

Tilbakeholdelse av næringsstoffer i norske innsjøer

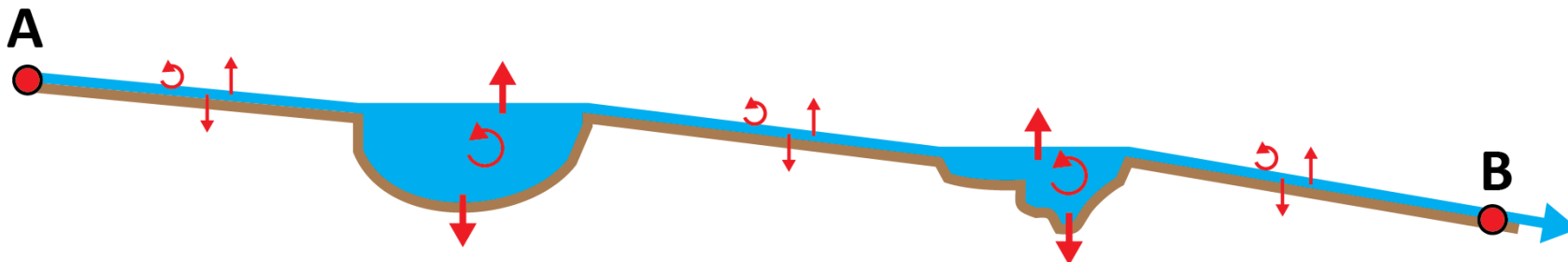
James Sample
james.sample@niva.no

Oversikt

- ❑ Metoder for å estimere retensjon (tilbakeholdelse) av næringsstoffer i norske innsjøer
 - Fokus på enkle tilnærminger ved bruk av vanlige datakilder
 - Forskjeller mellom nitrogen (N) og fosfor (P)
- ❑ Hva er retensjon?
- ❑ Hvorfor er det viktig?
- ❑ Metoder
 - Overvåking
 - Modellering
 - Prosessbasert versus empirisk/semi-empirisk
- ❑ Det større bildet
 - Retensjon på regional til nasjonal skala
 - Implikasjoner for næringsstofftilførsler fra land til kyst

Hva er retensjon?

- Definert mellom to punkter på elvenettverket (A og B)



- Beskriver prosesser som **transformerer**, **lagrer** eller **fjerner** næringsstoffer fra det akvatiske økosystemet

- Sedimentering og bunnfall
- Kjemisk transformasjon (f.eks. denitrifikasjon)
- Netto (dvs. langsiktig) biologisk opptak

- Eksempel

- 1000 kg N tilsatt ved punkt A
- 800 kg av det når punkt B
- Retensjonen er 20 %
- Transmisjonen er 80 %

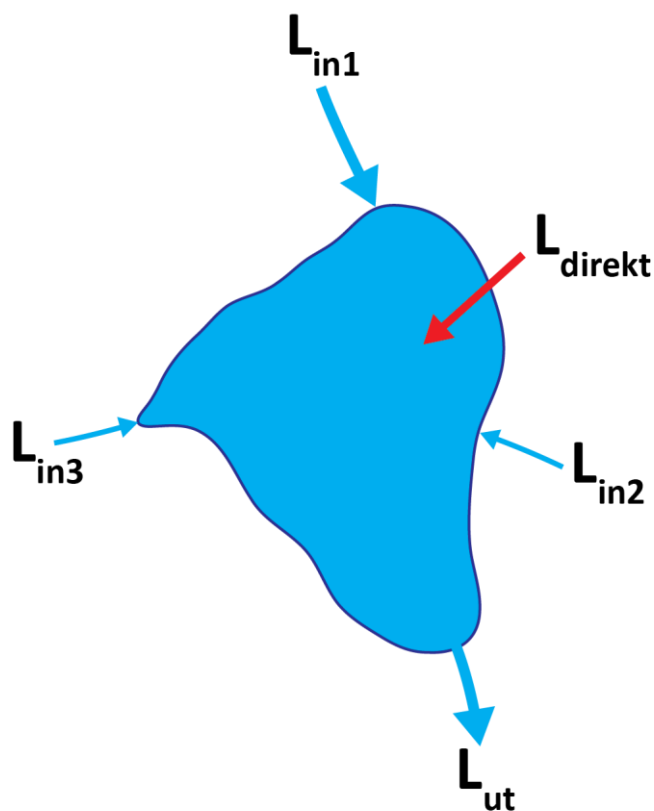
$$R[\%] = 100 \frac{(L_A - L_B)}{L_A}$$

$$T[\%] = 100 - R$$

Hva er retensjon i innsjøer?

