

Tidsmässiga samband mellan nederbörd, råvattenkvalitet och magsjuka

*Andreas Tornevi
Olof Bergstedt
Bertil Forsberg*



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rörsnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anna Linusson, Ordförande
Daniel Hellström, Utvecklingsledare
Per Ericsson
Tove Göthner
Tage Hägerman
Stefan Johansson
Kristina Laurell
Annika Malm
Lisa Osterman
Kenneth M. Persson
Carl-Olof Zetterman

Svenskt Vatten
Svenskt Vatten
Norrsvatten
Sveriges Kommuner och Landsting
Smedjebacken
Skellefteå kommun
Formas
Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Örebro kommun
Sydvatten AB
SYVAB

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Tidsmässiga samband mellan nederbörd, råvattenkvalitet och magsjuka
Title of the report:	Time distributed associations between rainfall, raw water quality and gastrointestinal illness
Författare:	Andreas Tornevi, Yrkes- och Miljömedicin, Umeå Universitet; Olof Bergstedt, Kretslopp och vatten, Göteborgs stad; Bertil Forsberg, Yrkes- och Miljömedicin, Umeå Universitet
Rapportnummer:	2015-21
Antal sidor:	38
Sammandrag:	Samband beskrivs mellan kraftigt regn, försämrade råvattenkvalitet och ett ökat antal fall av magsjuka där den tidsmässiga fördröjningen överensstämmer med inkubationstider gällande virus. Rapporten förslår att ett bättre skydd mot förorening av Göta älv och förbättrade barriärer i dricksvattenproduktionen är motiverade.
Abstract:	Relations described between heavy rainfall, poor raw water quality and an increased number of cases of gastroenteritis in which the temporal delay is consistent with the incubation times of viruses. The report suggests that better protection against pollution in the river Göta Älv and improved barriers in drinking water production are justified.
Sökord:	Nederbörd, råvattenkvalitet, indikatorbakterier, turbiditet, patogener, virus, magsjuka
Keywords:	Precipitation, raw water quality, indicator bacteria, turbidity, pathogens, viruses, gastroenteritis, gastrointestinal illness
Målgrupper:	VA-chefer, VA-ingenjörer, VA-konsulter, miljöchefer, beslutsfattare, forskare
Omslagsbild:	Göta Älv. Fotograf: perpixel.se
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2015
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	10-104
Projektets namn:	Klimatförändringar, råvattenkvalitet, rening och distribution – bedömning av mikrobiella risker genom hälsostudier
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Formas

Förord

Projektet ”Klimatförändringar, råvattenkvalitet, rening och distribution – bedömning av mikrobiella risker genom hälsostudier” slutrapporteras i två separata rapporter, denna rapport samt i rapporten *Hälsomässiga risker på ledningsnätet* av Malm med flera.

Dagens expertbedömningar anger att klimatförändringarna kommer att leda till mer extremt väder, skyfall och översvämningar, men också mer torka vilket skapar ökade risker för vattentäkter, dricksvattenverk och distributionssystem. Mer patogena organismer väntas nå vattensystemen. Vattenbrist som kan bli vanligare genom klimatförändringarna leder till tryckfall och ökad risk för kontamination av ledningsnätet. Hur mycket ohälsa i Sverige som beror på förekomsten av smittämnen i dricksvatten är till stora delar okänt. Bara kända utbrott har studerats och därför är den totala omfattningen svår att uppskatta.

Projektet Tidvatten har studerat effekterna av extremt väder på råvatten för att studera sambanden mellan extrem nederbörd, turbiditet, indikatorbakterier och driftförhållanden och antal patienter sökande för akuta magtarmproblem. Vi har även studerat om händelser på ledningsnätet påverkar antal fall av vårdsökande i berörda områden. Utifrån dessa resultat utvärderas hur viktigt ur hälsosynpunkt det är med förbättrings- och anpassningsåtgärder som även tar hänsyn till väntade klimatförändringar. För att minska riskerna på ett effektivt sätt måste vi ha kunskap om både sannolikheter och konsekvenser.

Denna rapport beskriver den del av projektet som handlar om effekter av nederbörd där tre vetenskapligt publicerade artiklar väsentligt bidragit till att öka våra kunskaper om sambanden och hotet från ett blötare klimat.

Ett varm tack riktas till medförfattarna Olof Bergstedt, Gösta Axelsson och Lars Barregård och andra som medverkat med underlag och synpunkter samt till Formas och Svenskt Vatten Utveckling som finansierade projektet.

Umeå den 30 juni 2015

Andreas Tornevi, huvudförfattare till rapporten
Bertil Forsberg, projektledare

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Bakgrund.....	8
1.1 Inledning	8
1.2 Epidemiologiska studier magsjuka och dricksvatten.....	10
1.3 Syfte	10
1.4 Delstudier	11
2 Metod	12
2.1 Studieområde	12
2.2 Statistisk metod.....	12
2.3 Data	13
3 Resultat	16
3.1 Studie 1 – Nederbörd och råvattenkvalitet.....	16
3.2 Studie 2 och 3 – Nederbörd och magsjuka.....	17
4 Diskussion	19
5 Referenser.....	23
Bilagor	23
Bilaga 1 – Figurer över tidseriedata som använts i delstudier.....	25
Bilaga 2 – Figurer från Studie1, Samband mellan Nederbörd och Råvattenkvalitet	27
Bilaga 3 – Figurer från Studie 2 och Studie 3, Samband mellan nederbörd, magsjukerelaterade samtal till 1177-vårdguiden och besök till vårdcentraler	32
Bilaga 4 – Publikationer och konferenser	34

Sammanfattning

Kraftiga regn kan få effekter på råvattnets innehåll av organismer som ger akuta problem i mage och tarmar. Vid ett flertal tillfällen har utbrott av magsjuka kopplats till kommunalt dricksvatten, och många av de rapporterade utbrotten inträffade efter kraftiga regn. Eftersom klimatförändringarna gör att frekvensen av kraftiga regn förväntas öka behöver det utredas om det är motiverat med fler förebyggande åtgärder för att säkerställa rent dricksvatten. Detta delprojekt inom projektet Tidvatten har genomförts av Umeå universitet i samarbete med Göteborg Kretslopp och vatten. Man har studerat samband mellan nederbörd, råvattenkvalitet och variation i ohälsa. Studierna har fokuserat på befolkningen i Göteborgs stad och den huvudsakliga råvattenkällan Göta älv. Göteborg valdes därför att populationsstorlek och tillgängliga data var gynnsamma för den här typen av studier. Rapporten sammanfattar resultaten från tre vetenskapligt publicerade artiklar som har bidragit till att öka kunskapen inom området.

I studie 1 analyserades sju års data av råvattenkvaliteten i Göta älv. Dygnsvariationer i grumlighet och tre typer av indikatorbakterier analyserades i relation till dygnsnederbörden. I studie 2 och 3 analyserades om variationen i nederbörd hade samvarierat med den dagliga förekomsten av magsjuka i befolkningen som bor i områden där dricksvatten härstammar från Göta älv. Som ett mått på magsjuka analyserades fyra års data om samtal till 1177 Vårdguiden för kräkningar, diarré eller magont (studie 2), och sex års data om dagliga besök till vårdcentraler där individer hade diagnoserats med magtarmbesvär (studie 3).

Det fanns starka samband mellan nederbörd och vattenkvaliteten i Göta älv. Kraftigt regn gav ökade koncentrationer av *E. coli*-bakterier upp till en vecka, med de högsta värdena två dagar efter nederbörden. Kraftig nederbörd visade sig också ha samband med en signifikant ökning av antalet magsjukesamtal, med en fördröjning på 5–6 dagar. Ihållande regnigt väder samvarierande både med ökat antal samtal till 1177 och med antalet besök på vårdcentraler för magsjukesymtom. De observerade ökningarna i ohälsotal kan bero på otillräcklig dricksvattenkvalitet, men det kan inte helt uteslutas att det kan finnas andra orsaker.

Den tidsmässiga skillnaden mellan kraftigt regn, försämrad råvattenkvalitet och det ökade antalet samtal till 1177 Vårdguiden pekar på att det är virus som är den troliga orsaken till flera fall av magsjuka, eftersom fördröjningen stämmer överens med inkubationstider för virus. Studierna understryker att det är motiverat med ett bättre skydd mot förorening av vattentäkter med risk för avloppspåverkan, och med förbättrade barriärer i dricksvattenproduktionen särskilt för att eliminera virus. Efter de studerade perioderna har båda vattenverken i Göteborg försetts med ytterligare barriärsteg: Lackarebäck med ultrafilter och Alelyckan med UV-ljus.

Inom projektet Tidvatten finns även rapporten *Hälsomässiga risker på ledningsnätet*.

Summary

On numerous occasions outbreaks of gastrointestinal illnesses have been linked to municipal drinking water also in the industrialized world. Many of the reported outbreaks were observed after heavy rainfall events, indicating that such events are a risk for insufficient water treatment. It is largely unknown if observed drinking water-related outbreaks are just the tip of the ice berg, and if public drinking water also influences the endemic level of gastroenteritis during non-outbreak periods. With climate change projected to increase the frequency of extreme weather events, data for preventive actions are needed now, to ensure safe drinking water today and in the future.

The primary aim of the report was examine to what extent rainfall can be a risk for insufficient drinking water quality, also with modern drinking water production. We aimed to study if the incidence of gastroenteritis during normal endemic levels can be associated with the drinking water. The report focuses on the population in City of Gothenburg and their main fresh water supply. This report summarizes the results of 3 scientifically published papers.

In Paper I was 7 years of raw water quality data in the river Göta Älv analyzed. The short-term variation of daily mean turbidity measurements and samples of 3 different types of indicator bacteria were modeled with daily precipitation.

In Papers II–III we analyzed if the daily incidence of gastrointestinal illness (GI) in the population with home addresses in the area receiving drinking water produced from the river water could be associated with prior rainfall events. As a measure of GI illness four years of data on the daily number of phone calls to the nurse advice line about vomiting, diarrhea or stomach pain (GI calls), and six years of daily visits to health care clinics when individuals were diagnosed with gastrointestinal infections was analyzed.

A strong relation between precipitation and river water quality in the river Göta Älv was observed. A heavy rainfall event was related with increased concentrations of E-coli bacteria up to a week, with the peak increase 2 days after the event. Precipitation was concluded to be the main driver for fluctuating water quality parameters. Heavy precipitation was also associated with a significant increase in the number of nurse advice calls because of GI symptoms, with a delay of 5–6 days. Consecutive days of wet weather were associated with both increased number of GI calls as well as visits to clinics that led to diagnoses of GI illnesses.

The delay between a heavy rainfall event and decreased raw water quality and the increased number of nurse advice calls suggest viruses are the main cause as the timing is consistent with viral incubation times. Our research suggests that better control of water pollution sources and upgrades of drinking water treatment techniques, especially aiming to better eliminate viruses, is motivated in particular as an increase in precipitation is expected.

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Klimat- och sårbarhetsutredningens betänkande från 2007 varnar för att konsekvenserna av de pågående klimatförändringarna kommer att innebära stora utmaningar för olika infrastruktursystem i Sverige (SOU, 2007). I stora delar av Sverige förväntas en ökad nederbörd både under sommar- och vinterhalvåret, och extremväder i form av kraftig nederbörd förväntas öka i förekomst i hela landet. Skyfall och risken för höga flöden, med översvämningar som följd, kan komma att ge störningar på system som generellt sett inte är anpassade för annat än ”normala förhållanden”.

Kraftiga regn eller intervall av torka kan ge utmaningar för dricksvattenproducenter och medföra konsekvenser för dricksvattenförsörjningen. Extremväder påverkar våra vattentäkter, där både ytvattentäkter och grundvattentäkter kan drabbas av föroreningar eller uttorkning, men också distributionsnät och avloppsreningsverk är i olika grad inte anpassade för extremare påfrestningar. Med mera nederbörd kommer vattnet i många ytvattentäkter att bli grumligare med högre innehåll av humus, men också innehålla fler sjukdomsspridande mikrobiologiska organismer, och särskilt markant om det finns närliggande jordbruks- och betesmark eller om avloppsreningsverk finns i anslutning till vattentakten. Grundvattentäkter kan också påverkas av en ökad mängd nederbörd då grundvattennivåer kan komma att höjas, vilket förkortar markens filtreringsförmåga och därmed förmågan att rena vattnet. De pågående klimatförändringarna förmodas alltså påverka både grund- och ytvattentäkter, men kanske är det ytvattentäkter som är extra utsatta för tillfälliga extrema väderhändelser eftersom ytvattentäkter uppvisar större och snabbare variationer i kvalitet än grundvatten, innehåller mer organiskt material och fler mikroorganismer.

