

Figure 1 consists of two side-by-side maps of the Kvænangen region in Norway. The left map, titled 'FVCOM ustrukturert gitter', shows a red, unstructured grid that follows the complex coastline and internal water bodies. The right map, titled 'ROMS strukturert gitter', shows a yellow, structured grid that is a regular rectangular mesh covering the same area. Both maps include geographical labels such as 'Kvænangen', 'Nordstraumen', and 'Kjellefjord'.



Dette er en blank side

Rapporttittel

Nettverksanalyse lokaliteter Kvæningen

Forfatter(e):

Magnus Drivdal
Anne Tårånd Aasen
Karin Bloch-Hansen
Per-Arne Emaus

Akvaplan-niva rapport: APN-61412 -1

Dato: 14-08-2019

Antall sider: 20 + 0

Distribusjon:

Via oppdragsgiver

Oppdragsgiver:

MOWI Norway AS
Postboks 4102 Sandviken,
5835 Bergen

Oppdragsg. referanse

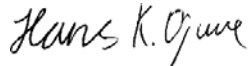
Knut Håvard Krokstrand

Sammendrag

Gjennom sammenligning mellom to hydrodynamiske modeller med forskjellig oppløsning ser man at for å oppløse Sørstraumen, og dermed få et realistisk strømmønster i Kvæningen, så må man ned i 50 meters oppløsning. Fra modellresultater fra FVCOM, hvor oppløsningen er ned mot 50 meter i Kvæningen, ser man at strømmen hovedsakelig er i nordlig retning på østsiden av fjorden, mens den er i sørlig retning på vestsiden. Strømmen i seg selv indikerer at hovedtransport fra lokaliteten Fjellbukt er mot nord og ikke mot lokaliteten Rakkeneset. Videre indikerer spredningsmodellering av ILA-virus fra Fjellbukt at konsentrasjoner som potensielt kan nå Rakkeneset med 95% sikkerhet er 100 ganger fortynnet eller mer. Fra en epidemimodell kan man se at lokalitetene i Kvæningen etableres i to smittehygiensk adskilte undernettverk, lokalisert på østsiden og vestsiden av fjorden. Videre viser en nettverksanalyse av epidemimodellen at lokaliteten Karvika er viktig for at smitte skal kunne spres videre fra Fjellbukt til Rakkeneset. Siden Karvika er brakklagt forventes det at nettverksskilte mellom øst og vest er ytterligere styrket, men det må kjøres en eventuell egen analyse for å verifisere dette.

Prosjektleder

Per-Arne Emaus

Kvalitetskontroll

Hans Kristian Djuve

INNHALDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING	3
2 MODELL OG STRØMFORHOLD	4
3 SMITTESPREDNING	8
4 NETTVERKSANALYSE	10
5 SAMMENDRAG/KONKLUSJON (TENTATIV)	13
6 REFERANSER.....	14
VEDLEGG	15
Smittepotensialkurve for ILA.....	15
Epidemimodellen.....	15
Smittenettverk.....	16

1 Innledning

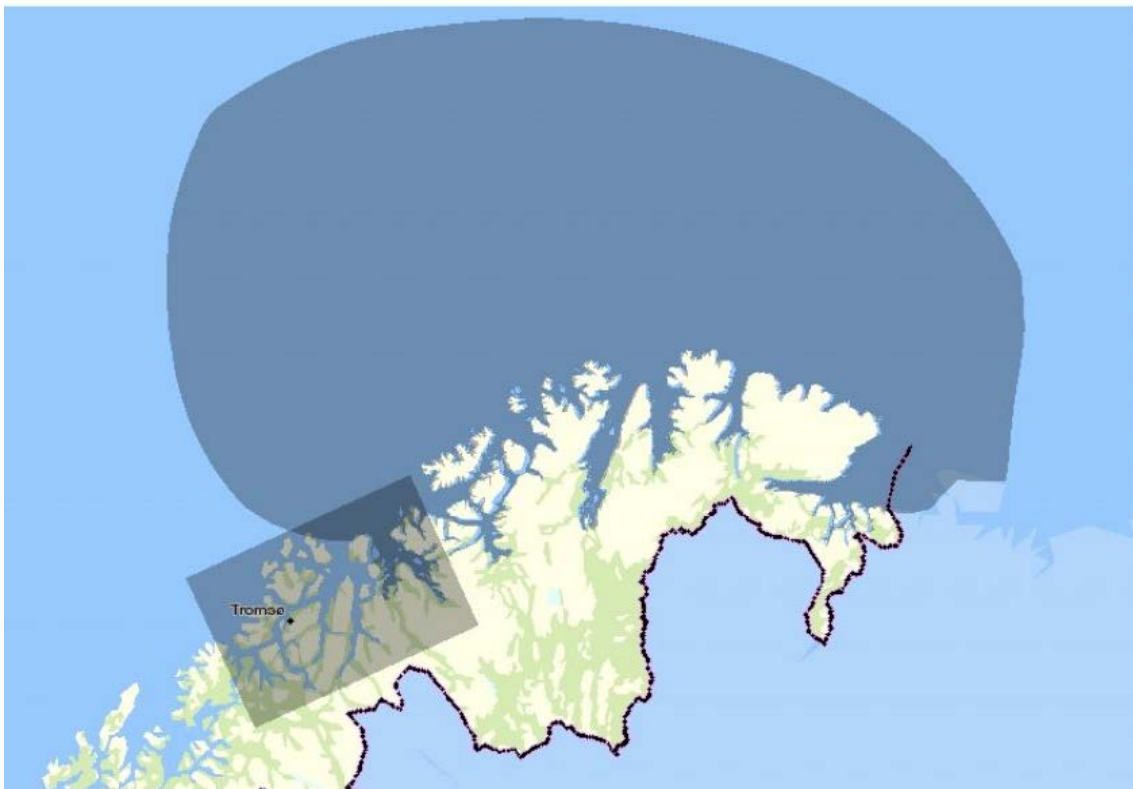
Foreliggende rapport redegjør for smittehygienisk slektskap mellom lokaliteter i Kvæningen i Nord-Troms. Modelleringen beskriver hvordan lokaliteter henger sammen i smittenettverk med utgangspunkt i simuleringer gjennomført med den hydrodynamiske modellen FVCOM.

