

Hur kan GIS-modellering utgöra ett stöd för mikrobiell riskvärdering?

Av Johan Åström

Johan Åström är anställd som tekn dr på det svenska konsultföretaget Tyréns AB.

Inlägg på seminar i Norsk vannforening 30. januari 2013.

Sammanfattning

Det omfattande vattenburna utbrottet av *Cryptosporidium* i Östersund 2010-2011 ställer krav på bättre analysverktyg för att bedöma uppkomst och spridning av parasiter i ytvattentäkter. Konsultföretaget Tyréns AB har samarbetat med Trollhättan Energi AB och Miljö och Hälsa i Östersund med att utreda hur geografiska informationssystem (GIS) kan användas i detta sammanhang. Genom litteraturstudium har sju olika GIS-relaterade hydrologiska modeller jämförts, bland annat avseende spridningskällor, riskfaktorer och typ av resultat. Vidare har en sammanställning gjorts av studier avseende prevalens och utsöndringshalt av *Cryptosporidium* och *Giardia* hos däggdjur och fåglar som förekommer i våra avrinningsområden. Det bedöms finnas god tillgång till GIS-data lokalt och nationellt och båda kommunerna uttryckte ett intresse för modellering som en fördjupande analys, exempelvis vid upprättande av vattenskyddsområden. Nästa steg är att praktiskt utvärdera denna typ av modeller, och här kan den projektrapport som publiceras av Svenskt Vatten ge vägledning och dataunderlag.

Introduktion

Flera samverkande faktorer gör parasiterna *Cryptosporidium* och *Giardia* till en stor utmaning för

dricksvattenproducenter. De kan utsöndras från ett stort antal däggdjur och fåglar och åtskilliga arter av dessa parasiter kan orsaka infektion hos människor. Infekterade individer kan utsöndra miljontals parasiter per gram träck och parasiterna kan överleva flera månader i många vattenmiljöer. Att traditionell klorering vid vattenverk är verkningslöst, och att intag ett tiotal parasitäg (oocystor) av *Cryptosporidium* kan vara nog för att infektera en individ bidrar till risken. Efter de senare årens stora vattenburna parasitutbrott i Norden finns det skäl att ta risken med parasiter i råvattnet på stort allvar, särskilt för ytvattentäkter som saknar en naturlig avskiljande barriär. Det vattenburna utbrottet av *Cryptosporidium* i Östersund 2010-2011 rankas som det största parasitutbrottet i Europa i modern tid (SMI 2011), vilket understryker behovet av kraftfulla verktyg för att hantera parasitkällor i avrinningsområdet.

Mikrobiell riskvärdering kan vara en god hjälp i ett förebyggande arbete med att bedöma om dricksvattnet är hälsomässigt acceptabelt och vilka åtgärder som kan behöva genomföras i vattenverket såväl som uppströms råvattenintaget. Riskvärdering med metoderna Mikrobiell riskanalys (MRA) och God desinfektionspraxis (GDP) har genomförts i flera svenska kommuner de senaste fem åren. I avsaknad av lokala vattenanalysdata för råvattnet tillgrips ofta olika antaganden om patogenhalter och dess variation över

tid. Under rådande tidsmässig och ekonomisk press och för att vara på säkra sidan i beräkningen väljer man då gärna konservativa litteraturvärden, istället att fördjupa sig i lokala förhållanden kring topphändelser och bidragande föroreningskällor. En allmän uppfattning är att klimatförändringarna kommer att öka patogenhalterna i råvattnet generellt, eller åtminstone att topphalter kommer att bli vanligare. Detta vill man ta i beaktande vid mikrobiell riskvärdering, men det saknas en samlad förståelse för hur olika händelser och riskfaktorer påverkar. Ett viktigt steg i att förbättra underlaget för riskvärdering för såväl dagens situation som för framtiden, är att kartlägga spridningskällor för patogener i avrinningsområdet.

Information om vattentäcker och smittspridningskällor i miljön är i de flesta fall av geografisk karaktär. Geografiska informationssystem (GIS) med dess möjlighet till inmatning, lagring, bearbetning och presentation är i detta sammanhang ett verktyg som skulle kunna komma till större användning. GIS används redan i dagsläget, främst som ett system att elektroniskt hantera olika kartmaterial, men är även ett beräkningsverktyg för att utföra olika typer av modelleringar. Ett nytt tillämpningsområde skulle här kunna bli spridning av parasiter i vattentäcker. Svenskt Vatten Utveckling (SVU) beviljade våren 2012 medel till ett projekt med titeln "Känn ditt råvatten: GIS-stöd för prioritering av parasitkällor". Projektet har varit ett samarbete mellan Tyréns AB, Trollhättan Energi AB samt Miljö och Hälsa i Östersund och preliminära resultat presenterades vid en fagtreff i Oslo i januari 2013. Denna artikel utgör ett sammandrag av den rapport som inom kort publiceras i Svenskt Vatten Utvecklings rapportserie. För mer ingående referenser hänvisas läsaren till denna rapport (Åström 2013).