I Sverige är till en del dagvattensystem fortfarande kombinerade med avloppssystem vars funktion innebär att vid mycket stora regnmängder ska bräddning ske med stor utspädning av spillvattnet. Separatsystem är tänkta att hantera spillvatten i en ledning och dagvatten i en annan ledning eller i ett dike. I praktiken är dock de flesta separatsystem påverkade av dagvatten från bland annat dränvatten vilket ger nödavledningar relativt koncentrerat spillvatten. Funktionen hos separatsystem slås också ut av enstaka felkopplingar och separatsystem är därför en vanlig del i orsaken bakom sjukdomsutbrott. Detta medför att kraftig nederbörd kan överbelasta dessa system. Följden blir att orenat avloppsvatten hamnar direkt i våra ytvattentäkter vilket kraftigt påverkar den mikrobiologiska nivån. Då många vattenverk är utrustade med säkerhetsbarriärer som är anpassade för en någorlunda konstant mikrobiologisk kvalitet är dessa sårbara för sådana enskilda händelser som påverkar råvattnets kvalitet. Beredningsprocesser för vattenverk som förses med grundvatten är dock ofta mindre avancerade och därför också mer känslig för variationer av mikrobiologisk påverkan. I grundvattentäkter är också omsättningen av vattnet längre och en mikrobiologisk påverkan kan därmed vara mer ihållande. I Sverige försörjs cirka 50 % av befolk-

ningen med dricksvatten där ytvatten används som råvattentäkt. Även om det i Sverige finns betydligt fler grundvattenverk i antal är dessa oftast mindre än ytvattenverk. Ytvattentäkter har generellt en större kapacitet, och som exempel försörjs Stockholm, Göteborg och med ytvatten.

De mikroorganismer som kan ge infektioner eller skapa ohälsa hos människor benämns som patogener och är ofta av fekalt ursprung. De patogener som potentiellt kan sprida smitta via framställt dricksvatten är i den bredaste definitionen virus, bakterier och parasitära protozoer. Virus är storleksmässigt minst och saknar förmåga att förflytta sig, ämnesomsättning och reproduktion på egen hand, utan måste då först infektera en levande cell. Exempel på virus som kan ge upphov till magsjuka är rotavirus och calicivirus, den senare är virusfamiljen som olika typer av norovirus (vinterkräksjukevirus) tillhör. Virusinfektioner ger ofta kräkningar som symtom, är mycket smittsamma och har en relativt kort inkubationstid. Magsjuka orsakad av bakterier kan också ha en kort inkubationstid, och den åkomma som ofta kallas turistdiarré är ofta av bakteriell orsak. Campylobakter är kanske den vanligaste magsjukebakterien i Sverige vilken också huvudsakligen orsakar diarréer, men också feber. Andra exempel på bakteriella maginfektioner är salmonella och kolera men deras förekomst i dricksvatten i Sverige är väldigt osannolik.

Parasitära protozoer, i dagligt tal parasiter, har orsakat omfattande dricksvattenrelaterade magsjukeutbrott och kan ge långvariga symtom. I den industrialiserade världen är det huvudsakligen Giardia och Cryptosporidium som påvisats i producerat dricksvatten. För magsjuka orsakad av parasiter är diarréer och magsmärtor vanliga symtom men inkubationstiden generellt längre än vid magsjukor orsakad av virus eller bakterier. Eftersom de mycket allvarliga dricksvattenburna sjukdomsutbrott som var vanliga en bit in på 1900-talet orsakades av bakterier har dock de flesta ytvattenverk flera bra barriärer mot bakteriella agens.

Dessa tre grupper av patogener skiljer sig med hänsyn till förmåga att passera de barriärer som används i dricksvattenproduktion, exempelvis är parasiter motståndskraftiga mot desinfektion genom klorering. Dessa patogener är svåra eller omöjliga att kvantifiera i låga halter, och ofta används andra parametrar för att uppskatta deras förekomst. Fördelen med att näta reduktionsförmågan i barriärerna med indexorganismer som förekommer normalt i höga halter är att det går att bedöma aktuell reduktionsförmåga innan man har höga halter patogener. Ett grovt mått är att mäta vattnets turbiditet, dess grumlighet, vilket kan mätas med optiska instrument i realtid. För att mer direkt uppskatta graden av fekal påverkan i vatten analyseras ofta mängden indikatorbakterier, vilket är ett snabbare och billigare sätt än analysera omfattningen av faktiska patogener, då dessa ofta samvarierar. Halten av indikatorbakterier analyseras vanligen i laboratorium och därför blir ändå informationen fördröjd, varför man ofta kombinerar turbiditet och indikatorbakterier för att uppskatta vattenkvaliteten. För Göteborg använder man dessutom at-line instrument som ger kortare rapporteringstid och framförallt gör att betydligt högre analysfrekvens är möjlig.

Världsorganisationen (WHO) har identifierat vattenburen smitta som den allvarligaste hälsorisen förknippad med vattenförsörjning (WHO,

2002). För industrialiserade länder anser WHO att risken är störst vad gäller parasitära protozoer. WHO lyfter fram *Cryptosporidium* som ett exempel på en i framtiden ökad risk. På senare tid har detta också konkretiserats i Sverige med de två hittills största dricksvattenorsakade magsjuka-utbrotten i Europa i modern tid (Östersund 2010 och i Skellefteå 2011), där parasiten *Cryptosporidium* orsakade många tiotusentals sjukdomsfall. I Sverige bedömer man att både parasiter och virus, exempelvis norovirus, utgör de stora hoten förknippade med dricksvattenburen smitta. De flesta ytvattenverk har flera effektiva barriärer mot bakteriella smittämnen.

1.2 Epidemiologiska studier magsjuka och dricksvatten

Omfattningen av sporadisk magsjuka som kan kopplas till patogener i dricksvatten är till stor del okänd i Sverige. Hittills har endast händelser med identifierade sjukdomsutbrott studerats, men även i dessa situationer kan den fullständiga effekten vara svår att uppskatta. Också i den övriga industrialiserade världen har relativt få studier har fokuserat på att bedöma omfattningen av dricksvattenrelaterad magsjuka under perioder som ansetts ha en normal endemisk nivå. Ett par interventionsstudier har dock indikerat att så mycket som 15–35 % av sjukdomsfallen kan bero på otillräckligt berett dricksvatten (Payment et al., 1991) (Borchardt et al., 2012). Andra studier har också visat på ett samband mellan variationer i turbiditet i råvatten eller dricksvatten och antalet patienter som besökt sjukvårdsinrättningar där magsjukdom varit orsaken (Schwartz et al., 1997) (Schwartz et al., 2000) (Tinker et al., 2010) (Egorov et al., 2003) (Hsieh et al., 2015). Ett fåtal studier har också visat på samband mellan nederbörd och ökning av magsjuka under perioder med vad som ansetts vara en normal incidens, och kopplat detta till dricksvattenrelaterade orsaker (Drayna et al., 2010) (Nau-mova et al., 2005). Vid uppmärksammade utbrott av magsjuka har det dock visats att majoriteten av dessa hade föranletts av stora nederbörds-mängder, både i Nordamerika och i Storbritannien (Thomas et al., 2006) (Curriero et al., 2001) (Nichols et al., 2009).

1.3 Syfte

Detta projekt har syftat till att genomföra epidemiologiska studier gällande magsjuka för att undersöka om dricksvatten kan vara en bidragande orsak till fluktuationer av sjukdomsfall under perioder som ansetts ha en normal endemisk nivå (icke-utbrottssituationer). Den bakomliggande teorin är att nederbörd ger en ökad risk för att dricksvattnet kan vara av undermålig kvalitet då råvattnet kan förväntas innehålla mer patogener efter sådana väderhändelser. Resultaten från projektet ska ge kunskap om huruvida investeringar behövs för att säkerställa ett rent dricksvatten.

Våra studier har avgränsat sig till Göteborg, som till stora delar förses med råvatten från Göta älv. Göteborg valdes som studieort då Göteborg Kretslopp och Vatten har bedrivit rätta mätningar på kvalitetsparametrar i älvs-

vattnet. Populationsstorleken i Göteborg ansågs också vara fördelaktig för denna typ av studier och möjliggjorde jämförelser mellan två i princip olika leveransområden, samt att sydvästra Sverige kan möta större utmaningar då klimatförändringar prognoseras ge ytterligare händelser av extremväder i denna region. Göta älv är recipient för nödavledningar och bräddningar från flera avloppssystem vilka påverkas av nederbörd. Göta älv och har också angränsande jordbruksområden vilket ökar risken för avrinning innehållande patogener. Det fanns dock ingen uppfattning att förekomsten av magsjuka skulle vara onormalt större i Göteborg än i andra kommuner, vilket också samtalsstatistik från 1177 – Vårdguiden senare antytt.

1.4 Delstudier

Den del av projektet som handlar om nederbördseffekter har resulterat i 3 publicerade vetenskapliga artiklar och denna rapport sammanfattar de resultat som i detalj rapporterats i dessa artiklar.

Studie 1 syftade till att utreda hur dygnsnederbörd påverkar vattenkvaliteten utanför råvattenintaget till dricksvattenanläggningen beläget i norra delen av Göteborg (Alelyckan) (Tornevi et al., 2014). Som kvalitetsparametrar har turbiditet och tre typer av indikatorbakterier analyserats i samvariation med nederbörd. Studiens huvudsyfte var att analysera vilka fördröjningseffekter man kan förvänta sig på vattenkvaliteten av nederbörd som uppkommer på grund av avrinningstider och med varierande flödeshastighet, samt undersöka hur ihållande regnperioder kan förväntas påverka råvattenkvaliteten. Olika mätstationer av nederbörd uppströms älven jämfördes i syfte att bestämma vilken station som bäst predikterar råvattenkvaliteten. Hur effekten av nederbörd på vattenkvaliteten kan förväntas variera med årstid analyserades även.

Syftet med delstudie 2 var att undersöka om nederbörd påverkat antal antalet magsjuka individer med hemadress inom Alelyckans distributionsområde (Tornevi et al., 2013). För att studera fluktuationer i antal fall av magsjuka användes data om dagligt antal magsjukesamtal till sjukvårdsrådgivningen: 1177 – Vårdguiden. Fördröjningstider mellan nederbörd och samtal analyserades, med resultat från studie 1 i beaktande.

I studie 3 var syftet också att undersöka eventuellt samband till antal sjuka fast med antalet öppenvårdsbesök per dygn som ett mått på magsjuka i populationen (Tornevi et al., 2015). Denna studie jämför också dessa två typer av hälsodata: samtal till 1177 och vårdcentralsbesök, i syfte att undersöka skillnader och likheter för att avgöra om dessa avspeglar samma eller olika sjukdomsbilder.

2 Metod

2.1 Studieområde

Fem dricksvattenverk använder Göta älv som råvattenkälla, och sammanlagt distribuerar de dricksvatten till cirka 700 000 personer. Två av dessa dricksvattenverk, Alelyckan och Lackarebäck, förser befolkningen i Göteborg med dricksvatten. Lackarebäck tar dock sitt råvatten via Delsjöarna, men som under normala förhållanden ständigt förses med älvsvatten genom en 9 km tunnel, konstruerad för att kunna använda Delsjöarna som råvattenmagasin. Råvattenintaget till Alelyckan ligger nära verket och tar in ca $2 \text{ m}^3/\text{s}$, med ungefär hälften av volymen avsedd för Alelyckan och resterande del för att pumpas till Delsjöarna. Detta råvattenintag kan stängas när information från on-linemätningar, omfattande analyser och meddelanden om avvikelser i avloppssystem och regnhändelser tyder på att älvvattnet inte är bästa tillgängligt råvatten för dricksvattenproduktion. För att dricksvattenproduktion vid Alelyckan ska kunna fortsätta vid dessa stängningar tas råvatten tillbaka i tunneln och därmed transporterar råvatten i den andra riktningen. Stängningar av råvattenintaget bestäms utifrån analyser av mängden indikatorbakterier eller turbiditet, eller andra orsaker som t.ex. hög salthalt orsakad av inflöden av havsvatten. Stängningar kan också baseras på kraftiga regn, eller på information om händelser uppströms indikerar förhöjda föroreningsrisker, exempelvis utsläpp av orenat avloppsvatten. Göta Älv är recipient för åtta reningsverk uppströms intaget till Alelyckan. Distributionsnätet från de två dricksvattenverken är sammankopplade och därmed får delar av Göteborg dricksvatten från bägge verken, men den norra delen distribueras dricksvatten från enbart Alelyckan och södra delen enbart Lackarebäck. Totalt förser de båda vattenverken dricksvatten till en halv miljon människor.

