

Beregne massebelastning, avlastningsbehov og grenseverdier

Truls Hveem Hansson, Dr. rer. Nat., PhD, Limnolog

Dato: 04.2026

Innhold

DEL 1: Beregning av massebelastning og avlastningsbehov	2
Steg 1: Krav til overvåkingsprogram og fastsettelse av miljømål	3
Steg 2: Beregne vannføring	3
Steg 3: Beregning av avlastningsbehov	5
Eksternt tilført vann/utslipp (kun relevant i spesielle situasjoner):	6
Steg 4: (Ved behov) Fra avlastning til grenseverdier for utslipp	7
Grenseverdi for eksternt tilført vann/utslipp	7
Direkte målinger – sensorer og automatisert overvåkning	8
1) Vanligste sensorparametere	9
2) Anbefalte sensoroppsett per påvirkningstype	10
3) Fra sensor til massebelastning og avlastningsbehov	10
4) Praktiske anbefalinger	11
5) Automatiserte prøvetakere	12
6) Oppsummering	12
Oppsummering – beregning av massebelastning og avlastningsbehov	12
DEL 2: Supplerende formler	14
Modifisert Formel 1: Eksternt tilført vann/eksternt utslipp:	14
Modifisert Formel 2: Grenseverdi eksternt tilført vann/utslipp	15
Direkte beregning av grenseverdier (kun konsentrasjoner)	16
Direkte beregning av avlastningsbehov	17
Kilder:	19

DEL 1 i dette dokumentet beskriver fremgangsmåte for å regne ut massebelastning og avlastningsbehov for et vassdrag hvor det enten vil forekomme, eller forekommer en form for forurensende/uønsket utslipp.

DEL 2 fungerer som supplerende materiale og beskriver metoder for å beregne grenseverdier, massebelastning og avlastningsbehov under særskilte omstendigheter eller etter spesielle behov.

DEL 1: Beregning av massebelastning og avlastningsbehov

Metodikken som beskrives her er primært utviklet for å beregne nødvendig avlastning av næringsstoffer i vassdrag, men prinsippene kan også anvendes for andre typer forurensning, som metaller, miljøgifter, suspendert stoff eller mikrobiologisk påvirkning. Metoden forutsetter at stoffet enten er løst eller suspendert i vann og transporteres via vassdrag, og at det foreligger et definert mål for hvilke konsentrasjoner som ønskes oppnådd – eller ikke overskredet – i en vannforekomst/resipient.

Tilstanden i vannforekomster er normalt beskrevet gjennom fastsatte tilstandsklasser, med tilhørende grenseverdier for konsentrasjoner av ulike stoffer. Formålet med metodikken er å beregne hvor mye belastningen av et stoff må reduseres for at resipienten skal oppfylle et miljømål, vanligvis god tilstand. Metoden kan også brukes motsatt vei, til å estimere hvor stor tilførsel en vannforekomst kan tåle uten at tilstanden forringes, og dermed gi et faglig grunnlag for fastsettelse av grenseverdier for evt. planlagte utslipp.

Grenseverdier kan gis enten som maksimal tilført masse per tidsenhet (for eksempel kg/år) eller som en øvre grense for konsentrasjon i utslippsvannet. Valg av uttrykksform påvirker ikke selve beregningsmetoden, men har betydning for hvordan resultatene anvendes i praksis.

Grunnprinsippet i beregningen kan oppsummeres slik:

Avlastningsbehov = ønsket massebelastning – målt massebelastning

Stegene i denne metodikken kan oppsummeres som følgende:

1. hente data/informasjon via overvåkningsprogram samt fastsettelse av miljømål
2. beregne vannføring og innhente informasjon om hydrologiske forutsetninger
3. beregne massebelastning (både belastning basert på målte verdier, og belastning basert på ønskede verdier). Dette brukes så til å beregne avlastningsbehovet
4. (Ved behov/ønske) beregne grenseverdier for konsentrasjon på evt. utslipp til et vassdrag.

Metodikken beskrevet i dette kapittelet innebærer flere utregninger, men bygger på enkel og grunnleggende matematikk.

Metodikken kan også enkelt modifiseres til å beregne hvilke konsentrasjoner et forventet utslipp vil gi i et vassdrag.

Steg 1: Krav til overvåkingsprogram og fastsettelse av miljømål

Beregning av avlastningsbehov forutsetter et representativt datagrunnlag som beskriver de faktiske forholdene i resipienten. Jo flere prøver, jo bedre blir grunnlaget for beregningene. Planlegging og gjennomføring av overvåkning i vassdrag bør følge prinsippene beskrevet i Veileder 02:2018 (veileder for klassifisering av miljøtilstand i vann) og her er frekvens for prøvetaking å anse som et minimum.