Syftet med projektet har varit att klargöra hur svenska kommuner skulle kunna använda GIS som ett stöd för att identifiera, prioritera och åtgärda parasitkällor i ytvattentäcker. En litteraturgenomgång har genomförts av studier på förekomst och utsöndringshalt av parasiter för nordiska förhållanden samt av GIS-modeller för

parasitspridning i ytvattentäcker. En översyn har gjorts av tillgången till underlagsdata. Vidare har relevansen av påträffade modeller och förutsättning för modellering bedömts för ytvattentäckerna i kommunerna Östersund och Trollhättan. Uppsättningen av parasitkällor förmodas vara likartad i norska kommuner, och i det följande har specifikt svenska detaljer utvikits.

Parasitspridning i ytvattentäcker

Parasiterna *Giardia* och *Cryptosporidium* kan genom sin förekomst hos ett stort antal däggdjur och fåglar spridas från såväl punktkällor som diffusa källor i en ytvattentäckt. Ytavrinning vid nederbörd är ofta en utlösande faktor till förhöjda patogenhalter i vattnet, då detta kan leda till såväl bräddningar från kommunala avloppssystem som avspolning av strandnära betesmark och stallgödsblad åkermark. Det finns flera studier där man genom tätare provtagning under kortare tidsförlopp visat hur halterna ökar och varierar under regnhändelser. Det finns även studier där vattenburna utbrott satts i samband med kraftig nederbörd och statistiskt säkerställda samband har redovisats för bland annat USA (Åström 2013).

Även om humanfekal påverkan kanske är den vanligast rapporterade orsaken till vattenburna utbrott, har diffusa utsläpp med animalfekal påverkan internationellt utpekats som en orsak till vattenburna utbrott (Hrudey & Hrudey 2004). Nötkreatur och får tilläts ofta beta nära vattendrag i Sverige och detta anses gynna den biologiska mångfalden, och det ökade intresset för hästar i Sverige har inneburit fler hästbetesmarker. Strandnära betesmarker liksom stallgödselspridning uppströms råvattenintag utgör samtidigt en potentiell patogenrisk som behöver bedömas. Fekal förorening från husdjur såsom katter och hundar kan även tillföras från hårdgjorda ytor via dagvattnet, liksom förorening från fåglar, råttor och möss där hänsyn behöver tas till utsöndringsmängder. I orörda avrinningsområden svarar vilda djur och fåglar för den huvudsakliga fekala påverkan.

GIS som analysverktøy for å prioritere patogenkällor

GIS kan användas som ett lokaliseringverktøy där spredningskällor från människor och dyr kan legges in og kommenteres i attribut-tabeller, men er även ett system med omfattende beräkningspotential. GIS-modeller har använts i mer än ett årtionde som ett verktøy att modellera spredningen av næringsämnen kväve og fosfor. Även spredningen av indikatorbakterier från olika områden har modellerats i ytvattentäkter med hjälp av GIS-modeller, men hittills har exempel saknats på modellering av patogener. Kistemann, Dangendorf og Exner (2001) skisserade redan 2001 hur GIS skulle kunna användas för att prioritera patogenkällor i en vattentäkt som ett underlag för mikrobiell riskanalys.

I figur 1 illustreras hur informasjon om klimat, punktkällor, diffusa källor, markanvändning og avrinningsområden kan sammanföras i GIS-miljö för att modellera spredningen av

Giardia og *Cryptosporidium* eller andra patogener. En handfull modeller som bygger på geografisk informasjon har utvecklats de senaste 15 åren för att bedöma patogenspredning från olika spredningskällor i ett avrinningsområde, og en sammanställning av sådana modeller presenteras längre fram i denna artikel. Modeller som omfatter både punktkällor og diffusa källor blir mer interessante än de som enbart tar med en viss typ av spredningskälla. För mikroorganismer som utsöndras av både dyr og människor, skulle GIS-baserade spredningsmodeller kunne ge informasjon för att fördela ansvarsbördan för åtgärder på ett korrekt sätt i ett vattenskyddsområde.

