

Bedömning av hälsorisker på ledningsnätet vid läcklagning

*Annika Malm
Olof Bergstedt
Gösta Axelsson
Lars Barregård
Bertil Forsberg
Jakob Ljungqvist
Thomas Pettersson*



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:	Bedömning av hälsorisker på ledningsnätet vid läcklagning
Title of the report:	Assessment of risks during pipe failure repairs by health studies and a conceptual model for health risk assessment for intrusion in the drinking water network
Författare:	Annika Malm och Olof Bergstedt, Göteborgs Stad, Kretslopp och vatten samt Inst. för Bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola; Gösta Axelsson och Lars Barregård, Inst. för medicin, avd. för samhällsmedicin och folkhälsa, Göteborgs universitet; Bertil Forsberg, Yrkes- och Miljömedicin, Umeå Universitet; Jakob Ljungqvist, Göteborgs Stad, Kretslopp och vatten; Thomas Pettersson, Inst. för Bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola
Rapportnummer:	2015-22
Antal sidor:	48
Sammandrag:	Samband mellan samtal till sjukvårdsrådgivningen avseende magtarmsymtom och störningar vid vattenverk och på ledningsnätet studerades. Någon säkerställd koppling kunde inte påvisas. En första ansats till en MRA-modell som för ledningsnätet har tagits fram.
Abstract:	The association of drinking water treatment and distribution network disturbances with Health Call Centre contacts for gastrointestinal symptoms was studied. No statistically significant increase in calls was found. A first approach to an QMRA model for distribution network has been developed.
Sökord:	Sjukvårdsrådgivningen, magtarmsymtom, dricksvattenkvalitet, rörnät, vattenverk, QMRA
Keywords:	Health Call Centre, Gastrointestinal, Drinking water quality, Distribution network, Water works, MRA
Målgrupper:	VA-chefer, VA-ingenjörer, VA-konsulter, miljöchefer, beslutsfattare, forskare
Omslagsbild:	Gjutjärnsledning (400 mm) där några meter segjärnsledning fällts in efter rörbrott. Foto: Jonas Wall, Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
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” eller ”Tidvatten”, som vi kallat det under projektets gång, slutrapporteras i två separata rapporter, rapporten Tidsmässiga samband mellan nederbörd, råvattenkvalitet och magsjuka i befolkningen och denna rapport.

Dagens expertbedömningar anger att klimatförändringarna kommer att leda till mer extremt väder, skyfall och översvämningar, men också mer torka vilket skapar ökade risker för vattentäkt, dricksvattenverk och distributionssystem. Mer patogena organismer väntas nå vattensystemen. Hur mycket ohälsa i Sverige som beror på förekomsten av smittämnen i dricksvatten är till stora delar okänt. Bara uppmärksammade utbrott har studerats och även då är den totala omfattningen svår att uppskatta.

Projektet Tidvatten har studerat effekterna av extremt väder på turbiditet och indikatorbakterier i råvatten för att studera sambanden mellan extrem nederbörd, turbiditet, indikatorbakterier och driftförhållanden och antal personer som ringt sjukvårdsrådgivningen, 1177, för magtarmproblem. Vi har även studerat om händelser på ledningsnätet påverkar antal samtal till 1177 avseende magtarmproblem i berörda områden. Hur stor betydelse händelser på ledningsnäten har för risken för magtarmproblem är inte kända. Denna rapport beskriver den del av projektet som handlar om ledningsnätet, där vi tog viktiga steg framåt i bedömningen av risker framför i allt samband med rörbrott. Resultat har även presenterats i tidskriften Water Research (Malm et al, 2013).

Tack till alla som medverkat till studien samt Formas och Svenskt Vatten Utveckling som finansierade projektet.

Göteborg och Umeå den 30 juni 2015

Annika Malm, huvudförfattare till rapporten
Bertil Forsberg, projektledare

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Bakgrund.....	8
2 Syfte och avgränsningar.....	13
3 Beskrivning av hälsomässiga risker på ledningsnätet.....	14
3.1 Inträngning	14
3.2 Återströmning	15
3.3 Hygieniska brister.....	16
4 Konceptuell modell för bedömning av hälsorisker (QMRA)	17
4.1 Metodiken i en QMRA.....	17
4.2 Konceptuell modell för ledningsnätet.....	17
4.3 Diskussion	26
4.4 Slutsatser för QMRA för ledningsnät	26
4.5 Fortsatt arbete	26
5 Samband mellan störningar vid vattenproduktion och -distribution och samtal till 1177	27
5.1 Metod	27
5.2 Resultat	31
5.3 Diskussion	35
5.4 Slutsatser för 1177-studien	38
6 Diskussion och slutsatser.....	39
7 Referenser.....	40

Sammanfattning

Klimatförändringarna skapar ökade risker för att sjukdomsframkallande mikroorganismer (patogener) ska nå dricksvattensystemen och leda till magtarmsymtom. Men för att kunna bedöma förändringar måste vi först förstå vad dagens störningar innebär. Rapporten beskriver den del av projektet Tidvatten som handlar om störningar på framför allt distributionsnätet. Inom projektet kunde man inte påvisa någon säkerställd koppling mellan rörbrottslagningar och hälsomässiga effekter, och risken bedöms därmed som liten. Men det fanns en tendens till ökad risk i de fall då man har behövt öppna ledningen. Därför bör fortsatta studier inriktas på dessa fall. Delprojektet har genomförts av Göteborgs Stad i samarbete med Chalmers och universiteten i Göteborg och Umeå.

En sammanställning av alla störningar i dricksvattensystemen i Sverige rapporterade till Livsmedelsverket under åren 1980–2009 visar att 34 procent av totalt 79 inträffade vattenburna sjukdomsutbrott berodde på störningar på ledningsnätet. Men långt ifrån alla störningar i vattenkvalitet når den centrala rapporteringen, och det finns studier som visar att dricksvatten kan ge magtarmsymtom även i icke-utbrottssituationer. Det finns också studier som inte påvisar något samband. I en stor epidemiologisk studie i Norge av trycklösa händelser vid ledningsbyte eller läckreparation såg man en ökad risk för magtarmsymtom i området där vattenläckan hade inträffat.

Projektet har tagit fram en mikrobiologisk modell för riskbedömning (MRA-modell) vid inträngning av föroreningar i ledningsnätet, och man har utvecklat en strategi för att kvantifiera riskerna för att patogener kommer in i ledningssystemet – från inträngning genom ledningsnätet till tappkranen. Studien har också undersökt om antalet kontakter med 1177 Vårdguiden ökar vid tillfällen när det finns risk för nedsatt vattenkvalitet på grund av störningar i vattenverk eller ledningsnät. Kontakterna med 1177 har analyserats för en treårsperiod i Göteborg, med hänsyn till kön, ålder och geografiskt område. Antalet kontakter registrerades under åtta tillfällen av störningar i vattenverket (till exempel korta stopp i klordoseringen), sex tillfällen av stora störningar i distributionsnätet (till exempel stopp i en pumpstation eller rörbrott med stora konsekvenser) samt 818 rörbrott och läckreparationer. För varje störningstillfälle jämfördes antalet samtal med antalet samtal under en kontrollperiod utan störningar. Totalt cirka 55 000 samtal till 1177 på grund av magtarmsymtom noterades under treårsperioden. Det fanns ingen signifikant ökning av samtal på grund av magtarmsymtom under eller efter störningstillfällena vid vattenverken eller i ledningsnätet i Göteborg, men ytterligare studier behövs för att kunna bedöma risken.

En möjlig slutsats av både MRA-modellen och 1177-studien är att risken för förorening är liten när en ledning inte öppnas. När man lagar med reparationsmuff och inte behöver blotta en ledningsöppning kommer föroreningar enbart in via otätheter på sträckan, och även om ledningen är helt trycklös är mängden föroreningar liten.

Summary

Waterborne disease outbreaks due to microbial contamination of water supply systems are predominantly caused by disturbances in the raw water and/or water works but can also be caused by disturbances in the distribution networks. Disturbances reported for the years 1980-2009 show that 56% of the 79 outbreaks were caused by disturbances in the raw water and/or the treatment process, 34% due to disturbances in the distribution network and the remaining 10% had unknown causes.

Far from all symptoms of waterborne gastrointestinal (GI) illness are reported officially or even discovered locally. Studies have shown that drinking water can cause GI symptoms in non-outbreak situations. Operational disturbances occur in every distribution network.

In this study, a conceptual qualitative microbial risk assessment (QMRA) model is developed, focusing on an approach for quantifying the risks from pathogens entering the distribution system from pipe intrusion events, their fate and transport through the distribution system to customer taps, and the associated risks that pertain to the consuming populations.

This study also investigates if there is an increased frequency of contacts with the Health Call Centre (HCC) concerning gastrointestinal symptoms at times when there is a risk of impaired water quality due to disturbances at water works or the distribution network. All HCC contacts due to GI symptoms (diarrhoea, vomiting or abdominal pain) were recorded for a three-year period in Gothenburg, including also sex, age, and geocoded location of residence. The number of contacts with the HCC in the affected geographical areas were recorded during eight periods of disturbances in the water works (e.g. short stops of chlorine dosing), six periods of large disturbances in the distribution network (e.g. pumping station failure or pipe breaks with major consequences), and 818 pipe break and leak repairs over a three-year period. For each period of disturbance the observed number of calls was compared with the number of calls during a control period without disturbances in the same geographical area. In total about 55,000 calls to the HCC due to GI symptoms were recorded over the three-year period, 35 per 1000 inhabitants and year, but much higher (>200) for children <3 years of age. There was no statistically significant increase in calls due to GI illness during or after disturbances at the water works or in the distribution network. Our results indicate that GI symptoms due to disturbances in water works or the distribution network are rare. The number of serious failures was, however limited, and further studies are needed to be able to assess the risk of GI illness in such cases. The technique of using geocoded HCC data together with geocoded records of disturbances in the drinking water network was feasible.

One possible conclusion drawn from both the QMRA model example of intrusion during a non-pressure event and the results from the HCC study shows that the risk is small when a pipe section is not opened. When repairing with a repair clamp, with no need for opening the pipe, the risk for contamination is only through intrusion on the non-pressurized pipe section and the theoretical calculated amount of pollutants are small. However, there is a need for more research to quantify risk on the distribution network.

1 Bakgrund

Vattenburna sjukdomsutbrott till följd av mikrobiologisk förorening orsakas till stor del av störningar i råvatten och/eller beredning, men också av störningar i distributionsnäten (Craun et al 2006; Risebro et al 2007). Världshälsoorganisationen WHO, konstaterar att sjukdomar till följd av förorenat dricksvatten är en betydande källa till försämrad hälsa. Virus, såsom norovirus och protozoer såsom *Cryptosporidium* har stor hälsopåverkan, lång beständighet såväl som hög smittsamhet (WHO 2011).

Kommuner är enligt lag skyldiga att rapportera större störningar på vattenkvaliteten till Livsmedelsverket. Hanteringen av rapporteringen görs av Livsmedelsverket och Folkhälsomyndigheten gemensamt, vilka sammanställer årliga rapporter. En sammanställning av alla störningar i Sverige rapporterade till Livsmedelsverket under åren 1980–2009 visar att 56 % av totalt 79 inträffade utbrott berodde på störningar i råvatten (både grund- och ytvatten) och/eller beredning, 34 % berodde på störningar på distributionsnätet och resterande 10 % hade okänd orsak. Ser man till andel sjuka vid utbrotten kan 69 % av fallen härledas till råvatten/beredning och 25 % till ledningsnätet (Lindberg och Lindqvist, 2005; Malm et al, 2010).

En studie av vattenburna sjukdomsutbrott i de nordiska länderna för åren 1975–1991 visade att omkring hälften av de 94 analyserade utbrotten orsakade av avloppskontaminering av grund- eller ytvatten och 20–25 % av störningar i distributionsnäten (Stenström et al, 1994). Enligt en studie av 61 utbrott inom EU 1990–2005 var 19 (31 %) av utbrotten relaterade till distributionsnäten. Till största delen orsakade av förorenat vatten som tryckts in i ledningsnätet eller av felaktiga inkopplingar (Risebro et al, 2007). Felaktiga inkopplingar där exempelvis processvatten tryckts in på dricksvattnet har förekommit vid flertalet tillfällen, bland annat i Nokia i Finland där dödsfall förekom (Rimhanen-Finne et al, 2010). I en studie i USA av 619 utbrott 1971–1998 var 30 % orsakade av kontaminerat råvatten, 44 % av störning i beredningsprocessen, 18 % kontaminering i distributionsnäten och resterande 8 % hade okänd orsak (Craun och Calderon, 2001).

Långt ifrån alla störningar i vattenkvalitet når den centrala rapporteringen eller blir ens uppmärksammas lokalt. För att klassificeras som ett vattenburnt utbrott måste de sjuka söka vård, sjukvården se ett samband mellan olika personer som söker vård, och sjukvården måste även se någon koppling till dricksvatten. Långt ifrån alla söker vård, prover tas inte på alla patienter, vanliga vattenburna smittämnen analyseras normalt inte och alla vattenburna infektioner är inte rapporteringspliktiga (Folkhälsomyndigheten, 2012). Det finns alltså en brist på information i den nationella statistiken. Det finns dock vissa studier som visar att dricksvatten kan ge mag-tarmsymtom i icke-utbrottssituationer (i litteratur på engelska benämns detta som *gastro-intestinala, GI-symtom*). En kanadensisk undersökning visade att 14–35 % av all mag-tarmsymtom orsakas av dricksvatten, utan att det uppmärksammas som utbrott (Payment, 1991;1997). Å andra sidan, i undersökningar i USA respektive Australien kunde man inte påvisa något samband mel-

lan mag-tarmsymtom och dricksvatten (Colford et al, 2005; Hellard et al, 2001). Ytterligare en studie av Tinker et al (2009) visade på ett samband mellan vattnets uppehållstid i ledningsnätet och besök vid akutmottagning gällande mag-tarmsymtom. I Norge har genomförts en stor epidemiologisk studie av trycklösa händelser vid ledningsbyte eller läckreparation på ledningsnätet, där man fann en ökad risk för mag-tarmsymtom i området där vattenläckan inträffat (Nygård et al, 2007). En enkätstudie i England där samband mellan diarré och förekomst av tryckfall i vattenledningsnätet analyserades ledde till slutsatsen att upp till 15 % av all mag-tarmsymtom är relaterad till tryckfall på dricksvattennätet (Hunter, 2005). En studie i Alabama, USA, visade en två till trefaldig ökning av akut mag-tarmsymtom när det varit avbrott i dricksvattenleveransen (avstängt vatten) eller lågt vattentryck mer än en vecka (CDC, 2011a).

Oplanerade händelser, driftstörningar och driftavbrott i råvatten eller beredning är en risk. För råvatten är avloppsutsläpp, både ”planerade” bräddningar och ”oplanerade” nödavledningar en stor källa till hälsorisker. Vid vattenverket kan driftstörningar som till exempel plötsliga stopp av dosering och filterproblem inträffa och allvarligt äventyra avskiljning/avdödning av föroreningar (Westrell et al, 2003).