2.2 Statistisk metod

I alla delstudier har en retropektiv analysmetod använts, dvs historiska data har inhämtats för att beskriva eventuella samband. Med dessa data har regressionsmodeller anpassats, där dygnobservationer har använts och testats som beroende och förklarande variabler. Karakteristiskt för alla studier är också att utfallet i regressionsmodellerna justerades för långtidstrender och säsongsmönster med icke-linjära funktioner (spline-funktioner). Att justera för långtidstrender är väsentligt för att kunna avgöra eventuella korttidssamband. Dessutom justerades det för eventuella samband med lufttemperatur, veckodagsmönster och röda dagar. Eftersom samband som beror av nederbörd kan förväntas ha en tidsmässig fördröjning användes en regressionsmetod som analyserar en förvald fördröjningsperiod (lag-period), benämnd Distributed Lags Non-linear Models (DLNM) (Gasparini et al., 2010). Med DLNM kan man tillåta icke-linjära samband i båda dimensioner, d.v.s. i detta fall med mängden regn per dygn, samt över den

valda lag-perioden, exempelvis de tre följande veckorna. Mera specifika detaljer kring de statistiska modellerna för de olika delstudierna hänvisas till publicerade artiklar (Tornevi et al., 2014)(Tornevi et al., 2013) (Tornevi et al., 2015).

2.3 Data

2.3.1 Nederbörd

Nederbördsdata från meteorologiska stationer efter Göta älv inhämtades från SMHI. De stationer där dygnsmätningar hade registrerats var lokaliserade i Göteborg, Alvhem och Vänersborg som ligger cirka 35 km respektive 9 mil uppströms Alelyckans råvattenintag. Nederbördsdata sammanfattas i tabell 1 och illustreras i Bilaga 1.

2.3.2 Råvattenparametrar

För att studera hur nederbörd påverkar variationer i råvattenkvaliteten analyserades fyra parametrar: turbiditet och tre typer av indikatorbakterier. Turbiditet är ett mått på mängden frisatt partikulärt material, vilket anses som ett mått på genomskinlighet. Turbiditet bestäms genom att mäta hur mycket ljus sprids, bryts och absorberas av partiklarna i ett vätskeprov. Resultatet anges som förhållandet till spridningen i en referenslösning, vanligtvis formazine. Turbiditet uttrycks i den relativa enheten FNU (Formazine Nephelometric Units) eller NTU (Nephelometric Turbidity Units). Alelyckan mäter kontinuerligt turbiditet utanför råvattenintaget och dygnsmedelvärden mellan 2004–2010 tillhandahölls av Göteborg Kretslopp och Vatten. Över samma tidsperiod tillhandahölls laboratorieresultat för halten totala koliforma bakterier, *E. coli* och *Clostridium* (tabell 1). Dessa indikatorbakterier hade under studieperioden uppmätts tre gånger i veckan, men emellanåt oftare, exempelvis om höga värden kunde förväntas föreligga exempelvis om det har rapporterats nödbräddningar i avloppsreningsverk uppströms. Utöver laboratorieanalyserna sker även at-line analyser av *E. coli* 28 gånger per vecka fördelat uppströms mellan Lärjehom och Garn,, men dessa operativt viktiga analyser har inte tagits med i denna studie därför de är inte ansågs tillräckligt preciserade vid höga nivåer (eg. kategoriskt data). Sammanfattande statistik över råvattenparametrar sammanfattas i tabell 2-1. I regressionsanalyser ingår dessa som log-transformerade (med den naturliga logaritmen) för att erhålla mera normalfördelade data, och dessa åskådliggörs i bilaga 1 (Figur B1-1).

Tabell 2-1 Sammanfattande statistik (medelvärde, median, standardavvikelse (SD) och percentiler) över dygnsobservationer gällande nederbörd och råvattenparametrar (Göta älv, Alelyckan) för perioden 2004–2010.

	Antal observationer	Antal saknas	Medel	SD	Minimum	25 percentil	Median	75 percentil	Max
Temperatur° C (Göteborg)	2 556	1	8,8	7,48	-12,7	3,4	9,1	15,0	25,4
Nederbörd mm (Alvhem)	2 557	0	3,1	6,1	0	0	0	3,8	54,3
Nederbörd mm (Göteborg)	2 557	0	2,7	5,5	0	0	0,1	3	59,7
Nederbörd mm (Vänersborg)	2 557	0	2,4	4,9	0	0	0	2,5	49,5
Koliforma MPN/100mL	1 156	1 400	1 374	1 896	51	410	750	1 600	24 000
E. coli MPN/100mL	1 156	1 400	156	200	1	41	96	190	2 800
Clostridium CFU/100mL	1 054	1 502	18,2	15,5	1	9	14	21	140
Turbiditet FNU	2 550	7	7,0	3,8	1,6	4,7	5,9	8,2	33,7

2.3.3 Hälsodata – 1177 Vårdguiden

Alla samtal till sjukvårdsupplysningen, 1177 Vårdguiden, från individer med folkbokföringsadress i Göteborg som angett personnummer tillhandahölls för perioden 2007-11-29 – 2011-12-31. Dessa samtal var anonymiserade och preciserade geografiskt på en områdesnivå så att genomhydraulikmodellering, utfört av Göteborg Kretslopp och Vatten, möjliggjordes att samtalen kunde specificeras till att härröra från Alelyckans distributionsområde med 95 procents noggrannhet. Detta innebär att allt dricksvatten till dessa områden kommer från Alelyckans vattenverk minst med 95 procent av tiden. Samma noggrannhet var också möjligt att tillämpa på Lackarbäckens distributionsområde. Alla samtal till 1177 under tidsperioden tillhandahölls, men endast med specificerad kontaktorsak om samtalet avsåg kräkning och illamående, ont i magen eller diarré. Detta möjliggjorde dock att frekvens av magsjukesrelaterade samtal kunde jämföras övriga ospecificerade kontaktorsaker.

2.3.4 Hälsodata – Primärvårdsbesök

Antal besök per dygn till primärvårdsenheter gällande gastrointestinala diagnoser (ICD-kod A00-A09) tillhandahölls för tidsperioden 2007-01-01 – 2012-12-31. Data levererades anonymiserat och kategoriserat med en geografisk precision på postnummernivå. Detta innebar att specificeringen av fallen kunde med 75 procents noggrannhet tillges till vattenverk och dricksvattenverksområde, d.v.s. 75 procent av tiden distribuerades dricksvatten till postnumret enbart från ett enskilt vattenverk. Vid analyser av eventuella samband med nederbörd exkluderades infektionsdiagnoser där det bedömdes osannolikt att sjukdomen skulle kunna härröra från en dricksvattensmitta (A00–A02, A05). Den absolut största delen av fallen (95 %) av fallen var diagnostiserade till A09 (ospecificerat infektiös orsak i mage). Sammanfattande statistik över besök till vårdcentraler och samtal till 1177 Vårdguiden redovisas i tabell 2-2, och tidsseriedata illustreras i Bilaga 1 (Figur B1-2).

Tabell 2-2 Beskrivande statistik över dagligt antal samtal till 1177 och dagligt antal besök till öppenvård gällande gastrointestinella besvär.

	Percentiler, medel och standardavvikelse (SD)										
	Min	5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	95 %	Max	Medel	SD
Samtal 1177 (Alelyckan)¹											
Magsjukesymtom	3	8	9	12	16	21	27	30	47	17,2	6,9
Övriga orsaker	44	72	79	90	103	116	129	137	236	104,2	22,6
Besök öppenvård²											
Göteborg	0	0	0	3	7	12	17	20	37	7,9	6,3
Alelyckan	0	0	0	1	3	5	7	9	16	3,4	2,9
Lackarbäck ³	0	0	0	1	4	7	10	12	26	4,5	4,1

¹ Data avser perioden: 2007-11-29 – 2011-12-31.

² Data avser perioden 2007-01-01 – 2012-12-31.

³ Området Lackarbäck innefattar här också det område som får blandvatten.

3 Resultat

3.1 Studie 1 – Nederbörd och råvattenkvalitet

Tydliga samband mellan nederbörd och råvattenkvalitet påvisades oavsett vilken nederbördsstation som användes för nederbördsdata. Nederbörds-mängder från de olika stationerna var starkt korrelerade men det bedömdes att nederbörd registrerat i Alvhem, ca 3,5 mil uppströms mätningar av råvattenparametrarna, generellt hade den bästa prediktionsförmågan för korttidsvariationer av både indikatorbakterier och turbiditet utanför råvattenintaget till Alelyckans vattenverk. Nederbördsmängder från denna station visade sig påverka den största förändringen i råvattenkvalitet två dagar senare, men den totala effekten konstaterades att spänna över flera dagar, upp till en vecka avseende turbiditet. I Bilaga 2, illustreras den tredimensionella yta av den relativa förändringen av turbiditet och indikatorbakterier som anpassats i förhållande med mängden nederbörd det följande 15 dagarna (Bilaga 2, Figur B2-1). Det observerades exponentiellt ökande halter av indikatorbakterier med ökad nederbördsmängd, till skillnad från turbiditet där effekten visade sig avta vid extremare regnhändelser (Bilaga 2, Figur B2-1). Alternativt kan dessa dimensioner betraktas separat vilket lättare belyser osäkerhetsmått i anpassningarna (Bilaga 2, Figur B2-2) (Bilaga 2, Figur B2-3). Modellanpassningar visar exempelvis att två dagar efter en händelse med minst 15 mm nederbörd ökar i genomsnitt turbiditeten med 30 %, och koncentrationen av *E. coli* ökar i genomsnitt trefaldigt. Därmed bedömdes nederbörd, jämfört med turbiditet, vara en bättre sambandsvariabel med indikatorbakterier efter händelser av kraftiga regn. Detta verifierades också med regressionsmodeller avseende indikatorbakterier med turbiditet som förklarande variabel, jämfört med mängden nederbördsmängder två dagar tidigare som förklarande variabel (Bilaga 2, Figur B2-4). Vidare konstaterades tydliga samband mellan ihållande regniga dagar och förhöjda halter av indikatorbakterier och turbiditet (Bilaga 2, Figur B2-5). Analyserna visade också att nederbörd påverkade råvattenkvaliteten oavsett årstid, men där sambandet mellan regn och turbiditet var svagast under sommaren (Bilaga 2, Figur B2-6). En större säsongsvariation av nederbördseffekten uppmärksammades också för koliforma bakterier, där den prediktiva förmågan av nederbörd var relativt starkare på hösten, jämfört med övriga råvattenparametrar (Bilaga 2, Figur B2-7). Detta resultat överensstämmer med att koliforma bakterier kan tillväxa i organiskt material och ett tydligare samband uppstår då ett ökat vegetariskt sönderfall avrinner i samband med nederbörd under hösten, varav andra indikatorbakterier bättre avspeglar fekal påverkan.

Sammantaget visar studie 1 att nederbörd kraftigt påverkar råvattenkvaliteten vilket bör förväntas året runt, där kraftigt regn kraftigt höjer koncentrationen av indikatorbakterier mångfald, och fördröjningen av regneffekten är generellt som störst två dagar senare.

3.2 Studie 2 och 3 – Nederbörd och magsjuka

Samtal till 1177 gällande magsjukesymtom från individer med hemadresser i Alelyckans leveransområde konstaterades samvariera med nederbörd. En ökande frekvens i samtal observerades i direkt samband med kraftigt regn (samma dag), och ytterligare en ökning med en fördröjning på 5–6 dagar (Bilaga 3, Figur B3-1). Det uppskattades att en dygnsnederbörd på 30 mm samvarierade med en ökning av magsjukesamtal på omkring 13 % 5–6 dagar senare (tabell 3-1). En ökning observerades också med antal regniga dagar i följd, där cirka 8 % fler magsjukesamtal relaterades till perioder då det regnat minst fem dagar i följd, jämfört med torra perioder på mer än 5 dagar (Bilaga 3, Figur B3-2). Inga sådana samband påvisades vid analyser av övriga kontaktorsaker till 1177 Vårdguiden.