□ Basert på et langsiktig næringsstoffbudsjett

- Estimer totale tilførsler inn og ut over en «lang» tidsperiode
- «Lang» betyr flere **oppholdstider**



$$L_{in} = L_{in1} + L_{in2} + L_{in3} + L_{direkt}$$

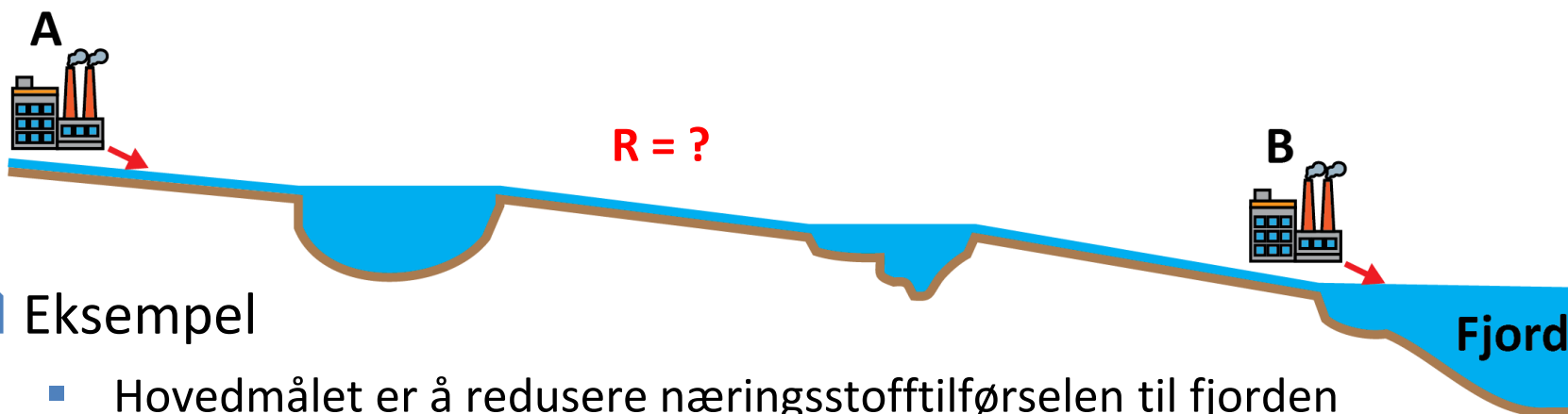
$$R[\%] = 100 \frac{(L_{in} - L_{out})}{L_{in}}$$

□ $R \geq 0$ for de fleste innsjøer

- Over «lange» tidsperioder
- Eutrofiske innsjøer kan ha $R < 0$

Hvorfor er det viktig?

- ❑ Retensjon bestemmer bidraget fra ulike kilder til vannforekomster nedstrøms
 - Påvirker **forvaltningsalternativer** og **kostnadseffektivitet**



