 2m - 8m	0,247
Görveln >8m	0,284
Norsborg >8m	0,00120

Tabell 5.1.7a. Uppskattad sannolikhet för att ett utsläpp från pumpstationen vid Berghamns brygga skall transporteras till vattenintagen vid vattenverken.

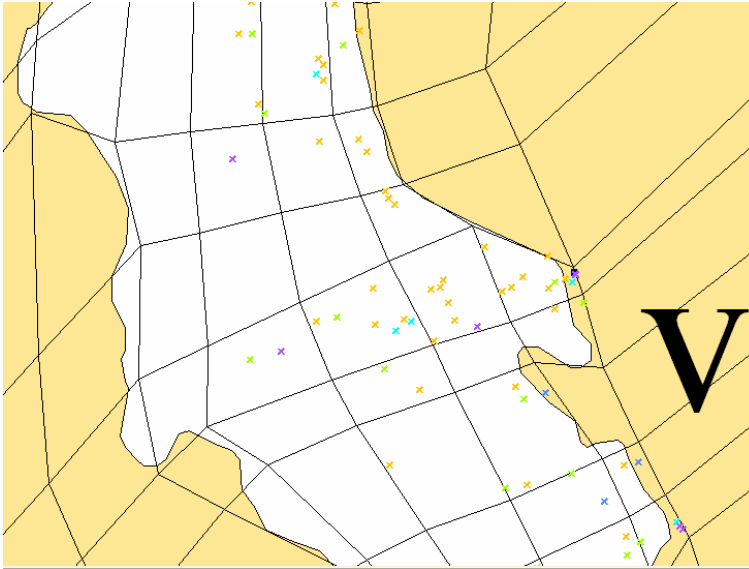
I simuleringarna av utsläpp från pumpstationen vid Berghamns brygga har koncentrationer över 1 organism/L inte erhållits för *Cryptosporidium* eller *Norovirus*. Koncentrationer över 1 organism/L avseende *Campylobakter* har endast erhållits utanför Görvelns vattenverk. Frekvensen för en koncentration av *Campylobakter* över 1 organism/L var där 0,0001 (tabell 5.1.7b).

Spridningssimuleringar i SeaTrack för senarioberäkning av microbiella  
patogenkoncentrationer i Östra Mälaren

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
Lovö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	7,8E-07	0	3,9E-04	0	0	0	1,6E-05
<i>Norovirus</i>	3,3E-06	0	2,4E-03	0	0	0	6,4E-05
<i>Campylobacter</i>	1,7E-03	0	5,1E-01	3,7E-03	0	0	3,7E-02
Lovö >8							
<i>Cryptosporidium</i>	2,0E-07	0	7,9E-05	0	0	0	3,6E-06
<i>Norovirus</i>	1,0E-06	0	5,6E-04	0	0	0	2,1E-05
<i>Campylobacter</i>	5,0E-04	0	7,1E-01	3,0E-04	0	0	8,3E-03
Görväln 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,3E-06	0	2,0E-04	0	0	0	2,7E-05
<i>Norovirus</i>	5,7E-06	0	1,7E-03	0	0	0	1,1E-04
<i>Campylobacter</i>	3,2E-03	0	1,5E+00	6,4E-03	1,0E-04	0	6,5E-02
Görväln >8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,7E-07	0	7,9E-05	0	0	0	7,0E-06
<i>Norovirus</i>	1,8E-06	0	8,6E-04	0	0	0	3,5E-05
<i>Campylobacter</i>	8,7E-04	0	3,5E-01	9,0E-04	0	0	1,9E-02
Norsborg >8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,2E-09	0	9,3E-06	0	0	0	0
<i>Norovirus</i>	1,9E-08	0	9,3E-05	0	0	0	0
<i>Campylobacter</i>	6,9E-05	0	6,7E-01	1,0E-04	0	0	0

Tabell 5.1.7b. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från pumpstationen vid Berghamns brygga. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer givet att ett utsläpp har skett.

Figur 5.1.7 visar partiklarnas utbredning vid den tidpunkt då flest partiklar har befunnit sig i någon av de studerade volymboxarna. I scenariot med läckage från pumpstationen vid Berghamns brygga har simuleringen av väderklassen ”sydvästlig vind, 7 m/s, vinterskiktning” resulterat i det största antalet partiklar i någon av volymboxarna. 7 partiklar befinner sig, 188 timmar efter utsläppet, på ett djup större än 8 meter i den studerade rutan utanför Lovö vattenverk.



Figur 5.1.7. Bilden visar spridningen av partiklar 188 timmar efter utsläppet från den pumpstationen vid Berghamns bryggeri vid väderklassen "SV, 7 m/s, vinterskiktning". Brunfärgade partiklar befinner sig på större djup än 8 meter medan gröna och turkosa partiklar finns i djupintervallet 2-8 meter. Partiklar av annan färg befinner sig ytligare än 2 meter.

## 5.2 Validering av simuleringar

I syfte att undersöka hur pass bra spridningssimuleringarna av mikrobiella utsläpp i SeaTrack stämmer överens med verkligheten, har försök gjorts att simulera historiska utsläpp med kända tidpunkter och utsläppsvolymer. Då tidpunkten för utsläppet är känt är det möjligt att simulera spridningsförloppet under de för den aktuella tidsperioden rådande väderförhållandena. Genom att jämföra spridningsresultaten med provresultat från de regelbundna bakteriologiska mätningar som görs på råvattnet vid vattenverken, är det möjligt att skapa sig en uppfattning om hur väl modellen avspeglar verkligheten avseende transporttid och utspädning/avdödning.

Vid kontakt med kommunerna runt Östra Mälaren har uppgifter om tid, plats och volymer för historiska utsläpp efterfrågats. Den information som har erhållits har varit mycket begränsad. Stora utsläpp av avloppsvatten tycks vara mycket sällsynta inom området, och relevanta uppgifter om de utsläpp som har skett har visat sig svåra att få tag på.

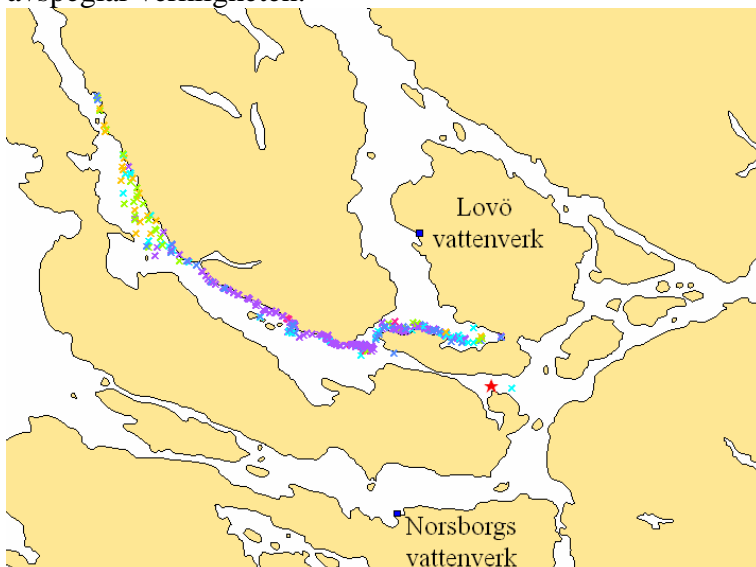
Vid kontakt med vattenverken har det efterfrågats situationer då man tror sig ha sett ett samband mellan höga bakteriologiska provresultat på råvatten och en specifik utsläppshändelse. De tillfrågade personerna har dock inte kunnat erinra sig några sådana tillfällen (Christer Berg, Stockholm Vatten AB; Per Ericsson, Norrvatten). Uppgifter från både Stockholm Vatten AB och Norrvatten tyder på att provresultat med förhöjda bakteriekoncentrationer i råvattnet över lag är mycket sällsynta.



De två största utsläppen med känd plats, tidpunkt och volym som har identifierats, har båda sitt ursprung från Ekebyhovs reningsverk. Utsläppen har skett den 4/2-2003 samt den 18/3-2003, och utsläppsvolymerna var 2153 m<sup>3</sup> respektive 412 m<sup>3</sup>.

Spridningssimuleringar har gjorts för de båda utsläppen med de väderförhållanden som har rått under tidsperioden för utsläppen. Utsläppet i februari har simulerats för en situation med isbelagd sjö, och en situation utan is på sjön. Detta eftersom inga uppgifter om sjöns verkliga isförhållande under perioden har erhållits.

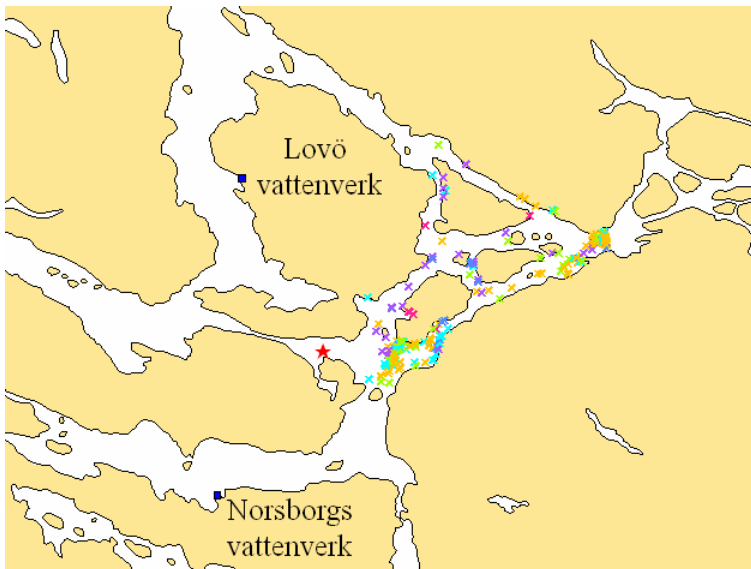
Figureerna 5.2a, 5.2b samt 5.2c visar partiklarnas spridning efter 12 dygn, för de tre olika utsläppsscenario. Av figurerna framgår det att inget av utsläppen i simuleringarna har resulterat i partiklar i närheten av något av vattenverken. I bakteriedata från råvattenprovtagning från vattenverken i Norsborg och Lovö har inte heller någon tydlig höjning av bakteriehalt påträffats som kunnat kopplats till utsläppen. Det är således svårt att utifrån dessa simuleringar dra några slutsatser om hur väl spridningsmodellen avspeglar verkligheten.



*Figur 5.2a. Utsläppets simulerade utspridning 12 dygn efter utsläppets start vid Ekebyhovs reningsverk den 4/2-2003. I scenariot är Mälaren isfri. Stjärnan visar utsläppspunkten.*



Figur 5.2a. Utsläppets simulerade utspridning 12 dygn efter utsläppets start vid Ekebyhovs reningsverk den 4/2-2003. I scenariot är Mälaren täckt av is. Stjärnan visar utsläppspunkten.



Figur 5.2a. Utsläppets simulerade utspridning 12 dygn efter utsläppets start vid Ekebyhovs reningsverk den 18/3-2003. I scenariot är Mälaren isfri. Stjärnan visar utsläppspunkten.

## 6 Diskussion

I kapitel 6.1 kommenteras de simuleringsresultat som har erhållits. De källor till osäkerhet som har identifierats diskuteras i kapitel 6.2. I kapitel 6.3 ges förslag på hur SeaTrack Östra Mälaren skulle kunna utvecklas för att förbättra möjligheterna till att använda programmet vid spridningssimuleringar av mikroorganismer i en QMRA.

### 6.1 Resultatdiskussion

För att underlätta en tolkning av resultatet kan de koncentrationer av patogena mikroorganismer som har erhållits i simuleringarna jämföras med koncentrationer som kan anses normala i svenska råvatten. Få mätdata för svenska råvatten finns dock att tillgå. I den QMRA som har utförts för vattenverket i Göteborg (Westrell 2003) har fördelningar för koncentration av *Cryptosporidium* och *Campylobakter* i råvatten använts. Fördelningarna baseras på mätdata från Sverige och England och antas för *Cryptosporidium* vara lognormal, med ett medelvärde av 0,4 organismer/L och en standardavvikelse av 2,1. För *Campylobakter* antas fördelningen vara log<sub>10</sub>normal, med ett medelvärde av 140 organismer/L och en standardavvikelse av 300. Om P<sub>99</sub>-värdena från simuleringarna i detta arbete jämförs med medelvärdena i ovan nämnda fördelningar, visar det sig, att P<sub>99</sub>-värdena för *Campylobakter* i scenarion med utsläpp från spillvattenledningen vid Stäket, är de enda som överstiger något av medelvärdena. I det scenariot är P<sub>99</sub>-värdet för *Campylobakter* som högst 150 organismer/L. De högsta koncentrationerna av *Campylobakter* och *Cryptosporidium* som har erhållits vid simuleringarna i detta arbete är alltså lägre än, eller i nivå med, de koncentrationer som har ansetts normala för råvatten i Göteborgsstudien.

Vad det gäller de simulerade koncentrationerna av *Norovirus* vid vattenverken kan jämförelser göras med koncentrationer uppmätta i ytvatten i en studie från Holland (Westrell et al. 2006). I den studien påträffades *Norovirus* i samtliga prover under vintern i koncentrationer mellan 12-1700 organismer/L. I de simuleringar som har utförts i detta arbete har P<sub>99</sub>-värden för koncentrationer av *Norovirus* vid vattenverken inte vid något scenario överstigit 12 organismer/L.

De resultat som har erhållits från spridningssimuleringarna i detta examensarbete tyder således på att tillfälliga utsläpp från de studerade utsläppspunkterna mycket sällan leder till höga koncentrationer av patogena mikroorganismer vid vattenverkens vattenintag. De utsläppsscenario, som enligt simuleringarna resulterar i de högsta koncentrationerna av patogena mikroorganismer vid vattenverken, är scenarion med läckage från spillvattenledningen vid Stäket.

Att koncentrationerna blir relativt låga beror troligtvis till stor del på att Mälaren är en sjö innehållande mycket stora volymer vatten. För att ett utsläpp skall nå vattenverket från någon av de studerade utsläppspunkterna måste det transporteras genom stora vattenmassor, och utspädningen blir således stor. Exempelvis rymmer de studerade volymboxarna utanför vattenverket mellan 150000 och 2330000 m<sup>3</sup>. Detta innebär att om ett relativt stort utsläpp av 1000 m<sup>3</sup> spillvatten tillförs direkt i boxarna, och utsläppet

antas fördela sig jämt i boxarnas vattenmassor, uppnås redan där en utspädning på mellan 1:150 och 1:2330.

En annan trolig orsak till låga patogenkoncentrationer vid vattenverken är vattenverkens placering. I simuleringarna har det ofta visat sig att stora mängder partiklar cirkulerar strax väster om vattenverket vid Norsborg, medan endast ett fåtal partiklar passerar genom de observerade volymboxarna vid vattenverkets vattenintag. Detta syns exempelvis i figur 5.1.3. Likaså har det i simuleringarna varit relativt vanligt att utsläppspartiklar transporteras strax utanför de studerade volymboxarna vid Lovö vattenverk, utan att partiklarna passerar igenom boxarna.

## 6.2 Osäkerheter i modellen

En modell kan aldrig fullständigt representera den mycket komplexa verkligheten. Många antaganden måste göras och med dem följer ofrånkomligen en hel del osäkerhet i resultatet. I tidigare kapitel har de antaganden som gjorts diskuterats och nedan följer en diskussion över de viktigaste osäkerheterna som har identifierats.

### 6.2.1 Hydrologisk modell

Den hydrologiska modellen, SeaTrack Östra Mälaren, har utgjort grunden i detta examensarbete. De koncentrationer och frekvenser som har erhållits vid simuleringarna, bygger på den spridning av utsläppen som har skildrats i SeaTrack. Osäkerheter och felaktigheter vid spridningssimuleringarna har således stor betydelse för resultatet i sin helhet.

SeaTrack Östra Mälaren är utvecklat av SMHI och är en för Mälaren skraddarsydd version av SeaTrack v 3.1. För att testa hur väl SeaTrack representerar verkligheten har SMHI bland annat utfört försök med utsläpp av bojar i Vättern. De simuleringar som sedan har utförts i SeaTrack har, enligt uppgift, stämt väl överens med bojarnas verkliga spridning. Motsvarande försök i Mälaren har dock inte företagits (Liungman muntligen 2006).

Försök till validering av spridningsmodellen har utförts i detta arbete genom att 2 verkliga utsläpp av mikroorganismer har simulerats för att jämföra spridningsresultaten med uppmätta bakteriekoncentrationer vid vattenverken. De väderförhållanden som har rått vid tidpunkterna för utsläppen har dock föranlett att ingen del av utsläppen vid simuleringarna har nått till vattenverken. Simuleringsresultaten överensstämmer med resultat från råvattenprovtagning vid vattenverken där ingen tydlig förhöjning av bakteriehalt noterats tiden omedelbart efter utsläppen. Eftersom inget utsläpp nått vattenverken är det dock svårt att dra några slutsatser av detta försök.

Någon grundlig genomgång av spridningsprogrammets tekniska uppbyggnad och teoretiska grund har inte kunnat utföras inom ramen av detta examensarbete. Fokus har istället lagts på användbarheten av programmet vid genomförandet av en QMRA för vattenverken vid Östra Mälaren.

