

Mastergradsoppgave

Hilde Forberg Andersen

Er Norsjø en tilstrekkelig
barriere mot parasitter
for Steinsvika vannverk?



Høgskolen i Telemark

Fakultet for allmennvitenskapelige fag

Er Norsjø en tilstrekkelig barriere mot parasitter for Steinsvika vannverk?

Hilde Forberg Andersen



Høgskolen i Telemark
Avdeling for allmennvitenskapelige fag
Institutt for natur helse og miljøvern fag
Hallvard Eikas plass
3800 Bø i Telemark

<http://www.hit.no>

Denne avhandlingen representerer 60 studiepoeng

© Rettigheter etter lov om åndsverksloven: Hilde Forberg Andersen

Trykket ved høgskolens kopisenter i Bø.

Forsidefoto: Tom Riis, 2012

Forord

Oppgaven er en del av masterstudiet i Natur-, helse- og miljøvern, ved Høgskolen i Telemark, Bø. Arbeidet tilsvarer 60 studiepoeng, og er utført i perioden september 2011 til mars 2013.

Veiledere under oppgaven har vært Gunnar Mosevoll, virksomhetsleder for vann og avløp i Skien kommune, og Harald Klempe, førsteamanuensis ved allmennfaglig avdeling, institutt for natur, helse og miljøvern ved Høgskolen i Telemark i Bø. Førstnevnte har også vært oppdragsgiver. Begge skal ha stor takk for alle bidrag. En takk også til landsbruksavdelingen hos fylkesmannen i Telemark, for data om husdyr i Telemark. Per Arne Moen fortjener sist men ikke minst en stor takk for sin innsats på hjemmefronten mens undertegnede har skrevet oppgave.

Hilde Forberg Andersen

4.3.2013, Porsgrunn

Innholdsfortegnelse

FORORD.....	3
INNHOLDSFORTEGNELSE	4
ORDLISTE.....	6
SAMMENDRAG.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INNLEDNING.....	9
1.1 GENERELT	9
1.2 PROBLEMSTILLING.....	10
1.3 MÅLSETTING.....	11
2 BAKGRUNN	12
2.1 TIDLIGERE UTBRUDD.....	12
2.1.1 <i>Cryptosporidiose i Milwaukee 1993</i>	12
2.1.2 <i>Giardiose i Bergen høsten 2004</i>	13
2.1.3 <i>Cryptosporidiose i Östersund november 2010</i>	14
2.1.4 <i>Cryptosporidiose i Skellefteå april 2011</i>	15
2.2 GENERELT OM PARASITTENE.....	15
2.2.1 <i>Cryptosporidium</i>	15
2.2.2 <i>Giardia</i>	17
2.2.3 <i>Infektiv dose</i>	19
2.2.4 <i>Smittestoffutskillelse</i>	20
2.2.5 <i>Parasittenes overlevelse i miljøet</i>	22
2.2.6 <i>Forekomst av Crypto og Giardia i vannkilder</i>	23
2.2.7 <i>Sporing av smittekilde</i>	23
2.3 VANLIGE SMITTEKILDER.....	24
2.3.1 <i>Menneskelig aktivitet</i>	24
2.3.2 <i>Husdyr og vilt</i>	26
2.4 HYGIENISKE BARRIERER MOT GIARDIA OG CRYPTOSPORIDIUM	27
2.4.1 <i>Naturlige barrierer</i>	28
2.4.2 <i>Tekniske barrierer</i>	28
2.5 KLIMAENDRINGER	30
3 OMRÅDEBESKRIVELSE	31
3.1 NORSJØ, BELIGGENHET OG HYDROLOGI	31
3.2 GEOLOGI.....	35
3.3 LANDSKAP	35
3.4 KLIMA.....	36
3.4.1 <i>Temperatur</i>	36
3.4.2 <i>Nedbør</i>	37
3.4.3 <i>Vind</i>	37
3.5 VEGETASJONSDEKKE	38
3.6 OMRÅDEAKTIVITET	39
3.6.1 <i>Bosetting</i>	39
3.6.2 <i>Landbruk og næringsliv</i>	40
3.6.3 <i>Transportårer</i>	40
4 VANNKVALITET I NORSJØ OG HYGIENISKE BARRIERER VED STEINSVIKA VANNVERK	41
4.1 VANNKVALITET I RÅVANN FRA NORSJØ.....	41
4.1.1 <i>Kjemisk-fysiske parametre</i>	41
4.1.2 <i>Hygieniske parametre</i>	43
4.1.3 <i>Prøvetaking av parasitter</i>	44
4.1.4 <i>Prøver av overflatevann</i>	45

4.2 LAGDELING OG VIPPING AV SPRANGSIKTET I NORSJØ	46
4.2.1 Forverret råvann ved andre forhold	47
4.3 KARAKTERISTISKE TREKK VED RÅVANNSKVALITETEN UNDER ULIKE ÅRSTIDER.....	48
4.3.1 Sommer – medio mai til september	48
4.3.2 Høst 1 – oktober, november	48
4.3.3 Høst 2 – desember	49
4.3.4 Vinter 1 – januar	49
4.3.5 Vinter 2 – februar til medio april.....	50
4.3.6 Vår – medio april til medio mai.....	50
4.4 HYGIENISKE BARRIERER VED STEINSVIKA VANNVERK.....	51
4.4.1 Naturlige barrierer	51
4.4.2 Tekniske barrierer.....	51
4.4.3 Reservevannkilder	53
5 SMITTEFARE VED STEINSVIKA VANNVERK.....	54
5.1 TILFØRSEL OG TRANSPORT AV (OO)CYSTER TIL RÅVANNSINNTAKET.....	54
5.1.1 Smittekilder og tilførsel av smittestoff i nedbørfeltet.....	54
5.1.2 Transport av smittestoff til Norsjø.....	56
5.1.3 Transport og fortynning i Norsjø.....	58
5.1.4 Transport og fortynning av (oo)cyster fra ned til vanninntaket.....	59
5.1.5 Frafall av parasitter	59
5.6 VARSLING AV UTBRUDD	59
6 DATA OG METODE.....	60
6.1 MODELLBEREGNING FOR SCENARIOER	60
6.1.1 Kontinuerlig tilførsel.....	60
6.1.2 Satsvis tilførsel.....	60
6.1.3 Vippemodell.....	61
6.2 GIS OG EXCEL	61
7 SCENARIOER	62
7.1 KONTINUERLIG TILFØRSEL.....	62
7.1.1 Scenario: 5000 personer.....	62
7.2 SATSVIS TILFØRSEL.....	63
7.2.1 Scenario: Syk jogger	63
7.2.2 Scenario: Elg	63
7.2.3 Scenario: Sprekk gjødsekkjeller fra kalvebesetning.....	64
7.2.4 Scenario: Lekkasje over ti dager fra pumpestasjon P567.....	64
8 RESULTAT	65
8.1 SCENARIOER.....	65
8.2 GIS OG EXCEL	65
9 DISKUSJON	66
9.1 SCENARIOER.....	66
9.1.1 Kontinuerlig smittestoffutskillelse med 5000 utskillere.....	66
9.1.2 Lokal og satsvis smittestofftilførsel	69
9.2 VANNKVALITET	69
9.3 HYGIENISKE BARRIERER.....	70
9.4 VARSLING.....	70
9.5 DRIFTS- OG VEDLIKEHOLDSSTRATEGI.....	71
10 KONKLUSJON.....	72
11 REFERANSER	73

Ordliste

<i>Bakgrunnsnivå</i>	Gjennomsnittlig konsentrasjon ved normale forhold i vassdraget
<i>Cryptosporidiosis</i>	Sykdom forårsaket av <i>Cryptosporidium</i> parasitter
<i>Detritus</i>	Dødt organisk stoff i form av partikler og organiske stoffer som er oppløst i vannet
<i>Enteropatogener</i>	Sykdomsfremkallende organismer i tarm
<i>Epidemi</i>	Sykdomsutbrudd som sprer seg raskt (I Danmark definert som utbrudd der sykdomstilfeller dobles på en uke)
<i>Fekal</i>	Stammer fra avføring
<i>Giardiasis/-ose?</i>	Sykdom forårsaket av <i>Giardiaparasitt</i>
<i>Intersepsjon</i>	Nedbør som fordamper før det når jorden eller bindes i vegetasjonen
<i>Maksimalutskiller</i>	Et individ som produserer rundt 10^{10} (oo)cyster per døgn.
<i>GIS</i>	Geografiske informasjonssystemer, bruk av digitale kart
<i>Gjennomsnittsutskiller</i>	Et individ som produserer gjennomsnittlig smittestoff
<i>ID50</i>	Infektiv Dose, eller mengde smittestoff som fører til at 50% i et utvalg utvikler symptomer
<i>Logreduksjon</i>	Benevnelse for renseeffekt der 1 logreduksjon = 90% reduksjon av patogener, 2 logred. = 99% reduksjon, 3 logred. = 99,9% osv.
<i>Nedbørfelt</i>	Område som dreneres av en gitt bekk, elv eller innsjø
<i>Overløp</i>	Urenset kloakkutslipp til resipient, vanlig ved nedbør
<i>Patogener</i>	Agenser som forårsaker sykdom, virus, bakterier, sopp eller parasitter
<i>PE</i>	Personenheter, enhet for mengde organisk materiale som tilføres avløp
<i>Prevalens</i>	Hvor mange individer i en spesiell gruppe har en spesiell tilstand eller sykdom
<i>Predasjon</i>	En organisme spiser en annen organisme
<i>Reservoar</i>	Symptomløse dyr el mennesker som skiller ut smittestoff
<i>Rentvann</i>	Behandlet vann ut fra vannverket
<i>Råvann</i>	Ubehandlet vann rett fra vannkilden
<i>Subklinisk</i>	Sykdom/smitte uten symptomer
<i>Tilsig</i>	Den mengden vann som samlet renner til et vassdrags totale nedbørfelt.
<i>Tilsigsområde</i>	Se nedbørfelt
<i>Transportlag</i>	Øverste lag i en innsjø, f.eks. over temperatursprangsjiktet
<i>Turbiditet</i>	Et mål på innhold av finpartikulært materiale, som gjør vannet uklart
<i>Zoonose</i>	Sykdom som kan smitte mellom mennesker og dyr

Sammendrag

Parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium* er identifisert i norske drikkevannskilder, og er funnet i avløpsvann fra mange renseanlegg. I Norge hadde man utbrudd med *Giardia* i 2004, og Sverige har hatt store utbrudd med *Cryptosporidium* i 2011, med til sammen nesten 50 000 syke.

Parasittmittestoffene, cyster og oocyster, (oo)cyster, er resistente mot mange former for vannbehandling. Kun få (oo)cyster skal til for å starte en infeksjon, og smitteevne i kaldt vann beholdes i flere måneder. Smittestoffene spres med avføring fra både mennesker og dyr. For å kunne smitte mennesker må smittestoffene være smittedyktige, og av en art som kan smitte mennesker (zoonotisk). Kartlegging av innhold av parasittene *Giardia* og *Cryptosporidium* i drikkevannskilder er kostbart og vanskelig. Dersom det finnes potensielle forurensingskilder i nedbørfeltet som kan gi betydelige forekomster av parasitter i råvannkilden, er det anbefalt å framstille et "verste fall" scenario og vurdere om barrierene klarer dette.

Innsjøen Norsjø i Telemark er drikkevannskilde for Skien kommune, ved Steinsvika vannverk. Til sammen ca. 50 000 personer får vann herfra. Nedbørfeltet er 10 388,42 km², og har ca. 48 000 innbyggere, vel 30 kommunale kloakkanlegg og mange husdyr. Ved kraftig høstvind fra nordvest eller sørøst forekommer vipping av sprangsjiktet, også kaldt indre bølger. Forurenset overflatevann kan da flytte seg raskt ned til 50-70 m dyp, og råvannskvaliteten reduseres. Samlet varighet av vippingene fra oktober til desember er 1-2 uker. Det er i andre innsjøer gjort flere simuleringer av forurensing av parasitter grunnet vår - eller høstsirkulasjon, men det er ikke funnet gode simuleringer ved vippinger. Sikker inaktivering av sykdomsfremkallende parasitter krever omfattende rensing av vann fra innsjøer og elver. Ved Steinsvika vannverk er det kun UV-behandling som anses som en tilfredsstillende teknisk, hygienisk barriere overfor parasitter, men vannverket har også ozonering og to hurtigfilteranlegg i serie, som bidrar til inaktivering av parasitter.

Ved utregning av gitte scenarioer med gitte forutsetninger ble det anslått at maksimal konsentrasjon ved råvanninntaket på 50 m ved kontinuerlig smittestofftilførsel kan bli 500 (oo)cyster/l. Da er det forutsatt av 5000 personer i nordre ende av Norsjø i en lengre periode. Ved satsvis tilførsel ble det i ifølge utregningene maksimalt 3,2 (oo)cyster/l. Selv om den høyeste konsentrasjonen trolig er vel høy, er det lite trolig at Norsjø kan regnes som en fullstendig hygienisk barriere, spesielt i den mest sårbare perioden om høsten, og delvis om våren. Vannverket bør derfor ha en driftstrategi der vedlikehold og bemanning er mest mulig forberedt på dårligere vannkvalitet i de aktuelle periodene, slik at de tekniske barrierene fungerer optimalt når det er størst fare for forurensing.

Abstract

Protozoan parasites *Giardia* and *Cryptosporidium* have been identified in Norwegian drinking water sources, as well as sewage water. There have been several large outbreaks in Norway and Sweden the last decade. Only a small number of infectious particles, called cysts or oocysts ((oo)cysts) is needed to start an infection. (Oo)cysts may survive in cold water for months and are resistant to many disinfectants. Infectious sources are feces of human and animals, first of all young cattle. To be infective to humans, the (oo)cysts have to be “alive”, and of a species capable of infecting humans. Mapping (oo)cyst content in water sources is expensive and difficult. If there are potential pollution sources in the catchment area of a drinking water source, one should model a worst-case scenario. By predicting the highest possible contamination, the technical barriers can be checked accordingly.

Norsjø lake is a drinking water source for Skien County, by Steinsvika waterworks. About 50 000 people live in the supply area. The catchment area is 10 388,42 km². It includes about 48 000 inhabitants, 30 sewage treatment plants, and abundant livestock. Internal seiches occur late autumn, which is the period of the worst water quality at the waterworks. There is done research that simulates parasite pollution at autumn or spring circulation period. Articles with simulations of parasite transport during internal seiches have not been found. Steinsvika waterworks uses UV-irradiation to inactivate parasites.

We created a simple model for worst-case parasite contamination. The result, expressed as maximal concentrations, was 543 (oo)cysts/l at the drinking water intake at 50 m depth, when modelling continuous pollution. In the batch supply model, the maximal concentration was 3,2 (oo)cysts/l.

Even though 543 (oo)cysts/l may not be realistic, it holds that Norsjø lake could not be counted for as a complete hygienic barrier, at least during seasons with known poorer water quality, in autumn and sometimes spring. Steinsvika waterwork should create an operational strategy of maintenance and staffing to prepare for these periods. The technical barriers must function optimally during these seasons to assure safe drinking water.

1 Innledning

1.1 Generelt

I Norge har drikkevannskvaliteten vært ansett for å være god, men sykdomsutbrudd forårsaket av forurenset drikkevann forekommer også her (Nygård, 2008). Smitte gjennom vannforsyningen vil kunne medføre hurtig spredning av sykdom, til store deler av befolkningen i forsyningsområder (FHI, 2004). De mest kjente vannrelaterte sykdommer fra tidligere tider, eller andre verdensdeler har vært kolera, dysenteri, tyfoid- /paratyfoidfeber, og hepatitt A (FHI, 2004).

I nyere tid er parasittene *Cryptosporidium* og *Giardia* identifisert i norske vannkilder. *Cryptosporidium* og *Giardia* er encella parasitter i gruppen protozoer. De er ulike morfologisk og taksonomisk, men omtales ofte under ett grunnet fellestrekk innen overføring og betydning for folkehelse (Gjerde & Robertson, 2005). *Cryptosporidium* og *Giardia* fører til diaré hos både mennesker og mange dyr, og store mengder av spesielle overføringsstadium kalt oocyster og cyster, heretter (oo)cyster, skilles ut med avføring. Kun få (oo)cyster skal til for å starte en infeksjon, og smitteevne i kaldt vann beholdes i flere måneder (Robertson & Gjerde, 2006a).

Vannbårne utbrudd skyldes ofte sammenfallende uheldige omstendigheter. Smittetilførsel kombinert med svikt i overvåking og-/ eller vannbehandling, er vanlige årsaker (Karanis *et al.*, 2007). Ved bruk av klor alene som desinfeksjon av drikkevann drepes virus og bakterier, men virkningen på (oo)cyster er minimal (Ødegaard *et al.*, 2009).

En stor innsjø med et godt beskyttet vanninntak kan fungere som en naturlig hindring mot smittestoff. Dype vanninntak har svakheter under vår- og høstomveltning pga. vind, strøm og turbulent diffusjon. Om høsten, ved en viss lagdeling, kan sprangsjiktet i lange, smale og dype innsjøer vippe når det blåser på langs. Fenomenet kalles også indre bølger. Dersom vippinger forekommer i en innsjø, kan forurenset overflatevann flyttes raskt ned mot dype vannmasser, i tilnærmet ufortynnet form (Berge, 2011).

Tjomsland *et al.* (2012) har simulert transport av parasittsmitestoff til dypvannsinntak under våromveltning, hvor forurenset overflatevann primært transporteres ned i dypet ved turbulent diffusjon, som er en relativt langsom prosess. Ved vippinger, eller indre bølger, kan

vertikal transport av parasittsmittestoff skje langt raskere (Hawkins *et al.*, 2000; Hodges *et al.*, 2000).

Det har ikke vært aktuelt i Norge å bruke overvåkning til å vurdere hvor god barriere en innsjø eller et vanninntak er i forhold til parasitter, da parasittundersøkelser er svært kostbart, og kontinuerlig overvåkning er nesten umulig. Det er også utfordrende å skille smittedyktige fra "døde" parasittsmittestoff. I stedet anvendes indikatororganismer til å vurdere hygienisk vannkvalitet. En optimal indikatororganisme bør finnes i rikelig mengde i all avføring, og overleve minst like lenge som smittestoffer i en vannresipient. En slik organisme finnes ikke, og negative funn av indikatororganismer betyr ikke fravær av patogener, da *Giardia* og *Cryptosporidium* har betraktelig lengre overlevelse (FHI, 2004).

Innsjøen Norsjø i Telemark er drikkevannskilde for Steinsvika vannverk i Skien kommune, og deler av Nome kommune. Til sammen ca. 50 000 personer får vann herfra. Nedbørfeltet har ca. 48 000 innbyggere, vel 30 kommunale kloakkanlegg og mange husdyr. Norsjø er lang, smal og dyp, og vipping av sprangsjiktet forekommer, spesielt om høsten. Berge *et al.* (2011) har utført en forurensingsanalyse av Maridalsvannet med nedbørfelt, men forholdene i nedbørfelt og i innsjøen er ulike Norsjø. Det er ikke funnet undersøkelser som simulerer hvordan parasittsmittestoff transporteres eller fortynnes under vipping av sprangsjiktet.

I desember 2001 kom det ny drikkevannsforskrift i Norge, der det for første gang ble stilt krav om tiltak mot parasitter. Norske vannverk skal ha to uavhengige barrierer som sikrer hygienisk god vannkvalitet (Mattilsynet, 2011). Vi må regne med at det forekommer patogene parasitter i norske innsjøer og elver. I 2004 ble planene for Steinsvika vannverk godkjent etter drikkevannsforskriften. Ut i fra den tids kunnskap ble inntak på 60 m dyp godkjent som én naturlig barriere mot parasitter.

1.2 Problemstilling

Selv om en vannkilde historisk sett har god vannkvalitet, sier det lite om hvor dårlig vannkvaliteten potensielt kan bli. Sikkerheten i vannkilden må derfor vurderes ut fra et mulig forurensingspotensiale, ikke bare fra sporadiske prøver eller bakgrunnsnivåer.

Det er uvisst om konsentrasjonen av parasitter ved råvannsinntaket i Steinsvika kan bli så høy at det utgjør en alvorlig, hygienisk fare, og om dypvannsinntaket er en tilstrekkelig naturlig barriere mot parasitter. Dersom vannverket kan bli utsatt for parasittforurensing, er det nyttig å vite om Skien kommune eventuelt kan varsles i forkant av forurensingen.

1.3 Målsetting

Målsettinga med dette arbeidet er å komme fram til en forenklet metode som kan anslå høyest mulig tilførsel av sykdomsfremkallende parasitter til vannkilden og råvannsinntaket på 50 m (blir 60 m i 2013). Dersom det viser seg at Steinsvika vannverk har mer sårbare perioder, kan man foreslå en drifts- og vedlikeholdsstrategi, slik at forebyggende tiltak kan tilpasses dette.

2 Bakgrunn

Siden 2000 har det skjedd en vridning mot skandinaviske land blant større vannbårne utbrudd i vesten. Robertson og Chalmers (2012) mener at dette kan skyldes kaldere temperaturer (med lengre overlevelse av smittestoff), mindre bekymring for mikrobiologisk forurensing, og bedre overvåking og utbruddsetterforskning. I dette kapitlet blir det gjennomgått eksempler på tidligere utbrudd (spesielt store, eller lignende bakgrunnsforhold) samt bakgrunnsinformasjon om parasittene (infektiv dose, utskillelse av smittestoff, overlevelse og forekomst i miljøet, sporing av smittestoff). Det skal også ses på mulige smittekilder og gis en enkel beskrivelse av hygieniske barrierer.

2.1 Tidligere utbrudd

2.1.1 Cryptosporidiose i Milwaukee 1993

Verdens største kjente parasittutbrudd skjedde i april 1993 i Milwaukee i Wisconsin, USA, fra vannkilden Lake Michigan. Over 403 000 mennesker ble infisert med *Cryptosporidium hominis* (MacKenzie *et al.*, 1994). 4400 ble innlagt på sykehus, og rundt 50 personer, de fleste eldre eller personer med nedsatt immunforsvar, døde som en følge av sykdommen (Hoxie *et al.*, 1997). *Cryptosporidium* ble etter hvert detektert i avføring fra flere syke, uten funn av andre enteropatogener. Det var økt turbiditet i drikkevannet, som kan indikere forurensing. Kokepåbud ble innført, og etter hvert ble det sørlige vannverket i byen stengt. Vannverket forsynte ca. 900 000 mennesker (MacKenzie *et al.*, 1994). Turbiditeten i behandlet vann økte fra tidlig mars og smitte har trolig pågått i ca. en måned før man oppdaget utbruddet. Det var negative funn av koliforme bakterier i behandlet vann under hele perioden, som trolig bidro til at forurensingen ikke ble oppdaget før (MacKenzie *et al.*, 1994).

Vannbehandlingen ved det aktuelle vannverket var felling med polyaluminiumklorid, sedimentering, rask sandfiltrering og klorering. Et apparat som skulle findosere koagulant til fellingen var feilinstallert og ikke i bruk. Spylevannet fra filtrene ble resirkulert i vannbehandlingen. Det har vist seg å kunne øke oocystekonsentrasjonen, og praksisen ble endret etter utbruddet (MacKenzie *et al.*, 1994). I tillegg fungerte ikke måleinstrumenter for kontinuerlig overvåking av turbiditet av filtrert vann, og ble kun lest av hver 8.time.

Isbiter laget under utbruddet inneholdt opptil 1,3 oocyster/10 l. Beregninger basert på antall syke og vannmengde konsumert, tyder på at de maksimale konsentrasjonene var langt høyere. Gjester ved vannverket som drakk mindre enn 240 ml ble også smittet, som bekrefter høy konsentrasjon av oocyster (MacKenzie *et al.*, 1994). Smittekilden er fortsatt ukjent. Storfe beitet langs to store elver med utløp til Lake Michigan. Andre kilder kan ha vært et slaktehus, eller et kloakkrenseanlegg med utløp i nærheten til vanninntaket. En periode med vårregn og snøsmelting kan ha økt tilrenningen av forurenset vann til kilden (MacKenzie *et al.*, 1994).

Kostnadsoverslag over medisinske utgifter og nedsatt produktivitet knyttet til utbruddet er beregnet til mellom 75 og 118 millioner dollar (Corso *et al.*, 2003). Andelen smittede av den totale befolkningen i Milwaukee-området varierte fra 25 til 52% avhengig av hvor i byen man bodde. Det var særlig den sørlige bydelen som fikk vann fra det aktuelle vannverket, som ble hardest rammet. Det ble konkludert med at verken vannbehandling, vannkvalitetsovervåkning eller prøvetaking av pasienter for *Cryptosporidium* fungerte tilfredsstillende (MacKenzie *et al.*, 1994).

2.1.2 Giardiose i Bergen høsten 2004

Bergen ble tidlig på høsten 2004 rammet av en epidemi med diaré og magekramper. Avføringsprøver ble først analysert med tanke på bakterier, med sprikende resultat. Fredag 29.oktober 2004 mottok Smittevernkontoret i Bergen en melding om et mulig utbrudd av giardiose. Meldingen var basert på 23 diagnostiserte tilfeller i løpet av de tre foregående ukene, som tilsvarer en normal årlig forekomst av parasitten i byen. De første ble syke medio august, det tok over to måneder å fastslå utbruddet (Johnsen *et al.*, 2005).