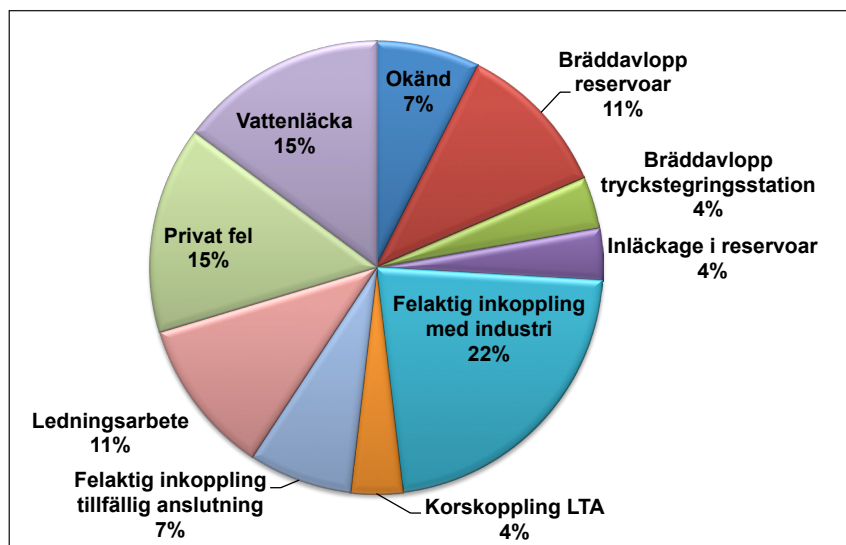
Driftstörningar och driftavbrott inträffar på ledningsnätet då och då och en del driftstörningar kan innebära risker för vattenkvaliteten. Risker för vattenkvaliteten kan delas in i tre kategorier; risker vid inträngning, vid återströmning och vid brister i handhavande. Exempel på risker som kan bedömas som större är bakflöde/återströmning vid felaktiga inkopplingar, risk för förorening vid större vattenläckor, risk för förorening från schakten när ledningar öppnas och är trycklösa samt risk för inträngning av föroreningar vid reservoarer, där vattnet inte är under tryck. Mindre risker kan vara inträngning när en ledning är utan tryck under reparation och ledningsarbete men inte är öppen, inträngning vid tryckslag samt översvämning av luftare. Korta tryckfall (t ex vid pumpstopp) innebär också en (liten) risk för att föroreningar kan tränga in när det blir lågt tryck/undertryck i ledningen.

I ett framtida klimat med mer regn, kommer grundvattennivåer och risk för översvämningar och skred öka. Högre grundvattenytor ger större risk för inträngning vid tryckfall när mer markvatten står runt en vattenledning, men hur mycket risken ökar i framtiden är omöjligt att säga eftersom vi inte har kunskap om hur stor risken är idag.

Reparation av rörbrott och läckor sker ca 5 000 gånger om året i Sverige (Svenskt Vatten, 2012). Till det finns ett utläckage i storleksordningen 10–15 % av den producerade dricksvattenmängden (Svenskt Vatten, 2014). Rörbrott och läckage beskriver en del om ledningsnätets status och läckreparationer har visat sig vara det bästa kriteriet för att prioritera var ledningsnätet behöver förnyas (Sægrov, 2005). En ökad förnyelsetakt, av de mest utsatta ledningarna, håller tillbaka behovet av reparationer. Varje reparation innebär en risk för inträngning av föroreningar. Hur stor den risken är påverkar incitamentet att hålla nere antalet reparationer.

De dricksvattenrelaterade utbrott som rapporterats till Livsmedelsverket mellan åren 1980 och 2009 har sammanställts och analyserats (med till-

stånd) och delats in i orsak, figur 1-1. Den vanligaste orsaken är felaktiga inkopplingar av olika slag.



Figur 1-1 Indelning av de utbrott som rapporterats till Livsmedelsverket 1980–2009.

Den risk som flest kommuner vid egenskattning bedömer som störst är samtidigt ledningsbrott på dricksvatten- och avloppsledningar. Förhållandena vid ledningsarbeten kan göra att kontamination av delar av ledningsnätet är svår att undvika, trots

förebyggande åtgärder (Säve-Söderbergh et al, 2013). Beräknat utifrån Säve-Söderberghs (2013) studie ligger ca 83 % av Sveriges vatten- och avloppsledningar i samma rörgrav, dock inte på samma nivå. Utifrån samma studie tillsammans med statistik från VASS beräknas ungefär 20 % av vattenledningarna ligga under grundvattenytan, vilket naturligtvis ökar risken för kontaminering vid samtidig närvaro av avloppsledning.

Vid rörbrott kan föroreningar tränga in på flera sätt: (1) när läckan uppträder och vattenförlusten blir så stor att delar av ledningsnätet blir trycklöst, (2) när ledningen stängs och är utan tryck för att läckan ska lagas och (3) vid urspolning efter läcklagning om spolningen görs med så högt uttag att trycket blir lågt eller negativt (Besner et al, 2011). Vanligen uppstår inte så lågt tryck vid en vattenläcka att det blir trycklöst hos konsument förrän läckan åtgärdas (Pernehed, pers medd.). När läckan lagas stängs ledningen och föroreningar kan antingen komma in via schakten i läcklagningsspunkten eller om ledningen ligger under grundvattenytan vid otätheter på delar av den stängda ledningen. Dock kan de flesta göras med reparationsmuff och då är ledningen inte öppnad och sannolikheten för att föroreningar kommer in vid läcklagningsspunkten är liten. Efter att en ledning varit avstängd för läcklagning spolas normalt ledningen innan den tas i drift igen. Spolning är viktigt för att minimera risken att eventuella föroreningar sprids i ledningsnätet (Besner et al, 2008). Om spolningen sker med för högt flöde kan lågt eller negativt tryck uppstå, och det behöver inte vara precis vid läckan. En amerikansk enkätbaserad studie visade att trycklöst nät uppstod i samband med rutinspolning (ABPA, 2000). Dock sker (normalt) inte spol-

ning med så högt flöde i Sverige eftersom brandposter är dimensionerade för att inte ge ett större uttag än vad ledningarna är dimensionerade för (Svenskt Vatten, 2001).

För att uppskatta omfattningen av mag-tarmsymptom orsakad av otillräcklig vattenkvalitet kan patientdata från sjukhusvister användas (Calderon och Craun, 2006; Craun och Calderon, 2006). Ett annat sätt är att studera antal personer som sökt vård och/eller medicinsk information per telefon för mag-tarmsymtom, vilket potentiellt ger många fler händelser att studera. I Sverige kan man ringa Sjukvårdsrådgivningen, 1177. Sjukvårdsrådgivningen är ett nationellt nätverk där sjuksköterskor bedömer, ger råd, informerar och hänvisar vidare vårdsökande (Wahlberg, 2004). För närvarande får Sjukvårdsrådgivningen ca 4,5 miljoner samtal per år (Inera, 2011). Specifik information, som orsak, geografisk information, och ålder är dokumenterad för varje samtal. Genom att studera antal personer som söker vård och/eller medicinsk rådgivning via 1177 gällande mag-tarmsymtom, kan förändringar i sjukdomsfrekvens studeras. När samtal under en veckas tid analyserades rörde 31% av samtalen infektionssymtom som influensa och diarré (Wahlberg and Wredling, 1999). Sjukvårdsrådgivningen är möjlig att nå i nästan hela Sverige, och i alla delar av Göteborg.

Riskvärdering baseras i allmänhet på beräkningar och uppskattningar samt tumregler och information från experter. Analyser av indikatorbakterier är tyvärr för trubbig för att göra en tillräckligt precis riskbedömning. Statistiska metoder ingår inte i någon större omfattning. Experter kan göra mycket vad gäller att bedöma risk för olika patogener, men möjligheten att kombinera numeriska sannolikheter och aggregera risker är begränsad. En metod för kvantitativ mikrobiologisk riskbedömning, QMRA, har utvecklats som en konsekvens av att den traditionella synen på mikrobiella risker visat sig otillräcklig. En QMRA använder alla tillgängliga data såsom dos-responssamband, exponeringsdata, vattenverksspecifika data. Idén med QMRA är att eliminera intuitivt skattade risker där så är möjligt och ersätta dessa med systematiskt kalkylerade sådana och därigenom förbättra resultaten, enkelt uttryckt ersätta uppskattningar med uppmätta och/eller statistiskt beräknade risker. I en QMRA kan olika risker och scenarier vägas samman för en noggrannare kvantifiering av de faktiska riskerna (Lundberg-Abrahamsson et al, 2009).

Den QMRA-modell som utvecklats i Sverige är begränsad till råvatten och beredningsdelarna av dricksvattenkedjan. Det har gjorts en omfattande litteraturstudie av AWWARF i USA i syfte att vara ett underlag i arbetet med att utveckla QMRA för ledningsnätet (Besner et al 2011). Dock är studien begränsad till att beskriva en konceptuell modell för hur man kan hantera och bedöma hälsorisker till följd av inträngande vatten på ledningsnätet och inte alla typer av riskhändelser. Studiens slutsats är att det är en komplex process att bedöma hälsopåverkan av inträngningshändelser. Det går att göra en uppskattning av hälsorisker men den bygger på många antaganden. Omfattningen och varaktigheten av trycklösa tillfällen är en springande punkt. En annan springande punkt är bristen på indata.

En dansk studie har genomfört en QMRA för en verklig händelse som inträffade i Norrebro, Köpenhamn, där de fick in förorenat vatten vid en

ledningsreparation. De tittade på *E. coli* och *Cambylobacter* och beräknat risken om det kommer in 26 liter schaktgropsvatten respektive avloppsvatten. Den acceptabla risken hade de satt till en årlig risk för magtarmproblem för max 1 av 10 000 personer (en gräns som används i Holland och USA). Resultatet visade att det är en markant skillnad om det är avloppsvatten eller schakt- (mark-) vatten som kommer in i ledningen. Med avloppsvatten blir risken större än dessa riktlinjer, men med schaktvatten blir risken mycket mindre än riktlinjerna. I Norrebro var det inte avloppsvatten som kom in och risken var därmed nära noll (Jørgensen, 2014). I studier av Blokker et al (2014) har man gjort samma erfarenheter; att det är vattnets föroreningsinnehåll som är den viktigaste parametern.

2 Syfte och avgränsningar

Syftet med denna studie har dels varit att ta fram en konceptuell modell för riskbedömning vid inträngning av föroreningar på ledningsnät och dels att kvantifiera risken vid en viktig riskhändelse; lagningar av vattenläckor.

Riskvärdering bör ske från källa till tappkran och då måste riskerna på ledningsnätet vara med. Det optimala vore om den QMRA-modell som tagits fram i Sverige tog hänsyn till alla risker fram till tappkran i en modell, så att man kan värdera en riskreducerande åtgärd på vattenverket/råvattnet med en förbättring på ledningsnätet. I den utvecklade QMRA-modellen ingår enbart risker vid inträngning, bland annat händelser som rör inträngning i reservoarer, vid planerade förnyelsearbeten och vid rörbrott samt tryckslagseffekter, men för en fullständig modell måste även risker vid återströmning/felaktiga inkopplingar och handhavandefel ingå, eftersom dessa risker i alla fall teoretiskt kan anses vara större.

En analys av samtalsfrekvens relaterat till tiden för störningar och avvikelser vid vattenverket eller i ledningsnätet kan användas för att göra en bedömning av omfattningen av risken för vattenburna sjukdomsfall. Inga studier har påträffats som jämfört data från sjukvårdsrådgivning med störningar i försörjningssystemet för dricksvatten. Syftet med denna studie är att ta reda på om det finns ökad frekvens av kontakter med sjukvårdsrådgivningen för mag-tarmsymtom vid tillfällen då det finns risk för att vattenkvaliteten kan vara dålig på grund av problem vid beredning, avvikelser på ledningsnätet eller rörbrott.

3 Beskrivning av hälsomässiga risker på ledningsnätet

3.1 Inträngning

Inträngning är inträngande vatten vid lågt eller negativt tryck i ledningen genom otätheter, t ex på grund av korrosionshål. I Besner et al (2011) definieras inträngning som kontaminering till följd av inträngande vatten vid lågt eller negativt tryck i ledningen, inte felaktig inkoppling eller avstängningar vid ledningsarbeten och läcklagning. För att inträngning skall kunna uppstå krävs (1) lågt eller inget tryck, (2) patogener i jord och vatten runt röret och (3) otätheter, t ex på grund av korrosionshål. Det betyder att även om inte inträngning vid läcklagningsspunkten definieras som inträngning i författarnas definition, så kan en läcka skapa tryckfall och inträngning när läckan uppkommer, samt inträngning kan förekomma på den avstängda sträckan vid otätheter en bit ifrån läcklagningsspunkten. Med lågt tryck menas tryck lägre än 14 mvp (Besner et al, 2011).

Inträngningshändelserna delas in i

1. Transient lågt tryck med varaktighet från millisekunder till några minuter, t ex vid tryckslag, brandvattenuttag, sprinkleruttag etc.
2. Längre tryckavbrott, minuter till timmar, som uppkommer främst i samband med läcklagning och ledningsarbeten. Vid läcklagning kan tryckfall uppstå då läckan uppstår och vattnet flödar fritt, när de hydrauliska förhållandena förändras då man stängt av och vid spolning efter läcklagning.

De risker för inträngning som hittats i litteratur (Beuken et al, 2008) och databassökningar (Malm et al, 2010) är:

- Inläckage i reservoar – inträngning av mark- eller dag/regnvatten eller till exempel fågelspillning genom vägg eller tak.
- Pumpstart/stopp vid tryckstegringsstation – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella luftare som står översvämmade med markvatten.
- Ledningsarbeten – återströmning av förorening på aktuell sträcka
- Brandvattenuttag lågt tryck – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella luftare som står översvämmade med markvatten.
- Brandvattenuttag eller spolvattenuttag med bil som har lokal pump utan backventil som kan suga ut vatten till ett högre flöde än vad brandposten är dimensionerad för.
- Sprinkler (test + vid brand) – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella luftare som står översvämmade med markvatten.
- Luftare – inträngning av markvatten om det står vatten runt luftare vid tryckfall på nätet.
- Öppning/stängning av ventiler på nätet – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella luftare som står översvämmade med markvatten.
- Plötsliga förbrukningsförändringar – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella översvämmade luftare och liknande anordningar.

- Spolning på nätet – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella översvämmade luftare och liknande anordningar.
- Vattenbrist i ledningsnätet på grund av råvattenbrist till vattenverket, processfel vid vattenverket eller fel vid utpumpning från vattenverket – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella översvämmade luftare och liknande anordningar.
- Rörbrott – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella översvämmade luftare vid tryckfall före avstängning.
- Rörbrott – undertrycksinträngning i otätheter och eventuella översvämmade luftare vid avstängd ledningssträcka om mark eller avloppsvatten i närheten.
- Rörbrott – inträngning av förorening vid lagningspunkten.
- Brunn på nätet (som mätarbrunn eller ventilbrunn) – inträngning av förorening på grund av översvämning i brunn.

