

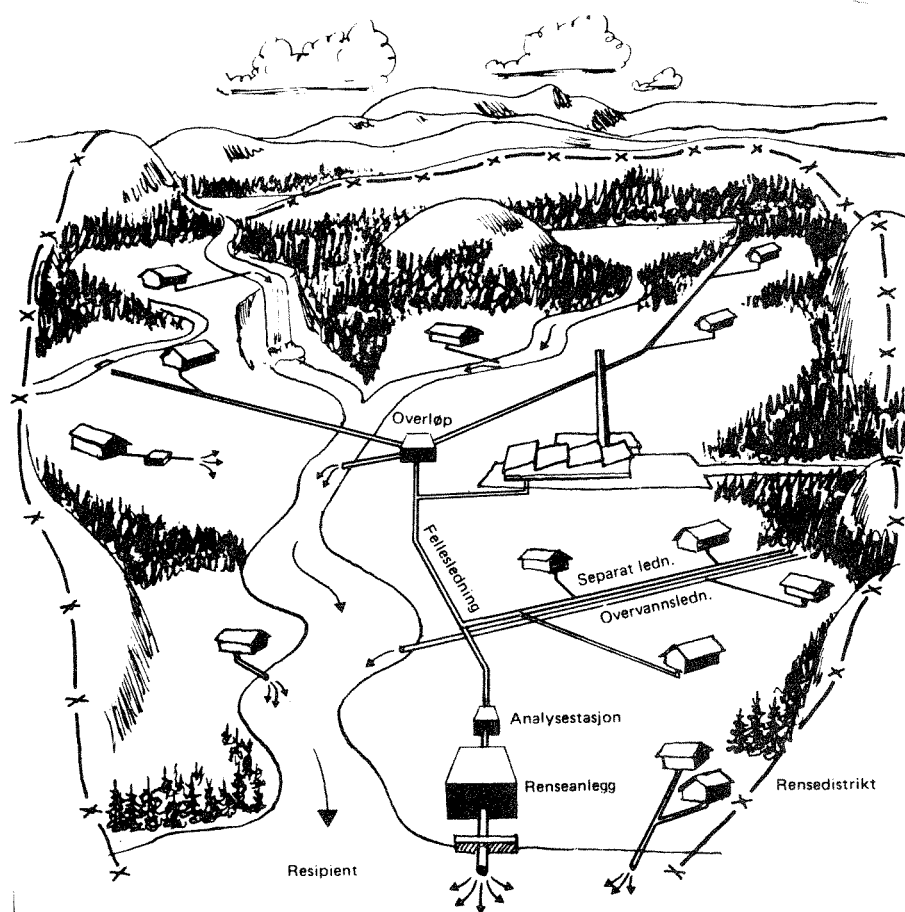
1967



# RAPPORT 13|86

O-86195

## Bestemmelse av tilføringsgrad



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

**Hovedkontor**  
Postboks 333  
0314 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80

**Sørlandsavdelingen**  
Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033

**Østlandsavdelingen**  
Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

**Vestlandsavdelingen**  
Breiviken 2  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.:	0-86195
Undernummer:	
Løpenummer:	1917
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel:	Dato:
Bestemmelse av tilføringsgrad VA-13/86	16. november 1986
Forfatter (e):	Prosjektnummer:
Lasse Vråle	0-86195
	Faggruppe:
	VA-teknikk
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag):
	42

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
NTNFs Program for VAR-teknikk	Sveinung Sægrov

**Ekstrakt:**

Foreliggende rapport er et sammendrag av tidligere arbeider og erfaringer. Tre forskjellige metoder beskrives og karakteriseres. Aktuelle forurensningsparametere i måleprogrammene beskrives og prioriteres. Måleusikkerheten og kilder for nøyaktighet er også berørt.

4 emneord, norske:
1. Tilføringsgrad
2. Ledningsnett
3. Avløp
4. Lekkasje

4 emneord, engelske:
1. Collection
2. Sewer networks
3. Leakage
4. Measurements

Prosjektleder:

*Lasse Vråle*

Lasse Vråle

For administrasjonen:

*Oddvar Lindholm*

Oddvar Lindholm

ISBN 82-577-1141-1

O-86195

RAPPORT OM BESTEMMELSE AV TILFØRINGSGRAD

Oslo, 16. november 1986

Forfatter: Lasse Vråle

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1. FORORD	3
2. SAMMENDRAG	4
3. GENERELT OM TILFØRINGSGRADBESTEMMELSER	6
4. BESKRIVELSE AV TRE ALTERNATIVE METODER FOR BESTEMMELSE AV TILFØRINGSGRAD	9
4.1. Oppsamlingsmetoden	9
4.2. Tapsmetoden	10
4.3. Vannbalansemetoden	11
5. VALG AV FORURENSNINGSPARAMETER OG SPESIFIKKE VERDIER	14
5.1. Generelt	14
5.2. Valg av parameter	15
5.3. Spesifikke verdier for ulike kilder	16
6. VALG AV METODE FOR MÅLING AV TILFØRINGSGRAD	18
7. PRAKTISK GJENNOMFØRING AV MÅLINGER OG BEREGNINGER	21
7.1. Forhold av betydning for flere av metodene	21
7.1.1. Vannføringsmålinger	21
7.1.2. Prøveuttak	21
7.1.3. Kjemiske analyser	24
7.1.4. Beregning av massetransporten fram til renseanlegget	25
7.1.5. Beregning av produsert forurensning i feltet	26
7.2. Oppsamlingsmetoden	28
7.3. Tapsmetoden	29
7.4. Vannbalansemetoden	30
8. FEILKILDER VED BESTEMMELSE AV TILFØRINGSGRAD	34
9. LITTERATURHENVISNINGER	41

## 1. FORORD

*Denne utredningen er utarbeidet på basis av siv.ing. Lasse Vrðles tidligere arbeider og erfaringer.*

*Utredningen er tenkt å inngå i en samlerrapport om tilstandsvurdering av avløpsnett utgitt av Program for VAR-teknikk.*

*Generell VA-teknikk og bakgrunnstoff er utelatt for best mulig å kunne konsentrere stoffet.*

*Siv.ing. Sveinung Sægrov, og konsulentene Terje Farestveit og Simon Haraldsen, SFT, har gitt verdifulle kommentarer*

*Rapporten er skrevet på tekstbehandling av Lise Tveiten, NIVA.*

*Oslo, 16. november 1986*

*Lasse Vrðle*

## 2. SAMMENDRAG

Basert på tidligere utførte prosjekter og erfaringer er det i foreliggende rapport gitt en rekke konkrete råd og beskrivelser av hvordan man går fram ved målinger og beregning av tilføringsgrad. Tre forskjellige metoder for beregning av tilføringsgrad er beskrevet samt under hvilke forhold de enkelte metodene egner seg.

Følgende anvisninger gjenspeiler hovedgangen i rapporten.

1. Vær nøye med å fastslå virkelige grenser for rensedistriktet.
2. Vær grundig i arbeidet med å telle opp beboere og registrering av andre kjente forurensningskilder. Bruk Folkeregisterets eller Statistisk Sentralbyrå's EDB-baserte data for å få alders- og kjønnsfordeling, og antallet "pendlere" (arbeidende utenfor rensedistriktet), samt antallet beboere og virksomheter som ikke er koblet til avløpsnett.
3. Bruk forurensningsmodellen (se samlerapport fra VAR-utvalget) for å bestemme forurensningsproduksjonen i feltet.
4. Før protokoll over alle forandringer i avløpsnett i måleperioden av både akutt karakter, som kloakkstopp eller pumpestopp, og av mer varig karakter som økt tilknytning.
5. Vannmålestasjonene må ha en utforming som gir akseptabel nøyaktighet (Se Program for VAR-tekniikk's håndbok ved vannføringsmålinger), /8/. Målestasjonene må dessuten kalibreres før måleperioden starter.
6. Bruk vannmengdeproporsjonale automatiske prøvetakere for å ta ut vannprøver. Man må ikke basere seg på stikkprøver, men enten sette sammen alle ukedagenes døgnblandprøver, eller bruke ukeblandprøver.
7. De forurensningsparametre som skal velges anbefales i denne rekkefølge:
  - Total fosfor (Tot-P)

- Total nitrogen (Tot-N)
- Organisk stoff (KOF eller TOC)

Normalt anbefales å benytte både Tot-P og Tot-N.

8. Mål bare i tørrværsdøgn. Det vil si minst ett døgn etter regn eller snøsmelting (Vær oppmerksom på faren for tørrværsavsetninger i rør med dårlig selvrensing).
9. Mål ikke i ferieukene. Da vil befolkningen endres på en uoversiktlig måte.
10. Tilføringsgraden bør beregnes fortløpende uke for uke i måleperioden.
11. Måleperioden må minst gå over 3 uker. Helst bør målingene foregå over ett halvt år.
12. Når tall fra renseanleggets utslippskontroll brukes må man undersøke om spesielle forhold i ledningsnettets eller med tilførselene oppsto i den betraktede perioden.
13. Tilføringsgrad kan beregnes etter følgende tre prinsipper:
  - Oppsamlingsmetoden
  - Tapsmetoden
  - Vannbalansemetoden.

Beregn helst samtidig med flere av prinsippene.

Tabell 6.1. viser sentrale egenskaper for de tre metodene som kan legges til grunn ved valg av metoder. Beregn tilføringsgrad også med minst to forurensningsparametre.

Tabell 6.1. De ulike metodenes egenskaper.

Metode	Høy Tg	Lav Tg	Lite ressurser tilgjengelig for målinger	Behov for godt beslutningsgrunnlag for tiltak i avløpsnett	Behov for nøyaktige resultater*	Få tilførsler og utløp, og vel avgrensede og sammenfallende grenser for vann- og avløpsnett	Åpenbare og få resipienter for lekkasjetap
Oppsamling	X	XXX	XXX	X	X		
Tap	XXX	XX	X	XXX	XX		XXX
Vannbalanse**	XXX	XX	X	XX	XX	XXX	

\* Nøyaktigheten øker betydelig dersom alle tre, eller både vannbalansemetoden og en av de to andre metodene anvendes samtidig.

\*\* Gir samtidig vannledningsnettets nettforbruk lekkasjeomfang og oppsamlingsnettets separasjonsgrad. Egner seg dessuten bedre i kompliserte rensedistrikt.