Overvåkingsprogrammet må inkludere minst ett prøvepunkt nedstrøms aktuelt utslippspunkt. Det er viktig å ta høyde for innblandingssonen for utslippet og prøvepunkt bør ligge nedstrøms for denne. Parametervalg for overvåkning må dekke både vanntypeparametere og de stoffene man ønsker å undersøke. Dette er for kunne fastsette riktige grenseverdier, samt vurdere kjemiske og biologiske konsekvenser av et utslipp.

Vanntype fastsettes i henhold til klassifiseringsveileder 02:2018, som også angir grenseverdier for næringsstoffer og enkelte miljøgifter. For utvalgte stoffer benyttes Veileder M-608 (veileder for fastsetting av grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota). Disse grenseverdiene brukes til å fastsette forventede konsentrasjoner ved ulike tilstandsklasser.

Miljømålet settes normalt til god tilstand. Dersom resipienten allerede har svært god tilstand, skal denne opprettholdes i tråd med vannforskriftens krav om at tilstanden ikke skal forringes. Dersom en vannforekomst har konsentrasjoner tilsvarende moderat eller dårlig tilstand, er det, i tillegg til målet om å oppnå god tilstand, krav til at tilstanden ikke skal forringes ytterligere. <https://vann-nett.no/waterbodies/map> gir informasjon om fastsatt miljømål for de fleste vannforekomster i Norge.

Steg 2: Beregne vannføring

For å beregne massebelastning må vannføringen gjennom prøvepunktet estimeres. Med mindre direkte vannføringsmålinger er tilgjengelige (se underkapittelet "Direktemålinger") krever dette informasjon om:

- Nedbørfeltets areal (km²)
- Andelen av nedbøren i nedbørfeltet som faktisk ender opp i vassdraget (avrenning) ved det aktuelle prøvepunktet nedstrøms utslippspunktet/området. Dette uttrykkes gjerne som «L/s/km²».

Det finnes flere tilgjengelige verktøy for å fremskaffe disse verdiene, med varierende grad av detaljnivå og teknisk kompleksitet. NEVINA (www.NEVINA.nve.no) gir enkle estimater for nedbørfelt-areal og normalårsavrenning samt estimater for flom, - og

minstevannføring. Et annet verktøy som også gir informasjon om vannføring i enkelte vassdrag, er <http://sildre.nve/map>. SCALGO (www.scalgo.com) gir presise beregninger av nedbørfeltets areal. SeKlima (<https://seklima.met.no>), www.senorge.no og NVE sine API-tjenester (<https://hydapi.nve.no>) kan gi nedbør-, avrenning-, og vannføringsdata for spesifikke perioder, men er noe mer teknisk krevende å benytte. Ved behov kan flere verktøy kombineres for å oppnå et mer nøyaktig resultat.

Bruk av normalavrenning for perioden 1991–2021 vil ofte være et godt utgangspunkt for avlastningsberegninger ettersom differansen mellom målte og ønskede verdier i mindre grad er sensitiv for hydrologisk variasjon enn totale verdier. Økt vannføring vil gi økt massetransport, men så lenge konsentrasjonene forholder seg relativt uendret vil differansen mellom målt og ønsket tilstand være relativt stabil. Likevel kan det være hensiktsmessig å gjennomføre beregningene også ved flomvannføring, normalvannføring og minstevannføring for å vurdere hvordan avlastningsbehovet varierer under ulike hydrologiske forhold. Normalt vil minstevannføring representere størst risiko for miljøet da dette representerer et lavere fortynningspotensiale for evt. utslipp. Dersom målet er å fastsette grenseverdier for utslipp med potensiell skadeeffekt på resipientvassdrag vil det dermed ofte være hensiktsmessig å ta utgangspunkt i minstevannføring.

Siden beregninger basert på normalvannføring vanligvis baserer seg på målinger gjort over perioden 1991–2021 kan klimaendringer medføre at estimater for f.eks. vannføring ikke er helt i tråd med dagens eller fremtidens tilstander. Dette er spesielt aktuelt dersom det er snakk om utslipp som er planlagt flere år frem i tid. Det kan dermed være hensiktsmessig å også ta høyde for endringer i avrenningsforhold som dette kan medføre. www.NEVINA.nve.no har mulighet for å legge til en klimafaktor som kan benyttes for å kompensere for forventede effekter av blant annet endrede nedbørsmengder og temperaturer i det aktuelle nedbørfeltet. For å få et konservativt estimat for f.eks. tåleevne når det kommer til massebelastning kan det på den annen side være lurt å benytte det påslaget som gir minst vannføring. På den annen side kan økt nedbør føre til økte utslipp, f.eks. via hyppigere forekomst av overløp fra avløps/spillvannssystemer, noe som vil være spesielt aktuelt i områder med gammelt spillvannnett. Det er med andre ord viktig å ta høyde for formålet når man velger parametere for å estimere vannføring.

