

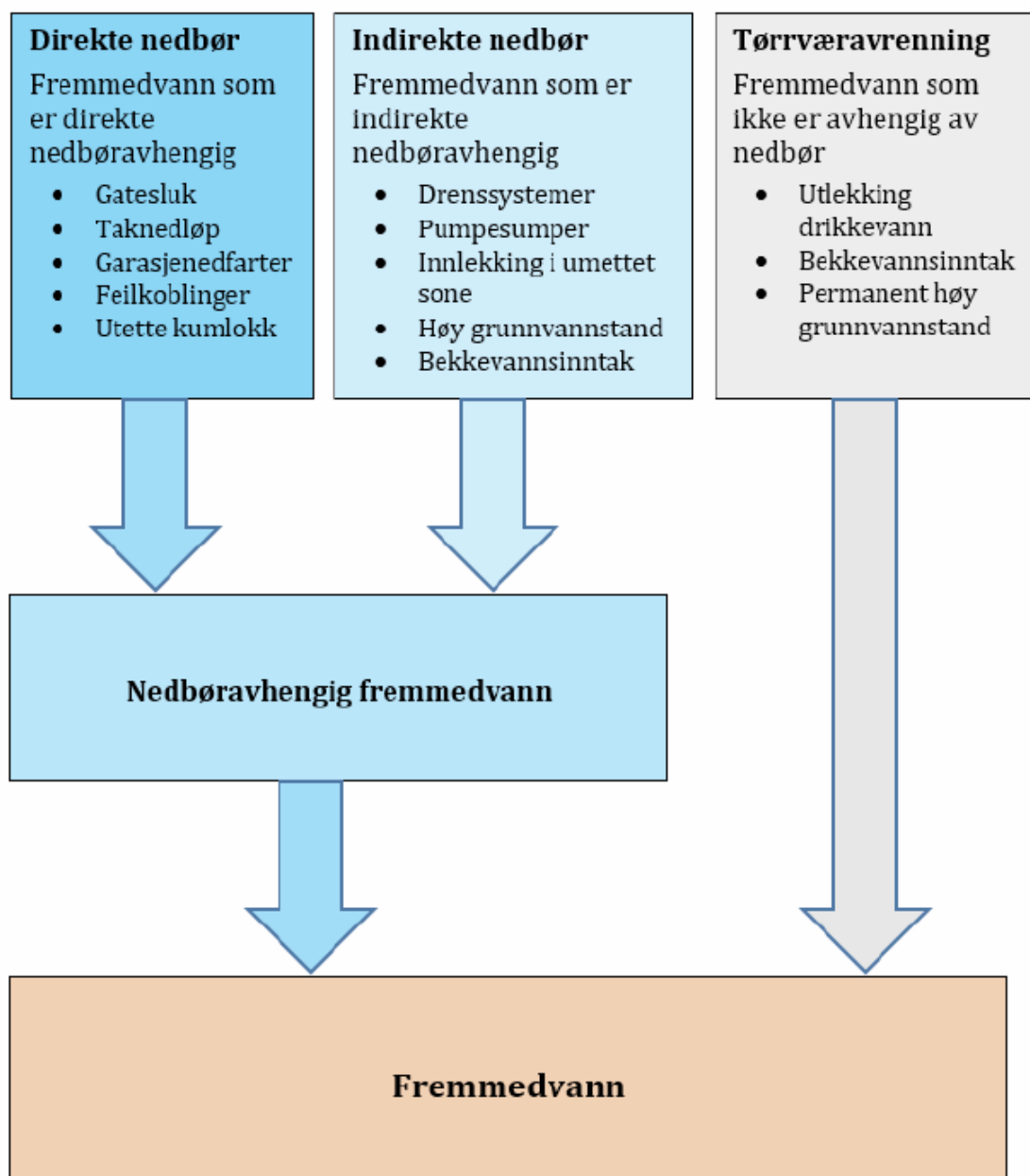
MÅLINGER OG TOLKNING AV MÅLEDATA

Dette vedlegget viser noen eksempler på måledata og hvordan de kan tolkes, primært tolkning av data fra kontinuerlige vannføringsmålinger.