Cryptosporidium og *Giardia* og dess helsefare

Parasiterna *Cryptosporidium* og *Giardia* klassas som zoonoser, smittämnen som kan sprida infektion mellom ryggradsdyr og mennesker. WHO klassifiserer arterne *C. parvum* og *G. duodenalis*



Figur 1. Eksempel på geografisk informasjon om spredningskällor for *Giardia* og *Cryptosporidium* og hur denna kan sammanföras i GIS-miljö for spredningsmodellering i ytvattentäkter.

som högprioriterade vattenburna zoonoser, men det finns även arter och subtyper av *Cryptosporidium* och *Giardia* som inte kan orsaka infektion mellan ryggradsdjur och människor. Hos flera ryggradsdjur, främst däggdjur, kan både zoonotiska och icke-zoonotiska former förekomma, och ofta är artförekomst såväl som utsöndringshalt relaterat till ålder hos värdorganismen. Metodutvecklingen inom molekylärbiologi har på senare år ökat möjligheterna att bestämma den zoonotiska potentialen hos olika typer av *Cryptosporidium* och *Giardia*.

För *Cryptosporidium* har åtminstone nio arter rapporterats kunna infektera människa: *C. hominis*, *C. parvum*, *C. meleagridis*, *C. felis*, *C. canis*, *C. suis*, *C. muris*, *C. andersoni* samt *C. suis*-liknande, dessutom ett antal subtyper. Innan den molekylärbiologiskt baserade genotypningen slog igenom benämndes *C. hominis* för *C. parvum* typ II och man bör vara medveten om att förändringar i nomenklaturen förekommit under årens lopp. För *Giardia* är det arten *G. duodenalis*, som även går under namnen *G. lamblia* eller *G. intestinalis*, som potentiellt kan infektera människor. Det är subtyperna assemblage A och B hos *G. duodenalis* som infekterar människor och som också återfinns hos ett stort antal olika däggdjur.

Prevalens och utsöndringshalt hos olika värdorganismer

Eftersom enbart infekterade individer utsöndrar patogener blir andelen infekterade en viktig faktor att beakta för att bestämma härkomst och spridning i vattentäkter. Prevalens är den andel av en population av en värdorganism som har en infektion vid en viss tidpunkt, medan incidens anger andelen infekterade per år. Under perioden 2006 till 2010 rapporterades till Smittskyddsinstitutet i Sverige totalt ca 100 till 390 fall per år av infektion med *Cryptosporidium* spp. (kryptosporidios) och ca 1200 till 1500 fall per år av infektion med *Giardia* (giardiasis). Att giardiasis allmänt sett är vanligare än kryptosporidios hos befolkningen avspeglar sig i att *Giardia* spp. påvisats mer frekvent och i högre halter i avloppsvatten i Sverige. Vid en utbrottsituation kan förhållandena naturligtvis bli annorlunda.

I tabell 1 ges en sammanställning av antalet vetenskaplig publicerade studier på däggdjur i Norden som påträffades i litteraturgenomgången. Här anges prevalens som % positiva och i form av ett medianvärde i de fall flera studier genomförts. Nötkreatur är det däggdjur som är mest undersökt i Norden när det gäller prevalens. Under de senaste åren har exempelvis flera studier genomförts av *Cryptosporidium* hos mjölkdjur i Sverige. Den första var en nationell studie omfattande 50 gårdar i Götaland och Svealand (Silverlås *et al.* 2009). En uppföljande molekylärbiologisk analys av isolat från denna studie visade att den icke-zoonotiska arten *C. bovis* var den dominerande, medan *C. parvum* enbart kunde påvisas hos kalvar upp till två månaders ålder. I motsats till detta påvisade Langkjaer *et al.* (2007) den zoonotiska formen *C. parvum* (cattle genotype) i en studie på mjölkdjur i Danmark.

De studier som sammanfattats i tabell 1 ges en mer detaljerad redogörelse för i SVU-rapporten, med bland annat resultat från genotypning som pekar mot att många däggdjur utsöndrar parasiter i en form som inte kan infektera människor. Flera av studierna har genomförts under ledning av Lucy Robertson vid Norges veterinärhögskole i Oslo. Exempelvis har man där i en studie konstaterat att hos älg, kronhjort och rådjur förekom både *Cryptosporidium* spp. och *G. duodenalis*, medan enbart den senare förekom hos renar. I en genotypning av ett urval *Giardia*-isolat från älg och ren från denna studie visade det sig att alla tillhörde den potentiellt zoonotiska formen assemblage A. Även studierna på räv och varg, hund och katt samt ett par övriga däggdjur förtjänar att uppmärksammas. Några studier på vilda fåglar har så långt vi känner till ännu inte genomförts i Norden. Höns har nyligen konstaterats sprida den zoonotiska typen *C. meleagridis* på ett ekologiskt jordbruk i Sverige (Silverlås *et al.* 2012).