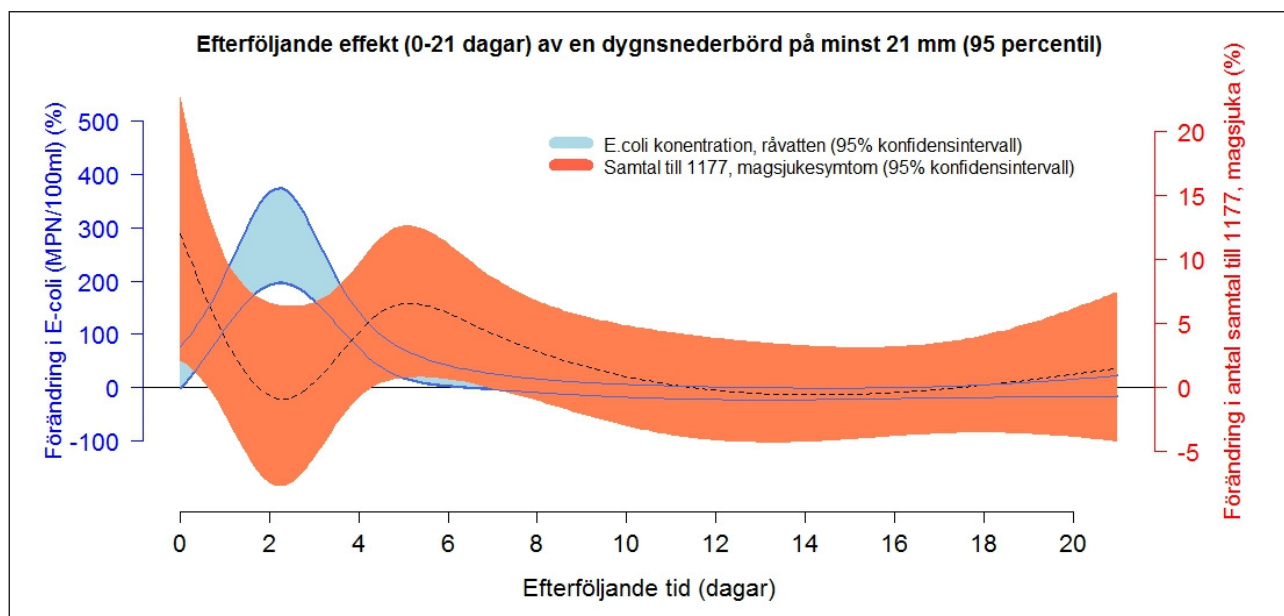
Tabell 3-1 Samband mellan kraftig dygnsnederbörd och samtal till 1177 (magsjukesymtom) samma dag (lag 0) och 4–7 dagar senare (lag 4–7)

Nederbörd (mm/24-h)	Procentuell förändring (95 % konfidensintervall)				
	lag 0	lag 4	lag 5	lag 6	lag 7
25	11 (5-16)	2 (-0-5)	3 (0-6)	3 (0-6)	2 (-0-4)
30	15 (7-23)	4 (0-9)	7 (2-12)	6 (2-10)	4 (1-7)
35	19 (8-32)	7 (1-13)	11 (4-19)	10 (4-16)	7 (2-12)
40	24 (8-42)	10 (2-19)	17 (7-27)	15 (6-24)	10 (3-17)
45	29 (8-54)	13 (2-25)	22 (9-37)	20 (8-32)	13 (4-23)

Vid regressionsanalys gällande dagligt antal besök till vårdcentraler med magsjukesjukrelaterad diagnos som utfallsvariabel observerades också ett samband med nederbörd samma dag, men av omvänd karaktär. Det konstaterades alltså att en minskning hade skett i antal besök i samband med en dag med rikligt regn. Ingen fördröjd ökning av magsjukrelaterad ohälsa efter kraftig nederbörd påvisades vid analyser med öppenvårdsbesök. Däremot, i likhet med samtal till 1177 Vårdguiden, observerades ett förhöjt antal besök i samband med längre perioder av regnigt väder. Detta samband var också endast tydligt för populationen med sitt dricksvatten producerat till största delen av vatten från Göta älv som inte passerat Delsjöarna (Bilaga 3, Figur B3-3), där en 25 procentig ökning skattades efter ihållande regnigt väder i en vecka. I övrigt observerades endast små samband mellan vårdkontakter via telefonsamtal och besök till vårdcentraler; en ökning av 10 samtal under ett dygn skattades att resultera med ökning i besök av totalt 6 % samma dag och efterföljande dag. Telefonkontakter återspeglade ett mycket tydligare säsongsmönster med tydliga vintertoppar som sammanfaller med den virusdrivna vinterkräksjukan. Data om öppenvårdsbesöken speglade inte dessa vintertoppar lika tydligt och visade en nästan lika stor ökning i augusti som februari.

För att sammanfatta resultaten illustreras i figur 3-1 effekten av en kraftig dygnsnederbörd (21 mm eller mer: 95 percentil vid händelser av regn observerat i Alvhem) på halten *E. coli* bakterier i råvattnet samt antalet samtal till 1177 Vårdguiden under efterföljande tre veckor.

Figur 3-1. Förändring av *E. coli* halter samt telefonkontakter till 1177 Vårdguiden i procent efter en dygnsnederbörd minst 21 mm, relativt 0 mm. *E. coli* halter når de sin topp i genomsnitt två dagar senare, och för samtal sker ett förhöjt förväntat antal samtal i direkt samband (dag 0) samt omkring 5–6 dagar senare.



4 Diskussion

Studierna har påvisat tydliga samband mellan variation i nederbörd och variation i råvattenkvalitet som används till dricksvattenproduktion, och samband mellan nederbörd och data om ohälsa gällande magsjukesrelaterade symtom. De samband mellan nederbörd och försämrade maghälsa som främst överensstämmer med hypotesen att den bakomliggande orsaken är smittspridning genom dricksvattnet är den fördröjda effekten på antalet samtal till 1177 Vårdguiden på omkring 5–6 dagar efter kraftig nederbörd. Med resultaten från studie 1 i åtanke, där analyserna visat att råvattenkvaliteten generellt har varit mest påverkat två dagar efter nederbörd, och att dricksvattenproduktion inklusive distributionstid ligger generellt inom några få dagar, talar den största fördröjda effekten (5 dagar senare) gällande samtal till 1177 för en maginfektion med inkubationstid på 1–2 dagar. Virus, exempelvis norovirus, har bestämts med denna korta inkubationstid, men även vissa bakterieorsakade magsjukdomar har tillskrivits ett relativt snabbt insjuknade. Magsjukdomar orsakade av parasiter, t.ex. *Giardia* och *Cryptosporidium*, har dock ofta längre inkubationstider (Chin, 2000). Både virus och parasiter orsakar ofta infektioner efter endast mycket låga intagsdoser, och det faktum att virus är tåligare mot desinfektion än bakterier, pekar resultaten på att ökningen av magsjukesamtal efter kraftigt regn kan ha orsakats av virusdrivna infektioner.

Det konstaterades också att ihållande dagar med nederbörd också tydligt försämrade råvattenkvaliteten, tillsammans med en ökning både gällande magsjukesrelaterade samtal till 1177 och besök till vårdcentraler. Dessa observerade ökningar i ohälsotal kan också bero på otillräcklig dricksvattenkvalitet, men det kan inte helt uteslutas att det kan vara andra bakomliggande orsaker som bidrar till denna ökning. Exempelvis, vid dåligt väder kan det antas att människor spenderar mera tid inomhus, exempelvis på förskolor, eller att kollektivtrafik används i större utsträckning, beteenden som gör att smittspridningsrisken mellan människor ökar. Det finns dock andra studier som visat samband mellan kumulativt regnande och ökad risk för dricksvattenorsakade magsjukesutbrott. Kumulativt regn över fem dagar var associerat med ökad risk för vattenburna sjukdomsutbrott både i Kanada och USA (Thomas et al., 2006) (Curriero et al., 2001). Kumulativt regn över sju dagar har också påvisats sammanfalla med ökningar av antal fall orsakade av *Cryptosporidium* i England (Naumova et al., 2005). Det som också talar för att ökade ohälsotal i samband med regniga perioder skulle vara dricksvattenrelaterat är att sambandet observerades bara gälla för populationen som får sitt dricksvatten producerat till största delen av råvatten från Göta älv. Göta älv är mera direkt påverkat av nederbördshändelser än Delsjöarna då Göta älv ligger i anslutning till jordbruksmarker och flera avloppsreningsverk (Mendel, 2005). Vattnet i Delsjöarna till ca 90 % kommer från Göta älv och eftersom smittämnen som parasitära protozoer har lång överlevnad i kallt vatten är en hypotes att det skulle uppstå likande grad av magsjuka fast med en längre tidsfördröjning. Denna hypotes har inte gått

att styrka, men det kan bero på att den eventuella effekten även sprids över längre tid och därmed blir svårare att visa.

Det bör understrykas att i dessa epidemiologiska studier är att ingen hänsyn har tagits till det faktum att råvattenintaget till Alelyckan stängs om undermålig vattenkvalitet misstänks eller observerats, och råvatten tas istället från tunneln som leder till Delsjöarna. Tidigare studier på effekten av denna säkerhetsåtgärd har pekat på att den är en viktig metod för att säkerställa hög dricksvattenkvalitet (Åström et al., 2007), trots att Delsjöarna annars fylls på med vatten från Göta älv. Vid försök att verifiera hur stängningar efter kraftig nederbörd påverkat antalet magsjukesrelaterade samtal till 1777 blir dock underlaget i data för litet för att kunna påvisa en skyddande effekt. Visserligen observeras en högre effekt av kraftig nederbörd på den efterföljande ökningen av samtal när endast episoder analyseras då intaget varit öppet de efterföljande dagarna efter händelsen, men en ökning observeras också vid analyser när intaget har stängts dagarna efter nederbörd. Det bör förtydligas är att dessa samband som redovisas är medelvärden som bygger på flera år av data, och enskilda händelser behöver inte följa dessa tidsmässiga mönster. Exempelvis observerades det att en del av de högsta halterna av *E. coli* som registrerats återfanns samma dag kraftiga nederbördshändelser, vilket belyser att en stängning av intaget dagen efter nederbörd inte skulle vara en tillräckligt snabb åtgärd. Det faktum att Göta älv också har en snabb omsättning av vatten gör att analyser av indikatorbakterier ger en ögonblicksbild av råvattenkvaliteten, och hur indikatorbakteriekoncentrationen varierat mellan provtagningar är oklart. Turbiditet mäts dock i realtid och omedelbara stängningar av råvattenintaget tillämpas vid otillåtna nivåer.

En svårighet med som uppkommer vid epidemiologiska studier av magsjuka, (eller andra relativt lindriga sjukdomsfall), är att tillståndet är snabbt övergående och sjuka individer sällan uppsöker läkare eller vård. Detta medför att sjukhusdata eller information från vårdcentraler bara redovisar ett fåtal av det verkliga fallen. Livsmedelsverket har genomfört en studie på hur många som kontaktar 1177 Vårdguiden vid händelser av magsjuka och rapporterat att 9 % av fallen uppgav att det var tänkbart (Toljander and Karnehed, 2012). Även om denna siffra förmodligen är större än de som faktiskt kontaktar 1177 Vårdguiden, visar den på fördelen med att studera telefonkontakter jämfört med vårdcentralbesök då det data som använts i dessa studier observerades det cirka fem gånger högre antal samtal än vårdcentralbesök. Vissa andra studier har angripit detta underrapporteringsproblem gällande magsjuka i sjukvårdsdata med att studera variationer i försäljning av magsjukemediciner (Beaudeau et al., 1999), eller med så kallade panelstudier (Egorov et al., 2003). Det har dock visats att hälsodata i form av telefonkontakter är att föredra för att tidigt upptäcka ökning i ohälsotal gällande magsjuka (Andersson et al., 2014). Vad som också pekar på att telefondata är att föredra vid magsjukestudier är att det observerade stor skillnad gällande säsongsmönster i dessa två typer av hälsodata, där vintertopparna var mera omfattande gällande 1177 Vårdguiden än vad vårdcentralbesök speglade. Dessa sjukdomsfall under vintersäsongen är med största sannolikhet orsakade av virus (Chui et al., 2011), vilket också har

rapporterats vara den vanligaste orsaken till av magsjuka (De Wit et al., 2001). Därmed återspeglar telefondata fler fall av virusorsakad magsjuka. En orsak till att vårdcentralbesök inte avspeglar dessa sjukdomsfall lika bra är att virusorsakad magsjuka ofta är relativt snabbt övergående, och att rådet från sjukvården att stanna hemma för att minska smittspridningen.

I dessa studier observerades det också en ökning av kontakter till 1177 Vårdguiden i direkt samband med nederbörd. Denna ökning är svårare att härleda till en dricksvattenrelaterad orsak. Eftersom det samtidigt med den omedelbara ökningen av samtal observerades en minskning i besök till vårdcentraler blir hypotesen att det är sker en beteendeförändring som beror av rådande väderförhållanden. Vid regnigt väder förefaller sjukvårdkontakter förflyttas från vårdcentralbesök till telefonsamtal. Denna beteendeförändring bör man ta i beaktande vid fortsatta epidemiologiska studier. Även en minskning till akutmottagningar i samband med dåligt väder har rapporterats tidigare (Diehl et al., 1981).