Steg 3: Beregning av avlastningsbehov

Avlastningsbehovet for et gitt stoff i et vassdrag/resipient kan, som tidligere nevnt, uttrykkes som differansen mellom den målte og den ønskede massebelastningen av stoffet. Ønsket tilstand kan enten representere en grense man ikke ønsker å overstige, eller et mål for reduksjon av belastningen til et nivå som oppfyller miljøkrav i vannforekomsten.

Denne utregning av avlastningsbehov kan igjen deles inn i tre hovedtrinn:

1. **Beregn årlig massebelastning ved ønsket tilstand** (f.eks. god økologisk tilstand for aktuelt stoff) ($M_{\text{ved GOD}}$) ved å bruke tilstandsspesifikke konsentrasjoner for resipientens vanntype i Formel 1 (se lengre ned i dokumentet).
2. **Beregn årlig faktisk massebelastning** ($M_{\text{målt}}$) ved å bruke målte gjennomsnittskonsentrasjoner i Formel 1 (se lengre ned i dokumentet).
3. **Differansen mellom disse to verdiene utgjør avlastningsbehovet** ($M_{\text{Avlastning}}$):

Avlastningsbehov = *Massebelastning Ønsket tilstand* – Målt massebelastning
for å gjøre kapittelet mer oversiktlig forkorter vi dette til:

$$M_{\text{Avlastning}} = M_{\text{ved GOD}} - M_{\text{målt}}$$

Et **negativt resultat i trinn 3** angir hvor mye utslippet må reduseres for å nå miljømålet. Et **positivt resultat** viser hvor mye som kan tilføres før grensen for god tilstand overskrides.

Det samme prinsippet kan anvendes for forskjellige tilstandsklasser (moderat, dårlig osv.) for å vurdere effekten av utslipp i forhold til alternative terskler.

Tidsperioden (brukt i Trinn 2) kan også forlenges eller forkortes avhengig av lengde på overvåkningsperiode samt antall prøver som er tatt i løpet av overvåkningsperioden. Det er viktig at man konsekvent velger *en* tidsperiode (t) og holder seg til den.

Formel 1: Beregning av massebelastning

For å beregne $M_{\text{ved GOD}}$ og $M_{\text{målt}}$ benyttes følgende formler:

$$M_{\text{ved GOD}} = \frac{c_{\text{grense i bekk}} \cdot Q_a \cdot A \cdot t}{10^9}$$

$$M_{\text{målt}} = \frac{c_{\text{målt}} \cdot Q_a \cdot A \cdot t}{10^9}$$

der

- $M_{\text{ved GOD}}$ øvre grense formassebelastning (kg) over tidsperioden (t) (f.eks. år)
- $M_{\text{målt}}$ = målt massebelastning (kg/ over tidsperioden (t) (f.eks. år)
- 10^9 = konverterer fra μg til kg (for konsentrasjoner målt i mg/l bruk 10^6)
- $c_{\text{grense i bekk}}$ = konsentrasjon (vanligvis i $\mu\text{g/L}$) i bekken som tilsvarer øvre grense for hva som kan aksepteres (f.eks. GOD tilstand)
- $c_{\text{målt}}$ = målt konsentrasjon i resipient (vanligvis i $\mu\text{g/L}$)
- Q_a = middelavrenning (L/s/km^2)
- A = nedbørfeltets areal (km^2)
- t = antall sekunder i perioden, beregnet som $t = 60^2 \cdot 24 \cdot n$, der n = antall døgn (f.eks. år (vanligst), sesong, måned, uker)

Eksternt tilført vann/utslipp (kun relevant i spesielle situasjoner):

Noen ganger skjer utslipp til et vassdrag i form av eksternt tilført vann, dvs. vann som ikke ville rent ut i vassdraget uten den aktuelle forurensende aktiviteten (f.eks. utslipp av prosessvann, direkteutslipp av avløpsvann, e.l.). **Ofte vil vannmengder/volumet fra slike eksterne utslipp være neglisjerbare i forhold til vannføring i et vassdrag.**

Dersom utslippet er av en betydelig størrelse i forhold til vannføringen i vassdraget (f.eks. stort utslipp, til liten bekk) kan det være nødvendig å legge volumet på det tilførte vannet til den eksisterende vannføringen i vassdraget. For å ta høyde for en slik ekstra tilførsel i beregning av massebelastning og avlastningsbehov se *DEL 2; Modifisert formel 1.*