För spridningsmodellering krävs en kunskap även om utsöndringshalter, men de flesta studier genomförda i Norden saknar tyvärr uppgifter om detta. Undantagen är de studier som genomförts på mjölkdjur i Sverige av Charlotte Silverlås vid Sveriges Lantbruksuniversitet i

Djurslag	Ålder	Cryptosporidium, antal studier	% positiva, median	Giardia, antal studier	% positiva, median
Nötkreatur	Kalvar, mjölkdjur	7	45	3	29
	Ungdjur, mjölkdjur	2	27	1	43
	Vuxna, mjölkdjur	4	4,7	1	40
Nötkreatur	Kalvar, köttdjur	2	26	0	-
	Ungdjur, köttdjur	2	24	0	-
	Vuxna, köttdjur	2	40	0	-
Hästar	Årsgammal	1	0,0	1	9,5
Grisar	Griskultingar	1	6,0	1	3,0
Grisar	Avvanda smågrisar	1	71	1	38
Grisar	Suggor	1	4,0	1	4,0
Får	Lamm	2	13	3	21
Får	Tackor	1	0,0	1	28
Getter	Killingar	1	0,0	1	5,6
Getter	Vuxna	1	0,0	1	18
Rödräv	Unga och vuxna	1	2,2	1	4,8
Älg	Kalvar, ettåringar, vuxna	1	3,3	1	12
Kronhjort	Kalvar, ettåringar, vuxna	1	0,3	1	1,7
Rådjur	Kalvar, ettåringar, vuxna	1	6,2	1	16
Ren	Kalvar, ettåringar, vuxna	1	0	1	0,0
Hundar	Unga hundar	1	44	1	21
Hundar	Varierande ålder	1	5	1	5,0
Katter	Varierande ålder	0	-	1	3,2

Tabell 1. Vetenskapliga studier i Norden av *Cryptosporidium* spp. och *Giardia* spp. hos olika djurslag. För detaljer se Åström (2013).

Uppsala, samt enstaka studier i Danmark. Ferguson, Charles och Deere (2009) har sammanställt studier från främst Storbritannien, USA, Kanada och Australien där även uppgifter om utsöndringshalt i form av (oo)cystor per gram träck har redovisats.

GIS-modeller för parasitspridning i ytvattentäcker

Genom litteratursökning har sju modeller för patogenspridning från olika spridningskällor inom ytavrinningsområden påträffats; modeller där geografisk information i någon mån används för att beskriva generering och spridning av

Giardia och *Cryptosporidium* i ytvattentäcker. Dessa modeller, här benämnda A till G, sammanfattas i det följande:

- A. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) är en modell för att beskriva spridning från punktkällor och diffusa källor och som omfattar hydrologi, meteorologi, erosion, växtlighet, näringsämnen, pesticider, patogener, markförvaltning och transport i vatten. Coffey *et al.* (2010) använde SWAT för att modellera spridningen av *Cryptosporidium* i ett avrinningsområde på Irland.
- B. Ferguson *et al.* (2007) publicerade en processbaserad modell för mikrobiell belast-

- ning med tillämpning i Sydneys avrinningsområde. Med modellen beräknas generering och spridning av *E. coli*, *Cryptosporidium* och *Giardia* under torrväder, mellanväder och våtväder. Modellen omfattar fem moduler: hydrologi, markanvändning, reningsverk, enskilda avlopp samt transport i vattendrag.
- C. Dorner *et al.* (2006) utvecklade en modell för att beräkna inaktivering och transport genom mark och vatten av *E. coli* samt *Cryptosporidium* och *Giardia* m.fl. patogener. Spridningsmodellen WATFLOOD, som utvecklats främst för näringsämnen, utökades till att omfatta inaktivering och transport av patogener. Modellen sattes upp för ett avrinningsområde i Ontario, Kanada.
- D. I en studie i Nederländerna använde Medema och Schijven (2001) modellerna PROMISE och WATNAT för att beräkna spridningen av *Cryptosporidium* och *Giardia* från avloppsutsläpp längs floderna Rhen och Meuse. Årlig utsläppsmängd beräknades utifrån utsöndring av (oo)cystor, antal invånare och avskiljning på avloppsreningsverk.
- E. Den globala spridningen till ytvatten av *Cryptosporidium* modellerades av Hofstra *et al.* (2013), som redovisar tillskottet från punktkällor och diffusa källor på en världskarta. En spridningsmodell för näringsämnen ligger till grund för modellen, med antaganden om att härkomst och transport i miljön är likartad för parasiter och näringsämnen.
- F. Samadder *et al.* (2010) modellerade tillskottet av *C. parvum* från nötkreatur utifrån markanvändning, nederbörd, jordslag, marklutning, evapotranspiration samt avstånd till vattendrag. Ett mindre avrinningsområde på nordöstra delen av Irland dominerat av jordbruksmark beskrevs i modellen.
- G. En transportmodell för *Cryptosporidium* upprättades för avrinningsområdet Catskill-Delaware utanför New York av Walker och Stedinger (1999). En hydrologisk modell för beräkning av ytavrinning från jordbruk ingick i modellen, där hänsyn togs till markanvändning, snömängd, evapotranspiration, flödestransport samt säsongsvariation.