Strømsystemet i Kvæningen er i stor grad påvirket av Sørstraumen, som er en sterk tidevannsstrøm som styrer vannutvekslingen av ferskere vann i indre del av fjorden med vann med høyere saltholdighet i ytre del av fjorden. Siden Kvæningen er et område hvor to av Akvaplan-nivas strømmodeller (heretter kalt modelldomener) overlapper (se Figur 1), er dette et område hvor vi har studert strømsystemet godt ved å sammenligne disse to modellene. Som vist blant annet på vår hjemmeside (<http://apnkyst.no/fvcom/>), er det nødvendig med høy modell-oppløsning i dette område for å få et realistisk strømbildet og dermed også realistiske sprednings-simuleringer. I Kvæningen er hovedstrømmen i nordlig retning langs østsiden samtidig som den er mot sør-sørøst på vestsiden. I tillegg er det gjennom Kompetanseklunge Laks i Alta et pågående prosjekt på smittespredning og smittenettverk, hvor området i Kvæningen er dekket. Gjennom modelleringsarbeidet som er gjort har vi dermed et verktøy som kan brukes til å vurdere smittespredning og mulig smittekontakt mellom lokalitetene i Kvæningen, og her vil vi bruke dette til å vurdere i hvilken grad smitte fra lokaliteten ved Fjellbukt vil spre seg til de andre lokalitetene. Mer spesifikt vil dette bli brukt til å vurdere sannsynlighet for at virusmitte kan spres fra lokalitet Fjellbukt i øst til lokalitet Rakkeneset i vest.