Att endast små korttidssamband observerades vid jämförelse kan förklaras med att 1177 Vårdguiden är alltid öppet, 24 timmar per dygn, medan vårdcentraler har begränsade öppettider kvällar och helger. Under dessa tider hänvisas patienter då till akutmottagningar istället eller ombeds att vänta till måndag för sjukvårdskontakt. Detta förespråkar också att data från 1177 Vårdguiden är att föredra när analyser syftar på att studera fördröjningseffekter och icke-akuta hälsoutfall.

Resultaten i denna studie kan inte direkt generaliseras till andra ytvattentäkter och befolkningar eftersom effekter och fördröjningstider av nederbörd inte kan antas vara lika. Därför bör studier av hur nederbörd ökar risken för förorenat råvatten på andra vattentäkter utföras separat. Det är angeläget att dricksvattenproducenter förstår sambanden mellan nederbörd och vattenkvalitet, för att bättre ha möjlighet att validera riskerna både i storlek och med aspekter av tid. Klimatförändringsprognoser visar att den årliga nederbörden kommer att öka med fler händelser av kraftiga regn i stora delar av Sverige. Det kan därför antas att i framtiden kommer Göta älv under fler dagar per år ha otillräcklig råvattenkvalitet med de vid studien rådande processförhållandena. Även om Alelyckan har möjlighet att stänga råvattenintaget, skapar detta problem eftersom vattenvolymen i Delsjöarna och reservvattentäkten inte kan försörja befolkningen i Göteborg med dricksvatten över längre tidsperioder och Göta älv är den enda tillgängliga källan till råvatten i de mängder som behövs. Resultaten har understrukt behovet av ytterligare studier av föroreningskällor som bidrar till att patogener avrinner till älven och uppgradering av dricksvattenproduktionen med ytterligare barriärer för att vara mer förberedd för ett framtida klimat. I skrivande stund har nu båda dricksvattenverken i Göteborg investerats med kompletterande barriärsteg, Lackarbäck har försetts med ultrafilter och Alelyckan har försetts med UV-ljus. Detta kan vara ett viktigt steg för att säkerställa dricksvattnets kvalitet och lindra effekter av kraftig nederbörd på folkhälsan.

Resultaten under studiens gång har lett till att regn som stängningsfaktor av råvattenintaget har fått ökad tyngd och att i den nya älv-övervakningen planeras för regnmätning i närheten av Alvhem för att fånga upp variatio-

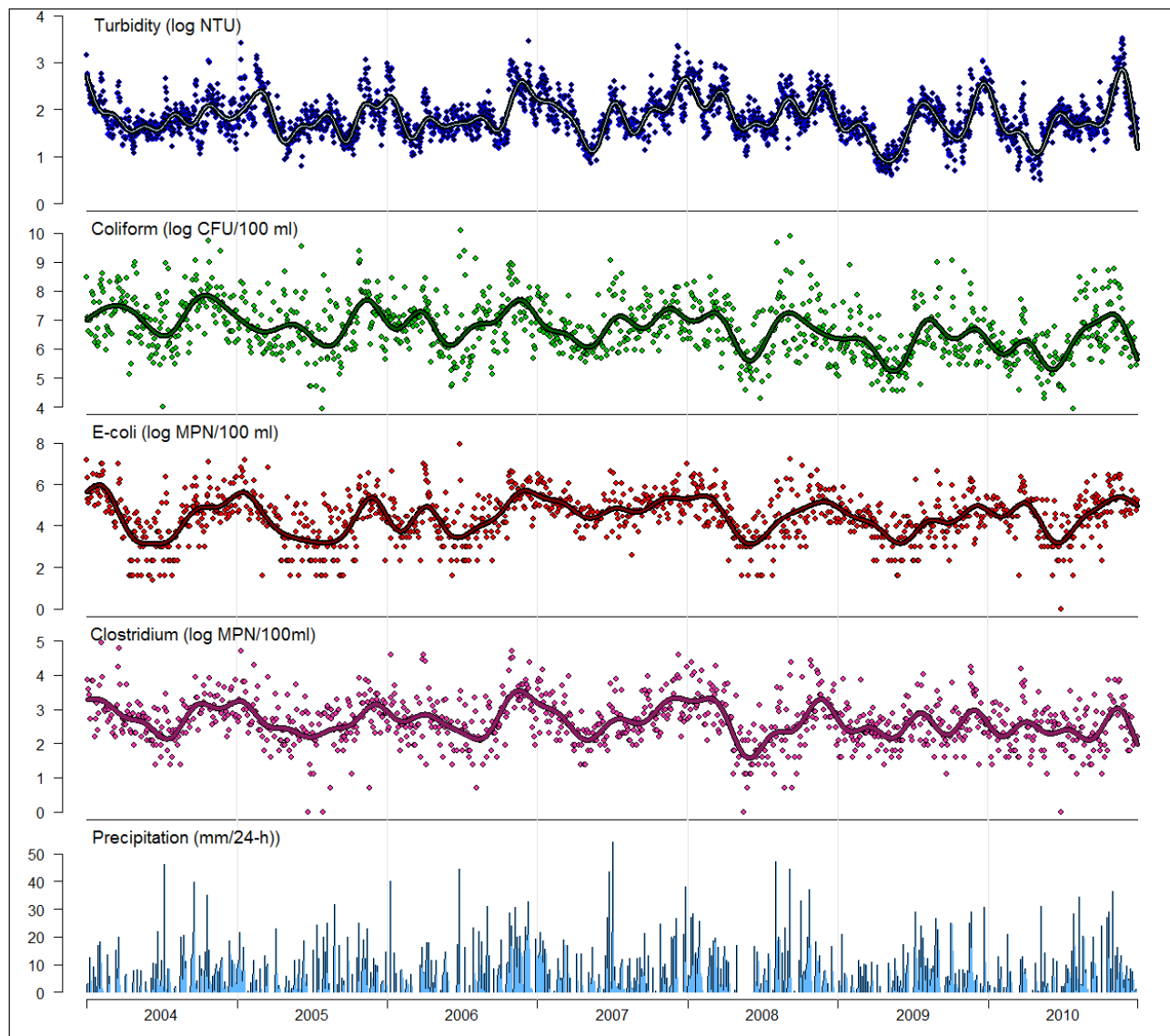
ner i regnmängder som sommartid kan vara kraftiga. Göteborg Kretslopp och Vatten är numera drivande i den operativa användningen av bearbetad statistik från magsjukesamtal till 1177, där exempelvis öknings av magsjukesamtal i kommuner uppströms också analyseras och betraktas som en riskfaktor för förhöjt antal patogener i råvattnet. I skrivande stund har också nu bägge vattenverken som försörjer Göteborg komplettrats med ytterligare mikrobiologiska barriärer. UV desinfektion togs successivt i drift under 2013. Ultrafiltrering med verifierat hög virusavskiljning har börjats i drift på Lackarebäck under 2015. Uppföljande studier med nuvarande förhållanden kan därför vara intressant. Eftersom UV-desinfektionen fungerar som sämst när den behövs som bäst (vid lägre UV-transmission t ex vid högre färgtal), och inte väntas vara tillräcklig i ett förändrat klimat betraktas den som en mellanlösning i väntan på ultrafiltrering. Utredning av råvattnetkomplement från sjöarna Mjörn och Lygnern med eventuell infiltration pågår också. Allt detta sammantaget kan vara viktiga steg för att säkerställa dricksvattnets kvalitet och lindra effekter av kraftig nederbörd på folkhälsan, också i ett framtida klimat.

5 Referenser

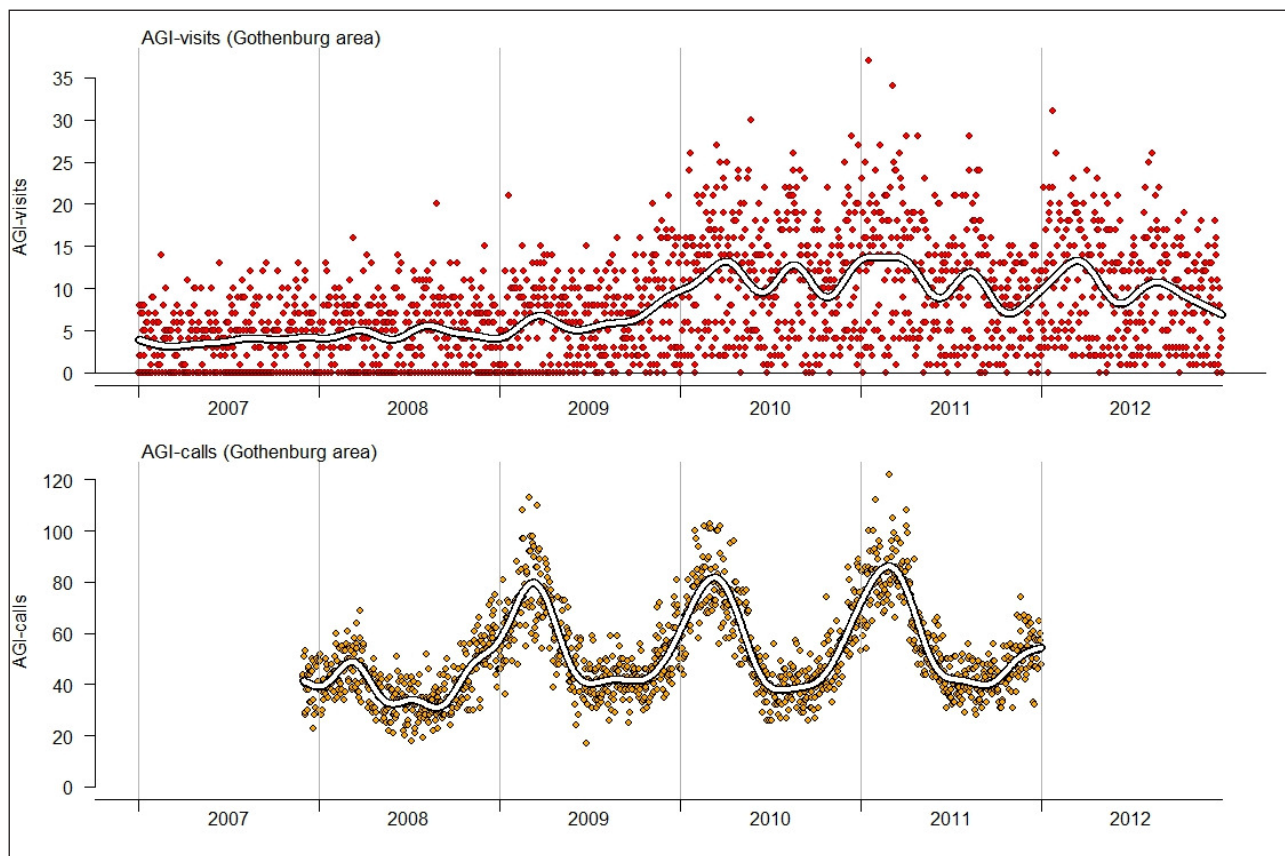
- Andersson T, Bjelkmar P, Hulth A, et al. (2014) Syndromic surveillance for local outbreak detection and awareness: evaluating outbreak signals of acute gastroenteritis in telephone triage, web-based queries and over-the-counter pharmacy sales. *Epidemiol Infect* 142: 303–313.
- Astrom J, Petterson S, Bergstedt O, et al. (2007) Evaluation of the microbial risk reduction due to selective closure of the raw water intake before drinking water treatment. *Journal of Water and Health* 5: 81–97.
- Beaudeau P, Payment P, Bourderont D, et al. (1999) A time series study of anti-diarrheal drug sales and tap-water quality. *Int J Environ Health Res* 9: 293–311.
- Borchardt MA, Spencer SK, Kieke BA, et al. (2012) Viruses in nondisinfected drinking water from municipal wells and community incidence of acute gastrointestinal illness. *Environ Health Perspect* 120: 1272–1279.
- Chin J. (2000) *Control of communicable diseases manual*: American Public Health Association Washington, DC.
- Chui KK, Jagai JS, Griffiths JK, et al. (2011) Hospitalization of the elderly in the United States for nonspecific gastrointestinal diseases: a search for etiological clues. *Am J Public Health* 101: 2082–2086.
- Curriero FC, Patz JA, Rose JB, et al. (2001) The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948–1994. *Am J Public Health* 91: 1194–1199.
- De Wit M, Koopmans M, Kortbeek L, et al. (2001) Sensor, a population-based cohort study on gastroenteritis in the Netherlands: incidence and etiology. *American journal of epidemiology* 154: 666–674.
- Diehl AK, Morris M and Mannis SA. (1981) Use of calendar and weather data to predict walk-in attendance. *Southern medical journal* 74: 709.
- Drayna P, McLellan SL, Simpson P, et al. (2010) Association between Rainfall and Pediatric Emergency Department Visits for Acute Gastrointestinal Illness. *Environ Health Perspect* 118: 1439–1443.
- Egorov AI, Naumova EN, Tereschenko AA, et al. (2003) Daily variations in effluent water turbidity and diarrhoeal illness in a Russian city. *Int J Environ Health Res* 13: 81–94.
- Gasparrini A, Armstrong B and Kenward MG. (2010) Distributed lag non-linear models. *Stat Med* 29: 2224–2234.
- Hsieh JL, Nguyen TQ, Matte T, et al. (2015) Drinking Water Turbidity and Emergency Department Visits for Gastrointestinal Illness in New York City, 2002–2009.
- Mendel V. Raw Water Storage Case study: Göteborg's Water Supply. M.Sc Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. 2005. Available: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/21669.pdf>.