Intervjuer av smittede og kontrollgrupper viste at de fleste syke bodde eller hadde sitt daglige virke i forsyningsområdet til Svartediket Vannverk. I 2004 ble kun klor brukt til desinfeksjon av råvannet. Klorering dreper bakterier og de fleste virus, men ikke giardiacyster (Korich *et al.*, 1990). Kravet om to hygieniske barrierer var på dette tidspunktet ikke oppfylt. Ca. 48.000 personer var bosatt i et felles forsyningsområde tilhørende Svartediket og Tarlebø vannverk (Johnsen *et al.*, 2005). Tall fra 1998 tilsier at nærmere 3 millioner innbyggere i Norge fikk vann fra tilsvarende anlegg på dette tidspunktet. Etter funn av cyster i rentvannet innførtes offentlig kokeråd. Vannforsyningen fra Svartediket ble innskrenket, og UV-anlegg ble bestilt (Johnsen *et al.*, 2005).

Ifølge beregninger som Johnsen *et al.* (2005) har utført, må det ha vært på det meste opptil mer enn 20 cyster av *G.lamblia* per 10 liter i råvannet i Svartediket for at epidemien skulle få det aktuelle omfanget. Ved ettersyn av avløpsledninger i nedbørfeltet ble det oppdaget en lekkasje fra kloakkrør fra boliger i Tarlebøvei nordvest for Svartediket. Forurensingen har trolig fulgt vannstrømmen langsmed dammen, blitt blandet inn i de øverste meterne av innsjøens vannmasser, og dratt inn i råvannsinntaket (Johnsen *et al.*, 2005).

Flertallet syke tilhørte de mest sunnhets- og helseopptatte i samfunnet og drakk spesielt mye vann (Johnsen *et al.*, 2005). Nærmere 1400 personer fikk stilt diagnosen giardiose i Bergen, mens det reelle antall smittede trolig var 5000-6000 når man regner med dem som ikke kontaktet helsevesenet og friske smittebærere (Eikebrokk *et al.*, 2006). Dette er det største kjente utbruddet med vannbåren smitte som skyldes parasitter i Norge.

2.1.3 Cryptosporidiose i Östersund november 2010

I midten av november 2010 ble det oppdaget flere tilfeller av cryptosporidiuminfeksjon enn forventet i Jämtland. I slutten av november ble det konstatert at drikkevannet ikke kunne utelukkes som smittekilde, og det ble utstedt kokepåbud. Like etter fant man oocyster både i råvannet, rentvannet og i drikkevann på ledningsnett. *Cryptosporidium hominis*, subtype IbA10G2, ble for første gang i Sverige funnet både i vannprøver og i avføringsprøver fra smittede, og tyder på at utbruddet hadde én smittekilde (SMI, 2011b). Utbruddet er konstatert som det største så langt i Sverige, med et anslag på rundt 27 000 smittede (SMI, 2012a).

Den sannsynlige årsaken til utbruddet er at avløpsvann kom ut i Storsjön, som er vannkilden til Östersund. Under utredningen ble det funnet to feilkoblinger av avløp i flermannsboliger som utilsiktet ledet kloakk direkte ut i Storsjön via bekker, samt overløp i to punkt på avløpsnett. Mye regn i slutten av august medførte omfattende overløp av kloakkvann, men den eksakte årsaken er uklar (SMI, 2011b).

Minnesgårdets vattenverk i Östersund manglet behandlingsmetoder for å uskadeliggjøre oocyster i råvannet. Kokepåbudet varte totalt i 12 uker. For å sikre rent drikkevann ble det installert et UV-anlegg, og hele distribusjonssystemet ble gjennomspylt. Utbruddet fikk regional spredning da mange personer arbeider i Östersund, men bor i andre kommuner. Oocyster ble derfor spredt til andre vassdrag via utgående avløpsvann. Dette resulterte i at kokeforbud ble utstedt også for husholdninger tilknyttet andre vannverk i andre kommuner.

Vannverk over hele Sverige har gjennomgått barrierene etter utbruddet i Östersund (SMI, 2011b).

2.1.4 Cryptosporidiose i Skellefteå april 2011

I midten av april 2011 inntraff enda et stort vannbåret utbrudd. I Skellefteå antas at 20.000 mennesker ble smittet. Vann fra Abborrens vannverk ble mistenkt, uten at det ble funnet oocyster i råvannet eller rentvannet. Parasitten ble funnet i avføringsprøver fra mange syke, samt i avløpsvann. Fordi så mange ble smittet på kort tid, ble konklusjonen fra den epidemiologiske analysen at oocyster med stor sannsynlighet var spredt med drikkevann (svensktvatten.se). Prøver viste at det var samme art og subtype (*C. hominis*, IbA10G2) som i Östersundutbruddet. Det har ikke kunnet fastslås en epidemiologisk sammenheng mellom de to utbruddene (SMI, 2011b). I Sverige tilbys nå overvåkningsprogrammet "Känn ditt vatten", der råvannet filtreres, og filterne undersøkes for parasitter. Man tilbyr også overvåkning av kloakkvann.

2.2 Generelt om parasittene

Giardia og *Cryptosporidium* er to parasitter med viktige fellestrekk. Både *Giardia* og *Cryptosporidium* er avhengig av en vert i form av menneske eller dyr for å formere seg, smittestoff (cyster og oocyster respektivt, (oo)cyster) skilles ut i store mengder med avføring, de lever lenge i vann, og er motstandsdyktige mot mange former for vannbehandling. *C.parvum*, *C.hominis* og *G.intestinalis* er de viktigste vannbårne parasittene i industriland (Robertson & Gjerde, 2000). Noen arter er mer dyrespesifikke, men påvises iblant ved infeksjoner hos menneske (SMI, 2011a). Innen artene finnes ulike subtyper eller genotyper, som kan ha ulike egenskaper (Gjerde & Robertson, 2005).

Begge parasittene kan gi symptomløse infeksjoner med moderat utskillelse av smittestoff (Gjerde & Robertson, 2005), og er da svært vanskelig å oppdage. Funn av smittestoff i mange renseanlegg tyder på at antallet utskillere er større enn antallet som får stilt en diagnose med parasittene (Robertson *et al.*, 2006; Nygård *et al.*, 2003a; Nygård *et al.*, 2003b).

2.2.1 *Cryptosporidium*

Parasitten finnes hos nesten alle pattedyr og fugler, se tabell 1 (Hammes, 2009). Over 20 ulike arter er identifisert, hvorav noen er zoonotiske. Hos menneske forekommer fremst *C.parvum*, der smitte mellom dyr og menneske er helt fastslått, og *C.hominis*, som er spesifikk

for mennesker. *C.parvum* er en vanlig årsak til diaré hos unge kalver. Eldre dyr har gjerne smitte uten at symptomer vises, med parasittarter som ikke kan infektare mennesker (Robertson & Gjerde, 2000).

Tabell 1 Oversikt over vertsspekter for noen cryptosporidiumarter (Hamnes, 2009, med øvrige referanser).
Arter skravert i grått smitter trolig ikke mennesker.

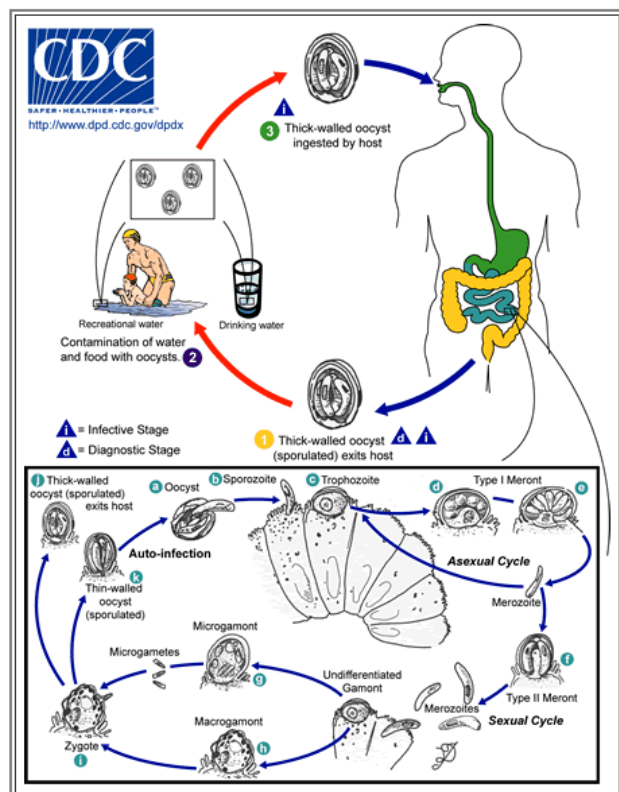
Art	Er påvist å forårsake infeksjon hos mennesker	Vanlige verter
<i>C.hominis</i>	Ja	Mennesker
<i>C.parvum</i>	Ja	Hovedsakelig drøvtyggere, storfe, andre husdyr, mennesker
<i>C.bovis</i>		Storfe
<i>C.andersoni</i>		Storfe
<i>C.felis</i>	Ja	Katter
<i>C.canis</i>	Ja	Hunder, rev
<i>C.suis</i>	Ja	Gris
<i>C.muris</i>	Ja	Gnagere
<i>C.bailey</i>	Ja	Høns
<i>C.meleagridis</i>	Ja	Fugler
<i>C.scopthalmi</i>		Fisk

Cryptosporidium har en direkte (enverts) livssyklus. Smitte skjer hovedsakelig ved inntak av sporulerte oocyster via munnen, gjennom fekalt forurenset vann eller matvarer. Menneske, storfe – spesielt kalver (Xiao *et al.* 2008 sitert i Hamnes, 2009) – lam og andre dyr kan være reservoarer (Hamnes, 2009). Smitte fra dyr eller mennesker gjennom indirekte kontakt kan også forekomme (SMI, 2011a). Eksempel på dette har trolig skjedd ved leirskoleopphold på Langedrag, da leirskoleelever ble smittet både i mars 2009 og i 2012 (Aftenposten, 2012).

Inkubasjonstiden er ca. 7 døgn, men varierer mellom 2 og 12 døgn (SMI, 2011a).

Symptomer varer fra et par dager til mange måneder avhengig av vertens immunstatus (Robertson & Gjerde, 2000). I tarmen frigjøres 4 sporozoiter fra oocysten, som først gjennomgår ukjønna formering, men etter få dager skjer kjønna formering på overflaten av tarmslimhinnen. Det blir dannet 4-6 µm store runde oocyster, som føres ut med avføringen

og er infektive når de forlater verten. Oocyster kan påvises i avføring 3-30 dager etter infeksjon (Robertson & Gjerde, 2005), se figur 1.



Figur 1 Livssyklus hos *Cryptosporidium*, kjønnen og ukjønnen formering

Hos personer med et normalt immunforsvar er symptomene forbigående vandig diaré med moderate øvrige symptomer med varighet fra et par dager til to uker. Diagnosen stilles ved påvisning av parasittene i avføringsprøver med immunfluorescens (IF). Det er foreløpig ingen tilfredsstillende behandling mot kryptosporidiose, og personer med nedsatt immunforsvar kan bli livstruende syke (Robertson & Gjerde, 2005).

2.2.2 Giardia

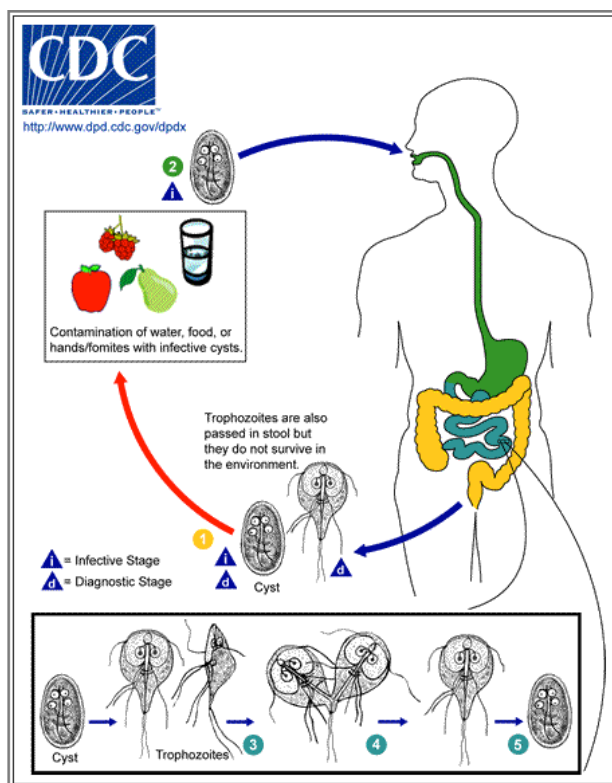
På verdensbasis er *Giardia* den hyppigst diagnostiserte tarmparasitten, og det er beregnet at 200 millioner har *Giardia* til enhver tid (Johnsen m.fl., 2005). Prevalensen i u-land er 20-30%, mens den i vestlige land er på 2-7% (Giardiasis, 2012). I Norge er giardiasis en meldepliktig sykdom. Med unntak av epidemien i Bergen i 2004 og over i 2005, har det vært vanlig med 200-400 innrapporterte tilfeller i året. Av disse er 80-90% meldt smittet utenlands. Det reelle antall syke er trolig langt høyere (Robertson *et al.*, 2009).

Parasitten finnes i avføringen til pattedyr, fugler, krypdyr og amfibier, se tabell 2. Blant husdyr er den vanlig blant hund og katt, men også storfe, sau, gris og hest (Robertson & Gjerde, 2000). Den humanpatogene arten har hatt flere navneskifter fra *G.lambliia*, til *G.intestinalis* og *G.duodenalis*, og de tre navnene brukes synonymt. Arten deles i gruppe A og B, som igjen deles inn i minst 7 undergrupper ved molekylærbiologiske metoder.

Tabell 2 Oversikt over vertsspekter for noen giardiaarter (Hammes, 2009 m.ref.). Varianter skravert i grått smitter trolig ikke mennesker.

Art	Genotype	Vanlige verter
<i>G.duodenalis</i>	A	Menneske, hund, katt, husdyr, gnagere og ville pattedyr
	B	Menneske, hund, hest, lam
	C	Hund, katt
	D	Hund, katt
	E	Storfe, får, gris, katt
	F	Katt
	G	Rotte
<i>G.muris</i>		Gnagere
<i>G.psittaci</i>		Fugler

Gruppe A og B har et bredt vertsspekter. Funn av den samme genotypen hos både mennesker og dyr er en sterk indikasjon på at genotypen er zoonotisk, men er ikke et endelig bevis (SMI, 2011a). De fem andre genotypene er hittil bare funnet i ett eller få dyreslag, og er trolig ikke i stand til å smitte mennesker (Gjerde & Robertson, 2005).



Figur 2 Livssyklus til *Giardia*, med ukjønnnet formering.

Giardia har en direkte (enverts) livssyklus. Cyster inneholder 2 trofozoiter som frigjøres i tarmen og starter ukjønnna formering. Trofozoiter som føres bakover i tarmen kapsler seg inn og blir til nye cyster, som deler seg ukjønnna i cysten. Det skiller ut 8-12 µm store ovale cyster som er infektive når de forlater verten, se figur 2.

Inkubasjonstid er 1-2 uker, med cyster i avføringen fra ca. 9 dager etter smitte (Gjerde & Robertson, 2005). Hos menneske kan *Giardia* føre til akutt eller kronisk tarmsykdom men også symptomfri infeksjon. Dette skyldes ulik immunitet hos verten og ulik virulens hos ulike genotyper

av parasitten. For akutt infeksjon er symptomene kvalme, tapt matlyst og etter hvert tyntflytende og illeluktende diaré. Varighet kan være fra dager til flere uker. I kronisk form opplever pasientene unormal tarmfunksjon og vekttap (Robertson & Gjerde, 2000).

Hos dyr kan giardiainfeksjoner være symptomfrie, eller gi vedvarende løs avføring, dårlig tilvekst eller vekttap (Robertson & Gjerde, 2000). Parasitten har høy prevalens hos unge dyr, og særlig kalver skiller ut store mengder smittestoff (Nydam *et al.*, 2001).

Diagnose skjer vanligvis ved påvisning i avføringsprøver ved mikroskopi. Det kan være vanskelig å stille sikker diagnose fordi utskillelsen av smittestoff skjer uregelmessig. For prøvetaking anbefales flere prøver over minst tre dager (Robertson & Gjerde, 2000). *Giardia* kan behandles med visse kjemoterapeutika, f.eks. metronidazol, albendazole eller fenbendazole (Thompson *et al.*, 1993 i Robertson & Gjerde, 2000).

2.2.3 Infektiv dose

For både *Cryptosporidium* og *Giardia* varierer infektiv dose (ID), dvs. den dosen som gir symptomer, avhengig av både parasittstamme og vertsfaktorer (Teunis *et al.*, 2002a og b). Mennesker og dyr som har vært smittet tidligere utvikler immunitet, og blir derfor mer motstandsdyktige mot parasitten. Det er trolig en grunn til at barn og unge dyr er mer disponert enn voksne ved eksponering av samme mengde smittestoff (Robertson *et al.*, 2009).

Tabell 3 Infektiv dose for mennesker

	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
ID ₅₀ for menneske i antall (oo)cyster	10-1000	35
Sannsynlighet for smitte ved én (oo)cyste	0,4 %	2%

Ifølge Teunis *et al.*, 2002a og b; Robertson *et al.*, 2009; Teunis *et al.*, 1996

I forsøk med ulike stammer av *C. parvum* ble det vist at ID₅₀ (dosen som medfører at 50% av forsøkspersonene blir syke) varierte fra 9 til 1042 oocyster. Andre forsøk har vist ID₅₀ på mellom 10 og 83 oocyster for *C.hominis* (Chappell *et al.*, 2006). ID₅₀ på 35 cyster foreslått for *G.intestinalis* (Robertson *et al.*, 2009), se tabell 3.

2.2.4 Smittestoffutskillelse

Et individ med cryptosporidiuminfeksjon kan være en "maksimalutskiller" som produserer rundt 10^{10} oocyster per døgn, men "gjennomsnittsutskiller" som skiller ut noe lavere mengde er trolig i flertall (I. Tryland, NIVA, pers. medd. juni 2012). Se tabell 4 for nærmere angivelse av oocysteutskillelse.

Tabell 4 Utskillelse av cryptosporidiumoocyster

Vertsdyr (avf/døgn)	"Maksimalutskiller" v/maks. avf.		"Gjennomsnittsutskiller" v/min. avf.	
	Oocyster/ døgn	Oocyster/g avf., omregnet til oocyster/døgn	Oocyster/ døgn	Oocyster/g avf. utregnet til oocyster/døgn
Menneske (0,1-0,2 kg, diaré: 0,5 kg)	10^{10}	$10^7/g \Rightarrow$ $5 \times 10^9/døgn$		$10^5/g \Rightarrow$ $10^6/døgn$
Kalv (1-5 kg)	$6,5 \times 10^9$	$10^8/g \Rightarrow$ $5 \times 10^{11}/døgn$		$500/g \Rightarrow$ $5 \times 10^6/døgn$
Ku (30-40 kg)		$847\ 152/g \Rightarrow$ $4,2 \times 10^9/døgn$		
Elg (ca. 50 kg)				$8/g \Rightarrow$ $4 \times 10^5/døgn$

Ifølge Gerba *et al.*, 2000; Nydam *et al.*, 2001; Robertson *et al.*, 2006b; Hamnes, 2008; Carmena, 2010; Berge *et al.*, 2011

Ved giardiainfeksjon kan utskillelse av smittestoff skje svært ujevnt, men total varighet av sykdom og smittestoffproduksjon kan være lang pga. varierende immunrespons (Nash, 1994 som sitert i Hamnes, 2009). For nærmere angivelse av cysteutskillelse, se tabell 5.

Tabell 5 Utskillelse av giardiacyster.

Vertsdyr (avf/døgn)	"Maksimalutskiller" v/maks. avf.		"Gjennomsnittsutskiller" v/min. avf.	
	Cyster/ døgn	Cyster/g avf., utregnet til cyster/døgn	Cyster/ døgn	Cyster/g avf. utregnet til cyster/døgn
Menneske (0,1-0,2 kg, v/diaré 0,5 kg)	10 ¹⁰ eller 10 ⁹ eller 9 x 10 ⁸	5 x 10 ⁶ /g => 2,5 x10 ⁹ /døgn		10 ⁶ /g => 10 ⁸ /døgn
Kalv (1-5 kg)		197 120/g => 9,9 x 10 ⁸ /døgn	6,3 x 10 ⁶	7431/g => 7,4 x 10 ⁶ /døgn
Elg (ca.50 kg)				15/g => 7,5 x 10 ⁵

Ifølge Thompson *et.al.*, 1993; Nydam *et al.*, 2001; Robertson *et al.*, 2006c; Hamnes, 2008; Carmena, 2010; Berge *et al.*, 2011

Erfaringer fra tidligere utbrudd viser at andelen syke som blir smittestoffutskiller i befolkningen varierer. Mange faktorer vil spille inn, som hvor mye vann man drikker og konsentrasjonen av smittestoff i drikkevannet. I Östersund ble 40 - 50 000 innbyggere forsynt med forurenset drikkevann, av disse ble ca. 27 000 syke (SMI, 2012a), dvs. nesten 70%, se tabell 6.

Tabell 6 Tidligere utbrudd og utbredelse inkludert prosentandel smittede

Utbrudd	Befolkning/ tilknyttet vannverk*	Antatt syke /smittede	Andel
Milwaukee <i>Cryptosporidium</i>	1,6 million ??	403 000	25% - 52%
Bergen <i>Giardia</i>	48000 (Tarlebø + SD)	6 000	12,5%
Östersund <i>Cryptosporidium</i>	50 000 /40 000	27 000	50% ??
Skellefteå <i>Cryptosporidium</i>	40 000	25 000	50 - %

Ifølge Eisenberg 1998; McKenzie 1994; Tveit et al, 2005; SMI, 2012a; Svenskt vatten, 2011

2.2.5 Parasittenes overlevelse i miljøet

Smittestoff fra *Cryptosporidium* og *Giardia* er mer robuste og overlever lengre i miljøet enn de fleste andre mikroorganismer, særlig i kaldt vann. Det er vist at en andel oocyster kan være smittedyktige i kaldt vann i opp til 6 måneder, og cyster opp til to måneder (Carmena, 2010). De har kortere overlevelse i miljø på land, da både tørke og gjentatte fryse- og tinesykluser tåles dårlig (Robertson *et al.*, 1992; Robertson & Gjerde, 2006).

Overlevelse hos crypto og giardia er undersøkt under norske forhold i flere forsøk. For å teste overlevelse i vandig miljø ble parasittsmittestoff i semipermeable beholdere lagt ut i en elv fra november til april (Robertson & Gjerde, 2006a). I perioden ble ingen av parasittene nedfrosset eller omgitt av is. Ingen levedyktige cyster ble påvist etter ca. én måned, og ingen levedyktige oocyster etter 23 uker.

Tabell 7 Overlevelse av (oo)cyster i en norsk elv vinterstid (11.11.2004 til 22.04.2005)

	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>
Siste prøve med tegn til levende (oo)cyster	29 dager (4 uker)	144 dager (20 uker)

Ifølge Robertson & Gjerde, 2006a

Andre forsøk har vist at bare 20-50% av oocyster og cyster respektivt er levende og infektive kort tid etter utskilling i feces, men med forskjell mellom ulike isolat (Robertson & Gjerde, 2004). Etter 3 uker i feces var nesten alle giardiacystene døde, mens 11% av et cryptosporidiumisolat fortsatt viste tegn til å være levende etter 2,5 måneder i feces. Smittestoff fra *Cryptosporidium* er generelt mer hardfør og langlivet enn fra *Giardia*, og blir i mindre grad negativt påvirket av ukjente faktorer i mediet de ligger i (Gjerde & Robertson, 2004).

Det er påvist at (oo)cyster har nedsatt levedyktighet ved varmere vanntemperaturer (King *et al.*, 2005). I et forsøk der oocyster ble oppbevart mellom 4° og 15°C, var overlevelsen minst 12 uker. Ved 20° C var overlevelsen redusert med -3,5 log. Årsaken er trolig at energiomsetningen i smittestoffet skjer raskere og brukes fortere opp ved høyere temperaturer (King *et al.*, 2005).

Inaktivering og reduksjon av (oo)cyster i innsjøer vil skje gjennom sedimentering, predasjon og UV-stråler i klart vann (Brookes *et al.*, 2003). Overlevelse vil også variere avhengig av art og genotype. Dette er vanskelig å kvantifisere, og for å si noe sikkert bør det undersøkes spesifikt i ulike typer tilførsler, og i de enkelte vannkilder (Ahlbom, 2011).

2.2.6 Forekomst av *Crypto* og *Giardia* i vannkilder

I Norge har *Giardia* og *Cryptosporidium* vist lavgradig, men utbredt kontaminasjon i drikkevannskilder. I 1998-1999 undersøkte man råvannet ved 147 norske vannverk (Robertson & Gjerde, 2000). Oocyster og/eller cyster ble funnet ved 47 vannverk, dvs. 32% av vannkildene. Konsentrasjonene varierte mellom 1 og 3 (oo)cyster per 10 l (Robertson & Gjerde, 2000). Tilsvarende undersøkelse ble gjort i 50 svenske vannkilder i 1996-1997, her var det funn av *Cryptosporidium* i 32% og *Giardia* i 26% av vannkildene (Hansen & Stenström, 1998). Konsentrasjonene varierte i gjennomsnitt mellom 8 og 15 (oo)cyster per 10 liter, se tabell 7.