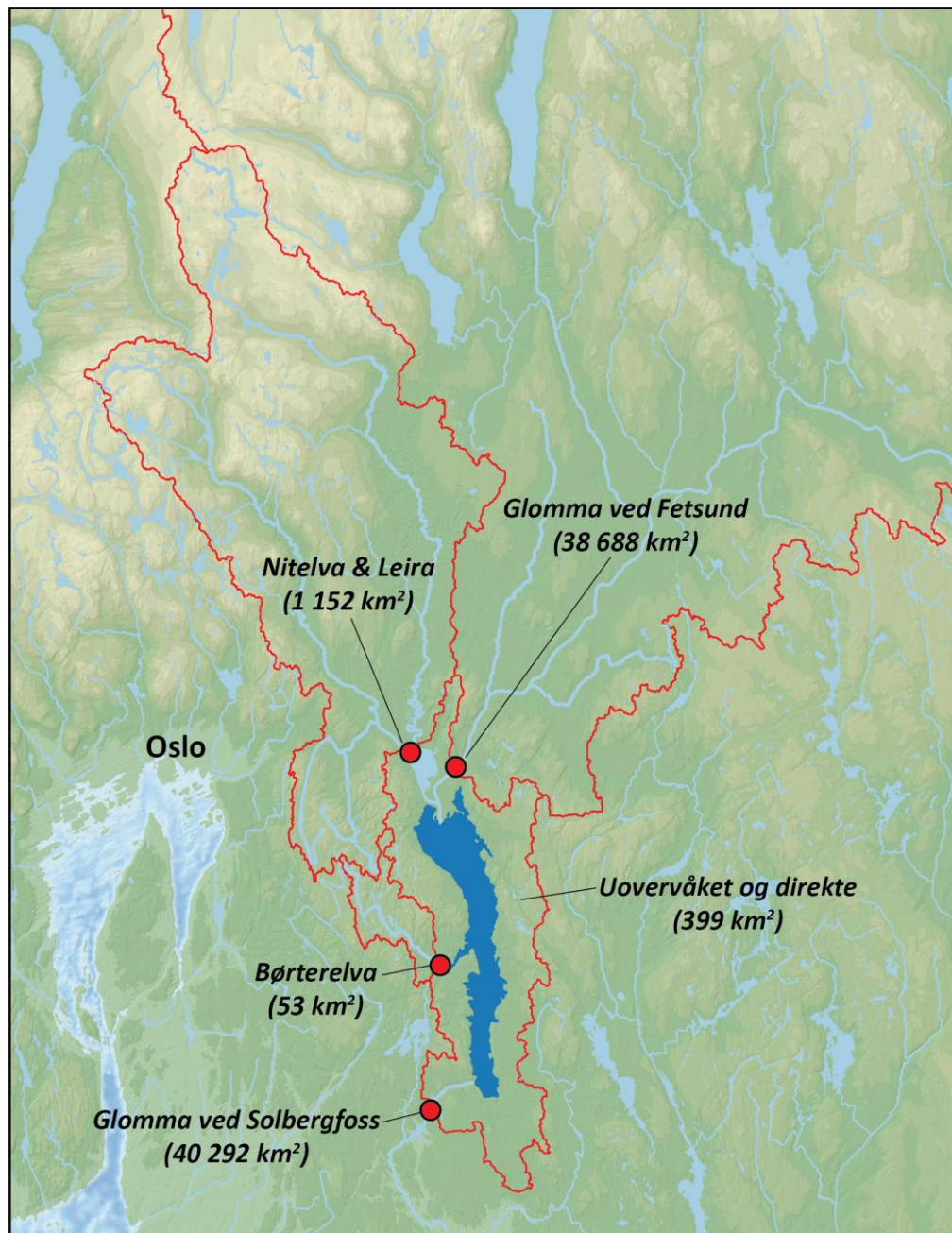
- ❑ Eksempel
 - Hovedmålet er å redusere næringsstofftilførselen til fjorden
 - Oppgradering av fabrikk B har en direkte effekt
 - Effekten av oppgradering av fabrikk A avhenger av retensjon
 - Men oppgradering A kan også være til fordel for innsjøer og elver
 - Gjelder industri, avløpsrensing, jordbruk osv.
 - Hva er **kostnadseffektivt** og hva er **rettferdig**?
- ❑ Relevant f.eks. for debatt om nitrogentilførsel til Oslofjorden

Metode 1: Overvåkingsdata

□ Beste alternativ hvis data er tilgjengelige

□ Eksempel: **Øyeren**

- Ligger sør for Fetsund (øst for Oslo)
- Største innsjø på Glomma sør for Mjøsa
- Data fra 3 innløpselver pluss utløp fra 2016 til 2021
- Oppholdstid er ~20 dager (dvs. kort)



Metode 1: Overvåkingsdata

- Gjennomsnittlig årlig TOTN tilførsler for Øyeren (2016 til 2021)

Nedbørfelt	Inn eller ut	TOTN (tonn/år)
Glomma ved Fetsund	Inn	11 538
Nitelva og Leira	Inn	1 220
Børterelva	Inn	24
Uovervåket og direkte*	Inn	411
Atmosfærisk avsetning til innsjøoverflaten	Inn	35
Glomma ved Solbergfoss	Ut	12 982

