

# Begrensninger i måling av lekkasjer i avløpsnett

Av Kim Wedum

Kim Wedum er siv.ing. fra NTH og forsker på NIVA.

Undersøkelser viser at norske avløpsnett er i dårlig forfatning. Store mengder fremmedvann trenger inn i avløpsledningene, og rundt 50 prosent av spillvannet renner ut avledningene mellom abonnent og renseanlegg. Disse nedslående resultater indikerer et stort behov for utbedringer av avløpsnettene.

Utbedringer av avløpsnett er som regel meget kapitalkrevende. Ofte vil det derfor kreves en kost/nytte analyse før tiltak iverksettes. Planer for rehabilitering og sanering av avløpsnett er et verktøy i så måte. Planene utarbeides på grunnlag av omfattende og detaljerte bakgrunnsdata, som gjør det mulig å prioritere og velge mellom tiltak. En sentral målsetting med utbedringer av avløpsnett er å hindre at vann renner ukontrollert inn og ut avledningene. Informasjon om lekkasjenes type og lokalisering utgjør derfor en viktig del av planenes bakgrunnsdata.

Lekkasjer på en avløpsledning beregnes vanligvis ut fra en forskjell enten

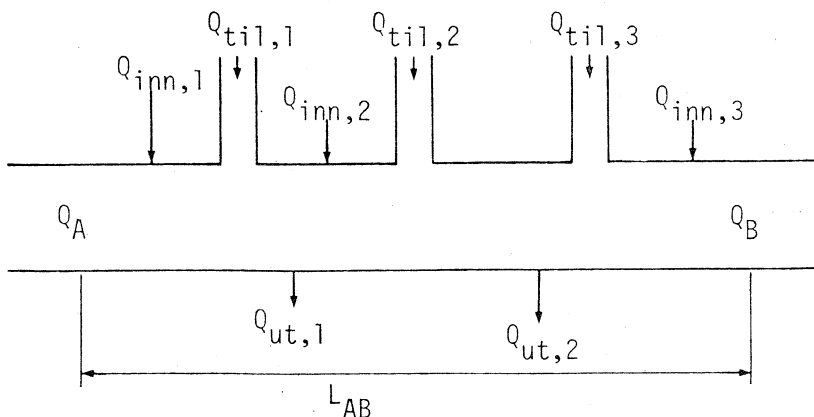
i vannføring (vannbalansemetoden), eller i massetransport (massebalansemetoden) mellom to punkter på ledningen. Nøyaktig registrering av lekkasjesteder medfører at avstanden mellom to målepunkter bør være minst mulig. Metodene ovenfor bygger imidlertid på forutsetninger som begrenser bruken, og som stiller krav til minsteavstand mellom målepunktene.

## Lekkasjemålinger basert på vannbalansemetoden

Framgangsmåten er kort at vannføringen måles i to punkter A og B, og at lekkasjen deretter beregnes som en differens mellom disse vannføringer og tilknytningen  $Q(\text{til})$  mellom punktene. Uten kjennskap til feilkoblinger, ledningenes innbyrdes plassering i grøfta, vannledningslekkasjer, grunnvannsstand m.v., kan det ikke utelukkes at det mellom punktene både skjer en innlekking  $Q(\text{inn})$ , og en utlekking  $Q(\text{ut})$ . Strømmene inn og ut av ledningen er vist på figur 1.

På figuren er:

$$Q_{\text{til}} = Q_{\text{til},1} + Q_{\text{til},2} + \dots + Q_{\text{til},n}$$
$$Q_{\text{inn}} = Q_{\text{inn},1} + Q_{\text{inn},2} + \dots + Q_{\text{inn},n}$$
$$Q_{\text{ut}} = Q_{\text{ut},1} + Q_{\text{ut},2} + \dots + Q_{\text{ut},n}$$



Figur 1. Vannstrømmer inn og ut av en utett avløpsledning.