Tabell 8 Andel vannkilder med positive funn for parasitter i Norge og Sverige, samt konsentrasjon

	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>	Konsentrasjon
Norge, 147 vannverk	24,5 %	18,5 %	1-3 (oo)cyster/l
Sverige, 50 vannkilder	32%	26%	8-15 (oo)cyster/l

Ifølge Hansen & Stenström, 1998; Robertson & Gjerde, 2000

I den norske undersøkelsen ble det vist signifikant sammenheng mellom høyere antall husdyr i nedbørfeltet og funn av *Cryptosporidium* og *Giardia*, men at parasittinnhold varierer over tid. På denne tiden manglet mange norske vannverk renseteknikk for å fjerne eller uskadeliggjøre parasittsmittestoffer, og funn av parasitter i undersøkelsen fra 2000 (Robertson & Gjerde) indikerer at det kan ha forekommet uoppdaget smitte via drikkevann før utbruddet i Bergen 2004.

2.2.7 Spring av smittekilde

De ulike giardia- eller cryptosporidiumparasittene (arter og genotyper) hos menneske og dyr er helt like mikroskopisk. Undertyping av parasitter gjøres med molekylære metoder som PCR, RFLP og sekvensering. Slik kan man sammenligne isolater fra miljøet med pasienter og eventuelt koble isolatene mot hverandre (SMI, 2011a).

Å finne årsakende agens i drikkevannet er alltid vanskelig med vannbåren smitte. Inkubasjonstid, samt tiden det tar å diagnostisere pasienter, gjør at forurensingen som forårsaket utbruddet ofte er forsvunnet, og ikke lengre kan påvises i drikkevannet (SMI, 2011a). En rask og sikker identifikasjon av agens i avføringsprøver fra pasientene kan gi viktig informasjon ved et mistenkt utbrudd, og vil kunne indikere hvem eller hva som har kontaminert drikkevannkilden (SMI, 2011b). Forskjellig vertsspekter hos de ulike undertypene gir ulike muligheter for overføringsveier i naturen (Gjerde & Robertson, 2005).

2.3 Vanlige smitekilder

For å kunne smitte mennesker må (oo)cyster i drikkevann oppfylle to kriterier: De må være såkalt levende, dvs. smittedyktige, og de må være av en art eller genotype som kan ha mennesker som vert. Mikroskopisk er dette vanskelig å skille, og vil kreve videre undersøkelser (Gjerde & Robertson, 2005).

Avføring fra mennesker anses som mer smittefarlig enn avføring fra dyr, fordi patogener ofte er tilpasset mennesker, eller den enkelte dyreart (Berge *et al.*, 2011). Sykdommer som kan smitte mellom dyr og mennesker, kalles zoonoser. Det er tidligere funnet at avføring fra unge dyr generelt representerer en større smittefare enn avføring fra voksne dyr, og avføring fra husdyr utgjør større fare enn avføring fra ville dyr, når det gjelder rapporterte forekomster av (oo)cyster dyreavføring (Ferguson *et al.*, 2009).

Flertallet parasitter fra dyr i Norge er ikke smittefarlig for mennesker (Robertson *et al.* 2009). En undersøkelse av *G. duodenalis* i Sverige av over 100 isolat viste at både husdyr, kjæledyr og ville dyr har klart flertall av dyrespesifikke genotyper (Lebbad *et al.*, 2010). Sammen med menneskeavføring er storfe en vanlig kilde ved større vannbårne parasittutbrudd (Carmena, 2010), men Tjomsland *et al.* (2012) antok at tilførsler fra avrenning fra beiter vil være langt lavere enn mulige tilførsler fra kloakkrensaneanlegg.

2.3.1 Menneskelig aktivitet

I en norsk undersøkelse av kloakk (Robertson *et al.*, 2006b) ble det vist at blant 40 ulike renseanlegg var det funn av *Giardia* eller *Cryptosporidium* i 93 og 80% respektivt, men konsentrasjonen varierte mye. I innkommende avløpsvann varierte konsentrasjonene fra 100 til 28 000 cyster/l for *Giardia*, mens for *Cryptosporidium* fra 100 til 24 000 oocyster/l, se tabell 8. I Sverige har tilsvarende undersøkelser påvist 4000 giardiacyster/l i innkommende

avløpsvann, med noe sjeldnere funn og lavere antall cryptosporidiumoocyster (Ottoson *et al.*, 2006).

Tabell 9 Andel renseanlegg med funn av parasitter, konsentrasjon og midlere renseevne.

	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
Andel positive renseanlegg (n=40)	80 %	93 %
Konsentrasjon innkommende (n=40)	100-24 000/l	100-28 000 /l
Renseevne (n=2)	50 %	80 %

Ifølge Robertson *et al.*, 2006b

I utgående avløpsvann fra tre større norske renseanlegg ble det funnet opptil 40 000 cryposporidiumoocyster /l, og opptil 50 000 giardiacyster/l (Robertson *et al.*, 2006b). I den samme undersøkelsen ble det vist varierende evne til å rense kloakken for smittestoff. Ved et renseanlegg var konsentrasjonen av smittestoff høyere i utløpsvannet enn i innkommende kloakk. Dette anlegget hadde kun primærrensing (mekanisk), og det ble antatt at tilbakeholdelsen av smittestoff var minimal, kombinert med konsentrering av avløpsvannet (Robertson *et al.*, 2006). Ved de to øvrige anleggene var renseprosenten relativt høy, 50% for *Cryptosporidium* og 85% og 95% for *Giardia*. Disse hadde både primær- (mekanisk) og sekundærrensing (kjemisk felling). I Sverige er det påvist 2-3 log reduksjon (tilsvarer 99,0 – 99,9% reduksjon) av giardiacyster i kloakkrenseanlegg (Ottoson *et al.*, 2006).

Overløp ved flom og mye nedbør fører til at store mengder urensset kloakk passerer renseanleggene. Avløp fra spredt bebyggelse er også en mulig smittekilde. Rensegraden vil variere sterkt avhengig av rensemetode, anleggets utførelse og utslippspunkt. Kloakksystem kan også gå i stykker, eller ha vedlikeholdsopphold i rensingen.

Øvrig menneskelig aktivitet som kan forårsake forurensing er turisme, rekreasjon og sportsaktiviteter. Disse aktivitetene kan medføre hendelser som eksponerer vannkilden for smittestoff. Eksempler er joggere med akutt diaré, uhell ved bading eller fritidsbåter som tømmer septiktanken i nærheten av vanninntaket. De sistnevnte tilfellene vil trolig skje i sommerhalvåret, når dypvannsinntaket er godt skjermet p.g.a. temperatursprangsjiktet (Berge, 2011).

2.3.2 Husdyr og vilt

Storfe skiller seg ut som en viktig potensiell smittekilde for mennesker, og de holdes intensivt og produserer mye avføring. Det er særlig de yngste kalvene som vanligvis er smittet med *C. parvum* (Hannes, 2006). I en undersøkelse av 136 norske storfebesetninger gjort av Hannes *et al.* (2006), ble det funnet *Giardia* blant 93,4% av besetningene, og *Cryptosporidium* blant 53%, mens begge parasittene ble funnet i 71% av besetningene, se tabell 9. I Sverige ble det påvist *Cryptosporidium* i 96% av 50 undersøkte storfebesetninger, primært *C.bovis* som smitter menneske i mindre grad, men også *C.parvum* (Silverlås *et al.* 2009).

I sommerhalvåret kan avføring med smittestoff fra storfe nå vannkilden via avrenning fra beiter (Rosén & Friberg, 2003), men da vil Norsjø være markert lagsjiktet, og ikke så sårbar. Tørke, varme og sollys kan bryte ned smittestoff på vei til innsjøen. Adferd hos syke dyr spiller inn, f.eks. om de oppsøker bekker for å drikke. De minste kalvene holdes som regel innendørs, som reduserer mulighet for tilførsel.

Tabell 10 Prevalens av giardia og cryptosporidium i norske husdyrbesetninger, samt hund, og italienske føll.

Merk at det ikke er undersøkt hvorvidt parasittene er av arter som kan infisere menneske.

Smittekilde	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
Kalvebesetninger (n= 136)	53 %	93,4 %
Grisungebesetninger (n=100)	31 %	10 %
Lam (n=567 lam fra 6 gårder)	5-51 %	8-44 %
Hund, 12 mån. alder (n=290)	5,1%	11,4 %
Føll (n=120)	26,7%	23,3 %

Ifølge Hannes *et al.*, 2006a; 2006c; Hannes *et al.*, 2007; Robertson *et al.*, 2009; Veronesi *et al.*, 2010

Nesten alle drøvtyggere har parasittsykdom i løpet av livet. Sau og geit kan spre parasitter til menneske, spesielt *Cryptosporidium* (Robertson, 2009, Robertson *et al.*, 2009).

Husdyrhold utgjør liten fare vinterstid, da møkka lagres i fjøs og gjødselkjeller.

Gjødselkjellere kan sprekke, dette har vært omtalt i media, senest i Bamble kommune da en lekkasje på 15.000 liter rant ut i Valleveien i januar 2012 (Varden, 2012).

Hunder som luftes, ville dyr og fugler kan tilføre smittestoff hele året. Det er undersøkt forekomst av (oo)cyster hos elg, rev, og hjort i Norge (Hannes *et al.*, 2006), se tabell 10. Fra 47 elg i Telemark ble det funnet *Cryptosporidium* i 4,3 % og *Giardia* i 8,5% av prøvene. Det er vist at noen typer parasitter funnet hos elg og reinsdyr trolig kan infisere mennesker (*G.duodenalis*, type A) (Robertson *et al.*, 2007) .

Tabell 11 Forekomst av *Cryptosporidium* og *Giardia* hos noen ville dyr i Norge. Dette kan være arter som ikke kan infisere menneske.

Smittekilde	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
Elg i Telemark (n=47)	4,3 %	8,5 %
Total elg i Norge (n=455)	3,3 %	12,3%
Reinsdyr, ville (n=155)	0,0 %	7,1 %
Hjort (n=289)	0,3 %	1,7 %
Rådyr (n=291)	6,6 %	15,5 %
Rev (n=269)	2,0 %	5,0 %

Ifølge Hannes *et al.*, 2006b; 2006d; Robertson *et al.*, 2009

Nordamerikansk bever (*Castor canadensis*) er beskyldt for å være kilde til giardiasis i Nord-Amerika, og sykdommen er blitt kaldt "beaver fever". Det er ikke vist sammenheng mellom forekomst av europeisk bever (*Castor fiber*) i nedbørfeltet og funn av parasitter (Robertson & Gjerde, 2000). I Bøelva som munner ut nord i Norsjø finnes bever, men gjentatte tester for *Giardia* har vært negative (F. Rosell, HiT, pers. medd. 2011). *Giardia*utbrudd man har antatt skyldtes bever, har senere vist seg å trolig skyldes kloakkutslipp (I. Tryland, NIVA, pers. medd., 2012).

2.4 Hygieniske barrierer mot *Giardia* og *Cryptosporidium*

Ifølge drikkevannsforskriftens definisjoner (§3, 1. ledd, punkt 2) er en hygienisk barriere en "naturlig eller tillaget fysisk eller kjemisk hindring, herunder tiltak, for å fjerne, uskadeliggjøre eller drepe bakterier, virus, parasitter mv, og/eller fortynne, nedbryte eller fjerne kjemiske eller fysiske stoffer til et nivå hvor de aktuelle stoffene ikke lenger representerer noen helsemessig risiko" i drikkevann. I tillegg skal eier av vannforsyningssystem sørge for at det til sammen finnes minimum to hygieniske barrierer,

hvorav minst én skal sørge for desinfeksjon eller behandling mot smittestoffer. En overflatevannkilde kan ikke oppnå mer enn én hygienisk barriere mot mikroorganismer (§14, 3.ledd). Barrierene er som regel uavhengige, med ulik virkemåte. Slik kan man sikre at bortfall av én barriere ikke påvirker effekten av den andre barrieren.

Fastsettelse av hygieniske barrierer skal være basert på en helhetstenkning, der både vannkilden, tilsigsområdet, inntakspunkt og vannbehandling vurderes. Hygieniske barrierer kan oppnås ved tiltak i nedbørfeltet, vannkilden, overvåkning eller annen vannbehandling. Barrierebegrepet ikke er entydig, og ulike vannkilder har svært ulike behov for vannbehandling. En eventuell manglende sikkerhet i vannkilden kompenseres for med økt sikkerhet i vannbehandlingen (Mattilsynet, 2011).

2.4.1 Naturlige barrierer

Det er et viktig prinsipp i norsk vannforsyning at man velger drikkevannskilder som fra naturens side har god kvalitet (Mattilsynet, 2011). Totalt fravær av forurensende virksomheter i et tilsigsområde er det optimale. Med unntak av fugler og ville dyr, er dette tilfelle noen steder, men de fleste vannkilder har forurensende virksomheter i nedbørfeltet (FHI, 2004).

Norske innsjøer har et temperatursprangsjikt om sommeren, og de fleste har også noe lagdeling om vinteren (Berge, 2011). Dype vanninntak under sprangsjiktet gir vesentlig bedre vannkvalitet enn grunne inntak, da lokal tilrenning og forurensinger primært transporteres ut av innsjøen i det øverste vannlaget (Økland & Økland, 1998). Innsjøer med stort volum under termoklinen (sprangsjiktet) vil kunne være en god barriere. I store volum kan uønskede stoffer tilbakeholdes, fortynnes og nedbrytes. I perioder med vertikalt sirkulerende vann er ikke dypvannsinntak lenger en like god forsikring mot forurensinger. Kaldt eller leirholdig bekkevann kan og synke ned i vannmassene og påvirke vannkvaliteten i dypere sjikt (Berge, 2011). Bekkevann kan være forurenset med gjødsel eller avføring (Karanis *et al.*, 2007).

2.4.2 Tekniske barrierer

Ved de fleste vannverk er desinfeksjon av vannet den viktigste barrieren mot mikrobiologisk forurensing. Sikker inaktivering av sykdomsfremkallende parasitter krever omfattende rensing av vann fra innsjøer og elver. Det er tre behandlingsmetoder som kan ansees som

tilfredsstillende hygieniske barrierer mot parasitter ved norske vannverk, koagulering/filtrering, membranfiltrering og UV-desinfeksjon (Robertson *et al.*, 2009). De to første metodene fjerner parasittene, mens UV-lys inaktiverer dem. Det vil si at de blir ute av stand til å formere seg i verten. UV-lys er effektivt mot alle typer mikrober, bortsett fra noen få virus (Ødegaard *et al.*, 2009).

Tabell 12 Oversikt over ulike behandlingsmetoder uttrykt som logreduksjoner for henholdsvis bakterier, b, virus, v, og parasitter, p. 3,0 tilsvarer minst 99,9% fjerning, 2,0 99%, og 1,0 tilsvarer 90% fjerning.

Rensemetode	Reduksjon	Kommentar
Ozon	3,0 b 3,0 v < 0,1 p	<ul style="list-style-type: none"> • 90% red. av <i>Giardia</i> med ozon er vanlig • 50% reduksjon av <i>Cryptosporidium</i> kan kortvarig være mulig ved noen norske anlegg
UV	3,0 b 3,0 v 2,0 p	<ul style="list-style-type: none"> • Noen <i>adenovirus</i> er ikke tatt hensyn til, så sjeldne i Norge at man ikke tilpasser dosen • Opptil 4,0 p ved høy dose
Klor	3,0 b 3,0 v < 0,1 p	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen nevneverdig effekt mot parasitter
Koagulering/ filtrering	3,0 b 2,0 – 3,0 v 2,0 p	<ul style="list-style-type: none"> • Fjerner mellom 95 og 99% av parasitter, avhengig av drift • <i>Giardia</i> er noe større, filtreres lettere ut
Membran- filtrering (<10 nm)	3,0 b 3,0 v 3,0 p	<ul style="list-style-type: none"> • Effekt avhengig av nominell poreåpning på membran, < 100 og < 1000 gir henholdsvis dårligere effekt
Langsom- filtrering (<0,5 m/h)	2,0 b 2,0 v 2,0 p	

Ifølge Ødegaard *et al.*, 2009 ; Gjerde & Robertson, 2005; SMI, 2011a

I veilederen til drikkevannsforskriftens § 14 angis hvilke krav som stilles til vannbehandlingsprosesser for å være en fullstendig hygienisk barriere (Mattilsynet, 2011). Den enkelte vannbehandlingsmetode bør inaktivere eller fjerne bakterier og virus med minimum 99,9% (tilsvarer 3-logreduksjon), og parasitter med 99% (2-logreduksjon), for å betraktes som en hygienisk barriere. Etter giardiautbruddet i Bergen er det foreslått at kravet til inaktivering av parasitter også skal settes til 3-logreduksjon (Robertson *et al.*, 2009). I tabell 12 ser man en oversikt over hvilke logreduksjoner ulike vannbehandlinger medfører for bakterier, virus og parasitter respektivt.

2.5 Klimaendringer

Cryptosporidium og *Giardia* er blant de agenser man tror kommer til å øke i miljøet i forbindelse med global oppvarming. Ekstremvær i form av kraftig regn og oversvømmelser kan gi utslipp av forurensinger via overløp, oversvømmet beitemark eller fekalieforurenset overvann (Figueras & Borrego, 2010; SMI, 2011a). Forandringer i avrenningen kan få stor innvirkning på vannkvaliteten og infeksjonsforholdene i samfunnet, men økt nedbør vil også føre til økt fortynning. Varmere vær kan redusere kuldeperioder og det ”omvendte sprangsjiktet” om vinteren, som i dag beskytter vanninntak i store sjøer. Økt fryse-tine-frekvenser, kan igjen redusere parasitttilførsler (Gjerde og Robertson, 2005). Økte vanntemperaturer sommerstid kan bidra til å redusere overlevelsestiden hos parasittsmittestoff (King *et al.*, 2005).

Risiko for infeksjon er også relatert til endringer i adferd. Med varmere klima kan badesesongen forlenges og mennesker vil bade oftere og sesongen kan forlenges. I kombinasjon med høyere vanntemperatur og økt avrenning til vannkilder og vann benyttet til rekreasjon innebærer dette at man i høyere grad kan eksponeres for smittestoffer som sprer magetarminfeksjoner (SMI, 2011a).

Økt globalisering og reisevirksomhet bidrar også til økt spredning av smittestoffer. Hittil har de fleste nordmenn blitt smittet utenlands, fordelt på innvandrere, turister og adoptivbarn (Tveit *et al.*, 2005). Innenlandsk smitte har forekommet, og vil trolig øke (Robertson *et al.*, 2006b; Aftenposten 2012).

3 Områdebeskrivelse

3.1 Norsjø, beliggenhet og hydrologi



Norsjø ligger i Telemark fylke, se figur 3 (Norgeskart, 2012), og er en del av kommunene Skien, Nome og Sauherad. Navnet på sjøen kommer fra "Nor" som er fra eldre tider betyr lang og smal (Ulsnæs, 2010). Nedbørfeltet til Norsjø er 10 388,42 km², og er en del av Skiensvassdraget i vassdragsområde 016 (NVE, 2012). Nedbørfeltet strekker seg utover fylkesgrensene, og inkluderer mindre områder i Vest-Agder, Rogaland, Hordaland og Buskerud, se figur 4. Området strekker seg fra de ubefolkede områdene på Hardangervidda til de mer tettbefolkede steder langs vassdragene, som Rjukan, Notodden, Sauherad, Lunde, Ulefoss, Bø og Gvarv.

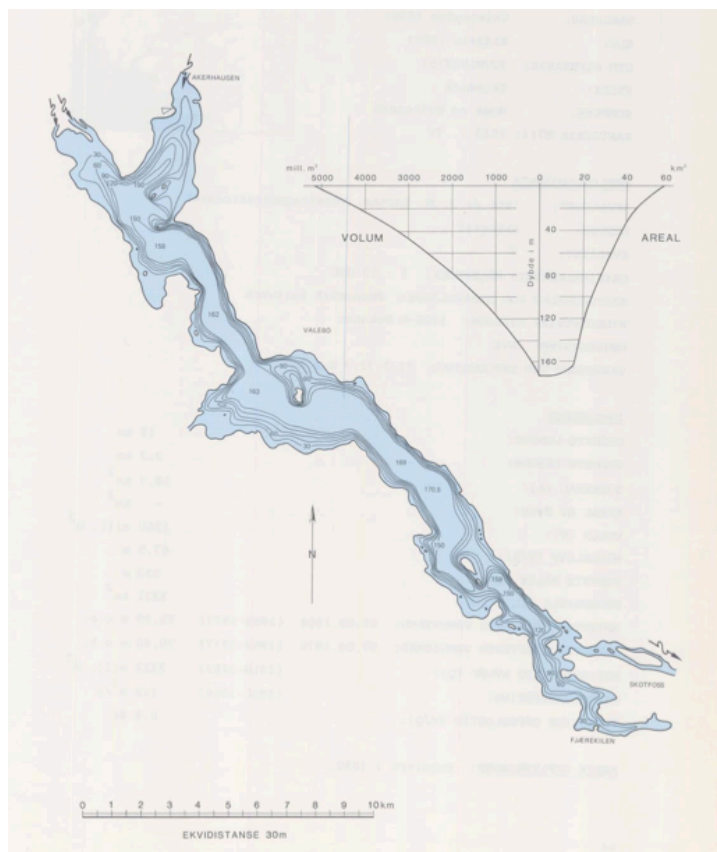
Figur 3 Norsjø er markert med rødt (Norgeskart, 2012)

Norsjø har tre hovedtilløp. Det østre løpet går fra Hardangervidda via Tinnsjøen til Heddalsvannet og Sauarelva, som munner ut ved Akkerhaugen nord i Norsjø. Nordfra renner Bøelva fra Seljordsvannet ut ved Gvarv. Det vestre løpet går fra Dalen over Bandak og Flåvatn, som har utløp til Eidselva, som mottar flere tilløp ved Lunde, og munner ut ved Ulefoss ved vestre bredd av Norsjø. Fra utløpet ved Skotfoss renner vassdraget gjennom Skien og Porsgrunn til Grenlandsfjordene, deretter ut i Skagerrak.



Figur 4 Nedbørfeltet til Norsjø i grått, for det meste i Telemark fylke. Norsjø er markert i rødt

Arealet av Norsjø er 55,24 km², lengde er 23 km, gjennomsnittlig bredde er 2,5 km, største dyp 171 meter, og volum er lik 5,1 km³ (NVE, 2012). Vannverket tar ut 0,3 m³/sek av dypvannet. I tillegg har industri på Herøya i Porsgrunn og Rafnes i Bamble et vannuttak på 7-8 m³/sek via en tunnel fra Fjærekilen (Lydersen *et al.*, 2010). Uttakene utgjør minimale mengder sammenlignet med dypvannsvolumet i Norsjø (Berge *et al.*, 2011). Dybdekart over Norsjø i ses figur 5 (NVE, 1984). Siden byggingen av Skien-Norsjøkanalen i 1869 er Norsjø regulert mellom 15,15 og 15,30 m.o.h. ved Skotfoss. Dette tilsvarer et magasinivolum på 828,6 m³.

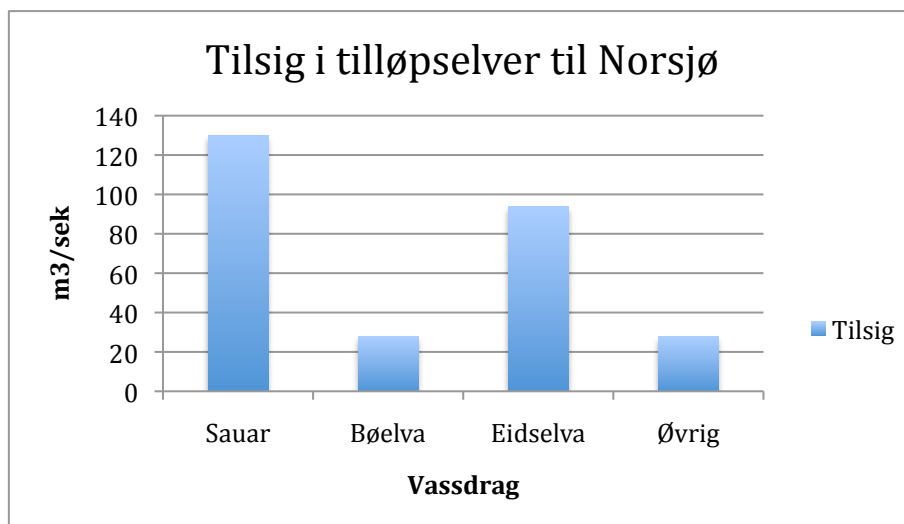


Figur 5 Dybdekart over Norsjø (NVE, 1984)

Totalavløp for Norsjø ved Skotfoss er i gjennomsnitt 279 m^3 per sekund (årsmiddel 1981-2010, fra NVE). Av dette bidrar de største tilløpselvene Sauar med $130 \text{ m}^3/\text{sek}$, Bøelva med $28 \text{ m}^3/\text{sek}$ og Eidselva med $94 \text{ m}^3/\text{sek}$, se figur 7 (beregnete tall fra NVEs målestasjoner). Fra 1998 til 2007 var minste daglige vannføring $84,4 \text{ m}^3/\text{sek}$ og høyeste var $1106,3 \text{ m}^3/\text{sek}$. Fakta om Norsjø er oppsummert i tabell 13.