I projektet gjordes en innehållsmässig jämförelse av dessa modeller, och ett utdrag från denna jämförelse ges i tabell 2. Flest spridningskällor finns medtagna i de ovan beskrivna modellerna A och B. Modell C omfattar enbart animala spridningskällor medan modell D enbart har med humana spridningskällor i form av kommunala avloppssystem. Ett stort antal riskfaktorer och spridningsmekanismer finns medtagna och flest i modell A och B, exempelvis faktorer som har att göra med transport och inaktivering. Alla modeller utom F använder i någon mån en befintlig hydrologisk modell för att beskriva hur klimatförhållanden påverkar den mikrobiella spridningen.

Det resultat som ges från de flesta modellerna är belastningen, dvs. antalet parasiter som sprids från ett område per tidsenhet. Halter i vattnet vid en specifik geografisk lokalisering, såsom vid ett råvattenintag, kan enbart beräknas genom modellerna A, C, D och G. Sådan information är relevant dels för validering gentemot vattenanalyser och dels som indata till MRA eller motsvarande riskanalys. Inte heller är det möjligt i alla modeller att få information om det relativa tillskottet från olika spridningskällor. Denna information, som kan vara direkt vägledande för åtgärdsbeslut, tillhandahålls tydligast genom modell A och C. En annan värdefull funktion vid modellering är känslighetsanalys, vilket kan ge en inblick i hur variation i olika parametrar påverkar variationen i slutresultatet. Endast för modell A, B och E redovisas någon typ av känslighetsanalys. Det bör också påpekas att modellerna bygger på deterministiska beräkningar, även om det i modell C och G finns probabilistiska inslag i vissa beräkningssked.

Den praktiska användbarheten av dessa modeller för dricksvattenproducenter i svenska kommuner påverkas naturligtvis i hög grad av vilken programvara modellen tillhandahålls i. Enbart modell A kan sättas upp i klassisk GIS-miljö och finns som en applikation till ArcGIS. Denna applikation, benämnd ArcSWAT, är gratis att ladda ner och modellen har redan tidigare används i Sverige för att beräkna transport av näringsämnen. För modell B till G bedöms ett

Innehåll och egenskaper	Modellbeteckning						
	A	B	C	D	E	F	G
Spridningskällor							
Avloppsreningsverk	x	x		x	x		x
Bräddavlopp	(x)	x		x			
Nöдавlopp	(x)	(x)		x			
Enskilda avlopp	(x)	x			(x)		
Nötkreatur	x	x	x		x	x	
Får och annan boskap	x	x	x		x		
Vilda djur	(x)	x	x				
Fåglar	(x)		x				
Stallgödselspridning	x					x	x
Justerbart i modellen	x	x?	x				
Risikofaktorer och spridningsmekanismer							
Antal spridningskällor	x	x	x		x		
Reningsgrad avloppsreningsverk	x	x		x	x		
Typ av avloppsreningsverk	(x)			x	x		
Andel enskilda avlopp (EA)	x	x			(x)		
EA undermålig avskiljning	x						
EA utsläpp direkt vattendrag		x					
Inbindning till fekalier/jord	x	x	(x)		(x)		
Andel som lösgörs från gödsel		x					x
Gödselålderns betydelse							x
Direktsläpp i vatten		x					
Marklutning	x				x	x	
Avstånd till vattendrag	(x)	(x)				x	
Transport ovan mark	x	x	x		x		x
Transport under mark	x		x				
Transport i vatten	x	x	x	x			x
Sedimentering i vatten		x	x	(x)			
Inaktivering i fekalier/jord	x	x					x
Inaktivering under mark	x						
Inaktivering i sediment	x						
Inaktivering i vatten	x	x	x	x			
Inaktiveringens temperaturberoende	x						x
Typ av modellresultat							
Belastning per område	x	x	x	x		x	
Belastning per spridningskälla	x	(x)	x	(x)	(x)	(x)	
Händelsekategorier		x					
Råvattenhalt	x		x	x			x
Råvattenhalt i tidsserier	x		x				
Säsongsvariationer	x		x	x		x	x
Belastning per år				x	x		
Känslighetsanalys redovisad	x	x			x	(x)	