**Totalt inn
13 228 tonn**

- TOTN retensjon $\approx 2 \%$

- Uavhengig estimat på 4 % fra Holtan (1991) basert på data fra 80-tallet
- Konkluderer med at TOTN retensjonen i Øyeren er lav (2 til 5 %)
- Vann sirkuleres raskt => ikke mye tid for prosesser som fjerner N

Metode 1: Overvåkingsdata

□ Bruk samme metode for **Mjøsa**

- Norges største innsjø (369 km² og gjennomsnittlig dybde på 150 m)
- Data fra 6 innløpselver pluss utløp fra 2010
- Oppholdstid er 5,5 år
- Lenger tid for retensjonsprosesser

$$R_{TOTN} \approx 25 \%$$

$$R_{TOTP} \approx 60 \%$$

□ Tilførsler estimert fra overvåkingsdata er usikre

- Men gir fortsatt de beste retensjonsestimatene vi har

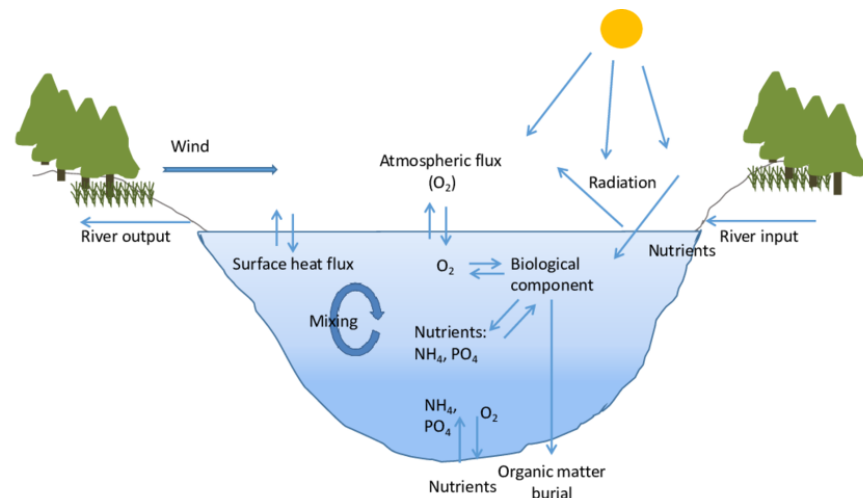
Metode 2: Modellering

□ Prosessbaserte modeller

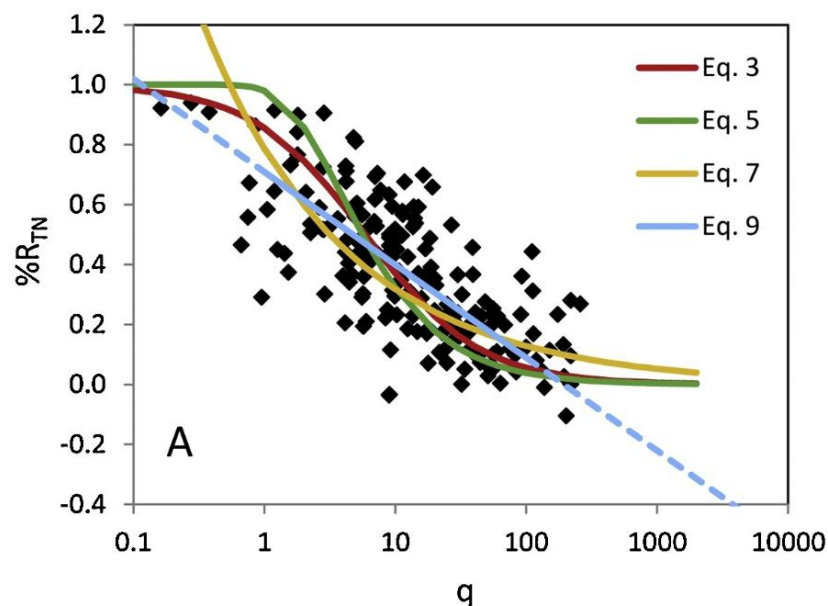
- Eksplisitt representasjon av fysiske og kjemiske prosesser
- Kan f.eks. inkludere stratifisering
- Detaljert
- Tidkrevende og «data hungry»

□ Empiriske modeller

- Lage et datasett med input-output-budsjetter for mange innsjøer
- Tilpasse en statistisk modell
- Bruke lett tilgjengelige prediktorer
- Raskt, men begrenset innsikt (vilkårlige parametere)