Tabell 13 Faktatabell om Norsjø

Areal nedbørfelt	10 388,42 km ²	Lengde	23 km
Areal Norsjø	55,24 km ²	Maks bredde	3 km
Midlere tilsig	279 m ³ /sek	Maks dyp	171 m
Volum	5,1 km ³	Midlere dyp	87 m
Oppholdstid	212 dager	Dyp i Steinsvika	Ca. 60 m
H.o.h.	15,15 – 15,30 m	Dyp ved utløp	Ca. 15 m
Volumregulert magasin	828,6 m ³	Vassdragsområde	016



Figur 6 Oversikt over tilløpselver til Norsjø, ved midlere tilsig

De tre hovedtilløpselvene er vist i figur 7, der Steinsvika er merket av med grønn nål.



Figur 7 Oversiktsbilde av Norsjø (kartporal, Telemark fylkeskommune, www.telemark.no).

3.2 Geologi

Nedbørfeltet til Norsjø domineres av bergarter fra grunnfjellstiden, prekambrium (1500-900 millioner år siden). Telemarkssuiten består av hard kvartsitt og vulkanske bergarter. I de øvre delene av nedbørfeltet finnes store soner med konglomerater. Rundt Norsjø finnes mye gneis og granitt. Det er sure og tungt forvitrende bergarter, som danner grunnfjell med tynt lag løsmasse med lite plantenæringsemner. Vann i disse områdene kan være naturlig sure. Basiske lavaer lokalt i grunnfjellet har høyere innhold av plantenæringsstoffer og større evne til å nøytralisere syrer. Vegetasjonen her blir gjerne frodig og med mer næringskrevende arter (Jansen,1986).

Sørøstlige deler av nedbørfeltet inngår noe i Oslofeltet med bergarter dominert av kambriosilurtiden (570-400 mill år gamle). Ved Ulefoss ligger Fensfeltet fra senprekambrium, med kalkholdige bergarter og sjeldne mineraler. Noen bergarter har høyt innhold av radioaktive grunnstoffer, f.eks. thorium (SNL, ukjent; Jansen, 1986).

Under istiden lå havoverflaten høyere fordi ismassene presset jordskorpen ned, og Norsjø var en fjordarm fylt med havvann. Det tidligere havnivået, marin grense, er 148 meter over havet nord i Norsjø. Landformasjoner og jordsmonn rundt Norsjø er preget av å være gammel havbunn og breelvdelta. Tørrlagte havavsetninger av leire utgjør noen av våre mest høyproduktive jordbruksarealer (Jansen, 1986).

3.3 Landskap

Det øvre nedbørfeltet til Norsjø er dominert av vidder, som i utkantene er oppskåret av markerte dalfører. Fjellformene er ofte noe avrundet i gneis og granitt. Områder med kvartsitt har pga. frostsprenging fått en oppsprukket og blokkrik overflate, som på Gaustatoppen. Landskapet rundt Norsjø er nærmest sopt rent av innlandsisen og smeltevann. Spredt finnes noe breelvmateriale eller løsmasser fra avsmelting av isrester, kalt dødisgroper (Jansen, 1986).

Områdene rundt Norsjø har daler med flat bunn med sedimenter og et U-formet tverrsnitt, pga. glasial erosjon. Lengdeprofilen er flatt langt inn i landet for så å stige bratt opp til fjellviddene. Fra Skien til Dalen er det over 100 km, men en høydeforskjell på bare 72 m. Herfra stiger dalførene bratt opp til fjellområder på 1200 m. Landskapsrelieffet er årsaken til Telemarks store vannkraftproduksjon, der ca. 90% av potensialet er utnyttet (Jansen, 1986).

Alle de store sjøene i Telemark er dannet av fjellterskler på tvers av dalene. Her har isstrømmer løpt sammen og gitt erosjonen økt effekt. Både Heddalsvannet og Norsjø ligger under marin grense, og har flat bunn, som tyder på stor sedimenttilførsel. Mellom Norsjø og Heddalsvann finnes typisk ravinelandskap i gammel havbunn. Nordenden av Norsjø ligger der Bødalføret og Heddalsdalføret møtes. Vannbassenget smaler av ned mot Ulefoss og utvides igjen i samløp med Lundedalføret.

Østre bredd av Norsjø domineres av bratte fjell med lite løsmasser. I Valebø er det tykkere sedimenter med dyrka mark i et smalt dalføre som ender i en strandsone. Langs vestre bredd finnes en dalhulle med dyrka mark. I nordenden er landskapet slakkere, formet av elvedelta fra Bøelva, mens ved Akkerhaugen har breelvvavsetninger formet en rygg/randås under siste istid.

Øyer i Norsjø er generelt av to typer, små fjell som stikker opp eller mindre holmer av sand og grus. Kjeøya i sydlige del markerer starten på Fjærekilen som inkluderer Steinsvika. Den største øya i Norsjø heter Store-Munken som mottar noe turisme. Totalt areal av Norsjøes øyer er 0,8 km² (Jansen, 1986).

3.4 Klima

3.4.1 Temperatur

Middeltemperaturene i Norsjøes nedbørfelt er typiske for tilsvarende områder på det norske sørøstlandet. I kystnære strøk har man et maritimt klima der vinteren er varmere, mens landområder kjøles ned raskere. De store innsjøene bidrar til å dempe og forsinke vinterkulden (SNL, 2009). Høydeforskjeller kan medføre stor lokal variasjon i temperatur over korte avstander (Hanssen-Bauer *et al.*, 2009). Årsmiddeltemperaturene i standardnormalperioden 1961 til 1990 er gradert fra ca. 6° C rundt Norsjø, ned til ca. 4° C i høyfjellet. Til sammenligning varierer midlere årstemperatur i Norge fra -8,1° C til 8° C (Hanssen-Bauer *et al.*, 2009).

Midlere sommertemperatur fra juni til august er gradert fra ca. 16° C ved kyststrøkene, og lavlandene inkludert Norsjø, ned til ca. 2° C innover i landet mot høyereliggende strøk (Hanssen-Bauer, 2009). Høyeste målte temperatur er ca. 30° C ved kysten, opp til ca. 33° C i

indre strøk (SNL, 2009). Midlere vintertemperatur fra desember til februar i normalperioden er gradert fra ca. -2°C ved sørenden av Norsjø ned til ca. -12°C i indre, høyereliggende deler av nedbørfeltet. Laveste målte minimum er -35°C i enkelte indre strøk (SNL, 2009).

3.4.2 Nedbør

Nedbørfeltet til Norsjø ligger som indre deler av Østlandet i le for fuktige luftstrømmer fra Nordsjøen i vest. Ved lavtrykk fra sørøst er området mer utsatt for nedbør.

Nedbørmengden i innlandet er størst om sommeren da bygevirksomheten er sterkest (Hanssen-Bauer *et al.*, 2009), mens kystnære områder har nedbørmaksimum om høsten. Årsnedbøren er jevnt over 800-1200 mm, litt mindre i indre, lavere områder, og vesentlig mer i fjellområdene (SNL, 2009).

3.4.3 Vind

Dalførenes retning og fjell gir skjerming mot vind i Telemark. I lavlandet er området relativt skjermet (3,5-6,0 m/s i årsmiddel), mens det blåser mer i høyfjellet (7,5-10 m/s i årsmiddel) (Vindteknikk, ukjent). Om somrene dominerer vind fra sørvest, om vintrene fra nordøst (SNL, 2009). Sterke vestlige luftstrømmer kan iblant forsterkes ved innsnevninger i dalene. Vindretningen og dens styrke har mye å si for vannkvaliteten ved vanninntaket nederst i Norsjø ved Steinsvika, da vind langs lengderetningen av store innsjøer kan forårsake vipping av temperatursprangsjiktet (Berge, 2011). Se figur 8 og 9 for oversikt over gjennomsnittlige vindforhold rundt Norsjø.

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- >12.7
- $9.7-12.7$
- $6.6-9.6$
- $3.4-6.4$
- $0.3-3.3$

Stille (%)

4

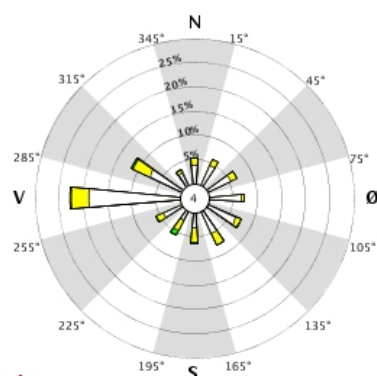


År: 2005 - 2011

jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov, des

Tidspunkt: 1, 7, 13, 19 (NMT)

30420 SKIEN - GEITERYGGEN



Figur 8 Gjennomsnittlig vind gjennom året målt på Geiteryggen værstasjon (www.met.no).

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- >12.7
- 9.7-12.7
- 6.6-9.6
- 3.4-6.4
- 0.3-3.3

Stille (%)

8

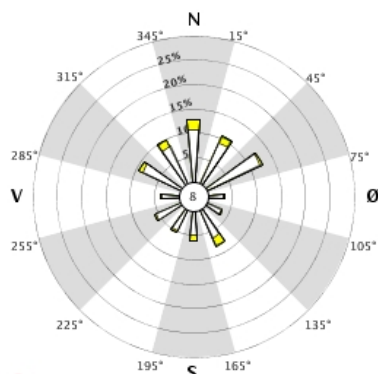


År: 1997 - 2011

jan, feb, mar, apr, mai, jun, jul, aug, sep, okt, nov, des

Tidspunkt: 1, 7, 13, 19 (NMT)

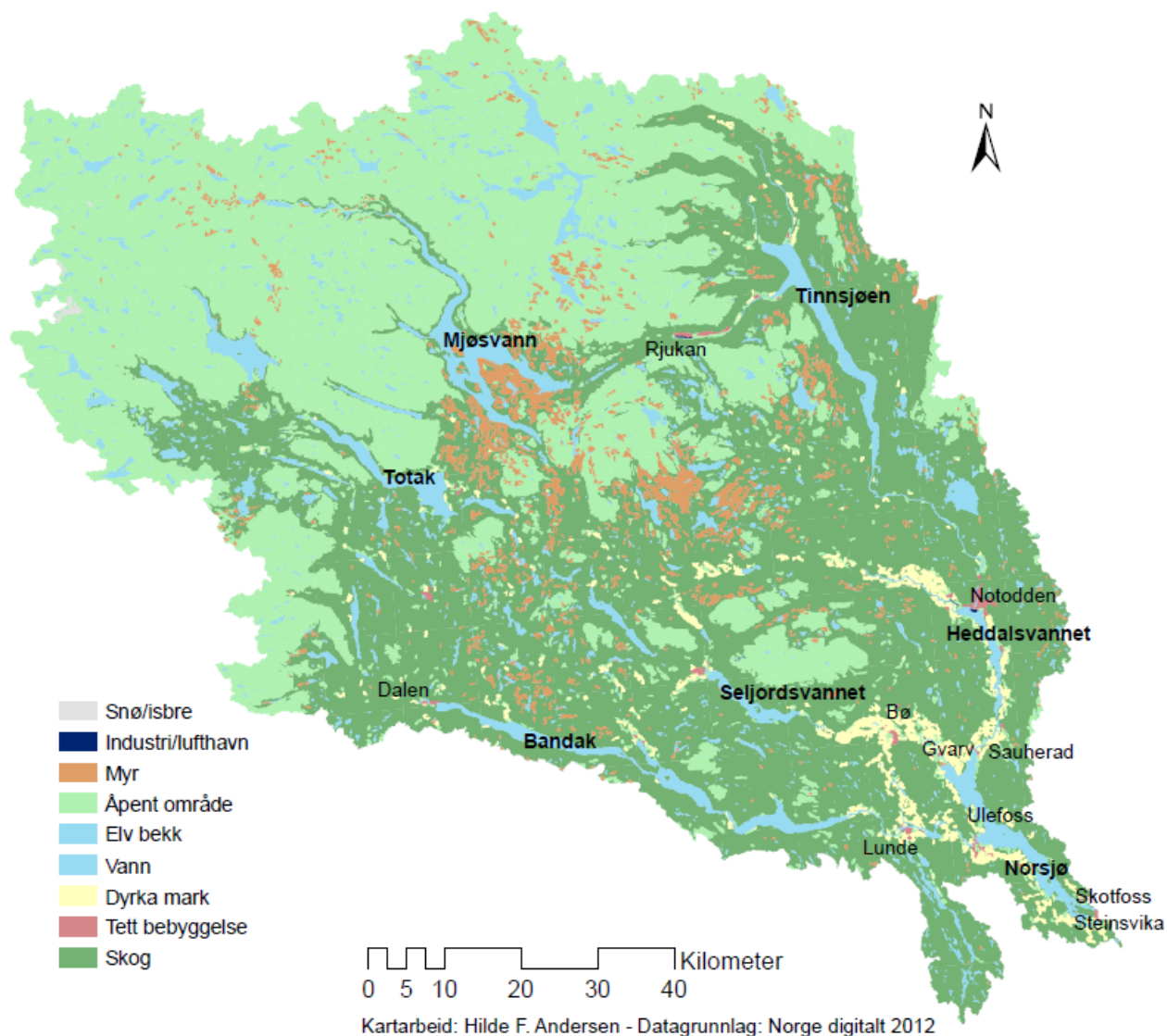
32060 GVARV - NES



Figur 9 Gjennomsnittlig vind gjennom året målt på Geiteryggen værstasjon (www.met.no).

3.5 Vegetasjonsdekke

Nedbørfeltet til Norsjø består av 46,5% skog, og 39,3% som er åpent område, fortrinnsvis fjellområder på Hardangervidda. Hele 8,8% av arealet i nedbørfeltet er dekket av vann. Myrer dekker 3,6%, mens tettbebyggelse utgjør 0,23% av arealet. Dyrka mark dekker kun 1,95 % av arealet. I forbindelse med hvorvidt en innsjø har risiko for eutrofi eller ikke, er det tidligere satt retningsgivende grenser om at under 5% jordbruksareal ikke forårsaker økologiske problemer i innsjøen, mens over 15 % er det større sannsynlighet (Skarbøvik *et al.*, 2004). Se figur 10 for en visuell oversikt av arealdekket.



Figur 10 En oversikt over nedbørfeltet til Norsjø, og ulike typer arealdekke.

3.6 Områdeaktivitet

3.6.1 Bosetting

Tettbygd areal utgjør 0,23% av arealet i nedbørfeltet. Spredt bosetting og flere større hyttefelt finnes også. I Telemark fylkeskommunes regionale planstrategi (2012) opplyses at i Vest-Telemark bor 29% i byer og tettsteder, Midt-Telemark i 58%, og i Øst-Telemark 64%. De største tettstedene i nedbørfeltet er Notodden, Rjukan, Ulefoss og Bø.

Skien vassdraget er drikkevannskilde for mange kommuner langs vannveiene, direkte eller indirekte via grunnvannsreservoar. Vassdraget er samtidig resipient for alle større kommunale renselanlegg i nedbørfeltet, vel 30 stk. (se figur nr.19, s.50)

3.6.2 Landbruk og næringsliv

Jordbruksarealet er rett under 2%, mens produktivt skogareal utgjør om lag 33% av Telemark fylke (total skogdekke utgjør 46%). Arealene som brukes til fruktdyrking er i Telemark tredje størst i landet (SNL, 2010). Under marin grense er det god jord langs vestsiden av Norsjø med forgreninger mot vest til Lunde, og mot nord til Sauherad, Heddal og Bø. I skog- og fjellbygdene er jordbruksarealene små og oppstykket, og brukes mest til husdyrhold med gressproduksjon og store utmarksbeiter (SNL, 2010).

Det har vært bergverksdrift på mange bergarter i nedbørfeltet, bl.a. kobber (Åmdals verk, Gullnes, Hovin), molybden (Dalen), og gull (Svartdal). Det har blitt utvunnet jernmalm, niob og søvitt i Fensfeltet ved Ulefoss (Jansen, 1986). I dag er gruvedriften beskjeden (SNL, 2010). Det har tidligere vært betydelig industri i nedbørfeltet. Norsk Hydro har drevet salpeterfabrikk på Notodden, og senere på Rjukan. Etableringen av industrien skjedde i sin tid parallelt med kraftutbyggingen i nedbørfeltet. I 2006 ble det produsert ca. 9640 GWh i hele Skiensvassdraget, som utgjorde ca. 7,5 % av landets totale kraftproduksjon samme år (SNL, 2010). AS Union i Skien var en stor mottager av tømmer, men ble lagt ned i 2006, og med det forsvant også fløtingen av tømmer i Telemarkskanalen. Kanalen er idag et av fylkets viktigste turistmål. Andre populære mål er de sørøstre delene av Hardangervidda, Lifjell og Blefjell, og Sommarland i Bø. Det finnes også historiske turistmål, som Vemorkmuseet og Krossobanen på Rjukan, Norges største stavkirke i Heddal og flere gamle middelalderkirker i stein (SNL, 2010).

3.6.3 Transportårer

Fra gammelt av var vassdragene viktigste ferdselsåre. Strekningen fra Skien til Notodden ble kanalisert i 1961, og til Dalen i 1892. Dette førte til veibygging mellom anløpsstedene og bygdene omkring. E134 er hovedforbindelse for de indre deler av fylket, over Notodden til Haukelifjell. Rv 36 fra Skien til Seljord går delvis langs Norsjø's vestre bredd, og er hovedvei fra øvre Telemark til Grenlandsområdet. Ellers finnes Rv 37 og 38 i ytre deler av nedbørfeltet. Sørlandsbanen var ferdig i 1927, og går gjennom Sauherad, Bø og Lunde. Den går langsmed, eller krysser vassdraget flere steder. Det går sidelinjer nordover til Notodden og sørover til Skien via Bratsbergbanen, som går øst for Norsjø gjennom Valebø. Det er flyplasser på Notodden og på Geiteryggen i Skien rett sør for Norsjø, som begge har rutetrafikk med småfly (SNL, 2010).

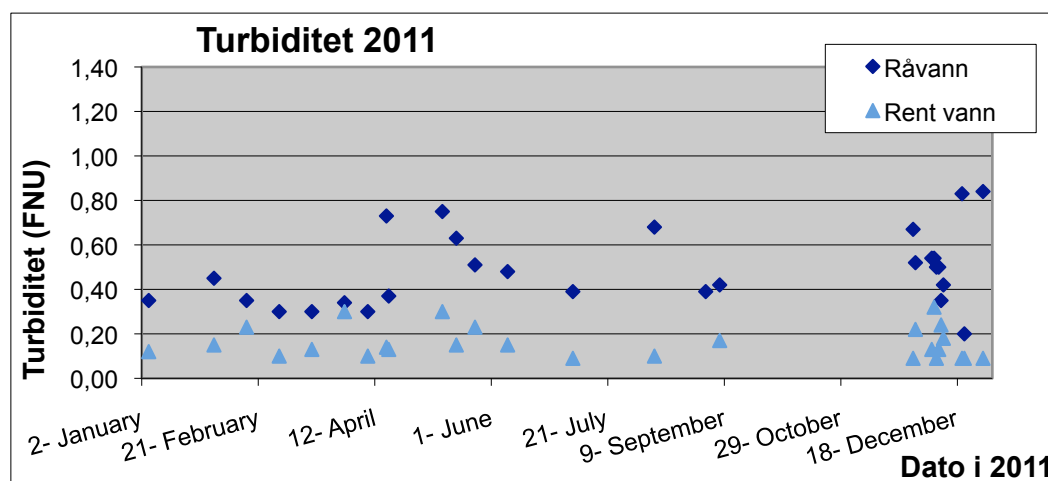
4 Vannkvalitet i Norsjø og hygieniske barrierer ved Steinsvika Vannverk

For å beregne hvor høye konsentrasjoner som kan oppnås ved vanninntaket i Steinsvika på 50 m dyp, skal det først ses nærmere på den historiske vannkvaliteten i Norsjø, med årstidsvariasjoner. De fleste tilgjengelige data om råvannet gjelder dagens inntak på 50 m dyp, som i løpet av 2013 skal senkes til 60 m. Beskrivelse av lagdeling og sirkulasjon i Norsjø refererer i stor grad til lokal kunnskap ved vannverket i Steinsvika, knyttet til erfaringer og måledata ved vannverket det siste tiåret. De hygieniske barrierene ved Steinsvika vannbehandlingsanlegg skal oppsummeres.

4.1 Vannkvalitet i råvann fra Norsjø

4.1.1 Kjemisk-fysiske parametre

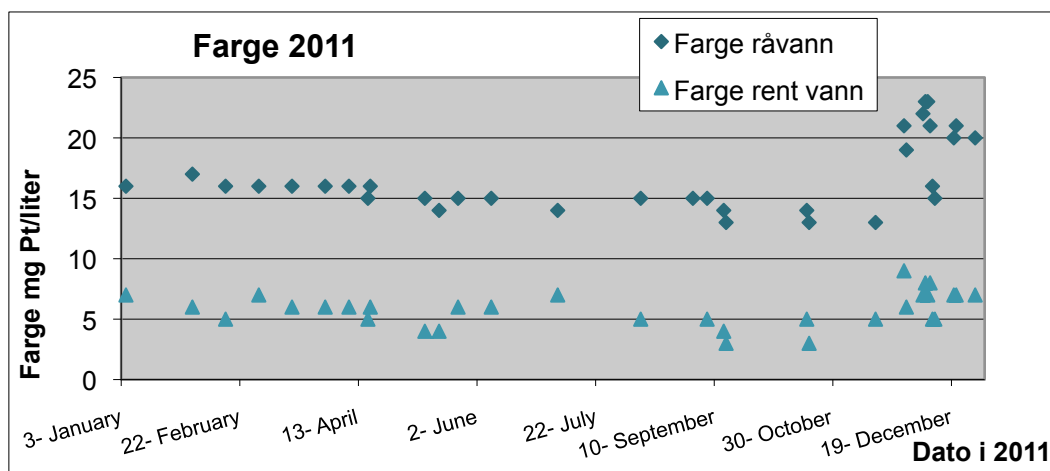
Høy turbiditet stammer ofte fra erosjon fra jordbruksområder. Partikulært materiale kan redusere desinfeksjonseffektiviteten for UV, klor og ozon, og gir vannet et lite estetisk utseende (FHI, 2004). Økt turbiditet i overflatevann kan indikere forekomst av (oo)cyster (Robertson & Gjerde, 2000) pga. avrenning fra flater med organisk innhold (SMI, 2011a). Se figur 11 for verdier i råvann fra 50 m dyp (Skien kommune, 2012a).



Figur 11 Turbiditet i råvann og rentvann ved Steinsvika vannverk (Skien kommune, 2012a).

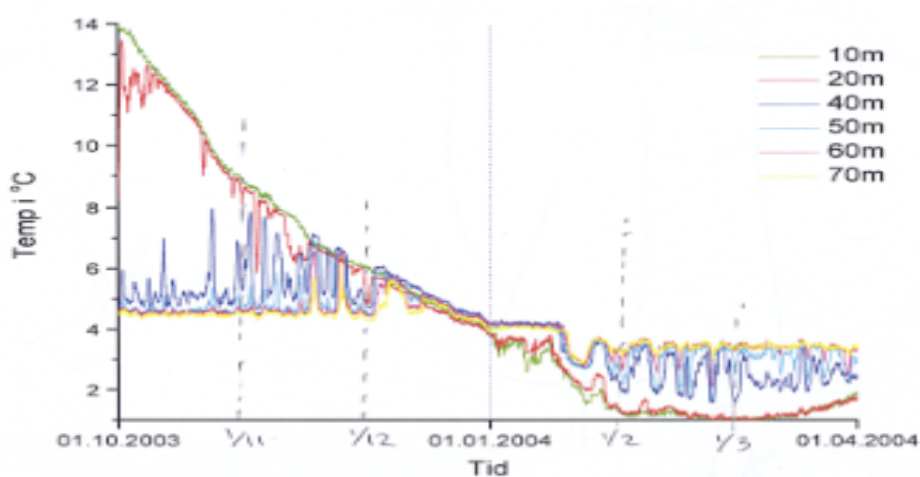
Hele nedbørfeltet bidrar til å øke fargetallet, som er påvirket av humusinnhold i jorda (FHI, 2004). I Norsjø ligger råvannets fargeverdier på 50 m dyp vanligvis mellom 14 og 17 mg Pt/l, se figur 12 (Skien kommune, 2012). I korte perioder om høsten kan fargen komme

opp i 22-23, mens i enkelte år kan fargen tidlig på høsten komme helt ned i 10 mg Pt/l. Farge er et estetisk problem, og svekker virkningen av UV-bestråling.



Figur 12 Farge på råvann og rentvann på 50 m dyp ved Steinsvika vannverk (Skien kommune, 2012a).

Norsjø er generelt næringsfattig med fosfat $<1 \mu\text{g P/l}$ og totalt organisk karbon mellom 1,5 og 3,0 mg C/l, men tidlig på høsten kan det forekomme oppblomstring med blågrønne alger som kan produsere giftstoffer i enkelte bukter i nordlige halvdel av innsjøen. Dette er avhengig av at vannet varmes opp og mottar næringsrike tilførsler fra lokal tilrenning (Berge, I., 2008). I Steinsvika er råvannsinntaket godt beskyttet fra algeoppblomstring i overflaten sommerstid, da Norsjø er markert lagdelt.