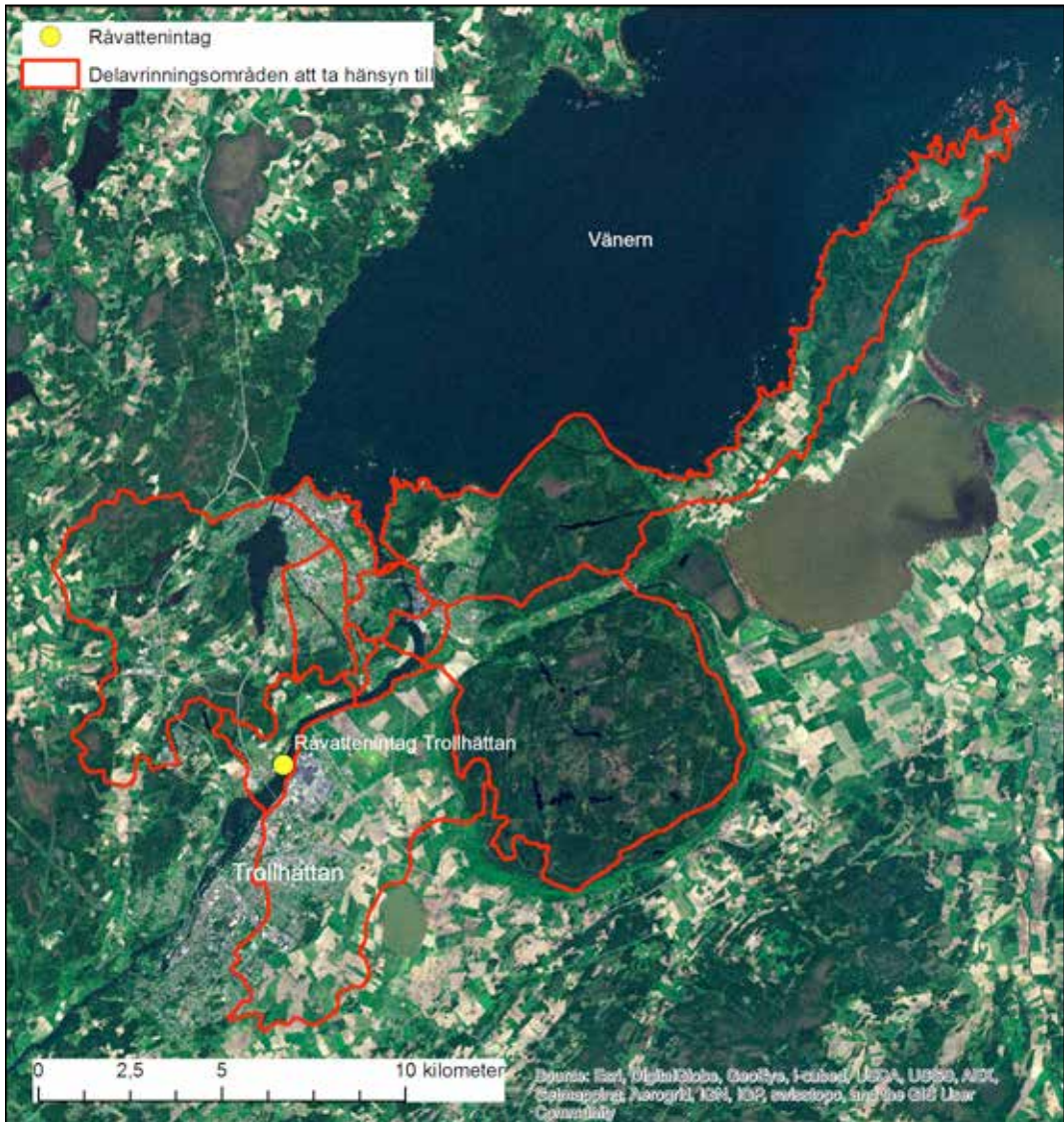
Tabell 2. Jämförelse av modellerna A till G där GIS-data till någon del använts för att beräkna spridning av *Cryptosporidium* och *Giardia* i ytvattentäkter (för modellreferens se artikeltexten).

arbeide krævas for att sætta upp dem i en læmblig programvara.