3.2 Återströmning

Återströmning innebär att vatten strömmar ”åt fel håll” i systemet. Exempelvis, i ett avlopp ska vatten rinna ut, men vid återströmning trycks det tillbaka igen. Vid felaktigt utförda installationer kan trycksatta system med annat än dricksvatten till och med ha kopplats ihop med dricksvattensystemet, så kallad felaktig inkoppling.

De risker för återströmning som hittats i litteratur (Beuken et al, 2008) och databassökningar (Malm et al, 2010) är:

- Reservoarer bräddavlopp – återströmning av avloppsvatten.
- Tryckstegringsstation bräddavlopp – återströmning av avloppsvatten.
- Avloppspumpstationer brandposter för spolning – återströmning av avloppsvatten (aerosoler).
- Brandvattenuttag utan backventil – återströmning av brandvatten.
- Spolbilar återströmningsskydd – återströmning av spolvatten.
- Korskoppling med tryckavloppssystem – återströmning av avloppsvatten.
- Felaktig inkoppling tillfälliga anslutningar – återströmning av avloppsvatten.
- Felaktig inkoppling i industrin – återströmning av processvatten.
- Felaktig inkoppling egen brunn/privata bevattningssystem – återströmning av privat dricksvatten eller sjö/åvatten.
- Felaktig inkoppling avloppsreningsverk – återströmning av avloppsvatten.
- Privata installationer (som ledningar i hus och pooler) – hävertåterströmning vid avbrott i dricksvattenleveransen eller stora vattenuttag.
- Privata installationer (som industripumpar och sprinklerreservoarer) – övertrycksåterströmning vid felaktig anslutning.
- Privata installationer – som läckande avlopp och trasiga anordningar
- Kommunala anläggningar som fontäner, bevattning med slang och liknande.

3.3 Hygieniska brister

Hygieniska brister innebär handhavandefel. Risker för handhavandefel finns överallt och ett par exempel är:

- Reservoarer – rengöring och andra arbeten - förorening som blir kvar efter arbete.
- Rörbrott – förorenade föremål som placeras i eller nära i öppnad ledning.

4 Konceptuell modell för bedömning av hälsorisker (QMRA)

4.1 Metodiken i en QMRA

För att kunna bedöma hälsoriskens storlek för dricksvattenkonsumenter är kvantitativ mikrobiell riskanalys (QMRA) en vanlig och kraftfull metod. I Sverige har ett verktyg för att beräkna hälsoeffekten tagits fram, vilket har valts att kallas MRA-verktyg. Detta verktyg är utformat för ett traditionellt ytvattenverk där risker på ledningsnätet inte beaktas. Enligt Lundberg Abrahamsson et al (2009) ställer en QMRA krav på en mängd indata. För att uppnå ett önskat resultat med en uppskattning av riskens storlek krävs kunskap om förekomst av patogener i råvatten, avskiljningseffektiviteten av respektive patogen i olika beredningssteg, konsumtionsmönster samt dos-responssamband för respektive patogen. Man måste dessutom ha kunskap om variationen och spridningen i respektive steg. Som alltid är det kvaliteten på indata som avgör kvaliteten på utdata. Det svenska MRA-verktyget är uppbyggt enligt en viss metodologi hämtad från Lundberg Abrahamsson et al (2009):

1. *Identifiering av risker/faroinventering.* Beskrivning av effekter på människans hälsa för respektive risk. Bestämning av normal drift och definition av önskat slutresultat.
2. *Bedömning av exponering.* Beräkning av dos, dvs. mängden patogener som konsumenten får i sig med dricksvattnet. För detta krävs råvatteninformation, avskiljningsdata och konsumtionsmönster.
3. *Dos-responssamband* mellan applicerad dos och påverkan på hälsan.
4. *Risikkaraktisering.* Sammanfogar ovanstående och ger en bild av risken för allmänheten. Utvärdering av variabilitet och osäkerhet.

4.2 Konceptuell modell för ledningsnätet

För att även inkludera hälsorisker som uppstår ute på ledningsnätet behöver den befintliga MRA-modellen kompletteras. Syftet med den kompletterande modellen är att kunna bedöma storleksordningen på risken och påverkan på folkhälsan av inträngningshändelser på ledningsnätet och där olika egenskaper kan finnas i olika delar av systemet. Den konceptuella modellen som tagits fram inom ramen för detta projekt avser inträngning på grund av trycklösa förhållanden, jämför kapitel 3.1. Det betyder att modellen inte utgör en fullständig MRA för ledningsnätet.

Den konceptuella MRA-modellen för ledningsnätet omfattar följande delar:

1. Beskrivning av data som behövs
2. Karakterisering av orsakerna, dess magnitud, samt längd och frekvens av händelser med låga eller negativa tryck
3. Spridningsvägar för patogeninträngning
4. Patogenförekomst i källorna till kontaminering

5. Volymen vatten som trängt in
6. Överlevnad och spridning av patogenen i ledningsnätet
7. Patogenexponering för konsumenten
8. Risken associerad till exponeringen

I de följande kapitlen beskrivs varje del, vilken information som finns tillgänglig idag och vilka dataunderlag som är begränsade.

4.2.1 Data som behövs för en MRA för inträngningshändelser

Data om nätet som behövs i en MRA är följande:

Data för varje riskorsak (enligt Tabell 4-1)

- | | |
|---|---|
| A | Antal lågtryckshändelser per år [antal] |
| B | Andel av nätet som är påverkat [%] |
| C | Medeltid för påverkan [s] |

Övriga indata som behövs för MRA-analys av studerat område

- | | |
|------------------------|--|
| L | Ledningslängd [m] |
| d_0 | Viktad medeldiameter på ledningsnätet [m] |
| Q_{ut} | Volym utläckage [m^3/s] |
| C_d | Konstant (standardvärde 0,6) [-] |
| ΔH_{normal} | Medelövertryck i ledningen [m] |
| N | Antal konsumenter i området [antal] |
| $\Delta H_{tryckfall}$ | Grundvattenyta i förhållande till nivå på vattenledning [m] |
| | Data om jordmån [droplist med alternativ] |
| | Spridningsscenario [droplist A/B] |
| $L_{ledning}$ | Ledningslängd (medel) per avstängningsområde mellan två ventiler [m] |

Övriga data som behövs för analysen är:

- Antal luftare som är översvämmade och hur stor andel av året
- Antal brandposter som är översvämmade och hur stor andel av året
- Antal brunnar på vattenledningsnätet som är översvämmade och hur stor andel av året
- Avstånden mellan vatten- och spillvattenledning
- Om ledningsområdet normalt spolas ur efter lagning.
- Om trycket reducerats eller om det varit helt trycklöst.
- Om provtagning av indikatorbakterier påvisat fekal förekomst.

Data om jordmån och dess permeabilitet behöver anges för att bedöma hur genomsläpplig jorden kring en ledning är och därmed risken för att en förorening ska nå vattenledningen. Några alternativ kan anges exempelvis från låg till hög permeabilitet. Hur en förorening sprids i ledningssystemet påverkar risken och beror av var i ledningssystemet den tränger in. Ett par alternativ av typen lokal (max några hundra meter) till stor (flera km) behöver anges.

4.2.2 Orsaker, magnitud, händelselängd och frekvens av händelser med låga eller negativa tryck

Riskorsaker baserat på statistik i VASS listas i tabell 4-1. För varje riskorsak behöver en bedömning göras utifrån förhållandet för det ledningsnät som

ska studeras. Frekvens [A], andel av nätet [B] och tid [T] måste bedömas. För att ge en uppfattning om frekvens [A] visar tabellen resultaten från en enkät som genomfördes av Livsmedelsverket hösten 2012 och riktade sig till alla svenska VA-verksamheter (Säve-Söderbergh et al, 2013). Andel av nätet [B] skiljer sig från tillfälle till tillfälle men är lokal för alla riskorsakerna i tabellen. Både andel av nätet [B] och tiden [C] är baserat på erfarenhetsbedömning.

Tabell 4-1 Riskorsak med bedömning av frekvens från Säve-Söderbergh et al (2013)

Riskorsaker	Antal tillfällen per år där trycklöshet inträffat [A]	Del av nätet som påverkas vid varje tillfälle [B]	Tid, storleksordning på inträffad händelse [C]
Tryckstegringsstation – pumpstart/stopp	I ca 25 % av kommunerna inträffar det oftare än en gång per år	Område, väl avgränsat	Sekunder
Brandvattenuttag	I ca 25 % av kommunerna inträffar det oftare än en gång per år	Upp till några hundra meter	Minuter
Sprinkler (test + vid brand)	I ca 25 % av kommunerna inträffar det oftare än en gång per år	Upp till några hundra meter	Minuter
Öppning/stängning av ventiler på nätet	I knappt 20 % av kommunerna inträffar det oftare än en gång per år	Upp till några hundra meter	Sekunder
Plötsliga förbrukningsförändringar	I 25 % av kommunerna inträffar det oftare än en gång per år	5–10 m	Minuter
Spolning på nätet	I 25 % av kommunerna inträffar det oftare än en gång per år	Upp till några hundra meter	Minuter
Vattenbrist i ledningsnätet – råvattenbortfall	Ovanligt	Stora delar av nätet	Dagar
Rörbrott – trycklöst före stängning	Ingen uppgift	Upp till några hundra meter	Minuter–timmar
Rörbrott – lagning utan övertryck kvar, inträngning på trycklös sträcka	Ca 60–80 % av rörbrotten	Ca 250 m i Sverige*	Timmar, VASS räknar med 5 timmar i snitt

* Beräknat utifrån VASS statistik för 2013, med förenklingen att varje avstängningsområde kräver två ventilers stängning.

Enligt enkätstudien och som visas i tabell 4-1 bedömer kommunerna att den vanligaste händelsen är ledningsbrott, vilket inträffar minst en gång i månaden i över hälften av kommunerna. Tryckfall inträffar minst en gång per år i över hälften av kommunerna. Övriga störningar, som händelser på reservoarer, felaktiga inkopplingar och översvämmade anordningar inträffar mer sällan än årligen i de flesta kommunerna. De flesta kommuner har över 80 procent av dricksvattenledningsnätet i samma rörgrav som avloppsledning. En tredjedel av kommunerna saknar backventiler i servisledningar i över 80 procent av distributionsanläggningen (Säve-Söderbergh et al, 2013).

Risken vid rörbrott är inträngning på trycklös sträcka, då lagning sker utan kvarvarande övertryck, vilken kan reduceras med hjälp av spolning innan systemet öppnas helt igen. Men den inträngning som sker innan berörd sträcka är avstängd (rörbrott som är trycklöst före stängning) är svårare att reducera. Ett par studier har visat att spolning efter läckreparation reducerar risken; Nygård et al (2007) och Blokker et al (2014).

Antal rörbrott/läckage dokumenteras i alla kommuner och uppgifter återfinns även i VASS, men det saknas kunskap om storlek (magnitud) och varaktighet för lågt tryck i samband med läckor och rörbrott.

För låga tryck i övrigt har tryckstudier på nätet visat att plötsligt pumpstopp är den mest rapporterade orsaken till låga/negativa tryck (Gullick et al 2004,2005; Hooper et al, 2006; Besner et al, 2010). Elavbrott var den största orsaken, varvid elavbrottstillfällen bör vara bra att dokumentera för VA-verksamheterna. Siffror från USA bedömde att det sker 1–20 elavbrott per år (Kirmeyer et al, 2001; Flemming and Le Chevallier, 2008), men alla elavbrott leder inte till tryckfall. En annan studie visar att 3 av 20 elavbrott ledde till lågt tryck (<14mvp) (Gullick et al, 2005).

Att hela nätet är tryckklöst för att vattenverket inte kan leverera tillräcklig mängd vatten är ovanligt i en storstad, men i småsamhällen är det inte alls ovanligt, enligt en vattenproducent vid regionalt vattenmöte.¹ Trots att detta hänt visade dock vattenproverna inget som tydde på yttre påverkan. Flera av kommunerna vittnade om händelser som brandvatten som tryckts in med högre tryck än trycket i vattenledningsnätet. Dessutom diskuterades hur mycket kontroll man har på de backventiler och återströmningsskydd som installeras.

Magnitud och varaktighet av negativt tryck har undersökt i två studier. Den ena visar 21 tillfällen med lågt tryck av 4 640 dagars mätdata fördelade på 43 platser vid 8 VA-verksamheter och där 18 av 21 var orsakade av pumpstopp. Alla tillfällen varade kortare tid än 3 minuter (Gullick et al, 2004). Den andra undersökningen visade 36 tillfällen under 4 104 dagar på 19 platser i en VA-verksamhet och där fler orsaker och längre varaktigheter påfanns. Orsakerna var i första hand reparation av vattenläcka (13 av 36) och dessa tillfällen har högre varaktighet (Besner et al, 2007, 2010). Dock var magnituden av negativt tryck större i undersökningen av Gullick et al (2004) med tryck ner till -10 mvp. Det väcker frågan om det är trycket eller varaktigheten som påverkar volymen inträngande vatten mest.

4.2.3 Vägar för patogeninträngning

Föroreningar kan ta sig in i vattenledningar via hål i rörvägg, kopplingar, fogar och gamla packningar (Kirmeyer et al, 2001). Det är känt att det är ett stort utläckage av vatten i världen generellt, 8–24 % enligt WHO (2001) men med upp till 30 % i Kanada (Environment Canada, 2010). I Sverige uppskattas i genomsnitt utläckaget till ca 15–20 %. Dock vet man inte var otätheterna finns, eller hur många och stora de är. Grundvattenytans nivå påverkar också i hög grad risken för inträngning. Ett vattennät kan ligga till 15–30% under grundvattenytan (Kirmeyer et al, 2001). I områden där man måste ta hänsyn till frostfritt djup kan det uppstå höga vattentryck på utsidan av vattenledningen till följd av hög grundvattenyta (Sepehr och Goodrich, 1994).

Översvämmade luftningsdon är andra möjliga vägar för inträngning. I en studie av 26 VA-verksamheter i USA uppgav 12 att de hade 0–80 % av deras luftare översvämmade (Kirmeyer et al, 2001).

4.2.4 Patogenförekomst i källorna till kontaminering

Förekomst av patogener i vattnet runt vattenledningen påverkar riskens storlek. Ofta finns mikrobiologiska data för indikatorbakterier i omgivande

¹ Samtal med vattenproducent under en presentation på VA Höglunds träff i Aneby 2013-01-31

jord och vatten, men inte för patogena mikroorganismer. Förekomsten av indikatorbakterier i markvatten i en ledningsgrav liknar mycket halterna i orenat älvvatten, snarare än avloppsvatten (Besner et al, 2010). En amerikansk studie påvisade virus i vattnet (med cellkultur och RT-PCR) och runt en läcklagning i 56 % av fallen (Karim et al, 2003). En kanadensisk studie visade fekal förekomst men ingen virusförekomst. De hade dock inte använt RT-PCR utan bara cellkultur (Besner, 2008).