Vannføringsdata fås fra

- Permanente vannføringsmålestasjoner, et konstruert målepunkt
- Pumpestasjoner der det er lagt til rette for beregning av avløpsmengder/vannføring
- Mobile vannføringsmålere på nettet, plasseres ut ved målekampanje. Måler fylte eller delfylte rør

Både nedbøravhengig avrenning og tørrværavrenning (konstant innlekking) kan være betydelige bidragsyttere til total avløpsmengde i spillvannsnett.



Figur 1: Komponenter i fremmedvann (Figur: Norsk Vann rapport 222/2017)

Ulike komponenter anslås på basis av målingene:

- Spillvann (regnes ut teoretisk, samt sammenlignes med målinger av tørrværsavrenning)
- Grunnvannsinnelekking (vurderes med basis i gjennomsnittlig tørrværsavrenning)
- Drensvann (sammenlignes med lokale nedbørdata, noe forsinket respons fra nedbørtilfelle til avrenning i avløpsnett og reduseres gjerne langsomt, over flere døgn)
- Overvann (sammenlignes med lokale nedbørdata, svært rask respons fra nedbørtilfelle til avrenning i avløpsnett)

Grovsøk og finsøk

Vannføringsmålinger kan benyttes til å finne fremmedvann på to nivåer:

Grovsøk: Detektere fremmedvann, finne problemområder

Finsøk: Måle fremmedvann

For grovsøk kan det være passende med metoder som ikke inkluderer måleutstyr for vannmengdemåling.

- Visuell kontroll/øyeblikksmålinger om natten i en tørrværsperiode for å avdekke konstant innlekking, eller ved nedbør for å avdekke nedbørvhengig innlekking
- Rørinspeksjon – kan gi indikasjoner på fremmedvann
- Måleutstyr – nivåvakt



Figur 2: Eksempel, nivåvakt. Vippelogger, registrerer når vannnivå når et visst nivå. (Foto: Norconsult)



Figur 3: Rørinspeksjon som viser utette rør – grunnet utett rørskjøt, rotinntrenging og kollaps. (Foto: Stord kommune/Vitec)

For finsøk trengs vannføringsmålinger. Det er behov for å sammenligne ulike områder og fremmedvannmengder for å identifisere mest kostnadseffektive tiltak:

Komponenter av fremmedvann (av betydning ved vannføringsmålinger):

- 1) Grunnvannsinnlekking
- 2) Drensvann
- 3) Overvann

Grunnvannsinnlekking

Grunnvannsinnlekking er tørrværsavrenning (målt) fratrasket spillvannsproduksjon (beregnet/vannmålere). Grunnvannsinnlekking er relativt konstant, kan variere med årstid.

Figuren nedenfor viser (for en tenkt situasjon) vannføringsdata for tre tørrværsdøgn. Kurven viser døgnvariasjonskurve for spillvannsproduksjon med lavt forbruk om natten, to topper på dagtid om morgenen når mange står opp og en om kvelden. Blå vannrett linje viser målt nattvannføring. Denne sammenlignes med forventet nattvannføring (ca 1 l/PE per time). Her er rød strek lik differansen mellom forventet og målt nattvannføring. Alt under den røde streken er fremmedvann i form av konstant innlekking.

Man bør i tillegg til forventet nattforbruk også beregne forventet døgnforbruk. Dette sammenlignes med målt døgnforbruk (gjennomsnitt over døgnet beregnet fra måledataene).

For å avdekke den konstante innlekkingen trengs en periode med tørrvær (helst 5 døgn eller mer).