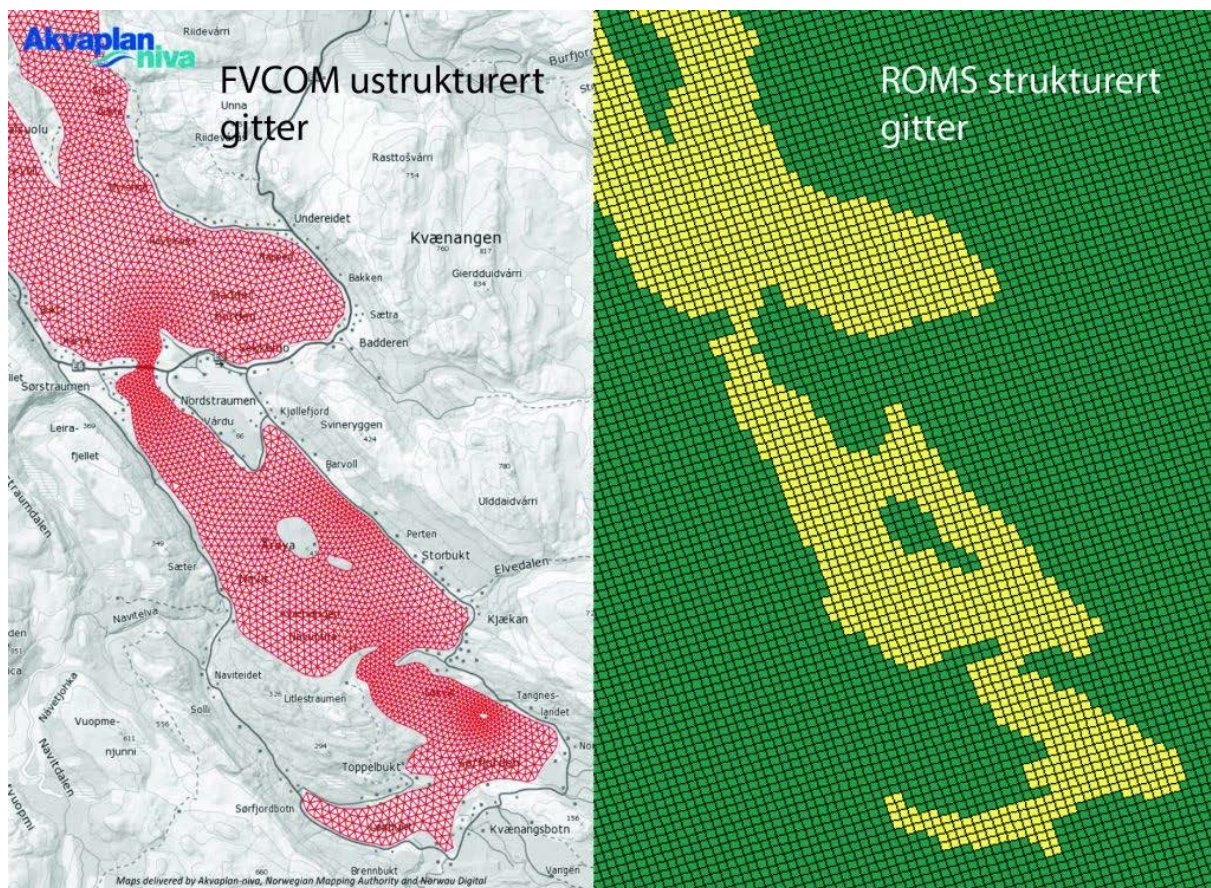
2 Modell og strømforhold

Akvaplan-niva har to modelldomener som overlapper slik at begge dekker Kvæningen. Det første modellområdet dekker hovedsakelig kysten av Troms fylke, og er laget for havmodellen ROMS (firkant nede til venstre i Figur 1). Denne modellen benytter et såkalt regulært eller strukturert modell-gitter som for Troms-området har en horisontal oppløsning på 200 meter. Troms-modellen har blitt kjørt for 2 år og statistikk på strøm, temperatur og salinitet er tilgjengelig på www.havstraum.no. I tillegg har denne hydrodynamiske modellen blitt brukt til simuleringer av spredning av lus og virus fra oppdrettslokaliteter, samt videre analyser av smittenettverk i Sør-Troms. Senere ble en annen modell satt opp for Finnmark, men siden denne dekker litt av området over grensen til Troms er Kvæningen også dekket av denne (halvsirkel til høyre i Figur 1). Den andre modellen er satt opp med FVCOM, som i stedet for et strukturert gitter som ROMS, bruker et såkalt ustrukturert gitter. I et ustrukturert gitter kan oppløsningen varieres innenfor modellområdet, og dermed kan man sette en ekstra fin oppløsning der det trengs, slik som i trange sund og mellom holmer og skjær. For FVCOM er oppløsningen satt til 800 meter ytterst ved grensen, mens området i Kvæningen har en oppløsning helt ned i 50m.

I begge modellene legges det inn detaljert bunnkart for hele modellområdet, samt historiske meteorologiske data (vind, temperatur, solinnstråling, nedbør) og ferskvannsavrenning fra land.

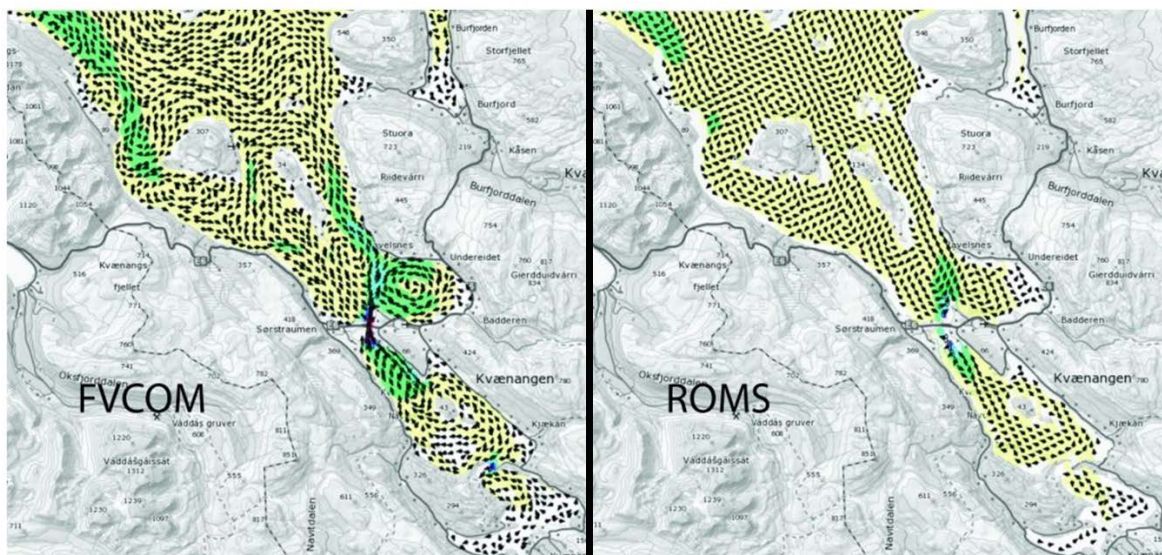


Figur 1: Modellområdet for FVCOM (øverst, halvsirkel) og ROMS (nederst, firkant)



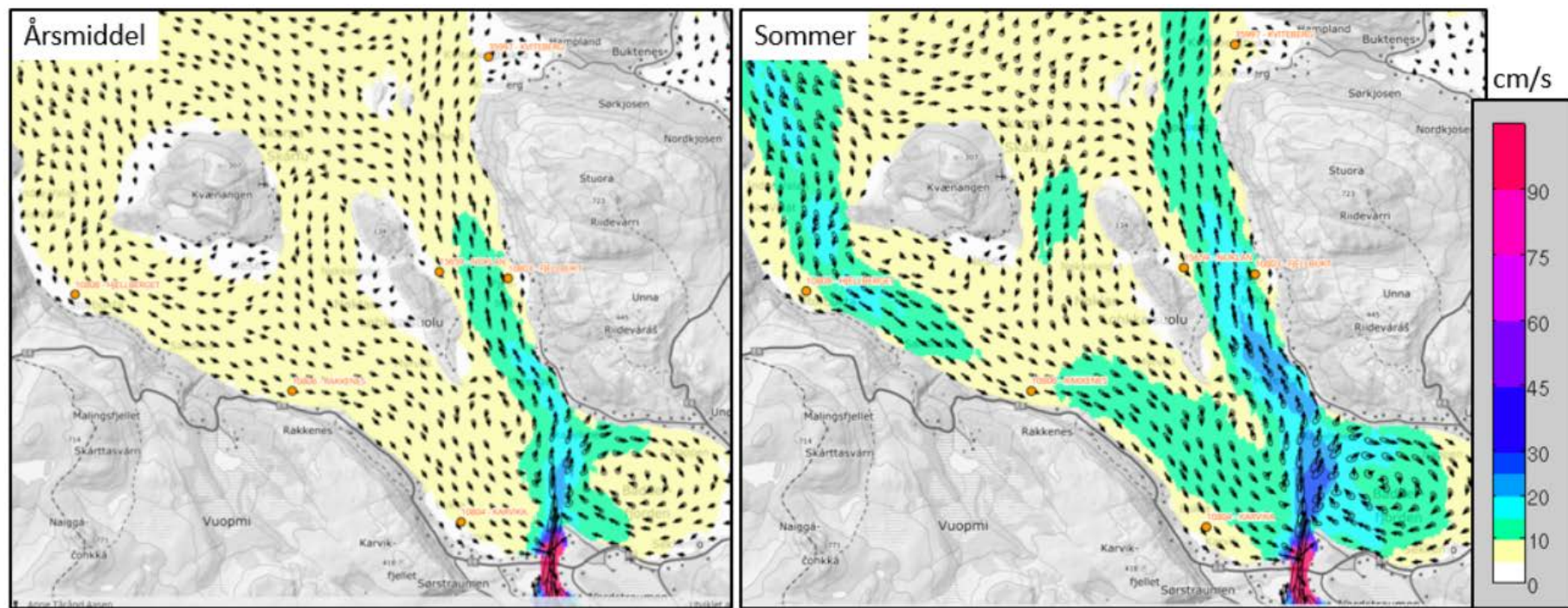
Figur 2: Modellgitter for FVCOM (venstre) og ROMS (høyre)