Tegnforklaring

XXX = Godt egnet  
 XX = Moderat egnethet  
 X = Mindre godt egnet

### 3. GENERELT OM TILFØRINGSGRADBESTEMMELSER

Rådet for teknisk terminologi (RTT) har definert tilføeringsgrad som produktet av virkningsgrad og tilknytningsgrad. De enkelte begrepene beskrives av RTT som følger:

#### Tilføeringsgrad

Forholdet mellom den forurensningsmengde som tilføres et punkt i et avløpsnett, f.eks. et renseanlegg, og total forurensningsproduksjon innenfor punktets influensområde (eksisterende og/eller fremtidige avløpsfelter).

#### Tilknytningsgrad

Forholdet mellom antall personenheter som er tilknyttet et avløpsnett innen et gitt område og totalt antall personenheter innenfor dette området.

#### Virkningsgrad

Forholdet mellom den forurensningsmengde som når fram til et punkt i et avløpsnett og total forurensningsmengde som tilføres avløpsnettet oppstrøms punktet.

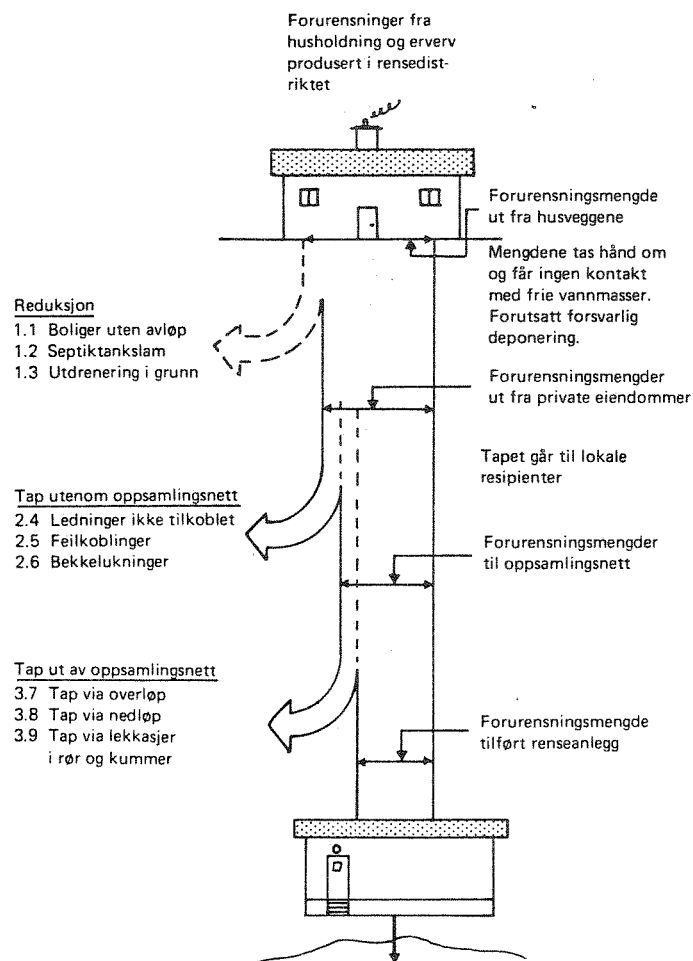
Tilføeringsgrad = tilknytningsgrad x virkningsgrad.

Tilføeringsgrad (Tg) er et begrep som beskriver hvor stor andel av spillvannet fra rensedistriktet som kommer fram til renseanlegget. Den andel som ikke kommer fram, enten på grunn av manglende utbygd oppsamlingsnett for hele rensedistriktet eller på grunn av at spillvann renner eller lekker ut av oppsamlingsnettet, reduserer tilføeringsgraden til under 100 %. Det er ikke selvsagt at hele tapet når fram til hovedresipienten, men en stor andel kan forurense lokale bekker eller grunnen.



Begrepet tilføringsgrad omfatter bare forurensninger fra spillvann og ikke diffuse forurensninger fra overflate, såkalt nedbøravhengige forurensninger. Måling og beregning av tilføringsgrad utføres på grunnlag av den produserte forurensningsmengde i spillvannet i rensedistriktet og den tilførte forurensningsmengde i renseanlegget. Parametrene total fosfor og total nitrogen anvendes ofte som indirekte uttrykk for forurensningen i spillvannet. Vannmengder kan ikke brukes direkte fordi fremmedvann fortynner spillvannet og senker konsentrasjonene.

Beregning av tilføringsgrad baseres vanligvis på data fra tørrværsdøgn for å unngå feilkilder som introduseres på grunn av massetransport fra andre kilder som bidrar under nedbørsperioder. Dette medfører at eventuelle røravleiringer regnes som tap. Denne systematiske feilen må man forsøke å bedømme. Figur 3.1. viser en del av elementene som inngår i tilføringsbegrepet.



Figur 3.1. Prinsipiell oversikt over produsert forurensningsmengde i husholdning, tapsposter og tilført forurensningsmengde ved renseanlegg.

Oppsamlingsnettets funksjon og følgelig renseanleggets muligheter for effektiv rensing kan beskrives ved to begrep:

1. Tilføringsgrad - Angir hvor stor andel av spillvannet i rensedistriktet som kommer fram til renseanlegget.
2. Separasjonsgrad - Angir hvor fortynnet spillvannet blir på sin vei til renseanlegget og hvor mye vannføringen øker.

Tilkobling av nye avløpsledninger til renseanleggets oppsamlingsnett gjennom stikkledninger, fellesledninger eller bekkelukninger øker tilføringsgraden, men øker også fremmedvannsbidraget ved å øke vannmengdene og dermed minke separasjonsgraden.

Med andre ord vil enkelte tiltak som isolert sett øker tilføringsgraden, medføre ulemper ved øket hydraulisk belastning på renseanlegget. Hvert enkelt tiltak må derfor vurderes nøye med hensyn til både fordeler og eventuelle tilhørende ulemper.

#### 4. BESKRIVELSE AV TRE ALTERNATIVE METODER FOR BESTEMMELSE AV TILFØRINGSGRAD

I det følgende gis en summarisk beskrivelse av de tre aktuelle metodene. En mer inngående anbefaling for praktiske fremgangsmåter er gitt i kapittel 7.

Symboler som anvendes for definisjon av metodene fremgår nedenfor:

Symboler:

Tg = tilføeringsgrad, angitt i prosent

P = produsert forurensningsmengde fra punktkilder (husholdning og ervervsvirksomhet), kg/d

M<sub>til</sub> = forurensningsmengde tilført renseanlegg, kg/d

Tap = forurensningsmengde som ikke når fram til renseanlegg, kg/d

##### 4.1. Oppsamlingsmetoden

Oppsamlingsmetoden er den enkleste fordi den bare krever én målestasjon ved renseanlegget. Tilføeringsgrad beregnet ved oppsamlingsmetoden blir:

$$Tg = \frac{M_{\text{til}}}{P} \cdot 100 \%$$

Tilføeringsgrad bestemmes på grunnlag av en eller flere parametre. Man har foreløpig antatt at total fosfor er den beste parameter å anvende, men total nitrogen kan også anvendes som supplement.

I praksis kan det vise seg at de forskjellige typer målinger gir forskjellige tilføeringsgrader. Det er da viktig å være klar over at ethvert renseanlegg bare har en virkelig tilføeringsgrad i en bestemt tidsperiode når beregningene baseres på det samme rensedistrikt. Avvikende beregnede tilføeringsgrader for flere parametre vil derfor være uttrykk for at forutsetningene for beregningene er gale, at

rensedistriktets kilder er av "unormal" karakter, eller at målingene ikke er nøyaktige. Parallelle målinger av Tot-P og Tot-N og anvendelse av felles vannføringsmålinger, vil eliminere forskjeller i tilføeringsgrad på grunn av vannføringsmålingene. Et helt annet spørsmål er det om vannføringsmålingene er riktige. Ved avvik av denne art vil forskjellene mellom tilføeringsgradene enten være et uttrykk for at avløpsvannet har forurensningskilder som det ikke er tatt hensyn til, eller at det relative forholdet mellom de spesifikke forurensningstall som er anvendt, ikke er korrekte i det feltet som undersøkes. Se ellers kapittel 8 om usikkerheter og feilkilder.

Hvis det ikke kan påvises spesielle forhold som tilsier at grunnlaget for målingene er feilaktig, vil det være riktig å beregne tilføeringsgraden for rensedistriktet på grunnlag av gjennomsnittet mellom de beregnede tilføeringsgrader.

Det bør vurderes fra anlegg til anlegg om det er riktig å anvende flere parametre som grunnlag for beregning av tilføeringsgrad, eller om det bare bør baseres på Tot-P. Tillegget i analysekostnader vil bare utgjøre en mindre del, sett i relasjon til det totale utstyr og arbeid som innbefattes når tilføeringsgrad beregnes.

#### 4.2. Tapsmetoden

Ved tapsmetoden måles flest mulig av tapsstrømmene som "forlater" rensedistriktet og derfor anlegges målestasjoner rundt om i rensedistriktet i passende elver og bekker. Dessuten kan det anlegges målestasjoner i større overvannsutslipp, eller ved industri-utslipp som ennå ikke er koblet inn på oppsamlingsnettet.

Oppsamlingsmetoden vil gi størst nøyaktighet når Tg er lav. Tapsmetoden vil gi størst nøyaktighet når Tg er nær 100 prosent, men krever flere målestasjoner ute i distriktet.