Vannbalansen for ledningen fra A til B gir:

$$Q_B - Q_A = Q_{\text{til}} + Q_{\text{inn}} - Q_{\text{ut}} \quad 1)$$

Vanligvis måles  $Q_A$  og  $Q_B$  direkte. Dersom  $Q(\text{til})$  ikke måles, anslås den på grunnlag av tidligere målinger. Dermed gjenstår det to ukjente strømmer,  $Q(\text{inn})$  og  $Q(\text{ut})$  i ligningen ovenfor. Inn- og utlekking kan derfor ikke bestemmes uten at en av disse strømmer er kjent. I motsatt fall er det kun mulig å beregne differensen mellom inn- og utlekking.

Dersom tilrenning, inn- og utlekking fordeles jevnt over ledningsstrekningen, kan ligning 1) forenkles til

$$Q_B - Q_A = \Delta q L_{AB} \quad 2)$$

der  $\Delta q$  er endring i vannføring pr. lengdeenhet mellom A og B. Denne endring må overstige en nedre grense for å være entydig. Grensen er avhengig av målemetoder og vannføringsvariasjoner, og kan derfor være vanskelig å fastsette. Et generelt krav som imidlertid må oppfylles,

er at endringen må være minst like stor som feilmarginen i vannføringsmålingene.

I tabellen nedenfor er det angitt representative verdier på tilrenning pr. lengdeenhet for avløpsnett med forskjellig urbaniseringsgrad.

Tabell 1.

*Tilrenning pr. lengdeenhet for avløpsfelter med ulik urbaniseringsgrad. Spesifikk avrenning er satt til 200 l/PE.d. Etter (1) og (2).*

Urbaniseringsgrad	Spesifikk ledningslengde m/PE	Tilrenning pr. lengdeenhet l/s.km
Lav	5	0,46
Middels	4	0,58
Høy	2	1,16

I Oslo er det foretatt målinger av netto innlekking, som er differensen mellom inn- og utlekking. Målingene er gjennomført i avløpsfelter med spesifikke avrenninger på 400—800 l/PE.d. Netto innlekking i feltene var 0,4—2,0 l/s.km. i gjennomsnitt over året, med en middel-

verdi for alle feltene på rundt 1,0 l/s.km. Sum av tilrenning og netto innlekking skulle dermed bli rundt 1,6 l/s . km for avløpsfelt med midlere urbaniseringsgrad.

Av disse resultater kan trekkes den konklusjon at i et vanlig norsk avløpsnett vil midlere endring i vannføring pr. lengdeenhet være i underkant av 2l/s.km, og at endringen bare meget sjelden vil overstige 5 l/s.km.

Det er målt vesentlig høyere verdier enn 5 l/s.km. under og rett etter en nedbørperiode. Disse resultater er mindre interessante i denne sammenheng, fordi målingene er gjennomført i tidsrom som er lite egnet for lekkasjemåling.

Figur 2 er utarbeidet med bakgrunn i angitte begrensninger i endring i vannføring pr. lengdeenhet. På figuren er avstanden mellom to målepunkter framstilt som funksjon av vannføring, målefeil, og endring i vannføring pr. lengdeenhet. Kurven for vannføringsendring på 2 l/s.km. er framhevet, fordi dette er en sannsynlig middelverdi for et representativt avløpsnett. Kurven for målefeil på 10 prosent er også framhevet, fordi den anses å være en øvre nøyaktighetsgrense for vannføringsmålinger på avløpsnett.

Et eksempel vil belyse bruk av figuren. Det skal gjennomføres lekkasjemålinger på en avløpsledning hvor vannføringen er rundt 10 l/s. Hvor stor må avstanden være mellom målepunktene når målefeilen er 10 prosent? Dersom vannføringsendringen er 2 l/s.km., må avstanden minst være 500 meter.

Av figur 2 kan vi lese oss fram til den nødvendige avstand mellom to målepunkter ved forskjellige vannføringer og målefeil. Det understrekes at den nødvendige avstand er et minimumskrav for at måleresultatene skal være entydige. For å

innebygge en viss sikkerhet i målingene, må avstanden mellom målepunktene være større enn figuren antyder.