Steg 4: (Ved behov) Fra avlastning til grenseverdier for utslipp

Resultatene fra avlastningsberegningen kan brukes til å fastsette maksimal tillatt tilførsel av et stoff til et vassdrag, som total mengde over en tidsperiode. Men resultatene kan også brukes til å bestemme en øvre grense for konsentrasjonen av et stoff for et punktutslipp til et vassdrag. For eksempel kan det benyttes til å si hvor høy konsentrasjon av nitrogen i overvannet fra et industriområde kan være før det dytter konsentrasjonene i et resipientvassdrag over grensen for GOD nitrogentilstand. For å beregne en slik grenseverdi benyttes estimert avlastningsbehov sammen med avrenning og areal for det aktuelle tiltaksområdet/delnedbørfeltet (Q_{a_lokal} og A_{lokal}) (Formel 2):

Formel 2: Beregne øvre grense for konsentrasjon i avrenningsvann

$$c_{grense} = \frac{M_{Avlastning} \cdot 10^9}{Q_{a_lokal} \cdot A_{lokal} \cdot t}$$

der:

- c_{grense} = maksimal konsentrasjon i utslippsvann (vanligvis i $\mu\text{g/L}$)
- $M_{Avlastning}$ = maksimal tillatt/akseptabel massetilførsel (kg/t)
- Q_{a_lokal} = middelavrenning i delnedbørfelt/inngrepsområde (l/s/km^2)
- A_{lokal} = arealet på delnedbørfelt/inngrepsområdet (km^2)
- t = antall sekunder i perioden, beregnet som $t = 60^2 \cdot 24 \cdot n$, der n = antall døgn (år, sesong, måned, uker, etc.)
- 10^9 = konverterer fra kg til μg (for å få mg/l bruk 10^6)

Dersom vannføringen fra utslippspunktet er kjent, fører man vannføring inn direkte (målt i L/s) istedenfor $Q_{a_lokal} \cdot A_{lokal}$.

Resultatet fra Formel 2 angir høyeste konsentrasjon avrenningen/utslippet fra et område kan ha før resipientvassdraget risikerer å krysse en tilstandsgrense, og kan benyttes som faglig grunnlag for fastsettelse av grenseverdier.

Grenseverdi for eksternt tilført vann/utslipp

Stammer utslippsvannet fra en ekstern kilde, dvs. vann som ikke ellers ville endt opp i resipientvassdraget (f.eks. prosessvann, avløpsvann fra renseanlegg, e.l.), kan det være

nødvendig å benytte $M_{\text{Avlastning}}$ beregnet med "modifisert Formel 1" (DEL 2; Modifisert formel 1) for å ta høyde for fortynningseffekter. Dette er beskrevet nærmere DEL 2; Modifisert formel 2.

Merk: Å ta høyde for fortynningseffekter er hovedsakelig relevant i spesielle tilfeller, der den ekstra vannmengden er usedvanlig stor i forhold til vassdragets naturlige vannføring.

Direkte målinger – sensorer og automatisert overvåkning

Et alternativ til gjentatte prøverunder og estimert vannføring basert på nedbørfelt og værparametere er automatiserte direktemålinger. Sensorer kan måle vannføring og/eller stoffkonsentrasjoner kontinuerlig, og gi et mer detaljert og tidsoppløst grunnlag for massebelastning enn enkeltprøver eller modellert vannføring.

Samtidig er sensorer teknisk krevende, kostbare og utsatt for usikkerhet knyttet til måleprinsipper, kalibrering og vedlikehold. Uten riktig bruk og tett oppfølging kan dette gi unøyaktige data, som igjen kan forplante seg i videre analyser og beregninger og føre til betydelige feil. Valg av metode bør derfor baseres på overvåkningsformål, aktuelle stoffer og tilgjengelig ekspertise og ressurser. Det er også viktig at målingene dekker hele variasjonsbredden i systemet, inkludert både perioder med lav vannføring og flomhendelser.

De fleste deteksjonssensorer rapporterer stoffkonsentrasjon via proxy-målinger, basert på konduktivitet, optiske målinger, pH, temperatur eller kombinasjoner. Pålitelighet og deteksjonsnivå varierer, så regelmessig prøvetaking for kalibrering og verifisering er nødvendig.

1) Vanligste sensorparametere

- **Hydrometri:** Vannføring, temperatur (påvirker sensorrespons og kjemiske likevekter, f.eks. NH_3/NH_4) (World Meteorological Organization, 2008; Emerson et al., 1975).
- **Fysisk-kjemiske parametere:** pH (påvirker kjemiske likevekter, f.eks. NH_3/NH_4), konduktivitet, oksygen (DO) (Rice et al., 2017), samt turbiditet som proxy for TSS (Emerson et al., 1975; Fagerberg, u.å.; ISO, 2003).
- **Næringsstoffer:** NO_3^- -N, NH_4^+ -N, fosfat (PO_4^{3-} -P). Sistnevnte har stor usikkerhet og krever hyppig kalibrering; brukes primært som støtteparameter (Li & Wang, 2024; ISO, 2003).
- **Organisk materiale:** fDOM/DOC, TOC. Dette er proxybaserte målinger som er følsomme for begroing og sesongvariasjon og krever hyppig kalibrering (Li & Wang, 2024).
- **Ioner:** Cl^- (direkte eller via konduktivitet, høy usikkerhet), Ca^{2+} (direkte måling, indikator for hardhet/bufferkapasitet) (Rice et al., 2017).
- **Pigmenter:** Estimering av klorofyll og identifikasjon av fyttoplanktongrupper via spesifikke pigmenter. Målingene er lysfølsomme og krever hyppig kalibrering samt faglig ekspertise (Li & Wang, 2024).