Tilføeringsgraden beregnet ved tapsmetoden blir

$$T_g = \frac{P - \text{Tap}}{P} \cdot 100 \% \quad \text{eller}$$

$$Tg = \frac{M_{\text{til}}}{M_{\text{til}} + \text{Tap}} \cdot 100 \%$$

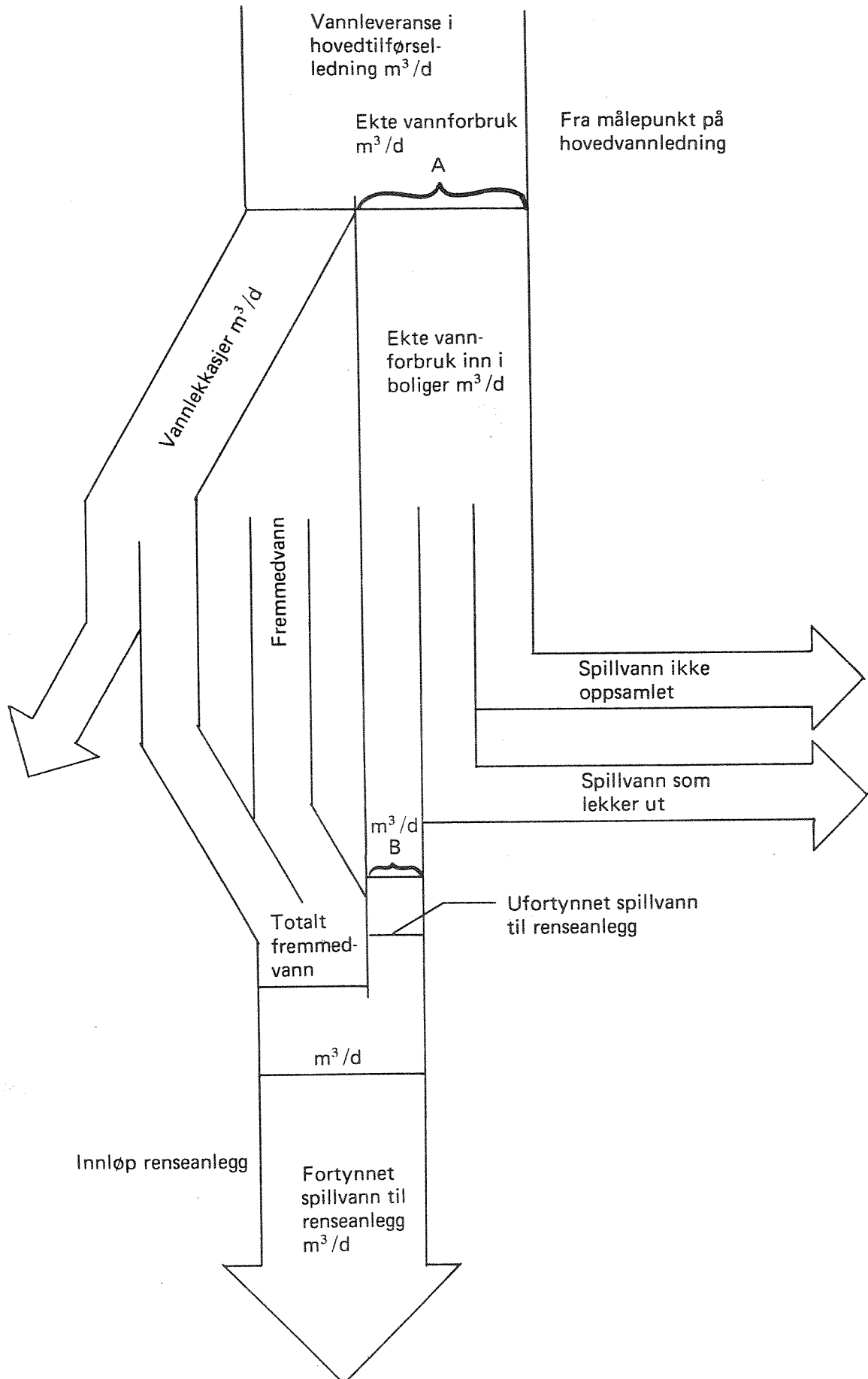
Tapene kan tenkes målt i eventuelle lokale bekker, grøfter, overvannsledninger og muligens i vel definerte grunnvannsstrømmer som passerer gjennom eller forbi feltet. En ren bestemmelse av konsentrasjonene langs lokalresipientene kan også gi verdifull informasjon i forbindelse med tilstandsvurdering av avløpsnett. Hensikten med denne metoden er å eliminere lekkasjer på ledningsnettut fra konsentrasjonsnivået i lokalresipienten.

#### 4.3. Vannbalansemetoden

Vannbalansemetoden er basert på en beregning av forholdet mellom ufortynnet spillvann oppsamlet ved renseanlegget og ekte vannforbruk (virkelig vannforbruk inn i boligene) levert fra vannverket.

Hovedprinsippet er at man måler vannføringen i tilførselsledningen inn i boligområdet og registrerer dette automatisk f.eks. ved hjelp av en telletrykker. Derved kan vannforbruket registreres digitalt på nøyaktig tidspunkt med korte tidsintervaller, f.eks. fra time til time. Lekkasjevannmengden kan f.eks. beregnes ut fra minimum nattforbruk.

Figur 4.1. viser en prinsippskisse over vannets vandring fra hovedvannledning til innløp i renseanlegg. Som man ser, kan m<sup>3</sup> pr. døgn være i samme størrelsesorden ut fra vannverket og inn på avløpsrenseanlegget, men bare en mindre andel av drikkevannet ender opp på renseanlegget.



Figur 4.1. Oversikt over vannets vandring fra hovedvannsledning til innløp renseanlegg.

Ved hjelp av målesystemet på hovedledningen kan det ekte vannforbruk og derved den totale spillvannsproduksjon i området måles direkte som  $A \text{ m}^3/\text{d}$ . Netto ufortynnet spillvann til renseanlegget,  $B \text{ m}^3/\text{d}$ , kan beregnes ut fra vannmengden ved renseanlegget og konsentrasjons-senkningen i forhold til ufortynnet spillvann. Det betyr imidlertid at konsentrasjonene i ufortynnet spillvann må fastsettes, og disse kan variere noe.

Tilføringsgraden kan derved beregnes ut fra forhold  $\frac{B}{A} \times 100$ .

Konsentrasjonen av ufortynnet spillvann ved husveggen må beregnes utfra en anslått spesifikk forurensning og et antatt vannforbruk. Dersom produksjonen er 2,2 g fosfor pr. person og døgn og vannforbruket er 160 l pr. person og døgn, blir utgangskonsentrasjonen for Tot-P 13,7 mg/l  $((2,2/160) \times 1000)$ .

For beregning av innløpsvannets fortynningsgrad har følgende utgangskonsentrasjoner vært benyttet av Vråle /4/ med godt resultat:

Tot-P:	12,2 mg P/l
Tot-N:	63,3 mg N/l
KOF:	425 mg O/l

## 5. VALG AV FORURENSNINGSPARAMETER OG SPESIFIKKE VERDIER

### 5.1. Generelt

Ved beregning av tilføringsgrad anvendes komponenter i spillvannet som "sporstoff" fordi vannføringen i seg selv ikke er anvendbar, idet grunnvann og regnvann fortynner spillvannet på vei til rensanlegget og forstyrrer massebalansen.

Avløpsvannet inneholder mange komponenter, men bare noen få egner seg som grunnlag for å indirekte beregne den opprinnelige spillvannsmengden. Den ideelle komponent i spillvannet som ønskes anvendt som sporstoff, har følgende egenskaper:

- Den bør hovedsakelig være i løst form.
- Den bør ikke finnes i infiltrasjonsvann.
- Den bør ikke forekomme i særlig grad i industriavløpsvann.
- Den bør ikke påvirkes særlig av eventuelle selvrensingsprosesser i transportsystemt (rør og lokale bekker etc.).
- Den bør være lett å analysere med stor nøyaktighet.
- Den bør foreligge med sikre, spesifikke tall.

Noen slik komponent finnes neppe i spillvannet, men inntil videre anvendes de parametre som i størst grad tilfredsstillende angitte krav.

Følgende parametre er aktuelle å diskutere på nåværende tidspunkt:

- Total fosfor (Tot-P)
- Total nitrogen (Tot-N)
- Organisk stoff (KOF eller TOC)
- Fri ammonium
- Bakterier (E.coli)
- Coprostanol.



## 5.2. Valg av parameter

### Total fosfor (Tot-P)

Tot-P er den parameter som idag, samlet sett, er best egnet i alle de tre metodene som beskrives her. Hovedårsaken er:

- At parameteren i seg selv er den mest interessante i forurenings-sammenheng i Norge.
- At parameteren er den vi har mest kunnskap om når det gjelder spesifikk produksjon.
- At fosfor forøvrig i størst grad oppfyller de generelle kriteriene som er stilt i kapittel 5.1.

### Total nitrogen (Tot-N)

Tot-N er den parameteren som anbefales dersom man ønsker å supplere Tot-P med ytterligere en parameter. Når man først gjennomfører en tilføringsgradundersøkelse, vil de marginale ekstraavgiftene ved å analysere på flere enn en kjemisk parameter være små i forhold til forbedringen i utsagnskraften til undersøkelsen.

Argumentene for å anbefale Tot-N som parameter nr. 2 er stort sett de samme som nevnt for Tot-P, men i noe svakere styrke. Imidlertid inneholder fremmedvannet nitrat slik at nitrogenmengde via fremmedvannet kan bli merkbar når spillvannet er vesentlig fortynnet.

### Organisk stoff

Organisk stoff målt som KOF (kjemisk oksygenforbruk) eller TOC (total organisk karbon) er den parameteren som anbefales som den andre suppleringsparameteren dersom ikke Tot-P og Tot-N ansees for å være tilstrekkelig. De nevnte argumenter (under Tot-P) svekkes ytterligere i noe grad for organisk stoff. Årsaken er at KOF i enda større grad enn Tot-N introduseres med fremmedvannet, og dessuten har en del industrier betydelige KOF-utslipp.

### Fri ammonium

Fri ammonium anbefales ikke brukt i dagens situasjon fremfor de allerede tre nevnte parameterene. Hovedbegrunnelsen for dette er:

- At spesifikk produksjon og forhold som påvirker denne, er mindre kjent enn tilsvarende for andre parametere.
- At ammonium er mer ustabil enn de andre parameterene som er nevnt, hovedsakelig fordi urea hydrolyserer gradvis til ammonium.
- At ammonium bør analyseres på stedet, men analyseutstyr for dette foreløpig er for lite utviklet.
- At ammoniumkonsentrasjonen har kraftige døgnsvingninger.

Imidlertid kan ammonium med fordel benyttes som kvalitativ indikator på spillvannsutslipp og til å kvantifisere graden av spillvannslekkasjer til overvannsledninger.

### Termostabile E.coli

Bruk av termostabile E.coli til å kvantifisere tilføringsgrader er ikke anbefalingsverdig idag. Metoden er imidlertid svært interessant ved bruk av tapsmetoden, når tap av forurensningene skal måles i de lokale resipientene. Den er spesielt egnet når man ønsker å skille spillvannskilden fra forurensningskilder som ikke er kommunal kloakk.

### Coprostanol

Det samme som er sagt om termostabile C.coli er relevant også for coprostanol. Se forøvrig /14/.

### 5.3. Spesifikke verdier for ulike kilder

Produksjon av forurensning innen et rensedistrikt er avhengig av en rekke faktorer som f.eks. fordelingen mellom ulike typer virksomhet:

- Industriutslipp og annen næringsvirksomhet
- Skoler, institusjoner, kontorbygg etc.
- Boliger.