På grunn av det ustrukturerte gitteret kan FVCOM løse opp de smale sundene i Kvæangan, mens ROMS, som er låst til 200 meters oppløsning, kun har to punkter på tvers av disse sundene (Figur 2). Dette har en klar effekt på den simulerte strømmen gjennom sundene. Midlere strømfelt fra begge modellene er vist i Figur 3, og man kan se at tidevannsstrømmen i Sørstraumen bare er oppløst i FVCOM. Det at vi kan løse opp tidevannsstrømmene i de smale sundene i Kvæangan viser seg å være viktig for modelleringsresultatene av hele fjorden. Selv om tidevannsstrømmer bare går fram og tilbake kan de være effektive i å transportere materiale en vei gjennom sundet. Fra Figur 3 ser man for eksempel at strømmen ved Fjellbukt er betydelig sterkere i FVCOM, noe som har stor betydning spredningsmodellering fra denne lokaliteten.



Figur 3: Midlere Strømfelt fra FVCOM (venstre) og ROMS (høyre). Piler viser strømhastighet og retning, og mørkere farge illustrerer høyere hastighet.

Figur 4 viser gjennomsnittlig strømhastighet ved 5 m dyp for hele året og for sommermånedene med resultater fra FVCOM-modellen, som er tilgjengelig på www.havstraum.no. Sirkulasjonen i de øvre vannsiktene i området er dominert av en kraftig tidevannsjet som kommer ut av Kvænangstraumen. Denne driver en nordgående utstrømning av ferskere (lettere) vann langs østsiden av fjorden som kompenseres av en sørovergående innstrømning av tyngre vann langs vestsiden av fjorden. På begge sidene av tidevannsjeten dannes det stående virvler som et naturlig skille mellom vannmassene på øst- og vestsiden av fjorden. Ettersom sirkulasjonen i hovedsak er drevet av tidevann er strømbildet relativt konstant over hele året. Fra det midlere strømbildet ligger altså Rakkenes "oppstrøms" for Fjellbukta og man kan forvente at spredning fra Fjellbukta i hovedsak ikke vil transporteres mot Rakkenes. For å få et mer detaljert bilde på potensiell spredning fra Fjellbukta under ulike forhold vil vi se videre på smittespredning og epidemimodell for området, og de videre analysene er altså basert på FVCOM-modellen.



Figur 4: Gjennomsnittlig strømhastighet for hele året (til venstre) og for sommermånedene (til høyre). Fargene viser 50-prosentilen av strømhastigheten.

3 Smittespredning

Med utgangspunkt i resultatene fra den hydrodynamiske modellen (strømmodellen) utføres partikklespredningssimuleringer for å beregne risiko for smittespredning mellom ulike oppdrettsanlegg. Hvis man slipper ut tilstrekkelig mange partikler (virusmitte) vil spredningsmønsteret deretter kunne omregnes til smittekonsentrasjonskart (Figur 5, også tilgjengelig på www.havstraum.no). Vi har i analysen benyttet modellen for Finnmark, FVCOM da denne som nevnt gir det mest detaljerte strømbilde.