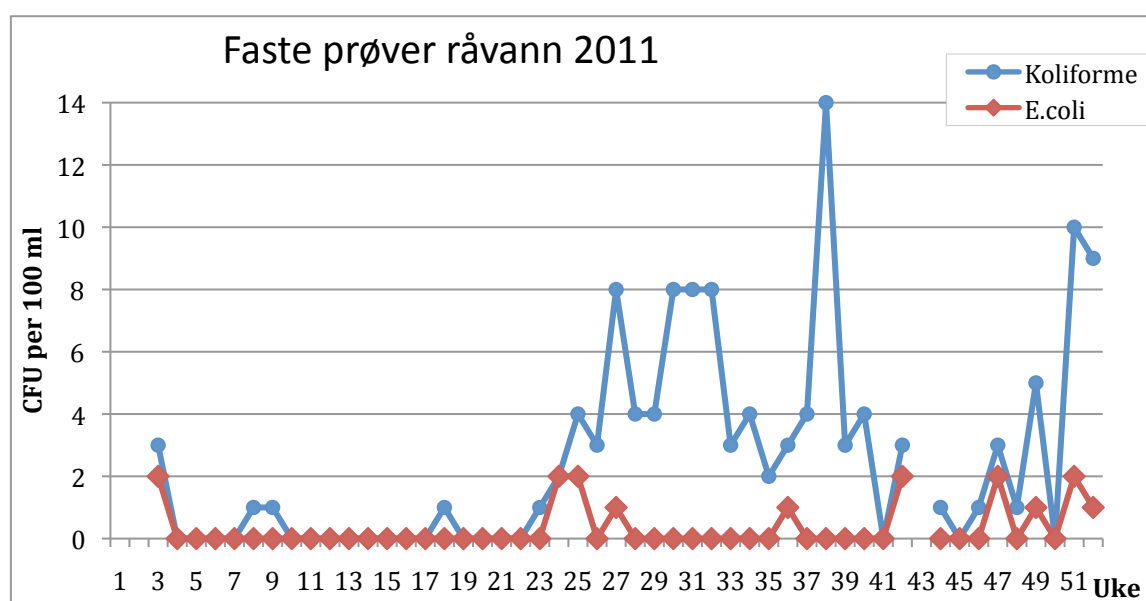


Figur 13 Temperaturmålinger utført på ulike dyp i Norsjø. I perioden fra 1.11.2003 ses vippinger der de ulike temperaturkurvene krysser hverandre. Fra ca.1.12. til 1.1.2004 er temperaturen relativt lik (Barland, 2005).

Temperatur på råvann på 50 m dyp er 3,0-4,0° om vinteren og ca. 4,5-5,0° C om sommeren. For temperaturkurver på ulike dyp gjennom året, se figur 13 (Barland, 2005).

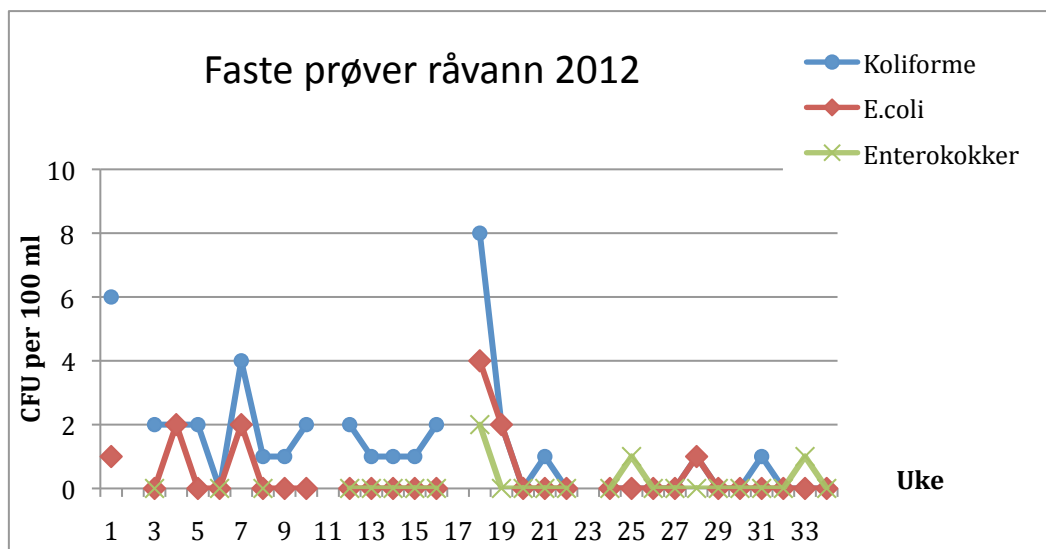
4.1.2 Hygieniske parametre

Det er vanskelig å undersøke råvann for alle patogene mikroorganismer, i stedet anvendes indikatororganismer. En optimal indikatororganisme for fekal forurensing bør finnes i rikelig mengde i all avføring, og overleve minst like lenge som smittestoffer etter utslipp til en vannresipient. En slik organisme finnes ikke. Negative funn av indikatororganismer betyr ikke fravær av patogener, da *Giardia* og *Cryptosporidium* har betraktelig lengre overlevelse, spesielt i kaldt vann (FHI, 2004).



Figur 14 Forekomst av *E.coli* og koliforme bakterier i råvann på 50 m dyp ved faste tirsdagsprøver ved vannverket. Merk at kun *E.coli* er avføringsspesifikk, koliforme bakterier kan også stamme fra jord (CFU = colony-forming units).

Koliforme bakterier vokser i stort antall i tykktarmen. Dyrkningsmetoden "Colilert" benyttes ved Steinsvika vannverk, og er gunstig da det kun tar to dager å få resultatet. Ulempen med metoden er at den ikke skiller spesifikt mellom avføringsbakterier, og en type jordbakterier, som stammer fra erosjon, og kan gi falske forhøyde resultater (FHI, 2004). En art i gruppen koliforme bakterier er *Escherichia coli*. Funn av *E.coli* vil indikere fersk avføring (mindre enn 1-2 uker gammel), og eventuelle parasittsmittestoff vil trolig være levende og smittekapable dersom de skilles ut parallelt med *E.coli*.



Figur 15 Resultat av dyrkning av indikatororganismer i 2012 fra råvann på 50 m dyp (CFU = colony-forming units).

Intestinale enterokokker (streptokokker) er tarmbakterier som finnes i mindre mengde enn koliforme bakterier hos mennesker, men i større mengde fra husdyr. De overlever lengre i ferskvann enn koliforme bakterier, og kan indikere fekal avføring for noe lengre tid tilbake, opptil 4 uker (FHI, 2004). Dette er langt lavere enn overlevelse for parasitter (opp til 6 måneder).

Clostridium perfringens er en sporedannende bakterie som finnes i avføring til dyr og mennesker. Sporer er overlevelsesheldige til bakteriene og overlever lenge i vann, men fortsatt kortere enn det som er funnet for (oo)cyster. *Cl.perfringens* kan også ha annet opprinnelsessted enn avføring, f.eks. fra kadaver i vannet (FHI, 2004). *Cl.perfringens* kan danne et giftstoff som fører til en type matforgiftning. UV-bestråling uskadeliggjør sporene ved doser som er høyere enn det som kreves mot (oo)cyster. UV-dosen i Steinsvika (425 J/m²) er dimensjonert for inaktivering av sporer.

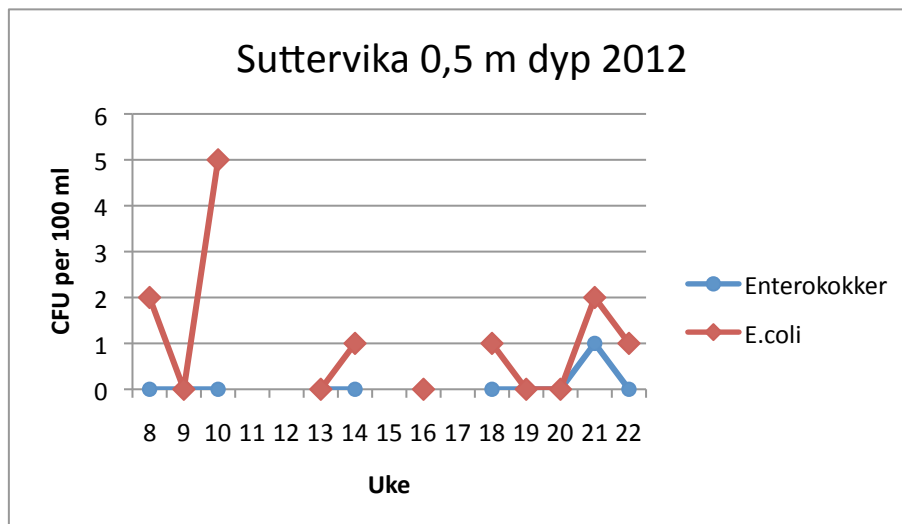
4.1.3 Prøvetaking av parasitter

Steinsvika vannverk fulgte et amerikansk prøve program i 2002-2003, der man månedlig tok 10 liters vannprøver som ble analysert for (oo)cyster. Prøvene ble tatt over 15 måneder, der den historisk verste perioden for vannkvaliteten, sent om høsten, inngikk to ganger. Ifølge Skien kommune ble prøvetidspunktet justert noen ganger for at den verste vannkvaliteten skulle representeres. Alle prøvene var negative (Gunnar Mosevoll, pers. medd., 2011). I den første kartlegginga av *Cryptosporidium* og *Giardia* i Norge (Robertson & Gjerde 2000), ble det i ca. 10 liters prøver av råvann, funnet én giardiacyste i Norsjø ved Ulefoss, mens prøven fra Steinsvika var negativ.

For prøvetaking av parasitter i en vannkilde er det senere anbefalt å ta vannprøver på 100 liter. Andre overvåkningsmetoder benytter filtre som settes på råvannsinntaket, eller benytter prøver fra avløpsvann, fordi man vil oppdage økte konsentrasjoner av smittestoff i en tidlig fase av et utbrudd (SMI, 2012b). Noen vannverk i Sverige har utført regelmessige prøvetagninger for parasitter, andre har kontrollert råvannet sitt i perioder. Prøvene har blitt sammenlignet med komplimenterende data i form av nedbør, turbiditet og resultat fra analyser av indikatororganismer, men ingen signifikant korrelasjon ble funnet (SMI, 2011a). En undersøkelse fra Canada (Wilkes, 2009, som sitert i SMI, 2011a) har vist at det er sjelden (oo)cyster kan påvises når heller ingen indikatororganisme oppdages.

4.1.4. Prøver av overflatevann

Overflatevann nær utløpet ved Skotfoss tilfredsstillende i perioder drikkevannsforskriftens krav til drikkevannskvalitet, både hygienisk, med <1 *E.coli*/100 ml, og med lav farge, rundt 15 mg Pt/l, se figur 16. Grenseverdier er henholdsvis 0 *E.coli*/100 ml og farge <20 mg Pt/l. Lav forekomst av fekale indikatororganismer i drikkevannskilder er en god indikasjon på lav forekomst av patogener (FHI, 2004), men fordi parasittsmittestoff kan ha mye lengre overlevelse, bør man være ekstra forsiktig med å tolke slike funn.

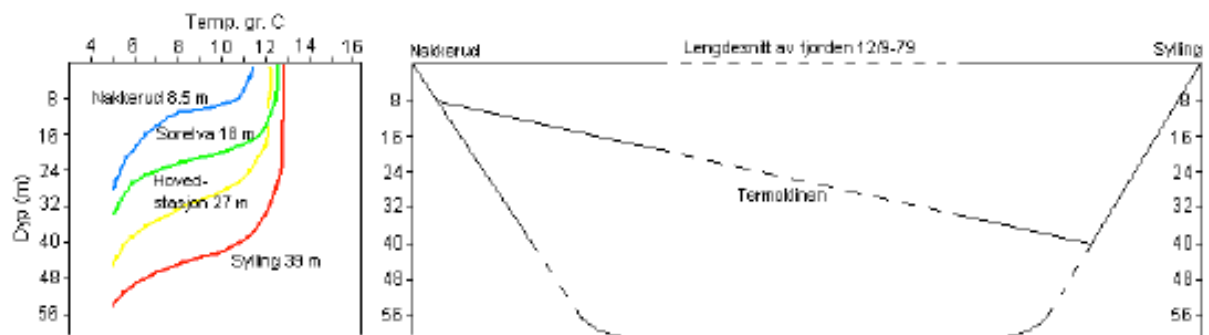


Figur 16 *E.coli* og intestinale enterokokker i overflatevann ved utløp av Norsjø (CFU = colony-forming units).

4.2 Lagdeling og vipping av sprangsjiktet i Norsjø

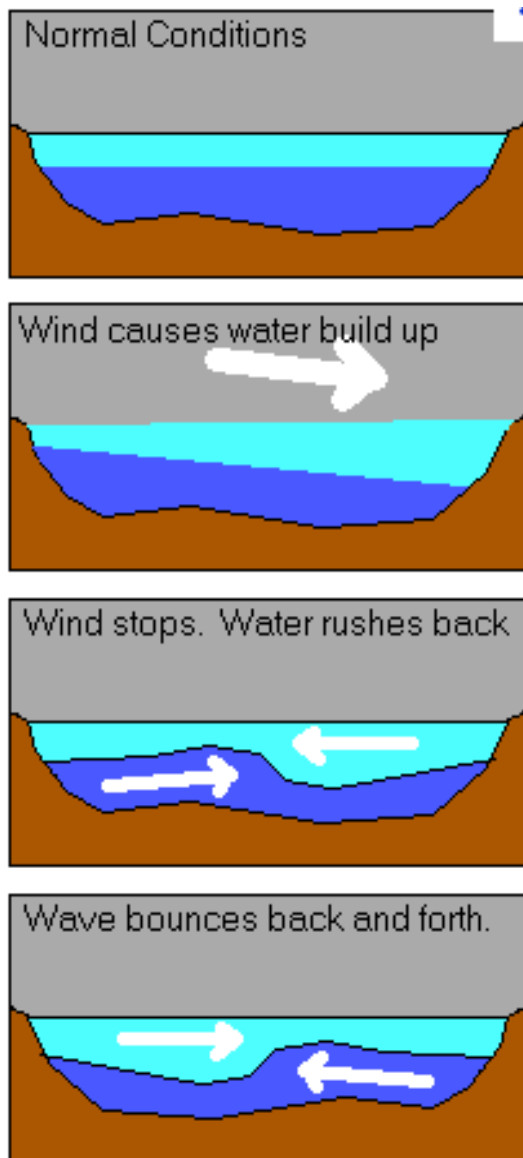
Temperatur påvirker vannets tetthet, og kan skape tydelig lagdeling i innsjøer i tempererte soner (Økland & Økland, 1998). Overgangen mellom kaldt og varmt vann kalles (temperatur-)sprangsjiktet. Vår og høst er det en periode hvor vannets temperatur er nær 4° C, og hvor kun en liten vindbevegelse er nok til å danne strømmer som sørger for at vannmassene blandes (Berge, 2011). Utover sommeren varmes overflatevannet opp og legger seg oppå dypvannet som fortsatt er nær 4° C. Utover høsten begynner overflatevannet å kjøles ned, og sprangsjiktet presses nedover. Om senhøsten brytes lagdelingen, og innsjøen sirkulerer. Etter hvert som det blir kaldere på overflaten vil det dannes et "omvendt" sprangsjikt, med eventuell islegging.

Den mest akutte endringen i råvannskvaliteten i Steinsvika skjer på høsten når innsjøen har en viss lagdeling, og det er sterk vind i lengderetningen, fra nordvest eller sørøst. Dette skaper strømmer i lengderetningen av innsjøen. Overflatevann med lett varmt vann blir tykt i pålandsenden, og tynt i fralandsenden. I pålandsenden kan overflatestrømmen dukke ned, og forurenset overflatevann kan raskt trenge ned til store dyp. Sprangsjiktet blir stående på skrå, se figur 17 (Berge, 2011).



Figur 17 Eksempel på oppstuing av overflatevann i Tyrifjordens sydende under en periode med nordavind (12.9.79) (Berge, 1983; Berge & Tjomsland 1999, som sitert i Berge, 2011).

Når vinden løyer vil sprangsjiktet stabiliseres, men det vil gjerne renne litt for langt, slik at systemet vil kunne svinge fram og tilbake noen ganger for det flates ut. Slike rytmiske fram- og tilbakesvingninger kalles indre bølger (seiche) se figur 18 (Unmuseum, 2012).



Figur 18 Skjematisk fremstilling av fenomenet vipping, eller indre bølger. Normalt skjermes vanninntaket fra det forurensede overflatevannet, men ved vipping kan overflatevann flyttes 50 m ned, eller mer (Unmuseum, 2012).

Ved vanninntaket i Steinsvika kan vippingen vare fra noen timer til flere dager, se figur 13 (Barland, 2005). Vippinger kan registreres i råvannsinntaket i Steinsvika som en betydelig turbiditetsstigning og relativ fargestigning. En av de mest markante endringene under vippinger skjer i temperaturen i råvannsinntaket. Ved mye vind over lang tid kan temperaturen endres 2° C på få timer (data fra Steinsvika vannverk). Vippinger uten farge- eller turbiditetsøkning kan være like farlig med tanke på parasittinnhold, da det er påvist liten sammenheng i Skandinavia mellom parasittfunn og øvrige parametre (Robertson & Gjerde 2000; SMI 2011a).

Vippinger skjer også tidlig om våren, mens innsjøen fortsatt er lagdelt etter vinteren. Kaldt, lett vann ligger øverst, mens dypvannet er varmere på ca. 4° C. Vårvippingene er ikke like kraftige som høstvippingene, både fordi lagdelingen er mindre markant og fordi det generelt er mindre vind om våren enn om høsten (se figur 13).

Lignende vippinger skjer i andre avlange innsjøer, f.eks. Eikeren og Tyrifjorden (Berge, 2011). Mjøsa er 9 mil lang, og her oppnås enda større temperaturforskjeller i vandypene. Ved Minnesund i sør kan overflatelaget endres 6° C på én dag (Økland & Økland, 1998).

4.2.1 Forverret råvann ved andre forhold

Råvannet kan forverres under såkalt vår- eller høstsirkulasjon, når temperaturen kan bli tilnærmet lik, og det skal lite til for at overflatevann blandes med dypvann gjennom turbulent diffusjon. Det er en langsom prosess der forurensing i overflatelaget fortynnes, mens det transporteres nedover i vannmassene (Økland & Økland, 1998).

En annen forurensingskilde forekommer når jordene rundt vassdraget er nypløyde, etterfulgt av mye regn (Hodges *et al.*, 2000; Brookes *et al.*, 2004). Denne kombinasjonen kan skje om våren. Leirholdig bekkevann kan dykke, og danne en undersjøisk elv med høy turbiditet og mye forurensing (Berge, 2011). Råvannskvaliteten kan bli svært dårlig ved slike tilfeller, og har siden 1998 forekommet med 4-5 års mellomrom i steinsvika (Gunnar Mosevoll, pers. medd. 2012).

Undersjøiske jordras kan på samme måte påvirke vannkvaliteten med økt turbiditet og dyrkningsfunn av koliforme bakterier (se 4.1.2 Hygieniske parametre). Leirras nord i Norsjø har medført forverret vannkvalitet ved råvannsinntaket ca. et halvt år senere (Gunnar Mosevoll, pers. medd. 2012). Ved leirras kan innhold av aluminium øke, da leire inneholder mye aluminium (Klart vann, n.d.).

4.3 Karakteristiske trekk ved råvannskvaliteten under ulike årstider

Erfaringer har vist at råvannskvaliteten på 50 m dyp varierer gjennom året, etter relativt faste tidsrom og årstider. Tidsrommene kan deles inn i seks perioder, som her kalles sommer, høst 1, høst 2, vinter 1, vinter 2 og vår.

4.3.1 Sommer – medio mai til september

Om sommeren er innsjøer i tempererte områder tydelig lagdelt pga. temperaturforskjeller i det som kalles temperatursprangsjikt. Nesten all forurensing som tilføres i det lette, varme vannet i vannoverflaten om sommeren transporteres ut i det varme overflatelaget ved Skotfoss, og det er liten fare for at parasittsmittestoff kan føres ned til vanninntaket på 50 m (60 m i 2013).

4.3.2 Høst 1 – oktober, november

Vippingen er tydeligst seint på høsten, mens innsjøen fremdeles er lagdelt, men temperaturforskjellen mellom bunnvann og overflatevann ikke er så stor. Fra oktober ut november skjer er det stadig mindre forskjell i temperaturen mellom overflatevann og bunnvann. Hovedstrømmen går fortsatt i overflaten over sprangsjiktet. Ved lite vind er råvannskvaliteten bra, men ved vipping i temperatursprangsjiktet blir den dårlig, og parasitter kan føres til vanninntaket. Under vippinger kan temperatur på 70 meters dyp

varierte fra 4,5° til 7° C i løpet av få døgn, se også figur 13 (Barland, 2005). Se tabell 14 og 15 for oppsummering av karakteristika ved ulike tidsrom.

Tabell 14 Oppsummerte fakta om Norsjø og vanninntaket ved ulike tider på året. Merk stor variasjon på 60 m under Høst 2.

	Sommer	Høst1	Høst2
Tidsrom	Medio mai – september	Oktober – november	Desember
Lagdeling	Markant	Svakere	Svak
Lagtykkelse	10-15 m	20-40 m	Lik temperatur
Temperatur 10 m dyp	7 – 22°	13°	6 – 4,5°
Temperatur 40 m dyp	5 – 6°	6 – 9°	6°
Temperatur 60 m dyp	4 – 5°	5°	6 – 4°
Kontakt mellom overflate og vanninntak	Så godt som ingen	Sterk vind fører til vippinger med mye kontakt	Høstsirkulasjon, turbulent diffusjon
Vannkvalitet på 50 m	God	Lite vind: Bra råvann Sterk vind: Dårlig	Dårlig, vannkvalitet preget av tidligere vippinger
Fare for forurensing ved inntaket på 50 m	Ingen fare	Ved sterk vind (NV)	Tilstede

4.3.3 Høst 2 – desember

I desember er lagdelingen liten uten markert temperatursprangsjikt, og vannmassene vil blandes lett hele perioden, i såkalt høstsirkulasjon. Pga. dybden i utløpet ved Skotfoss (ca.15 m, se figur 5 (NVE, 1984)) vil hovedstrømmen fortsatt gå i øverste 20 meterne, men blandingen i vannmassene kan være stor oppstrøms utløpet. Vannkvaliteten er dårlig i denne perioden, trolig fordi tidligere vippinger har flyttet forurenset overflatevann ned i dypet.

4.3.4 Vinter 1 – januar

I januar er det en liten, og gradvis økende lagdeling som kan kalles ”omvendt lagdeling”, med det kaldeste vannet ned mot 0° C i overflaten. Det er et mye tynnere overflatelag om vinteren enn om sommeren, og kraftig vind kan fortsatt blande lett overflatevann ned i vannmassene. Det er vanligvis dårlig vannkvalitet i denne perioden, og det er mulig for parasittsmittestoff å transporteres til vanninntaket.

Tabell 15 Oppsummerte fakta om Norsjø og vanninntaket ved ulike tider på året.

	Vinter1	Vinter2	Vår
Tidsrom	Januar	Februar – medio april	Medio april – medio mai
Lagdeling	”Omvendt”, tynt	Svakere ”omvendt”	Svak
Lag tykkelse	< 10 m		
Temperatur 10 m dyp	2,5 – 3,5°	1 – 2°	3,5 – 6°
Temperatur 40 m dyp	4 – 3°	1,5 – 3,5°	3 – 4,5°
Temperatur 60 m dyp	4°	3,5°	3 – 5°
Kontakt mellom overflate og vanninntak	Avhengig av vind og evt. islegging	Avhengig av vind og evt. islegging	Preget av nedbør og erosjon, ”tunge bekker”
Vannkvalitet på 50 m	Med is: God Uten is: Dårlig	Med is: God Uten is: Dårlig	Dårlig ved regn og erosjon (ca. 4.år)
Fare for forurensing ved inntaket på 50 m	Ja	Ja	Ja

4.3.5 Vinter 2 – februar til medio april

Fra februar til midten av april blir lagdelingen delvis svakere. Overflatelaget er lik 0° og bunnlaget rundt 4° C. Vindens evne til å blande vann avhenger av vindforhold og eventuell islegging, som også avhenger av vind og temperatur (Økland & Økland, 1998). Dersom innsjøen islegges helt eller delvis, oppnås stabile forhold med god råvannskvalitet. Når innsjøen ikke er islagt, kan man se vippinger også om vinteren. Vintervippingene er mindre enn høstvippingene, men det er mulig for parasittsmittestoff å nå vanninntaket, se figur 13 (Barland, 2005).

4.3.6 Vår – medio april til medio mai

Vippinger skjer også tidlig om våren, mens innsjøen fortsatt er lagdelt etter vinteren. Kaldt, lett vann ligger øverst, mens dypvannet er varmere på ca. 4° C. Vårvippingene er ikke like kraftige som høstvippingene, både fordi lagdelingen er mindre markant og fordi det generelt er mindre vind om våren enn om høsten (se figur 13). Utover i perioden er det lite lagdeling, og vinden vil lett kunne blande vannmassene. Vannkvaliteten under våromveltningen er preget av mengden nedbør. Ved mye regn blir vannkvaliteten dårligere fordi kaldt bekkevann kan synke ned i dypet. Vannkvaliteten kan bli verre om våren enn om høsten ved slike tilfeller (Gunnar Mosevoll, pers. medd., 2012). Snøsmelting og vårflom, før beitesesong for husdyr, vil i liten grad tilføre vannkilder infektive parasitter (Gjerde & Robertson, 2005).