## 6.2.2 Vindförhållande

Av spridningssimuleringarna som har utförts har det framgått att vindförhållandena har stor betydelse för utsläppets transport i Östra Mälaren. Bakgrundströmningen, som inte är beroende av vindfaktorer, verkar vid spridningssimuleringarna i SeaTrack närmast vara obefintlig. Transportförutsättningarna i Östra Mälaren skiljer sig således markant från exempelvis motsvarande förutsättningar vid rinnande vatten såsom vid Göta Älv, där den advektiva transporten i älvens färdriktning dominerar. Detta försvårar möjligheterna att förutspå hur ett utsläpp skall sprida sig. I en flod kan det räcka med att simulera ett antal olika flöden och medelvattenhastigheter för att en god uppskattning av utspädning och transporttid skall kunna erhållas vid ett utsläppsscenario. I en sjö krävs det att antaganden görs över vilka väderförhållanden som kan anses representera verkligheten vid tidpunkten för ett utsläpp.

Som tidigare nämnts är det i SeaTrack möjligt att ändra vindriktning och vindhastighet var tredje timme vid simuleringar av utsläpp. Detta medför att antalet vädersscenarion vid varje utsläpp i det närmaste är oändligt. För att begränsa antalet simuleringar har det antagits att samma vindförhållanden råder under hela simuleringstiden av cirka 13 dygn. Detta är ett mycket grovt antagande som bidrar till osäkerheter både avseende frekvens och koncentration av patogena mikroorganismer vid vattenverken. Detta gäller framför allt i utsläppsscenario med långa transporttider mellan utsläppskälla och vattenverk. I fall med kortare transporttider bör antagandet i mindre grad bidra till osäkerhet. Om det över tidsperioden konstanta väderförhållandet tolkas som ett medelvindförhållande under en tidsperiod av 13 dygn, bör simuleringarna ge konservativa värden med avseende på koncentrationerna, då vindar med skiftande hastighet och riktning under perioden, rimligtvis bör medföra en större spridning av utsläppen, än vindar under ett konstant vindförhållande. Vindfrekvensen som har använts, det vill säga andelen dagar med ett visst vindförhållande, måste dock anses i ett sådant fall vara en mycket grov approximation av frekvensen av längre perioder med motsvarande medelvindförhållanden.

## 6.2.3 Koncentration i avloppsvatten

De fördelningar över koncentrationer av patogena mikroorganismer i avloppsvatten som har använts i arbetet har baserats på studier av avloppsvatten i Sverige och i Tyskland. Det har anses av vikt att använda patogenkoncentrationer uppmätta i förhållanden så snarlika de som råder i Sverige som möjligt, då infektionsförekomst, och därmed patogenförekomst, skiftar betydligt mellan olika länder och världsdelar. Antalet prover i de olika studierna har dock oftast varit få, vilket innebär stor varians i de antagna fördelningarna. Fler analyser av patogena mikroorganismer i råvatten krävs för att minska osäkerheterna i fördelningarna.

Vad det gäller förekomsten av *Norovirus* i avloppsvatten visar flera studier på säsongvis skiftande viruskoncentrationer (Ottoson 2006, mf.), med högre koncentrationer under vinterhalvåret jämfört med sommarhalvåret. I detta arbete har fördelningen över *Norovirus*-koncentrationen antagits vara densamma året runt. Detta innebär att

*Norovirus*-koncentrationerna överskattas något under sommaren, medan de underskattas på vintern.

#### **6.2.4 Utsläppsvolymer**

Vid simuleringarna av utsläpp från Ekebyhovs reningsverk och Berghamns brygga har fördelningar över utsläppsvolym baserats på historiska utsläppsuppgifter från respektive punkt. Fördelningen för Ekebyhovs reningsverk är anpassad utifrån 3 års utsläppsstatistik, medan fördelningen för Berghamns brygga är anpassad utifrån beräknade utsläppsvolymer under ett normalår. För övriga utsläppskällor har, i brist på utsläppsstatistik, antaganden gjorts för fördelningar avseende förväntad varaktighet av utsläppen. Dessa fördelningar är mer eller mindre subjektiva bedömningar över hur trolig varaktigheten för ett visst utsläppsscenario är. Osäkerheter finns således. Den längsta varaktigheten som antagits för utsläpp i detta arbete har varit 2 dygn. Detta beror främst på att alla utsläppssimuleringar har utförts som momentana utsläpp, som ej har ansetts kunna representera utsläpp med en varaktighet längre än 2 dygn. Det är dock möjligt att utsläpp med varaktighet längre än 2 dygn kan ske vid vissa av de simulerade utsläppspunkterna, vilket kan medföra högre patogenkoncentrationer än vad simuleringsresultaten i detta arbete redovisar.

#### **6.2.5 Avdödning och Sedimentation**

I modellen tas ingen hänsyn till den avdödning och sedimentation som sker efter att ett utsläpp skett. Båda faktorerna kan ha stor betydelse för vilka koncentrationer av patogena mikroorganismer som kommer fram till vattenverken. Eftersom både avdödningen och sedimentationen minskar antalet patogena mikroorganismer i vattnet kan modellen i den aspekten anses överskatta sannolikheten för höga bakteriehalter vid vattenverken.

#### **6.2.6 Koncentrationsberäkning i volymboxar**

Vid beräkning av koncentrationer av patogena mikroorganismer i de studerade volymboxarna utanför vattenverken, har varje partikel antagits representera 1/300-del av den totala utsläppsvolymen. Denna del har sedan antagits vara jämt fördelad i hela den observerade volymboxen, det vill säga, koncentrationen har antagits vara homogen i hela volymboxen. Detta kan anses vara en någorlunda bra approximation i de flesta fall, då partiklarna varit relativt jämt utspridda i volymboxarna. Vissa undantag finns dock där ett stort antal partiklar har hamnat i en viss del av en volymbox. Ett exempel på det senare visas i figur 5.1.4.

### **6.3 Utveckling av SeaTrack för förbättrad användning i QMRA**

För att göra SeaTrack mer användbart för spridningssimuleringar av mikrobiella utsläpp från punktkällor, skulle det vara fördelaktigt med en avdödningsalgoritm i vilken inaktiveringshastigheter kunde specificeras. För att få mer precision i koncentrationsberäkningarna hade det även varit bra om utsläppen kunde simuleras av ännu fler partiklar. En mer detaljerad djupåtergivning, samt mindre area på rutorna i beräkningsnätet, hade också varit önskvärt för att snäva in volymboxarna kring vattenverkens vattenintag.

Av stor vikt är också möjligheten att få reda på tidpunkten för det maximala antalet partiklar inom en utvald volymbox, vid varje simulering. Det tidskrävande momentet att hålla reda på antalet partiklar i volymboxen timme för timme genom hela simuleringen, hade då undvikits.

Det hade också varit önskvärt med en modell som kunde behandla flera utsläpp och utsläppspunkter samtidigt. Detta hade framför allt varit användbart vid simulering av utsläpp från bräddavlopp från kombinerade avloppssystem, då det vid kraftig nederbörd tenderar till att brädda på flera punkter samtidigt.

## 7 Slutsats

Vattenburna patogena mikroorganismer har orsakat stora sjukdomsutbrott både i utvecklingsländer och i industrialiserade länder. Sjukdomsutbrottet i Milwaukee, USA, våren 1993, då över 400 000 invånare insjuknade, visar vilken stor betydelse dricksvatten har för ett samhälles sårbarhet. Utbrottet visar också på att dagens dominerande riskhanteringsstrategi för dricksvattenproduktion, att regelbundet analysera råvattnet efter indikatorbakterier, inte kan garantera en för samhället acceptabel risknivå. Nya riskhanteringsstrategier måste således utvecklas.

Världshälsoorganisationen, WHO, förespråkar upprättandet av Water Safety Plans (WSP), för att bättre kunna garantera konsumenterna säkert dricksvatten. WSP bygger på HACCP-metodik, i vilken övervakning av kontrollparametrar i bestämda kontrollpunkter i förädlingsprocessen och distributionskedjan skall trygga en säker leverans av livsmedel till konsumenten. För att bedöma vilka värden för kontrollparametrarna som skall tillåtas, krävs att samhället uttrycker vilken risk som kan accepteras.

För att ett samhälle på ett resurseffektivt sätt skall kunna hantera risker från olika verksamheter, är det nödvändigt att bestämma storleken på riskerna från de enskilda verksamheterna. Ett sätt att bestämma risken för infektion orsakat av vattenburna patogena mikroorganismer i dricksvatten är att utföra en kvantitativ mikrobiell riskanalys (QMRA) vid vattenverken. Vid en sådan QMRA är det viktigt att ta hänsyn till det ingående råvattnets mikrobiologiska kvalitet. Utifrån råvattnets koncentration av patogena mikroorganismer är det sedan i en QMRA möjligt att beräkna vilken dos konsumenten utsätts för.

För att kvantifiera koncentrationerna av patogena mikroorganismer i råvatten kan vattnet analyseras direkt efter mikroorganismer. Då koncentrationerna av patogena mikroorganismer i svenska råvatten ofta är mycket små, och analyser dyra, är det dock i praktiken inte genomförbart att utföra direktanalyser av de stora volymer råvatten som erfordras. Det krävs även långa observationsserier för att beskriva variationen i patogenkoncentrationer vid olika specifika händelser (bräddning, pumphaveri), då händelsefrekvensen ofta är låg. Ett tänkbart alternativ för att få information om koncentrationsvariationen vid sådana händelser är att beräkna möjliga patogenkoncentrationer utifrån spridningssimulering av mikroorganismer i råvattnet vid olika utsläppsscenarier.

Det övergripande syftet med detta examensarbete var att undersöka om spridningssimuleringsprogrammet SeaTrack Östra Mälaren kan användas för att beräkna patogenkoncentrationer vid vattenverkens vattenintag i Östra Mälaren samt att beräkna patogenkoncentrationer för de olycksscenarier som bedöms ha störst påverkan på råvattnets mikrobiella kvalitet. För att nå det övergripande syftet indelades uppgiften i följande 6 delproblem som behandlades under arbetes gång:



1. *Vilka arter av mikroorganismer kan anses representativa för patogena mikroorganismer i svenska råvatten?*
2. *Vilka kriterier ska tillämpas för att identifiera mikrobiella påverkansområden, inom vilka ett potentiellt olyckstillbud kan tänkas ha stor påverkan på patogenkoncentrationen i inkommande vatten till vattenverken i Östra Mälaren?*
3. *Hur ser de mikrobiella påverkansområdena ut för vattenverken i Östra Mälaren?*
4. *Vilka utsläppskällor finns inom påverkansområdena som kan resultera i kraftigt förhöjda koncentrationer av patogena mikroorganismer vid vattenverkens vattenintag?*
5. *Vilka patogenkoncentrationer vid vattenverkens vattenintag kan uppkomma vid olika olycksscenarier i Östra Mälaren?*
6. *Är modellens resultat tillförlitliga?*

(1) Det bedömdes vara av vikt att var och en av de tre huvudgrupperna av mikroorganismer; bakterier, protozoer och virus, fanns representerade, eftersom deras egenskaper med avseende på bland annat inaktivering och smittspridning kraftigt skiljer sig mellan grupperna. Urvalet baserades vidare på egenskaper såsom förekomstfrekvens, inaktivering och infektionsdos. I arbetet fick *Campylobakter*, *Cryptosporidium* och *Norovirus* representera de tre huvudgrupperna av mikroorganismer. *Campylobakter*, *Cryptosporidium* och *Norovirus* förekommer alla i svenska råvatten och är kända agenter till vanliga vattenburna sjukdomsutbrott.

(2) För att utse påverkansområden för vattenverken valdes att titta på transporttiden från utsläppskällan till vattenverken. Simuleringar i SeaTrack visade att föroreningar i Mälaren kan förflytta sig långa avstånd på en i mikrobiologiska avseenden relativt kort tid. Vid vissa vindförhållanden tar det knappt fyra dygn för en förorening att förflytta sig från spridningsmodellens västra gräns vid Sealön till Norsborgsvattenverk i Östra Mälaren. Om spridningsmodellen antas representera verkligheten kan det således inte uteslutas att en förorening, i gynnsamma förhållanden, kan ta sig i stort sätt över hela Mälaren inom en tillräckligt kort tid för att patogena mikroorganismer fortfarande kan vara livskraftiga. (3) Hela SeaTracks beräkningsområde ansågs därför utgöra vattenverkens mikrobiella påverkansområde.

Vid den översiktliga inventering av potentiella utsläppskällor vid Östra Mälaren som utfördes i detta arbete utgjordes det inventerade området av de för vattenverken föreslagna gemensamma skyddsområde enligt rapporten Vattenskydd Östra Mälaren, (VAI-VA Projekt AB 2001). Denna skyddszon består, enligt ovan nämnda rapport, av ett vattenområde med cirka 3-6 timmars transporttid till vattenverken. (4) De identifierade utsläppskällor utgjordes av avloppsanläggningar samt pumpstationer och ledningar i spillvattennät. Inventeringen visade på att större utsläpp av spillvatten till Mälaren sker relativt sällsynt. Inventeringen visade även på svårigheten med att erhålla relevanta uppgifter om avloppsutsläpp från avloppsledningsnät avseende volym, plats, andel spillvatten och tidpunkt. Den bristfälliga registreringen av utsläpp från ledningsnäten överensstämmer med resultatet från en studie av Göta Älv, där en liknande inventering av utsläppskällor utförts (Åström 2007). En möjlig orsak till bristerna i registrering föreslås av Åström vara formuleringarna i nuvarande föreskrifter.

Spridningssimuleringar i programmet SeaTrack Östra Mälaren utfördes i detta arbete för de 7 utsläppsscenario som bedömdes kunna orsaka de högsta koncentrationerna av patogena mikroorganismer vid vattenverkens vattenintag.

Examensarbetet visar på hur spridningssimuleringsprogrammet SeaTrack Östra Mälaren kan användas för att beräkna vilka maximala koncentrationer av patogena mikroorganismer som kan uppkomma vid olika utsläppsscenario. Arbetet visar också på hur man med hjälp av SeaTrack Östra Mälaren och meteorologisk data genom MonteCarlo-simuleringar kan approximera sannolikheten för olika maximala patogenkoncentrationer vid vattenverkens vattenintag.

(5) De resultat som erhöles från spridningssimuleringarna tyder på att tillfälliga utsläpp från de studerade utsläppspunkterna mycket sällan leder till höga koncentrationer av patogena mikroorganismer vid vattenverkens vattenintag. Att koncentrationerna blir låga bedöms framför allt bero på att Mälaren är en stor sjö med stora volymer vatten, vilket medför att utsläppen måste transporteras genom stora vattenmassor innan de når vattenverken, och utspädningen blir således stor. Vattenverkens gynnsamma placering bedöms också bidra till att låga koncentrationer erhålls vid simuleringarna. Vid samtal med personer på Stockolmvatten AB och Norrvatten har det framkommit att höga bakteriologiska halter i de regelbundna prov som tas på råvattnet vid vattenintagen, är mycket sällsynta. Detta stämmer väl överens med resultaten från simuleringarna i detta arbete.

Denna rapport visar på svårigheterna med att simulera spridning av mikroorganismer i en sjö. För att kunna förutspå hur ett eventuellt utsläpp kommer att spridas måste många antaganden göras. Dessa antaganden bidrar alla med osäkerheter till resultatet. Simuleringarna i arbetet visade på att vindförhållandena, enligt den använda spridningsmodellen, har stor betydelse för transporten av ett utsläpp. För att begränsa antalet simuleringar fick grova förenklingar avseende möjliga vindförhållanden göras. Detta bidrar med osäkerheter vad det gäller koncentration av patogena mikroorganismer vid vattenverken, samt osäkerheter i frekvens av maximala patogenkoncentrationer vid vattenverken.

Spridningsmodellen SeaTrack Östra Mälaren är inte optimal för simulering av mikrobiella utsläpp. Exempelvis finns ingen algoritm för avdödning av mikroorganismer, och det är heller inte möjligt att simulera utsläpp från flera utsläppskällor samtidigt. (6) Modellen bedöms ändå som användbar för att få en grov uppskattning om vilka maximala koncentrationer av mikroorganismer som kan förekomma vid vattenverkens vattenintag vid olika utsläppsscenario. Ett behov finns dock av att verifiera simuleringresultat från SeaTrack Östra Mälaren mot verkliga observationer i östra Mälaren.