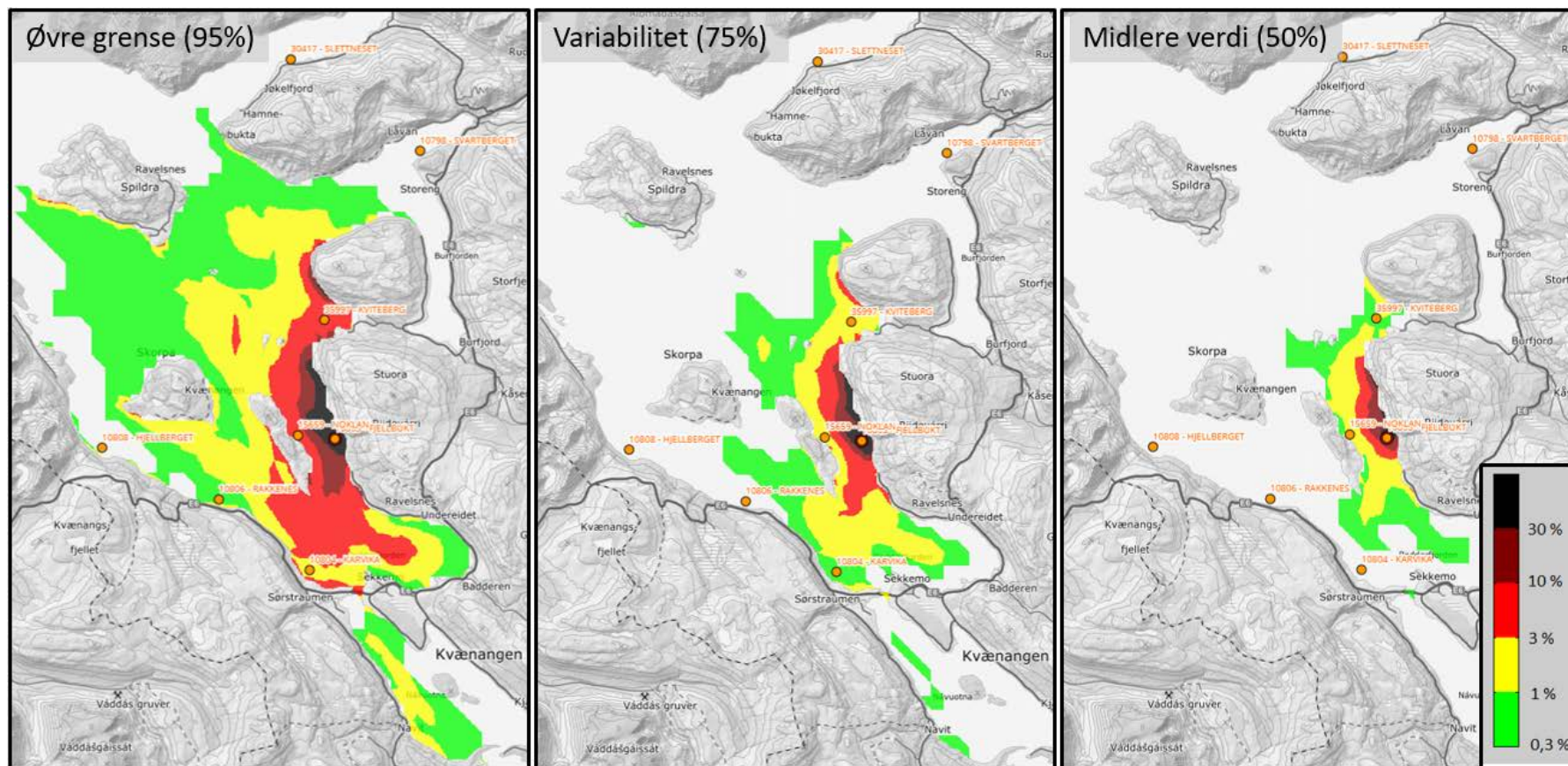
Det er viktig å forstå at havstrømmer kontinuerlig skifter på grunn av vær- og sesongvariasjoner, slik at spredningsmønsteret også vil være skiftende. Det vil si at risikoen for smittespredning mellom to anlegg varierer med tiden. For å kompensere for utfordringene knyttet til variable strømforhold blir simuleringer kjørt over en lengre periode. I denne studien er perioden på nesten ett år. Modelleringen inkluderer således resultater fra en rekke ulike strømforhold med stor variabilitet i spredningsmønster, som brukes for å lage en statistisk beskrivelse av spredningen. Resultatene er således ikke en prediksjon eller et smittevarsel for ett konkret smittetilfelle på et gitt tidspunkt, men derimot som en indikasjon på sannsynligheten for kontakt mellom anlegg under realistisk varierende forhold over tid.

Partiklene som i modellen slippes ut fra lokalitetene har egenskaper som definerer utvikling av "smittepotensial", som betyr hvor smittsomme de er over tid. Smittepotensialet til ILA-partiklene i modellen er høyest umiddelbart etter utslipp og reduseres eksponentielt med tida (se vedlegg for mer detaljer).

Smittekonsentrasjonskartene viser statistisk forventet spredning av viruspartikler fra et gitt punkt. Spredningen vil variere med tid og strømforhold gjennom måleperioden. For å favne bredden av variasjon kan det fremstilles spredningskart som illustrerer denne variasjonen. For å framvise de store variasjonene av konsentrasjonen brukes en logaritmisk fargeskala hvor partikkelkonsentrasjonen tidobles hvert andre fargeintervall.

Den mest vanlige konsentrasjonen som kan forventes ved et punkt er gitt av 50 % prosentilet (eller median). 75 % og 95 % prosentilkartene tolkes som sannsynlige grenseverdier. I 75 % av tilfellene vil konsentrasjonen være lavere enn vist på et 75 % prosentilkart (typisk variabilitet) og i 95 % av alle tilfellene vil konsentrasjonen være lavere enn vist på et 95 % prosentilkart (forventet øvre grense i ekstremtilfeller).

Figur 5 viser altså et statistisk bilde av spredningspotensial og smittekonsentrasjon fra lokaliteten Fjellbukt. For lokaliteten Rakkenes ser vi at den i 5% av tida (øvre grense 95% prosentilkart, grønn farge) får en høyere smittestoffkonsentrasjon enn 1%, av den smitten som sendes ut fra Fjellbukt.



Figur 5: Smittekonsentrasjonskart for ILA fra lokaliteten Fjellbukta. Fargene viser smittestoffkonsentrasjoner som i 95%, 75% og 50% av tida vil være lavere enn på bildet. Smittestoffkonsentrasjonen er relativ til konsentrasjonen i utslippspunktet. Eksempel: i 95-prosentilkartet vil gul farge vise at i 95% av tida er smittestoffkonsentrasjon lavere enn 3% ift. konsentrasjonen i utslippspunktet. I 5% av tida er smittestoffkonsentrasjon over 3%.

4 Nettverksanalyse

Sammen med partikkelspredningsmodellen har vi gjennomført en epidemimodellering for å simulere utvikling av et sjukdomsutbrudd i et nettverk av oppdrettslokaliteter (SIR-modell: susceptible-infected-removed, Martcheva, M., 2015). SIR-epidemimodellen er bygd opp med diskrete "tids steg" der individene (i dette tilfellet fisk i oppdrettsanlegg) har en gitt status/tilstand (frisk eller sjuk). Så følges bestemte regler for hvordan tilstanden til anleggene endrer seg fra ett tids steg til det neste (se også vedlegget).

Modellen mates med smittekonsentrasjoner fra partikkelspredningssimuleringene. Når det samlede smittepresset på en lokalitet overskrider en gitt terskelverdi/smittedose (tv) blir anlegget sjukt. Lav terskelverdi betyr at det skal lite til før en lokalitet blir smittet og høy terskelverdi betyr at det skal mye til. Hvilke smittedoser som i et gitt tilfelle vil føre til at fisk blir syk påvirkes av en rekke biologiske variabler. Disse vil ikke kunne hensyntas i en modellering, og epidemimodelleringene er derfor gjennomført med ulike terskelverdier for smitte. Størrelsen på terskelverdi reflekterer smittedose.