- Naumova EN, Christodouleas J, Hunter PR, et al. (2005) Effect of precipitation on seasonal variability in cryptosporidiosis recorded by the North West England surveillance system in 1990–1999. *Journal of Water and Health* 3: 185–196.
- Nichols G, Lane C, Asgari N, et al. (2009) Rainfall and outbreaks of drinking water related disease and in England and Wales. *Journal of Water and Health* 7: 1–8.
- Payment P, Richardson L, Siemiatycki J, et al. (1991) A randomized trial to evaluate the risk of gastrointestinal disease due to consumption of drinking water meeting current microbiological standards. *Am J Public Health* 81: 703–708.
- Schwartz J, Levin R and Goldstein R. (2000) Drinking water turbidity and gastrointestinal illness in the elderly of Philadelphia. *J Epidemiol Community Health* 54: 45–51.
- Schwartz J, Levin R and Hodge K. (1997) Drinking water turbidity and pediatric hospital use for gastrointestinal illness in Philadelphia. *Epidemiology* 8: 615–620.
- Thomas KM, Charron DE, Waltner-Toews D, et al. (2006) A role of high impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975–2001. *Int J Environ Health Res* 16: 167–180.
- Tinker SC, Moe CL, Klein M, et al. (2010) Drinking water turbidity and emergency department visits for gastrointestinal illness in Atlanta, 1993–2004. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 20: 19–28.
- Toljander J and Karnehed N. (2012) A descriptive study of behavioural patterns associated with gastrointestinal illness in the general Swedish population. *Journal of Public Health and Epidemiology* 4: 30–33.
- Tornevi A, Bergstedt O and Forsberg B. (2014) Precipitation effects on microbial pollution in a river: lag structures and seasonal effect modification. *PLoS One* 9: e98546.
- Tornevi A, Axelsson G and Forsberg B. (2013) Association between precipitation upstream of a drinking water utility and nurse advice calls relating to acute gastrointestinal illnesses. *PLoS One* 8: e69918.
- Tornevi A, Barregård L and Forsberg B. (2015) Precipitation and primary health care visits for gastrointestinal illness in gothenburg, sweden. *PLoS One* 10: e0128487–e0128487.
- Swedish Commission on Climate and Vulnerability: Sweden facing climate change-threats and opportunities, Stockholm. Swedish Governmental Official Reports (SOU) 2007:60. Final report. Bilaga B 13: Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat. Available (Svenska): <http://www.sweden.gov.se/sb/d/8704/a/89334>.
- WHO. (2002) Emerging issues in water and infectious disease.

Bilaga 1 – Figurer över tidseriedata som använts i delstudier

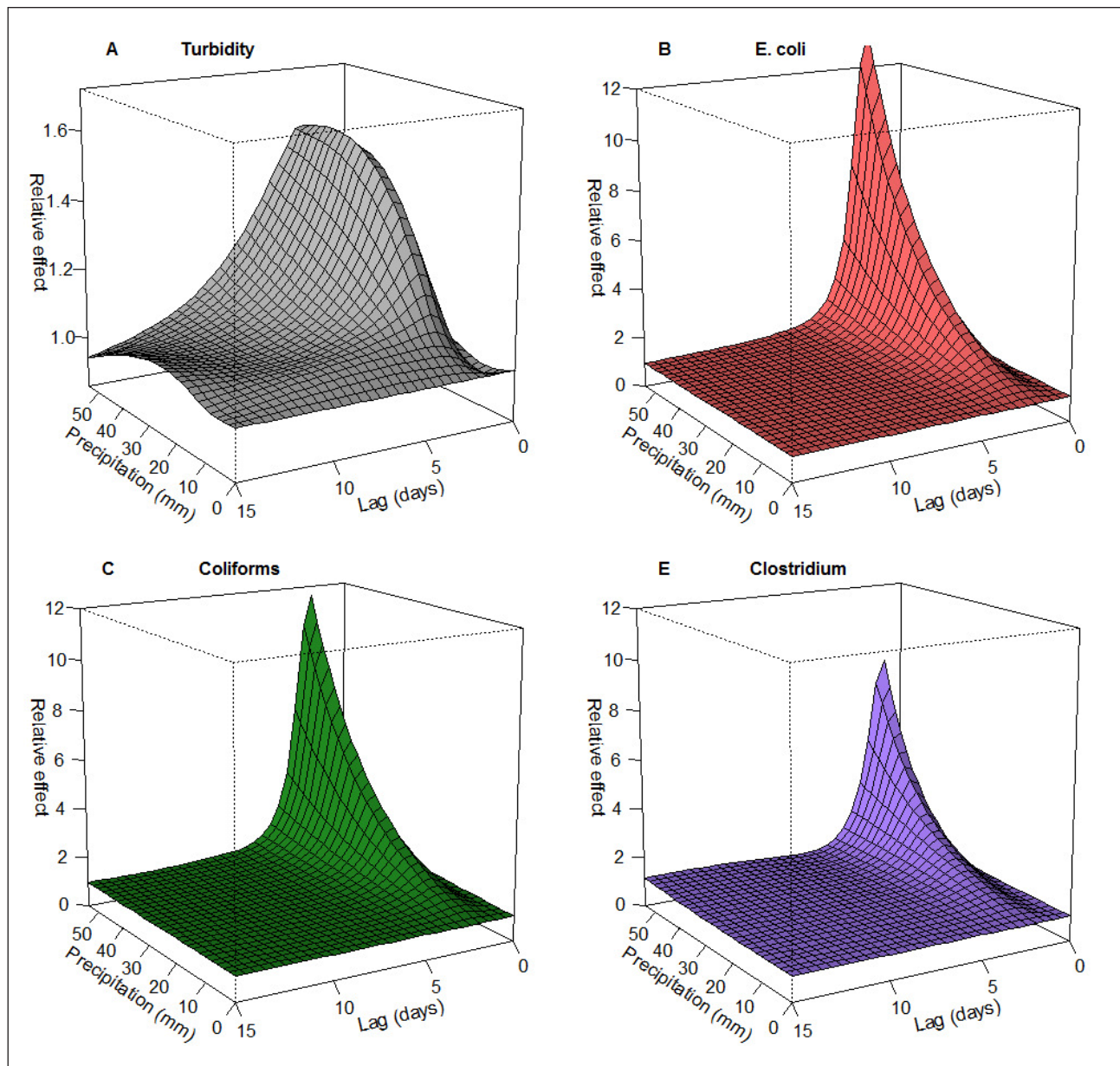


Figur B1-1 Tidseriedata per dygn mellan 2004–2010 över råvattenkvalitet: turbiditet och indikatorbakterier, koliforma (totala), *E. coli*, och *clostridium*, samt registrerad nederbörd i Alvhem. Råvattenparametrar är transformerade med den naturliga logaritmen. Heldragna kurvor är spline-funktioner som kan ses som glidande medelvärden.

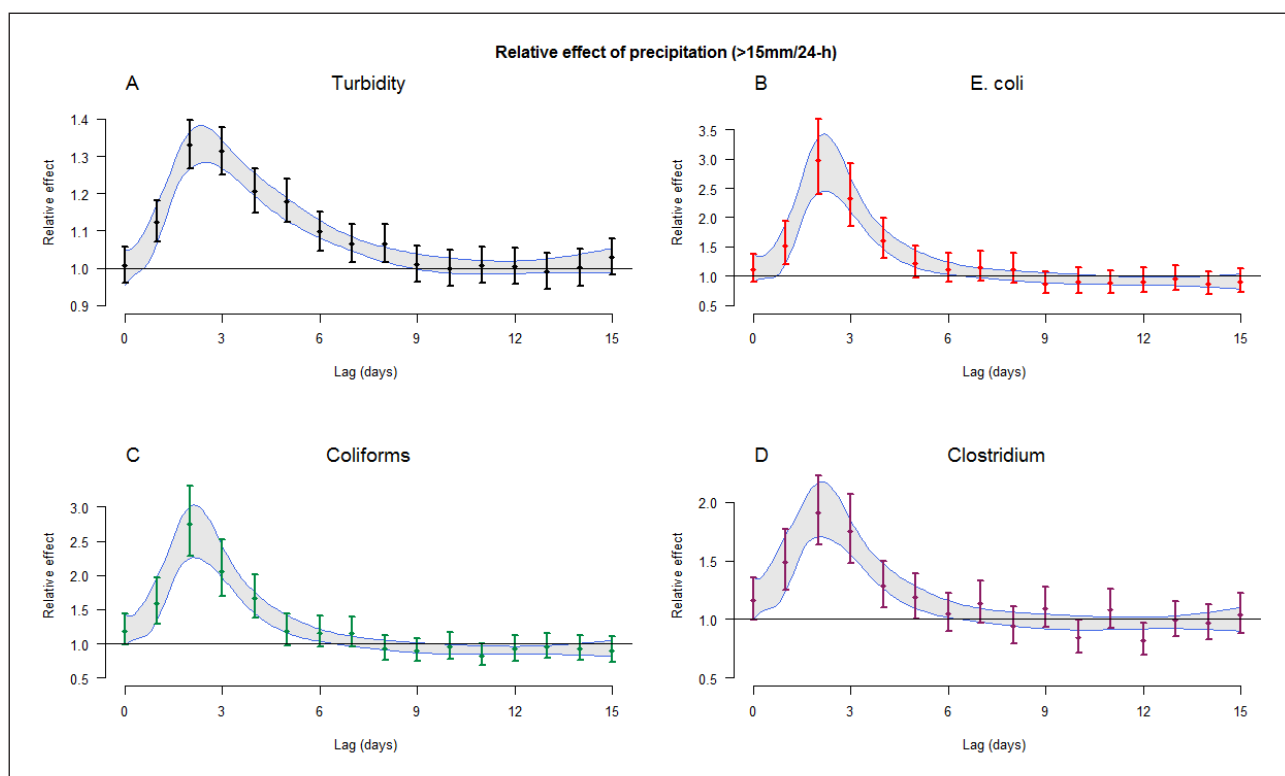


Figur B1-2 Tidseriedata över magsjukerelaterad ohälsa i Göteborg. Övre figur visar antal besök per dygn till vårdcentraler med ICD koder A00-A09 (AGI-visits). Nedre figur illustrerar antal samtal per dygn till 1177 Vårdguiden gällande kräkning, diarréer eller buksmärta (AGI-calls). Heldragna kurvor är spline-funktioner som kan ses som glidande medelvärden.