## 8 Referenser

### *Litteratur*

Abrahamsson, M. (2002) *Uncertainty in Quantitative risk Analysis – Characterisation and Methods of Treatment*. Rapport 1024, Brandteknik, Lunds Universitet, Lund 2002

Blaser, M. J., Hardesty, H. L., Powers, B., Wang, W., L. (1980) Survival of *Campylobakter* subsp. *Jejuni* in biological milieus *Journal of Clinical Microbiology* 11(4) 309-313 (1980)

Buswell, C. M., Herlihy, Y. M., Lawrence, L. M., McGuiggan, J. T. M., Marsh, p. D., Keevil, C. W. (1998) Extended survival and persistence of *Campylobakter* spp. In water and aquatic biofilms and their detection by immunoflorescent antibody and -rRNA staining *Applied and Environmental Microbiology* 64(2), 733-741

Bukhari, Z., Smith, H. V., Sykes, N., Humphreys, S. W., Paton, C. A., Girwood, R. W. A., Fricker, C. R. (1997) Occurrence of *Cryptosporidium* spp oocysts and *Giardia* spp cysts in sewage influents and effluents from treatment plants in England *Water Science and Technology* 35(11-12), 385-390

Donsel, D. J. v., Geldreich E. E. (1971) Relationship of salmonellae to fecal coliforms in bottom sediments *Water Research* 5, 1079 – 1087 (1971)

Ekerö Kommun, Ekebyhavs reningsverk (2003) *Miljörapport 2003*

Ekerö Kommun, Ekebyhavs reningsverk (2004) *Miljörapport 2004*

Ekerö Kommun, Ekebyhavs reningsverk (2005) *Miljörapport 2005*

Granström, C. (2003) Vattenståndsmätningar i Mälaren *Väder och vatten* 8/2003

Gassilloud, B., Schwartzbrod, L., Gautzer, C. (2003) Presence of viral genomes in mineral water: a sufficient condition to assume infections risk? *Applied and Environmental Microbiology* 69(7), 3965-3969 (2003)

Höller, C. (1988) *Quantitative and qualitative investigations om Campylobakter in the sewagesystem of a big town*. Zbl. Bakt. Hyg. B 185(4-5), 307-25. Referens från Westrell 2003.

Jamieson, R., Gordon, R., Joy, D., Lee, H. (2004) Assessing microbial pollution of rural surface waters – A review of current watershed scale modeling approaches *Agricultural water management* 70, 1-17 (2004)

Kammen, D. M., Hassenzahl, M., *Should We Risk It – Exploring Environmental, Health, and Technological Problem Solving* Princeton University Press 1999

LaBelle, R.L., Gerba, C. P. (1980) Influence of estuarine sediments on virus survival under field conditions *Applied and Environmental Microbiology* 39, 749-755 (april 1980)

Lopman, B.; Vennema, H.; Kohli, E.; Pothier, P.; Sanchez, A.; Negredo, A.; Buesa, J.; Schreier, E.; Reacher, M.; Brown, D.; Gray, J.; Iturriza, M.; Gallimore, C.; Bottiger, B.; Hedlund, K.O.; Torven, M.; von Bonsdorff, C.H.; Maunula, L.; Poljsak-Prijatelj, M.; Zimsek, J.; Reuter, G.; Szucs, G.; Meleg, B.; Svennson, L.; van Duynhoven, Y.; Koopmans, M. (2004). Increase in viral gastroenteritis outbreaks in Europe and epidemic spread of new *Norovirus* variant. *Lancet (British edition)* 363, 682-688

Lund, V. (1996) Evaluation of E.coli as an indicator for the presence of *Campylobacter* Jejuni and *Yersinia Enterocolitica* in chlorinated and untreated oligotrophic lake water *Water Research* 30(6) 1528 – 1534 (1996)

Mac Kenzie W. R., Hoxie N. J., Proctor M. E., Gradus M. S., Blair K. A., Peterson D. E., Kazmierczak J. J., Addiss D. G., Fox K. R., Rose J. B., Davis J. P. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply *New England Journal of Medicine* 1994; 331:161-167, Jul 21, 1994.

Medema, G. J., Bahara, M., Schets, F. M. (1997) Survival of *Cryptosporidium* parvum, *Escherichia coli*, fecal enterococci and *Clostridium prifringens* in river water: influence of temperature and autochthonous microorganisms *Water Science and Technology* 35(11-12), 249-252 (1997)

Ottoson, J. (2001) *Giardia* and *Cryptosporidium* in Swedish wastewater treatment plants. *Vatten* 57:283-289. Lund 2001

Ottoson, J., Hansen, A., Björleinius, B., Norder, H., Stenström, T. A. (2006) Removal of viruses, parasitic protozoa and microbial indicators in conventional and membrane processes in a wastewater pilot plant. *Water Research* 40 (2006) 1449-1457

SLV (2001) *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten. SLVFS 2001:30*

SMHI (2002) *Seatrack Östra Mälaren – Användarhandledning* SMHI November 2002

Stenström, T. A., Boisen, F., Lahti, K., Lund, V., Andersson, Y., Ormerod, K. (1994) Vattenburna infektioner i Noren. Epidemiologiskt uppföljningsarbete och hälsoproblem relaterade till förekomst av mikroorganismer i vatten. *TemaNord* 1994:585

Talibart, R., Denis, M., Castillo, A., Cappelier, J.M., Ermel, G., (2000) Survival and recovery of viable but not cultivable forms of *Campylobacter* in aqueous microcosm. *International Journal of Food Microbiology* 55, 263-267 (2000)

Tyréns (2007) *Östra Mälaren – Riskbedömning av akuta händelser som kan orsaka råvattenförsämring* Storstockholm krishantering delprojekt 1. Uppdragsnummer 212 986

Westrell, T., Bergstedt O., Stenström T. A., Ashbolt N. J., (2003) A theoretical approach to assess microbial risks due to failures in drinking water systems. *International Journal of Environmental Health Research* 13, 181 – 197 (June 2003)

Westrell, T., Teunis, P., van den Berg, H., Lodder, W., Ketelaars, H., Stenström, T. A., de Roda Husman, A. M. (2006) Short- and long-term variations of Norovirus concentrations in the Meuse river during a 2-year study period *Water Research* 40/14, 2613-2620

Åström, J., Pettersson, T. (2007) *Avloppsutsläpp och mikrobiologisk påverkan i råvattentäkten Göta Älv* Institutionen för vatten och miljöteknik, Chalmers, januari 2007

### **Internetbaserade referenser**

Ashbolt, N. J., Pettersson, S. R., Stenström, T. A., Schönning, C., Westrell, T., Ottoson, J. (2005) *Microbial Risk Assessment (MRA) Tool*. Urban water rapport 2005:7 <http://www.urbanwater.org/file/dyn/00000m/3100m/3100i/2005-7%20060222.pdf> (2007-04-07)

Dufour 2003, A. (2003) Assessing microbial safety of drinking water – improving approaches and methods <http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/9241546301.pdf> (2007-04-07)

Eniro, [www.kartor.eniro.se](http://www.kartor.eniro.se) (2007-04-07)

FDA (2001) *HACCP: A State-of-the-Art Approach to Food Safety* <http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/bghaccp.html> (8 september 2006)

Fewtrell, L., Bartram, J. (2001) *Water Quality: Guidelines, Standards and Health* WHO 2001 <http://whqlibdoc.who.int/publications/2001/924154533X.pdf> (2007-04-07)

Kjellson, L. (2002) *Plan 2002 – Bräddning från ledningsnätet i Stockholm* Stockholm Vatten Rapport nr 29 – 2002 [www.stockholmvatten.se/pdf\\_arkiv/PLAN\\_2002\\_rapport.pdf](http://www.stockholmvatten.se/pdf_arkiv/PLAN_2002_rapport.pdf) (2007-02-01)

Lännergren, C. (2002) *Undersökningar I Östra Mälaren 1998 – 2001* Stockholm Vatten 2002 [www.stockholmvatten.se/pdf\\_arkiv/vattenvard/Malaren\\_1998-2001.pdf](http://www.stockholmvatten.se/pdf_arkiv/vattenvard/Malaren_1998-2001.pdf) (2007-02-01)

Medema, G. J., Smeets, P. W. M. H. (2004). *The interaction between Quantitative Microbial Risk Assessment and risk management in the Water Safety Plan*. Microrisk project report. Kiwa Water Research, Nieuwegein, the Netherlands 2004

[http://217.77.141.80/clueadeau/microrisk/uploads/interaction\\_in\\_water\\_safety\\_plan.pdf](http://217.77.141.80/clueadeau/microrisk/uploads/interaction_in_water_safety_plan.pdf)  
(2007-04-07)

MVVF (2007) Mälarens vattenvårdsförbund  
<http://www1.vasteras.se/malarensvattenvardsforbund/miljon.htm> (2007-04-07)

National Encyklopedin, [www.ne.se](http://www.ne.se) (sökord "mikroorganismer" 2007-04-07)

Olofsson, b., Tideström, H., Willert, J. (2001) *Riskidentifiering av urbana VA-system*  
Urban water rapport 2001:2  
<http://www.urbanwater.org/file/dyn/00000m/3000m/3076i/UWR%202001-2.pdf> (2007-04-07)

Pond, K., Rueedi, J., Pedley, S. (2004) *MicroRisk Patogenes in drinking water sources*  
[http://217.77.141.80/clueadeau/microrisk/uploads/pathogens\\_in\\_drinking\\_water\\_sources.pdf](http://217.77.141.80/clueadeau/microrisk/uploads/pathogens_in_drinking_water_sources.pdf)  
(2007-04-07)

Petterson, S., Signor, R., Ashbolt, N., Roser, D. (2006) *QMRA methodology*  
[http://217.77.141.80/clueadeau/microrisk/uploads/microrisk\\_qmra\\_methodology.pdf](http://217.77.141.80/clueadeau/microrisk/uploads/microrisk_qmra_methodology.pdf)  
(2007-04-07)

SMHI, [www.smhi.se](http://www.smhi.se) (2007-04-07)

SWECO VIAK (2003) Konsekvensbedömning för skyddszoner för vattenverken vid Lovö, Norsborg, görvältn samt Skytteholm  
[www.stockholmvatten.se/pdf\\_arkiv/dricksvatten/Konsekvensbedomning\\_030623.pdf](http://www.stockholmvatten.se/pdf_arkiv/dricksvatten/Konsekvensbedomning_030623.pdf)  
(2007-02-01)

VAI VA-Projekt AB (2001) Vattenskydd Östra Mälaren – Teknisk Beskrivning  
[http://www.norrsvatten.se/pressrum/Vattenskydd\\_02.pdf](http://www.norrsvatten.se/pressrum/Vattenskydd_02.pdf) (2007-04-07)

WHO (2006) Guidelines for drinking water Quality  
[http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546964\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546964_eng.pdf) (2007-04-07)

### ***Personliga kontakter***

Henrik Johansson, Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola

Marcus Abrahamsson, Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola

Gerald Heinicke, DHI

Christer Berg, Stockholm Vatten AB

Rachel Davies, Stockholm Vatten AB

Ulf Ericsson, Stockholm Vatten AB

Eva Wilmin, Stockholm Vatten AB

Christer Öhman, Stockholm Vatten AB

Per Ericsson, Norrvatten

Johan Åström, Chalmers

Thomas Pettersson, Chalmers

Tor Axel Stenström, SMI

Therese Westrell, SLV

Lena Zetterqvist, Avdelningen för Matematisk Statistik vid Lund Teknisk Högskola

Göran Bengtsson, Avdelningen för Kemisk ekologi/Ekotoxicologi vid Lunds Universitet

Olof Liungman, SMHI

Cecilia Ambjörn, SMHI

Anders Garmark, Ekerö kommun

Cecilia Håkansson, Ekerö kommun

Emma Södervall, Botkyrka kommun

Lars Sjögren, Upplands-Bro kommun

Hans Quiding, Järfälla kommun

Roland Gustavsson, Salem kommun







## Bilagor

<b>Bilaga 1</b>	Resultat av testsimuleringar av utsläpp vid Berghamns brygga	Sidnummer
<i>Bilaga 1a</i>	Vindstyrka och vindriktning	2
<i>Bilaga 1b</i>	Skiktförhållanden	3
<i>Bilaga 1c</i>	Partiklar fastnar/Partiklar studsar	4
<i>Bilaga 1d</i>	Kontinuerligt/Momentant utsläpp	5
<i>Bilaga 1e</i>	Is/öppet vatten	6

<b>Bilaga 2</b>	Resultat av spridningssimuleringar i SeaTrack för 7 olika utsläppsscenario	Sidonummer
<i>Bilaga 2a</i>	Ekebyhovs reningsverk	7
<i>Bilaga 2b</i>	Spillvattenledning vid Långtarmen	8
<i>Bilaga 2c</i>	Pumpstation vid Tråkvista brygga	9
<i>Bilaga 2d</i>	Avloppsanläggning vid hammargården	10
<i>Bilaga 2e</i>	Befintlig spillvattenledning vid Stäket	11
<i>Bilaga 2f</i>	Planerad spillvattenledning vid Stäket	12
<i>Bilaga 2g</i>	Bräddpunkt Berghamns brygga	13

<b>Bilaga 3</b>	Arbetsblad för simuleringar i @Risk för 7 olika utsläppsscenario	Sidnummer
<i>Bilaga 3a</i>	Ekebyhovs reningsverk	14
<i>Bilaga 3b</i>	Spillvattenledning vid Långtarmen	16
<i>Bilaga 3c</i>	Pumpstation vid Tråkvista brygga	18
<i>Bilaga 3d</i>	Avloppsanläggning vid hammargården	20
<i>Bilaga 3e</i>	Befintlig spillvattenledning vid Stäket	22
<i>Bilaga 3f</i>	Planerad spillvattenledning vid Stäket	24
<i>Bilaga 3g</i>	Bräddpunkt Berghamns brygga	26

<b>Bilaga 4</b>		Sidnummer
<i>Bilaga 4a</i>	Ekebyhovs reningsverk	28
<i>Bilaga 4b</i>	Spillvattenledning vid Långtarmen	29
<i>Bilaga 4c</i>	Pumpstation vid Tråkvista brygga	30
<i>Bilaga 4d</i>	Avloppsanläggning vid hammargården	31
<i>Bilaga 4e</i>	Befintlig spillvattenledning vid Stäket	32
<i>Bilaga 4f</i>	Planerad spillvattenledning vid Stäket	33
<i>Bilaga 4g</i>	Bräddpunkt Berghamns brygga	34



**Bilaga 1b**  
 Simuleringsresultat för utsläpp från Berghammns Bryggeri (N: 6585250, O: 1613725). Momentant utsläpp, löst ämne, utsläppslag 1 m, sommarskiktning jmf ingen skiktning, 300 partiklar, partiklar, fastnar ej på land och botten.  
 Tabellerna visar maximalt partiklar vid olika djup utanför de olika vattenverken vid olika vindriktningarna. I parantes visas antalet timmar eller utsläppet som maximalt uppnås.  
 Varaktighet visar för Lovö och för Östergården respektive tiden för första respektive sista partikeln på ett djup > 8 m.

Antalet partiklar vid sommarskiktning är högre än antalet partiklar vid ingensskiktning  
 Antalet partiklar vid sommarskiktning är samma som antalet partiklar vid ingensskiktning  
 Antalet partiklar vid sommarskiktning är lägre än antalet partiklar vid ingensskiktning

Vindstyrka	sommarskiktning 1 m/s		ingen skiktning 1 m/s		sommarskiktning 3 m/s		ingen skiktning 3 m/s		sommarskiktning 5 m/s		ingen skiktning 5 m/s		sommarskiktning 8 m/s		ingen skiktning 8 m/s	
	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Östergården</b>																
Vindstyrka	sommarskiktning 1 m/s		ingen skiktning 1 m/s		sommarskiktning 3 m/s		ingen skiktning 3 m/s		sommarskiktning 5 m/s		ingen skiktning 5 m/s		sommarskiktning 8 m/s		ingen skiktning 8 m/s	
Vindriktning	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet	2-8 m	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	1(192)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	2(152)	2(203)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	2(153)	1(127)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Norsborg</b>																
Vindstyrka	sommarskiktning 1 m/s		ingen skiktning 1 m/s		sommarskiktning 3 m/s		ingen skiktning 3 m/s		sommarskiktning 5 m/s		ingen skiktning 5 m/s		sommarskiktning 8 m/s		ingen skiktning 8 m/s	
Vindriktning	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**Bilaga 1d**  
 Simuleringsresultat för utsläpp från Berghammns Bryggeri (N: 6585250; O: 163725). **Kontinuerligt utsläpp under 24 timmar jmf momentant**, lost ämne, utsläppslup 1 m, ingen skiktning, 300 partiklar, partiklar fasnar ej på land eller botten. Tabellerna visar maxantalet partiklar vid olika djup utanför de olika vattenverken vid olika vindförhållanden. I parentes visas antalet timmar efter utsläppet som maxantalet uppnås. Varaktighet avser för Lovo och Görvåin tiden för första respektive sista partikeln på ett djup >2 m. För Norsborg avses tiden för första respektive sista partikeln på ett djup >8 m.