For epidemimodelleringen i rapporten er det tatt utgangspunkt i at alle lokalitetene er i drift på full produksjon i henhold til godkjent lokalitets MTB. Reelle driftsplaner (MTB og brakkleggingsperioder) er ikke hensyntatt.

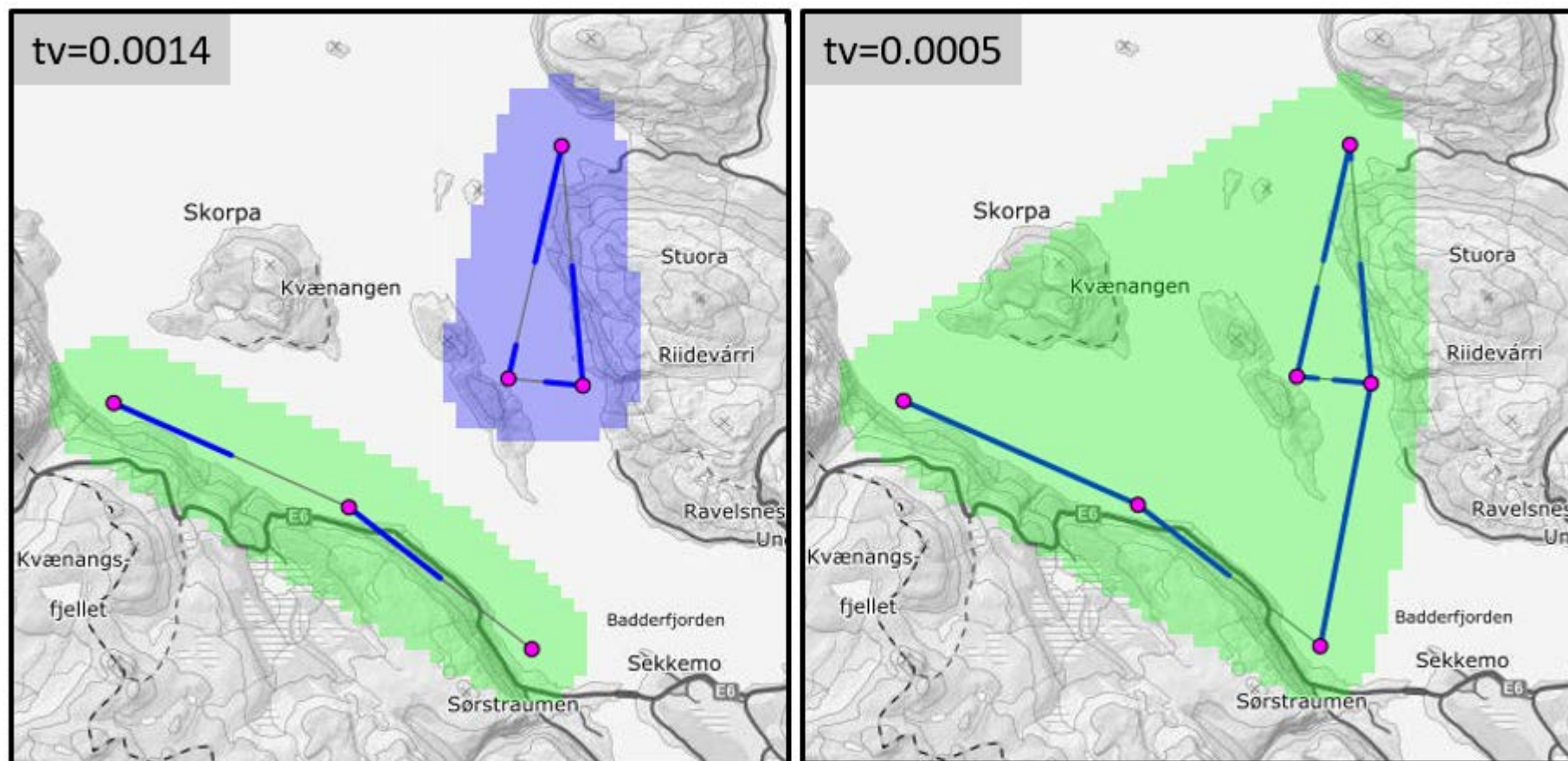
Dette er en forenkling av epidemiologisk utvikling av sykdom under et sjukdomsutbrudd. Målsetningen er ikke å oppløse sjukdomsutviklingen i tid, men å fange opp den generelle oppførselen og dynamikken på grunn av vekselvirkninger mellom de ulike lokalitetene i fjordsystemet.

Ut fra resultatene fra epidemimodellen ser vi at lokalitetene deles opp i adskilte "smittenettverk". Nettverkene viser hvilke lokaliteter som smittehygienisk påvirker hverandre, og påvirkningsgrad i forhold til smittespredning (se også vedlegge for beskrivelse av modellen).

Figur 6 viser hvordan lokaliteten i Kvæningen er inndelt i undernetter. Undernetterene er markert i forskjellige farger, der rød viser en sterkere tilknytning mellom lokalitetene og gul en svakere tilknytning. I figurene er tilknytningen mellom lokaliteter i nettverket illustrert med linjer. Ved å sammenlikne figurene mellom lav og høy terskelverdi ser man hvordan nettverkene bryter opp (se nærmere forklaring av de blå linjene i vedlegget).

Nettverksanalysen av epidemimodelleringen (Figur 6) gjenspeiler det generelle strømbildet i fjordsystemet og man ser at det etableres to adskilte undernetter på østsiden og vestsiden av fjorden, vist som blått og grønt område i venstre figur. For simuleringer med lav smittedose oppstår det også forbindelser på tvers av fjorden, men da fortrinnsvis med Karvika som bindeledd for oppformering og videreformidling av smitte. Selv om Fjellbukta og Karvika ville smitte hverandre er det likevel en asymmetrisk forbindelse mellom lokalitetene på øst og vestsiden av fjorden. Den smittehygieniske forbindelsen er sterkere mot sør, fra Hjellevær og Rakkenes mot Karvika, enn motsatt vei.