Spesifikk produksjon fra boliger er igjen avhengig av flere faktorer som:

- Aldersfordeling i befolkningen
- Kjønnssammensetning
- Pendling inn og ut av feltet
- Kjøkkeninstallasjoner som oppvaskmaskinger o.l.
- m.m.

Det vises i denne sammenheng til forurensningsproduksjonsmodellen beskrevet i samlerapport fra VAR-utvalget.

Som en foreløpig anbefaling presenteres tall for spesifikk forurensningsproduksjon i tabell 5.3.1.

Dersom man har muligheter for å skaffe bedre, lokalt tilpassede data, bør dette gjøres fremfor å benytte tallene i tabell 5.3.1.

Tabell 5.3.1. Forslag til spesifikke produksjonstall for forurensning.

Parameter	Prod. i g/p'd ved 100 % tilstedeværelse i feltet	Prod. i g/p'd i skoler pr. elev	Prod. i g/p'd i "tørre" kontorbedrifter pr. arbeidsplass
Tot-P			
Tot-N			
KOF			
TOC			

Ved andre forurensningskilder enn skoler og "tørre" bedrifter, bør man studere spesiell litteratur om dette emnet.

## 6. VALG AV METODE FOR MALING AV TILFØRINGSGRAD

Flere forhold påvirker valget av den mest hensiktsmessige metoden.

Generelt kan det sies at samtidig gjennomføring av målinger og beregninger etter flest mulig av metodene og med flest mulige forureningsparametre bedrer nøyaktigheten i resultatene.

Dersom man velger å bruke tapsmetoden, har man de nødvendige data tilgjengelig for lett å kunne beregne tilføeringsgrad også etter oppsamlingsmetoden. Det omvendte er imidlertid ikke tilfelle.

Imidlertid vil tapsmetoden normalt gi en noe høyere tilføeringsgrad enn oppsamlingsmetoden. En grunn er at man neppe finner alle tap, eller at man ikke har ressurser til å måle alle disse strømmene. Fortrinnsvis vil man ta de største. En annen grunn er at en viss selvrensing eller tilbakeholdelse i grunnen kan forekomme. Dette vil redusere tapsstrømmene på vei til hovedresipienten. Da tilføeringsgrad beregnet med tapsmetoden gjelder påviste tap, er det uttrykk for den maksimale tilføeringsgraden.

Dersom vannet som infiltrerer via grunnen inneholder særlig mye forurensninger, kan dette forstyrre fortolkningen i stor grad. På Romerike har man hatt tilfeller hvor tilføeringsgraden på grunn av dette forholdet ble beregnet til 120 % i tørrvær.

Dersom man velger vannbalansemetoden, må man utføre forureningskonsentrasjonsmålinger, samt vannføringsmålinger ved innløpet til renseanlegget. Basert på dette kan man også relativt enkelt beregne tilføeringsgraden etter oppsamlingsmetoden, men ikke uten videre etter tapsmetoden.

I tabell 6.1. har man forsøk å angi noen egenskaper for de enkelte metodene.

Tabell 6.1. De ulike metodenes egenskaper.

Metode	Høy Tg	Lav Tg	Lite ressurser tilgjengelig for målinger	Behov for godt beslutningsgrunnlag for tiltak i avløpsnett	Behov for nøyaktige resultater*	Få tilførsler og utløp, og vel avgrensede og sammenfallende grenser for vann- og avløpsnett	Åpenbare og få resipienter for lekkasjetap
Oppsamling	X	XXX	XXX	X	X		
Tap	XXX	XX	X	XXX	XX		XXX
Vannbalanse **	XXX	XX	X	XX	XXX	XXX	

\* Nøyaktigheten øker betydelig dersom alle tre, eller både vannbalansemetoden og en av de to andre metodene anvendes samtidig.

\*\* Gir samtidig vannledningsnettets nattforbruk lekkasjeomfang og oppsamlingsnettets separasjonsgrad. Egner seg dessuten bedre i kompliserte rensedistrikt.

Tegnforklaring

XXX = Godt egnet  
 XX = Moderat egnethet  
 X = Mindre godt egnet

Oppsamlingsmetoden er mest følsom og best egnet ved lave tilføringsgrader. Den er relativt rimelig å utføre da man i prinsippet kan nøye seg med kun én målestasjon ved renseanlegget. Nøyaktigheten av beregningsresultatet er imidlertid relativt lav. Dersom man bare har målinger over en periode på 3-4 uker eller mindre, kan beregningene bare betraktes som grove indikasjoner. Dersom målingen strekker seg over nærmere et halvt år, vil usikkerhetene synke til mer akseptable nivåer.

Tapsmetoden er mest følsom ved høye tilføringsgrader. Den koster mer å gjennomføre, idet målestasjoner må etableres ved renseanlegg og ved alle uavhengige lekkasjepunkter eller uavhengige lokalresipienter som berøres av det aktuelle feltet.

Beregningene har også her de samme usikkerhetene i bedømmelsen av produsert forurensning i feltet, i vannføringsmålinger, representativitet i kjemiske analyser osv. Imidlertid får man en ganske sikker bedømmelse på tapet innenfor et sannsynlig minimumsnivå. Dersom man med andre ord måler f.eks. 1,25 kg fosfor i tap pr. døgn, kan man ganske trygt gå ut fra at minimum 1 kg går tapt pr. døgn, hvilket i seg selv kan gi et godt nok beslutningsgrunnlag for valg av tiltak i avløpsnett.

Dersom man på den annen side ikke finner noe forurensningstap i de lokale resipientene, tilsier dette at tiltak ikke skulle være nødvendig selv om tilføringsgraden beregnet etter oppsamlingsmetoden er tilsynelatende lav.

Undersøkelser etter tapsmetoden gir dermed opplysninger av mer umiddelbar og direkte nytte enn oppsamlingsmetoden. Dersom det aktuelle feltet har få unnslippsmuligheter for lekkasjene, og man ser at åpenbare forurensningsproblemer eksisterer i lokalresipienten, vil tapsmetoden være naturlig å velge. I slike tilfeller vil også enklere metoder av kvalitativ art være aktuelle.

Vannbalansemetoden vil være fordelaktig å velge dersom man har mye fremmedvann til det aktuelle renseanlegget. I tillegg til å få beregnet tilføringsgraden vil man også få et bra inntrykk av situasjonen for separasjonsgraden og årsaker til fremmedvannsinntrenging.

Vannbalansemetoden gir god beregningsnøyaktighet, idet man lett kan supplere metoden med beregninger utført også etter oppsamlingsmetoden. Man er imidlertid avhengig av at feltet har omtrent sammenfallende grenser for vannforsyningsnett og for avløpsnett. Det bør likeledes være få eller helst bare en tilførsel av rentvann og få eller helst bare ett utløp for avløpsvannet.

Valget av metode vil også avhenge av hvilke typer data man allerede har samlet inn, og hvordan disse passer med databehovet for de ulike metodene.

## 7. PRAKTISK GJENNOMFØRING AV MÅLINGER OG BEREKNINGER

### 7.1. Forhold av betydning for flere av metodene

Alle metodene har viktige fellestrekk. Dette er bruk av vannføringsmålere, prøvetakingsrutiner og kjemiske analyser. Dessuten har oppsamlingsmetoden og tapsmetoden det til felles at produsert forurensning i feltet må beregnes. Dette forhold medfører at en rekke konkrete råd og anvisninger behandles i dette avsnittet fremfor å behandles gjentatte ganger under de enkelte metodene.

#### 7.1.1. Vannføringsmålinger

Vannføringsmålinger i avløpsrør og åpne kanaler gir ofte store unøyaktigheter. Erfaringene har vist at svært store feil er regelen dersom målerne ikke kalibreres og vedlikeholdes jevnlig.

All innsats nedlagt i tilføringsgradberegninger kan være bortkastet dersom vannføringsmåleren ikke er kalibrert og vedlikeholdes kontinuerlig. Når det gjelder valg av måleutstyr, samt krav til og utførelse av dette vises det til NTNFs Program for VAR-teknikk "Håndbok for vannføringsmålinger", /8/.

Det presiseres likevel følgende: Målestasjonen må utstyres med kontinuerlig registrerende nivåmåler. Nivåmålingen kan utføres ved hjelp av limnograf med flottør, ved hjelp av boblerør, eller ved hjelp av ultralyd. Stasjonen bør utstyres med summerende telleverk og skriver for vannføringen. Dessuten bør det være uttak for signal som gis for et bestemt antall m<sup>3</sup> som har passert tverrsnittet.

Vannføringsmålestasjonen (og også prøveuttaksstedet for kjemiske analyser) ved renseanlegget anlegges ved renseanleggets innløp oppstrøms returvannsstrømmer fra slamfortykker og slamavvanningsutstyr.

#### 7.1.2. Prøveuttak

Tabell 7.1. viser en beskrivelse på mulige prøveuttaksprinsipper.

Tabell 7.1. Forskjellige typer prøvetakingsserier ved bestemmelse av forurensningsmengder fram til renseanlegg.

Nr.	Type	Prøvetakings- styring	Anvendelsesområde
1	Separate stikk- prøver tatt hver eller annen hver time i løpet av et døgn	Tidsstyring. Tas hver time	Kan tas innledningsvis for påvisning av stor infiltrasjon eller spesielle industriutslipp
2	Døgnblandprøver	Proporsjonal med vannføring	Tas for alle separate ukedager
3	Ukeblandprøver	Proporsjonal med vannføring	Nødvendig for videre oppfølging

Stikkprøver tatt annenhver time, skiller seg fra de øvrige ved at det tas enkelt-prøver på tid, uavhengig av vannføring. Prøvene samles i individuelle prøveflasker, og en serie over et døgn vil utgjøre henholdsvis 24 eller 12 individuelle prøver. Slike prøver kan fortelle noe om forurensningskilden og kan være nyttig når man ønsker kjennskap til avløpsvannets opphav. Denne prøvetakingsrutinen gir mange prøver og høye analysekostnader, og antall prøver av denne type begrenser seg selv.

Når døgnblandprøver tas bør prøvetakingssignalet fra vannmåler avpasses slik at det tas minst 24 enkeltprøver i døgnet. Disse enkeltprøvene samles i en felles prøveflaske som oppbevares kjølig.

Det bør utføres relativt hyppige prøvetakinger ved oppstartning av undersøkelsen, og prøvetakingen bør utføres slik at alle ukedager dekkes. Man må forvente at forskjellige ukedager kan gi forskjellige forurensningsmengder fram til renseanleggene på grunn av de forskjellige gjøremål i husholdningene og tilstedeværelse i boligene. Det bør derfor taes så vidt mange døgnblandprøver at man kan fastslå om slike forhold foreligger.