Antalet partiklar vid kontinuerligt är högre än antalet partiklar vid momentant  
 Antalet partiklar vid kontinuerligt är lägre än antalet partiklar vid momentant

Vindstyrka	kontinuerligt 1 m/s		momentant 1 m/s		kontinuerligt 3 m/s		momentant 3 m/s		kontinuerligt 5 m/s		momentant 5 m/s		kontinuerligt 8 m/s		momentant 8 m/s	
	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet
NO	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
O	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
SO	0	-	0	-	1(282)	282-288	0	1(234)	234-288	0	231-280	0	1(244)	244-254	0	1(193)
S	0	-	0	-	3(262)	262-288	0	4(277)	262-288	0	191-288	0	2(250)	149-288	0	1(193)
SV	0	-	0	-	2(250)	237-288	0	4(284)	228-288	0	138-288	0	6(280)	125-288	0	5(194)
V	0	-	0	-	1(268)	276-288	0	4(271)	212-288	0	146-288	0	8(282)	101-288	0	7(149)
NV	0	-	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vindstyrka	kontinuerligt 1 m/s		momentant 1 m/s		kontinuerligt 3 m/s		momentant 3 m/s		kontinuerligt 5 m/s		momentant 5 m/s		kontinuerligt 8 m/s		momentant 8 m/s	
	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet
NO	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
O	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
SO	3(199)	171-288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
SV	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
V	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
NV	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Vindstyrka	kontinuerligt 1 m/s		momentant 1 m/s		kontinuerligt 3 m/s		momentant 3 m/s		kontinuerligt 5 m/s		momentant 5 m/s		kontinuerligt 8 m/s		momentant 8 m/s	
	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet
NO	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
O	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
SO	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
S	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
SV	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
V	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
NV	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-

**Bilaga 1e**  
Simuleringsresultat för utsläpp från Berghamns Bryggeri (N: 6585250; Ö 1613725). Momentant utsläpp. Löst ämne, utsläppsdjup 1 m, ingen skiktning, 300 partiklar, partiklar fastnar ej på land och botten. **Isbelagd sjö.**  
Tabellerna visar maxantalet partiklar vid olika djup utanför de olika vattenverken vid Isbelagd sjö.

Isbelagd sjö	
Lövö >8 m	Lövö >8 m
0	0
Görveln 2-8 m	Görveln > 8 m
0	Norsborg > 8
0	0

Utsläppet har rört sig ca 1,5 km SÖ om utsläppspunkten.





**Bilaga 2b**  
 Simuleringsresultat för utsläpp från spillvattenledningen under Långtjärnen (N: 6576670; O: 1611385). Momentant utsläpp, löst amne, utsläppsdjup 1,9 m, 300 partiklar, partiklar fastnar ej på land och botten. 49 olika väderscenarion. Simuleringsstid 298 timmar.  
 Tabellerna visar maxantalet partiklar vid olika djup utanför de olika vattenverken vid olika vindförhållanden. I parentes visas antalet timmar efter utsläppet som maxantalet uppnås.  
 Varaktighet avser för Lovö och Görvein tiden för första respektive sista partikeln på ett djup >2 m. För Norsborg avses tiden för första respektive sista partikeln på ett djup >8 m.

Lovö												
Vindstyrka	Ingen skiktning			Sommarskiktning			7 m/s			7 m/s		
	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	1(141)	1(38)	138-151	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SV	0	0	0	2(129)	2(263)	67-298	2(238)	2(251)	27-298	1(23)	3(64)	22-210
V	0	0	0	1(285)	0	295-295	0	0	0	1(105)	0	105-296
NV	0	0	0	3(281)	2(282)	254-298	6(228)	5(195)	98-298	6(226)	3(181)	71
Görvein												
Vindstyrka	Ingen skiktning			Sommarskiktning			4 m/s			4 m/s		
	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	1(228)	2(279)	228-285	1(125)	2(146)	125-298	2(1009)	1(72)	59-210
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SV	0	0	0	0	0	0	0	1(262)	262-296	0	1(274)	274-298
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	1(292)	292-292	1(227)	1(250)	227-255
Norsborg												
Vindstyrka	Ingen skiktning			2 m/s			4 m/s			7 m/s		
	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**Bilaga 2d**  
 Simuleringsresultat för utsläpp från utsläppsvid Hammargården (N: 6578000, O: 1613065). Momentant utsläpp, löst ämne, utsläppsdypp 1,9 m, 300 partiklar, partiklar fastnar ej på land och bottnen. 49 olika väderklasser. Simuleringstid 298 timmar.  
 Tabellerna visar maximalt partiklar vid olika djup utifrån de olika väderklasserna vid olika vindriktningarna. I paranses visas emellan timmar efter utsläppet, som maximalt upptas.  
 Varaktighet avser för Lovo och Görveln tiden för första respektive sista partikeln på ett djup >2 m. För Norsborg avses tiden för första respektive sista partikeln på ett djup >8 m.

Lovo												
Vindstyrka	Ingen skiktning			4 m/s			7 m/s			Sommarskiktning		
	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet
N	1(83)	2(125)	183-298	1(183)	183-218	0	1(218)	0	0	0	1(260)	0
NO	1(210)	1(183)	183-276	2(275)	1(118)	118-298	1(219)	0	0	0	1(261)	0
O	0	0	0	0	0	0	0	218-220	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	3(44)	2(39)	2(23)	2(12)
SV	0	0	0	0	0	0	0	0	1(42)	3(25)	1(222)	1(159)
V	6(254)	6(282)	147-298	3(208)	4(138)	91-298	4(190)	48-298	2(192)	1(167)	2(116)	3(78)
NV	2(88)	3(65)	62-212	2(50)	3(64)	34-148	1(28)	22-114	3(298)	9(216)	5(290)	4(259)
Görveln												
Vindstyrka	Ingen skiktning			4 m/s			7 m/s			Sommarskiktning		
	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	3(202)	1(144)	105-284	2(89)	2(89)	2(59)
SV	0	0	0	0	0	0	5(127)	2(167)	105-265	4(64)	3(69)	1(35)
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1(283)
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Norsborg												
Vindstyrka	Ingen skiktning			4 m/s			7 m/s			Sommarskiktning		
	>8	Varaktighet	>8	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0





**Bilaga 2g**  
 Simuleringsresultat för utsläpp från Berghamns Bryggeri (N: 6585250; O: 1613725). Momentant utsläpp, löst ämne, utsläppsdjup 1 m, 300 partiklar, partiklar fastnar ej på land och boiten. 49 olika väderklasser. Simuleringstid 288 timmar.  
 Tabellerna visar maxantalet partiklar vid olika djup utanför de olika vattenverken vid olika vindförehållanden. I parentes visas antalet timmar efter utsläppet som maxantalet uppnås.  
 Varaktighet avser för Lovo och Görveln tiden för första respektive sista partikeln på ett djup > 2 m. För Norsborg avses tiden för första respektive sista partikeln på ett djup > 8 m.

Lovo												
Vindstyrka	Ingen skiktning			4 m/s			7 m/s			Sommarskiktning		
	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	1(270)	1(231)	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	1(230)	2(255)	0	1(286)	286-288	1(224)	1(216)	216-288	0
S	0	0	0	3(217)	5(197)	0	0	0	0	1(216)	216-248	0
SV	0	0	0	4(172)	4(217)	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	7(188)	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Görveln												
Vindstyrka	Ingen skiktning			4 m/s			7 m/s			Sommarskiktning		
	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	3(190)	4(254)	28-284	3(125)	4(110)	46-288	88-227	2(155)	2(52)	73-245	51-280	109-163
S	0	0	0	0	0	0	1(88)	1(129)	3(138)	5(69)	5(88)	5(40)
SV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Norsborg												
Vindstyrka	Ingen skiktning			4 m/s			7 m/s			Sommarskiktning		
	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet	2-8 m	>8	Varaktighet
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# Bilaga 3a

## Bräddning vid Ekebyhovs reningsverk, Ekerö

	Area (m <sup>2</sup> )	Djup (m)	Volym (m <sup>3</sup> )
Lövö 2m - 8m	70470	6	422820
Lövö >8m	70470	33,1	2332557
Görvaln 2m - 8m	61740	6	370440
Görvaln >8m	61740	16	987840
Norsborg >8m	31489	4,8	151147

### Lövö

Antal partiklar 2m - 8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,36507E-06	0,051429136	1	4,28714E-07	0,00812039
2	4,73015E-06	0,007218124	3	1,28614E-06	0,030677028
6	1,41904E-05	0,07488904	4	1,71486E-06	0,000902266
8	1,89206E-05	0,000902266	5	2,14357E-06	0,046917808
0	0	0,865562434	0	0	0,913382508

### Görvaln

Antal partiklar 2m - 8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
2	5,39898E-06	0,047820074	1	1,01231E-06	0,136242097
3	8,09848E-06	0,082106164	2	2,02462E-06	0,000902266
4	1,0798E-05	0,007218124	0	0	0,862855638
0	0	0,862855638			

### Norsborg

Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	6,61607E-06	0,001500459
2	1,32321E-05	0,000598193
3	1,98482E-05	0,000902266
5	3,30803E-05	0,000598193
0	0	0,996400889

### bräddvolym

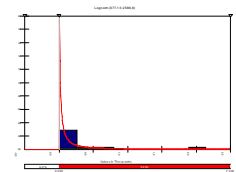
datum	Ekebyhovs reningsverk
4/2-2003	2153
18/3-2003	412
4/2-2004	567
(17+22)/3-2004	53
28/4-2004	2
14/6-2004	10
5/7-2004	71
9/11-2004	9 (utsläpp(18m3) 9 och 24 nov 2004 har delats upp i två separata utsläpp)
24/11-2004	9
6/1-2005	7
12/6-2005	59
(25+27+28)/7-2005	208
(8+10+15)/8-2005	139

### Antagna fördelningar

utsläppsvolym (m <sup>3</sup> )	RiskLognorm(377,13; 2586,8)	377,13
Crypto (N/L)	RiskLognorm(60; 80)	60
Noro (N/L)	RiskLognorm(300;1200)	300
Camp (N/L)	RiskLognorm(16E4;68E4)	160000
utspädning 1	1/300	0,003333333 1 partikel = 1/300 av den totala utsläppsvolymen.
Lövö 2-8	RiskDiscrete(C13;C17;D13;D17)	2,36507E-06
Lövö >8	RiskDiscrete(G13;G17;H13;H17)	0
Görvaln 2-8	RiskDiscrete(C24;C27;D24;D27)	0
Görvaln >8	RiskDiscrete(G24;G26;H24;H26)	0
Norsborg >8	RiskDiscrete(C32;C36;D32;D36)	0

Sommar (137/365 dagar)	frekvens på helt år
N 0-2,5	0,000902266
NO 0-2,5	0,000902266
O 0-2,5	0,011729452
SO 0-2,5	0,030677028
S 0-2,5	0,027970232
SV 0-2,5	0,034286091
V 0-2,5	0,011729452
NV 0-2,5	0,000902266
N 2,5-5	0,000902266
NO 2,5-5	0,004511328
O 2,5-5	0,025263435
SO 2,5-5	0,046917808
S 2,5-5	0,051429136
SV 2,5-5	0,057744995
V 2,5-5	0,039699684
NV 2,5-5	0,000902266
N >5	0,000902266
NO >5	0,000902266
O >5	0,000902266
SO >5	0,000902266
S >5	0,007218124
SV >5	0,007218124
V >5	0,009022655
NV >5	0,001804531

Vinter (228/365 dagar)	frekvens på helt år inklusive 78/228 dagar med is
N 0-2,5	0,000598193456
NO 0-2,5	0,000598193456
O 0-2,5	0,011963869115
SO 0-2,5	0,028115092
S 0-2,5	0,025124125
SV 0-2,5	0,03110606
V 0-2,5	0,022133158
NV 0-2,5	0,00179458
N 2,5-5	0,000598193
NO 2,5-5	0,00179458
O 2,5-5	0,022133158
SO 2,5-5	0,043668122
S 2,5-5	0,04665909
SV 2,5-5	0,047855476
V 2,5-5	0,040677155
NV 2,5-5	0,006580128
N >5	0,000598193
NO >5	0,000598193
O >5	0,002990967
SO >5	0,014356643
S >5	0,011963869
SV >5	0,016151223
V >5	0,029311479
NV >5	0,003589161





	Koncentration (N/L)	medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lövö 2-B</b>												
C(Crypto)=	0,000178388	7,99956E-05	0	0,085768485	0,0115	0,0013	0	0	0	9,23397E-05	0,001251682	0,012013185
C(Noro)=	0,00089194	0,000340431	0	0,221529618	0,024	0,0061	0,0007	0	0	0,000199895	0,004614111	0,079435471
C(Camp)=	0,475701244	0,136973066	0	87,72641724	0,122	0,0962	0,0506	0,0173	0,003	0,101983176	2,212521331	28,27867472
<b>Lövö &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0	9,03486E-06	0	0,019436191	0,0015	1E-04	0	0	0	4,46347E-06	0,000125073	0,001398131
C(Noro)=	0	3,24838E-05	0	0,032620738	0,0048	0,0007	0	0	0	9,18237E-06	0,000348236	0,005930713
C(Camp)=	0	0,022223889	0	57,35767652	0,0657	0,0399	0,0147	0,0032	0,0004	0,004276469	0,191813241	3,874238108
<b>Görväln 2-B</b>												
C(Crypto)=	0	5,39031E-05	0	0,0330191	0,0117	0,0006	0	0	0	9,89794E-05	0,00116303	0,006892605
C(Noro)=	0	0,000355645	0	0,697539922	0,0257	0,0051	0,0005	0	0	0,000223794	0,003775899	0,037189624
C(Camp)=	0	0,153610831	0	221,9443782	0,1245	0,098	0,054	0,0161	0,0017	0,125028927	1,837521711	16,13863142
<b>Görväln &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0	8,86993E-06	0	0,004340474	0,0016	0	0	0	0	1,33613E-05	0,000181751	0,001329694
C(Noro)=	0	4,81938E-05	0	0,130788735	0,0069	0,0006	1E-04	0	0	2,37445E-05	0,000623184	0,007425522
C(Camp)=	0	0,022234823	0	17,06488544	0,1052	0,0611	0,0207	0,0044	0,0004	0,016839146	0,325809802	4,316059877
<b>Norsborg &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0	4,55273E-06	0	0,018578925	0,0008	0,0002	0	0	0	0	0	0,000560746
C(Noro)=	0	1,67698E-05	0	0,087332648	0,0013	0,0004	0	0	0	0	0	0,001764776
C(Camp)=	0	0,001926732	0	4,643090353	0,0044	0,0036	0,0024	0,0003	0	0	0	0,444437073

**Antagna fördelningar**

utsläppsvoly (m3)	RiskLognorm(377,13; 2586,8)	377,13
Crypto (N/L)	RiskLognorm(60; 80)	60
Noro (N/L)	RiskLognorm(300; 1200)	300
Camp (N/L)	RiskLognorm(16E4; 68E4)	160000
utspädning 1	1/300	0,003333333
Lövö 2-B	RiskDiscrete(C13; C16; D 13; D16)	4,73015E-06
Lövö >B	RiskDiscrete(G13; G16; H 13; H16)	1,71486E-06
Görväln 2-B	RiskDiscrete(C24; C26; D 24; D26)	8,09848E-06
Görväln >B	RiskDiscrete(G24; G25; H 24; H25)	1,01231E-06
Norsborg >B	RiskDiscrete(C32; C35; D 32; D35)	1,32321E-05

**Koncentration (N/L) givet partiklarna när fram till vattenverken**

	Koncentration (N/L)	medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lövö 2-B</b>												
C(Crypto)=	0,000356776	0,000722505	5,66301E-09	0,393447971	0,091782842	0,01035302	0,000607016	0	0	0,002125738	0,010854799	0,06758314
C(Noro)=	0,00178388	0,004115226	1,17048E-09	7,210465316	0,182479839	0,040205042	0,003767439	0,000692517	0	0,007158479	0,040236493	0,431159497
C(Camp)=	0,951402488	2,222004513	6,99103E-07	2977,269584	0,912407097	0,701984157	0,381169024	0,126752561	0,021725295	3,951206624	27,98351087	352,625523
<b>Lövö &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0,000129345	0,000138368	1,05516E-09	0,084533013	0,020452916	0,001340026	0	0	0	0,000404472	0,001919576	0,013591942
C(Noro)=	0,000646724	0,000767297	6,36514E-10	1,089194157	0,068082372	0,008667054	0,000880865	1,60483E-05	0	0,001453095	0,008639783	0,089336513
C(Camp)=	0,344919331	0,386578008	5,40966E-07	449,7386079	0,806015719	0,498028504	0,195441674	0,040501746	0,005155672	0,764961635	4,975250904	53,26669532
<b>Görväln 2-B</b>												
C(Crypto)=	0,000610836	0,000545807	1,32881E-08	0,224540642	0,084744844	0,007465279	0,000431309	0	0	0,001809615	0,007876835	0,051350791
C(Noro)=	0,003054179	0,00322593	4,00795E-09	4,115010454	0,177643021	0,034181761	0,003740921	0,000378518	0	0,006312463	0,039756881	0,404980981
C(Camp)=	1,628895368	1,585294199	2,27088E-06	1699,126884	0,929292122	0,720288755	0,379157816	0,119098494	0,021124538	3,364175486	21,89344077	201,2432832
<b>Görväln &gt;B</b>												
C(Crypto)=	7,63545E-05	7,99765E-05	2,11398E-09	0,039921054	0,011529291	0,000539237	0	0	0	0,000258463	0,001094099	0,006821021
C(Noro)=	0,000381772	0,000430524	5,00994E-10	0,514376307	0,04549249	0,004889652	0,00067212	0	0	0,000905045	0,00504881	0,050622623
C(Camp)=	0,203611921	0,21954451	2,99234E-07	212,398605	0,748484913	0,433948156	0,147443003	0,026289932	0,002619918	0,460547534	3,129968262	27,4445361
<b>Norsborg &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0,000998047	0,001131187	1,58417E-08	0,782725994	0,137580738	0,017566451	0,001111444	0	0	0,003757294	0,015585061	0,10360519
C(Noro)=	0,004990235	0,007151019	9,82291E-09	16,8088291	0,242497423	0,061217959	0,007740898	0,00084477	5,03756E-05	0,012851115	0,074606965	0,873630315
C(Camp)=	2,661458499	3,255034984	1,95568E-06	4164,315071	0,950999808	0,780035994	0,47501924	0,175099306	0,038580591	6,721039824	45,01740716	345,6915704