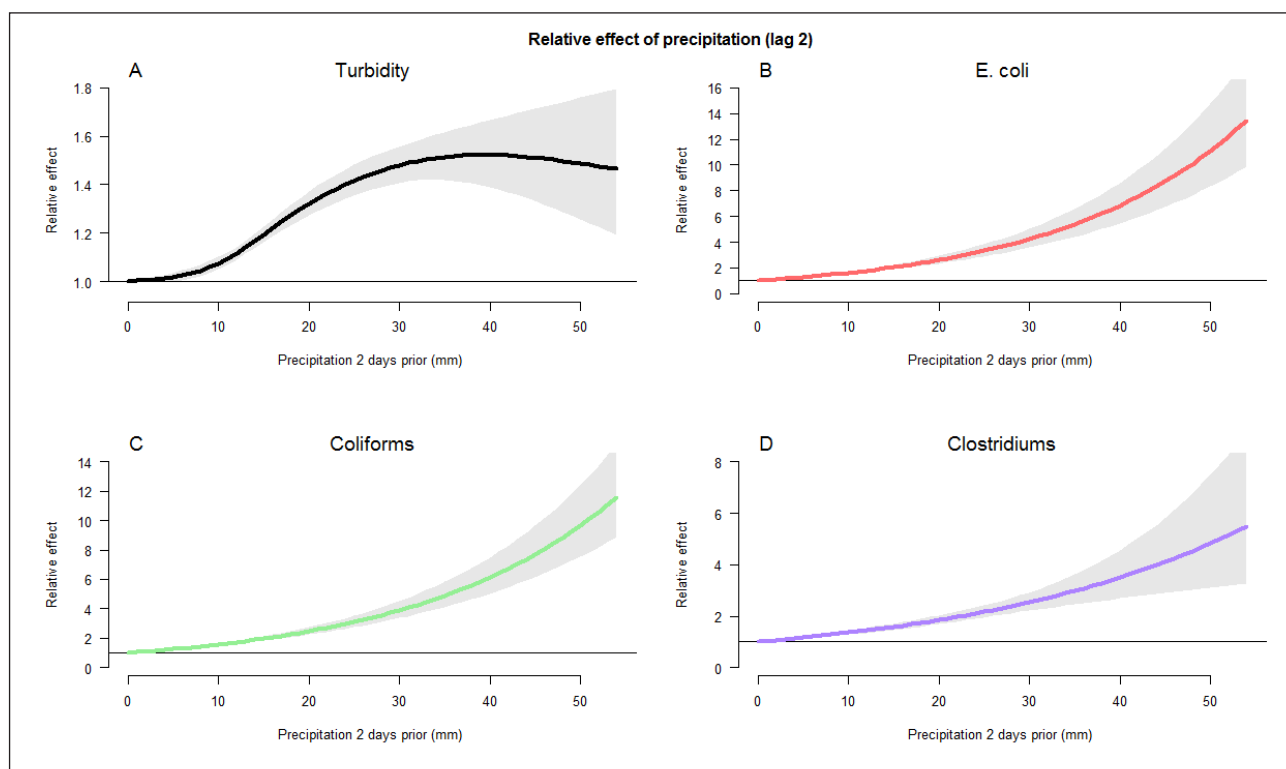
Bilaga 2 – Figurer från Studie1, Samband mellan Nederbörd och Råvattenkvalitet



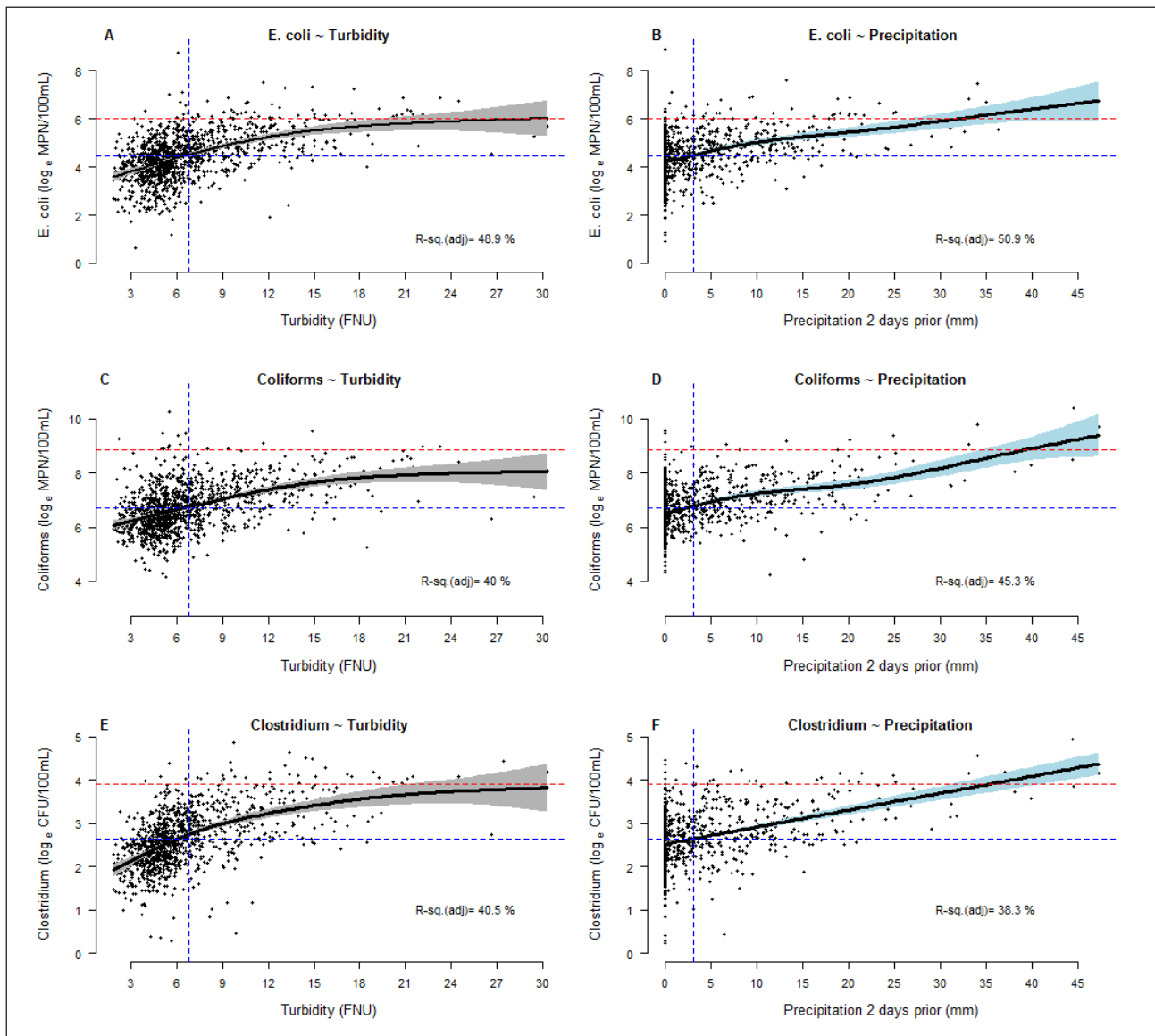
Figur B2-1 Relativa effekter av dygnsnederbörd (precipitation) på råvattenparametrar de efterföljande 15 dagarna (lag days) med DLNM-modeller (A, Turbiditet, B, E.coli, C, Koliformer, D, Clostridium). Effekten når sin topp två dagar efter nederbörd och ökar exponentiellt med mängden nederbörd gällande indikatorbakterier. Relativa effekter ska betraktas som den multiplikativa förändringen.



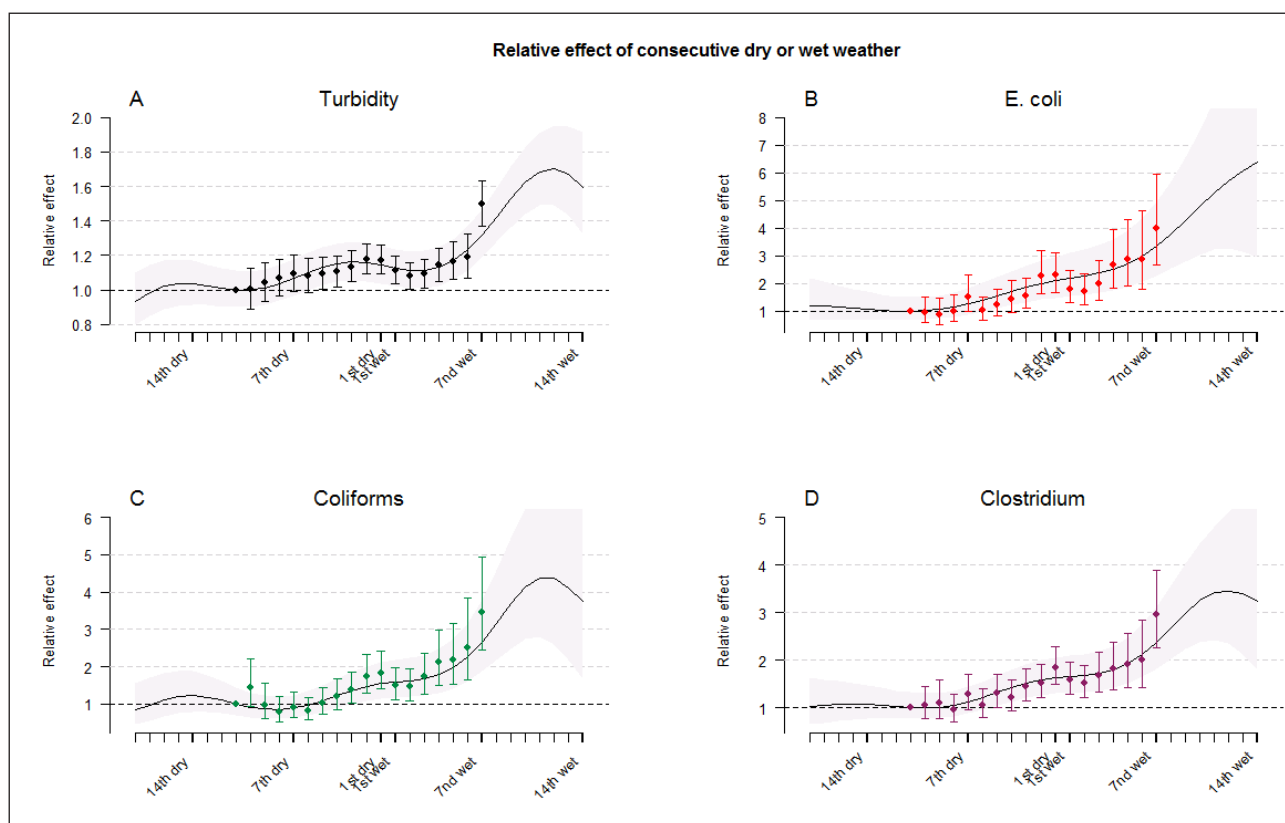
Figur B2-2 Relativ förändring i råvattenparametrar under efterföljande femton dagar efter dygnsnederbörd på minst 15 mm. Skuggat område avser ett 95 % konfidensintervall av anpassning med en DLNM-modell (tvärsnitt ur figur B2-1), och staplar avser 95 % konfidensintervall med en regressionsmetod där efterföljande observationer antagits varit oberoende. Båda metoderna ger likartade skattningar men DLNM ger följksamare anpassning och ett snävare konfidensintervall.



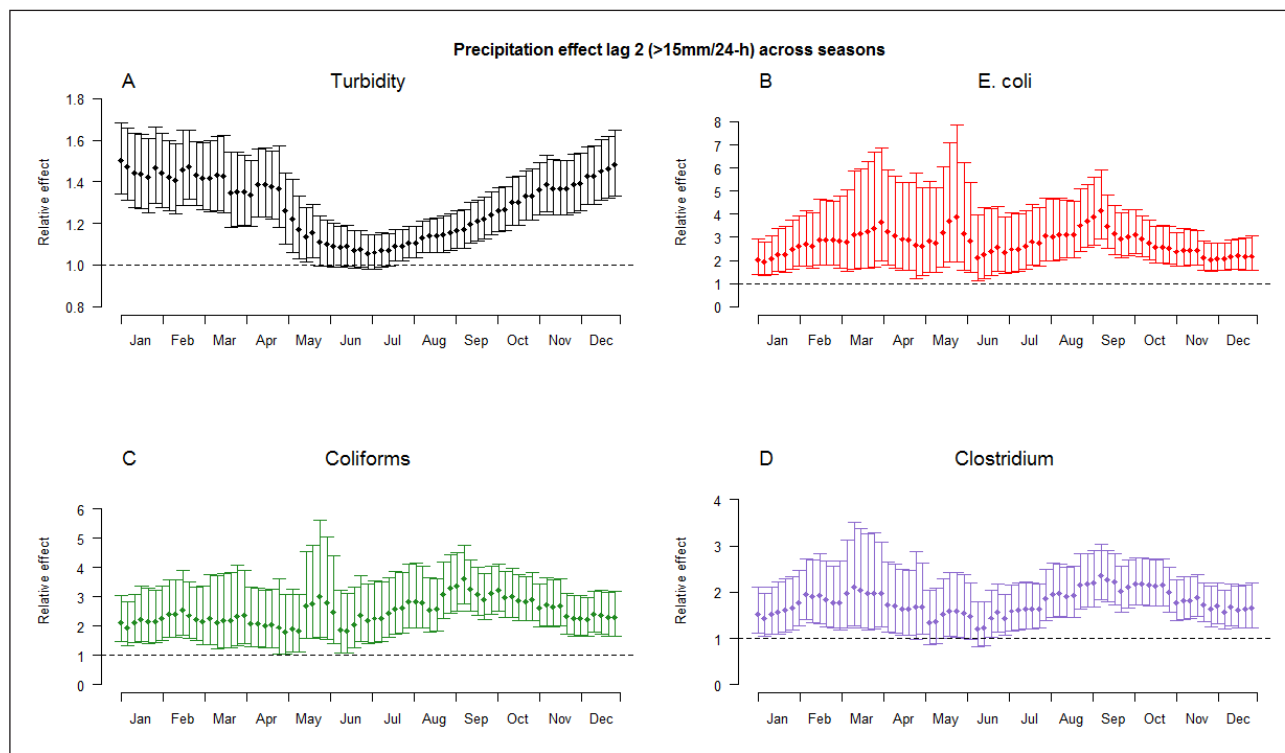
Figur B2-3 Relativ förändring i råvattenparametrar av nederbördsmängder två dagar tidigare (lag 2). Skuggat område avser ett 95 % konfidensintervall av anpassning med en DLNM-modell (tvärsnitt ur figur B2-1).