4.4 Hygieniske barrierer ved Steinsvika Vannverk

For vannverk skiller man mellom naturlige barrierer og tekniske barrierer for sikring av god, hygienisk vannkvalitet, se kapittel 2.4. Etter den nye drikkevannsforskriften i 2001 ble planene for ombygging av Steinsvika vannverk godkjent i 2004. Siste byggetrinn ved Steinsvika vannverk ble ferdigstilt i juli 2010.

4.4.1 Naturlige barrierer

Norsjø er en stor, næringsfattig innsjø, med stort dypvannsvolum og uttynningskapasitet. Vannverket i Steinsvika tapper i snitt 0,3 m³/sek, som utgjør en umerkelig del av dypvannsvolumet (Berge *et al.*, 2011). Vanninntaket i Steinsvika befinner seg på et dyp som for det aller meste er skjermet for forurenset overflatevann, selv om overflatevannet til tider også har god kvalitet (se figur 15). Disse faktorene påvirker hygienen positivt, ved at få patogene mikroorganismer kan overleve lengre tid i Norsjø. Vanninntaket er foreløpig på 50 meters dyp, men det skal senkes til 60 m i løpet av 2013. Dette vil redusere påvirkning av vippinger, da færre vippinger vil nå ned til inntaket, og varigheten av dem reduseres. Inntaket har og en innløpsil mot fisk (Skien kommune, 2011).

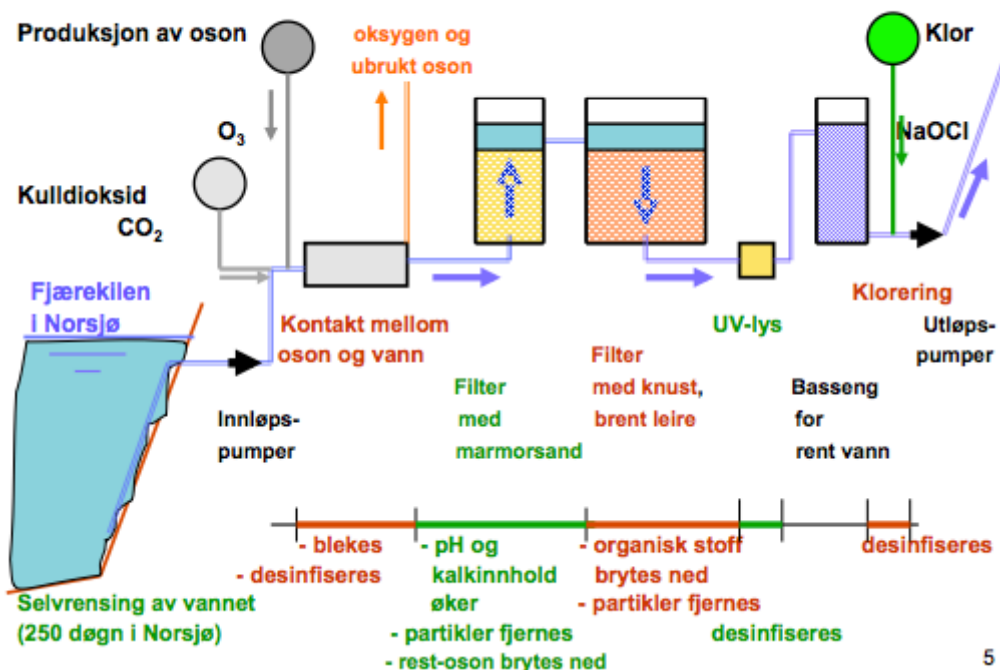
4.4.2 Tekniske barrierer

Steinsvika vannverk har i dag følgende vannbehandlinger:

- Ozonering
- Tilsetting av karbondioksid
- Filtrering gjennom marmorsand
- Filtrering gjennom knust, brent leire (biofiltrering)
- UV-bestråling
- Klorering

Ozonering regnes som en forbehandling for bestråling med UV-lys, da vannet blekes slik at lyset bestråler vannstrømmen i hele dens tykkelse med stor nok intensitet. Ozon har desinfiserende virkning mot *Giardia*, mens virkningen mot *Cryptosporidium* er liten (Ødegaard *et al.*, 2009). Av vannbehandlingene er det kun UV-bestråling som regnes som en fullgod barriere mot parasitter (Robertson *et al.*, 2009). Se figur 19 (Skien kommune, 2012b) for en oversikt over Steinsvika vannverk.

Steinsvika vannverk: Vannbehandling 2012



Figur 19 Skjematisk fremstilling av Steinsvika vannverk (Skien kommune, 2012b)

Vannforsyningsystemet ved Steinsvika er godkjent i dag fordi vannkilden regnes som en barriere. Råvannskvalitet og renseprosesser overvåkes kontinuerlig. Ved A-alarm vil anlegget bemannes innen 1-2 timer, og vakthavende driftsoperatør har mulighet for å sove på vannverket. Vannverket abonnerer på værvarsling med tilstrekkelig nøyaktige vindprognoser, slik at ozondosen kan økes i forkant (fra 1,25 til 3 mg O₃ /liter vann) ved meldt sterk vind fra nordvest (aktuelt for høst, vinter og vår), som bleker vannet ekstra før UV-behandlingen. Marmorsand- og biofilterne etter ozonering absorberer og bryter ned organisk stoff og bidrar også noe for barrierehøyden (Ødegaard *et al.*, 2009). Filtrene spyles ca. en gang per måned (Skien kommune, 2012b). I tabell 15 (Ødegaard *et al.*, 2009; Gunnar Mosevoll, pers.medd. 2012) ser man en oversikt over hvilke logreduksjoner de ulike vannbehandlingene ved vannverket tilsvarer for bakterier (b), virus (v) og parasitter (p) respektivt.

Tabell 16 Oversikt over desinfiserende barrierer ved Steinsvika vannverk, uttrykt i logreduksjoner for b=bakterier, v= virus og p= parasitter (se også ordliste s.6) (Ødegaard *et al.*, 2009; Gunnar Mosevoll, pers.medd. 2012).

Rensemetoder	Barrirestørrelse	Kommentar
Ozon	3,0 b 3,0 v	90% reduksjon av <i>Giardia</i> 50% reduksjon av <i>Cryptosporidium</i> ved øvre dosering
UV	3,0 b 3,0 v 2,0 p	Kan bli 4,0 p v/økt dosering
Klor	3,0 b 3,0 v	Så godt som ingen effekt mot parasitter
Totalt	9,0 b 9,0 v 2,0 p	Mer enn høy nok (krav = 6 b) - " - (krav = 6 v) Mangler 2,0 p (krav = 4 p)

Drikkevannforskriftens krav til minimum UV-dose er 400 J/m², fordi dette kreves for å inaktivere bakteriesporer og viktige virus. I Steinsvika er dosen satt til 425 J/m² for å være sikret høy nok dosering mot sporer fra *Clostridium*. Dosen som kreves for å inaktivere parasitter er 52 J/m² for 99% reduksjon av *Giardia*, og 58 J/m² for 99% reduksjon av *Cryptosporidium* (Ødegaard *et al.*, 2009).

Det er kontinuerlig overvåking av temperatur (råvann), turbiditet (råvann og rentvann), og UV-transmisjon (lysets evne til å trenge gjennom vann) i rentvann ved vannverket. Ved små forverringer i vannkvaliteten og eventuell nedsatt UV-transmisjon, vil UV-styrken (avgitt effekt) oppjusteres automatisk. Ozonering regnes som nevnt som en forbehandling til UV-belysning. Når UV-kapasiteten nærmer seg 100%, må ozondosen skrues opp slik at vannet blekes ytterligere.

4.4.3 Reservevannkilder

Dersom Norsjø eller Steinsvika skulle bli uegnet til å levere drikkevann, har Skien kommune flere reservevannskilder, både Ørnstjern og om noen år Ulvsvann. Ledningsnettene mellom Porsgrunn og Skien skal bygges ut, slik at kapasiteten for gjensidig forsyning blir større. Også fra Bamble og Nome kan det leveres noe vann (Gunnar Mosevoll, pers.medd., 2012).

5 Smittefare ved Steinsvika vannverk

5.1 Tilførsel og transport av (oo)cyster til råvannsinntaket

Bare en mindre del av smittestoff som produseres i Norsjøns nedbørfeltet vil nå frem til råvannsinntaket på 50 (60 m). For å kunne nå inntaket må det finnes en mulig transportvei. Hvor lang tid transporten tar er også viktig, fordi lang transporttid vil medføre utdøing eller fjerning av patogener. Hvorvidt vannverket blir varslet om eventuelle forurensinger som er på vei vil få betydning for de hygieniske barrierene ved vannverket, og skal beskrives kort. Forenklet er det fem hovedprosesser som vil påvirke konsentrasjonen av (oo)cyster i råvannet:

1. Produksjon av smittestoff i nedbørfeltet
2. Transport av smittestoff til Norsjø
3. Transport og fortykning i Norsjø
4. Transport av smittestoff til vanninntaket i Steinsvika
5. Frafall av levende parasittsmittestoff under total transporttid

5.1.1 Smittekilder og tilførsel av smittestoff i nedbørfeltet

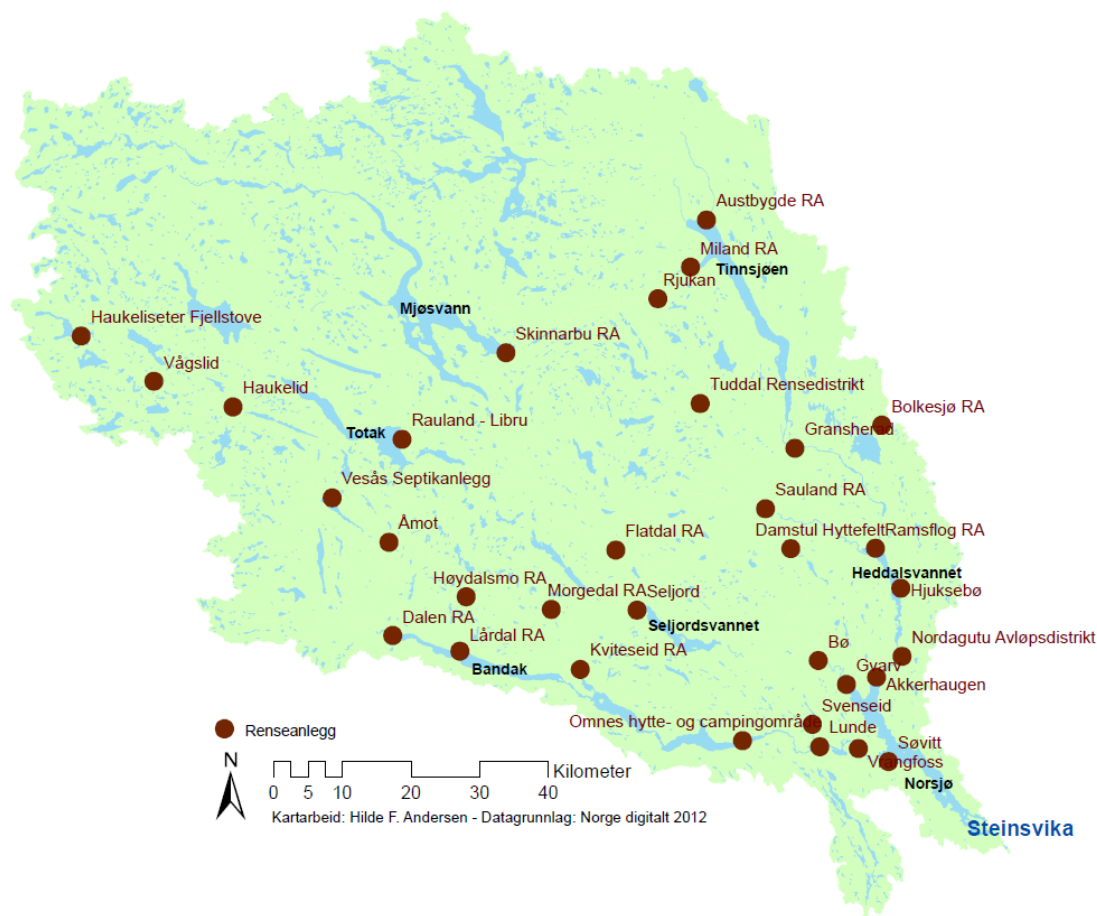
For å beregne de største mulige tilførsler av parasitter til råvannsinntaket i Steinsvika, er personer bosatt i nedbørfelt tilknyttet renseanlegg via avløp og storfe (primært ungdyr) identifisert som viktigste smittekilder (se kapittel 2.3). Det bor om lag 48 000 personer i nedbørfeltet til Norsjø hvorav ca. 32 000 er tilknyttet 30 ulike kommunale renseanlegg registrert for over 50 PE, se tabell 17 (SSB, 2012).

Tabell 17 Folketall i aktuelle kommuner i Telemark, og antall tilknyttet kommunale renseanlegg (RA) >50 PE (personenheter)(SSB, 2012)

Kommuner	Folketall	Tilknyttet RA	Differanse
Nome	6579	3949	2591
Bø	5766	4536	1230
Sauherad	4314	3117	1197
Notodden	12469	10053	2382
Hjartdal	1602	735	867
Kviteseid*	2498	1093	1243
Seljord	2959	1400	1599
Tinn	5982	4100	1882
Tokke*	2287	1280	976
Vinje	3700	1850	1959
Total	48156	32113	15926

* Kommunene deles i større grad av grense for nedbørfelt, medfører noe feilmargin.

Etter utskillelse vil mengden smittestoff reduseres, naturlig ved aldring, i rensetiltak i nedbørfeltet, eller ved tilbakeholdelse i vassdraget. Avløpsrenseanlegg i nedbørfeltet til Norsjø kan deles grovt i to grupper: Fjerntliggende renseanlegg, og avløpsrenseanlegg som ligger like ved Norsjø, eller i kort avstand fra Norsjø, se figur 20.



Figur 20 Oversikt over renseanlegg , navn i rødt, i nedbørfeltet (datagrunnlag fra Norge digitalt 2012).

Alle kommunale renseanlegg i Telemark har mekanisk og kjemisk felling, og noen har biologisk rensetrinn. Mange kommuner har gamle rørsystemer som medfører overløp ved nedbør og variabel rensegrad (Driftsassistansen, 2010). Dersom mange blir syke kan det medføre spredning av smittestoffer i vassdraget over lang tid.

Totalt 16 000 personer i nedbørfeltet er registrert med spredt avløp (SSB, 2012).

Rensemethode for spredt avløp varierer, og ulovlige utslipp kan forekomme. Fjærekilen og Valebø er boligområder i Skien kommune med kortest avstand til råvannsinntaket. Til sammen 682 personer har spredt avløp i området (Skien kommune, 2012c). Noen husstander er tilknyttet kommunalt ledningsnett i Fjærekilen. Pumpehuset for område P-567 er tilknyttet ca. 270 innbyggere. Ved strømstans er pumpehuset dimensjonert for å unngå overløp i et døgn (Gunnar Mosevoll, pers.medd. 2012).

Tallmaterialet for storfe er hentet fra fylkesmannens landbruksavdeling (Fylkesmann i Telemark, 2011), i form av registrert antall husdyr for beregning av produksjonstilskudd per 1. august 2011, se tabell 18. I samlet oversikt over husdyr er totalantall storfe oppgitt. Ideelt burde man hatt en egen oversikt over de yngste kalvene, da disse er mest aktuelle smittekilder, men alder inngår ikke i registrene hos fylkesmannen.

Tabell 18 Antall husdyr per 1.8.2011. Mest aktuelle er storfe, deretter øvrige dyr som beiter, i lysegrått, mens gris og høns holdes innendørs og er lite trolige smittekilder (Fylkesmannen i Telemark, 2011).

Kommune	Storfe	Sau	Geit	Hjort	Hest	Gris **	Høns ***
Skien (nedbørfelt til Norsjø)	768	81	6	0	141	50	24
Nome	1538	2448	9	205	206	594	9472
Bø	286	2834	28	0	83	2874	31498
Sauherad	82	1169	9	0	79	760	95
Notodden	926	3289	0	0	110	424	7510
Hjartdal	737	5004	10	0	59	10	37
Kviteseid*	866	4512	1	0	15	99	3636
Seljord	906	5202	89	0	93	10	7589
Tinn	796	5097	130	0	35	104	2403
Tokke	385	8760	313	0	39	3	40
Vinje	751	8599	2050	58	100	4	73
Total	8041	46995	2645	263	960	4932	62377

* Inkluderer kun gårder med postnummer Kviteseid eller Morgedal, dvs. i nedbørfeltet

** Slaktegris 20-50 kg og/eller avlspurker >1 kull

*** Verpehøns > 20 uker og/eller livkyllinger (ikke slaktekylling)

5.1.2 Transport av smittestoff til Norsjø

Vann er tyngst rundt 4° C. Sommer og høst vil tilsig og avrenninger være varmere og lettere enn kaldt dypvann i innsjøer, og forurensinger vil legge seg i overflaten. Under vinter og vår vil tilrenning ofte være kaldere enn det relativt varme dypvannet, og vil fortsatt legge seg i overflaten (Økland & Økland, 1998). Unntaket kan være vann fraktet i tunneler i samband med kraftproduksjon, som slippes på unaturlige dyp i vassdraget, eller vann som av andre grunner er kaldere eller varmere enn overflatelaget i vassdraget. Bekker og elver som er tunge pga. erosjon, kan få høyere egenvekt enn vann og dukke i innsjøen (Brookes *et al.*,

2003). Avløpsvann er oftest varmere enn vann i vassdraget, som medfører at det beveger seg mot overflaten, mens det fortynnes og nedkjøles på veien (Tjomsland *et al.*, 2012)).

For innsjøer er det vanlig å beregne teoretisk oppholdstid, der gjennomsnittlig vannføring deles på volumet av innsjøen. En liten sjø med stor vannføring vil ha kortere oppholdstid, mens en stor sjø med lite vannføring vil ha lengre oppholdstid. Oppholdstiden beskriver kanskje et gjennomsnittlig vannmolekyls opphold i innsjøen, men er langt fra "korteste reiserute", oftest i overflatelaget av innsjøen. Teoretisk oppholdstid i Norsjø tilsvarer volum av innsjøen delt på midlere vannføring:

$$\begin{aligned}
 \text{Oppholdstid} &= \text{Volum} / \text{midlere vannføring} && (1) \\
 &= 5,1 \text{ km}^3 / 280 \text{ m}^3/\text{sek} \\
 &= 5,1 \times 10^9 \text{ m}^3 / (280 \times 86\,400 \text{ m}^3/\text{døgn}) \\
 &= 5,1 \times 10^9 \text{ m}^3 / 24,2 \text{ km}^3/\text{døgn} \\
 &= 212 \text{ døgn}
 \end{aligned}$$

Gjennomsnittlig transporttid i norske elver er 1 m/sek (Ånund Killingtveit, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU), pers. medd. 2012). Eksakt transporttid er komplisert å beregne, og avhenger av vannføring, elvens dybde og bredde, høydeforskjeller i elveleiet, vind osv. Også i elver vil vannet flyte raskest i overflaten, og noe tregere mot bunnen (Økland & Økland, 1998). Den lengste avstanden mellom vanninntaket i Steinsvika og et kommunalt renseanlegg i nedbørfeltet er ca. 180 km. Ved en hastighet på 1 m/sek i elver, og 0,01 m/sek (hentet fra utregning i Norsjø, se utregning nr. 3 neste side) i innsjøenes transportlag, vil transporttiden mellom dette renseanlegget og Steinsvika være 110 dager, eller ca. 3,5 måneder. Dette tidsrommet er lenger enn kjent overlevelsestid for *Giardia*, men en andel *Cryptosporidium* kan fortsatt være infektive (Robertson & Gjerde, 2006a), og teoretisk nå fram til vannverket. Ut fra beregninger og vurderinger vil avløpsrenseanlegg ved Norsjø og like oppstrøms Norsjø ha størst betydning for drikkevannskvaliteten. En beregnet og ellers antatte transporttider er oppsummert i tabell 19.

Tabell 19 Oppsummering av utregninger, gjennomsnittlig og antatt transporttid

Gj.sn. oppholdstid i Norsjø, utregnet	212 døgn
Gj.sn. transporttid i norske elver*	1 m/sek
Antatt transporttid i innsjøer i Skiensvassdraget	0,01 m/sek
Antatt transporttid mellom mest fjerntliggende renseanlegg i nedbørfelt og Steinsvika	110 dager

*Ånund Killingtveit, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU) pers. medd. 2012

5.1.3 Transport og fortykning i Norsjø

Over halvparten av tilsiget til Norsjø skjer i nordlige ende. Det er lite øyer i Norsjø, og vannmassene i transportlaget kan tenkes oppføre seg som en stempelstrøm. Ved tilførsel av forurensing i nord må den flyttes over nesten hele innsjøens lengde før den kan nå vanninntaket i sør. I en periode vil kanskje hele transportlaget ha høy konsentrasjon av smittestoff. Vanninntaket vil kunne eksponeres for smittestoff ved blanding av overflate- og dypvann i dette tidsrommet.

Norsjø har et areal på 55,24 km² og et midlere tilsig på 279 m³/sek (årsmiddel 1981-2010, NVE). Man kan anslå overflatetransportlaget til å være 10 til 20 meter høyt basert på temperaturkurver fra 2003 til 2005 (se bl.a. figur 13). For å beregne transporttiden i overflatelaget bruker man følgende formel der T = Tid, V = volum av overflatetransportlaget og Q = midlere tilsig:

$$\begin{aligned} T &= V / Q && (2) \\ &= (55,24 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m}) / (280 \text{ m}^3/\text{sek} \times 86\,400 \text{ sek}) \\ &= 55,24 \times 10^7 \text{ m}^3 / 2,42 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{døgn} \\ &= 23 \text{ døgn} \end{aligned}$$

Det vil ta ca. 23 døgn for en kubikkmeter overflatevann å flytte seg fra nord til sør av Norsjø. Norsjø er 2,3 mil lang, og forutsatt 10 m tykt transportlag får transportlaget en samlet hastighet (= v) lik lengden (= L) delt på transporttiden (T).

$$\begin{aligned} v &= L / T && (3) \\ &= 2,3 \text{ mil}/23 \text{ døgn} \\ &= 23\,000 \text{ m}/(25 * 86\,400) \text{ sek} \\ &= 23\,000 \text{ m}/1\,972\,205 \text{ sek} \\ &= 0,01 \text{ m/sek} \end{aligned}$$

Utregningene er oppsummert i tabell 20. Dersom Norsjø tilføres forurensinger fra elv i nord, vil det i første del av innsjøen skje en prosess der vannstrøm, turbulent diffusjon og vind blander smittestoffene i transportlaget øverst i innsjøen (Økland & Økland, 1998). Etter en viss tid og avstand vil blandingen være tilnærmet fullstendig.

Tabell 20 Resultat for reisetid gjennom Norsjø og transporttid ved midlere vannføring lik 280 m³/s..

Høyde på transportlag	Tid gjennom Norsjø	Gjennomsnittlig fart
10 m	22,8 døgn	0,01 m/sek
20 m	45,6 døgn	0,005 m/sek

5.1.4 Transport og fortykning av (oo)cyster fra ned til vanninntaket

Det er hovedsakelig tre måter forurenset overflatevann kan bevege seg ned til vanninntaket på. Transport ved turbulent diffusjon under vår- eller høstsirkulasjonen har mindre betydning fordi den skjer så sakte. Transport ved vipping av sprangsjiktet/indre bølger (under høst 1) har stor betydning, fordi det skjer raskt og i tilnærmet ufortynnet form, i løpet av få timer, med minimalt frafall av levende parasitter. Transport via erosjonstunge bekker om våren kan ha stor betydning av og til. Partikkelbundne (oo)cyster vil både kunne fjernes lettere fra vannmassene ved sedimentasjon, men kan med dette også transporteres ned til vanninntaket (Tjomsland *et al.*, 2012; Berge *et al.*, 2012).

5.1.5 Frafall av parasitter

Halveringstiden, t_{50} , er den tiden det tar for levende smittestoff å reduseres ned til 50%. I norske forsøk har parasittsmittestoff vist å ha lang overlevelse i kaldt vann (Robertson & Gjerde, 2006a), der smittestoff fra *Giardia* og *Cryptosporidium* har vært 99% redusert ved ca. en måned eller 4,5 måned respektivt. Tjomsland *et al.* (2012) har tidligere forutsatt en halveringstid for (oo)cyster lik 30 dager. Det medfører 99% reduksjon etter ca. 7 måneder, og kan som "verste fall" være representativ for *Cryptosporidium*, men noe overdrevet for *Giardia*. Overlevelse og frafall påvirkes av ytre faktorer, slik som økt temperatur, lysforhold (naturlig UV-lys), beitere (predasjon), og hvorvidt mikroorganismene festes til partikler og fjernes ved sedimentering (Tjomsland *et al.*, 2012).

5.6 Varsling av utbrudd

Et viktig element i sikkerheten ved Steinsvika vannverk er hvorvidt utbrudd og påfølgende forurensing i nedbørfeltet varsles, hvor raskt det varsles, og eventuelt når på året utbruddet skjer. Ved visshet om at det pågår et utbrudd og at den naturlige barrieren, dypvannsinntaket i Norsjø, kan være brutt, kan man sørge for høyeste beredskap ved vannverket og sikre at den tekniske barrieren fungerer optimalt.

6 Data og metode

Oppgaven har bestått av litteraturstudie, en mindre kartdel (GIS), en enkel Excelmodellering, samt utregninger av scenarioer. Oversikt over mest relevante smittekilder i nedbørfeltet er samlet inn. Data for innbyggere er hentet fra nettsider hos SBB (2012) og data for husdyr er hentet fra fylkesmannen i Telemark. Disse dataene er benyttet i enkle modeller for ulike scenarioer. Prinsippene for disse er beskrevet nedenfor.