# Bilaga 3b

## Läckage spillvattenledning under Långtarmen, Ekerö

	Area (m2)	Djup (m)	Volym (m3)
Lövö 2m - 8m	70470	6	422820
Lövö >8m	70470	33,1	2332557
Görveln 2m - 8m	61740	6	370440
Görveln >8m	61740	16	987840
Norsborg >8m	31489	4,8	151147

### Lövö

Antal partiklar 2m - 8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,36507E-06	0,105565068	1	4,28714E-07	0,077594837
2	4,73015E-06	0,092031085	2	8,57428E-07	0,092933351
3	7,09522E-06	0,000902266	3	1,28614E-06	0,009022655
6	1,41904E-05	0,002706797	5	2,14357E-06	0,000902266
0	0	0,798794784	0	0	0,819546891

### Görveln

Antal partiklar 2m - 8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,69949E-06	0,079399368	1	1,01231E-06	0,068572181
2	5,39898E-06	0,000902266	2	2,02462E-06	0,077594837
0	0	0,919698367	0	0	0,853832982

### Norsborg

Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år

### Antagna fördelningar

Flöde Brandholmen	RiskNormal(43,6; pst.(m3/h) 5; RiskTruncate(0;))	43,6
Varaktighet utsläpp (h)	Riskuniform(12;24)	18
Crypto (N/L)	RiskLognorm(60; 80)	60
Noro (N/L)	RiskLognorm(300;1 200)	300
Camp (N/L)	RiskLognorm(16E4; 68E4)	160000
utspädning 1	1/300 RiskDiscrete(C13:C 17; D13; D17)	0,0033333333
Lövö 2-8	RiskDiscrete(G13;G 17; H13; H17)	0
Lövö >8	RiskDiscrete(C24;C 26; D24; D26)	0
Görveln 2-8	RiskDiscrete(G24;G 26; H24; H26)	0
Görveln >8		0

*1 partikel = 1/300 av den totala volymen.*

Sommar (137/365 dagar)	frekvens på helt år
N 0-2,5	0,000902266
NO 0-2,5	0,000902266
O 0-2,5	0,011729452
SO 0-2,5	0,030677028
S 0-2,5	0,027970232
SV 0-2,5	0,034286091
V 0-2,5	0,011729452
NV 0-2,5	0,000902266

N 2,5-5	0,000902266
NO 2,5-5	0,004511328
O 2,5-5	0,025263435
SO 2,5-5	0,046917808
S 2,5-5	0,051429136
SV 2,5-5	0,057744995
V 2,5-5	0,039699684
NV 2,5-5	0,000902266

N >5	0,000902266
NO >5	0,000902266

O >5	0,000902266
SO >5	0,000902266
S >5	0,007218124
SV >5	0,007218124
V >5	0,009022655
NV >5	0,001804531

Vinter (228/365 dagar)	frekvens på helt år inklusive 78/228 dagar med is
------------------------	---

N 0-2,5	0,000598193
NO 0-2,5	0,000598193
O 0-2,5	0,011963869
SO 0-2,5	0,028115092
S 0-2,5	0,025124125
SV 0-2,5	0,03110606
V 0-2,5	0,022133158
NV 0-2,5	0,00179458

N 2,5-5	0,000598193
NO 2,5-5	0,00179458

O 2,5-5	0,022133158
---------	-------------

SO 2,5-5	0,043668122
----------	-------------

S 2,5-5	0,04665909
---------	------------

SV 2,5-5	0,047855476
----------	-------------

V 2,5-5	0,040677155
---------	-------------

NV 2,5-5	0,006580128
----------	-------------

N >5	0,000598193
------	-------------

NO >5	0,000598193
-------	-------------

O >5	0,002990967
------	-------------

SO >5	0,014356643
-------	-------------

S >5	0,011963869
------	-------------

SV >5	0,016151223
-------	-------------

V >5	0,029311479
------	-------------

NV >5	0,003589161
-------	-------------

		Koncentration (N/L)										
		medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Löv &gt;B</b>		0,000116019	0	0,013432544	0,0283	0,0003		0	0	0,000649032	0,00195845	0,005675403
C(Crypto)=	0	0,000575052	0	0,193392285	0,0777	0,0126	0,0003	0	0	0,002054242	0,012798989	0,044811724
C(Noro)=	0	0,312034619	0	132,8509524	0,2003	0,195	0,1501	0,0518	0,0051	1,064424052	5,708144567	41,08533424
C(Camp)=	0											
<b>Löv &gt;B</b>		1,90448E-05	0	0,002244192	0,001	0	0	0	0	0,000117178	0,000330895	0,000912457
C(Crypto)=	0	8,90248E-05	0	0,033422041	0,0195	0,0009	0	0	0	0,000326234	0,001775952	0,008355758
C(Noro)=	0	0,056719393	0	18,2507774	0,1775	0,1523	0,0719	0,0119	0,0006	0,181471863	1,106070036	5,39390307
C(Camp)=	0											
<b>Görväln &gt;B</b>		3,46553E-05	0	0,008509614	0,007	0	0	0	0	0,000186098	0,000827873	0,002572938
C(Crypto)=	0	0,000177974	0	0,110368921	0,0303	0,0034	1E-04	0	0	0,000362816	0,003709965	0,022030453
C(Noro)=	0	0,100142178	0	101,3952019	0,0835	0,0817	0,0602	0,0207	0,0013	0,165080676	2,082099276	12,4751964
C(Camp)=	0											
<b>Görväln &gt;B</b>		3,55805E-05	0	0,006837175	0,0045	0	0	0	0	0,000211636	0,000675683	0,001779761
C(Crypto)=	0	0,000182926	0	0,05832497	0,0349	0,0033	0	0	0	0,000583931	0,003684581	0,02148512
C(Noro)=	0	0,094977051	0	89,38959979	0,1436	0,1347	0,0844	0,0207	0,0006	0,300604767	1,934675926	8,159749698
C(Camp)=	0											

**Antagna fördelningar**

Flöde Brändholmen RiskNormal(43,6; 5; RiskTruncate(O..))	43,6
Varaktighet utsläpp (h)	18
Riskunform(12; 24)	
RiskLognorm(60; 80)	60
Crypto (N/L)	
Noro (N/L)	300
RiskLognorm(16E4; 68E4)	160000
Camp (N/L)	
utspädning 1	1/300
RiskDiscrete(C13; C16; D13; D16)	4,73015E-06
Löv >B	
RiskDiscrete(G13; G16; H13; H16)	8,57428E-07
Löv >B	
RiskDiscrete(C24; C25; D24; D25)	2,69949E-06
Görväln >B	
RiskDiscrete(G24; G25; H24; H25)	2,02462E-06

**Koncentration (N/L) givet att partiklarna när vattenverken**

		medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Löv &gt;B</b>		0,000742444	0,000569001	0,000352907	0,000692989	0,146395054	0,000275286	0	0	0,001927194	0,004032544	0,008089112
C(Crypto)=	0,003712218	0,002911554	0,000732414	0,005019554	0,393163179	0,05902712	0,001543157	0	0	0,011438939	0,036729421	0,141856657
C(Noro)=	1,979849581	1,459478377	0,0072676	1,549268023	0,999540689	0,975012655	0,737628276	0,260469777	0,027023704	5,835487624	18,77706723	62,45404659
C(Camp)=												
<b>Löv &gt;B</b>		0,000134582	0,000110124	3,6605E-05	0,000145552	0,00493767	0	0	0	0,000370758	0,0007523	0,002199456
C(Crypto)=	0,00067291	0,000558653	7,06952E-05	0,001214962	0,116553345	0,005465546	0	0	0	0,002182671	0,002795128	0,025349658
C(Noro)=	0,35888512	0,280386474	0,000558695	0,366312091	0,990210486	0,845359207	0,393590867	0,057823684	0,001578341	1,100571219	3,909614927	11,32097485
C(Camp)=												
<b>Görväln &gt;B</b>		0,000423712	0,000428209	0,000230491	0,000525495	0,091642708	0	0	0	0,001355758	0,002735794	0,006090159
C(Crypto)=	0,002118562	0,002224331	0,000445148	0,00469843	0,346200708	0,043526482	0,000864646	0	0	0,008683098	0,028035086	0,080957553
C(Noro)=	1,129899579	1,095577632	0,004147617	1,319845911	0,999642084	0,969185343	0,703497663	0,215768538	0,017423395	4,416341173	14,18531583	44,56614129
C(Camp)=												
<b>Görväln &gt;B</b>		0,000317784	0,000243538	0,000146501	0,000319646	0,031230846	0	0	0	0,000809769	0,00163451	0,003580069
C(Crypto)=	0,001588921	0,001258948	0,000311403	0,002383795	0,230171444	0,020394804	0,000396478	0	0	0,004973013	0,015443393	0,045972878
C(Noro)=	0,847424684	0,629299699	0,003110713	0,823316431	0,998330651	0,930660086	0,571965315	0,133917628	0,007453448	2,553955395	8,174835506	26,28143368
C(Camp)=												

## Bilaga 3c

### Bräddning vid Tråkvista brygga, Ekero

	Area (m2)	Djup (m)	Volym (m3)
Lovo 2m - 8m	70470	6	422820
Lovo >8m	70470	33,1	2332557
Gorveln 2m - 8m	61740	6	370440
Gorveln >8m	61740	16	987840
Norsborg >8m	31489	4,8	151147

### Lovo

Antal partiklar 2m - C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar C (partiklar >8m (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,36507E-06	0	0,000902266
0	0	0	0,999097734

### Gorveln

Antal partiklar 2m - C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar C (partiklar >8m (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,36507E-06	0	0,000902266
0	0	0	0,999097734

### Norsborg

Antal partiklar >8m C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	6,61607E-06
2	1,32321E-05
4	2,64643E-05
5	3,30803E-05
6	3,96964E-05
0	0

### Antagna fördelningar

Flöde pst Tråkvista Brygga (m3/h)	RiskNormal(10; 3; RiskTruncate(0; ))	10,00382893
Varaktighet utsläpp (h)	RiskUniform(1; 48)	24,5
Crypto (N/L)	RiskLognorm(60; 80)	60
Noro (N/L)	RiskLognorm(300; 1200)	300
Camp (N/L) utspädning 1	RiskLognorm(16E4; 68E4)	160000
Lövö 2-8	RiskDiscrete(C13: 14; D13; D14)	0
Norsborg >8	RiskDiscrete(C32: C37; D32; D37)	0

Sommar (137/365 dagar)	frekvens på helt år
N 0-2,5	0,000902266
NO 0-2,5	0,000902266
O 0-2,5	0,011729452
SO 0-2,5	0,030677028
S 0-2,5	0,027970232
SV 0-2,5	0,034286091
V 0-2,5	0,011729452
NV 0-2,5	0,000902266

N 2,5-5	0,000902266
NO 2,5-5	0,004511328
O 2,5-5	0,025263435
SO 2,5-5	0,046917808
S 2,5-5	0,051429136
SV 2,5-5	0,057744995
V 2,5-5	0,039699684
NV 2,5-5	0,000902266

N >5	0,000902266
NO >5	0,000902266

O >5	0,000902266
SO >5	0,000902266
S >5	0,007218124
SV >5	0,007218124
V >5	0,009022655
NV >5	0,001804531

Vinter (228/365 dagar)	frekvens på helt år inklusive 78/228 dagar med is
------------------------	---

N 0-2,5	0,000598193
NO 0-2,5	0,000598193
O 0-2,5	0,011963869
SO 0-2,5	0,028115092
S 0-2,5	0,025124125
SV 0-2,5	0,03110606
V 0-2,5	0,022133158
NV 0-2,5	0,00179458
N 2,5-5	0,000598193
NO 2,5-5	0,00179458
O 2,5-5	0,022133158
SO 2,5-5	0,043668122

S 2,5-5	0,04665909
---------	------------

SV 2,5-5	0,047855476
----------	-------------

V 2,5-5	0,040677155
---------	-------------

NV 2,5-5	0,006580128
----------	-------------

N >5	0,000598193
------	-------------

NO >5	0,000598193
-------	-------------

O >5	0,002990967
------	-------------

SO >5	0,014356643
-------	-------------

S >5	0,011963869
------	-------------

SV >5	0,016151223
-------	-------------

V >5	0,029311479
------	-------------

NV >5	0,003589161
-------	-------------

		Koncentration (N/L)										
		medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lovo 2-8</b>												
C(Crypto)=	0	1,63832E-07	0	0,000283073	0	0	0	0	0	0	0	3,66049E-05
C(Noro)=	0	6,05129E-06	0	0,051814345	0,0002	1E-04	0	0	0	0	0	2,85596E-05
C(Camp)=	0	0,00042532	0	1,546164007	0,0015	0,0012	0,001	1E-04	0	0	0	0,081184345
<b>Norsborg &gt;8</b>												
C(Crypto)=	0	2,95162E-05	0	0,006134236	0,0063	0	0	0	0	0,000126331	0,000777053	0,002133632
C(Noro)=	0	0,000175767	0	0,171319041	0,0252	0,0039	1E-04	0	0	0,000209814	0,003614298	0,024426749
C(Camp)=	0	0,077670207	0	65,39553852	0,0845	0,0777	0,0512	0,0142	0,001	0,10927174	1,322774529	9,950638698

**Antagna fördelningar**

Filde pst Trakvista Brygga (m3/h)	RiskNormal(10, 3, Ri skTruncate(0, ))	10,00382893
Varaktighet utslapp (h)	RiskUniform(1, 48)	24,5
Crypto (N/L)	RiskLognorm(60, 80)	60
Noro (N/L)	RiskLognorm(300, 1200)	300
Camp (N/L)	RiskLognorm(1eE4, 68E4)	160000
utspädning 1	RiskDiscrete(C13, D 1/300)	0,003333333
Lovo 2-8	RiskDiscrete(C13, D 13)	2,36507E-06
Norsborg >8	RiskDiscrete(C32, C 36, D32, D36)	6,61607E-06

		Koncentration (N/L) givet att partiklarna når vattenverken										
		medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lovo 2-8</b>												
C(Crypto)=	0,000115933	0,000115613	2,32556E-07	0,006077396	0,008374673	0	0	0	0	0,000412426	0,000920195	0,002101776
C(Noro)=	0,000579665	0,000581251	3,90418E-08	0,080128619	0,115269315	0,006840465	0	0	0	0,002258173	0,007910954	0,030796102
C(Camp)=	0,309154482	0,299756694	6,68747E-06	49,25040868	0,97775815	0,806339238	0,37356637	0,058350263	0,002487465	1,16056303	3,917831466	15,02011649
<b>Norsborg &gt;8</b>												
C(Crypto)=	0,000224311	0,000365295	6,50552E-07	0,018819068	0,077758719	0,000543982	0	0	0	0,001326324	0,003196634	0,008890676
C(Noro)=	0,001621557	0,001898353	1,09216E-07	0,23118458	0,277881594	0,03266449	0,001388856	0	0	0,00708271	0,026159483	0,144603525
C(Camp)=	0,864830431	0,939608981	1,87076E-05	139,466736	0,995282404	0,917117598	0,593685251	0,16785284	0,013489696	3,722387179	12,87575018	43,88804937

# Bilaga 3d

## Bräddning vid Hammargården, Ekero

	Area (m2)	Djup (m)	Volym (m3)
Lövö 2m - 8m	70470	6	422820
Lövö >8m	70470	33,1	2332557
Görveln 2m - 8m	61740	6	370440
Görveln >8m	61740	16	987840
Norsborg >8m	31489	4,8	151147

## Lövö

Antal partiklar 2m - 8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,36507E-06	0,06553146	1	4,28714E-07	0,094698079
2	4,73015E-06	0,010169289	2	8,57428E-07	0,171126381
3	7,09522E-06	0,204889484	3	1,28614E-06	0,016495098
4	9,46029E-06	0,029311479	4	1,71486E-06	0,042481686
6	1,41904E-05	0,023937689	5	2,14357E-06	0,030213745
9	2,12857E-05	0,001804531	6	2,57228E-06	0,022133158
13	3,07459E-05	0,009022655	0	0	0,622851853
19	4,49364E-05	0,039699684			
26	6,14919E-05	0,011729452			
0	0	0,603904276			

## Görveln

Antal partiklar 2m - 8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
2	5,39898E-06	0,046917808	1	1,01231E-06	0,046015543
3	8,09848E-06	0,031579294	2	2,02462E-06	0,075790306
4	1,0798E-05	0,051429136	3	3,03693E-06	0,051429136
5	1,34975E-05	0,027970232	0	0	0,826765016
6	1,6197E-05	0,007218124			
0	0	0,834885406			

## Norsborg

Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	6,61607E-06	0,000902266
0	0	0,999097734