Karvika er for øyeblikket brakklagt. Uttak av denne lokaliteten fra nettverksanalysen forventes å styrke nettverksskilte mellom øst og vest ytterligere. Det skyldes at uttak av Karvika innebærer at den ikke vil være en mulig mottaker av smitte fra Fjellbukt og utgjøre en faktor for videre smittespredning mot vest (Rakkenes).



Figur 6: Smitteveiskart for to ulike terskelverdier av smitte.

5 Sammendrag/konklusjon (tentativ)

Siden to modellområder overlapper i Kvæningen har Akvaplan-niva to ulike hydrodynamiske modeller som kan brukes for området. Gjennom sammenligning av modellene for Troms (ROMS, 200 meter oppløsning) og Finnmark (FVCOM, ned til 50 m oppløsning) ser man at for å oppløse Sørstraumen, og dermed få realistiske strømforhold i Kvæningen, må man bruke modellen med finest oppløsning (Finnmarkmodellen). Tilsvarende vil spredningssimuleringer tilgjengelig på www.havstraum.no for lokalitetene i Kvæningen være mest realistisk og detaljert om man bruker Finnmarksmodellen. I denne rapporten har vi derfor tatt utgangspunkt i Finnmarksmodellen og gjennom å analysere modellerte strømforhold, spredningssimuleringer og nettverksanalyse ser vi at:

1. Lokalitet Rakkenes ligger oppstrøms for Fjellbukt, det vil si at hovedtransportretning av vann er fra lokalitet Rakkenes mot lokalitet Fjellbukt.
2. Modellert spredning av smitte fra lokalitet Fjellbukt er hovedsakelig mot nord-sør, og utslipp fra Fjellbukt vil svært sjelden nå Rakkenes, og i så fall i svært fortynnede konsentrasjoner. Som vist i Figur 5 så vil det ved utslipp av ILA-virus fra Fjellbukt med 95% sannsynlighet være minst 100 ganger fortynnet innen det når Rakkenes. Dette innebærer at sannsynlig smittedose som potensielt kan overføres fra Fjellbukt til Rakkenes er svært lav.
3. Nettverksanalyse av epidemimodelleringen viser at lokalitetene i Kvæningen etableres i to smittehygienisk adskilte undernettverk, lokalisert på østsiden og vestsiden av fjorden.
4. Sonekart viser at forbindelsen mellom nettverkene på østre og vestre side av fjorden hovedsakelig går via Karvika – Karvika er for øyeblikket brakklagt. Uttak av denne lokaliteten fra nettverksanalysen forventes å styrke nettverksskille mellom øst og vest ytterligere. Dette da uttak av Karvika innebærer at lokaliteten ikke vil utgjøre en faktor for videre smittespredning mot vest (Rakkenes). Videre studier der man kjørte nettverksanalyse med reell driftsplan og Karvika brakklagt vil være nødvendig for å verifisere dette.

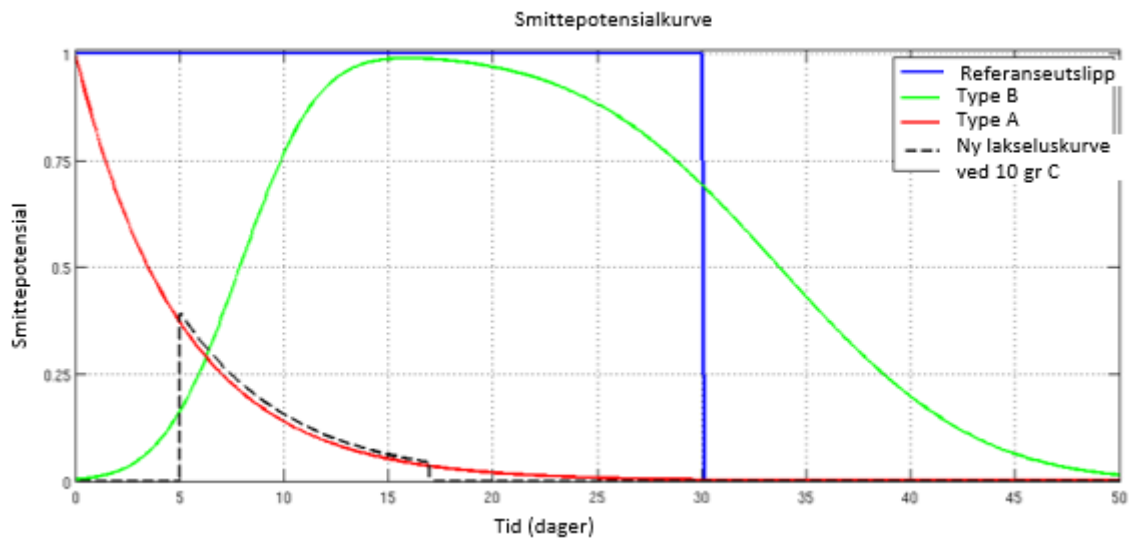
6 Referanser

- Graham, D.A, Staples, C, Wilson, C.J., Jewhurst, H., Cherry, K., Gordon, A. and Rowley, H. M. 2007, Biophysical properties of salmonid alphaviruses: influence of temperature and pH on virus survival. *Journal of Fish Diseases*, 30, pp 533-543.
- Martcheva, M., 2015. *An Introduction to Mathematical Epidemiology, Text in Applied Mathematics* 61. Springer Science+Business Media New York 2015. DOI 10.1007/987-1-4899-7612-3-2.