Figur 4: Eksempel på måledata over tre døgn. Blå vannrett linje: Nattforbruk. Rød linje: Fremmedvannsmengde, grunnvannsinnlekking (målt nattforbruk minus forventet nattforbruk fra spillvannsproduksjon).

Nedbøravhengig innlekking

Figuren nedenfor viser ulike komponenter i avløpsvannet. Det røde arealet representerer konstant innlekking. Grått areal er nedbøravhengig innlekking.

For å måle den nedbøravhengige innlekkingen trengs en litt kraftig nedbørshendelse. Varighet av måleperiode er avhengig av værforholdene. Vanligvis er det nødvendig å måle 3-6 måneder med mobile vannmengdemålere for å få et godt bilde av tørrværsavrenning og nedbørpåvirket vannføring. Den konstante innlekkingen er differanse mellom målt minstevannføring (eller gjennomsnitt over døgnet) og beregnet minimumsvannføring (eller gjennomsnitt over døgnet).



Figur 5: Fremmedvann, ulike komponenter: Grunnvannsinnelekk (rødt), nedbørvhengig innelekk (grått), spillvannsvannføring (øvrige areal under blå graf)

Det er ofte ikke lett å skille skarpt mellom overvann og drensvann, men dette gjøres i avløpsmodeller (hydrologisk modul i hydrauliske ledningsnettmodeller). Etter et kraftig nedbørtilfelle kan det gå mange døgn før vannføringen er nede på nivå for tørrværsavrenning. Dette varierer med ulike hydrologiske forhold i feltet (tette flater, løsmasser, feltstørrelse, etc.)

Etter et kraftig nedbørtilfelle vil det bli en raskere avrenningsrespons i et urbant område, da mye av nedbøren renner av raskere på tette flater på overflaten. I et naturområde vil responsen komme senere og avrenning foregå over lengre tid. Avrenningstoppen blir lavere for et naturlig felt, selv om den totale mengden kan være omtrent den samme. Dette kan man bruke ved tolkning av nedbørdata. Spisse topper tyder på overvannspåvirkning, mens flatere mer langvarig avrenningsmønster antyder drensvannspåvirkning i avløpsnett.

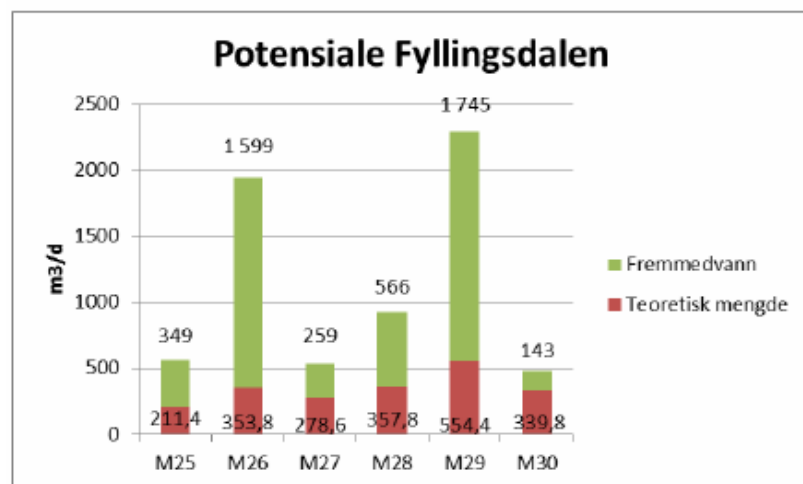
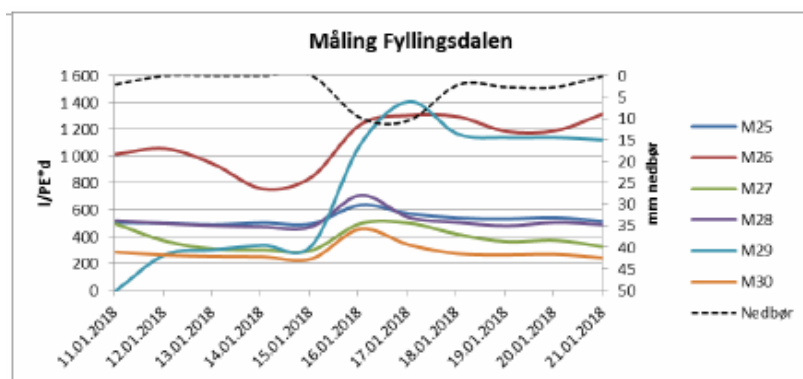