## Antagna fördelningar

Anslutna personer )	RiskTriang(100;150;200)	150
Flöde per person (m3/dygn)	RiskTriang(0,150;0,200;0,300)	0,216666667
Varaktighet utsläpp (dygn)	RiskTriang(0,04;0,04;2)	0,693333333
Crypto (N/L)	RiskLognorm(60; 80)	60
Noro (N/L)	RiskLognorm(300;1200)	300
Camp (N/L) utspädning 1	RiskLognorm(16E4;68E4)	160000
Lövö 2-8	RiskDiscrete(C13;C22;D13;D22)	4,73015E-06
Lövö >8	RiskDiscrete(G13;G19;H13;H19)	4,28714E-07
Görveln 2-8	RiskDiscrete(C26;C31;D26;D31)	0
Görveln >8	RiskDiscrete(G26;G29;H26;H29)	0
Norsborg >8	RiskDiscrete(C35;C36;D35;D36)	0

Sommar (137/365 dagar)	frekvens på helt år
N 0-2,5	0,000902266
NO 0-2,5	0,000902266
O 0-2,5	0,011729452
SO 0-2,5	0,030677028
S 0-2,5	0,027970232
SV 0-2,5	0,034286091
V 0-2,5	0,011729452
NV 0-2,5	0,000902266

N 2,5-5	0,000902266
NO 2,5-5	0,004511328
O 2,5-5	0,025263435
SO 2,5-5	0,046917808
S 2,5-5	0,051429136
SV 2,5-5	0,057744995
V 2,5-5	0,039699684
NV 2,5-5	0,000902266

N >5	0,000902266
NO >5	0,000902266
O >5	0,000902266
SO >5	0,000902266

S >5	0,007218124
SV >5	0,007218124
V >5	0,009022655
NV >5	0,001804531

Vinter (228/365 dagar)	frekvens på helt år inklusive 78/228 dagar med is
N 0-2,5	0,000598193
NO 0-2,5	0,000598193
O 0-2,5	0,011963869
SO 0-2,5	0,028115092
S 0-2,5	0,025124125
SV 0-2,5	0,03110606
V 0-2,5	0,022133158
NV 0-2,5	0,00179458

N 2,5-5	0,000598193
NO 2,5-5	0,00179458
O 2,5-5	0,022133158

SO 2,5-5	0,043668122
S 2,5-5	0,04665909

SV 2,5-5	0,047855476
V 2,5-5	0,040677155
NV 2,5-5	0,006580128

N >5	0,000598193
NO >5	0,000598193

O >5	0,002990967
SO >5	0,014356643

S >5	0,011963869
SV >5	0,016151223
V >5	0,029311479
NV >5	0,003589161

	Koncentration (N/L)	medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lövö 2-B</b>												
C(Crypto)=	2,13172E-05	2,21374E-05	0	0,0036944	0,0018	0	0	0	0	0,000100779	0,000358091	0,001236157
C(Noro)=	0,000106586	0,000114101	0	0,096331641	0,0197	0,0009	0	0	0	0,000375968	0,002186545	0,009193879
C(Camp)=	0,056845834	0,062863163	0	72,82416528	0,3588	0,2354	0,0765	0,0095	0,0006	0,17235871	0,933419028	5,986455556
<b>Lövö &gt;B</b>												
C(Crypto)=	1,93207E-06	1,7201E-06	0	0,000255612	0	0	0	0	0	8,62887E-06	2,3671E-05	6,74051E-05
C(Noro)=	9,66036E-06	9,22969E-06	0	0,004595244	0,0007	0	0	0	0	3,52931E-05	0,00016756	0,000675773
C(Camp)=	0,00515219	0,005064775	0	1,231200145	0,2356	0,0768	0,0096	0,0004	0	0,018005878	0,097018925	0,507527928
<b>Görväln 2-B</b>												
C(Crypto)=	0	7,08925E-06	0	0,001024218	1E-04	0	0	0	0	3,91327E-05	0,000145994	0,000455099
C(Noro)=	0	3,95538E-05	0	0,039911946	0,0071	0,0003	0	0	0	0,000104847	0,000749602	0,005187813
C(Camp)=	0	0,019263666	0	6,413978951	0,1561	0,1054	0,0323	0,0031	0	0,049658424	0,385070581	2,747317988
<b>Görväln &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0	1,48613E-06	0	0,000326863	0	0	0	0	0	7,64556E-06	2,79468E-05	0,000107223
C(Noro)=	0	6,78348E-06	0	0,002092092	0,0004	0	0	0	0	2,11166E-05	0,000144058	0,000708001
C(Camp)=	0	0,003828487	0	1,341495189	0,1256	0,0548	0,0077	0,0002	0	0,011500862	0,079577471	0,537644685
<b>Norsborg &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0	3,7433E-08	0	0,000244841	0	0	0	0	0	0	0	0
C(Noro)=	0	1,32084E-07	0	0,00073305	0	0	0	0	0	0	0	0
C(Camp)=	0	6,25256E-05	0	0,487688963	0,0009	0,0007	1E-04	0	0	0	0	0

**Antagna fördelningar**

RiskTriang(100; 150; 200)	
Anslutna personer )	150
Flöde per person (m <sup>3</sup> /dygn)	RiskTriang(0,150; 0,200; 0,300)
Väraktighet	0,21666667
utsläpp (dygn)	RiskTriang(0,04; 0,04; 2)
Crypto (N/L)	60
Noro (N/L)	RiskLognorm(300; 1200)
Camp (N/L)	RiskLognorm(16E4; 68E4)
utspädning 1	1/300
Lövö 2-B	RiskDiscrete(C13; C21; D13; D21)
Lövö >B	RiskDiscrete(G13; G18; H13; H18)
Görväln 2-B	RiskDiscrete(C26; C30; D26; D30)
Görväln >B	RiskDiscrete(G26; G28; H26; H28)
Norsborg >B	RiskDiscrete(C35; D35)

	Koncentration (N/L) givet partiklarna när fram till vattenverken	medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lövö 2-B</b>												
C(Crypto)=	6,39516E-05	5,70734E-05	3,08803E-08	0,003395314	0,00500868	0	0	0	0	0,000231371	0,000689057	0,00202316
C(Noro)=	0,000319758	0,000286594	2,21996E-08	0,06559959	0,05196324	0,003320241	0	0	0	0,001043759	0,004746604	0,017418217
C(Camp)=	0,170537502	0,162327236	3,85054E-06	50,53007968	0,902521066	0,593437215	0,19987244	0,029479499	0,001484285	0,59696399	2,464629244	14,04393504
<b>Lövö &gt;B</b>												
C(Crypto)=	3,86414E-06	4,79973E-06	9,65509E-09	0,000404051	0	0	0	0	0	1,85007E-05	4,32016E-05	0,000113197
C(Noro)=	1,93207E-05	2,50834E-05	2,24368E-09	0,010909564	0,002281617	1,89735E-05	0	0	0	9,33378E-05	0,000328411	0,001391177
C(Camp)=	3,091314239	4,100420156	6,97984E-05	977,7571872	0,999151114	0,972925804	0,797181981	0,389429085	0,076791595	15,73054857	61,78986745	250,8508175
<b>Görväln 2-B</b>												
C(Crypto)=	3,64971E-05	4,23546E-05	1,26378E-07	0,002896408	0,000739427	0	0	0	0	0,000161429	0,000361725	0,000936698
C(Noro)=	0,000182486	0,000208718	2,11917E-08	0,028881634	0,039573899	0,001622259	0	0	0	0,000831175	0,002821326	0,012114348
C(Camp)=	0,097325703	0,119513263	5,86001E-06	27,7366459	0,925146691	0,615320994	0,190391405	0,020156115	0,000456628	0,457877384	1,635055617	6,471404012
<b>Görväln &gt;B</b>												
C(Crypto)=	9,12428E-06	9,27158E-06	1,16041E-08	0,000477037	0	0	0	0	0	3,61742E-05	8,02224E-05	0,000188806
C(Noro)=	4,56214E-05	4,58718E-05	5,29793E-09	0,008586809	0,004227569	0	0	0	0	0,000178967	0,000610084	0,002512309
C(Camp)=	0,024331426	0,026504098	5,49376E-07	5,799447117	0,749403812	0,319412006	0,049922021	0,002520358	0	0,099692927	0,371256165	1,480816302
<b>Norsborg &gt;B</b>												
C(Crypto)=	2,98164E-05	2,97687E-05	7,584E-08	0,001183113	0,000119744	0	0	0	0	0,000111163	0,000235725	0,000513345
C(Noro)=	0,000149082	0,000150469	1,73126E-08	0,028060041	0,028629478	0,000446074	0	0	0	0,000595758	0,001855414	0,008614037
C(Camp)=	0,079510423	0,084051895	3,59051E-06	16,9946417	0,905448699	0,561201624	0,150394236	0,012178441	0,000302566	0,330491924	1,143794688	4,413013523

# Bilaga 3e

## Läckage på sjöförädlad spillvattenledning vid Ståket, Upplands- Bro

	Area (m2)	Djup (m)	Volym (m3)
Lövö 2m - 8m	70470	6	422820
Lövö >8m	70470	33,1	2332557
Görveln 2m - 8m	61740	6	370440
Görveln >8m	61740	16	987840
Norsborg >8m	31489	4,8	151147

### Lövö

Antal partiklar 2m - 8m C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,36507E-06	0,001804531	0,000902266
0	0,998195469	0	0,999097734

### Görveln

Antal partiklar 2m - 8m C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,69949E-06	0,080416642	0,051105162
2	5,39898E-06	0,010169289	2,202462E-06
3	8,09848E-06	0,009022655	3,303693E-06
5	1,34975E-05	0,001196387	6,607386E-06
7	1,88964E-05	0,003589161	10,101231E-05
8	2,15959E-05	0,000598193	19,192339E-05
9	2,42954E-05	0,05864726	29,29357E-05
0	0,836360413	0	32,323939E-05
			0,923396985

### Norsborg

Antal partiklar >8m C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år

### Antagna fördelningar

Flöde spillvattenledning (m3/dygn)	RiskNormal(8000: 1685; RiskTruncate(6000: ))	8374,935455	percentil 99 motsvarar 12000 m3/dygn
Varaktighet utsläpp (dygn)	RiskUniform(0,1:2)	1,05	
Crypto (N/L)	RiskLognorm(60: 80)	60	
Noro (N/L)	RiskLognorm(300:1200 )	300	
Camp (N/L) utspädning 1	RiskLognorm(16E4:68E4) 1/300	160000	0,003333333
Lövö 2-8	RiskDiscrete(C13:C14:D1 3:D14)	0	
Lövö >8	RiskDiscrete(G13:G14:H1 3:H14)	0	
Görveln 2-8	RiskDiscrete(C19:C26:D1 9:D26)	2,69949E-06	
Görveln >8	RiskDiscrete(G19:G27:H1 9:H27)	0	

Sommar (137/365 dagar)	frekvens på helt år
N 0-2,5	0,000902266
NO 0-2,5	0,000902266
O 0-2,5	0,011729452
SO 0-2,5	0,030677028
S 0-2,5	0,027970232
SV 0-2,5	0,034286091
V 0-2,5	0,011729452
NV 0-2,5	0,000902266

N 2,5-5	0,000902266
NO 2,5-5	0,004511328
O 2,5-5	0,025263435
SO 2,5-5	0,046917808
S 2,5-5	0,051429136
SV 2,5-5	0,057744995

V 2,5-5	0,039699684
NV 2,5-5	0,000902266

N >5	0,000902266
NO >5	0,000902266
O >5	0,000902266
SO >5	0,000902266
S >5	0,007218124
SV >5	0,007218124
V >5	0,009022655
NV >5	0,001804531

Vinter (228/365 dagar)	frekvens på helt år inklusive 78/228 dagar med is
N 0-2,5	0,000598193
NO 0-2,5	0,000598193
O 0-2,5	0,011963869
SO 0-2,5	0,028115092
S 0-2,5	0,025124125
SV 0-2,5	0,03110606
V 0-2,5	0,022133158
NV 0-2,5	0,00179458

N 2,5-5	0,000598193
NO 2,5-5	0,00179458
O 2,5-5	0,022133158
SO 2,5-5	0,043668122
S 2,5-5	0,04665909

SV 2,5-5	0,047855476
V 2,5-5	0,040677155
NV 2,5-5	0,006580128

N >5	0,000598193
NO >5	0,000598193

O >5	0,002990967
------	-------------

SO >5	0,014356643
-------	-------------

S >5	0,011963869
------	-------------

SV >5	0,016151223
-------	-------------

V >5	0,029311479
------	-------------

NV >5	0,003589161
-------	-------------



	koncentration (N/L)	medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lovo 2-B</b>												
C(Crypto)=	0	8,17275E-06	0	0,019114772	0,0014	0,0003	0	0	0	0	0	0,002750702
C(Noro)=	0	3,05587E-05	0	0,158378591	0,0016	0,0006	1E-04	0	0	0	0	0,003852022
C(Camp)=	0	0,052279027	0	189,1770474	0,0022	0,0022	0,002	0,0013	0,0005	0	0	3,312984786
<b>Lovo &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0	5,07564E-07	0	0,001976628	0,0002	0	0	0	0	0	0	0
C(Noro)=	0	1,853E-05	0	0,177115403	0,0004	1E-04	1E-04	0	0	0	0	0
C(Camp)=	0	0,001186363	0	7,51985581	0,0008	0,0007	0,0006	0,0002	0	0	0	0
<b>Görväln 2-B</b>												
C(Crypto)=	0,004747496	0,0003168355	0	1,421185611	0,1358	0,0599	0,006	1E-04	0	0,013546249	0,072921175	0,235268949
C(Noro)=	0,023738479	0,016756836	0	18,22505483	0,1377	0,0836	0,0253	0,003	1E-04	0,033688736	0,309799416	2,385842663
C(Camp)=	12,66052223	7,729133135	0	4735,592653	0,1576	0,1574	0,1527	0,1233	0,0622	16,03223077	149,2987183	953,0107785
<b>Görväln &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0	0,000385553	0	0,144451556	0,0442	0,0072	0,0004	0	0	0,000745521	0,007497074	0,075691037
C(Noro)=	0	0,001714108	0	1,811516226	0,0526	0,0174	0,0033	0,0002	0	0,00119887	0,021911946	0,25532827
C(Camp)=	0	0,823159883	0	1222,627904	0,0781	0,0775	0,0714	0,0439	0,0128	0,662520288	14,38725137	141,1882474

**Antagna fördelningar**

Flöde spillvattenledning (m3/dygn)	RiskNormal(8000, 1685; RiskTruncate(6000, ))	8374,935455
Varaktighet utsläpp (dygn)	RiskUniform(0, 1, 2)	1,05
Crypto (N/L)	RiskLognorm(60, 80)	60
Noro (N/L)	RiskLognorm(300, 1200)	300
Camp (N/L)	RiskLognorm(16E4, 6BE4)	160000
utspädning 1 Lovo 2-B	1/300	0,003333333
Lovo >B	RiskDiscrete(C13; D13)	2,36507E-06
Görväln 2-B	RiskDiscrete(G13; H13)	4,28714E-07
Görväln >B	RiskDiscrete(C19; C25; D19; D25)	1,34975E-05
	RiskDiscrete(G19; G26; H19; H26)	3,03693E-06

	koncentration (N/L) givet partiklarna när fram till vattenverken	medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lovo 2-B</b>												
C(Crypto)=	0,004159539	0,004198681	1,20125E-05	0,137244912	0,716252565	0,097691869	0,000411586	0	0	0,015200008	0,031008109	0,076752524
C(Noro)=	0,020797697	0,021961209	5,89243E-07	14,60098288	0,780833903	0,315018543	0,038040889	0,000956928	4,98801E-05	0,083842583	0,277210689	0,95268165
C(Camp)=	11,09210504	10,79283627	0,001316333	2238,610887	1	0,996443229	0,943389357	0,650534759	0,197970484	41,64981422	139,3703278	515,9647255
<b>Lovo &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0,000753995	0,00076109	2,17749E-06	0,024878232	0,20929115	0,00249834	0	0	0	0,002755289	0,005620805	0,013912844
C(Noro)=	0,003769975	0,003980884	1,06811E-07	2,646703845	0,444411149	0,078965967	0,002827008	9,84847E-05	0	0,015198051	0,050249672	0,172691538
C(Camp)=	2,010653482	1,956405365	0,00023861	405,7903482	0,998582808	0,970156839	0,757329395	0,299860635	0,036025414	7,549815267	25,26305353	93,52834902
<b>Görväln 2-B</b>												
C(Crypto)=	0,023738479	0,01989158	2,66556E-05	1,069310024	0,861024337	0,378495728	0,037709126	2,88989E-05	0	0,083924891	0,216043782	0,464118792
C(Noro)=	0,118692396	0,105728881	6,72562E-07	55,23462625	0,881152976	0,533149826	0,160892116	0,016858912	0,000536938	0,379232299	1,43023024	7,12345361
C(Camp)=	63,30261115	49,65215249	0,00271174	15373,87319	1	0,9983414	0,969390262	0,797753672	0,410106299	182,0388651	788,2634928	2864,177539
<b>Görväln &gt;B</b>												
C(Crypto)=	0,005341158	0,004992786	9,434E-06	0,706466197	0,564146645	0,08767586	0,005585113	0	0	0,017740235	0,072477657	0,256695993
C(Noro)=	0,026705789	0,023859465	2,52211E-07	6,904328282	0,689143867	0,254484001	0,038206882	0,002339746	0	0,074279282	0,351574838	2,108753149
C(Camp)=	14,24308751	13,18908281	0,000563423	8343,146354	0,999827234	0,99163305	0,901775596	0,554406511	0,156713387	39,48637798	159,1223732	1258,884754