6.1 Modellberegning for scenarioer

Som nevnt i forrige kapittel er det hovedprosesser som påvirker konsentrasjonen av (oo)cyster i råvannet fra inntaket på 50 m dyp. Disse er produksjon av smittestoff i nedbørfeltet, transport av smittestoff til Norsjø, transport og fortykning i Norsjø, transport av smittestoff til vanninntaket i Steinsvika og frafall av levende parasittsmittestoff under transporttiden.

6.1.1 Kontinuerlig tilførsel

I beregningene er det tatt utgangspunkt i reelle data for total mengde forurensingskilder i nedbørfeltet. I et verste fall scenario er det antatt at ca. 10% av innbyggerne i nedbørfeltet blir syke, og blir maksimalutskillere, dvs. at de produserer 10^{10} (oo)cyster/døgn. Det er forutsatt 50% reduksjon av smittestoff i renseanleggene. Forurensingen er deretter forutsatt tilført nord i Norsjø, der de samlet sett største innløpselvene er. Fortyningen er beregnet i et volum med 10 meters høyde øverst i innsjøen, kalt transportlaget ($V = A \times h$). I denne modellen er det forutsatt full blanding og lik konsentrasjon av smittestoff i transportlaget ($C = (\text{oo})\text{cyster} / V$). For å beregne transporttiden gjennom Norsjø er det beregnet hvor lang tid dette transportlaget bruker fra nord til sør, forutsatt stempelstrøm og midlere vannføring på $279 \text{ m}^3/\text{sek}$ (årsmiddel 1981-2010, NVE). Utregnet transporttid gjennom Norsjø er 23 døgn, som utregnet i kapittel 5.1.3, ligning nr.2 ($T = V / Q$). Halveringstiden er som i andre simuleringer antatt til 30 dager (Tjomsland *et al.*, 2012), men er i en forenkling satt lik transporttiden gjennom Norsjø på 23 dager, slik at frafall av levende parasitter blir ytterligere redusert 50% under transporten gjennom innsjøen. Det er forutsatt en vippemodell for transport ned til vanninntaket på 50 m, se 6.1.3.

6.1.2 Satsvis tilførsel

I scenarioer for satsvis tilførsel tar man også utgangspunkt i ulike antall utskillere, med noe mer varierende adkomst til vannkilden, med variabel mengde avføring som fortyknes i

vannkilden. Uttynning er forutsatt i et volum med 10 m høyde, begrenset til arealet av Fjærekilen, dvs. ved utløpet av Norsjø, i sørenden, der Steinsvika vannverk befinner seg. Halveringstiden er sett bort i fra i disse scenarioene, og det er forutsatt en vippemodell for transport ned til vanninntaket på 50 m dyp.

6.1.3 Vippemodell

Det er forutsatt at både kontinuerlige og satsvise scenarioer utspiller seg om høsten, under de spesielle forholdene som kreves for at det skal kunne forekomme vippinger av sprangsjiktet, beskrevet i kapittel 4.3. Under vippinger er det forutsatt at vertikal forflytning av overflatelaget ned til vanninntaket på 50 m dyp skjer uten fortykning, dvs. at konsentrasjonen av (oo)cyster forblir den samme på 50 m som i overflaten.

6.2 GIS og Excel

ArcMap10 (ESRI ArcGIS) er benyttet til å lage kartene av nedbørfeltet. Kartdata er FKB (felles kartdatabase) og N50 data som er levert av Norge digitalt 2012 gjennom Høgskolen i Telemark. Filene er opprinnelig hentet etter administrative grenser, som fylke (1:250 000) og kommune (1:50 000). Husdyrdata er levert av landbruksavdelingen hos fylkesmannen i Telemark, og omfatter totalt antall dyr registrert per 1.august 2011, som grunnlag for jordbrukers søknad om produksjonstilskudd.

For å fremstille nedbørfeltet til Norsjø ble aktuelle filer fra REGINE selektert og deretter samlet med Union tool. Denne filen ble benyttet i Clip på øvrige aktuelle kartlag. Navn på innsjøer, tettsteder og renseanlegg ble enten valgt som Labels, eller skrevet inn med Draw og Annotation tool. Prosentvise arealopplysninger i 3.5 Vegetasjonsdekke ble selektert fra arealdekke. Areal av Fjærekilen ble laget med Split polygon tool i Editor. For å beregne avstand fra ulike renseanlegg i vassdraget til Steinsvika, ble Measure tool brukt til å måle avstand gjennom innsjøer. Avstand i elver ble oppgitt ved hjelp av NVEs nettsider (www.vann-nett.no).

Lengder på elvesegmenter og avstand gjennom innsjøer ble satt opp og summert hver for seg i en Excelmodell (Microsoft). Total transporttid ble beregnet ved å multiplisere ulike lengder med respektiv hastighet for henholdsvis elver, med 1 m/s, og innsjøer med 0,01 m/s (se tabell nr. 19), og deretter ble tidene summert.

7 Scenarier

Smittestofftilførsel til en drikkevannskilde kan skje kontinuerlig over et lengre tidsrom, som fra et utbrudd i et tettsted, eller satsvis, som ved en kortvarig hendelse fra en begrenset punktkilde. Ulike scenarier skal gjennomgå i dette kapitlet, men alle scenarioene forutsettes foregå i perioden med vippinger av sprangsjiktet.

7.1 Kontinuerlig tilførsel

Ved et utbrudd i et tettsted i nedbørfeltet til Norsjø vil smittestoff spres med avløpsvann døgnet rundt, kanskje over flere måneder. Under et utbrudd vil noen "maksimalutskillere" skille ut store mengder smittestoff, mens flertallet trolig blir "gjennomsnittsutskillere". Fordelingen er vanskelig å anslå. I dette scenarioet er det valgt å forholde seg til antall maksimalutskillere.

7.1.1 Scenario: 5000 personer

Man tenke seg at 5000 personer blir smittet, der samtlige er tilknyttet et kommunalt renseanlegg med Skiensvassdraget som resipient for avløpsvannet. Disse 5000 personene forutsettes å bli maksimalutskillere. En person kan produsere 10^{10} (oo)cyster per døgn, total mengde blir da 5×10^{13} (oo)cyster per døgn. Ved 50% halvering i renseanlegg, blir antallet tilført smittestoff lik $2,5 \times 10^{13}$ (oo)cyster per døgn. For videre beregninger må man kjenne volumet av transportlaget ved hjelp av følgende formel, der V = volum, A = areal ($55,24 \times 10^6 \text{ m}^2$) og h = tykkelse på transportlag:

$$\begin{aligned} V &= A \times h && (4) \\ &= 55,24 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} \\ &= 5,524 \times 10^8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Transporttid gjennom innsjøen er tidligere beregnet til 22,8 dager. Med en halveringstid lik 30 dager skjer en tilnærmet halvering i mengde smittestoff fra innløpet i nord til utløpet i sør, og tilførsel av smittestoff lik $2,5 \times 10^{13}$ (oo)cyster per døgn blir redusert til $1,25 \times 10^{13}$ (oo)cyster per døgn i sørenden. For å beregne konsentrasjon av smittestoff i transportlag deles tilført smittestoff på volumet i følgende formel:

$$\begin{aligned} C &= \text{antall (oo)cyster} / V && (5) \\ &= 1,25 \times 10^{13} \text{ (oo)cyster/døgn} / 5,524 \times 10^8 \text{ m}^3 \\ &= 5,43 \times 10^5 \text{ (oo)cyster/m}^3 \\ &= 543 \text{ (oo)cyster /l} \end{aligned}$$

Midlere konsentrasjon blir da $5,43 \times 10^5$ (oo)cyster/ m^3 i transportlaget i sørenden av Norsjø. Ved vipping kan det gi en tilførsel på 543 (oo)cyster per liter via råvannsinntaket på 50 m dyp ved Steinsvika vannverk. Hvis transportlaget har tykkelse 20 m, med samme forutsetning om full blanding i transportlaget, vil konsentrasjonen av parasitter reduseres til mindre enn det halve (større vannvolum i transportlaget og økt transporttid som gir økt frafall pga. aldring av (oo)cyster).

7.2 Satsvis tilførsel

For å beregne hvor mye smittestoff som tilføres dersom man har kortvarige hendelser med smittetilførsel, er det valgt scenarioer med både menneske og med dyr som forurensere relativt nær vannverket i Steinsvika. Ved utregning av konsentrasjon av forurensing i overflatelaget, forutsettes en vertikal forflytning av vannmassene, uten fortykning, ned til råvannsinntaket på 50 m dyp ved Steinsvika vannverk. Halveringstid er sett bort i fra i disse modellberegningene.

7.2.1 Scenario: Syk jogger

Dersom en jogger får akutt diaré kan smittestoff nå en bekk nær Steinsvika. En person kan produsere 10^7 oocyster/g (eller 5×10^6 cyster/g) avføring. Etterfølgende kraftig nedbør vasker 10 g av avføringen med 10^8 oocyster videre ut i Fjærekilen (fjordarm som inkluderer Steinsvika). Avføringen vil fortynnes i vannmassene. Arealet av Fjærekilen er $3.138.506 m^2$. Dersom høyden på transportlaget i Fjærekilen settes til 10 m, vil volumet av overflatelaget bli $31.385.063 m^3$, eller $3,1 \times 10^7 m^3$. Ligning 5 gjentas.

$$\begin{aligned} C &= 10^8 \text{ oocyster} / 3,1 \times 10^7 m^3 & (6) \\ &= 3,2 \text{ oocyster}/m^3 \\ &= 3,2 \times 10^{-3} \text{ oocyster /l} \end{aligned}$$

7.2.2 Scenario: Elg

Elg kan være en viktig smittekilde, da de produserer mye avføring (50 kg/døgn), og kan gjøre fra seg nær vanninntaket, f.eks. under svømmetur om høsten, eller i en vårtung bekk. Det må også forutsettes at parasittypen dyrene er infisert med er zoonotiske, dvs. av en type som kan infisere menneske, ellers ville forurensingen uansett ikke medføre skade. En akutt syk elg kan trolig ha opp mot 10^6 oocyster/g avføring. Dersom 10 kg avføring når vannkilden vil det tilsvare 10^9 oocyster. Kraftig regnskyll og/eller vind kan bidra til å blande

forurensing i vannmassene (Berge, 2011). Dersom fortynningen skjer i et 10 m tykt lag i Fjærekilen, lik $3,1 \times 10^7 \text{ m}^3$, blir konsentrasjonen følgende, iht. ligning 5:

$$\begin{aligned} C &= 10^{10} \text{ oocyster} / 3,1 \times 10^7 \text{ m}^3 & (7) \\ &= 32,3 \text{ oocyster/m}^3 \\ &= 0,032 \text{ oocyster/l} \end{aligned}$$

7.2.3 Scenario: Sprekk gjødselkjeller fra kalvebesetning

En gjødselkjeller kan sprekke, på ulike tider av året. 100 kg fersk gjødsel med 10^9 oocyster/gram fra en besetning med syke kalver kan nå Fjærekilen. Dette tilsvarer 10^{11} oocyster. Avføringen kan forutsettes fortynnet i et 10 m tykt overflatelag i Fjærekilen, lik $3,1 \times 10^7 \text{ m}^3$, og konsentrasjonen blir følgende når ligning 5 gjentas:

$$\begin{aligned} C &= 10^{11} \text{ oocyster} / 3,1 \times 10^7 \text{ m}^3 & (8) \\ &= 322,5 \text{ oocyster/m}^3 \\ &= 0,32 \text{ oocyster/l} \end{aligned}$$

7.2.4 Scenario: Lekkasje over ti dager fra pumpestasjon P567

Et scenario kan være at det i ti dager lekker urensset avløpsvann fra et pumpestasjon i Fjærekilen mens det pågår et utbrudd i nabolaget. 279 personer er tilknyttet pumpestasjonen, av disse er 10 syke, og skiller ut 10^{10} oocyster daglig i 10 dager mens lekkasjen pågår. Til sammen 10^{12} oocyster slippes ut i Fjærekilen, og fortynnes i et 10 m tykt overflatelag i Fjærekilen. Ligning 5 gjentas.

$$\begin{aligned} C &= 10^{12} \text{ oocyster} / 3,1 \times 10^7 \text{ m}^3 & (9) \\ &= 3225 \text{ oocyster/m}^3 \\ &= 3,2 \text{ oocyster/l} \end{aligned}$$

8 Resultat

Resultatene av utregninger og digitale verktøy er kort oppsummert nedenfor.

8.1 Scenarioer

Forutsetningene for utregningene er midlere vannføring på 270 m³/sek, 10 meter tykt transportlag i Norsjø og de spesielle vindforholdene som fører til vipping om høsten. For utregninger med kontinuerlig tilførsel og 5000 maksimalutskillere er uttynningsvolum for hele areal av Norsjø tatt med, mens for de øvrige scenarioene er arealet av Fjærekilen beregnet. Resultatene fra beregningene i scenarioene er oppsummert i tabell 21.

Tabell 21 Resultat av ulike beregninger av gitte scenarioer i nedbørfeltet til Steinsvika vannverk.

Nr	Scenario	Kons. av (oo)cyster ved råvannsinntak	(Oo)cyster til vannverket (0,3 m ³ /sek)	(Oo)cyster/ liter til vannverket
		(oo)cyster/m ³	(oo)cyster/sek	(oo)cyster /l
1	5000 personer *	5,43 x 10 ⁵	162 900	543
2	1 akutt syk jogger	3,19	1	0,0032
3	1 elg via bekk i Fjærekilen	32,3	9,6	0,032
4	Lekk gjødsel- kjeller	322,5	96	0,32
5	Lekkasje via P567	3225	960	3,2

* Forutsatt 10 m tykt transportlag i Norsjø, midlere vannføring 270 m³/sek, og spesielle værforhold om høsten.

8.2 GIS og Excel

Kartene produsert ved hjelp av GIS og ArcMap er vist tidligere i dokumentet, og er oppsummert i tabell 22, se nedenfor. Resultatet av målingene benyttet til utregning av transporttid er oppsummert i tabell 19.

Tabell 22 Oversikt over figurer med spesiallagete kart.

Figur nr.	Sidetall	Tittel/innhold
4	31	Oversikt over nedbørfeltets utstrekning i ulike kommuner og fylker
9	37	Arealdekke i nedbørfeltet
19	52	Større renseanlegg i nedbørfeltet

9 Diskusjon

9.1 Scenarioer

Modellene for utregninger av konsentrasjon av smittestoff ved råvannsinntaket på 50 m dyp, er basert på verstefall-scenarier med forenklinger og forutsetninger. Dette skal diskuteres nedenfor og sammenlignes med lignende forsøk. Det skal opplagt flere sammenfallende tilfeldigheter til for at forurensing fra både kontinuerlige og satsvise kilder skal kunne føre til større utbrudd.

9.1.1 Kontinuerlig smittestoffutskillelse med 5000 utskillere

Antall mulige "maksimalutskillere" under et utbrudd er vanskelig å anslå. Den store mengden smittestoff disse individene kan skille ut (10^{10} /døgn), gjør at denne type utskillere blir en avgjørende faktor for konsentrasjonen av smittestoff i vassdraget. 5000 syke personer forutsetter at ett eller flere store vannverk i Norsjøs nedbørfelt leverer vann med *Cryptosporidium*-smitte. Dette er lite sannsynlig. Det høye antallet syke personer er valgt for å angi en absolutt øvre verdi for *Cryptosporidium*-forurensing av Norsjø.

I en virkelig situasjon kan man forvente noen færre maksimalutskillere, men et større antall gjennomsnittsutskillere.

Den beregnede konsentrasjonen på 543 (oo)cyster/l i råvannet på 50 m (forutsatt et transportlag med tykkelse 10 m), er et svært høyt innhold av parasitter. Hvis transportlaget er tykkere enn 10 m, øker volumet av transportlaget og transporttiden. Det gir større fortynning og større frafall av parasitter. Selv om transportlaget i overflaten i Norsjø er 20 m tykt og ikke 10 m, kan konsentrasjonen av parasitter likevel bli svært høy.

Konsentrasjonen tilsier at parasittforurensing er noe man bør ta alvorlig ved vannverket i Steinsvika. Dersom f.eks. antallet maksimalutskillere reduseres med 90%, til 500 utskillere, blir tilsvarende reduksjon i konsentrasjonen 54,3 (oo)cyster/l. Dette er fortsatt urovekkende høyt, og er langt mer enn hva man bør forvente av en naturlig barriere. Ved utbruddet i Östersund antar man at konsentrasjonene i råvannet var rundt 20 cyster/10 l, i Bergen minst 10 oocyster/10 l og i Milwaukee 12 oocyster/10 liter, for å få det aktuelle omfanget (Johnsen *et al.*, 2005; SMI, 2011b; Perz *et al.*, 1998).

Til sammenligning modellberegnet Tjomsland *et al.* (2012) et scenario i Mjøsa som ga en konsentrasjon på 80 oocyster/l ved vanninntaket til Hamar vannverk, under simulering av vårsirkulasjonen (27.mai). Ved dette vanninntaket har perioden om våren gitt den historisk verste vannkvaliteten, da vanninntaket ligger for dypt til å påvirkes av vippinger (Torulv Tjomsland, pers. medd., 2012). Hamar vannverk ligger nær HIAS avløpsanlegg (3 km i luftlinje mellom utløp på 15 m og inntak på 145 m). Dette vannverket vurderer å flytte vanninntaket lengre fra avløpsanlegget, og til større dyp. Lignende skal vanninntaket i Steinsvika senkes fra 50 til 60 m. Temperaturmålinger utført på ulike dyp tyder på at flyttingen vil trolig gjøre vanninntaket noe mindre sårbart for påvirkning av forurenset overflatevann under vippinger (Barland, 2005).

I modellen er det forutsatt at de 5000 utskillerne blir syke samtidig, men ved utbrudd vil smitteproduksjonen spres over et bredere tidsrom som vist av Johnsen *et al.* (2005) og SMI (2011b). Utskillelse av smittestoff vil nesten alltid være lavere i starten og slutten av et utbrudd, med de høyeste konsentrasjonene i en midtperiode, når flest er syke. Fordi den beregnede konsentrasjonen er så høy (543 (oo)cyster /l) ville trolig en spredning av smittestoffutskillelse over et lengre tidsrom fortsatt kunne medføre svært høye konsentrasjoner i råvannet ved 50 m dyp.

I dette scenarioet skjer smittespredningen via avløpsvann fra renseanlegg. Reduksjon i renseanlegg er vanskelig å anslå. Temperaturen i avløpsvann er som regel varmere enn i naturlig elve- og innsjøvann, som vil redusere overlevelsen av (oo)cystene. Samtidig går en del kloakk i overløp, dvs. at det slippes ut uten rensing overhodet. Det trengs evt. mer informasjon om renseevnen for ulike RA i nedbørfeltet med hensyn til *Cryptosporidium* og *Giardia*.

Utslippspunktet for kontinuerlig smittestoffutskillelse er forutsatt nord i Norsjø. Eksakt utslippspunkt fra ulike renseanlegg har trolig mindre betydning for svaret, fordi mange faktorer kan spille inn på transporthastighet i vassdraget, slik som vind, nedbør, kraftproduksjon, og bredde- og dybdeforhold (Økland & Økland, 1998). Det ligger ikke innenfor oppgavens målsetting å beregne eksakte transporttider for Skiensvassdraget, men de forenklete beregningene som er utført tilsier at det er mulig for vann å flyttes fra de øverste til de nederste deler av vassdraget på relativt kort tid. Det betyr at en viss andel cyster eller oocyster, spesielt sistnevnte, kan transporteres fra de fleste renseanlegg i nedbørfeltet til vanninntaket i Steinsvika, under gode forhold for parasittransport og -

overlevelse. De nærmeste tettstedene som er likevel de viktigste potensielle smittekildene, da avstand til vanninntaket er ansett som avgjørende for betydningen av smitten (Johnsen *et al.*,2005).

En annen forutsetning er at vannføringen er lik den gjennomsnittlige vannføringen, 280 m³/sek, og transporttid gjennom Norsjø baseres på dette (sammen med transportlagets volum). Dersom vannføringen er større, kan smittestoff transporteres raskere. Vannverket får da kortere tid til å forberede seg, dersom forurensingen er av en type som vil kunne varsles. Høyere vannføring kan samtidig virke fordelaktig ved at eventuelle smittestoff fortynnes i større grad, men vannkvaliteten generelt kan forverres, pga. økt avrenning og større forurensing fra overflatekilder. Dersom vannføringen er lavere enn forutsatt kan det fortytning av smittestoff reduseres, og vannkvaliteten kan få økt preg av lokal avrenning. På den andre siden vil trolig transporttiden økes, slik at naturlig frafall av smittestoff øker, og man kan tåle en eventuell forsinkelse av varsling om utbrudd lengre opp i vassdraget.

Transportlagets høyde er forutsatt lik 10 m. Transporttiden bestemmes fra volumet (sammen med vannføringen). Høyden bestemmer transportlagets volum i modellen, som forurensingene fortynnes i. Gitt et tynnere transportlag ville konsentrasjonen av forurensinger blitt høyere, og transporttiden gjennom Norsjø raskere. Med et tykkere transportlag, ville fortytningen blitt større, med lavere konsentrasjon av (oo)cyster i råvannet, og lengre transporttid i Norsjø. Da kunne konsentrasjonen av (oo)cyster blitt en god del lavere enn i det beregnede verstefall-scenarioet.

Det er forutsatt at smittestoff blandes fullstendig i vannmassene i transportlaget, og at fortytningen skjer i hele innsjøens overflatelag. Vannstrøm i en innsjø er utrolig komplisert, og det vil trolig være målbare konsentrasjonsforskjeller i transportlaget. Blanding i Norsjø vannmasser bør eventuelt ses nærmere på. Lignende er det i modelleringen forutsatt at vippingen medfører en hurtig vanntransport fra 10 meter ned til vanninntaket på 50 meter uten ytterligere fortytning. I realiteten vil det trolig bli noe fortytning, men langt mindre enn ved den klassiske høst- og våromveltningen, når vannmasser flyttes fremst av turbulent diffusjon i en langsom prosess, og forurensinger fortynnes i nesten hele vannsøylen. Modellering utført av Hodges *et al.* (2000) har vist at vipping ikke bare flytter vann vertikalt, men også bidrar til resuspensjon av sedimenterte (oo)cyster. Disse prosessene vil trolig variere mye fra innsjø til innsjø, og bør evt. utforskes for Norsjø.

I andre simuleringer med parasittsmittestoff er halveringstid anslått til en uke som en realistisk verdi, og halveringstid på en måned som en konservativ verste fall verdi (Berge *et al.*, 2012). Det understøtter at det skal mye til at en framtidig forurensing skulle overstige konsentrasjonene funnet i disse beregningene. Halveringstid, transporttid og generell oppholdstid i innsjøen er viktige faktorer for hvorvidt (oo)cystene vil kunne transporteres til vanninntaket. Dersom forurenset vann først er transportert ned mot vanninntaket, vil varigheten av påvirkning bli betydelig når patogenene har lang overlevelse. Dette gjelder særlig for de siste vippingene i desember, like før sprangsjiktet "bryter sammen". Gitt at halveringstiden var lik én uke, ville smittestoffene blitt redusert med 50% tre ganger på deres ferd gjennom innsjøen, med den beregnede transporttiden på 22 dager. (Oo)cystekonsentrasjonen ville da reduseres til 136 (oo)cyster/l. Fordi modellen er såpass enkel, er det også enkelt å endre den ved andre forutsetninger, og skalere resultatene både opp og ned.

9.1.2 Lokal og satsvis smittestofftilførsel

Fordi fortykning i Fjærekilen og Norsjø er så stor, må en mindre mengde forurensing tilføres i en vannstrøm som leder mot vanninntaket for at den skal kunne ha betydning. Den høyeste konsentrasjonen som oppnås med satsvis tilførsel, fra human smittekilde, er 3,2 (oo)cyster/l. Det er langt lavere enn beregnet ved kontinuerlige smittekilder, men tilsvarer antatte konsentrasjoner ved de siste store utbruddene i Norge og Sverige (10-20 (oo)cyster/l), og er nok til å gjøre mange syke, ved samtidig svikt i tekniske barrierer.

Slike tilførsler kan skje relativt nær vanninntaket. En bør sørge for at eventuelle infiltrasjonsgrøfter fra anlegg for spredt avløp i stort område rundt vanninntaket legges langt fra bekker og grøfter som kan lede til vannkilden.

9.2 Vannkvalitet

Det finnes gode indikatororganismer for bakterier, men ingen gode for parasitter. Negative funn av indikatororganismer gir derfor dårlig sikkerhet mot parasitter. Antatt halveringstid for *E.coli* er tidligere satt til én dag, mens for parasitter er det anslått halveringstid opptil én måned (Tjomsland *et al.*, 2012). Indikatorbakterien *E.coli* finnes i prøver av råvannet på 50 m. Det er beregnet ca. 22 dager transporttid gjennom Norsjø fra nordenden, men det finnes både utløp fra kommunalt renseanlegg og spredt avløp nærmere vanninntaket. At det finnes *E.coli* ved vanninntaket i dypvannet kan bety at det finnes forurensingskilder som ikke er

tatt med i beregningene her, eller at *E.coli* overlever lenger enn antatt. Der det finnes *E.coli* vil det finnes en teoretisk mulighet for å finne parasittmittestoff. Det kunne være nyttig å utrede opphavet til *E.coli* i råvannet fra 50 meters dyp, hvorvidt de stammer fra tilløpsbekker i nærheten, eller er mer langtransportert.