Figur 6: Avrenningens form – blå fra areal dominert av tette flater og overvannsavrenning, rød fra areal med mer permeable flater og større andel avrenning via grunnen. (Figur: Oddvar Lindholm)

Tolking av måledata fra vannføringskurver:

Måledata sammenholdes med nedbør, folketall og levert vann. Man ser på avrenningsmønster (rask eller langsom respons for fremmedvannsavrenningen) og potensiale for reduksjon, samt prioriterer videre sporing.

Se eksempler nedenfor:



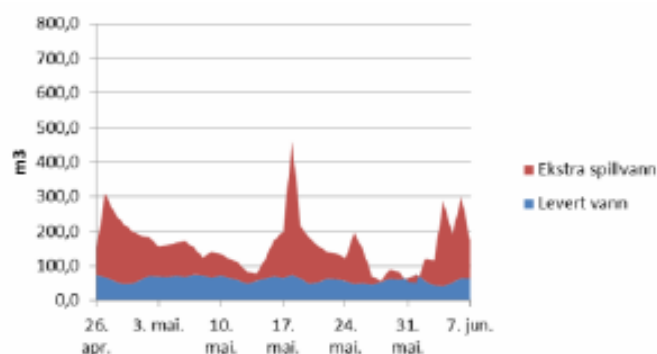
Figur 7: (Figur: Remi A. Stople, Bergen Vann)

Vurdering av resultatene:

M26: Generell høy mengde, men ingen dramatisk økning ved nedbør. Reduksjon i avrenning etter nedbør ser ut til å ta svært lang tid, dvs. lengre måleperiode kreves. Det vurderes til å være for høye mengder til å stamme fra lekkasje fra vandistribusjon, noe som kan tyde på lekkasje fra en elv.

M29: Her var det normale mengder før nedbørperioden (ca. 250 l/PE*d). Avrenningen øker først raskt, men så avtar økning noe. Avrenning avtar raskt i starten, men siden går reduksjonen svært seint (lang hale). Dette kan tyde på at innlekkingen er todelt, både momentan innlekking og infiltrasjon (eksempelvis en feilkobling + lekkasje fra grunnvann).