Det saknas kunskap om patogentyper, koncentrationer och infektionsgrad i markvatten.

En bedömning får göras i modellen från fall till fall utifrån avstånd till avloppsnät samt grundvattnets nivå i förhållande till vattenledningens nivå samt jordens genomsläpplighet. Här listas fyra exempel:

- Litet avstånd mellan vatten- och spillvattenförande avloppsledning och grundvattennivån bedöms ligga över vattenledningen: Använd värden i tabell 4-2.
- Litet avstånd mellan vatten- och spillvattenförande avloppsledning och grundvattennivån bedöms ligga under vattenledningen: Reducera värden i tabell 4-2 med 50 %.
- Stort avstånd mellan vatten- och spillvattenförande avloppsledning och grundvattennivån bedöms ligga över vattenledningen: Reducera värden i tabell 4-2 med 99 %.
- Litet avstånd mellan vatten- och spillvattenförande avloppsledning och grundvattennivån bedöms ligga under vattenledningen: Ingen risk.

Tabell 4-2 Datanivåer för patogennivåer i markvatten, baserat på motsvarande halter i en råvattentäkt (Åström et al, 2011)

Patogen/fekal indikator	Typ av data (enhet)	Fördelning (parametervärden) ²
Norovirus	Utsöndringstid (log, dagar)	Log Normal 1 (0,30; 0,60; 1,48)
	Incidens (andel) ¹	Beta (0,00; 1,00; 0,05; 0,19)
	Halt i fekalt material (log, genkopior/g)	Log Normal 1 (5,30; 7,08; 9,46)
Cryptosporidium human	Utsöndringstid (log, dagar)	Normal (1,48; 0,17)
	Incidens (andel) ¹	Beta (0,00; 1,00; 0,00003; 0,00005)
	Halt i fekalt material (log oocystor/g)	Normal (7,00; 1,00)
E. coli O157/H7	Prevalens (andel) ¹	Beta (0,00; 1,00; 0,01; 0,11)
	Halt i fekalt material (log CFU/g)	Log Normal 2 (0,00; 6,46; 8,41)

¹ Avser endemiska förhållanden.

² Parametervärden för fördelningarna Log Normal 1 (5; 50; 95 %), Log Normal 2 (lokalisering; 5; 95 %), Beta (min; max; 5; 50 %), Normal (medel; standardavvikelse) och Triangel (min; troligast; max).

4.2.5 Volymen vatten som kan förväntas tränga in

Den totala hålarean i ett ledningsnätsområde med ett visst läckage kan beräknas om man har kunskap om läckagevolym och normalt övertryck. Då kan den totala arean av samtliga hål på sträckan i det aktuella ledningsnätet beräknas med hjälp av följande formel:

$$A_{\text{tot}} = Q_{\text{ut}} \cdot \frac{1}{C_D \cdot \sqrt{2g\Delta H_{\text{normal}}}}$$

där Q_{ut} är den totala läckagevolymen per tidsenhet, C_d en konstant som beror på hålkantens skarpheit (standardvärde 0,6) och ΔH_{normal} är tryckskillnaden mellan insidan och utsidan på hålet (under normala tryckförhållanden). Ekvationen förutsätter att hålen är cirkulära, eftersom vi vet att en del av dem är cirkulära. Arealen för varje specifikt hål är okänd men för t ex skarvläckor bör den vara någon mm i diameter. Sedan finns lite större läckage men blir det för stort bör det upptäckas visuellt eller att tryckfallet är onormalt. I genomsnitt bedöms ett hål till mellan 1–5 mm i diameter.

Därefter kan inträngningsvolymen (vid låga tryck eller trycklöst nät) beräknas:

$$Q_{int} = C_d \cdot A_{tot} \cdot \sqrt{2g\Delta H_{tryckfall}}$$

där Q_{int} är den totala läckagevolymen per tidsenhet, C_d är samma konstant tidigare och beror på hålkantens skarpheit (standardvärde 0,6) och $\Delta H_{tryckfall}$ är tryckskillnaden mellan insidan och utsidan på hålet (när ledningssträckan är avstängd).

Den inträngande volymen beräknas utifrån inflödet och tiden som ledningssträckan är trycklös enligt formeln nedan. Av formlerna framgår att lång tid trycklöst nät ger större inflöde än motsvarande ökning i tryckskillnad.

$$V_{int} = Q_{int} \cdot t$$

Exempel

I Sverige läcker det i snitt ca 4,6 m³/km, dygn enligt statistik i VASS. Utläcket kommer dels från huvudledningsnätet och dels från serviser, både allmän och privat del. Ca 50 % av utläcket kan antas komma från huvudledningsnätet, dvs 2,3 m³/km, dygn eller 0,026 l/(s·km). Om trycket är ca 35 mvp i snitt blir arean (A) totalt per km ledning ca 1,67 mm² (0,026·10⁻³/[0,6·√(2·10·35)]) vilket motsvarar 1 hål med diametern 1,46 mm. Om trycket sänks av (till 0,5 m undertryck) och inträngning sker blir den inträngande volymen 3,17·10⁻⁶ m³/(s·km) eller 0,00317 l/(s·km), enligt (0,6·1,67·10⁻⁶·√(2·10·0,5)).

Om en vattenläcka uppträder och det tar 5 timmar att laga och sträckan som stängs är 200 meter blir den inträngande volymen, enligt exemplet ovan, 22 liter (0,00317·5·3600·0,2). Naturligtvis måste hålet vara på den del som stängs av men om hålen fördelas helt symmetriskt över nätet blir det enligt ovan.

Om grundvattenytan är under ledningen (som gäller för 80 % av ledningsnätet) så blir den inträngande volymen noll. Dessutom måste markvattnet vara förorenat, se under 4.2.4 för olika fall (a-d).

Det har kommit program som beräknar inträngande volymer och tryckfall i distributionssystem (Flemming and LeChevallier, 2008; Ebacher et al, 2009). Modellerna använder sambandet ovan och att det är förekommer fritt vatten runt ledningen vilket kan vara ett rimligt antagande då läckan bör ha spolat bort jord runt ledningen och skapat vattenvägar men egentli-

gen inte för hela ledningssträckan. Modellerna använder samma håldiameter och samma externa tryck för alla ledningar, vilket är en förenkling som inte stämmer med verkligheten. Läckagevolymen över hela nätet dividerat med antal noder (ventiler) ger diameter på hål som simuleras och därmed inträngningen på varje ledningssträcka. Flera studier visar att modellerna överskattar tryckfallen jämfört med verkligheten (McInnis and Karney, 1995; Friedman et al, 2004; Flemming et al, 2006; Ebacher et al, 2010, Ebacher et al, 2011). Eftersom det är samma samband som används i denna studies konceptuella modell betyder det sannolikt att den volym inträngande vatten som beräknas är något överskattad.

4.2.6 Överlevnad och spridning av föroreningen i ledningsnätet

De analyser som görs i det svenska MRA-verktyget (MRA-modell), görs inte på alla organismer utan endast ett urval med sin speciella reaktionskinetik och dos-responssamband. Val av mikroorganismer sker utifrån hur vanlig den är och om det finns dos-responssamband tillgängliga.

För att beräkna hur mikrobiologisk kontaminering sker används strömningsmodeller för ledningsnät. Indata som krävs är bland annat tid och plats för händelsen, patogenflux (antal mikroorganismer per tidsenhet) och varaktighet. Exempelvis kan modelleringsverktyget EPANET användas till detta, men bara för en organism i taget. Vill man studera mikroorganismen och hur kloröverskottet samverkar för de organismer som inte tål klor, krävs en tilläggsmodul, EPANET-MSX. Dock är det svårt att avgöra hur väl modellen stämmer med verkligheten.

Göteborgs ledningsnät användes i denna studie för att simulera hur förorening sprids och avtar i nätet. För att utföra undersökningen har simuleringsprogrammet MikeNet (som bygger på EPANETs beräkningsmodul) använts för att simulera 25 slumpvis utvalda rörbrott som inträffat på huvudledningar under perioden 2008–2010.

Grundmodellen som använts i MikeNet är ett normaldygn för dricksvattnet i Göteborg, där parametrar som flöde och tryck varierar över tiden (per timma) samt beroende på i vilken del av staden man är. Analysen, som gjorts i MikeNet, är en vattenkvalitetsanalys med "injektering" av en kemisk förorening i valfri nod. Tiden för analysen har satts till 24 timmar. Detta på grund av att spridning av en förorening har visat sig klinga av efter så lång tid. Den mängd förorening som valts att injekteras in är "100" och den simulerade föroreningen är en mängd som tillsätts en gång vid en viss tidpunkt. Ingen avdöning har simulerats utan en konservativ bedömning av den ingående dosen patogener har gjorts. Resultatet från de 25 rörbrotts-simuleringarna visar att medianvärdet för:

- att föroreningens koncentration i dricksvattnet i ledningen ska minska till 10 % (dvs värde 10) av ursprungligt värde, är 9 timmar från inträngningspunkten och för hela ledningsnätet nedströms,
- att föroreningens koncentration i dricksvattnet i ledningen ska minska till 1 % (dvs värde 1) av ursprungligt värde, är 15 timmar från inträngningspunkten och för hela ledningsnätet nedströms,
- ledningsnätet nedströms som påverkas, är ca 1 200 m.

Tabell 4-3 visar resultat för de 25 simuleringarna och skillnaden för olika scenarier är stor främst avseende hur stort område som föroreningen sprids till. Spridningssträckan beror naturligtvis mest på var i nätet föroreningen kommer in, om det är det lokala nätet med liten spridning eller i stomnätet där en förorening kan nå långt.

Tabell 4-3 Resultat från simulering av 25 rörbrott i Göteborg.

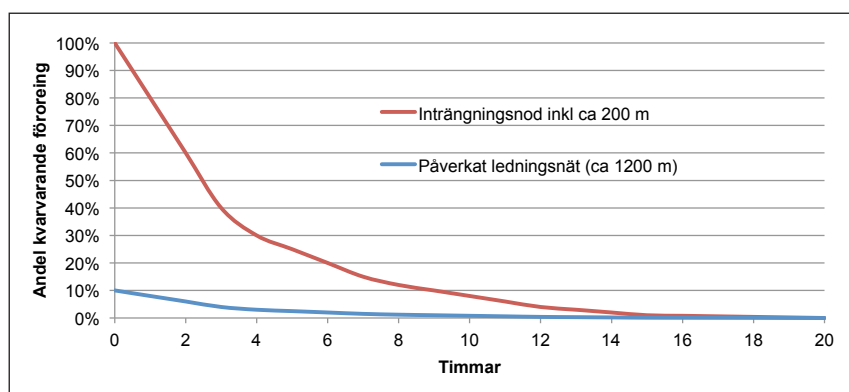
Nr	Tid [tim] > 1%	Tid [tim] > 10%	Påverkad längd [m]	Antal påverkade noder
1	0,1	4	1 000	10
2	9	9	700	7
3	17	17	1 200	12
4	3	4	600	6
5	16	22	3 000	30
6	7	7	1 600	16
7	2	9	400	4
8	15	15	300	3
9	17	17	1 200	12
10	1,5	1,5	200	2
11	8	8	>40 000	>400
12	0,8	0,5	200	2
13	17	17	1 600	16
14	11	11	300	3
15	21	21	900	9
16	2	4	2 600	26
17	0,3	3	700	7
18	18	18	>10 000	>100
19	8	23	1 600	16
20	4	24	2 000	20
21	24	24	>50 000	>500
22	3	3	400	4
23	20	24	5 000	50
24	24	24	>10 000	>100
25	24	24	1 400	14
Median	9	15	1 200	12

Ett exempel på hur resultatet för en medianhändelse skulle kunna se ut presenteras i figur 4-1. Föroreningskoncentrationen avtar ganska snabbt med tiden och även med avstängd till inträngningsnod.

I en tänkt konceptuell modell kan två olika scenarier beräknas:

1. när föroreningen enbart sprids inom det trycklösta området (i verkligheten stämmer det bara när den trycklösa ledningen är längst nedströms i systemet ("ändeledning").
2. När föroreningen sprids som i den fiktiva kurvan i figur 4-1.

Vilket scenario som är värst, få konsumenter som utsätts för en högre koncentration eller många konsumenter som utsätts för en lägre koncentration, kan enkelt modellen få fram.



Figur 4-1 Fiktiv kurva över hur en föroreningskoncentration avtar, baserad på medianvärden för 25 simuleringar i Göteborgs nät.

Med data i exemplet ovan med 200 m avstängd sträcka och 45 l inträngande volym, och under antagande att det är en ledning med 100 mm i diameter, blir utspädningen i den inträngande noden ca 34 gånger ($0,12 \cdot \pi / 4 \cdot 200 / 0,045$).

För mer sofistikerad modellering, kan MikeNet tillsammans med Ecolab användas för både spridning och avklingning.

4.2.7 Patogenexponering av dricksvatten för konsumenter

För en enskild individ, kommer exponering av förorenat vatten vara beroende på sannolikheten för att denna person kommer att öppna sin kran och dricka vatten vid tidpunkten för passagen av föroreningen i distributionssystemet. Det finns också en fördröjd exponering som kan uppstå om patogena mikroorganismer fastnar i rörväggens biofilm, blir skyddade, och senare släpper när förändringar i hydrauliska förhållanden sker (dock är möjligheten att modellera detta ganska begränsad för närvarande).

För vattenanvändningen i Sverige kan man anta att, från de ca 160 liter per dag som används per person, dricker vi i genomsnitt cirka 1 liter (VISK, 2013).

Eftersom patogenförekomster varierar över tid är exponeringstidpunkten och volymen som konsumeras av stor betydelse. I flödesmodeller är detta svårt att beskriva, till exempel kan flödesfördelningen över dygnet användas (Janke et al, 2006; Murray et al, 2006), men den behöver nödvändigtvis inte stämma med hur intaget av dricksvatten varierar. Det är bättre är att använda fasta och givna tidpunkter för vattenintag, till exempel vid de vanligaste måltidstiderna (Davis and Janke, 2008). Dock visar studier att ett antagande om att konsumtionen av dricksvatten fördelar sig jämnt över dygnet kan anses som fullt tillräckligt (Toljander pers. meddelande och Blokker pers. meddelande).

4.2.8 Risken associerad till exponeringen

Sambandet mellan patogenexponering och hälsorisk (risk för infektion) är densamma som det svenska MRA-verktyget för vattenverk.

4.3 *Diskussion*

En konceptuell modell för hur en inträngning av kontaminerat vatten påverkar risken att bli sjuk kan tas fram, men den är behäftad med många osäkerheter. Det gör att det behövs mycket fler studier för att få modellen testad och användbar.

Vid en typisk punktreparation på ledningsnätet är det inträngande vatten via otätheter i storleksordningen några tiotals liter. Risken att det kommer in i själva schakten bör vara mycket större. I MRA-modellen måste även andra risker än inträngningsrisker ingå, för att få en relevant riskbedömning.