### Lekkasjemålinger basert på massebalanse

Utgangspunktet er det samme som for målinger basert på vannbalanse, med den forskjell at konsentrasjonene måles i samtlige strømmer inn og ut av ledningen. Med referanse i figur 1, gir massebalansen for ledningen fra A til B

3)

$$Q_B C_B - Q_A C_A = Q_{til} C_{til} + Q_{inn} C_{inn} - Q_{ut} C_{ut}$$

der C med indeks står for konsentrasjonene i de forskjellige strømmer. Av disse størrelser måles  $Q_A$ ,  $Q_B$ ,  $C_A$  og  $C_B$  direkte.  $Q(til)$  og  $C(til)$  måles eller anslås på grunnlag av tidligere målinger. Kombineres ligning 1) og 3), vil det gjenstå to ukjente  $C(inn)$  og  $C(ut)$ . Det er med andre ord ikke mulig å bestemme inn- og utlekking uten at konsentrasjonene i begge strømmer er kjent. I motsatt fall er det kun mulig å beregne differensen mellom inn- og utlekking.

Ligning 3) kan forenkles til

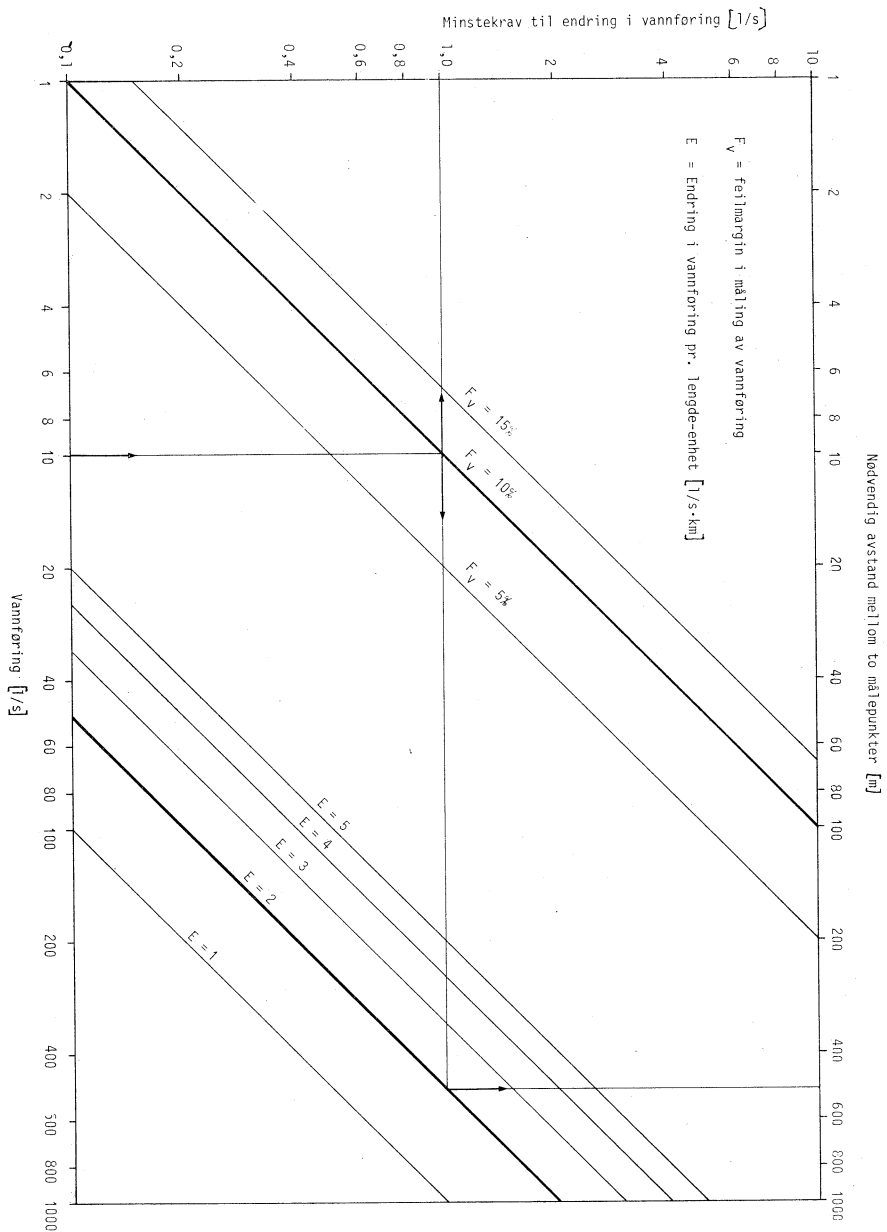
4)