Bilde fra Sunaryani *et al.* (2023)

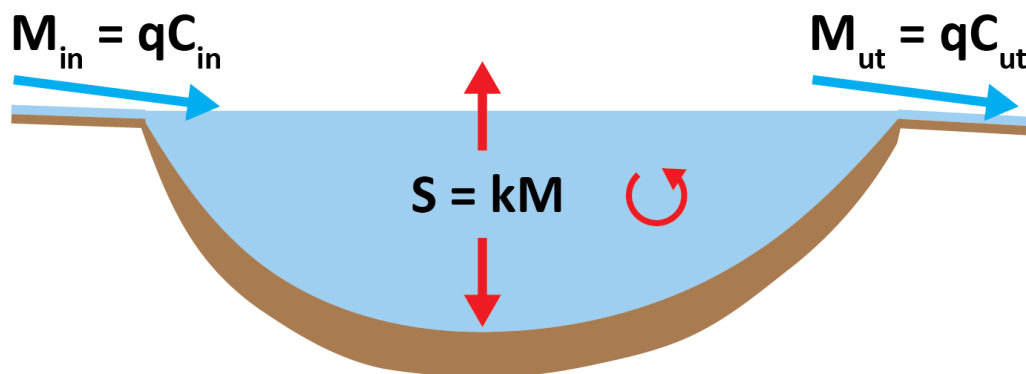


Bilde fra Steingruber (2020)

Semi-empirisk modellering

□ Kombiner prosessbasert tilnærming med empirisk tilpasning

- Start med en enkel prosessbasert modell
- F.eks. modeller for TOTP fra Vollenweider på 70-tallet



$$R = \frac{k}{k + 1/\tau}$$

Oppholdstid

□ Resultatet virker rimelig

- Samsvarer med overvåking fra Øyeren og Mjøsa
- Kort oppholdstid => lav retensjon

□ Samsvarer **ikke** godt med dataene

- $S = kM$ er for enkelt
- Forbedre ved bruk av prosesskunnskap

Semi-empirisk modellering

□ For P

- Retensjonsprosessen er **sedimentering** og **nedgraving** av sedimentbundet P
- Lang oppholdstid => mer tid for sedimentering ← **Allerede inkludert**
- Sedimentasjonshastighet avtar over tid? ← $k = \frac{a}{\tau^b}$

□ For N

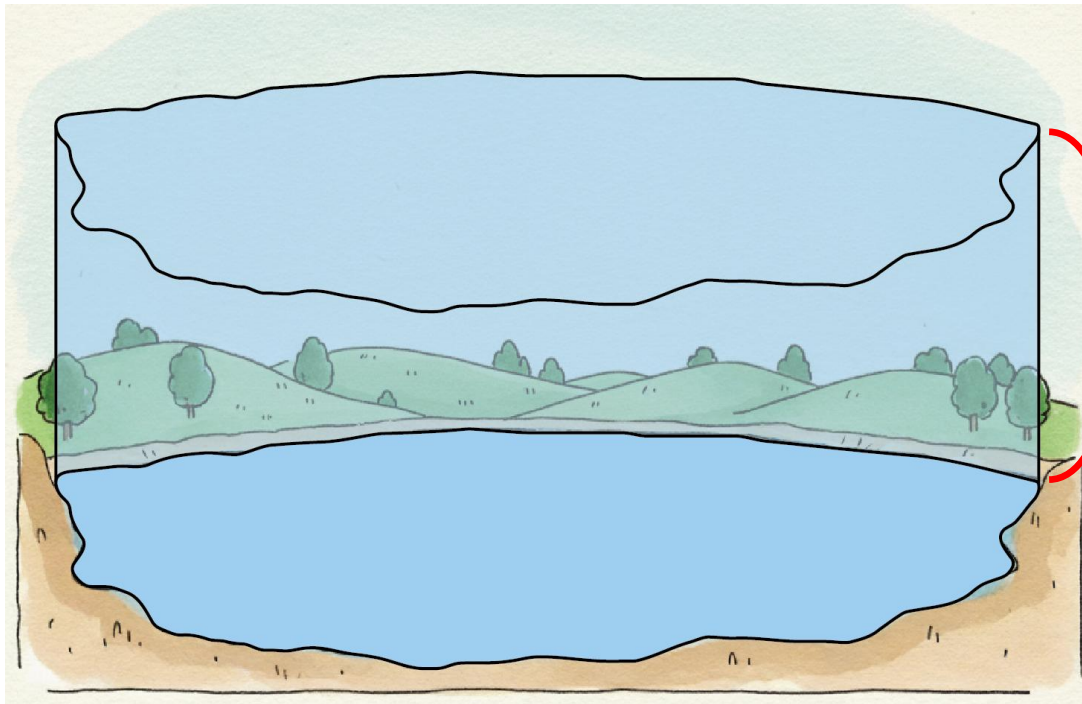
- Dominerende retensjonsprosess er **denitrifikasjon** (NO_3^- omdannet til N_2)
- Lang oppholdstid => mer tid for denitrifikasjon ← **Allerede inkludert**
- Krever **anoksiske** forhold – vanligvis i innsjøsedimenter
- Reaksjonshastighet kontrollert av størrelsen på **sediment-vann grensesnittet**
- Modeller reaksjonshastighet som funksjon av vanndybde?