Vedlegg

Smittepotensialkurve for ILA

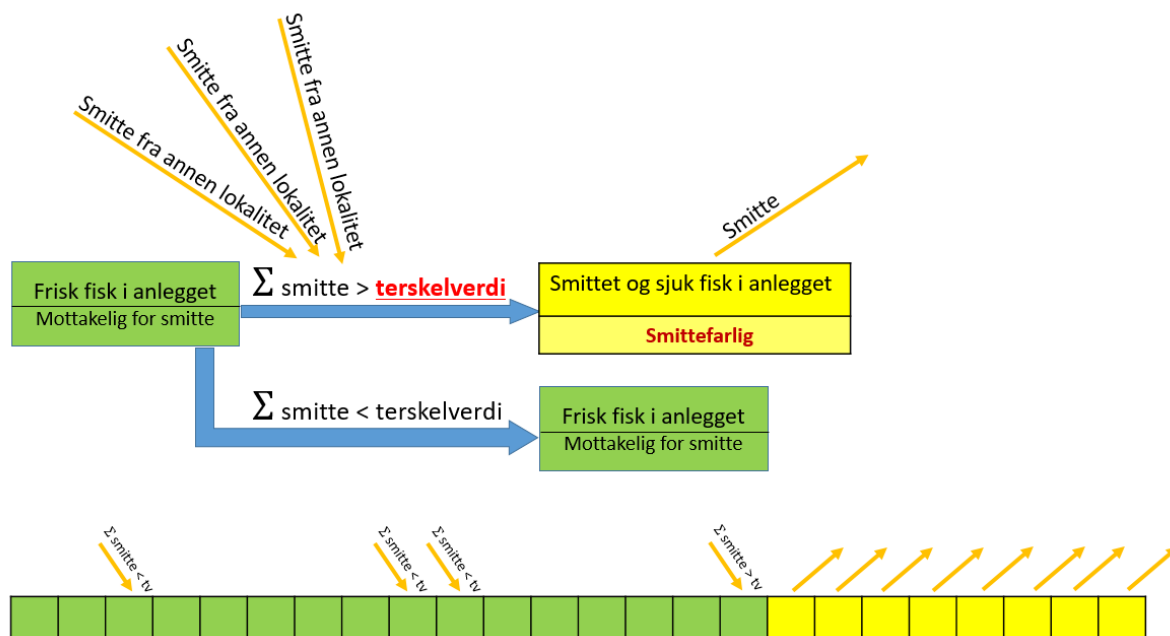
Smittefaren ved ILA-smitte er høyest umiddelbart etter utslipp og reduseres deretter gradvis. ILA-partiklene i modellen har 100% smittekonsentrasjon ved utslipp, og smittekonsentrasjonen minker eksponentielt med halveringstid $t = 3.5$ døgn (rød kurve i Figur 7). En slik smittekurve ble antatt å være grovt representativ for viruspartikler ved norske forhold. For sammenligning har det blitt målt halveringstid på $t = 4.3$ døgn ved 4 °C og $t = 1$ døgn ved 10 °C i laboratorieeksperimenter med ILA virus (Graham m. fl., 2007).



Figur 7: Tidsutvikling av smittepotensial for type ILA-smitte (rød). Andre typer smittepotensial er også vist i figuren, men er ikke med i denne studien.

Epidemimodellen

Epidemimodellen simulerer sjukdomsutbrudd og spredning mellom anleggene. Det er kjørt 3750 uavhengige simuleringer som hver varer i 24 måneder og hver måned tilsvarer ett tidssteg. Hver uavhengige simulering starter med fravær av smitte. For å ta hensyn til at det alltid foreligger en smitterisiko er det lagt inn en bakgrunnssmitte på 3%. Dette innebærer at det er 3% sjanse hver måned/tidssteg for at en lokalitet blir smittet. De smittede lokalitetene sprer smitte videre til andre lokaliteter.



Figur 8: Skjematisk framstilling av epidemimodellen.

Smittenettverk

Lokalitetene kan som sagt deles opp i adskilte "smittenettverk" for en gitt terskelverdi utfra resultatene fra epidemimodellen. For å gjøre dette ser vi på én lokalitet om gangen (lokalitet A) og de tilfellene der denne smittes av andre lokaliteter (lokalitet B). De lokalitetene som alene kan smitte hverandre lar vi ha en "forbindelse" hverandre.

Når vi for alle smittede anlegg har funnet hvilke andre lokaliteter de har forbindelse til kan de deles opp i nettverk. Én lokalitet kan være knyttet til flere lokaliteter, som igjen er knyttet til andre lokaliteter osv., og slik danner de nettverk med hverandre. Lokalitetene innenfor samme nettverket er ofte indirekte forbundet med hverandre gjennom forbindelser til andre lokaliteter, selv om de ikke har direkte kontakt.

Ved høye terskelverdier skal det mye til før anleggene smitter hverandre, og lokalitetene deles opp i mange separate smittenettverk. Ved lave terskelverdier smitter anleggene hverandre lettere, og lokalitetene er oppdelt i et færre antall smittenettverk.

Smittenettverkene illustreres med smitteveiskart (Figur 6). De blå linjene viser hvor mye smitte som sendes fra ett anlegg til et annet. Lengden på linjen er skalert slik at en linje som går til midtpunktet mellom to lokaliteter tilsvarer verdien av én terskelverdi. Dersom lokalitet B sender ut langt mer smitte enn det som skal til for at lokalitet A skal smittes (som jo er terskelverdien) vil den blå linjen likevel kun gå til midtpunktet mellom lokalitetene, så dette synes ikke i figurene. Svakere forbindelser har kortere linjer, lineært skalert. Det vil si at man ikke kan sammenlikne lengder mellom to streker direkte, men må se på dem ift. avstand mellom lokalitetene. På denne måten kan man se hvor sterk tilknytning lokalitetene har i et gitt undernettverk, og hva som kan ansees som mest sannsynlige smitteveier. F. eks. viser linjene ofte asymmetriske forbindelser for lokalitetspar, der lokalitet A gir fra seg mer smitte til anlegg B enn motsatt.