$$Q_B C_B - Q_A C_A = \Delta Q \Delta C$$

der høyresida er endring i massebalanse mellom A og B.  $\Delta Q$  må oppfylle kravene til vannføringsendring som angitt foran. Produktet  $\Delta Q \Delta C$  må videre oppfylle et minimumskrav som er avhengig av målefeil i både vannførings- og konsentrasjonsmålingene. Dette kravet kan uttrykkes

5)

$$\text{som} \quad \frac{\Delta Q \Delta C}{Q C} \geq \frac{dQ}{Q} + \frac{dC}{C}$$



Figur 2. Nødvendig avstand mellom to målepunkter som funksjon av vannføring, målefeil og endring i vannføring pr. lengde-enhet.

der Q og C er midlere vannføring og konsentrasjonen mellom A og B, og leddene på høyre side er relativ feil i måling av vannføring og konsentrasjon, det vil si samlet målefeil.

Ligning 5 er framstilt grafisk i figur 3 for samlet målefeil på 5, 10, og 15 prosent. Med en sannsynlig konsentrasjonsmålefeil på 1—5 prosent, vil samlet målefeil i beste fall være rundt 10 prosent. Kurven for denne feilprosent er framhevet. På figuren er også tegnet inn kurver for feil i vannføringsmåling på 5, 10, og 15 prosent, med en framheving av kurven for 10 prosent.

Et eksempel belyser bruk av figuren. Vannføringen mellom to punkter endres med 14 prosent. Hvor stor må endringen i konsentrasjonen være når samlet målefeil er 10 prosent? Av figuren går det fram at endringen må være minst 70 prosent.

Figur 3 viser sammenhengen mellom endring i vannføring og konsentrasjon. Det påpekes at også denne figuren er utarbeidet på grunnlag av et minimumskrav om entydige måleresultater. Dersom det også skal stilles betingelser til måleresultatenes pålitelighet, må endringene være større enn figuren antyder.

### **Sammendrag og konklusjoner**

Planer for rehabilitering og sanering av avløpsnett bygger på informasjon om ledningsnettets tilstand og virkemåte. Lekkasjemålinger utgjør en meget viktig del av denne informasjonen, fordi nøye kjennskap til lekkasjenes type og lokalisering er en forutsetning for å kunne iverksette de rette utbedringsiltak på de rette steder.

Lekkasjene kan beregnes på to måter, enten ved vannbalansemetoden eller ved massebalansemetoden. Begge metoder byg-