En bør også vurdere muligheten for at selv i perioder med sprangsjikt kan støtviser tilførsler kunne ha betydning. Berge *et al.* (2012) nevner mulighet for at avføring fra fugler, der (oo)cyster kan spres med tunge partikler, kan synke gjennom sprangsjiktet, og i verste fall nå råvannsinntaket. Fugler er riktignok ikke identifisert som en betydningsfull zoonotisk kilde for *Giardia* eller *Cryptosporidium*, men transportveien bør noteres.

9.3 Hygieniske barrierer

Dersom Norsjø ikke utgjør en naturlig, hygienisk barriere, trenger man ifølge drikkevannsforskriften en teknisk barriere i tillegg til UV-bestrålingen. I veileder til drikkevannsforskriften står følgende om hygieniske barrierer: "Bruk av samme desinfeksjonsmiddel, men i to trinn kan også benyttes for å styrke den hygieniske sikkerheten. Metoden er benyttet i liten grad i Norge". Dette kan være en mulig løsning for Steinsvika vannverk, i perioder som vannverket kan bli utsatt for parasittmitte.

Forholdene blir trolig bedre når vanninntaket flyttes til 60 m dyp, se figur 13 (Barland, 2005). Selv om kvaliteten blir bedre er det tvilsomt om vannkilden og vanninntaket kan betraktes som en fullstendig hygienisk barriere. Modellberegningen antyder at Steinsvika bør ha et vannbehandlingsanlegg med to aktive barrierer mot parasitter.

9.4 Varsling

I Norge er kun *Giardia* meldepliktig sykdom, mens i Sverige har også *Cryptosporidium* vært meldepliktig siden 2004 (SMI, 2011b). Det er en svært viktig faktor for beredskapen ved vannverket i Steinsvika, om et utbrudd i nedbørfeltet varsles eller ikke. Vannverket vil trolig aldri bli varslet om f.eks. utbrudd blant ville dyr, utbrudd blant kalver, syk jogger ved Norsjø eller lignende. Dersom derimot en septiktankbil velter på Riksvei 36 langs Fjærekilen, vil vannverket få beskjed om dette, og kan forberede de tekniske barrierene, slik at de virker optimalt.

Nesten like viktig som om det varsles, er det viktig hvor lenge et utbrudd har pågått før det varsles. I Bergen tok det ca. to måneder, mens i Østersund ca. en måned, fra folk begynte å bli syke, til varsel ble gitt (SMI, 2011b). For Norsjø sin del har det stor betydning om varslingstiden er én eller to måneder, fordi transporttiden langs innsjøen, fra innløp i nord til utløp i sør, ved gitte forutsetninger (10 m høyt transportlag og midlere tilsig) er beregnet å være lik 23 dager. Ved kort varslingstid, på ca. en måned, kan vannverket være forberedt når forurensingen fra nordenden nærmer seg sørenden. Ved lengre varslingstid, nær to måneder, er det langt større mulighet for at forurensingen har nådd sørenden av Norsjø, med høye konsentrasjoner i transportlaget.

Effekt av varslings er også sterkt avhengig av reisetid fra utslippspunkt til Steinsvika. Ved høy vannføring og lav høyde på transportlag vil smittestoff kunne nå enda raskere fram, og selv rask varslings vil være for sent ute, da smittestoff allerede kan ha nådd fram til vannverket. Ved smittestofftilførsel nærmere Steinsvika kan også rask varslings være forgjeves. Dersom det varsles om utbrudd og det er usikkerhet knyttet til om de tekniske barrierene har optimal funksjon, kan kokepåbud utstedes for at mottakerne av drikkevannet skal være sikret trygt vann i henhold til drikkevannsforskriften.

9.5 Drifts- og vedlikeholdsstrategi

Erfaring fra overvåking av råvannet tilsier at hendelsene med dårlig råvannskvalitet ved Steinsvika vannverk skjer i perioden fra oktober til januar. Når man er kjent med at visse perioder av året innebærer høy fare for forurensing, bør vedlikeholdsrutiner og kapasitet tilpasses dette. Fordi modellberegningene viser høye konsentrasjoner av parasittsmittestoff, betyr det at Steinsvika vannverk ikke tåler alvorlige driftsforstyrrelser i denne perioden. Et program for forebyggende vedlikehold må være fullført i løpet av første halvdel av oktober, slik at man er forberedt på smittetilførsel, uavhengig av varslings eller ikke. Overvåking og bemanning kan økes, og driftsoperatører kan være konstant tilstede ved vannverket i Steinsvika for å sørge for at anlegget er i optimal drift.

Man kan av og til få dårlig vannkvalitet ved spesielle forhold om våren. Selv om dette inntreffer sjeldent, bør perioden likevel vurderes som sårbar, fordi konsekvensene av parasittforurenset drikkevann er svært ubehagelige.

Den beregnede konsentrasjonen på 543 (oo)cyster/l i råvannet på 50 m, er et svært høyt innhold av parasitter. Kravene i veilederen til drikkevannsforskriften på 4 logreduksjoner for parasitter vil uansett ikke være nok til å redusere denne (oo)cystekonsentrasjonen til WHO's anbefaling. Vannbehandling med 6 logreduksjoner hadde i så fall vært påkrevet.

WHO (2008) har beregnet at innhold av *Cryptosporidium* i ferdigbehandlet vann bør være mindre enn 0,00063/l for å oppnå akseptabel risiko. Forurenset drikkevann med denne konsentrasjonen, vil være vanskelig å oppdage ved målinger.

Dersom det hadde forekommet parasittforurensing med den beregnede konsentrasjonen på 543 (oo)cyster /l i råvannet, og rensing hadde blitt gjennomført med optimal metode i Steinsvika, med opp mot 4 eller 5 logreduksjoner, ville konsentrasjonen i rentvannet vært ca. 0,005 (oo)cyster /l. Spørsmålet er om forurensing av denne typen hadde gitt merkbart utslag blant befolkningen som mottar drikkevann fra Steinsvika vannverk. Selv med sekundærsmitte (dvs. at syke smitter hverandre direkte, uavhengig av drikkevannet) kunne dette ikke blitt et like dramatisk utbrudd som i Östersund, der nesten 50% av befolkningen ble smittet.

10 Konklusjon

Modelleringen viser at det kan bli høy konsentrasjon av parasittsmittestoff ved råvannsinntaket på 50 m dyp ved Steinsvika vannverk. Dette tilsier at dypvannsinntaket i Norsjø i perioder av året ikke oppfyller kravene til en naturlig barriere. Fra oktober til desember kan en ha en rekke vippinger med samlet varighet 1-2 uker, og i perioden oktober til januar tåler ikke Steinsvika vannverk alvorlige driftsforstyrrelser. Det er viktig at driftssikkerheten økes gjennom en bevisst drifts- og vedlikeholdsstrategi over hele året.

Drikkevannskilder som har gitt historisk god vannkvalitet kan likevel være sårbare i ekstreme situasjoner, grunnet globalisering, klimaendringer, befolkningsvekst og fortetting i bysentra, som gir mange mottakere av vann fra det enkelte vannverk. Man bør ha et bevisst forhold til bruk og vern av vannkilder. Videre studier bør søke å bekrefte eller avkrefte modellen med konkrete forsøk.

11 Referanser

- Aftenposten (2012) *Over tyve elever syke etter leirskole*. Hentet fra <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/Over-tyve-elever-syke-etter-leirskole-6793581.html> [lest 26.11.2012]
- Ahlbom, E. (2011) *Modelling of sedimentation and transport of Cryptosporidium in a drinking water source* (Masters thesis) Chalmers university of technology, Göteborg, Sverige.
- Barland, K. (2005) Temperaturmålinger 1.7.2003-5.12.2004 på ulike dyp. Labnett, Skien
- Berge, D. (2011) *Kontinuerlig måling av temperatur- og turbiditetsprofiler i Eikerens sydende vår og høst 2010* (Løpenr. 6174-2011). Oslo, Norge: NIVA (Norsk institutt for vannforskning)
- Berge, D., Tryland, I., Tjomsland, T., Hem, L.J., Røstum, J., & Eikebrokk, B. (2011) *ROS-Maridalen – Oset. Forurensingsanalyse av Maridalsvannet med nedbørfelt. Sikkerhet ved de hygieniske barrierer ved Oset vannbehandlingsanlegg. Beskyttelsestiltak vedr menneskelig aktivitet i nedbørfeltet* (6221-2011) Oslo, Norge: NIVA
- Berge I. (2008) *Vannkvalitet, forekomst og toksinproduksjon i Norsjø* (Masteroppgave) Høgskolen i Telemark, Bø, Norge.
- Brookes, J.D., Antenucci, J., Hipsey, M., Burch, M.D., Ashbolt, N.J., & Ferguson C. (2004) Fate and transport of pathogens in lakes and reservoirs. *Environment international*, 30, 741-759.
- Carmena, D. (2010) Waterborne transmission of *Cryptosporidium* and *Giardia*: detection, surveillance and implications of public health. In A. Méndez-Vilas (Ed.), *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*. Extremadura, Spain: Formatex Research Center
- Chappell, C.L., Okhuysen, P.C., Langer-Curry, R., Widmer, G., Akiyoshi, D.E., Tanriverdi S., & Tzipori S. (2006) *C.hominis*: Experimental challenge of healthy adults. *Am Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 75(5), 851-857
- Driftsassistansen i Telemark (2010) *Avløp – Årsmelding 2010*. Kommuner: Bø, Hjartdal, Kviteseid, Nome, Notodden, Sauherad, Seljord, Tinn, Tokke, Vinje. Seljord: Sweco AS.
- Drikkevannsforskriften (2001) FOR-2001-12-04-1372. Hentet fra <http://www.lovddata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20011204-1372.html>
- Eikebrokk, B., Gjerstad, K.O., Hindal, S., Johanson, G., Røstum, J. & Rytter, E. (2006) *Giardiautbruddet i Bergen høsten 2004. Rapport fra det eksterne evalueringsutvalget*. Trondheim, Oslo, Bergen, Stavanger.
- Ferguson, C.M., Charles, K., Deere, D.A. (2009) Quantification of microbial sources in drinking-water catchments. *Critical reviews in Environmental Science and Technology*. 39, 1-40.
- FHI (2004) *Vannforsyningens ABC*. Oslo, Folkehelseinstituttet. Hentet fra http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,3030:1:0:0:::0:0

- Gerba, C.P. (2000) Assessment of enteric pathogen shedding by bathers during recreational activity and its impacts on water quality. *Quantitative Microbiology*, 2, 55-68
- Giardiasis (2012) Hentet fra <http://www.giardiasis.org/> [lest 27.08.2012]
- Gjerde, B. & Robertson, L. (2005) *Parasittar i drikkevatn. Epidemiologiske tilhøve* (Rapport Januar 2005) Oslo, Norge: Mattilsynet
- Hannes, I.S., Gjerde, B., & Robertson, L. (2006a) Prevalence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in dairy calves in three areas of Norway. *Veterinary Parasitology*, 140, 204-216.
- Hannes, I.S., Gjerde, B., Robertson, L., Vikøren, T. & Handeland, K. (2006b) Prevalence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in free-ranging wild cervids of Norway. *Veterinary Parasitology*, 141, 30-34.
- Hannes, I.S., Gjerde, B., Forberg, T., & Robertson, L. (2006c) Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in suckling piglets in Norway. *Veterinary Parasitology*, 144, 222-233
- Hannes, I.S., Gjerde, B., & Robertson, L. (2007) Longitudinal study on the occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in dogs during their first year of life. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 49 (22)
- Hannes, I.S. (2009) *Cryptosporidium and Giardia in selected domestic and wild species in Norway* (Doctor's dissertation) Oslo, Norwegian School of Veterinary Science.
- Hansen, A. & Stenström, T.A. (1998) *Kartläggning av Giardia og Cryptosporidium i svenska ytvattentäkter*. Livsmedelsverket, Smittskyddsinstitutet.
- Hanssen-Bauer, I., H. Drange, E.J. Førland, L.A. Roald, K.Y. Børsheim, H. Isdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandven, S.Sundby, K. Vasskog og B. Ådlandsvik (2009): *Klima i Norge 2100, Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning*, Norsk klimasenter, september 2009, Oslo
- Hawkins P, Swanson P, Warnecke M, Shanker S, Nicholson C (2000). Understanding the fate of *Cryptosporidium* and *Giardia* in storage reservoirs: a legacy of Sydney's water contamination event. *J. Water Supply Res. Technol. – Aqua*, 49:289-306.
- Hodges, B.R., Imberger, J., Laval, B. & Appt, J. (2000) Modeling the Hydrodynamics of Stratified Lakes. *Hydroinformatics 2000 Conference*, Iowa Institute of Hydraulic Research, 23-27 July 2000
- Hoxie, N.J., Davis, J.P., Vergeront, J.M., Nashold, R.D., Blair, K.A.. (1997) Cryptosporidiosis-associated mortality following a massive waterborne outbreak in Milwaukee, Wisconsin. *Am J Public Health*. 1997 Dec;Vol. 87, Nr.12, s.2032-5.
- Jansen, I.J. (1986) *Telemark kvartærgeologi, Jord og landskap i Telemark gjennom 11 000 år*, Institutt for naturanalyse, Oslo.
- Johnsen, G.H. Seim, A. & Gjesdal, A. (2005) *Giardia lamblia-epidemien i Bergen høsten 2004. Parasitten, vannverkene i Bergen, epidemien og jakten på kilden*. Rådgivende biologer AS, rapport 786, 66 sider.

- Karanis, P., Kourenti, C. & Smith, H. (2007) Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *J Water Health*, 5.1, 1-38
- Korich, D.G., Mead J.R., Madore M.S., Sinclair N.A. & Sterling C.R. (1990) Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. *Appl. and Environ. Microbiol.* Vol. 56, nr.5, s.1423-1428.
- King, B. J., Keegan, A.R., Monis, P.T., & Saint, C.P. (2005) Environmental temperature controls *Cryptosporidium* oocyst metabolic rate and associated retention of infectivity. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71(7), 3848-57.
- Klart vann (n.d.) Vannkvalitet. Aluminium. Hentet fra <http://www.klartvann.no/vannkvalitet/aluminium> lest 10.10.2012
- Lebbad, M., Mattson, J.G., Christensson, B., Ljungström, B., Backhans, A., Andersson, J.O., Svärd, S.G. (2010) From mouse to moose: Multilocus genotyping of *Giardia* isolates from various animal species. *Vet.Parasitology* 25,168(2-4), 231-9.
- Lydersen, Trasti, Sageie (2010) *Tilførsler av næringsstoffer, metaller og andre miljøgifter til grenlandsfjordene 2008*, Hittskrift 03-2010, Høgskolen i Telemark, Bø.
- MacKenzie, W.R., Hoxie, N.J., Proctor, M.E., Gradus, M.S., Blair, K.A., Peterson, D.E., Kazmierczak, J.J., Addiss, D.G., Fox, K.R., Rose, J.B., David, J.P. (1994) A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *New Engl. J. Med.*, Vol.331, Nr.3, s.161-167.
- Mattilsynet (2011) *Veileder til drikkevannsforskriften* (Versjon 3.01) Mattilsynet
- Norgeskart (2012) Hentet fra <http://www.norgeskart.no/adaptive2/default.aspx?gui=1&lang=2>, [lest 16.11.2012]
- NVE (1984) Hentet fra http://arcus.nve.no/website/tema/DKBok1984/Dybdekart_1984.htm, lest 16.11.2012
- NVE (n.d.) Vannføringsdata fra målestasjoner i vassdrag 016. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE (2012) Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet fra <http://vannnett.nve.no/portal/Waters.aspx?WaterbodyID=016-6-L> lest 29.08.2012
- Nydam, D.V., Wade, S.E., Schaaf, S.L., & Mohammed, H.O. (2001) Number of *Cryptosporidium parvum* oocysts or *Giardia* spp cysts shed by dairy calves after natural infection. *American Journal of Veterinary Review*, 62(10), 1612-15
- Nygård, K., Gondrosen, B., & Lund, V. (2003a) Sykdomsutbrudd forårsaket av drikkevann i Norge. *Tidsskr Nor Lægeforen*; 123: 3410 - 3.
- Nygård K, Vold L., Robertson L., & Lassen J. (2003b) Underdiagnostiseres innenlandssmittede *Cryptosporidium*- og *Giardia*-infeksjoner i Norge? *Tidsskr Nor Lægeforen*; 123: 3406 - 9.
- Nygård, K. (2008) *Water and infection. Epidemiological studies of epidemic and endemic waterborne disease* (Doctor's dissertation) Norway, Faculty of Medicine, University of Oslo

- Ottoson, J., Hansen, A., Westrell, T., Johansen, K., Norder, H., & Stenström T.A. (2006) Removal of noro- and enteroviruses, *Giardia* cysts, *Cryptosporidium* oocysts, and fecal indicators at four secondary wastewater treatment plants in Sweden. *Water Environ. Res.*, 78(8), 828-834.
- Perz, J.F., Ennever, F.K., & LeBlancq, S.M. (1998) *Cryptosporidium* in tap water: Comparison of predicted risks with observed levels of disease. *Am. J. Epidemiol.*, 147: 289-301.
- Robertson, L. (1992) Survival of *Cryptosporidium* oocysts under various environmental pressures. *Applied and environmental microbiology*, 58(11), 3494-3500.
- Robertson, L., Gjerde, B. (2000) *Cryptosporidium* og *Giardia* i drikkevasskjelder i Norge (SNT-Rapport 6-2000) Oslo, Norges Veterinærhøgskole
- Robertson, L. & Gjerde, B.K. (2004) Effects of the Norwegian winter environment on *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts. *Microbial Ecology*, 47, 359-365.
- Robertson, L. & Gjerde, B. (2006a) Fate of *Cryptosporidium* Oocysts and *Giardia* cysts in the Norwegian Aquatic Environment over Winter. *Microbial Ecology*. 52. 597-602
- Robertson, L., Hermansen, L. & Gjerde, B.K. (2006b) Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in sewage in Norway. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(8), 5297-5303
- Robertson, L., Gjerde, B., Forberg, T., Haugejorden, G. & Kielland, C. (2006c) A small outbreak of human cryptosporidiosis associated with calves at a dairy farm in Norway. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*. 38, 810-813.
- Robertson, L.J., Forberg, T., Hermansen, L., Hamnes, I.S. & Gjerde, B. (2007) *G. duodenalis* cysts isolated from wild moose and reindeer in Norway: Genetic characterization by PCR-RFLP and sequence analysis at two genes. *Journal of Wildlife Diseases*. 43(4), 576-585.
- Robertson, L., Høgåsen, H., Krogh, T., Langeland, N., Lund, V. & Vold, L. (2009) *Risikovurdering av parasitter i norsk drikkevann* (08/105) Vitenskapskomiteen for mattrygghet.
- Robertson, L.J. (2009) *Giardia* and *Cryptosporidium* infections in sheep and goats: a review of the potential for transmission to humans via environmental contamination. *Epidemiol. Insect.* 137, 913-921.
- Robertson, L.J. & Chalmers, R.M. (2012) Foodborne cryptosporidiosis: Is there really more in Nordic countries? *Trends Parasitol.* Hentet fra: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23146217>
- Rosén, L. & Friberg, J. (2003) *Påverkan på säkerheten i vattenförsörjningen från strandbetande nötkreatur - fallstudie Göta älv*. (VA-Forsk rapport 2003-36) Stockholm, Sverige: Svenskt vatten.
- Silverlås, C., Emanuelson, U., de Verdier, K., & Björkman, C. (2009) Prevalence and associated management factors of *Cryptosporidium* shedding in 50 Swedish herds. *Preventive Veterinary Medicine* 90(3-4), 242-253.

- Skarbøvik, E. & Moy, F. (2004) *Foreløpig karakterisering av vannforekomster på Østlandet – Sluttrapport for karakteriseringsarbeidet våren 2004*. (NIVA-rapport 4883-2004) Oslo, Norway. Norsk Institutt for vannforskning.
- Skien kommune (2011) *Steinsvika vannverk: Dokumentasjon av hygieniske barrierer for perioden 1.oktober 2013 til 30.september 2011*. Vedlegg til søknad om oppstartstillatelse til Mattilsynet.
- Skien kommune (2012a) Plottediagram fra Steinsvika 2011.
- Skien kommune (2012b) *Steinsvika vannverk - teknisk beskrivelse av anlegget etter utbygging av anlegget i 2007-2010*. Revidert oktober 2012.
- Skien kommune (2012c) Oversikt over spredt avløp i nedbørfelt til Norsjø (kart). Geodataavdelingen, Skien kommune, Skien.
- SLF (2011) Brukere av produksjonstilskudd i jordbruket per 31.7.2011. Statens landbruksforvaltning [Datafil] Hentet fra Landbruksavdelingen ved Fylkesmannen i Telemark, Skien
- SMI (2011a) *Giardia och Cryptosporidium i svenska ytvattentäkter*. (Rapport 2011-1-6) Solna, Sverige, Smittskyddsinstitutet
- SMI (2011b) *Cryptosporidium i Östersund*. (Rapport 2011-15-4) Solna, Sverige, Smittskyddsinstitutet
- SMI (2012a) *Statistik för cryptosporidiuminfektion*. Hentet fra <http://www.smittskyddsinstitutet.se/statistik/cryptosporidiuminfektion/?t=com&p=20998> [lest 01.06.2012]
- SMI (2012b) *Känn ditt vatten – ett analyspaket från Smittskyddsinstitutet*. Hentet fra <http://www.smittskyddsinstitutet.se/hem/mest-efterfragat/kann-ditt-vatten/> [lest 12.08.2012]
- SNL (n.d.) Telemark – geologi og landformer. Store norske leksikon. Hentet fra: http://snl.no/Telemark/geologi_og_landformer [lest 26.6.2012]
- SNL (2010) Telemark. (23.03.2010) *Store norske leksikon*. Hentet fra: <http://snl.no/Telemark>, [lest 26.6.2012]
- SNL (2009) Telemark – klima. (18.05.2009) Store norske leksikon. Hentet fra: <http://snl.no/Telemark>, [lest 26.6.2012]
- SSB (2012) Folketall og personer tilknyttet kommunale renseanlegg. Statistisk sentralbyrå. Hentet fra: <http://www.ssb.no/kostra/>
- Svenskt vatten (2011) *Cryptosporidium i Skellefteå*. Hentet fra <http://www.svenskvatten.se/Aktuellt/Nyheter/Dricksvattennyhetslista/Cryptosporidium-i-Skelleftea/> [2.06.2012]
- Telemark fylkeskommune (2012) *Bærekraftige Telemark. Regional planstrategi 2012-2016*.

- Teunis, P.F., Chappell C.L., & Oykhuisen, P.C. (2002a) *Cryptosporidium* dose response studies: Variation between isolates. *Risk Analysis*, 22, 175-183.
- Teunis, P.F., Chappell C.L., & Oykhuisen, P.C. (2002b) *Cryptosporidium* dose response studies: Variation between hosts. *Risk Analysis*, 22, 475-485
- Teunis, P. F. & Havelaar, A. H. (2002) Risk assessment for protozoan parasites, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 50, 185-193
- Thompson, R.C., Reynoldson, J.A., & Mendis, A.H. (1993) *Giardia* and giardiasis. *Adv Parasitol*, 32, 71-160.
- Tjomsland, T., Tryland, I., Kempa, M. & Løvik J. E. (2012) *Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til Hamar og Stange vannverk ved bruk av en matematisk strøm- og spredningsmodell*. (NIVA Rapport 6322-2012) Oslo, Norge: Norsk institutt for vannforskning.
- Tveit, I., Søbstad, Ø., Kalland, I., Seim, A., Arnesen, R.Ø., & Fennell, P. (2005) *Giardia-utbruddet i Bergen. Høsten 2004*. Bergen kommune, Norge.
- Ulsnæs, O.B. (2011) *Vannveien inn i Telemark. Norsjø-Skienskanalen 150 år. 1861-2011*. Skien: Telemarkskanalen FKF.
- Unmuseum (2012) Hentet fra <http://unmuseum.mus.pa.us/mwave.htm> [lest 26.11.2012]
- Varden (2012) Hentet fra <http://www.varden.no/nyheter/her-endte-ferden-for-15-000-liter-mokk-1.6726696> [lest 24.4.2012]
- Veronesi, F., Passamonti, F. Cacciò, S, Diaferia, M., & Pergili Gioretti, D. (2010) Epidemiological survey on equine cryptosporidium and giardia infections in Italy and molecular characterization of isolates. *Zoonoses Public Health*, 57(7-8), 510-517.
- Vindteknikk (n.d.) Norges vindressurser kartlagt. Kjeller Vindteknikk. Hentet fra <http://www.vindteknikk.no/norges-vindressurser-kartlagt> [lest 26.6.2012]
- WHO (2008) *Guidelines for Drinking-water quality*. 3.Edition. Volume 1. Recommendations. Chapter 7. Microbial aspects. Geneva., Switzerland: World Health Organization.
- Ødegaard, H., Østerhus, S., & Melin, E. (2009) *Optimal desinfeksjonspraksis fase 2 (169-2009)* Hamar, Norge: Norsk Vann BA.
- Økland, J. & Økland, K.A. (1998) *Vann og vassdrag 3. Kjemi, fysikk og miljø*. Nesbru, Vett & Viten.