4.4 *Slutsatser för QMRA för ledningsnät*

En modell har tagits fram för att på ett systematiskt sätt kunna bedöma risker för inträngning och dess hälsomässiga effekter på ett vattenledningsnät. QMRA-metodiken kan användas på distributionsnätet för att undersöka följande frågeställning: Är den mikrobiologiska risken i det studerade distributionsnätet vid normala driftsbetingelser acceptabel? Är risken för infektion från inträngning av markvatten i distributionsnätet större än risken från det färdigproducerade dricksvattnet vid vattenverket? Att kunna svara på dessa frågor är den långsiktiga målsättningen med vidareutvecklingen av QMRA-modellen. I nuläget är bristen på kunskap och erfarenhet med hänsyn till indata så stor att resultatet kring ”risken att bli infekterad” är behäftat med alltför betydande osäkerheter.

4.5 *Fortsatt arbete*

I denna studie har det presenterats en konceptuell modell som beskriver storleken på risken för infektion till följd av inträngning. Modellen bör utökas att även omfatta de risker på ledningsnätet som inte är med i modellen idag; t.ex. återströmning och hygieniska brister mm.

För störningar i form av avstängning av enskilda ledningssträckor har studier hittills visat att risken främst avgörs av förekomsten av fekal påverkan i schaktvattnet. En annan stor okunskap som har betydande påverkan på resultatet i beräkningarna är antal patogener i schaktvattnet (Blokker et al, 2014). En studie kring förekomst av fekal påverkan i schaktvatten skulle kunna ge en bild av hur ofta fekal påverkan förekommer vilket skulle minska osäkerheten i riskbedömningarna.

Man måste veta mer om vart patogener vid en störning tar vägen, det vill säga hur den sprids i ledningsnätet. Det behövs simuleringar av ett antal typiska fall för att kunna få med denna parameter i modellen för att generalisera detta så att en spridningsmodell inte behöver tas fram för varje enskilt distributionssystem som studeras.

5 Samband mellan störningar vid vattenproduktion och -distribution och samtal till 1177

I detta kapitel beskrivs en studie där samband mellan störningar som inträffat vid vattenverk och på ledningsnätet, inkl störningar i form av läckage- och rörbrottsreparationer, och antal samtal till Sjukvårdsrådgivningen, 1177, undersökts. Resultat har även presenterats i tidskriften *Water Research* (Malm et al, 2013).

5.1 Metod

5.1.1 Studieområde

Studien har genomförts i Göteborg med 500 000 invånare. Göteborgs invånare försörjs med dricksvatten med ytvatten från Göta älv som bereds i två vattenverk och distribueras genom ett 1 700 km långt ledningsnät.

5.1.2 Sjukvårdsrådgivningskontakter

Information har inhämtats från sjukvårdsrådgivningen i Västra Götaland 2007-11-28 – 2010-12-31. Tidigare uppgifter var inte tillgängliga på tillräckligt detaljerad nivå. Data innehåller tidpunkt, kontaktorsak, kön, ålder och fastighetsbeteckning på personen samtalet avser, men inte namn och personnummer. Det är inte nödvändigt att det är den person som ringer som samtalet avser. Kontaktorsakerna är (1) Buksmärtor, (2) Kräkning eller illamående och (3) Diarré. Symtomrapporteringen kopplades till ett "nyckelkodsområde" via fastighetsbeteckning. Nyckelkod är ett geografiskt område där den bebyggda ytan i medeltal är 0,085 km² (min = 0,000063, max = 1,2) och med i medeltal 604 (min = 1, max = 3 558) boende i varje bebyggt område. I Göteborg finns 838 bebyggda nyckelkodsområden. Alla rörbrott under perioden 2007-11-28 – 2010-12-31 har kodats avseende nyckelkod. Kontakten blir registrerad där personen var folkbokförd då uttaget gjordes från databasen (2011-01-07).

För att få en uppfattning om huruvida det finns lokala skillnader i kontaktintensitet inom Göteborg inhämtades i januari 2012 en kompletterande fil med "övriga kontaktorsaker" för studieperioden, där kontaktorsaken avkodats. Endast personer som ringt inom Västra Götalandsregionen och är folkbokförda i Göteborg ingår i studien. Om en person kontaktat sjukvårdsrådgivningen mer än en gång per dag med samma symptom eller olika symptom från mage och tarm räknas det som en kontakt. Om samma person ringt två efterföljande dagar har det räknats som två enskilda kontakter.

5.1.3 Exponeringsfaktorer och dataanalys

Normal drift

I Göteborg finns två vattenverk, Alelyckan och Lackarebäck, med liknande beredningsprocesser inkluderande flockning, sedimentation, filtrering med aktivt kol och desinfektion (ClO_2/Cl). De mikrobiologiska barriärerna är lika. Skillnaderna i processerna är mellanklorering för Alelyckan och sporadisk förklorering vid Lackarebäck samt hur alkalinitetshöjning åstadkoms samt typ av sedimentering. Mellankloreringen och den oregelbundna förkloreringen är inte mikrobiologiska barriärer men båda hjälper till att få en bra efterklorering. Fritt kloröverskott är lågt, långt under Livsmedelsverkets standard på totalt kloröverskott om maximalt $0,4 \text{ mg/l Cl}_2$ när vattnet lämnar vattenverket (Livsmedelsverket, 2011). Under den studerade perioden var medianvärdet för fritt klor från Alelyckan 0,14 (511/0,03/0,11/0,16/0,30; antal prov/min/25% percentil/75% percentil/max) och från Lackarebäck 0,11 (501/0,03/0,09//0,15/0,29). På ledningsnätet mäts enbart totalt kloröverskott vilket är 0,06 för Alelyckans och Lackarebäcks leveranszon och 0,05 för blandzonen som medianvärde.

Leveranszonen för Alelyckans vattenverk definieras som området där 100 % av fastigheterna får sin vattenleverans till minst 95 % från Alelyckans vattenverk under minst 95 % av tiden ett normalt dygn. På motsvarande sätt är leveranszonen för Lackarebäcks vattenverk definierad. Resterande områden definieras som blandvattenområde.

Antal invånare som försörjs från respektive vattenverk har erhållits från geografiska data från den hydrauliska modellen och demografisk information om nyckelkodsområden. Såsom visas i tabell 5-1, är ungefär en tredjedel av invånarna försörjda från Alelyckans vattenverk, en tredjedel från Lackarebäcks vattenverk och en tredjedel från båda vattenverken. I Alelyckans och Lackarebäcks försörjningsområde, är vattnets uppehållstid för de flesta delar av området mindre än 16 timmar, och ungefär 80 % av zonen har en uppehållstid mindre än 40 timmar. För blandzonen, är vattnets uppehållstid för de flesta delar av området mindre än 24 timmar, och ungefär 80 % av zonen har en uppehållstid mindre än 40 timmar. För alla leveranszoner, kan uppehållstiden i de yttre delarna av nätet kan vara upp till fyra dagar, beroende på långa ledningar och låg förbrukning.

Antal 1177-kontakter på grund av mag-tarmsymtom per 1000 invånare (alla åldrar, <3 år och ≥ 70 år) beräknades för varje månad ($N = 37$) och

Tabell 5-1 Antal kontakter med 1177 för hela perioden 2007-11-28 – 2010-12-31 avseende mag-tarmsymtom (kräkning, diarré och buksmärtor) indelat i vilket vattenverk befolkningen får vatten ifrån.

Leveranszon	Hela befolkningen					Befolkning < 3 år				
	Antal kontakter	Invånare	Kontakter per 1000 invånare, år	Kontakter per 1000 invånare, år, justerad	Andel GI kontakter av alla kontakter	Antal kontakter	Invånare	Kontakter per 1000 invånare, år	Kontakter per 1000 invånare, år, justerad	Andel GI kontakter av alla kontakter
Alelyckan	18 538	184 806	32,4	36,4	13,9 %	4 674	8 269	182,7	233,8	22,4 %
Lackarebäck	17 138	158 176	35,0	35,0	13,4 %	3 952	5 660	225,7	225,7	21,6 %
Blandzon	19 635	170 744	37,2	34,7	13,3 %	4 739	7 082	216,3	227,8	21,8 %
Totalt	55 311	513 726	34,8	-	13,5 %	13 365	21 011	205,6	-	21,9 %

leveransområde under den studerade perioden. Anledningen till särskild studie av unga barn och äldre personer var att rörligheten för dessa grupper är lägre och därmed även risken för felklassificering av exponering, än för människor i allmänhet som kan vara mer benägna att dricka vatten på andra ställen än i sina hem. För att justera för olika kontaktfrekvenser i olika områden gjordes motsvarande beräkning för alla 1177-kontaktsaker (inte bara mag-tarmsymtom) och antalet som beror på mag-tarmsymtom per 1000 invånare justerades därefter för 1177-utnyttjande. Andelen månads-kontakter jämfördes mellan leveransområden med ett parat t-test.

Avvikelse vid beredning och ledningsnät

Driftstörningar (avvikelse) både i vattenverket och på distributionsnätet har analyserats med hjälp av Göteborgs kvalitetsledningssystem avvikelse-databas. Störningar som kan ha haft en effekt på kvaliteten på dricksvattnet var händelser såsom störning i dosering, strömbrott och produktion nära kapacitetstaket. Totalt fjorton störningar registrerades under studieperioden Nov 2007–dec 2010, åtta i endera av vattenverken och sex i distributionsnätet, se tabell 5-2. För varje störning, definierades en tidsperiod med risk för försämrad vattenkvalitet; perioden störningar plus fjorton dagar. En fjortondagarsperiod valdes med hänsyn till (1) tiden för transport av föroreningen i ledningssystemet, (2) inkubationstid, och (3) tidsperioden från första dagen av symptom till kontakt med 1177. Vattnet uppehållstid i det lokala distributionsnätet, det vill säga området där störningen inträffar, är approximativt upp till 10 timmar. Inkubationstiden varierar för olika organismer, men är oftast 1–10 dagar för de vanligaste vattenlevande organismer som bär infektion i Sverige; *Campylobacter*, Rota / norovirus och *Giardia* (Lindberg och Lindqvist, 2005). Tidsspannet från visat symptom till kontakten med 1177 är sannolikt några få dagar.

För varje avvikelse vid beredningen har följande analysgång tillämpats:

1. Datum, tidsperiod och vattenverk som avvikelsen avsåg togs fram.
2. Avvikelsens utbredning i tid har definierats från avvikelsens startdatum till slutdatum med tillägg för 14 dagar.
3. Observerat antal fall har beräknats vid aktuellt vattenverk för avvikelsens utbredning i tid.
4. Förväntat antal fall har beräknats med dag -7 till -1 före avvikelsen samt dag 15–21. Eftersom tidsperioden för avvikelsen var längre än 14 dagar, har förväntat antal kontakter multiplicerats med kvoten (tidsperiod/14).
5. Standardized Incidence Ratio, (SIR = observerat/förväntat antal kontakter) har beräknats och 95 % konfidensintervall bestämdes med Poissonfördelning. Total SIR (summa observerade/summa förväntade antal kontakter) beräknades också.
6. SIR har även beräknats på samma sätt för avvikelsens utbredning i tid med tillägg för endast tre dagar efter avvikelsens slutdatum vilket jämfördes med tre dagar före avvikelsens inträffande. Tre dagar valdes utifrån att inkubationstiden för vanliga vattenburna organismer, såsom Norovirus, endast är 12–48 timmar med en mediantid på ca 33 timmar (CDC, 2011b).

För varje avvikelse på ledningsnätet tillämpades motsvarande analys. Förväntat antal kontakter i de berörda nyckelkodsområdena beräknades utifrån incidensen för samma period för hela Göteborg, korrigerad för lokala variationer av incidens genom att använda $I_{\text{total, område}} / I_{\text{total}}$, där $I_{\text{total, område}}$ är incidensen för hela perioden 07-11-28 – 10-12-31 för aktuellt nyckelkodsområde och I_{total} är incidens för hela perioden 07-11-28 – 10-12-31 för hela Göteborg.

Rörbrottsreparationer

I kretslopp och vattens databas är ett rörbrott registrerat på det datum det upptäcktes, inte datumet det lagades. Alla rörbrott i Göteborg från november

2007 till december 2010 som reparerades samma dag inkluderades i studien, ungefär 84 % av alla rörbrott (N = 818). För resterande rörbrott var den relevanta tidsperioden svår att definiera, men reparationsproceduren är likadan för dessa rörbrott, så bortfallet bör inte påverka resultatet. De inkluderade rörbrotten geokodades på nyckelkodsområde och 412 av områdena i Göteborg hade en eller flera inträffade rörbrott under den studerade perioden. Rörbrotten grupperades utifrån hur komplicerade de var att åtgärda, vilket kan påverka risken för inträngning vid lagningstillfället. Typ A (N =



Figur 5-1 Rörbrott, typ A, på gråjärnsledning där röret gått rakt av (vänster), lagad med reparationsmuff (höger). Foto Annika Malm



Figur 5-2 Rörbrott, typ B, på PVC-ledning där en lång spricka uppstått längs med röret (vänster) lagad med en ny ledning som skarvats in (höger) Foto Jonas Wall.

598) utgörs av mer lättlagade rörbrott, där hålet i ledningen kan lagas med en reparationsmuff som spänns fast runt den befintliga rörledningen och ett visst vattentryck kan hållas under lagningen (se figur 5-1). Typ B (N = 220) utgörs av mer svårreparerade rörbrott, där kapning av befintligt rör krävts och en ny ledningsstump fällts in (se figur 5-2).

För att inte få störningar av själva rörbrottshändelsen så används inte dagen för rörbrottet (dag "0"). Exponeringsperiod utgjordes av dag 1 till 15. Kontrollperiod har valts till 15 dagar före rörbrottsregistreringen, dag -15 till -1. Även en kortare exponerings och kontrollperiod analyserades med exponeringstid dag 1 till 3 och kontrollperiod dag -3 till -1.

Ett parat T-test genomfördes för att se om det fanns signifikanta skillnader i antal kontakter avseende mag-tarmsymtom mellan tiden före rörbrott och tiden efter rörbrott. Personer under 3 år (= tom 2,99 år) respektive över 70 år (= from 70,0 år) studerades särskilt eftersom de bedömdes dels vara mer hemmavarande och dels mest känsliga för mag-tarmsymtom. Konfidsintervall har beräknats utifrån Poissonfördelning.