$$k = \frac{c}{d} \leftarrow \text{Gjennomsnittlig dybde}$$

Setter det hele sammen

- ❑ P-retensjon: **tid for sedimentering** og **sedimenteringshastighet**
 - Begge tilnærmet ved **oppholdstid**
- ❑ N-retensjon: **tid for denitrifikasjon** og **sediment-vann interaksjoner**
 - Kombiner konseptene oppholdstid og areal-volum-forhold
 - Best representert ved **hydraulisk belastning** (årlig volum / overflateareal)



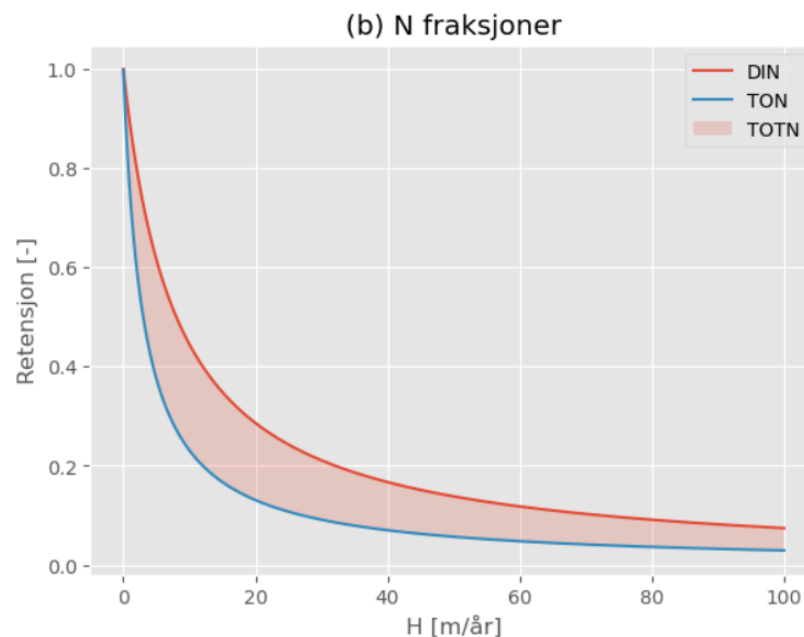
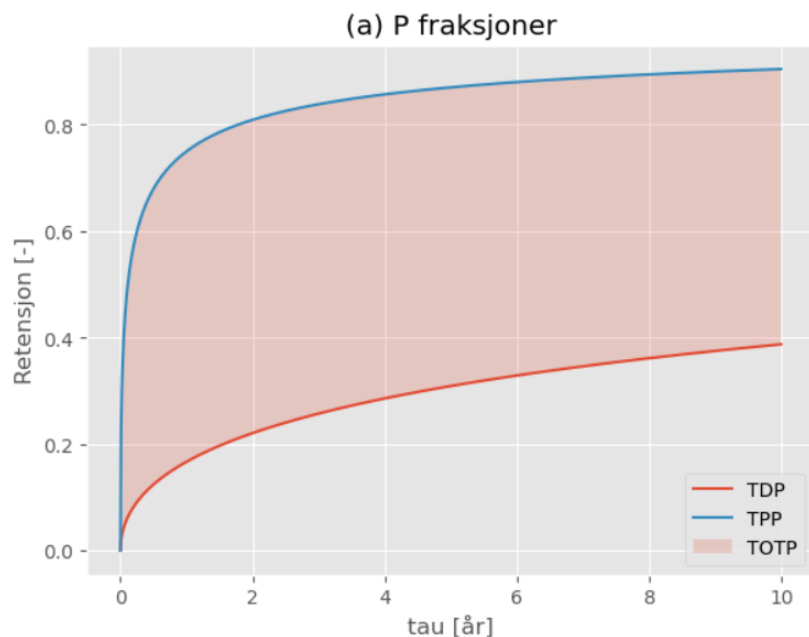
Setter det hele sammen