2) Anbefalte sensoroppsett per påvirkningstype

Påvirkningstype	Anbefalte parametere	Tilleggsparametere	Kommentar
Kloakk	NH_4^+ , NO_3^- , temperatur	pH, konduktivitet, DO	NH_4^+ indikerer fersk tilførsel; NO_3^- viktig ved lengre oppholdstid da nitrifisering kan forekomme. Høy NH_4^+ , pH og temperatur gir giftig NH_3
Sprengning / sprengstein	NH_4^+ , NO_3^-	pH, konduktivitet, temperatur	Høy NH_4^+ , pH og temperatur gir giftig NH_3 ; sprengstoffrester kan øke belastning av næringsstoffer.
Veisaltning	Konduktivitet	Cl^-	Konduktivitet som proxy; Cl^- direkte, men har høy usikkerhet.
Jordbruk	NO_3^- , NH_4^+ , turbiditet	Konduktivitet	Turbiditet indikerer suspenderte partikler som kan gi nedslamming, samt partikkelbundet fosfor.
Anleggsarbeid	Turbiditet, pH	Konduktivitet, NH_4^+	$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ relevant ved sprengning/fyllmasser.
Fyllinger / søppelfyllinger	Konduktivitet, pH, NO_3^- , turbiditet	NH_4^+ , temperatur	Konduktivitet = ionebelastning; pH = løselighet/metaller; temperatur = biologisk aktivitet.

Ved samtlige påvirkningstyper kan også **vannføring** med fordel inkluderes i sensoroppsettet.

3) Fra sensor til massebelastning og avlastningsbehov

Hydrometri: Identifiser minste-, middel- og flomvannføring. Kvalitetskontroll, kalibrering og kjennskap til sensortyper er essensielt. Vurder deteksjonsgrenser, begroing, lysforhold og andre feilkilder. Fjern uteliggere og korriger for ulike målefrekvenser.

Beregne massebelastning (M): Dette kan gjøres på litt forskjellige måter. Den enkleste er å multiplisere vannføring (Q) og konsentrasjon (c) ved hvert måletidspunkt/tidsintervall og for hvert tidspunkt (eller tidsintervall), og deretter summere over hele perioden for aktuell tidsperiode (Δt) (Formel 3).

Formel 3:

$$M = \sum \frac{c \cdot Q \cdot \Delta t}{10^9}$$

- c (konsentrasjon) i $\mu\text{g/L}$ og Q i L/s gir massebalanse i $\mu\text{g/s}$, som integrert over tid og dividert på 10^9 gir total masse i kg. For c oppgitt i mg/L deles på 10^6 (husk alltid å sjekke/konvertere benevninger i data).

Beregne avlastningsbehov ($M_{\text{Avlastning}}$):

For å estimere avlastningsbehovet må vi først beregne massebelastning ved ønsket tilstand ($M_{\text{ved GOD}}$). Dette gjøres ved å sette ønsket konsentrasjon (f.eks. konsentrasjon ved god tilstand for aktuelt stoff) inn i "c" i Formel 3. Dette Gjentas med målte konsentrasjoner for aktuell tidsperiode.

Avlastningsbehov beregnes som i Steg 3 "*Beregning av avlastningsbehov*":

$$M_{\text{Avlastning}} = M_{\text{ved GOD}} - M_{\text{målt}}$$

4) Praktiske anbefalinger

- **Plassering:** Mål i **fullt omblandet** profil (nedstrøms innblandingssone). Unngå strandsoner/dødsone i vassdraget.
- **Oppløsning:** velg riktig oppløsning (f.eks. logging hvert 5–15 min) for å fange opp relevante hendelser. Aggreger til døgn/måned/år etter behov/formål.
- **Sesongkalibrering:** forholdet mellom Turbiditet og Suspendert stoff kan variere (snøsmeltingspartikler \neq sommerrusking), det samme kan gjelde andre proxybaserte miljøfaktorer som DOM, DOC, TOC.
- **Enheter og kjemi:** Vær konsekvent: $\text{NO}_3\text{-N}$ vs $\text{NO}_3\text{-som ion}$ ($\text{NO}_3 = \text{NO}_3\text{-N} \times 62/14$). Samkjør med veilederens (f.eks. 02:2018 eller M-608) enheter ($\mu\text{g/L}$).
- **Deteksjonsgrenser:** Velg sensorer som dekker **normaltilstand** og **hendelser** – unngå blindsoner (f.eks. deteksjonsgrense for N-NH_3 på $100 \mu\text{g/L}$ når konsentrasjoner ofte ligger på $50\text{--}80 \mu\text{g/L}$).
- **Reservestrøm/telemetri:** For kritiske lokasjoner – driftssikkerhet og rask alarmering på hendelser.