Når det foreligger tilstrekkelig kjennskap til de daglige forureningsmengder som transporteres fram til renseanleggene, kan prøvetakingsserien forenkles til å sammenfatte en hel uke. Derved bringes analysekostnadene ned, samtidig med at arbeidet med prøvetaking reduseres. Prøvene samles opp i en fellesprøvebeholder på ca. 20-25 liter som må oppbevares kjølig.

Slike ukeprøver bør utføres over lange tidsrom og bør utføres obligatorisk ved renseanlegg. Variasjoner i ukeprøvene bør være små, og kun forandringer på oppsamlingsnett, regnværsvannføring og ferier er momenter som gir større avvik i transporterte forureningsmengder.

Erfaringene fra døgnprøver er at ukedagene spiller en vesentlig rolle for massetransporten. De spesifikke forureningsmengder som anvendes, er uttrykk for gjennomsnittstall målt over lengre tidsrom. For å unngå unødige mange prøver og misvisning på grunn av prøver på ukontrollerte prøvedager, synes to alternativer å peke seg ut:

1. Bruk av ukeblandprøver fremfor døgnblandprøver
2. Bruk av døgnblandprøver for onsdag eller torsdag som gjennomsnittlig synes å komme nærmest ukegjennomsnittet.

Best vil det selvfølgelig være å ta særskilte døgnblandprøver for analyse og således beregne ukegjennomsnittet.

Ut fra økonomi, bredest mulig dekning med hensyn til prøvetaking av tilførte vannmengder, og det spesielle variasjonsmønsteret i ukedagene, synes det riktigst å anvende ukeblandprøver som basis for beregning av tilføringsgrad. Eventuelle dager med regnvær synes ikke å gjøre særlige utslag på transportverdiene i rensedistriktet.

Undersøkellesperiodenes varighet har variert kraftig i tidligere undersøkelser, alt fra en uke til ett år. En periode bør minst vare 3 uker, og prøvetakingshyppigheten bør være stor for at målingene skal blir representative. Det er viktig at alle forandringer på oppsamlingsnett i prøveperioden sees i relasjon til de pågående målingene.

Måleperioden for hver enkelt analyse som skal danne grunnlag for gjennomsnittlig massetransport, kan være (et døgn eller) en uke. Det er fordelaktig om måleperiodens start standardiseres slik at resultater for ulike ukedager kan sammenlignes.

Prøvetaking av avløpsvannet inn i renseanlegget må være representativ og tas i nær tilknytning til vannmålerennen. Unngå rejektivannspåvirkning.

Normalt er det den mengden som renses i renseanlegget, vi er interessert i når tilføringsgrad skal bestemmes. Målestasjonen må derfor plasseres nedstrøms overløpet.

Når tilførselene angis, må det derfor gå klart fram av rapporten hvor vannføringsmålingene er foretatt og hvor prøvetakingen av innløpsvannet tas. Sannsynligvis vil konsentrasjonene i innløpsvannet forandre seg lite i lengderetningen gjennom et normalt overløp (NB, hvirveloverløp er en unntagelse) og gjennom en maskinrenset rist. Rensegrad for fosfor og nitrogen vil sannsynligvis også være neglisjerbar i et sandfang, men det bør vises forsiktighet med plassering av prøvetaker etter sandfang, da man her kan ha noe fjerning av stoffer.

Prøvetakingen anbefales utført ved hjelp av automatiske prøvetakere og helst styrt proposjonalt med vannføring. Det forutsettes videre at vannføring og prøvetaking dekker samme tidsrom.

Plasseringen av prøvetakerens innsugingsledninger kan ha betydning for forurensningskonsentrasjonen. Dette er forårsaket av at tyngre partikler følger bunnen av røret. Det er også særdeles viktig at returvann fra fortykker og slamavvanning etc. sendes tilbake nedstrøms prøvetakeren.

### 7.1.3. Kjemiske analyser

Hvis det forutsettes 100 % prøvetakingsdekning i et halvt år, vil prøvetakingen omfatte 26 ukeblandprøver eller 182 døgnblandprøver. De økonomiske konsekvensene av dette er vist i tabell 7.2.

Tabell 7.2. Analysekostnader ved 100 % dekning av innløpsvann i et halvt år. NIVA-priser pr. 1.9.86.

	Stk.pris kr	26 ukebl.prøver kr	182 døgnbl.prøver kr
Total Fosfor	85	2.210	15.470
Total Nitrogen	85	2.210	15.470
Sum N og P	170	4.420	30.940
KOF	80	2.080	14.560

Det kan ofte være en ekstra sikkerhet ved å ta analyser av både Tot-N og Tot-P, selv om dette blir noe dyrere. Ofte vil også slike analyser komme til nytte ved beregning av renseeffekter for renseanlegget.

Analyseprogrammet vist i tabell 7.2. må vurderes kritisk med tanke på mulige besparelser uten at nøyaktigheten går ned. Det vises i denne forbindelse til kapittel 8 hvor det går fram at svært store variasjoner forekommer i konsentrasjonsmålingene og transporten av masse fra dag til dag og fra uke til uke. Dette tilsier at mange prøver er nødvendig for å få akseptabel sikkerhet.

#### 7.1.4. Beregning av massetransporten fram til renseanlegget

Forurensningsmengdene som tilføres renseanlegget, beregnes ved å multiplisere antall m<sup>3</sup> vann som har passert målestasjonen i det tidsrommet prøvetakingen har pågått, med den forurensningskonsentrasjon som analysene av blandvannprøven viser:

$$M_{\text{til}} = \frac{Q \times C}{1000}$$

$M_{\text{til}}$  = forurensningsmengde tilført renseanlegget, kg stoff/d

$Q$  = vannmengde tilført renseanlegget i måleperioden, m<sup>3</sup>

$C$  = gjennomsnittskonsentrasjon i vannprøven som er tatt i måleperioden (proporsjonal prøvetaking), g/m<sup>3</sup>

Nøyaktigheten for vannføringsmålingene vil bli like utslagsgivende som nøyaktigheten for de kjemiske analysene.

#### 7.1.5. Beregning av produsert forurensning i feltet

##### Fastsettelse av rensedistrikt

Første betingelse for beregning av tilføringsgrad er at renseanleggets rensedistrikt er klarlagt og fastsatt med grenser.

Situasjonen i kommunene er ofte at rensedistriktet ikke er klart definert på forhånd, til tross for at renseanlegget er dimensjonert for et bestemt antall personer eller personekvivalenter.

Hensikten med rensedistriktet er i første rekke å danne ramme for befolkningsdata, industri og erverv for å kunne beregne hvor mye forurensning som produseres, og som er forutsatt å bli rensert i renseanlegg. I første omgang prøver man normalt å få en oversikt over antall personer bosatt, og personekvivalenter fra skole, sykehus og industri lokalisert innenfor rensedistriktet totalt og i den sonen hvor oppsamlingsnett er bygget.

Det er nyttig å holde oversikt over forandringer av interesse i avløpsnettet og episoder som kan påvirke forurensningsproduksjonen i undersøkelsesperioden.

For det første er det viktig å avklare om det har skjedd større forandringer på oppsamlingsnettet. F.eks. om noen nye områder er koblet til. Tilførslene vil selvfølgelig øke fra det tidspunkt slike forandringer skjer. Det motsatte vil skje når pumpestasjoner settes ut av drift. Forurensningene vil da gå i overløp til resipient. Slike opplysninger krever at det føres en egen protokoll for oppsamlingsnettet. Svært få kommuner har slike oversikter idag.

Et annet viktig forhold er at forurensningsproduksjonen kan variere tilfeldig. Vi har ingen garanti imot at det en dag slippes spesielle stoffer i rørr nettet som kraftig øker fosfor og nitrogenbidraget. Ferier og utkoblinger på nettet vil senke tilførslene til renseanlegget drastisk den andre veien.

Nedbørsituasjoner gir unormale perioder hvor tilførslene kan øke ved kortvarig regn og minke ved langvarig regn. I tidligere tilføringsgradrapporter er det hevdet at man av den grunn bør unngå å få nedbørsdøgn med i datagrunnlaget. Erfaringene har vist at variasjonene på døgnblandprøvene kan være store når økende vannføring forekommer, men at variasjonene dempes i ukeblandprøvene.

Alle disse forhold taler for at det er riktigere å operere med medianverdier for tilførsler til renseanleggene når tilføringsgrad skal beregnes. Det vil si at alle tilførslene rangeres etter størrelsen. Verdien for mediantilførselen velges som beste gjennomsnitt fremfor det aritmetiske middel.

#### Produksjon av forurensninger

Forurensninger produseres fra flere kilder i et rensedistrikt. Nedenfor er det forsøk å kategorisere en del av disse:

- a) Faste beboere
  - uten vannklosett
  - med vannklosett
- b) Institusjoner uten døgnbetjening (f.eks. skoler, barnehager etc.)
- c) Institusjoner med døgnbetjening (f.eks. sykehus, aldershjem etc.)
- d) Bedrifter eller "tørre" industrier med bare sanitæravløp.
- e) "Våte" industrier (prosessutslipp i tillegg til sanitæravløp).

Alle utslipp kan på den annen side splittes i sanitærutslipp og industriproduksjonsutslipp. Sanitærutslippene kan anslåes best ved å benytte forurensningsmodellen beskrevet i samlerapport fra VAR-utvalget. Et moment vedrørende sanitærutslippene som ofte oversees, er "eksporten" av forurensningene utenom rørsystemet i form av septikslam fra husenes septiktanker.

Septiktanker som er installert på spillvannsledningen, skal normalt kobles ut når avløpsledningen knyttes til renseanleggets oppsamlingsnett. Mange septiktanker er alikevel i drift i mange rensedistrikt.

For å korrigere den produserte forurensningsmengden for det som til enhver tid sedimenterer i septiktankene, trenger en følgende opplysninger:

1. Antall septiktanker og antall personer som belaster disse
2. Tømmefrekvenser for septiktankene i området
3. Eventuelle opplysninger om mengder uttappet septiktankslam og fosfor og nitrogeninnhold.

Dersom det finnes mottak av eksternt slam på renseanlegget må tilførselsmålingene foregå oppstrøms mottakspunktet.

Industriutslipp som er tilkoblet oppsamlingsnett, kan det neppe angis gode spesifikke tall for, og forurensningsmengden bør derfor primært måles før de slippes inn på oppsamlingsnett.