## Bilaga 3f

### Läckage på sjöförslagd spillvattenledning vid Stäket, Upplands- Bro (Alternativ dragning)

	Area (m2)	Djup (m)	Volym (m3)
Lövö 2m - 8m	70470	6	422820
Lövö >8m	70470	33,1	2332557
Görveln 2m - 8m	61740	6	370440
Görveln >8m	61740	16	987840
Norsborg >8m	31489	4,8	151147

#### Lövö

Antal partiklar 2m - 8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	C (partiklar (N/vol))	Utspädning	frekvens på 1 år
1	2,36507E-06	0,006295957	1	4,28714E-07	0,004491426
0	0	0,993704043	0	0	0,995508574

#### Görveln

Antal partiklar 2m - 8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år	Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	2,69949E-06	0,046160403	1	1,01231E-06	0,050083488
2	5,39898E-06	0,057695241	2	2,02462E-06	0,052909693
3	8,09848E-06	0,004491426	3	3,03693E-06	0,003589161
6	1,6197E-05	0,005109521	4	4,04924E-06	0,006580128
7	1,88964E-05	0,000902266	5	5,06155E-06	0,006011787
8	2,15959E-05	0,000598193	6	6,07386E-06	0,001804531
0	0	0,885042949	7	7,08617E-06	0,000902266
			8	8,09848E-06	0,002402725
			9	9,11079E-06	0,000598193
			0	0	0,875118028

#### Norsborg

Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år

#### Antagna fördelningar

Flöde	RiskNormal(8000; 1685;	
spillvattenledn g (m3/dygn)	RiskTruncate(6000 : ))	8374,935455
Varaktighet utsläpp (dygn)	RiskUniform(0,1;2)	1,05
	RiskLognorm(60; 80)	60
Crypto (N/L)	RiskLognorm(300; 1200 )	300
Noro (N/L)	RiskLognorm(16E4 :68E4)	160000
Camp (N/L) utspädning 1	1/300	0,003333333
Lövö 2-8	RiskDiscrete(C13: C 14: D13: D14)	0
Lövö >8	RiskDiscrete(G13: G14: H13: H14)	0
Görveln 2-8	RiskDiscrete(C19: C 25: D19: D25)	0
Görveln >8	RiskDiscrete(G19: G28: H19: H28)	0

Sommar (137/365 dagar)	frekvens på helt år
N 0-2,5	0,000902266
NO 0-2,5	0,000902266
O 0-2,5	0,011729452
SO 0-2,5	0,030677028
S 0-2,5	0,027970232
SV 0-2,5	0,034286091
V 0-2,5	0,011729452
NV 0-2,5	0,000902266
N 2,5-5	0,000902266
NO 2,5-5	0,004511328
O 2,5-5	0,025263435
SO 2,5-5	0,046917808
S 2,5-5	0,051429136
SV 2,5-5	0,057744995
V 2,5-5	0,039699684
NV 2,5-5	0,000902266
N >5	0,000902266
NO >5	0,000902266
O >5	0,000902266
SO >5	0,000902266
S >5	0,007218124
SV >5	0,007218124
V >5	0,009022655
NV >5	0,001804531

Vinter (228/365 dagar)	frekvens på helt år inklusive 78/228 dagar med is
N 0-2,5	0,000598193
NO 0-2,5	0,000598193
O 0-2,5	0,011963869
SO 0-2,5	0,028115092
S 0-2,5	0,025124125
SV 0-2,5	0,03110606
V 0-2,5	0,022133158
NV 0-2,5	0,00179458
N 2,5-5	0,000598193
NO 2,5-5	0,00179458
O 2,5-5	0,022133158
SO 2,5-5	0,043668122
S 2,5-5	0,04665909
SV 2,5-5	0,047855476
V 2,5-5	0,040677155
NV 2,5-5	0,006580128
N >5	0,000598193
NO >5	0,000598193
O >5	0,002990967
SO >5	0,014356643
S >5	0,011963869
SV >5	0,016151223
V >5	0,029311479
NV >5	0,003589161

	koncentration (N/L)	medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lovo 2-8</b>												
C(Crypto)=	0	2,51431E-05	0	0,024506533	0,005	0,0004	0	0	0	0	0	0,006048609
C(Noro)=	0	0,000100884	0	0,292646578	0,0034	0,0015	0	0,0002	0	0	0	0,017482035
C(Camp)=	0	0,107022193	0	348,104555	0,0064	0,0064	0	0,0063	0,0042	0,0015	0	18,94367916
<b>Lovo &gt;8</b>												
C(Crypto)=	0	4,76205E-06	0	0,00702481	0,0016	0	0	0	0	0	0	0,001198694
C(Noro)=	0	2,20144E-05	0	0,056973634	0,0022	0,0005	0	0	0	0	0	0,002358398
C(Camp)=	0	0,012322488	0	48,96330794	0,0044	0,0044	0	0,0039	0,0017	0,0002	0	1,901059012
<b>Garvaln 2-8</b>												
C(Crypto)=	0	0,001109112	0	0,283686539	0,0952	0,0264	0	0,0012	0	0	0,004791887	0,023462317
C(Noro)=	0	0,005484525	0	3,545849558	0,0979	0,0537	0	0,0105	0,0008	0	0,01178887	0,106536347
C(Camp)=	0	3,203592644	0	2775,659497	0,116	0,1159	0	0,1128	0,0871	0,036	5,297909971	51,62909103
<b>Garvaln &gt;8</b>												
C(Crypto)=	0	0,000471341	0	0,112810137	0,0774	0,0108	0	1E-04	0	0	0,002151811	0,010627185
C(Noro)=	0	0,002414703	0	1,478142461	0,0911	0,0382	0	0,0045	0,0002	0	0,006211135	0,048445337
C(Camp)=	0	1,532956844	0	2016,54734	0,1256	0,125	0	0,1162	0,072	0,0206	2,384771072	23,17887392

**Antagna fördelningar**

RiskNormal(8000:1685:)	
spilvattenledn (m <sup>3</sup> /dygn)	8374,935455
Varaktighet utslapp (dygn)	1,05
RiskLognorm(60:80)	60
Crypto (N/L)	
RiskLognorm(300:1200)	300
Noro (N/L)	
RiskLognorm(16E4:68E4)	160000
Camp (N/L)	
1/300	0,003333333
utspadding 1	
RiskDiscrete(C13:D13)	2,36507E-06
Lovo 2-8	
RiskDiscrete(G13:H13)	4,28714E-07
Lovo >8	
RiskDiscrete(C19:C24:D19:D24)	5,39898E-06
Garvaln 2-8	
RiskDiscrete(G19:G27:H19:H27)	2,02462E-06

**koncentration (N/L) givet partiklarna när fram till vattenverken**

	medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,9
<b>Lovo 2-8</b>											
C(Crypto)=	0,004159539	0,004063297	1,19784E-05	0,14893913	0,721886165	0,085295887	0,000193559	0	0,013894254	0,030487642	0,070629327
C(Noro)=	0,020797697	0,020106437	1,20901E-06	6,668591968	0,780489852	0,314270924	0,037916604	0,000932276	0,077567928	0,247415387	0,962495577
C(Camp)=	11,09210504	11,18750604	0,000842237	3825,942247	0,999890376	0,997889255	0,945013597	0,654503475	0,200059853	40,9951208	150,938276
<b>Lovo &gt;8</b>											
C(Crypto)=	0,000753995	0,000736549	2,17132E-06	0,02699803	0,206831911	0,001919444	0	0	0,002518596	0,005526461	0,012802899
C(Noro)=	0,003769975	0,003644671	2,19156E-07	1,208808212	0,436276008	0,073219669	0,002789304	2,45624E-05	0,014060652	0,044848711	0,174470497
C(Camp)=	2,010653482	2,027946713	0,000152671	693,5242744	0,999037052	0,972135464	0,761925879	0,301762869	0,035002376	7,431139722	27,36041257
<b>Garvaln 2-8</b>											
C(Crypto)=	0,009495392	0,008697622	3,01572E-05	0,679005902	0,839269959	0,228405972	0,005471136	0	0,030436656	0,074360325	0,204585209
C(Noro)=	0,047476958	0,042188417	1,37994E-06	15,22305397	0,860173891	0,444943875	0,08111453	0,0038558	4,94449E-05	0,165222545	0,543201103
C(Camp)=	25,32104446	23,79883109	0,001922658	4790,600941	1	0,999013078	0,968934565	0,759420538	0,310638949	84,83371584	339,0667857
<b>Garvaln &gt;8</b>											
C(Crypto)=	0,003560772	0,0036494501	5,65447E-06	0,144431204	0,627001251	0,078589481	0,000198456	0	0,013543981	0,03572004	0,079528827
C(Noro)=	0,017803859	0,019088971	1,03497E-06	17,12593571	0,72292926	0,268126021	0,03121534	0,00088739	5,37117E-05	0,068009751	0,24369429
C(Camp)=	9,495391672	9,963988009	0,000720997	3275,196188	0,999818208	0,995733411	0,918828906	0,592352063	0,166579686	36,67748995	132,2177586

# Bilaga 3g

## Bräddning vid Berghamns brygga

	Area (m2)	Djup (m)	Volym (m3)
Lovo 2m - 8m	70470	6	422820
Lovo >8m	70470	33,1	2332557
Görveln 2m - 8m	61740	6	370440
Görveln >8m	61740	16	987840
Norsborg >8m	31489	4,8	151147

### Lovo

Antal partiklar 2m - C (partiklar 8m)			Antal partiklar C (partiklar >8m)		
(N/vol)	frekvens på 1 år		(N/vol)	frekvens på 1 år	
1	2,36507E-06	0,07282479	1	4,28714E-07	0,101258306
2	4,73015E-06	0,000902266	2	8,57428E-07	0,058024765
3	7,09522E-06	0,04665909	4	1,71486E-06	0,047855476
4	9,46029E-06	0,059819346	5	2,14357E-06	0,04665909
7	1,65555E-05	0,016151223	7	3,001E-06	0,028115092
0	0	0,803643286	0	0	0,718087271

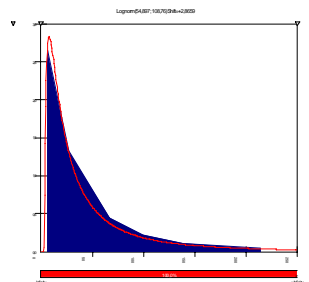
### Görveln

Antal partiklar 2m - C (partiklar 8m)			Antal partiklar C (partiklar >8m)		
(N/vol)	frekvens på 1 år		(N/vol)	frekvens på 1 år	
1	2,69949E-06	0,011111357	1	1,01231E-06	0,119383222
2	5,39898E-06	0,064963119	2	2,02462E-06	0,000902266
3	8,09848E-06	0,077594837	3	3,03693E-06	0,09195148
5	1,34975E-05	0,09195148	4	4,04924E-06	0,071783215
6	1,6197E-05	0,000902266	0	0	0,715979818
0	0	0,753476942			

### Norsborg

Antal partiklar >8m	C (partiklar (N/vol))	frekvens på 1 år
1	6,61607E-06	0,001196387
0	0	0,998803613

Bräddvolym (m3)	Bräddfrequens (ggr/år)
6	12
27	6
67	2
99	1
138	0,5
214	0,2



RMS Err = 1,17E-07

Sommar (137/365 dagar)	frekvens på helt år
N 0-2,5	0,000902266
NO 0-2,5	0,000902266
O 0-2,5	0,011729452
SO 0-2,5	0,030677028
S 0-2,5	0,027970232
SV 0-2,5	0,034286091
V 0-2,5	0,011729452
NV 0-2,5	0,000902266

N 2,5-5	0,000902266
NO 2,5-5	0,004511328
O 2,5-5	0,025263435
SO 2,5-5	0,046917808
S 2,5-5	0,051429136
SV 2,5-5	0,057744995
V 2,5-5	0,039699684
NV 2,5-5	0,000902266

N >5	0,000902266
NO >5	0,000902266

O >5	0,000902266
SO >5	0,000902266
S >5	0,007218124
SV >5	0,007218124
V >5	0,009022655
NV >5	0,001804531

Vinter (228/365 dagar)	frekvens på helt år inklusive 78/228 dagar med is
------------------------	---

N 0-2,5	0,000598193456
NO 0-2,5	0,000598193456
O 0-2,5	0,011963869115
SO 0-2,5	0,028115092
S 0-2,5	0,025124125
SV 0-2,5	0,03110606
V 0-2,5	0,022133158
NV 0-2,5	0,00179458

N 2,5-5	0,000598193
NO 2,5-5	0,00179458
O 2,5-5	0,022133158
SO 2,5-5	0,043668122
S 2,5-5	0,04665909
SV 2,5-5	0,047855476
V 2,5-5	0,040677155
NV 2,5-5	0,006580128

N >5	0,000598193
NO >5	0,000598193
O >5	0,002990967
SO >5	0,014356643
S >5	0,011963869
SV >5	0,016151223
V >5	0,029311479
NV >5	0,003589161

Antagna fördelningar			
	RiskLognorm(54,8 97: 108,76; RiskShift(2,8659) :RiskTruncate(10 00))	54,747648	
utsläppsvolym (m3)			
utspädning spill/dag	RiskNormal(0,05; 0,02; RiskTruncate(0,)) RiskLognorm(60: 80)	0,050336217	60
Crypto (N/L)	RiskLognorm(300 :1200)		300
Noro (N/L)	RiskLognorm(16E 4,68E4)		160000
Camp (N/L) utspädning 1	1/300	0,003333333	
Lovo 2-8	RiskDiscrete(C13: C18:D13:D17)	2,36507E-06	
Lovo >8	RiskDiscrete(G13: G18:H13:H18)	4,28714E-07	
Gorvaln 2-8	RiskDiscrete(C24: C29:D24:D29)	2,69949E-06	
Gorvaln >8	RiskDiscrete(G24: G28:H24:H28)	1,01231E-06	
Norsborg >8	RiskDiscrete(C32: C33:D32:D33)	0	

Koncentration (N/L)													
		medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,1	
<b>Lovo 2-8</b>													
C(Crypto)=	1,30353E-06	7,81954E-07	0	0,000390358	0	0	0	0	0	2,69992E-06	1,58923E-05	6,82825E-05	
C(Noro)=	6,51764E-06	3,34636E-06	0	0,002430034	0,0003	0	0	0	0	8,84119E-06	6,40091E-05	0,00040549	
C(Camp)=	0,003476076	0,00171983	0	0,513414839	0,0097	0,0295	0,0037	0	0	0,004108639	0,03674061	0,215604255	
<b>Lovo &gt;8</b>													
C(Crypto)=	2,36289E-07	2,00067E-07	0	7,85108E-05	0	0	0	0	0	7,44756E-07	3,5841E-06	1,55705E-05	
C(Noro)=	1,18145E-06	1,01395E-06	0	0,000557001	0	0	0	0	0	2,46904E-06	2,09574E-05	0,000108064	
C(Camp)=	0,000630104	0,000498583	0	0,705506481	0,0576	0,0085	0,0003	0	0	0,001263613	0,008267877	0,064442408	
<b>Gorvaln 2-8</b>													
C(Crypto)=	1,48785E-06	1,27689E-06	0	0,00020304	0	0	0	0	0	5,01654E-06	2,71549E-05	0,000104933	
C(Noro)=	7,43923E-06	5,71933E-06	0	0,001733368	0,0008	0	0	0	0	1,62914E-05	0,000106547	0,000759925	
C(Camp)=	0,003967591	0,003220995	0	1,549667309	0,1331	0,0448	0,0064	1E-04	0	0,008340279	0,064733341	0,399702003	
<b>Gorvaln &gt;8</b>													
C(Crypto)=	5,57942E-07	3,66588E-07	0	7,94508E-05	0	0	0	0	0	1,50496E-06	6,96276E-06	3,30086E-05	
C(Noro)=	2,78971E-06	1,78205E-06	0	0,000864283	0	0	0	0	0	5,21919E-06	3,53459E-05	0,000152737	
C(Camp)=	0,001487847	0,000865525	0	0,348675144	0,0874	0,0167	0,0009	0	0	0,002466711	0,019184293	0,081210298	
<b>Norsborg &gt;8</b>													
C(Crypto)=	0	3,23764E-09	0	9,33684E-06	0	0	0	0	0	0	0	3,80228E-07	
C(Noro)=	0	1,9248E-08	0	9,27858E-05	0	0	0	0	0	0	0	4,15283E-07	
C(Camp)=	0	6,9108E-05	0	0,667997586	0,0006	1E-04	1E-04	0	0	0	0	0,000186472	