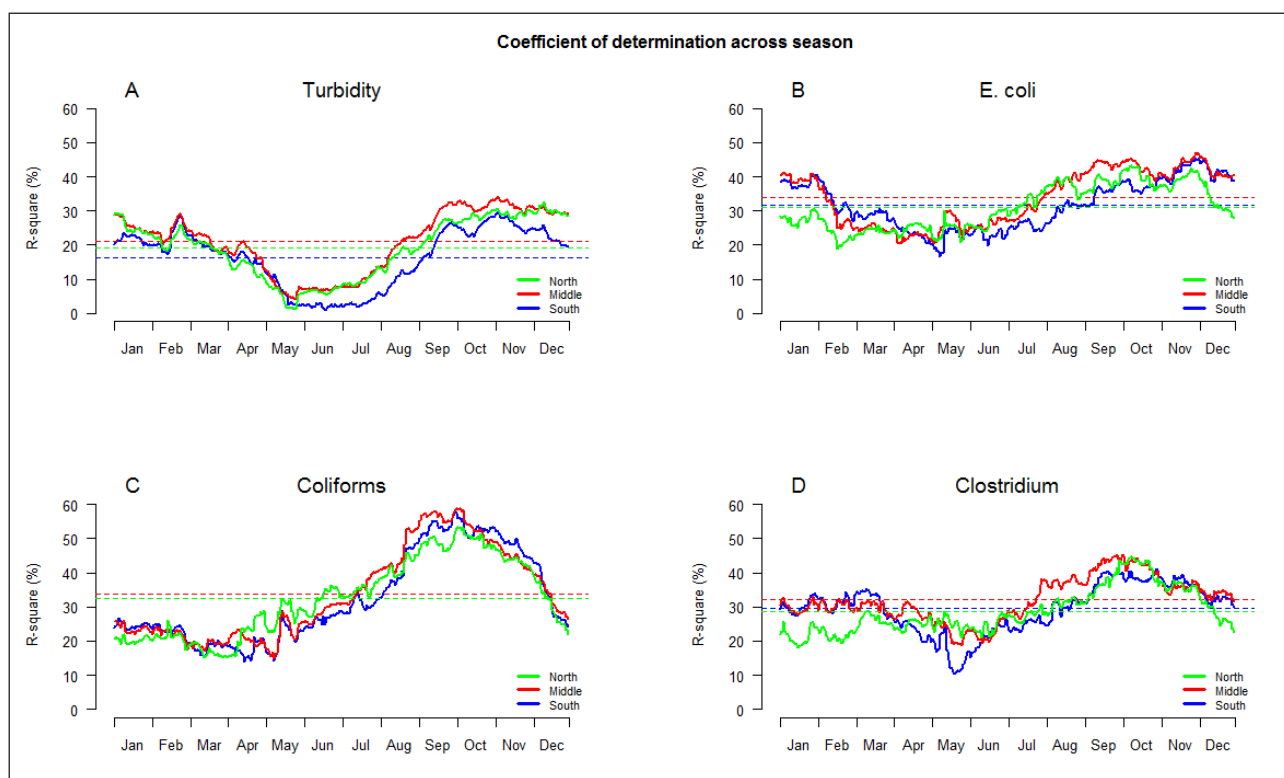
Figur B2-4 Samband mellan turbiditet och indikatorbakterier (logaritmerat data) (vänster spalt) samt nederbörd och logaritmerat data av indikatorbakterier 2 dagar senare (höger spalt). Figuren illustrerar att höga halter av turbiditet inte betyder höga halter av indikatorbakterier lika tydligt som kraftig nederbörd gör. Blå streckade linjer är medelvärden och röda streckade linjer är koncentrationer som rekommenderar stängning av råvattenintaget.



Figur B2-5 Relativ förändring (med 95 % konfidensintervall) i råvattenparametrar av ihållande torr eller regnigt väder. I figuren är referenshändelsen satt till en tio dagar lång torrperiod (kontinuerlig variabel – heldragen linje och skuggat område), eller minst en 10 dagars lång torrperiod (kategorisk variabel – staplar). Staplar gällande 7 kumulativa regniga dagar avser minst 7 kumulativa blöta dagar.

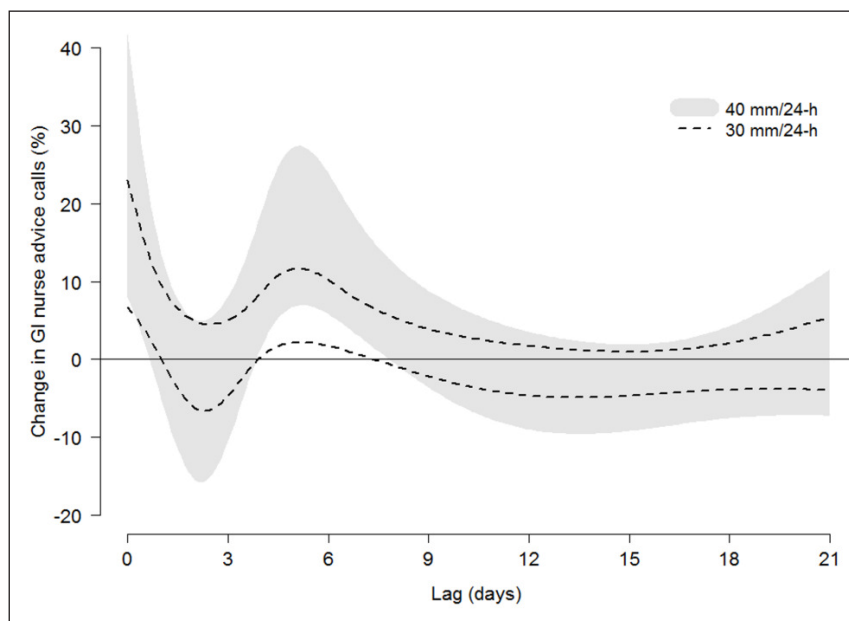


Figur B2-6 Relativ förändring i råvattenparametrar av en händelse på minst 15 mm regn över olika säsonger. Figuren visar exempelvis att nederbördseffekten varierar mest över året gällande turbiditet och är signifikant under hela året gällande indikatorbakterier.

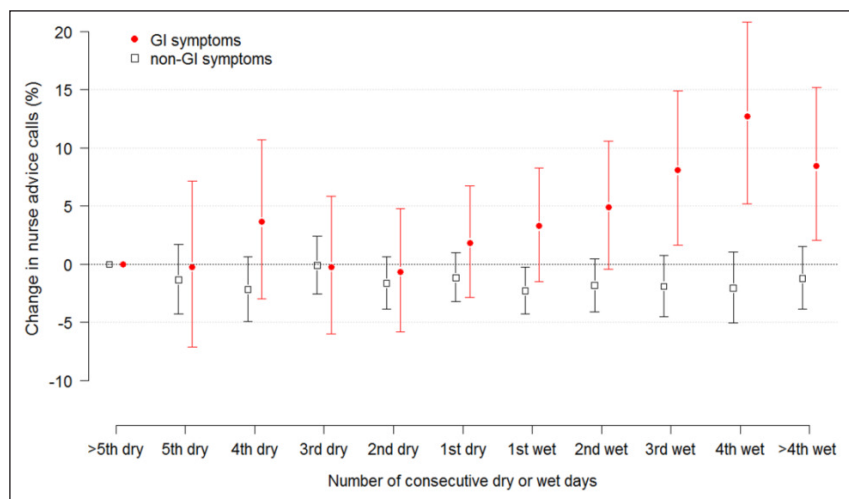


Figur B2-7 Nederbörds (total nederbörd 0–7 dagar tidigare) prediktiva förmåga på råvattenparametrar över säsonger illustrerat med regressionsmodellens förklaringsgrad R^2 (avseende nederbördsvariabel). De olika färgerna representerar olika nederbördsstationer där blå är stationen i centrala Göteborg, röd är stationen i Alvhem och grön är stationen i Vänersborg.

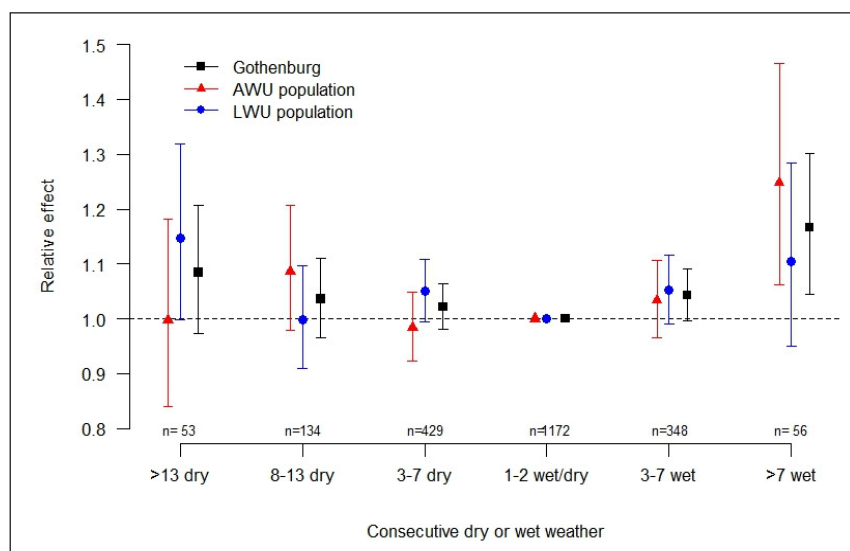
Bilaga 3 – Figurer från Studie 2 och Studie 3, Samband mellan nederbörd, magsjukerelaterade samtal till 1177-vårdguiden och besök till vårdcentraler



Figur B3-1 Förändring i procent av antalet samtal gällande magsjukesymtom till 1177 – Vårdguiden (GI nurse advice calls) de efterföljande 21 dagarna av en dygnsnederbörd på 30 mm eller 40 mm. Figuren illustrerar 95% konfidensintervall vid anpassning av en DLNM-modell, och visar en ökning i direkt relation med nederbörd (samma dag (Lag 0)) samt ett fördröjt samband som når sin topp 5 dagar senare.



Figur B3-2 Förändring i procent av antalet samtal till 1177 – Vårdguiden (nurse advice calls) av ihållande regniga eller torra dagar. Figuren visar antalet samtal gällande magsjukesymtom till 1177 – Vårdguiden (GI symptoms) samt samtal gällande andra orsaker (non-GI symptoms). Ett förhöjt antal samtal gällande magsjukesymtom påvisas med ihållande blött väder jämfört med ihållande tørt väder.



Figur B3-3 Förändring (relativ effekt) av antalet besök till vårdcentraler gällande gastrointestinella orsaker i relation till ihållande regniga eller torra dagar. Figuren visar analyser gjorda på befolkningen med bostadsadresser i norra Göteborg som levererats dricksvatten från Alelyckan (AWU population), samt resterande befolkning (dricksvatten från Lackarbäck och blandvatten, LWU population), samt totala befolkningen (Gothenburg). 'n' representerar hur många dagar varje kategori har observerats i tidserien (2007–2012), exempelvis hade 56 dagar observerats där det regnat mer än 7 dagar i följd. Ett förhöjt antal besök påvisas med ihållande regnigt väder, särskilt markant för befolkningen i norra Göteborg.

Bilaga 4 – Publikationer och konferenser

Publikationer

- 2013 Association between precipitation upstream of a drinking water utility and nurse advice calls relating to acute gastrointestinal illnesses. *PLoS One* 8: e69918. Tornevi A, Axelsson G and Forsberg B. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0069918>
- 2014 Precipitation effects on microbial pollution in a river: lag structures and seasonal effect modification. *PLoS One* 9: e98546. Tornevi A, Bergstedt O and Forsberg B. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0098546>
- 2015 Precipitation and primary health care visits for gastrointestinal illness in Gothenburg, Sweden. *PLoS One* 10: e0128487-e0128487. Tornevi A, Barregård L and Forsberg B. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0128487>

Konferenser med presentationer

- 2011 International Society for Environmental Epidemiology (ISEE) – Barcelona, Spanien
- 2012 Nordiska Dricksvattenkonferensen – Stockholm
- 2012 ISEE – Colombia, South Carolina, USA
- 2013 IWA – 2nd Water Research Conference – Singapore
- 2013 Nationella Dricksvattenkonferensen – Göteborg
- 2013 Vattenstämman – Umeå
- 2013 ISEE – Basel, Schweiz
- 2014 Wessex – Water Pollution – Algarve, Portugal



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se