□ Tilpass modellkonstanter ved hjelp av empiriske data

- Oppholdstid (τ) for P
- Hydraulisk belastning (H) for N

□ Vurder fraksjoner av N og P

- Retensjon av TOTN og TOTP avhenger av proporsjonene av fraksjonene



Sammenligning med overvåkingsdata

- Sammenlign resultater fra modellen med budsjetter for Øyeren og Mjøsa

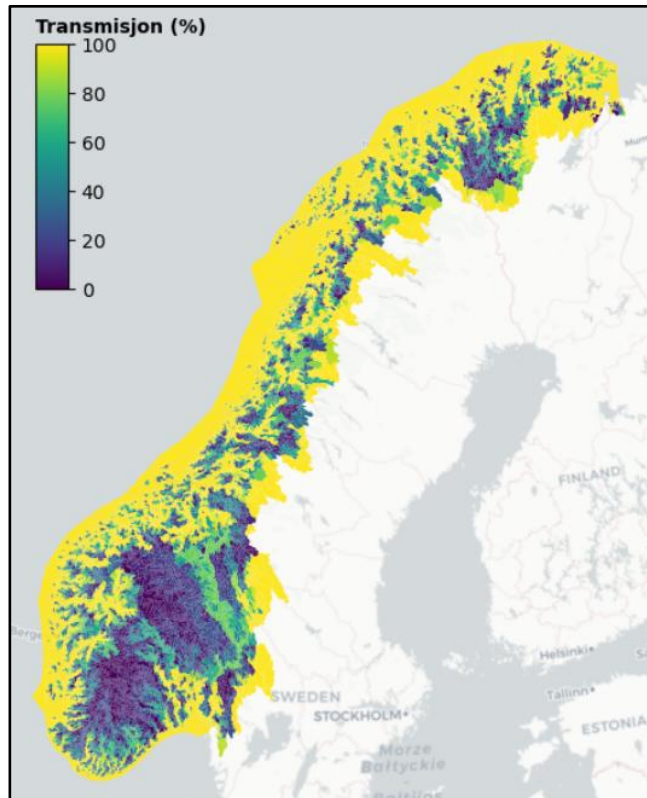
Innsjø	Parameter	Overvåking	Modellering
Øyeren	TOTN	2 %	2 %
Mjøsa	TOTN	25 %	20 %
Mjøsa	TOTP	60 %	64 %

- Statistisk ytelse ligner på resultater fra empiriske modeller
 - Innebygd prosesskunnskap gir mer innsikt