Førutsætninger for GIS-modellering i två kommuner

Førutsætningarna for modellering diskuteras for ytvattentåkerne i Trollhåttan och Östersund, två ståder av likartad storlek i væstra respektive norra Sverige. Trollhåttan Energi AB ær ansvarig for produksjonen dricksvattnet vid Överby

Vattenverk, varifrån 50 000 personer försörjs med dricksvatten. Eftersom Överby vattenverk ligger direkt vid kommungrænsen förvæntas den främsta fekala påverkan komma från Vænersborgs kommun strax uppstrøms. Ett kommunalt avloppsreningsverk, bråddpunkter, enskilda avlopp samt tømning av latrin från båtar ær möjliga humanfekala källor. Djurhållningen længs sōdra Vænern utgør en diffus källa till fekal påverkan.



Figur 2. Satellitbild over Trollhåttan med ett urval delavrinningsområden där aktiviteter potensielt påverkar patogenhalterna i råvattnet vid Överby vattenverk.

Från Trollhättan uttrycktes ett stort intresse för dessa typer av GIS-modeller. Ett examensarbete påbörjades därför i början av året för modellering av *E. coli* och *Cryptosporidium* med modell A för ett urval delavrinningsområden, figur 2. Under senare år har nästan inga parasiter påvisats i råvattnet, och man är därmed hänvisad till att validera modellen utifrån indikatorbakterien *E. coli*.

Från Östersunds kommun deltog Miljö och hälsa i projektet som har lokalt tillsynsansvar för dricksvattnet. Östersund har omkring 60 000 invånare med Storsjön som råvattentäkt. Sedan några år pågår framtagande av nytt vattenskyddsområde och ett förslag till vattenskyddsföreskrifter låg för samråd då *Cryptosporidium*-utbrottet inträffade i december 2010. I förslaget fanns inte parasitsmitta omnämnd ens som en tänkbar risk, vilket visar att ett vattenskyddsområde inte utan vidare ger ett tillräckligt hälsoskydd. Med utgångspunkt i erfarenheterna från utbrottet presenterade Östersunds kommun gångna vinterhalvåret en plan för den långsiktiga vatten- och avloppsförsörjningen.

Fekala källor uppströms Minnesgårdets vattenverk är avloppsreningsverk och ett antal dagvattenutlopp. På Frösön som ligger i Storsjön finns jordbruk och stallgödsel sprids för vallodling i begränsad omfattning. I utredningen efter utbrottet framfördes som trolig smittkälla en förorenad bäck. Det visade sig att en ledning avsedd för dagvatten innehöll avloppsvatten från en flerfamiljsfastighet (SMI 2011). Flera enskilda avlopp omgärdar Storsjön och uppströms längs Indalsälven ligger skidorten Åre, där befolkningens säsongsvariation innebär påfrestningar på avloppssystemet med bräddningar som följd.

Det konstaterades att transporten och uppehållstiden i Storsjön torde vara av stor betydelse för parasithalterna vid råvattenintaget. Ingen av GIS-modellerna innehåller en hydraulisk modellering som ger en rättvisande beskrivning av transportförhållandena i sjön, vilka kompliceras av den snabba vattenregleringen av Indalsälven. Det bedöms ändå intressant och angeläget att beskriva tillskotten från olika delavrinningsområden, främst kring Brunflovisen och här skulle

man kunna överväga att kombinera någon av GIS-modellerna med en hydrodynamisk modell för Storsjön.