Antagna fördelningar			
	RiskLognorm(54,8 97: 108,76; RiskShift(2,8659) :RiskTruncate(10 00))	54,747648	
utsläppsvolym (m3)			
utspädning spill/dag	RiskNormal(0,05; 0,02; RiskTruncate(0,)) RiskLognorm(60: 80)	0,050336217	60
Crypto (N/L)	RiskLognorm(300 :1200)		300
Noro (N/L)	RiskLognorm(16E 4,68E4)		160000
Camp (N/L) utspädning 1	1/300	0,003333333	
Lovo 2-8	RiskDiscrete(C13: C17:D13:D17)	7,09522E-06	
Lovo >8	RiskDiscrete(G13: G17:H13:H17)	8,57428E-07	
Gorvaln 2-8	RiskDiscrete(C24: C28:D24:D28)	8,09848E-06	
Gorvaln >8	RiskDiscrete(G24: G27:H24:H27)	2,02462E-06	
Norsborg >8	RiskDiscrete(C32: D32)	6,61607E-06	

Koncentration (N/L) givet partiklarna när fram till vattenverken													
		medel	min	max	p x>0,001	p x>0,01	p x>0,1	p x>1	p x>10	percentil 95	percentil 99	percentil 99,1	
<b>Lovo 2-8</b>													
C(Crypto)=	3,91059E-06	3,88773E-06	1,08817E-09	0,000497241	0	0	0	0	0	1,53767E-05	4,8784E-05	0,000151257	
C(Noro)=	1,95529E-05	2,07206E-05	9,56349E-11	0,009733006	0,002117375	0	0	0	0	7,05902E-05	0,000300405	0,001729937	
C(Camp)=	0,010428228	0,010846828	2,6198E-07	5,868121885	0,486942113	0,139670108	0,016286726	0,001087395	0	0,036538597	0,146618569	1,134304512	
<b>Lovo &gt;8</b>													
C(Crypto)=	4,72578E-07	7,44596E-07	1,3993E-10	0,000125819	0	0	0	0	0	2,94768E-06	9,16567E-06	3,47874E-05	
C(Noro)=	0,001260209	0,002004667	1,41229E-08	0,673523524	0,209560023	0,035388331	0,002417993	0	0	0,006820209	0,0302509	0,188299559	
C(Camp)=	0,001260209	0,002004667	1,41229E-08	0,673523524	0,209560023	0,035388331	0,002417993	0	0	0,006820209	0,0302509	0,188299559	
<b>Gorvaln 2-8</b>													
C(Crypto)=	4,46354E-06	5,23767E-06	1,52774E-09	0,000425663	0	0	0	0	0	2,03299E-05	6,05113E-05	0,000212494	
C(Noro)=	2,23177E-05	2,79523E-05	4,2849E-10	0,007545365	0,00336802	0	0	0	0	0,000100062	0,000415845	0,001870018	
C(Camp)=	0,011902773	0,014431049	1,77855E-07	4,465247266	0,560562972	0,18331958	0,023767522	0,001247595	0	0,049832077	0,22683072	1,064401011	
<b>Gorvaln &gt;8</b>													
C(Crypto)=	1,11588E-06	1,42181E-06	2,86452E-10	0,000169767	0	0	0	0	0	5,75015E-06	1,78976E-05	6,47418E-05	
C(Noro)=	5,57942E-06	7,50324E-06	1,22802E-10	0,00226361	0,000456522	0	0	0	0	2,59027E-05	0,000104345	0,000595138	
C(Camp)=	0,002975693	0,003759087	3,33479E-08	1,272296736	0,318057617	0,065358911	0,004562648	6,25879E-05	0	0,013076751	0,059726264	0,282259638	
<b>Norsborg &gt;8</b>													
C(Crypto)=	3,6465E-06	3,72016E-06	1,87214E-09	0,000347746	0	0	0	0	0	1,50324E-05	4,30149E-05	0,000126823	
C(Noro)=	1,82325E-05	1,96045E-05	2,6753E-10	0,004561143	0,001738668	0	0	0	0	7,30088E-05	0,00026894	0,001288799	
C(Camp)=	0,009723994	0,010397465	2,17949E-07	5,471838701	0,516238678	0,149928882	0,015710517	0,000448133	0	0,036554733	0,139256837	0,646324797	

Bilaga 4a

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
Lovö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	7,2E-04	5,7E-09	3,9E-01	6,1E-04	0	0	1,1E-02
<i>Norovirus</i>	4,1E-03	1,2E-09	7,2E+00	3,8E-03	6,9E-04	0	4,0E-02
<i>Campylobacter</i>	2,2E+00	7,0E-07	3,0E+03	3,8E-01	1,3E-01	2,2E-02	2,8E+01
Lovö >8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,4E-04	1,1E-09	8,5E-02	0	0	0	1,9E-03
<i>Norovirus</i>	7,7E-04	6,4E-10	1,1E+00	8,8E-04	1,6E-05	0	8,6E-03
<i>Campylobacter</i>	3,9E-01	5,4E-07	4,5E+02	2,0E-01	4,1E-02	5,2E-03	5,0E+00
Görväln 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	5,7E-04	1,3E-08	2,2E-01	4,3E-04	0	0	7,9E-03
<i>Norovirus</i>	3,2E-03	4,0E-09	4,1E+00	3,7E-03	3,8E-04	0	4,0E-02
<i>Campylobacter</i>	1,6E+00	2,3E-06	1,7E+03	3,8E-01	1,2E-01	2,1E-02	2,2E+01
Görväln >8							
<i>Cryptosporidium</i>	8,0E-05	2,1E-09	4,0E-02	0	0	0	1,1E-03
<i>Norovirus</i>	4,3E-04	5,0E-10	5,1E-01	6,7E-04	0	0	5,0E-03
<i>Campylobacter</i>	2,2E-01	3,0E-07	2,1E+02	1,5E-01	2,6E-02	2,6E-03	3,1E+00
Norsborg >8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,1E-03	1,6E-08	7,8E-01	1,1E-03	0	0	1,6E-02
<i>Norovirus</i>	7,2E-03	9,8E-09	1,7E+01	7,7E-03	8,4E-04	5,0E-05	7,5E-02
<i>Campylobacter</i>	3,3E+00	2,0E-06	4,2E+03	4,8E-01	1,8E-01	3,9E-02	4,5E+01

Tabell B4a. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från Ekebyhovs reningsverk. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer, givet att utsläppet når fram till respektive volymbox.

Bilaga 4b

	$C_{medel}$ (N/L)	$C_{min}$ (N/L)	$C_{max}$ (N/L)	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99}$ (N/L)
Lovö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	5,9E-04	2,7E-06	6,0E-02	0	0	0	4,5E-03
<i>Norovirus</i>	3,0E-03	3,0E-07	7,5E-01	2,3E-03	0	0	4,1E-02
<i>Campylobacter</i>	1,8E+00	2,4E-04	1,8E+03	7,4E-01	2,6E-01	2,7E-02	2,2E+01
Lovö >8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,1E-04	9,0E-07	3,6E-03	0	0	0	7,7E-04
<i>Norovirus</i>	5,7E-04	5,5E-08	6,8E-02	0	0	0	7,8E-03
<i>Campylobacter</i>	3,3E-01	4,3E-05	1,7E+02	3,9E-01	6,0E-02	3,2E-03	4,0E+00
Görväln 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	4,3E-04	3,1E-06	1,1E-02	0	0	0	2,9E-03
<i>Norovirus</i>	2,3E-03	3,4E-07	8,6E-01	9,8E-04	0	0	2,9E-02
<i>Campylobacter</i>	1,3E+00	2,7E-04	1,0E+03	7,1E-01	2,2E-01	1,8E-02	1,5E+01
Görväln >8							
<i>Cryptosporidium</i>	2,4E-04	1,2E-06	8,6E-03	0	0	0	1,7E-03
<i>Norovirus</i>	1,3E-03	2,6E-07	1,6E-01	2,4E-04	0	0	1,8E-02
<i>Campylobacter</i>	7,5E-01	2,0E-04	3,9E+02	5,7E-01	1,3E-01	7,3E-03	8,2E+00

Tabell B4b. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från ett läckage på spillvattenledningen under Långtarmen. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer, givet att utsläppet når fram till respektive volymbox.

Bilaga 4c

	$C_{medel} (N/L)$	$C_{min} (N/L)$	$C_{max} (N/L)$	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99} (N/L)$
Lövö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	1,2E-04	2,3E-07	6,1E-03	0	0	0	9,2E-04
<i>Norovirus</i>	5,8E-04	3,9E-08	8,0E-02	0	0	0	7,9E-03
<i>Campylobacter</i>	3,0E-01	6,7E-06	4,9E+01	3,7E-01	5,8E-02	2,5E-03	3,9E+00
Norsborg >8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,7E-04	6,5E-07	1,9E-02	0	0	0	3,2E-03
<i>Norovirus</i>	1,9E-03	1,1E-07	2,3E-01	1,4E-03	0	0	2,6E-02
<i>Campylobacter</i>	9,4E-01	1,9E-05	1,4E+02	5,9E-01	1,7E-01	1,3E-02	1,3E+01

Tabell B4c. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från pumpstationen vid Träkvista brygga. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer, givet att utsläppet når fram till respektive volymbox.



Bilaga 4d

	$C_{medel} (N/L)$	$C_{min} (N/L)$	$C_{max} (N/L)$	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99} (N/L)$
Lovö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	5,7E-05	3,1E-08	3,4E-03	0	0	0	6,9E-04
<i>Norovirus</i>	2,9E-04	2,2E-08	6,6E-02	0	0	0	4,7E-03
<i>Campylobacter</i>	1,6E-01	3,9E-06	5,1E+01	2,0E-01	2,9E-02	1,5E-03	2,5E+00
Lovö >8							
<i>Cryptosporidium</i>	4,8E-06	9,7E-09	4,0E-04	0	0	0	4,3E-05
<i>Norovirus</i>	2,5E-05	2,2E-09	1,1E-02	0	0	0	3,3E-04
<i>Campylobacter</i>	4,1E+00	7,0E-05	9,8E+02	8,0E-01	3,9E-01	7,7E-02	6,2E+01
Görvälån 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	4,2E-05	1,3E-07	2,9E-03	0	0	0	3,6E-04
<i>Norovirus</i>	2,1E-04	2,1E-08	2,9E-02	0	0	0	2,8E-03
<i>Campylobacter</i>	1,2E-01	5,9E-06	2,8E+01	1,9E-01	2,0E-02	4,6E-04	1,6E+00
Görvälån >8							
<i>Cryptosporidium</i>	9,3E-06	1,2E-08	4,8E-04	0	0	0	8,0E-05
<i>Norovirus</i>	4,6E-05	5,3E-09	8,6E-03	0	0	0	6,1E-04
<i>Campylobacter</i>	2,7E-02	5,5E-07	5,8E+00	5,0E-02	2,5E-03	0	3,7E-01
Norsborg >8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,0E-05	7,6E-08	1,2E-03	0	0	0	2,4E-04
<i>Norovirus</i>	1,5E-04	1,7E-08	2,8E-02	0	0	0	1,9E-03
<i>Campylobacter</i>	8,4E-02	3,6E-06	1,7E+01	1,5E-01	1,2E-02	3,0E-04	1,1E+00

Tabell B4d. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från avloppsanläggningen vid Hammargården Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer, givet att utsläppet når fram till respektive volymbox.

Bilaga 4e

	$C_{medel} (N/L)$	$C_{min} (N/L)$	$C_{max} (N/L)$	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99} (N/L)$
<b>Lövö 2-8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	4,2E-03	1,2E-05	1,4E-01	4,1E-04	0	0	3,1E-02
<i>Norovirus</i>	2,2E-02	5,9E-07	1,5E+01	3,8E-02	9,6E-04	5,0E-05	2,8E-01
<i>Campylobacter</i>	1,1E+01	1,3E-03	2,2E+03	9,4E-01	6,5E-01	2,0E-01	1,4E+02
<b>Lövö &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	7,6E-04	2,2E-06	2,5E-02	0	0	0	5,6E-03
<i>Norovirus</i>	4,0E-03	1,1E-07	2,6E+00	2,8E-03	9,8E-05	0	5,0E-02
<i>Campylobacter</i>	2,0E+00	2,4E-04	4,1E+02	7,6E-01	3,0E-01	3,6E-02	2,5E+01
<b>Görväln 2-8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	2,0E-02	2,7E-05	1,1E+00	3,8E-02	2,9E-05	0	2,2E-01
<i>Norovirus</i>	1,1E-01	6,7E-07	5,5E+01	1,6E-01	1,7E-02	5,4E-04	1,4E+00
<i>Campylobacter</i>	5,0E+01	2,7E-03	1,6E+04	9,7E-01	8,0E-01	4,1E-01	8,0E+02
<b>Görväln &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	5,0E-03	9,4E-06	7,1E-01	5,6E-03	0	0	7,2E-02
<i>Norovirus</i>	2,4E-02	2,5E-07	6,9E+00	3,8E-02	2,3E-03	0	3,5E-01
<i>Campylobacter</i>	1,3E+01	5,6E-04	8,3E+03	9,0E-01	5,5E-01	1,6E-01	1,6E+02

Tabell B4e. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från den befintliga avloppsledningen vid Stäket. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer, givet att utsläppet når fram till respektive volymbox.

Bilaga 4f

	$C_{medel} (N/L)$	$C_{min} (N/L)$	$C_{max} (N/L)$	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99} (N/L)$
Lovö 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	4,1E-03	1,2E-05	1,5E-01	1,9E-04	0	0	3,0E-02
<i>Norovirus</i>	2,0E-02	1,2E-06	6,7E+00	3,8E-02	9,3E-04	0	2,5E-01
<i>Campylobacter</i>	1,1E+01	8,4E-04	3,8E+03	9,5E-01	6,5E-01	2,0E-01	1,5E+02
Lovö >8							
<i>Cryptosporidium</i>	7,4E-04	2,2E-06	2,7E-02	0	0	0	5,5E-03
<i>Norovirus</i>	3,6E-03	2,2E-07	1,2E+00	2,8E-03	2,5E-05	0	4,5E-02
<i>Campylobacter</i>	2,0E+00	1,5E-04	6,9E+02	7,6E-01	3,0E-01	3,5E-02	2,7E+01
Görväln 2-8							
<i>Cryptosporidium</i>	8,7E-03	3,0E-05	6,8E-01	5,5E-03	0	0	7,4E-02
<i>Norovirus</i>	4,2E-02	1,4E-06	1,5E+01	8,1E-02	3,9E-03	4,9E-05	5,4E-01
<i>Campylobacter</i>	2,4E+01	1,9E-03	4,8E+03	9,7E-01	7,6E-01	3,1E-01	3,4E+02
Görväln >8							
<i>Cryptosporidium</i>	3,7E-03	5,7E-06	1,4E-01	2,0E-04	0	0	3,6E-02
<i>Norovirus</i>	1,9E-02	1,0E-06	1,7E+01	3,1E-02	8,9E-04	5,4E-05	2,4E-01
<i>Campylobacter</i>	1,0E+01	7,2E-04	3,3E+03	9,2E-01	5,9E-01	1,7E-01	1,3E+02

Tabell B4f. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från den planerade avloppsledningen vid Stäket. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer, givet att utsläppet når fram till respektive volymbox.

Bilaga 4g

	$C_{medel} (N/L)$	$C_{min} (N/L)$	$C_{max} (N/L)$	$p(x>0,1)$	$p(x>1)$	$p(x>10)$	$P_{99} (N/L)$
<b>Lövö 2-8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	3,9E-06	1,1E-09	5,0E-04	0	0	0	4,9E-05
<i>Norovirus</i>	2,1E-05	9,6E-11	9,7E-03	0	0	0	3,0E-04
<i>Campylobacter</i>	1,1E-02	2,6E-07	5,9E+00	1,6E-02	1,1E-03	0	1,5E-01
<b>Lövö &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	7,4E-07	1,4E-10	1,3E-04	0	0	0	9,2E-06
<i>Norovirus</i>	2,0E-03	1,4E-08	6,7E-01	2,4E-03	0	0	3,0E-02
<i>Campylobacter</i>	2,0E-03	1,4E-08	6,7E-01	2,4E-03	0	0	3,0E-02
<b>Görväln 2-8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	5,2E-06	1,5E-09	4,3E-04	0	0	0	6,1E-05
<i>Norovirus</i>	2,8E-05	4,3E-10	7,5E-03	0	0	0	4,2E-04
<i>Campylobacter</i>	1,4E-02	1,8E-07	4,5E+00	2,4E-02	1,2E-03	0	2,3E-01
<b>Görväln &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	1,4E-06	2,9E-10	1,7E-04	0	0	0	1,8E-05
<i>Norovirus</i>	7,5E-06	1,2E-10	2,3E-03	0	0	0	1,0E-04
<i>Campylobacter</i>	3,8E-03	3,3E-08	1,3E+00	4,6E-03	6,3E-05	0	6,0E-02
<b>Norsborg &gt;8</b>							
<i>Cryptosporidium</i>	3,7E-06	1,9E-09	3,5E-04	0	0	0	4,3E-05
<i>Norovirus</i>	2,0E-05	2,7E-10	4,6E-03	0	0	0	2,7E-04
<i>Campylobacter</i>	1,0E-02	2,2E-07	5,5E+00	1,6E-02	4,5E-04	0	1,4E-01

Tabell B4g. Nyckeltal för resultaten av de MonteCarlo-simuleringar som har utförts för scenarion med utsläpp från pumpstationen vid Berghamns brygga. Tabellen visar koncentrationer (N/L) och uppskattade sannolikheter för koncentrationer, givet att utsläppet når fram till respektive volymbox.