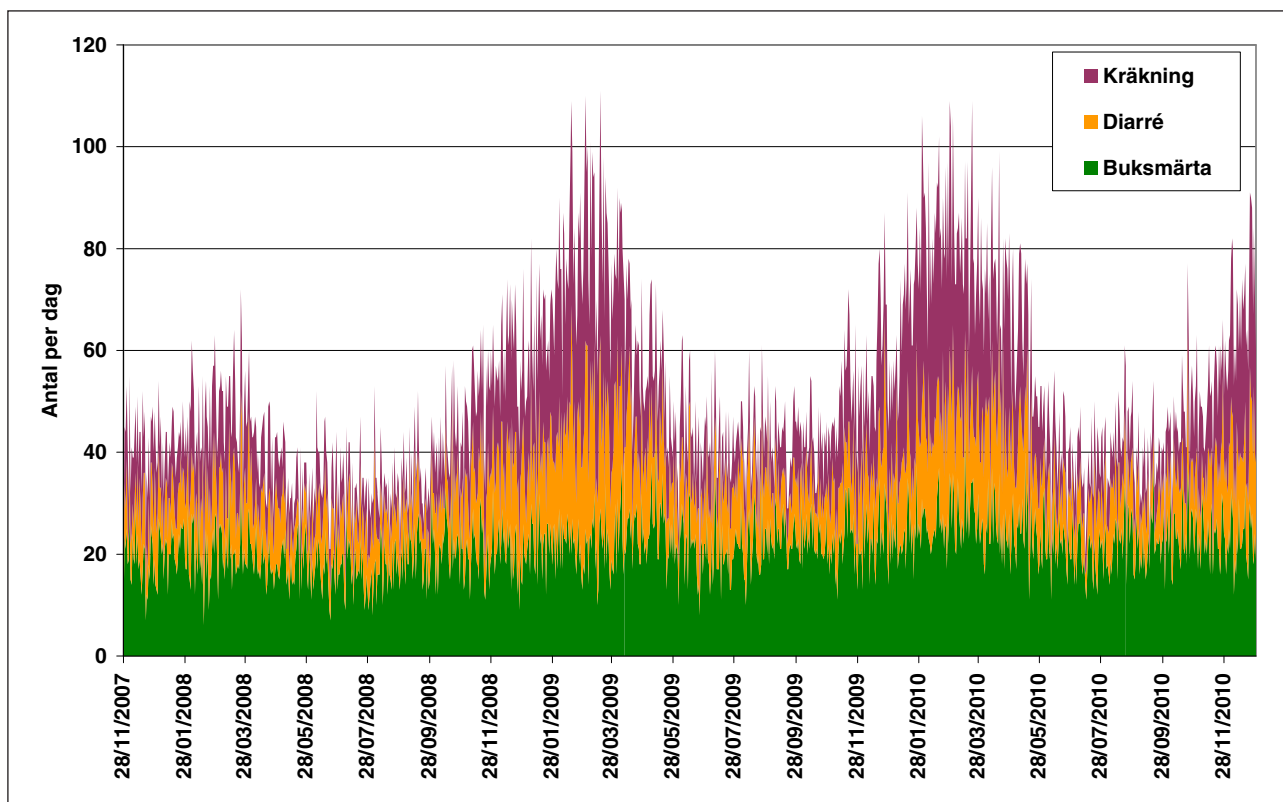
I tillägg till analysen på nyckelkodsområdesnivå genomfördes för en del av rörbrotten en analys på fastighetsnivå. Analysen på fastighetsnivå genomfördes på ett antal av Typ B-rörbrotten (N = 39), och fyra rörbrott där registrering (via samtal från boende) av lågt tryck hos brukare förekommit.

Studien genomfördes med det hydrauliska modelleringsverktyget MIKE NET (DHI, 2007). Modellen visar vilka fastigheter en tänkt förorening sprids till. Grundmodellen som använts i modelleringsverktyget är ett normaldygn för dricksvattennätet i Göteborg, där parametrar som flöde och tryck varierar över dygnet samt är beroende på i vilken del av staden som analysen görs. Analysen som görs i modelleringsverktyget är en vattenkvalitetsanalys med insprutning av en persistent förorening i en nod i anslutning till där rörbrottet skett. Modellen körs för 24 timmar och på grund av den korta tidsperioden antas att ingen inaktivering sker. Serviser som fått förorening >1 % anses som påverkade. Antal samtal dag -15 till -1 jämförs med samtal dag 1 till 15 för alla fastigheter som fått förorening på 10 % eller mer respektive 1 % eller mer. Ett parat T-test genomfördes för att se om det fanns statistiskt signifikanta skillnader i kontakter avseende mag-tarmsymtom mellan tiden före rörbrottet och tiden efter rörbrottet. Proceduren upprepades för ett tidsspänn på sju dagar efter respektive före rörbrottet. Sju dagar användes eftersom tre dagar gav ett för litet dataunderlag för analys. En jämförelse gjordes även mellan den modellerade geografiska utbredningen och nyckelkodområdenas geografiska utbredning för fastigheter med >10 % förorening. Studien på fastighetsnivå gjordes inte för alla rörbrott eftersom den är mycket tidskrävande.

5.2 Resultat

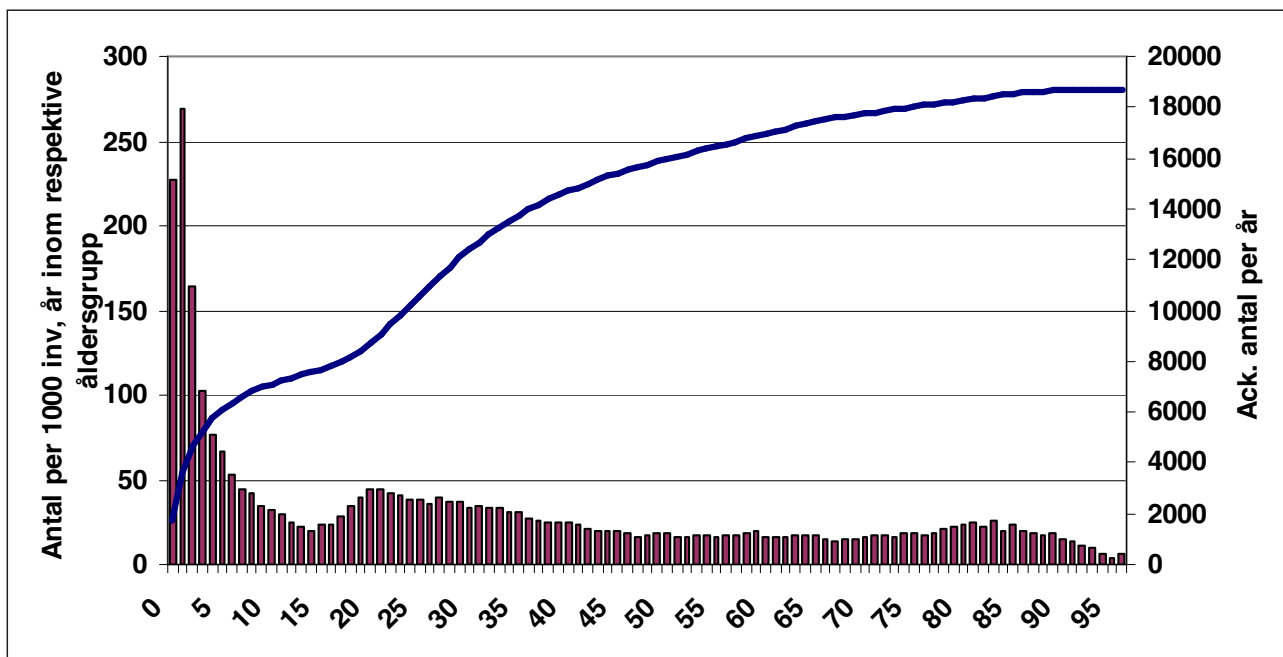
5.2.1 Kontakter med sjukvårdsrådgivningen

Databasen innehöll 55311 kontakter efter att dubletter tagits bort. Samtalsdata visar en tydlig årstidsvariation, figur 5-3. Årstidsvariationen beror på vinterkräksjukans utbrott och det är tydligt att det är kräkning och diarré som står för ökningen.



Figur 5-3 Antal kontakter per dag till sjukvårdsrådgivningen för Göteborg på grund av mag-tarmsymptom (topp kräkning, mitt: diarré och längst ner: buksmäta) för perioden nov 2007–dec 2010.

Åldersfördelningen för kontakter visas i figur 5-4. Barn, främst gruppen som inte fyllt 3 år är överrepresenterade med mycket högre kontaktfrekvens än medel om 35 kontakter per 1000 invånare och år.



Figur 5-4 Antal kontakter till 1177 för mag-tarmsymtom (kräkning, diarré och buksmäta) per åldersgrupp för perioden 071128-101231. Linjen visar ackumulerat antal kontakter per år.

5.2.2 Normal drift

Tabell 5-1 visar den justerade kontaktincidensen och incidensen på grund av mag-tarmsymtom var högre bland boende i områden med vatten från Alelyckans vattenverk (36,4) jämfört med Lackarebäcks vattenverk (35,0) och lägst incidens återfinns i blandzonen (34,7). Skillnaden minskade till mindre än 5 % när andelen mag-tarmkontakter beräknades. Skillnaden mellan Alelyckan (13,9 %) och Lackarebäck (13,4 %) är statistiskt signifikant ($p < 0,05$).

5.2.3 Avvikelse vid beredning och ledningsnät

På vattenverken analyserades åtta avvikelser, tabell 5-2. SIR är ungefär 1 för alla avvikelser och inget av konfidensintervallen är skilt från 1, vilket

Tabell 5-2 Driftstörningar (avvikelse) i vattenverket och på distributionsnätet och kontakter med 1177 på grund av mag-tarmsymtom (kräkningar, diarré eller buksmärta) för perioden 2007-11-28 – 2010-12-31. Antalet kontakter visas för störningsperioder plus 14 dagar och för kontrollperioden före och efter störningen. SIR visas med 95 % konfidensintervall.

Period	Plats	Avvikelse	Tidsrymd händelse [min]	Tidsrymd analys aktuellt [dagar]	Observerade antal kontakter	Förväntat antal kontakter	SIR	Konfidensintervall
Nov 2010	Alelyckan	Klördoseringen ur funktion pga spänningsdipp. Även lutedosering, kolsyradosering, kalkdosering samt flockningsomrörare drabbas under 15 min.	5	15	253	270	0,94	0,83–1,06
April 2010	Lackarebäck	Aluminiumsulfatdoseringen ur funktion. Nödtömning till avlopp.	105	16	334	312	1,07	0,96–1,19
Mars 2010	Alelyckan	Vattenläcka på utgående ledning från ena vattenverket medförde att det andra vattenverket gick på extrem hög belastning.	12 960	23	637	601	1,06	0,98–1,15
Sept. 2010	Alelyckan	Klördoseringen utebliven	7	15	223	218	1,03	0,98–1,17
Maj 2009	Lackarebäck	Natriumkloritdosering ur drift	19	15	251	235	1,07	0,94–1,30
Mars 2009	Lackarebäck	Aluminiumsulfatdoseringen ur drift vid två tillfällen på grund av överbelastad säkring.	?	16	384	384	1,00	0,90–1,11
Feb. 2009	Lackarebäck	Natriumkloritdoseringen ur drift i 50 minuter till följd av fel på gränsbrytare.	50	15	382	387	0,99	0,89–1,09
Jan. 2009	Lackarebäck	Aluminiumvåg stoppar	5	15	293	287	1,02	0,91–1,14
Totalt vattenverk					2 757	2693	1,02	0,99–1,06
Sept. 2010	Ledningsnätet	Pumphaveri i högzon, 7 000 ¹ personer	960	20	17	12,0	1,41	0,83–2,26
Maj 2010	Ledningsnätet	Enterokocker uppmätta i samband med byte av ventil, ca 500 ¹ personer	osäkert	19	0	0,5	–	0–3,69
Maj 2009	Ledningsnätet	Två högzoner utan vatten, 3 700 ¹ personer	60	15	2	5,2	0,39	0,05–1,45
Jan. 2009	Ledningsnätet	Två stadsdelar utan vatten på grund av vattenläcka, 4 900 ¹ personer	480	15	13	9,8	1,32	0,69–2,22
Feb. 2009	Ledningsnätet	Rörbrott orsakade tryckfall i högzon, ca 16 000 ¹ personer	120	15	30	36,7	0,82	0,55–1,16
Juni 2008	Ledningsnätet	Vattenbrist i högzoner/ytterområden på grund av att kapaciteten på vattenverken inte räckte till, ca 12 000 ¹ personer	osäkert	18	25	16,6	1,51	0,95–2,17
Totalt distributionsnätet					87	81	1,08	0,86–1,32

¹ Antal personer som är exponerade (permanentboende) för berörda områden (data från Kretslopp och vattens GIS-databas).

innebär det inte kan påvisas någon statistisk signifikant förhöjd frekvens för avvikelserna vid beredningen, inte heller när symptomorsakerna studerades var för sig (resultat visas inte i tabellen). Vid analys av en kortare tidsperiod; tidsrymd för händelsen med tillägg för tre dagar fanns inte heller någon statistisk säker skillnad (total SIR = 1,03, konfidensintervall 0,96–1,1). På ledningsnätet inträffade sex avvikelser under perioden. SIR skiljer sig mycket mellan de enskilda händelserna och konfidensintervallet inbegriper 1 i alla fall, vilket innebär det inte kan påvisas någon statistisk signifikant förhöjd frekvens för avvikelserna på ledningsnätet.

5.2.4 Rörbrottsreparationer

För rörbrotten kunde ingen tendens till ökad kontakt på grund av mag-tarmsymtom ses, tabell 5-3. Totalt analyserades 818 rörbrott. Antalet fall med mag-tarmsymtom dag 1–15 efter rörbrott var 842 medan antalet dag –15 till –1 före rörbrott var 860. Några signifikanta skillnader mellan perioderna kunde inte påvisas. Inte heller för en kortare tidsperiod (3 dagar), påvisades någon skillnad (data för 3 dagar visas inte).

Tabell 5-3 Reparationer och kontakter med 1177 på grund av mag-tarmsymtom (kräkningar, diarré eller buksmärta) för perioden 2007-11-28 – 2010-12-31 på nyckelkodsområdesnivå. Antalet kontakter efter och före rörbrottet. Den statistiska analysen har gjorts inom respektive nyckelkodområde.