En må da være oppmerksom på at sanitæravløpsvannet fra de ansatte kan være med i målingene, og det må kontrolleres at det ikke foretas en dobbelt registrering.

## 7.2. Oppsamlingsmetoden

Mange av de råd og anvisninger som er angitt i avsnitt 7.1 og som også angår oppsamlingsmetoden skal ikke gjentas. Imidlertid trekkes følgende hovedpunkter fram.

1. Tilførte forurensningsmengder inn på anlegget måles på basis av døgnblandprøver eller ukeblandprøver, i minimum 3 uker, men helst over en periode på nærmere  $\frac{1}{2}$  år.
2. Vannføring og prøvetaking tas på samme punkt i renseanlegget for samme periode ved anleggets innløp, helst ved hjelp av målerenne og automatiske prøvetakere styrt etter vannføring. Kalibrer alle målere.

3. Kontinuerlig oversikt over tilførte forurensningsmengder er ønskelig, men mengder som skal inngå ved beregning av tilføringsgrad må bare omfatte tørrværsdøgn og skal bare omfatte punktkilder.
4. Tilføringsgrad baseres på målinger av totalfosfor og eventuelt også total nitrogen i avløpsvannet.
5. Beregning av produserte forurensningsmengder fra punktkilder, forutsetter klare grenser for rensedistriktet som omfatter hele området som er forutsatt betjent av anlegget. Husk å ta hensyn til "pendling" ut av hjemmet til arbeidsplasser og skoler og korrigeringer for alderssammensetning og septiktanktømming.
6. Protokoll på endringer i tilknytninger, inn- og utkobling av pumpestasjoner og andre relevante forhold må føres i undersøkelsesperioden. Nedbørmåler bør være i drift i rensedistriktet for bedre å kunne tolke og supplere interessante data.
7. Tilføringsgrad  $T_g$  beregnes ut fra forholdet mellom gjennomsnittlig tilført forurensningsmengde i tørrvær og hele forurensningsproduksjonen i rensedistriktet.

### 7.3. Tapsmetoden

Det som er sagt i avsnitt 7.2 om oppsamlingsmetoden, gjelder også for tapsmetoden. I tillegg til arbeidsopplegget nevnt i avsnitt 7.2. kommer etablering av vannmålestasjoner og prøvetakere i alle "lekkasjestrømmer" representert ved f.eks. lokale bekker, overvannsledninger etc.

Det totale tapet er neppe mulig å måle, fordi det spres over mange steder og krever et omfattende måleprogram, og fordi noe vil bli holdt tilbake i jordsmonnet. Man må derfor velge noen strategisk plasserte snitt hvor størsteparten av tapene vil måtte passere.

Dersom en bekk passerer feltet, må man måle tilførselen oppstrøms feltet samtidig med at man måler umiddelbart nedstrøms. Differansen i forurensningstransport utgjør tapet fra det aktuelle feltet. Ofte skjer en tilbakeholdelse i feltets jordmasser, samt at bekker, grøfter o.l. kan ha en betydelig selvrensing selv på noen få hundre meters strekning. Disse to forhold får man forsøke å vurdere separat.

Fordi selvrensingseffekten er relativt stor i lokale resipienter, kan nitrogen og bakterieinnhold gi en god støtte i beregningene.

Målinger på bakterieinnhold (termostabile E.coli) og coprostanol kan gi verdifulle holdepunkter for at forurensningsbidraget fra feltet virkelig skriver seg fra sanitært avløp.

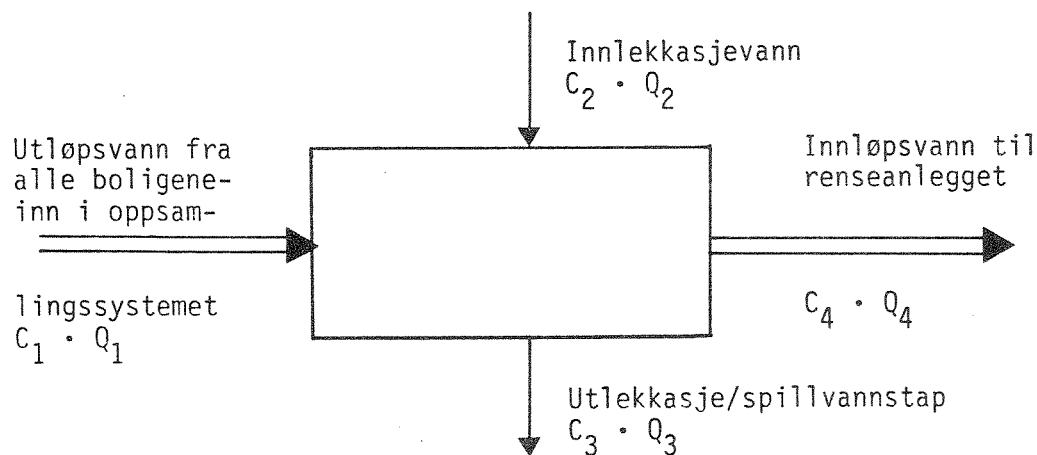
#### 7.4. Vannbalansemetoden

Anvisningene i avsnitt 7.2. om oppsamlingsmetoden gjelder for en stor del også vannbalansemetoden med hensyn til målingene ved renseanlegget. Som før nevnt er man avhengig av å velge felt som i stor grad har de samme grensene for vannforsyningsnettet og avløpsnettet og få eller helst bare ett avløpspunkt og ett vannforsyningspunkt.

Prinsippene for metoden er vist i figur 7.1. Vi har her 8 variabler, hvorav 4 anses som kjente størrelser ut fra målinger. Hvis utlekkasjevannets konsentrasjon s ttes lik konsentrasjonen i ufortynnet spillvann, gjenstår 3 ukjente. Det store spørsmålet knytter seg til innlekkasjevannets (fremmedvannets) konsentrasjon. Hvis dette settes til 0, betyr det at forurensningsbidraget fra innlekkasjevannet er 0, og konsentrasjonssenkningen fra ufortynnet spillvann til innløpsvannet ved renseanlegget blir et rent fortynningsforhold.

Det vil ut fra dette være mulig å beregne hvor mye spillvann som er fortynnet, og konsentrasjonene for både Tot-P, Tot-N og KOF kan benyttes for å beregne gjennomsnittlig fortynning. Ut fra gjennomsnittlig fortynning og oppsamlet spillvannsmengde er det mulig å beregne hvor mye ufortynnet spillvann som er oppsamlet.





Ligning nr I.  $C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2 = C_3 \cdot Q_3 + C_4 \cdot Q_4$

Av disse anses  $Q_1$  kjent ut fra ekte vannforbruk.

$C_1$  = Gjennomsnittlig konsentrasjon i uforynnet spillvann mg/l anses kjent.

$Q_2$  = Innlekkasjevannmengde  $m^3$ /uke anses ukjent.

$C_2$  = Innlekkasjevannets gjennomsnittlige konsentrasjon mg/l ukjent, men kan være relativt lav.

$Q_3$  = Utlekkasjevannet/spillvannstapets vannmengde  $m^3$ /uke kan anses som ukjent.

$C_3$  = Spillvannstapets konsentrasjon mg/l. Delvis ukjent.

$Q_4$  = Innløpsvannmengde til rensesanlegg  $m^3$ /uke kjent.

$C_4$  = Innløpsvannets konsentrasjon ved rensesanlegget kjent.

Figur 7.1. Prinsippet for vannbalansemetoden.

De størrelser som da i praksis inngår i en normal undersøkelse blir:

- A: Vannleveranse fra vannverk
- B: Nattforbruk/lekkasje
- C: "Virkelig" vannforbruk
- D: Innløpsvannmengde til rensesanlegg
- E: Målt forurensningskonsentrasjon (f.eks. mg P/l) ved innløpet til rensesanlegget.

- F: Antatt (evt. målt) konsentrasjon av forurensningen i spillvann før innslipp på ledningsnett (ved "husveggen").
- G: Beregnet fortytning i innløps-spillvannet
- H: Beregnet "sann" spillvannsmengde til renseanlegget
- I: Beregnet tilføringsgrad for spillvann til renseanlegget.

Kommentarer til de enkelte postene

- A: A måles direkte på vannledningsnett i f.eks.  $m^3$  pr. uke
- B: Lekkasje i feltet kan f.eks. finnes ved å studere nattforbruket. I et rent boligfelt vil mye av nattforbruket kunne betraktes som lekkasjer.
- C:  $C = A - B$
- D: Innløpsvannmengden til renseanlegget måles kontinuerlig og oppsummeres f.eks. i  $m^3$ /uke.
- E: Forurensningskonsentrasjonen i innløpsvannet måles som et gjennomsnitt i den valgte perioden, f.eks. over en uke.
- F: Antatt konsentrasjon av forurensningen i spillvann ved husveggen (før innslipp på det kommunale ledningsnett).

Dette er verdier som kan variere i takt med de parametre som inngår i forurensningsmodellen beskrevet i samlerapport fra VAR-utvalget. I en undersøkelse utført i Ski kommune ble følgende verdier benyttet med godt resultat:

Tot-P = 12,2 mg P/l

Tot-N = 63,3 mg N/l

KOF = 425 mg O/l

- G: Beregnet fortytning i innløpsvannet til renseanlegget  $C = \frac{E}{F}$

Dersom flere forurensningsparametre benyttes i undersøkelsen, beregnes den gjennomsnittlige fortytningen, så sant ikke en av parametrene tillegges større vekt enn de andre.

H: Beregnet "sann" spillvannsmengde til renseanlegget  $H = G \times D$

I: Beregnet tilføringsgrad:  $I = \frac{H}{C}$

Dersom undersøkelsen strekker seg over flere uker, vil man kunne beregne en ny tilføringsgrad for hver ny uke. Middelveiden bør beregnes med grunnlag i de ukene man betrakter som "normale" og representative.

## 8. FEILKILDER VED BESTEMMELSE AV TILFØRINGSGRAD

Det ligger mange muligheter for introdusering av unøyaktigheter og feil i et undersøkelsesprosjekt for tilføeringsgrad. Spesielt fremheves:

- Unøyaktigheter i vannføringsmålingene
- Ikke representative prøveuttak
- Måling på ikke representative vannstrømmer
- Unøyaktigheter i laboratorieanalysene
- Unøyaktige anslag på produsert forurensning i rensedistriktet
- Ukjente overløp o.l.