- **Kompletterende lab:** Selv ved god sensorpark trengs **periodiske labprøver** for kvalitetssikring/kvalitetskontroll og for fraksjoner som mangler robuste sensorer (Totalt nitrogen, Totalt fosfor, metaller m.m.).

5) Automatiserte prøvetakere

Et alternativ til sensorer som måler konsentrasjonen av et stoff, er automatiserte prøvetakere som kan samle såkalte blandeprøver over definerte tidsintervaller. Slike prøver gir et tidsintegrert bilde av konsentrasjoner og kan analyseres i laboratorium med høy presisjon. Kombinert med samtidige vannføringsdata og/eller vannføringsestimater gir dette et mer robust estimat av massebelastning enn enkeltprøver alene.

For å være representative bør blandeprøver tas flere ganger i løpet av en sesong og dekke ulike hydrologiske situasjoner, inkludert både tørre perioder og flomhendelser.

6) Oppsummering

Kombinasjonen av vannføringsmålinger, sensorer og/eller automatisert prøvetaking gir et mer detaljert og tidsoppløst grunnlag for å vurdere faktisk massebelastning enn enkeltprøver og modellert vannføring. Samtidig er metodikken teknisk krevende, kostbar og beheftet med usikkerhet knyttet til måleprinsipper, vedlikehold, kalibrering og begrenset stoffdekning. Valg av metode bør derfor baseres på formålet med overvåkingen, hvilke stoffer eller fraksjoner som er relevante, og tilgjengelige ressurser. Det er også viktig å være klar over at det skjer kontinuerlig utvikling av sensorteknologi og det anbefales å undersøke hvilke muligheter som er tilgjengelige på markedet.

Oppsummering – beregning av massebelastning og avlastningsbehov

I denne veilederen beskrives en metodikk for å beregne hvor mye tilførselen av et stoff til et vassdrag kan økes, eller må reduseres, for å oppnå en ønsket miljøtilstand. Metoden kan benyttes for både næringsstoffer og andre typer forurensning, hvor det foreligger fastsatte grenseverdier for konsentrasjon i vannmassene.

Grunnprinsippet i metodikken er å sammenligne ønsket massebelastning, basert på gjeldende grenseverdier, med faktisk målt massebelastning. Differansen mellom disse størrelsene angir avlastningsbehovet.

Metodikken består av tre hovedsteg:

1. Fastsette miljømål og etablere et tilstrekkelig datagrunnlag gjennom overvåkning og relevante veiledere.
2. Estimere vannføring, enten ved direkte målinger eller ved bruk av nedbørfelt og avrenningsdata.
3. Beregne massebelastning for både ønsket og målt tilstand, og deretter avlastningsbehovet.

Metoden kan brukes til å vurdere hvor store utslipp en resipient tåler, og til å fastsette grenseverdier for konsentrasjon i utslippsvann slik at tilstandsklasser i resipienten ikke overskrides. I DEL 2 beskrives tilpasninger for spesielle tilfeller der større, eksterne utslipp påvirker vannføring og fortynningsevne.

Bruk av sensorer og automatisert overvåkning kan gi et mer detaljert og tidsoppløst datagrunnlag, men stiller samtidig høyere krav til kvalitetssikring og medfører økte kostnader. Valg av metode bør derfor tilpasses formål, aktuelle problemstillinger og tilgjengelige ressurser.

DEL 2: Supplerende formler

Modifisert Formel 1: Eksternt tilført vann/eksternt utslipp:

Noen ganger skjer utslipp til et vassdrag i form av eksternt tilført vann, dvs. vann som ikke ville rent ut i vassdraget uten den aktuelle forurensende aktiviteten (f.eks. utslipp av prosessvann, direkteutslipp av avløpsvann, e.l.). Dersom utslippet er av en betydelig størrelse i forhold til vannføringen i vassdraget (f.eks. stort utslipp, til liten bekk) kan det være nødvendig å legge volumet på det tilførte vannet til den eksisterende vannføringen i vassdraget. For å ta høyde for en slik ekstra tilførsel i massebelastningen vår kan vi benytte en litt modifisert formel for å beregne $M_{ved\ GOD}$ slik at vi får med den økte fortyningsevnen denne økningen i vannføring vil medføre. Denne beregningen gjelder et fremtidig/planlagt utslipp:

Formel 1 modifisert for beregning av massebelastning ved utslipp som gir økt vannføring:

$$M_{ved\ GOD} = \frac{c_{grense\ i\ bekk} \cdot (Q_a \cdot A + V_{ekstra})}{10^9} \cdot t$$

- $M_{ved\ GOD}$ = øvre grense formassebelastning (kg) over tidsperioden (t) (f.eks. år)
- 10^9 = konverterer fra μg til kg (for konsentrasjoner målt i mg/l bruk 10^6)
- $c_{grense\ i\ bekk}$ = konsentrasjon (vanligvis i $\mu\text{g/L}$) i bekken som tilsvarer øvre grense for hva som kan aksepteres (f.eks. GOD tilstand)
- V_{ekstra} = mengden/volumet vann som tilføres fra utslippskilden (l/s)
- Q_a = middelavrenning (L/s/km²)
- A = nedbørfeltets areal (km²)
- t = antall sekunder i perioden, beregnet som $t = 60^2 \cdot 24 \cdot n$, der n = antall døgn (år, sesong, eller måned)

Deretter kan resten av utregningene gjennomføres som beskrevet i DEL 1; Steg 3.

NB: Dersom det er snakk om et pågående/eksisterende utslipp hvor tilførsel ikke inkluderes i avrenningsberegning for nedbørfeltet, må modifisert formel benyttes for både $M_{ved\ GOD}$ og $M_{målt}$.

Modifisert Formel 2: Grenseverdi eksternt tilført vann/utslipp

Stammer utslippsvannet fra en eksternt kilde, dvs. vann som ikke ellers ville endt opp i resipientvassdraget (f.eks. prosessvann, avløpsvann fra rensesanlegg, e.l.), kan det være nødvendig å benytte $M_{\text{Avlastning}}$ beregnet via "Modifisert Formel 1" (DEL 2) for å ta høyde for fortynningseffekter. Resultatet ($M_{\text{Avlastning}}$) settes så inn i Modifisert Formel 2 (under).

Ettersom denne typen utslipp ikke nødvendigvis er styrt av avrenningen fra et nedbørfelt er vi her avhengige av å vite den faktiske vannføringen (L/s) som kommer ut fra punktutslippet (V_{ekstra}) som benyttes istedenfor produktet av avrenning ganget med Arealet på inngrepsområdet ($A_{\text{lokal}} \cdot Q_{a_lokal}$).

Formel 2 Modifisert for eksternt utslipp med kjent vannføring:

$$c_{\text{grense}} = \frac{M_{\text{Avlastning}} \cdot 10^9}{V_{\text{ekstra}} \cdot t}$$

der:

- c_{grense} = maksimal konsentrasjon i utslippsvann (vanligvis i $\mu\text{g/L}$)
- $M_{\text{Avlastning}}$ = maksimal tillatt/akseptabel massetilførsel (kg/t)
- V_{ekstra} = mengden/volumet vann som tilføres fra utslippskilden (l/s)
- t = antall sekunder i perioden, beregnet som $t = 60^2 \cdot 24 \cdot n$, der n = antall døgn (år, sesong, måned, uker, etc.)
- 10^9 = konverterer fra kg til μg (for å få mg/l bruk 10^6)

Direkte beregning av grenseverdier (kun konsentrasjoner)

Dersom man kun ønsker å regne ut maksimum konsentrasjon for et stoff (grenseverdi) i avrenningen fra et spesifikt område, uten først å beregne mengder i form av massebelastning kan man benytte Formel 4:

Formel 4:

$$c_{grense_avrenning} = \frac{(A \cdot Q_a) \cdot (c_{grense\ i\ bekk} - c_{m\hat{a}lt})}{A_{lokal} \cdot Q_{a_lokal}}$$

Hvor:

- $c_{grense_avrenning}$ = grense konsentrasjon ($\mu\text{g/L}$ eller mg/L) i avrenning fra området
- $c_{grense\ i\ bekk}$ = konsentrasjon (vanligvis i $\mu\text{g/L}$ eller mg/L) i bekken som tilsvarer øvre grense for moderat/dårlig/svært dårlig tilstand
- $c_{m\hat{a}lt}$ = målt konsentrasjon (vanligvis i $\mu\text{g/L}$ eller mg/L)
- A = nedbørfeltets areal (km^2)
- A_{lokal} = arealet på inngrepsområdet (km^2) (delnedbørfeltet)
- Q_a = Avrenning (L/s/km^2) fra vassdragets nedbørfelt
- Q_{a_lokal} = avrenning (L/s/km^2) fra inngrepsområdet (delnedbørfeltet)

NB: Hvis det igjen er snakk om et eksternt tilført utslipp (spillvann, prosessvann, e.l.) hvor utslipp er stort i forhold til et vassdrags vannføring kan denne modifiserte versjonen av Formel 4 benyttes:

Formel 4 modifisert:

$$c_{grense_utslipp} = \frac{(A \cdot Q_a + V_{ekstra}) \cdot c_{grense\ i\ bekk} - c_{m\hat{a}lt} \cdot (A \cdot Q_a)}{V_{ekstra}}$$

Hvor:

- $c_{grense_utslipp}$ = grense for konsentrasjon ($\mu\text{g/L}$) i utslippsvannet
- V_{ekstra} = mengden/volumet vann som tilføres fra utslippskilden (l/s)

Dersom spørsmålet om grense for utslippet gjelder et pågående utslipp, slik at vannføringen i bekken allerede er påvirket av det eksterne bidraget, legges " V_{ekstra} " til " $A \cdot Q_a$ " for både målte ($c_{målt}$) og ønskede ($c_{grense\ i\ bekk}$) konsentrasjoner slik at vi får:

$$c_{grense_utslipp} = \frac{(A \cdot Q_a + V_{ekstra}) \cdot (c_{grense\ i\ bekk} - c_{målt})}{V_{ekstra}}$$

Dersom vannføringen er målt direkte, kan total vannføring (Q_{tot}) benyttes. Da forenkles uttrykket til

$$c_{grense_utslipp} = \frac{Q_{tot} \cdot (c_{grense\ i\ bekk} - c_{målt})}{V_{ekstra}}$$

- Q_{tot} = total vannføring i vassdrag ved prøvepunkt (L/s)

Direkte beregning av avlastningsbehov

Ønsker man å beregne avlastningsbehovet med kun utgangspunkt i konsentrasjoner og vannføring kan Formel 5 benyttes:

Formel 5:

$$M_{avlastning} = \frac{(c_{grense\ i\ bekk} - c_{målt}) \cdot Q_{tot} \cdot t}{10^9}$$

Hvor

- $M_{avlastning}$ = Avlastningsbehov i kg over tidsperioden (t) (f.eks. år)
- 10^9 = konverterer fra μg til kg (for konsentrasjoner målt i mg/l bruk 10^6)
- $c_{grense\ i\ bekk}$ = konsentrasjon (vanligvis i $\mu\text{g/L}$) i bekken som tilsvarer øvre grense for hva som kan aksepteres (f.eks. GOD tilstand)
- $c_{målt}$ = målt konsentrasjon i resipient (vanligvis i $\mu\text{g/L}$)
- Q_{tot} = Total vannføring (L/s) i prøvepunkt
- t = antall sekunder i perioden, beregnet som $t = 60^2 \cdot 24 \cdot n$, der n = antall døgn (ant. døgn per år, sesong, eller måned)

Q_{tot} kan beregnes ved å multiplisere middelavrenningen (L/s/km²) i et nedbørfelt med arealet på nedbørfeltet (km²).

I spesielle tilfeller hvor det forekommer utslipp av eksternt tilført vann (f.eks. avløpsvann, industriutslipp, e.l.) og utslippsmengdene er svært store i forhold til resipientvassdragets vannføring kan modifisert Formel 5 benyttes for å kompensere for fortynningseffekter:

Formel 5 modifisert:

$$M_{avlastning} = \frac{(Q_{tot} + V_{ekstra}) \cdot c_{grense\ i\ bekk} - c_{målt} \cdot Q_{tot}}{10^9} \cdot t$$

Hvor

- V_{ekstra} = mengden/volumet vann som tilføres fra utslippskilden (l/s)

Kilder:

02:2018: Direktoratgruppen vanddirektivet (2018). *Klassifisering av miljøtilstand i vann: Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver (Veileder 02:2018)*. Oslo: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: www.vannportalen.no [Lest 24. mai 2024].

Emerson, K., Russo, R.C., Lund, R.E. & Thurston, R.V. (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32(12), s. 2379-2383.

Fagerberg (u.å.). *Måleparametre: Total Suspended Matter (TSS)*. [Online]. Tilgjengelig fra: www.fagerberg.no [Lest 24. mai 2024].

ISO (2003). *Water quality – On-line sensors/analysing equipment for water – Specifications and performance tests (ISO 15839:2003)*. Genève: International Organization for Standardization.

Li, J. & Wang, X. (2024). In-situ optical water quality monitoring sensors – applications, challenges, and future opportunities. *Frontiers in Water*, 6, s. 1-15. doi: 10.3389/frwa.2024.1380133.

M-608: Miljødirektoratet (2020). *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota (Veileder M-608)*. Oslo: Miljødirektoratet.

Lipps, W. C., Braun-Howland, E. B., Baxter, T. E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 24. utg. Washington, DC: American Public Health Association.

World Meteorological Organization (2008). *Guide to Hydrological Practices: Volume I: Hydrology - From Measurement to Hydrological Information (WMO-No. 168)*. 6. utg. Genève: WMO.