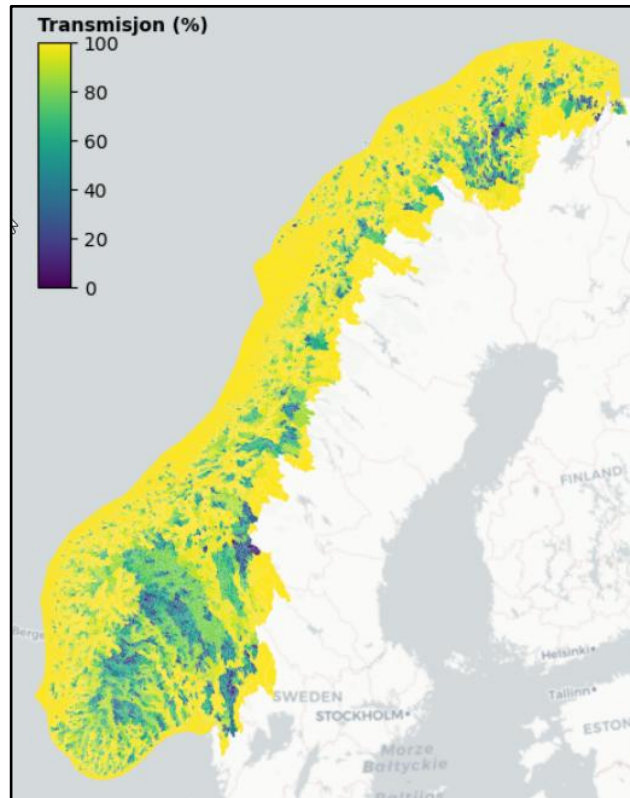
Oppskalering

- Estimer hydraulisk belastning og oppholdstid for innsjøer >0.025 km² (~55 000 lakes)
- Bruk tilpassede modeller for å estimere retensjon og transmisjon
- Akkumuler nedstrøms til kyst/grense
 - Inkluder retensjon i innsjøer, men **ikke elver**

TOTP



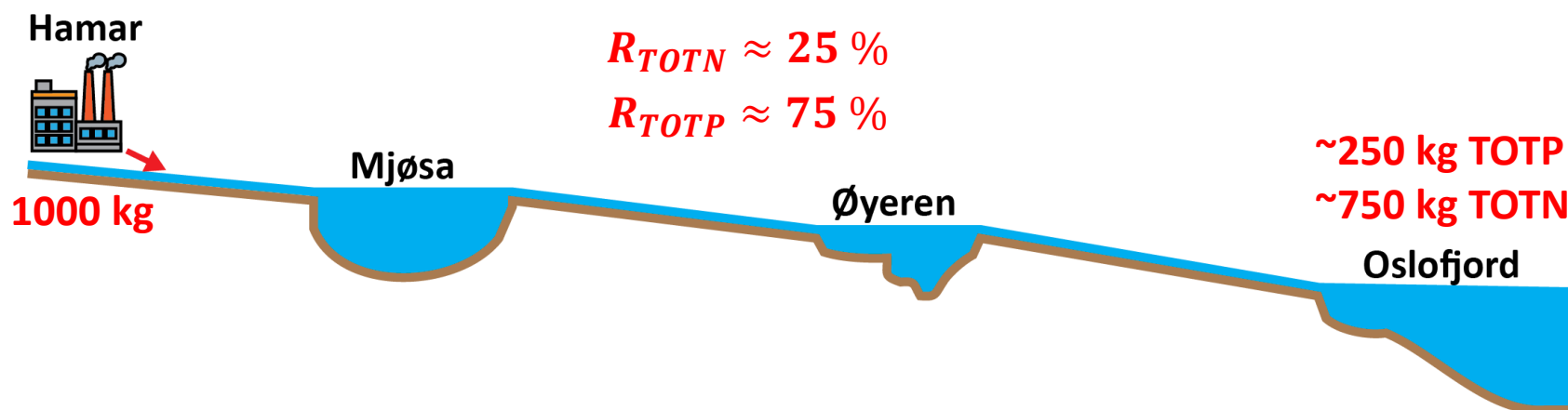
TOTN



* Kart antar faste inndelinger av N og P

Oppskalering

- I gjennomsnitt, når $\sim 40\%$ av TOTP og $80 - 85\%$ av TOTN kysten
- Eksempel: **Hamar**



- Den faktiske mengden som når kysten er litt mindre på grunn av **retensjon i elver**
 - Forventes å være liten sammenlignet med retensjon i innsjøer
 - Men bør undersøkes nærmere

Konklusjoner

- ❑ Å forstå retensjon er viktig for kostnadseffektiv vannforvaltning
- ❑ Enkle modeller gir et utgangspunkt for modellering av næringsstofftilførsler på regional til nasjonal skala
- ❑ P-retensjon domineres av **bunnfall og sedimentasjon**
 - **Oppholdstid** er en nyttig prediktor
- ❑ N-retensjon domineres av **denitrifikasjon**
 - **Hydraulisk belastning** er en bedre prediktor enn oppholdstid
- ❑ Vi har utviklet en nasjonal modell for næringsstoffretensjon i **innsjøer**
 - Part of the TEOTIL3 model
 - Innsjøretensjon dominerer sannsynligvis elveretensjon
 - Retensjon i elver er et interessant tema for fremtidig forskning

Takk!