Følgende årsaker gir variasjoner i den virkelige forurensningsmengden fra feltet:

1. Forandringer i oppsamlingsnett
2. Forandringer i bosatt befolkning eller forurensningsproduksjon i husholdningene som følge av teknisk installasjoner
3. Diskontinuerlig utslipp fra tilkoblet industri
4. Forandringer i forurensningsproduksjonen på grunn av ferie
5. Ukedagsvariasjoner
6. Eksterne tilføersler til oppsamlingsnett. Eks.: septiktanktømming
7. Nedbør som gir økende vannføring i tilføersel av overflateforurensninger, utspyling av sedimentert stoff i rørsystemet og tap via overløp.

Endringene i punkt 1 og 2 er av mer langsiktig natur, mens de øvrige gir hurtige variasjoner.

Hvor mye målingene kan variere fra døgn til døgn illustreres best ved eksempler. Tabell 8.1. viser målinger, Vråle /2/ fra Monserud avløpsrenseanlegg.

Tabell 8.1. Massetransport for døgnblandprøver til Monserud kloakkrenseanlegg, sortert etter ukedager (Vråle /2/).

Ukedag	Vannføring, m <sup>3</sup> /døgn		Nitrogentransport, mg N/l		Fosfortransport, mg P/l		KOF-transport, mg O/l	
		gj.snitt		gj.snitt		gj.snitt		gj.snitt
Mandag	1212-2213-1983-2225	1908	28,2-47,6-39,8-40,1	38,9	6,91,11,51,8,73,12,24	9,85	424-708-595-512	560
Tirsdag	2013-1910-2009-2488	2105	41,8-35,3-34,2-61,7	43,25	9,86-8,24-8,24-11,70	9,51	564-498-442 970	619
Onsdag	2054-2028	2041	40,4-39,5	40,0	8,42-8,92	8,67	493-649	571
Torsdag	1093-2000-1742	1611	20,6-39,0-33,3	30,9	4,70-8,40-6,45	6,52	328-480-296	368
Fredag	1532-1740-1760	1677	29,9-36,9	33,4	6,89-11,62	9,26	383-528	455
Lørdag	2052-1891-1875	1939	35,5-36,5-30,9	34,3	7,39-7,00-6,94	7,11	513-321-338	391
Søndag	1851-1946-1835	1880	30,5-31,7	31,1	6,48-5,09	5,79	407-275	341

Opptil 4 døgnblandprøver er sortert på respektive ukedager, og et gjennomsnitt for hver av de syv ukedagene er beregnet. F.eks. ser man at fosfortransporten på 4 påfølgende mandager har variert mellom 6,91 kg/d til 12,24 kg/d. Vannføringen har på torsdager variert mellom 1093 m<sup>3</sup>/d til 2000 m<sup>3</sup>/d i løpet av påfølgende 3 uker.

Tabell 8.2. viser tilføringsgradberegninger for Siggerud rensesanlegg etter vannbalansemetoden. Som man ser varierer beregnet tilføringsgrad mellom 44 % og 95 % i løpet av to uker. Denne store variasjonen er imidlertid ikke uttrykk for måleusikkerheter, men uttrykk for betydningsfulle og ugunstige hendelser på avløpsnettet. I de ukene der tilføringsgraden sank dramatisk, var årsaken til at pumpestasjonen ikke klarte å ta unna vannmengdene, hvilket medførte spillvannsutslipp via nødoverløp. Eksempelet viser på en dramatisk måte mulige utslag i beregningene som følge av hendelser i nettet.

Tabell 8.2. Tilførsgradberegninger for Siggerud renseanlegg etter vannbalansemetoden.  
Vråle /5/.

Uke nr	Nedbør- mengde mm/uke	Vannlever- anse fra Siggerud vannverk m <sup>3</sup> /uke	Nattfor- bruk/ lekkasje m <sup>3</sup> /uke	Ekte vann- forb.spill- vannsmengde m <sup>3</sup> /uke	Innløps- mengder til Siggerud renseanl. m <sup>3</sup> /uke	Beregning av fortynningsgrad				Beregnet ufortynn- net spill- vannsm. inn til ra	Beregnet tilfør- ingsgrad. %
						Konsentrasjon i innl.v.		Gj.snitt fortynning innl.v.	KOF		
						TOT-P mgP/l	TOT-N mgN/L				
34	30,0	1852,1	512,7	1339	1620	8,6 (70,5)	37,6 (59,4)	270 (63,5)	64,5	1044	78
35	27,9	1930,3	575,2	1355	2352	8,6 (70,5)	-	310 (72,9)	-	-	-
36	14,2	1870,9	480,7	1390	2177	8,4 (68,9)	33,2 (52,4)	230 (54,1)	58,4	1271	91
37	3,1	1975,3	527,5	1448	1847	8,6 (70,5)	39,2 (61,9)	330 (77,6)	70,0	1292	89
38	47,8	1817,1	520 <sup>1</sup>	1297	3096	3,2 (26,2)	6,4 (10,1)	80 (18,8)	18,3	566	44
39	32,1	1855,4	520 <sup>1</sup>	1335	3065	4,5 (36,9)	10,4 (16,4)	110 (25,9)	26,4	809	61
40	6,9	1908,4	520 <sup>1</sup>	1388	2345	7,5 (61,5)	26,4 (41,7)	280 (65,9)	56,4	1322	95
41	19,2	1884,6	520 <sup>1</sup>	1365	2487	6,5 (53,3)	18,0 (28,4)	240 (56,5)	46,1	1146	84
42	20,9	1901,4	520 <sup>1</sup>	1381	2608	5,2 (42,6)	15,2 (24,0)	100 (23,5)	30,0	782	57
Gjennomsnitt					2400						75 %

<sup>1</sup> Interpolerte verdier  
( ) Tallene i parentes angir fortynningsgrad

Konsentrasjonene varierer kraftig over døgnet og viser at anvendelse av stikkprøver er meningsløst i sammenheng med tilføringsgrad. Konsentrasjonene varierer med opptil 300-400 % mellom høyeste og laveste verdi.

Når analysene sorteres etter ukedager, kommer imidlertid et helt bemerkelsesverdig mønster til syne for alle parametrene. Avløpsvannet er mest konsentrert på mandag, faller gradvis til torsdag, gjør et hopp fredag og er lavest på lørdag og søndag. Dette viser at hvis få døgnblandprøver skal benyttes for beregninger av tilføringsgrad, er det ikke likegyldig hvilke ukedager som velges.

Transportverdiene fra uke til uke varierer normalt relativt lite. Kun i ukene med juleforberedelser synes avviket nevneverdig med mer fosfor enn normalt. Økt vaske-aktivitet kan være en forklaring på dette.

Det er kompliserende at en ved beregning av tilføringsgrad er avhengig både av vannføringsmåling og konsentrasjonsmåling.

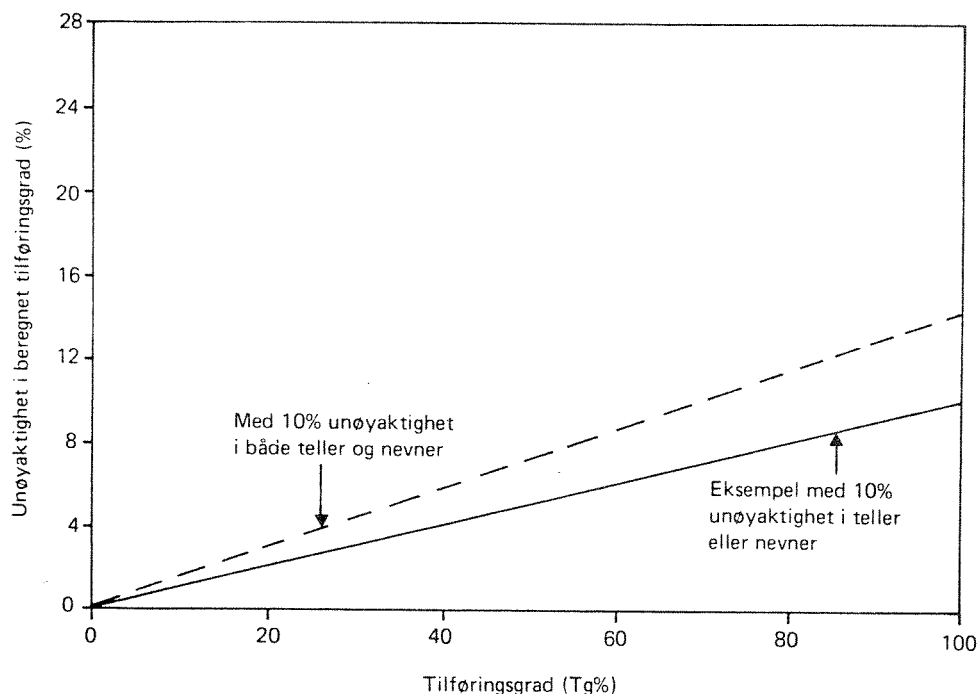
Tilføringsgrad beregnet etter oppsamlingsmetoden uttrykkes som:

$$Tg = \frac{M \text{ tilført}}{M \text{ produsert}} \cdot 100 \%$$

Unøyaktigheten i Tg er proporsjonal med tilføringsgraden, og både telleren og nevneren er like viktige for nøyaktigheten.

Figur 8.1. viser unøyaktigheten i beregnet tilføringsgrad som funksjon av tilføringsgraden.

Oppsamlingsmetoden gir størst nøyaktighet når tilføringsgraden er liten. Lav tilføringsgrad taler for anvendelse av denne metoden. Blir tilføringsgraden høy, blir unøyaktigheten relativt stor når oppsamlingsmetoden legges til grunn ved beregningen. Påviselige, transportable tap av forurensninger blir da mer interessante og Tg bør beregnes på grunnlag av tapsmetoden. Tapsmetoden vil gi størst nøyaktighet når tilføringsgraden er høy.



Figur 8.1. Unøyaktighet i beregnet tilføringsgrad som funksjon av tilføringsgradens størrelse og med utgangspunkt i eksempel på usikkerhet i teller eller nevner.

Det er derfor helt naturlig at det vil finnes spredning på disse verdiene og gjennomsnittsverdiene. Antall målinger er viktig, og jo flere målinger som foretas, jo bedre gjennomsnitt kan oppnås.

Nøyaktigheten for den tilførte forurensningsmengde vil derfor være høyere jo flere verdier som legges til grunn.

Forurensningsmengden består av produktet mellom vannføring og konsentrasjon. Den kjemiske analyses nøyaktighet vil være avhengig av laboratoriets presisjon. Man har grunn til å anta at variasjoner på grunn av kjemiske analysers nøyaktighet vil fordele seg omtrent symmetrisk omkring den faktiske konsentrasjon.