	Hela befolkningen			Befolkning < 3 år			Befolkning ≥ 70 år		
	Antal kontakter efter reparation	Antal kontakter före reparation	p-värde	Antal kontakter efter reparation	Antal kontakter före reparation	p-värde	Antal kontakter efter reparation	Antal kontakter före reparation	p-värde
Alla reparationer	842	860	0,69	240	272	0,24	38	42	0,65
Reparationer Typ B	246	245	0,97	74	68	0,69	9	14	0,31

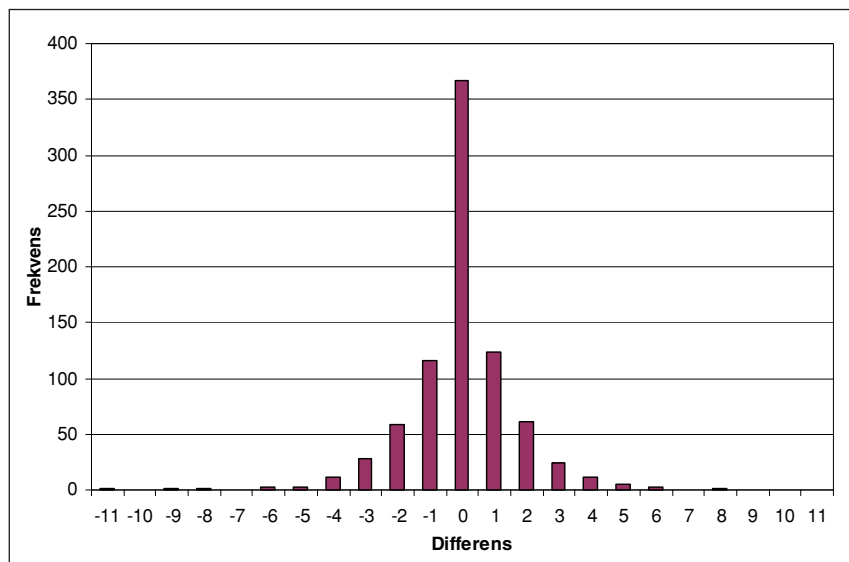
Vid de flesta rörbrottsreparationerna (280) fanns ingen kontakt med 1177 alls på grund av mag-tarmsymtom i berörda nyckelkodsområden varken efter eller före händelsen. Figur 5-5 visar att det i fall där det fanns kontakter med 1177, var dessa inte mer vanligt i perioden efter reparationen jämfört med perioden före.

För rörbrotten som specialstuderats på fastighetsnivå analyserades 43 rörbrott varav 36 rörbrott innebar att bostadsfastigheter berördes. För perioden på två veckor var antalet fall högre efter rörbrott, dock är skillnaden inte statistisk signifikant, se tabell 5-4 och figur 5-6. För studien på den kortare perioden av en vecka var det ingen skillnad. Omkring 10 % av de berörda fastigheterna kunde inte analyseras på grund av att fastighetsbeteckningen ändrats från tiden då ledningsnätet lades in i modelleringsverktyget till idag.

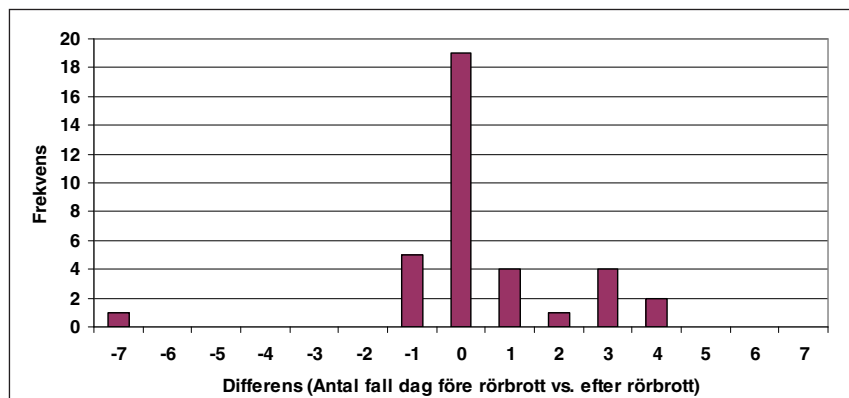
Studien på fastighetsnivå visar att medianvärde för påverkat område är 0,052 km² (>10% påverkan) respektive 0,090 km² (>1% påverkan), vilket kan jämföras med ett nyckelkodsområdes medelyta som är 0,040 km². Ett rörbrott påverkar i medeltal två nyckelkodsområden (medianvärde = 2, max = 17, min = 1) för 10% påverkan.

Tabell 5-4 Reparationer och kontakter med 1177 på grund av mag-tarmsymtom (kräkningar, diarré eller buksmärtor) för perioden 2007-11-28 – 2010-12-31 på fastighetsnivå. Antalet kontakter efter och före rörbrottet visas. Den statistiska analysen har gjorts inom respektive berörd fastighet.

	Drabbade > 10%			Drabbade > 1%		
	Antal kontakter efter reparation	Antal kontakter före reparation	p-värde	Antal kontakter efter reparation	Antal kontakter före reparation	p-värde
Dag 1–15 före vs. dag 15–1 efter	59	45	0,22	107	91	0,28
Dag 1–7 före vs. dag 7–1 efter	26	26	1	45	48	0,72



Figur 5-5 Kontaktfrekvens med 1177 på grund av mag-tarmsymtom (kräkningar, diarré eller buksmärtor) för perioden 2007-11-28 – 2010-12-31 efter (dag 1–15) och före (dag 15–1) reparationen. Skillnaden beräknades inom respektive berört nyckelkodområde.



Figur 5-6 Frekvens av differensen mellan antal fall dag 1-15 efter rörbrottsreparation och antal fall dag -15 till 1 före för de specialstuderade reparationerna, för fastigheter berörda med mer än 10%.

5.3 Diskussion

I denna studie testade vi hypotesen att frekvensen av kontakter med 1177 på grund av mag-tarmsymtom ökade då det fanns en risk för nedsatt vattenkvalitet på grund av störningar på vattenverket eller i distributionsnätet.

Vi hittade en liten men statistiskt signifikant skillnad i andelen mag-tarmsymptomkontakter mellan Alelyckans vattenverk och Lackarebacks vattenverk, men eftersom den blandade zonen hade den lägsta andelen mag-tarmsymptomkontakter, tror vi inte att de små skillnaderna beror på de mindre tekniska skillnaderna mellan de två vattenverken. Vi fann dock ingen signifikant ökning av kontakter med 1177 under perioder av störningar vid vattenverken eller i distributionsnätet till exempel på grund av rörbrott och läckagereparationer.

Tekniken att använda geokodad 1177-data tillsammans med geokodade register över störningar i dricksvattennätet är ny, och dess genomförbarhet inom dricksvattenområdet undersöktes i denna studie.

Det finns bara några tidigare studier på föreningen mellan störningar i distributionsnätet och mag-tarmsymptom. En undersökning i Storbritannien fann att 28 av 427 respondenter rapporteras ha diarré under de senaste två veckorna och analyserade vilka faktorer som var förknippade med diarré. Förutom förväntade faktorer, såsom kontakt med en annan sjuk person, var förlust av vattentryck i hemmet var en betydande riskfaktor (Hunter et al., 2005). Nygård et al. (2007) intervjuade cirka 600 personer i Norge från hushåll som blivit exponerade för lågt eller obefintligt vattentryck på grund av rörbrott eller underhållsarbeten (88 episoder). Personerna tillfrågades om mag-tarmsymtom under störningen och 14 dagar efter den. På samma sätt intervjuades 600 personer från icke exponerade hushåll under samma tidsperioder. Risken för mag-tarmsymtom var signifikant högre i den exponerade hushåll (RR 1,58). En viktig skillnad mellan vår studie och en av Nygård et al. (2007) är att alla störningar i den norska studien resulterade i fullständig tryckförlust (Nygård, 2012), och fullständig tryckförlust har endast förekommit med säkerhet i reparationer av typ B i vår studie. Ambitionen i Göteborg är att reparera rörbrott och läckage med visst vattentryck kvar, för att minimera risken för inträngning.

Spolning av ledningsnätet, som pekas ut som en riskreducerande faktor av Nygård et al. (2007) utfördes efter alla rörbrottslagningar i Göteborg. Klorering efter reparation (desinfektion i 2 timmar följt av spolning) pekas också ut som en riskreducerande faktor av Nygård et al. (2007) men det har inte använts i samband med reparationerna i Göteborg. En skillnad mellan Nygård et al (2007) och denna studie kan vara i hur ledningsnätet är anlagt. I Norge finns det brunnar vid varje ventil som kan öka risken för inträngning i vattenledningen om dräneringen av de brunnarna inte fungerar.

Nivån av fritt klor i distributionsnätet anses vara alltför låg för att påverka risken för hälsomässig påverkan. Enligt Yang et al. (2011) är det sista försvaret mot risken för virusinfektion på grund av lågt eller negativt tryck att upprätthålla en nivå på fritt klor av 0,2 mg/l eller mer. Fritt klor på utgående vatten från vattenverket är normalt långt under 0,2 mg/l i Göteborg. Fritt klor vid tappkran hos konsument mäts inte men antas vara under detektionsgränsen eftersom typiska värden på totalklor är 0,05–0,06 mg/l.

Studien har flera styrkor; en relativt stor befolkning cirka 500 000 personer studerades under en treårsperiod, och kontakter med 1177 vid mer än 800 ledningsreparationer analyserades. Eftersom det fanns mer än 50 000 kontakter med 1177 på grund av mag-tarmsymtom, kunde även potenti-

ellt känsliga undergrupper (<3 eller >= 70 år) analyseras. Uppgifterna om 1177-kontakter respektive rörbrottsreparationer hämtades från olika källor innan de matchas genom geokodning. Detta utesluter att resultatet är påverkat av personers svar, som är en potentiell källa till systematiska fel (bias) i enkätstudier när respondenterna är tillfrågade om de har noterat en förlust av vattentryck i sina hem (Hunter et al., 2005) eller när de märker att de saknar vatten även om de inte tillfrågats om det (Nygård et al., 2007).

Studien har emellertid också begränsningar. För det första, även om vi studerade en stor befolkningsvolym i analysen av avvikelser vid beredning och ledningsnät, är antalet händelser begränsade. Vi studerade många rörbrottslagningar men som påverkat enbart ett begränsat antal hushåll. Den normala variationen av 1177-kontakter gör det svårt att upptäcka små ökningar av sådana kontakter i samband med störningar i dricksvattensservicen. En ökning av det totala antalet 1177-kontakter med 4–5 % för avvikelser vid beredning och ledningsnät i förhållande till det förväntade antalet skulle ha varit statistiskt signifikant. För rörbrottshändelser på distributionsnätet, skulle en ökning med 23 % ha varit statistiskt signifikant. En viktig faktor som påverkar antalet kontakter med 1177 på grund av mag-tarmsymtom är utbrott av norovirus (vinterkräksjuka). Om ett utbrott av norovirus varierar över staden, kommer detta försämra möjligheten att upptäcka en inverkan av störningar i dricksvattenkvalitet. För det andra, olika typer av störningar har slagits samman. Med en längre studieperiod eller införande av fler kommuners dricksvattenförsörjning, skulle störningarna kunna ha kategoriserats in flera typer. För det tredje, antog vi att varje individ var utsatt för potentiell förorening av dricksvattnet vid sin folkbokförda adress. Människor är dock mobila och dricker vatten på andra ställen än i sina hem och detta kan sudda ut en sann förorening. Å andra sidan gjordes separata analyser på barn <3 år och människor > 70, som kan antas tillbringa en stor del av sin tid hemma. För det fjärde en oväntad källa till felklassificering var det faktum att den adress som ges av 1177 är den senaste adress, och om en person flyttade efter telefonsamtalet till 1177, kommer vår analys inte använda den relevanta adressen. Omkring 10 % av de klassificeringar av data till respektive vattenverk och ca 15 % av kodningen på delområde beräknas vara felaktig under studieperioden. Det är osannolikt att de felaktiga områdeskodningarna har något samband med exponering, men det orsakar en begränsad icke-differentiell felklassificering och därmed en viss underskattning av styrkan i sambanden.

Även under normal drift ökar läckaget i ledningsnätet under kalla perioder, vilket följaktligen kräver ökad produktion av dricksvatten. Kalla perioder är sammanfaller även med längre överlevnad av patogener i råvattenkällan (WHO, 2011). Dessutom, den mikrobiologiska barriären för både avskiljning och desinfektion kan bli mindre effektiv. Vissa perioder med låg råvattentemperatur (<5 grader C) och hög produktionsvolym har identifierats, men var det inte möjligt att analysera dessa perioder för sig, eftersom relevanta kontrollperioderna inte kunde identifieras.

Inkubationstiden varierar mellan organismer vilket kan orsaka svårigheter när man väljer tidsperioden för exponering och kontrollperioder. Också, under vissa förutsättningar, kan patogener överleva och gömma sig i biofilmen.

Studien syftar till att upptäcka små ökningar av mag-tarmsymtom på grund av försämrad dricksvattenkvalitet, som inte leder till ett utbrott av vattenburna sjukdom. Ungefär två utbrott per år är registrerade i Sverige (Malm et al., 2010), men det finns en möjlighet att majoriteten av mag-tarmproblem på grund av nedsatt dricksvattenkvalitet inte är bekräftade och registrerade.

Den sanna incidensen av mag-tarmsymtom sjukdom på grund av förorenat dricksvatten är svår att uppskatta. Roy et al. (2006) granskar flera studier och fann att beräkningarna varierade från 0,1 till 3,5 fall per person och år, med de flesta av studierna i intervall 0,5 till 1,5 fall per person och år. För Göteborg motsvarar det mellan 250 000 och 750 000 fall av mag-tarmsjukdom per år. Antalet årliga mag-tarmrelaterade kontakter, 18 000 (alla symtom, alla åldrar) ger en kontaktfrekvens till 1177 på 2,4–7,2 % i Göteborg, vilket kan jämföras med analys av 1177-kontakter för två svenska städer där kontaktfrekvensen beräknades till 1,5 respektive 2,3 % (Andersson, 2012). Den låga andelen 1177-kontakter i relation till den verkliga mag-tarmsjukdomsincidensen innebär inte att man inför några systematiska fel, men kommer att ge en låg statistisk styrka för sällsynta händelser, såsom enskilda ledningsnätstörningar. Andersson (2012) uppskattar kontaktfrekvensen på nationell nivå till 1,4 % i icke utbrottssituationer (personer $\geq$ 18 år, kräkningar och diarré). I vår studie kontaktfrekvensen var 1,2 % för samma åldersgrupper och symtom.

Potentialen att använda 1177-kontakter i epidemiologiska studier av samband med dricksvattenkvalitet beror på tillgängliga uppgifter från 1177. Det faktum att inte

bara symptomen och tid för kontakt registrerats, utan även kön, ålder och fastighetsbeteckning för den drabbade personen, medgav i vårt fall möjlighet till detaljerade analyser inom begränsade geografiska områden. Det gör denna metod till ett mer attraktivt och snabbare alternativ jämfört med att använda register över sjukhusvister eller öppenvårdsbesök.

5.4 Slutsatser för 1177-studien

Kontaktfrekvensen med sjukvårdsrådgivningen, 1177 på grund av mag-tarmsymtom har inte visats öka när det finns risk för nedsatt vattenkvalitet på grund av störningar vid vattenverk eller i distributionsnätet. Den nya metoden med hjälp geokodade uppgifter från 1177 om kontakter tillsammans med geokodade data över störningar är genomförbar och förutsatte en stor datamängd av personer ($> 50\,000$) med mag-tarmsymtom. Antal större störningar vid vattenverk eller i distributionen är dock begränsat ($N = 14$), och längre period eller studier av ytterligare vattenförsörjningssystem behövs för att utesluta att det finns mindre effekter på antalet kontakter med 1177 grund av mag-tarmsymtom. För de studerade rörbrottsreparationerna ($N = 818$), det var i de flesta fall ingen total tryckförlust, vilket är en trolig orsak till frånvaron av ett samband med mag-tarmsymtom.