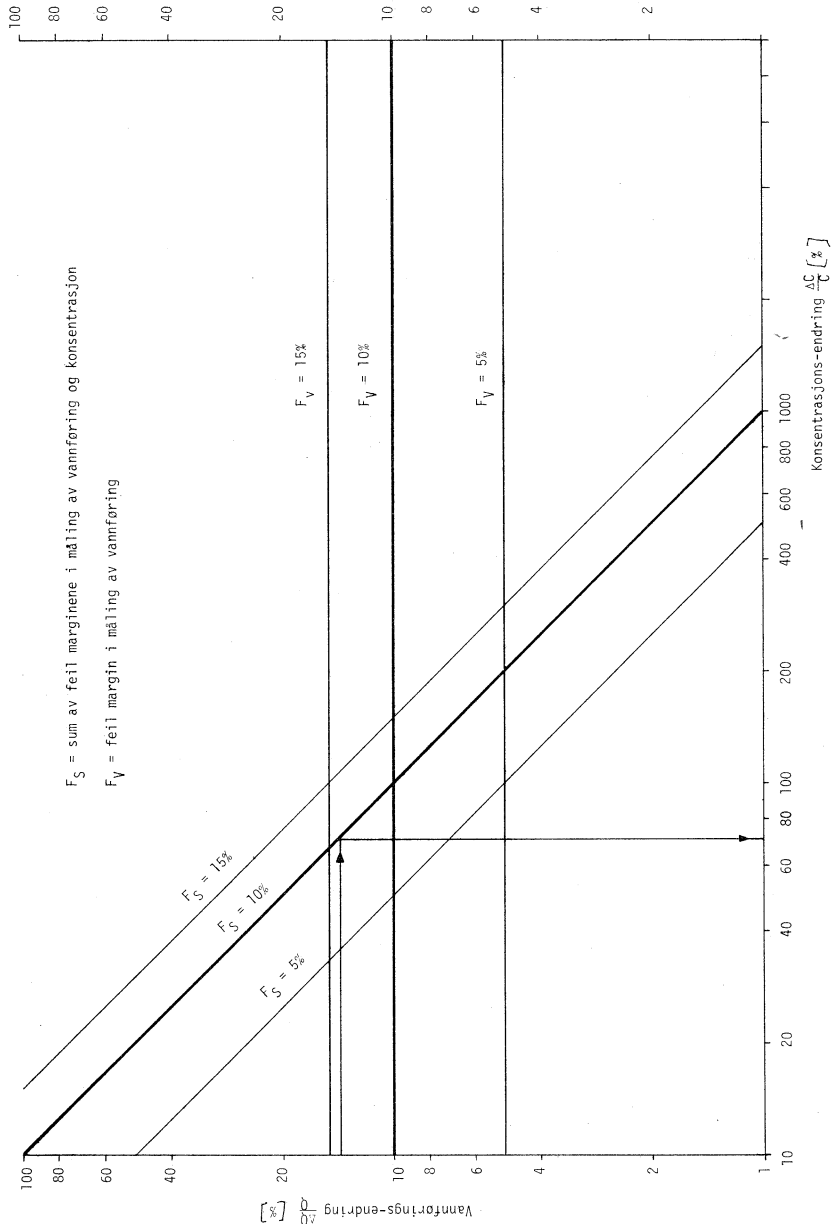
ger på forutsetninger som begrenser anvendelsen, deriblant også avstanden mellom to målepunkter. Følgende konklusjoner kan knyttes til metodene og bruken av dem:

#### *Vannbalansemetoden*

- Det er ikke mulig å måle innlekking og utlekking separat, uten at en av strømmene er kjent. I motsatt fall kan bare differensen mellom inn- og utlekking beregnes.
- Avstanden mellom to målepunkter kan ikke velges fritt. Det er vannføringen, målefeil, og realistiske vannføringsendringer pr. lengdeenhet som bestemmer den nødvendige minsteavstand mellom målepunktene.
- Den nødvendige minsteavstand mellom to målepunkter øker med vannføringen og målefeilen. Ved vannføringer over 1—2 l/s og målefeil på ca. 10 prosent, må avstanden mellom målepunktene være 100 meter eller mer.

#### *Massebalansemetoden*

- Det er ikke mulig å måle innlekking og utlekking separat med mindre konsentrasjonene i begge strømmer er kjent.
- En endring i vannføring må etterfølges av en minsteendring i konsentrasjonen, eller vice versa. Minsteendringen er proporsjonal med summen av feilene i måling av vannføring og konsentrasjon, slik at større målefeil krever større endringer.
- Metoden bygger på de samme forutsetninger som vannbalansemetoden. De betingelser som gjelder den metoden vil også gjelde for denne metode.



Figur 3. Nødvendig endring i vannføring og konsentrasjon som funksjon av samlet målefeil og feil i måling av vannføring.

## LITTERATUR

1. *Grande, S.* (1975) PRA 4 «Lekkasjevannets økonomiske betydning». ISBN 82-90180-03-9.
2. *Oslo vann- og kloakkvesen.* «Avrenningsmålinger i Oslo Vest». Upubliserte resultater.
3. «Sanering og rehabilitering av vann- og avløpsanlegg». NIF-kurs Fagernes 1980.
4. *Saltveit, N. A.* (1980) «Teoretisk grunnlag for beregning av innlekking og utlekking i avløpsnett». Oslo vann- og kloakkvesen, internt notat.