Verre kan det være med hensyn til vannmålestasjonen. Analysefeilene ved disse kan ved dårlig kalibrering og drift være betydelig og feilen kan være systematisk. Feilen kan også variere som funksjon av vannføring, og det er viktig å bygge gode vannmålestasjoner som kalibreres hyppig.



Eksempel på bestemmelse av måleusikkerhet ved tilføringsgradberegninger til et renseanlegg

Det etterfølgende eksempel er hentet fra Mosevoll /7/.

Måling av tilføringsgrad av forurensninger til et renseanlegg

Deler av avløpsnett i et område skal utbedres over en fireårsperiode. En regner med at den gjennomsnittlige fosfortilførselen til renseanlegget vil øke fra 40 til 50 kg (total P) pr. døgn. Avløpsvannet er hovedsakelig husholdningskloakk. Virkningen av utbedringen skal måles gjennom måling av fosfortilførsel før og etter.

Fosfortilførselen beregnes på grunnlag av målt vannvolum og målt, gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i avløpsvannet. Volumet til de uttatte vannprøvene er proporsjonale med vannføringen. Alle vannprøvene i en uke blandes til én prøve. Denne ukeblandprøven analyseres med hensyn på fosfor.

Efaringer fra andre renseanlegg tyder på at beregnet fosfortilførsel for en enkelt uke har en usikkerhet på  $e_x = \pm 15\%$  pga. tilfeldig feil.

- En ønsker å måle gjennomsnittlig fosfortilførsel med en usikkerhet mindre enn  $\pm 5\%$ . Over hvor mange uker det nødvendig å måle fosfortilførselen?

Måleusikkerhet for gjennomsnittet over n uker:

$$e_{\bar{x}} = e_x / \sqrt{n}$$

n = 9 uker gir:

$$e_{\bar{x}} = \pm 15 / \sqrt{9} = \pm 5\%.$$

- Etter at utbedringsarbeidet var ferdig, viste målinger over 9 uker at den gjennomsnittlige fosfortilførselen var økt fra  $x_1 = 40$  til  $x_2 = 49$  kg P/døgn, dvs. en økning på 9 kg P/døgn. Hvor stor er måleusikkerheten i  $x_1 - x_2$ ?

$$\text{Måleusikkerhet i } x_1 : e_{x_1} = 0,05 \cdot 40 = 2,0 \text{ kg}$$

$$\text{Måleusikkerhet i } x_2 : e_{x_2} = 0,05 \cdot 49 = 2,45 \text{ kg}$$

Måleusikkerhet i  $x_1 - x_2$  :

$$\begin{aligned} e_{x_1 - x_2} &= \pm (e_{x_1}^2 + e_{x_2}^2)^{1/2} = \pm \sqrt{2^2 + 2,45^2} \\ &= \pm 3,2 \text{ kg P/døgn.} \end{aligned}$$

Økningen i fosfortilførsel er altså:

$$\underline{(9,0 + 3,2) \text{ kg P/døgn.}}$$

## 9. LITTERATURHENVISNINGER

### Særlig sentrale rapporter

1. Vråle, Lasse: "Tilføringsgrad for renseanlegg". NIVA-rapport O-116/76. NIVA, september 1978.
2. Vråle, Lasse: "Tilføringsgrad - Forurensningstilførsler og beregning av tilføringsgrad for Monserud renseanlegg i 19798. Del 2". NIVA-rapport 7/80, O-78107, Oktober 1980.
3. Vråle, Lasse: "Tilføringsgrad for oppsamlingsnett". NIVA-rapport 8/81, O-80055, August 1981.
4. Vråle, Lasse: "Spillvannstap fra oppsamlingsnett. Delrapport 2. Automatisk overvåking av vannforbruk og lekkasje som alternativ metode for beregning av tilføringsgrad. Resultater fra undersøkelsen ved Sydsbogen, Buhrestua og Siggerud". NIVA-rapport 12/83, O-81041, Desember 1984.
5. Vråle, Lasse: "Spillvannstap fra oppsamlingsnett. Delrapport 3. Spillvannstapets resipientpåvirkning i Siggerudgryta, Ski kommune". NIVA-rapport 13/83, O-81041, August 1983.

### Støttelitteratur på mer spesielle temaer

6. Lindholm, Oddvar: "Tørrværsavsetninger i fellessystemrør". NIVA-rapport 10/82, O-82022, November 1982.
7. Mosevoll, G.: "Kvalitetssikring ved måling av vannføring og forurensningstransport i avløpsanlegg". VAR '86, Trondheim, juli 1986.
8. Program for VAR-teknikk. "Håndbok for vannføringsmålinger", Trondheim, NTH.
9. Vråle, Lasse: "Tilføringsgrad - Kontroll og kalibrering av vannmålestasjon ved Monserud kloakkrenseanlegg. Del 1". NIVA-rapport 6/80, O-78107, Oktober 1980.
10. Vråle, Lasse: "Spillvannstap fra oppsamlingsnett. Delrapport 1. Forurensningsproduksjon fra boligfelt med tett oppsamlingsnett i Sydsbogen, Røyken kommune". NIVA-rapport 11/83, O-81041, April 1983.
11. Vråle, Lasse: "Spillvannstap fra oppsamlingsnett. Delrapport 4. Spillvannstapets innvirkning på grunnvannskvalitet. Buhrestua rensedistrikt, Nesodden kommune". NIVA-rapport 14/83, O-81041, Oktober 1984.
12. Vråle, Lasse: "Forurensningsproduksjon fra husholdning. Halvårlig sommerundersøkelse fra Sydsbogen i 1983, Røyken kommune". NIVA-rapport 20/84, F-83451, Oktober 1984.

13. Vråle, Lasse: "Spesifikk forurensningsproduksjon fra husholdning. Enkel litteraturstudie". NIVA-rapport 1/85, O-8413102, Mars 1985
14. Vråle, Lasse: "Kritisk analyse av spesifikke forurensningsmålinger". NIVA-rapport 2/85, O-8413102, Mars 1985
15. Wedum, Kim: "Ammonium som forurensningsparameter". NIVA-rapport 15/84, O-83035, August 1984.

# **WA** rapporter utgitt av NIVA

- 1/85** Spesifikk forurensningsproduksjon fra husholdning  
Enkel litteraturstudie  
O-84131-01 Lasse Vråle. Mars 1985
- 2/85** Kritisk analyse av spesifikke forurensningsmålinger  
O-84131-02 Lasse Vråle. Mars 1985
- 3/85** Treatment of leachate in aerated lagoons  
Lab-scale study  
O-84022 Ragnar Storhaug. Juli 1985
- 4/85** Fiskeoppdrett på Granerudstøa, Nesodden  
O-85233 Bjørn Braaten, Torbjørn Damhaug. Juni 1985
- 5/85** Oppdrett av ferskvannskreps ved Mesna Bruk A/S  
Forprosjekt  
O-85126 Sigurd Røgnerud, Stellan Karlson  
Torbjørn Damhaug, Gösta Kjellberg. August 1985
- 6/85** Driftsassistanse - Vannrenseanlegg ved Steens Fornikling A/S  
O-84157 Øivind Tryland. August 1985
- 7/85** Spillvarmebasert akvakulturanlegg i Tyssedal  
Forprosjekt  
O-85226 Kjell Maroni, Erlend Waatevik. September 1985 (Sperrert)
- 8/85** Driftsassistanse - Avløpsledning  
Høvik Lys A/S  
O-85221 Øivind Tryland, Egil Iversen,  
Åse K. Røgne. August 1985
- 9/85** Teknologi og miljø i oppdrettsnæring  
O-84159/0-84160 Kjell Maroni. Januar 1985
- 10/85** Rensing av blyholdig avløpsvann.  
Undersøkelser ved Sønnak Batterier A/S  
O-85222 Egil Iversen, Øivind Tryland. September 1985
- 11/85** Spillvarmebasert oppdrettsanlegg i tilknytning  
til Sauda Smelteverk A/S  
O-84167 Kjell Maroni. April 1985 (Sperrert)
- 12/85** Overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt  
til Sentralrenseanlegg Vest, SRV.  
Noen vurderinger av VA-tekniske konsekvenser  
O-85147 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 13/85** Arealreduksjonsfaktorer. Fase III  
Nedbørmålinger i finmasket nett i Oslo  
O-85213 Oddvar Lindholm. Desember 1985
- 14/85** Vann- og avløpstekniske løsninger for Helleberg hytteområde  
Nordstul, Store-Ble, Notodden kommune  
O-85292 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 15/85** Fremdriftsrapport for Frogn Vannverk  
Perioden juni-oktober 1985  
O-85211 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 17/85** Landbasert fiskeoppdrettsanlegg i Grimstad  
O-85262/Kristoffer Næs, Eivind Lygren, Torbjørn Damhaug,  
Kjell Maroni, Bjørn Braaten. November 1985 (Sperrert)
- 1/86** NIVANETT på mikrodatamaskin  
O-85207 Oddvar Lindholm. Januar 1986
- 2/86** Utvikling av resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrettsanlegg  
O-81068 Eivind Lygren, Kjell Maroni. April 1986
- 3/86** Avfall fra skip på norske strender  
O-85174 Tor Moxnes. Mars 1986
- 4/86** Driftsundersøkelse av sølvvarefabrikkers renseanlegg  
O-82108 Egil Iversen, Februar 1986
- 5/86** Utvikling av intensive oppdrettsanlegg  
O-83089 Eivind Lygren. April 1986
- 6/86** Minivannverk - forsøk i full skala med prototyp  
O-84114 Tor Moxnes. Mai 1986
- 7/86** Sanitærbidrag fra yrkesaktive i Ringbygget  
O-85255 Lasse Vråle. Mai 1986
- 8/86** Virkning av dynamisk regn på hydrogram  
O-86037 Oddvar Lindholm. Juni 1986
- 9/86** Driftserfaringer fra kalkdoseringsanlegg i vannverk  
O-86092 Jens Arne Ohren. Juni 1986
- 10/86** Driftsundersøkelse av VIV's direktefiltreringsanlegg  
ved Akersvann  
O-86068 Jens Arne Ohren. Oktober 1986
- 11/86** Følsomhetsanalyse for parametre i  
avløpsnettberegninger. Fase I  
O-86012 Oddvar G. Lindholm. Oktober 1986
- 12/86** Sanitærbidrag fra yrkesaktive i Bosch bygget  
Opppegård kommune  
O-86091 Lasse Vråle. Oktober 1986