Konklusioner och vidare arbeten

- Ett antal studier på förekomst (prevalens) och utsöndringshalt av *Cryptosporidium* och *Giardia* hos däggdjur och fåglar har genomförts under senare år i Norden och i Nordamerika. Även om frågetecken kvarstår bedöms detta utgöra ett relevant underlag för spridningsmodellering av parasiter i ytvattentäkter.
- De studier där genotypning utförts pekar mot att många däggdjur utsöndrar parasiter i en form som inte kan infektera människor. Med ytterligare data om art och subtyp skulle en modell kunna begränsas till enbart de arter som kan infektera människor.
- Sju GIS-relaterade hydrologiska modeller för att beskriva generering och spridning av *Cryptosporidium* och *Giardia* i ytvattentäkter har kommenterats och jämförts i projektet. Den modell som förefaller vara mest relevant och lättillgänglig för svenska förhållanden är baserad på SWAT (Soil and Water Assessment Tool).
- Den sammanställning som gjorts av underlagsdata för dessa GIS-modeller, lokalt och nationellt, indikerar en god tillgång till dataunderlag i lämpligt dataformat. I rapporten från projektet redovisas informationskanal, format och tillgänglighet på olika data.
- Denna typ av GIS-modellering kan ingå som en fördjupande analys vid upprättande av vattenskyddsområden eller genomföras på regional nivå för att bedöma parasitspridning inom ett avrinningsområde. I projektet föreföll intresse för angreppssättet vara stort i Trollhättans och Östersunds kommun.
- Nästa fas i detta projekt är att implementera några av de GIS-modeller för parasitspridning som identifierats i detta projekt. Pågående forskning i Sverige och Norden kan bidra med indata och bättre valideringsmöjligheter.

Referanser

- Coffey, R., Cummings, E., Bhreathnach, N., O'Flaherty, V. & Cormican, M. (2010) Development of a pathogen transport model for Irish catchments using SWAT. *Journal of Agricultural Water Management*, vol. 97: 1, ss. 101-11.
- Dorner, S. M., Anderson, W. B., Slawson, R. M., Kouwen, N. & Huck, P. M. (2006) Hydrologic modeling of pathogen fate and transport. *Environmental Science and Technology*, vol. 40: 15, ss. 4746-53.
- Ferguson, C. M., Croke, B. F., Beatson, P. J., Ashbolt, N. J. & Deere, D. A. (2007) Development of a process-based model to predict pathogen budgets for the Sydney drinking water catchment. *Journal of Water and Health*, vol. 5: 2, ss. 187-208.
- Ferguson, C. M., Charles, K. & Deere, D. A. (2009) Quantification of Microbial Sources in Drinking-Water Catchments. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 39: 1, ss. 1-40.
- Hofstra, N., Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W. & Medema, G. J. (2013) Exploring global Cryptosporidium emissions to surface water. *Science of the Total Environment*, vol. 442: 10-19.
- Hrudey, S. E. & Hrudey, E. J. (2004) *Safe drinking water. Lessons from recent outbreaks in affluent nations* IWA Publishing, London.
- Kistemann, T., Dangendorf, F. & Exner, M. (2001) A Geographical Information System (GIS) as a tool for microbial risk assessment in catchment areas of drinking water reservoirs. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 203: 3, ss. 225-33.
- Langkjaer, R. B., Vigre, H., Enemark, H. L. & Maddox-Hyttel, C. (2007) Molecular and phylogenetic characterization of Cryptosporidium and Giardia from pigs and cattle in Denmark. *Parasitology*, vol. 134: 3, ss. 339-50.
- Medema, G. J. & Schijven, J. F. (2001) Modelling the sewage discharge and dispersion of Cryptosporidium and Giardia in surface water. *Water Res*, vol. 35: 18, ss. 4307-16.
- Samadder, S. R., Ziegler, P., Murphy, T. M. & Holden, N. M. (2010) Spatial Distribution of Risk Factors for Cryptosporidium Spp. Transport in an Irish Catchment. *Water Environment Research*, vol. 82: 8, ss. 750-58.
- Silverlås, C., Emanuelson, U., de Verdier, K. & Björkman, C. (2009) Prevalence and associated management factors of Cryptosporidium shedding in 50 Swedish dairy herds. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 90: 3-4, ss. 242-53.
- Silverlås, C., Mattsson, J. G., Insulander, M. & Lebbad, M. (2012) Zoonotic transmission of Cryptosporidium meleagridis on an organic Swedish farm. *International Journal for Parasitology*, vol. 42: 11, ss. 963-67.
- SMI (2011) *Cryptosporidium i Östersund. Smittskyddsinstutets arbete med det dricksvattenburna utbrottet i Östersund 2010-2011*. Smittskyddsinstutets rapportserie, november 2011. Stockholm. Smittskyddsinstutet.
- Walker, F. R., Jr. & Stedinger, J. R. (1999) Fate and transport model of Cryptosporidium. *Journal of Environmental Engineering*, vol. 125: 4, ss. 325-33.
- Åström, J. (2013) *Geografiska informationssystem för analys av parasitkällor i ytvattentäkter*. Svenskt Vatten Utveckling, rapport i tryck. Tillgänglig: <<http://vav.griffel.net/vav.htm>>. Stockholm. Svenskt Vatten: 60.