6 Diskussion och slutsatser

Det behövs mer forskning för att kvantifiera risker på ledningsnätet.

En möjlig slutsats som både MRA-modellens exempel om inträngning vid trycklös sträcka, resultaten från 1177-studien visar är att risken är liten när ledningen inte öppnas. När man lagar med reparationsmuff och inte behöver blotta en ledningsöppning kommer föroreningar enbart in via otätheter på sträckan och även om ledningen är helt trycklös så är mängden liten. Studien på fastighetsnivå av svåra rörbrott indikerar att när man öppnar ledningen är risken större. 1177 har potential till många framtida studier, dock krävs en viss storlek på området för att få relevanta data samt helst modellkörningar av varje rörbrott, dock bör man inrikta sig på rörbrott där en ledningsöppning blottats.

Modellen för MRA på ledningsnätet är en bra utgångspunkt men det behövs mer för att få en fullständig riskbedömning av ledningsnätet. Framför allt krävs mer indata samt också att modellen utvecklas till att inbegripa fler risker än inträngning.

7 Referenser

- ABPA (2000) Survey of public water system cross-connection control programs. <http://abpa.org/Doc/PDF/ABPA%202000%20Survey%205.15.07.pdf> (15.02.2012).
- Andersson, T. (2012) Early Warning Systems (EWS). Rapport Livsmedelsverket (2012-02-14).
- Besner, M.-C., Prévost M., Regli, S. (2011) Assessing the public health risk of microbial intrusion events in distribution systems: Conceptual model, available data, and challenges. *Water research* 45 (961–979).
- Besner, M.C., Lavoie, J., Morissette, C., Payment, P., Prévost, M., (2008) Effect of water main repairs on water quality. *Journal of the American Water Works Association* 100 (7), 95–109.
- Besner, M.C., Broséus, R., Lavoie, J., Giovanni, G.D., Payment, P., Prévost, M., (2010) Pressure monitoring and characterization of external sources of contamination at the site of the payment drinking water epidemiological studies. *Environ Sci Technol.* 44(1): 269–77.
- Besner, M.C., Ebacher, G., Lavoie, J., Prevost, M., 2007. Low and negative pressures in distribution systems: do they actually result in intrusion? In: *Proceedings from ASCE-EWRI World Environmental and Water Resources Congress*, Tampa, FL.
- Besner, M.C., Broseus, R., Lavoie, J., Di Giovanni, G., Payment, P., Prévost, M., 2010. Pressure monitoring and characterization of external sources of contamination at the site of the payment drinking water epidemiological studies. *Environmental Science and Technology* 44, 269–277.
- Beuken, R., Sturm, S., Kiefer, J., Bondelind, M., Åström, J., Lindhe, A., Machenbach, I., Melin, E., Thorsen, T., Eikebrokk, B., Niewersch, C., Kirchner, D., Kozisek, F., Gari, D.W., Swartz, C. (2008) Identification and description of hazards for water supply systems: A catalogue of today's hazards and possible future hazards. D4.1.4 Version August 2008, Techneau
- Blokker, M., Smeets P., Medema, G. (2014) QMRA in the drinking water distribution system, 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA, 14–17 juli, Bari, Italien.
- Calderon, R.L., Craun, G.F., 2006. Estimates of endemic waterborne risks from community-intervention studies. *Journal of Water and Health* 04 (Suppl. 2), 89e99.
- CDC, 2011a. Community Health Impact of Extended Loss of Water Service – Alabama, January 2010 vol. 60(6). Centers for Disease Control and Prevention, pp. 161–166. *MMWR Morbidity Mortality Weekly Report*.
- CDC, 2011b. Norovirus in Healthcare Facilities Fact Sheet. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/hai/pdfs/norovirus/229110-ANoroCaseFactSheet508.pdf> (accessed 20.04.13.).

- Colford Jr., J.M., Wade, T.J., Sandhu, S.K., Wright, C.C., Lee, S., Shaw, S., Fox, K., Burns, S., Benker, A., Brookhart, M.A., van der Laan, M., Levy, D.A. (2005) A randomized, controlled trial of inhome drinking water intervention to reduce gastrointestinal illness. *American Journal of Epidemiology* 161 (5), 472–482.
- Craun, G.F., Calderon, R.L., 2006. Observational epidemiologic studies of endemic waterborne risks: cohort, case-control, time-series, and ecologic studies. *Journal of Water and Health* 04 (Suppl. 2), 89e99.
- Craun, M.F., Craun, G.F., Calderon, R.L., Beach, M.J., 2006. Waterborne outbreaks reported in the United States. *Journal of Water and Health* 04 (Suppl. 2), 19e29.
- Craun, G. F., Calderon, R. L. (2001) Waterborne disease outbreaks caused by distribution system deficiencies J. AWWA 93(9), 64–75.
- Davis, M.J., Janke, R., 2008. Importance of exposure model in estimating impacts when a water distribution system is contaminated. *Journal of Water Resources Planning and Management* 134 (5), 449–456.
- DHI, (2007) MIKE NET
- Ebacher, G., Besner, M.C., Prevost, M., Jung, B.S., Karney, B., 2009. Intrusion volumes computed with transient analysis supported by transient pressure recordings in a full-scale distribution system. In: *Proceedings of AWWA-Water Quality Technology Conference*, Seattle, WA.
- Ebacher, G., Besner, M.C., Lavoie, J., Jung, B.S., Karney, B.W., Prevost, M., 2010. Transient modeling of a full-scale distribution system: comparison with field data. *Journal of Water Resources Planning and Management*. doi:10.1061/ (ASCE)WR.1943-5452.0000109 (26.06.2010).
- Friedman, M., Radder, L., Harrison, S., Howie, D., Britton, M., Boyd, G., Wang, H., Gullick, R., LeChevallier, M., Wood, D., Funk, J., 2004. Verification and Control of Pressure Transients and Intrusion in Distribution Systems. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO.
- Environment Canada, 2010. Leak detection and repair. <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang%20=%20En&n%20=%20F25C70EC-1> (31.05.2010).
- Fleming, K.K., Dugandzic, J.P., LeChevallier, M.W., Gullick, R.W., 2006. Susceptibility of Distribution Systems to Negative Pressure Transients. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO.
- Fleming, K., LeChevallier, M., 2008. Estimating risk of infection from low-level intrusion events. In: *Proceedings of AWWA Water Quality Technology Conference*, Cincinnati, OH.
- Gullick, R.W., LeChevallier, M.W., Svindland, R.C., Friedman, M.J., 2004. Occurrence of transient low and negative pressures in distribution systems. *Journal of the American Water Works Association* 96 (11), 52–66.

- Gullick, R.W., LeChevallier, M.W., Case, J., Wood, D.J., Funk, J.E., Friedman, M.J., 2005. Application of pressure monitoring and modelling to detect and minimize low pressure events in distribution systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 54 (2), 65–81.
- Hellard, M.E., Sinclair, M.I., Forbes, A.B., Fairley, C.K., (2001) A randomized, blinded, controlled trial investigating the gastrointestinal health effects of drinking water quality. *Environmental Health Perspectives* 109 (8), 773–778.
- Hooper, S.M., Moe, C.L., Uber, J.G., Nilsson, K.A., 2006. Assessment of microbiological water quality after low pressure events in a distribution system. In: *Proceedings of 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium*, Cincinnati, OH.
- Hunter, P. R., Chalmers, R. M., Hughes, S., Syed, Q. (2005) Selfreported diarrhea in a control group: a strong association with reporting of low-pressure events in tap water. *Clin. Infect. Dis.* 40, 32–34.
- Inera (2011) <http://www.inera.se/Invanartjanster/1177-se/> besökt 2011-10-20.
- Janke, R., Murray, R., Uber, J., Taxon, T., 2006. Comparison of physical sampling and real-time monitoring strategies for designing a contamination warning system in a drinking water distribution system. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132 (4), 310–313.
- Jørgensen, C. (2014) Dokumenteret drikkevandssikkerhed i ledningsnet. Poster presentation vid NordIWA, Helsinfors, 2–4 juni 2014.
- Karim, M.R., Abbaszadegan, M., LeChevallier, M., 2003. Potential for pathogen intrusion during pressure transients. *Journal of the American Water Works Association* 95 (5), 134–146.
- Kirmeyer, G.J., Friedman, M., Martel, K., Howie, D., LeChevallier, M., Abbaszadegan, M., Karim, M., Funk, J., Harbour, J., 2001. Pathogen Intrusion into the Distribution System. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO.
- LeChevallier, M.W., Xu, M., Yang, J., Teunis, P., 2009. Potential Intrusion of Pathogens Through Failures in Drinking Water Distribution Systems. *Proceedings of AWWA-WQTC*, Seattle, WA.
- Lindberg, T. and Lindqvist, R. (2005) Riskprofil: Dricksvatten och mikrobiologiska risker. Livsmedelsverket rapport 28-2005.
- Lundberg Abrahamsson, J., Ansker, J., Heinicke, G. (2009) Ett modellverktyg för svenska vattenverk, *Svenskt Vatten Utveckling rapport* 2009-05
- Malm, A., Axelsson, G., Barregard, L., Ljungqvist, J., Forsberg, B., Bergstedt, O., Pettersson, T. J.R. (2013). The association of drinking water treatment and distribution network disturbances with Health Call Centre contacts for gastrointestinal illness symptoms. *Water Research* 47 (13), 4474–4484.
- Malm, A., Pettersson, T.J.R., Bergstedt, O., (2010) Hälsomässiga kvalitetsstörningar i svenska vattenledningsnät. I *Proceedings den 7e Nordiska Drickvattenkonferensen*, Köpenhamn, 7–9 juni 97-101.

- Murray, R., Uber, J., Janke, R., 2006. Model for estimating acute health impacts from consumption of contaminated drinking water. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132 (4), 293–299.
- McInnis, D., Karney, B.W., 1995. Transients in distribution networks: field tests and demand models. *Journal of Hydraulic Engineering* 121 (3), 218–231.
- Nygård, K., Wahl, E., Krogh, T., Tveit, O.A., Bøhleng, E., Tverdal, A., Aavitsland, P., (2007) Breaks and maintenance work in the water distribution systems and gastrointestinal illness: a cohort study. *International Journal of Epidemiology* 36:873–880.
- Nygård, K., 2012. Personlig kommunikation 3.4.2012.
- Payment, P., Richardson, L., Siemiatycki, J., Dewar, R., Edwardes, M., Franco, E. (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(6), 703–708.
- Payment, P., Siemiatycki, J., Richardson, L., Gilles, R., Franco, E., Prevost, M. (1997) A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. *Int. J. Environ Health Res.* 7, 5–31.
- Pernevik, J. (2011) Göteborg Vatten, Personligt meddelande, 2011-08-10.
- Rimhanen-Finne, R., Hänninen, M.-L., Vuento, R., Laine, J., Jokiranta, T.S., Snellman, M., Pitkänen, T., Miettinen, I., Kuusi, M. (2010) Contaminated water caused the first outbreak of giardiasis in Finland, 2007: A descriptive study. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases* Volume 42, Issue 8, 613–619.
- Risebro, H.L., Doria, M.F., Andersson, Y., Medema, G., Osborn, K., Schlosser, O., Hunter, P.R. (2007) Fault tree analysis of the causes of waterborne outbreaks. *J. Wat. Health* 5 (Suppl 1), 1–18.
- Roy, S.L., Scallan, E., Beach, M.J., 2006. The rate of gastrointestinal illness in developed countries. *Journal of Water and Health* 04 (Suppl. 2), 31e69.
- Sægrov, S. (ed), 2005. Care-W Computer aided rehabilitation of water networks. IWA Publishing, 516 ISBN 1843390914, London, UK.
- Livsmedelsverket (2011) Föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten. Livsmedelsverket LIVSFS 2011:16
- Folkhälsomyndigheten (2012) <http://www.folkhalsomyndigheten.se/amnesomraden/beredskap/overvakning-och-rapportering/anmalningspliktiga-sjukdomar/> 2015-06-08.
- Sepehr, K., Goodrich, L.E., 1994. Frost protection of buried PVC water mains in Western Canada. *Canadian Geotechnical Journal* 31 (4), 491–501.
- Stenström, T.-A., Boisen, F., Georgsson, F., Lahti, K., Lund, V., Andersson, Y., Ormerod, K. (1994) Vattenburna infektioner i Norden. *TemaNord* 1994:585
- Svenskt Vatten (2001) Allmänna vattenledningsnät, anvisningar för utformning, förnyelse och beräkning. Svenskt Vatten Publikation P83.

- Svenskt Vatten (2012). Statistikdatabas VASS, www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Management/VASS/ 2012-03-20. Svenskt Vatten
- Svenskt Vatten (2014) Läcksökning på vattenledningsnät – Läckagekontroll och lokalisering av läckor. Svenskt Vattens publikation P107.
- Säve-Söderbergh, M., Malm, A., Dryselius R., Toljander, J. (2013) Mikrobiologiska risker vid dricksvattendistribution - översikt av händelser, driftstörningar, problem och rutiner. Livsmedelsverket, rapport 19/2013.
- Tinker, S.C., Moe, C.L., Klein, M., Flanders, W.D., Uber, J., Amirtharajah, A., Singer, P., Tolbert, P.E., 2009. Drinking water residence time in distribution networks and emergency department visits for gastrointestinal illness in Metro Atlanta, Georgia. *Journal of Water and Health* 7 (2), 332-343.
- VISK (2013) Handbok – hur man arbetar för att minska samhällets sårbarhet för vattenburen virusmitta trots förändrat klimat. ISBN 978-82-414-0341-5. http://visk.nu/wp-content/uploads/2013/07/VISK_handbok_2013_se.pdf.
- Wahlberg, A-C. (2004) Telephone advice nursing. Callers' perceptions, nurses' experience of problems and basis for assessments. PhD, Karolinska Institutet.
- Wahlberg, A-C., Wredling R. (1999) Telephone nursing: calls and caller satisfaction. *International, Journal of Nursing Practice*, 5: 164–170.
- Westrell, T., Bergstedt, O., Stenström, T.A., Ashbolt, N.J. (2003) A theoretical approach to assess microbial risks due to failure in drinking water systems. *Int. J. Env. Health Res.* 13, 181-197
- WHO (2011) Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth edition, World Health Organization, Geneva.
- Yang, J., LeChevallier, M.W., Teunis, P.F.M., Xu, M., 2011. Managing risks from virus intrusion into water distribution systems due to pressure transients. *Journal of Water and Health* 9 (2), 291–305.
- Åström, J., Bergstedt, O., Sokolova, E., Kjellberg, I., Pettersson, T., Borell-Lövstedt, C., Karlsson, A., Wennberg, C. (2011) Värdering av risker för en relativt opåverkad ytvattentäkt – modellering av Rådasjön med stöd av inaktiveringsstudier och mikrobiell källspårning. Svenskt Vatten Utveckling, Rapportnummer: 2011-18



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