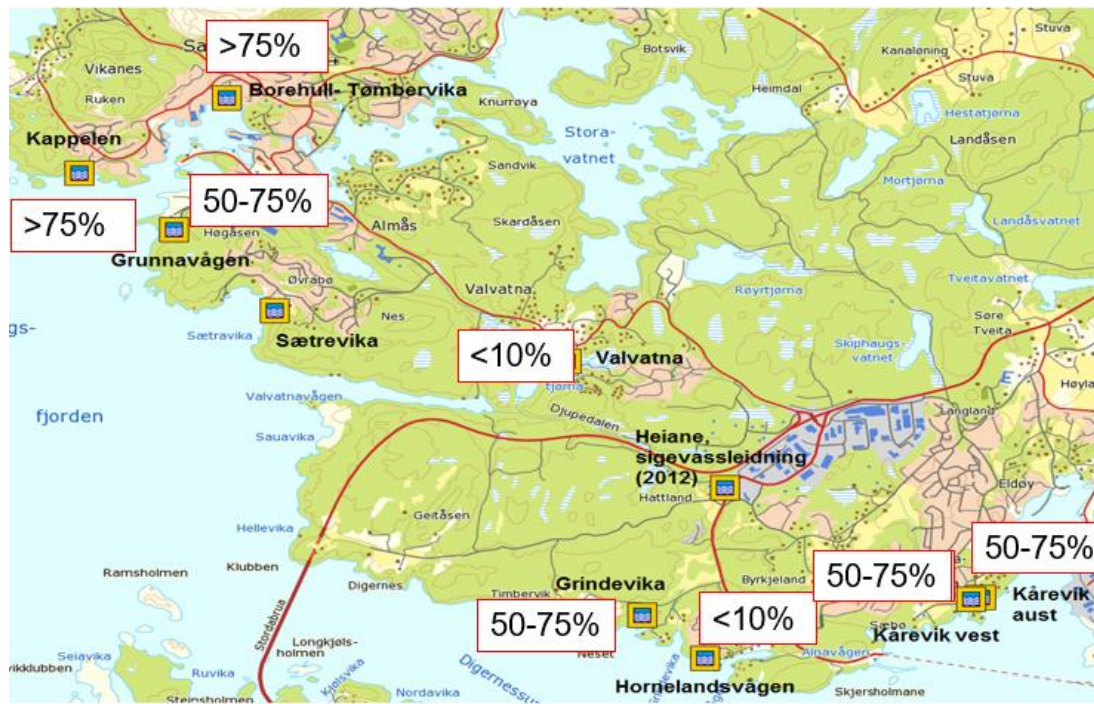
Målte vannmengder i et område kan også sammenlignes med levert vann inn til det samme området, se figur nedenfor (en målesone for drikkevann):



Figur 8: Sammenstilling spillvann og fremmedvann

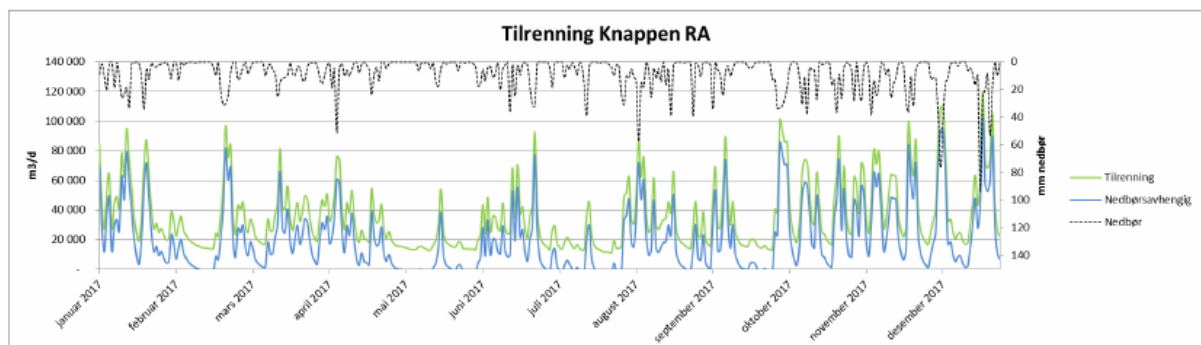
Her blir det tydelig at det er mye fremmedvann. Sammenholdt med nedbør, ser man at det er samsvar mellom tidspunkt for kraftige regnbyger og avrenningstoppene. Dette er et eksempel fra Bergen kommune, der det ved videre undersøkelser ble avdekket et ledningsstrek med rør i dårlig forfatning, og noen få kummer med svært stor innlekking.

Nok et eksempel:



Figur 9: Resultater av vannføringsmålinger i åtte målesoner, med beregnet andel fremmedvann som grunnlag for prioritering av finsøk. Sonene med >75 % fremmedvann prioriteres først, så sonene med ca 50-75 % fremmedvann. Soner med antatt fremmedvannsmengde <10 % friskmeldes. (Figur: Norconsult / Stord kommune)

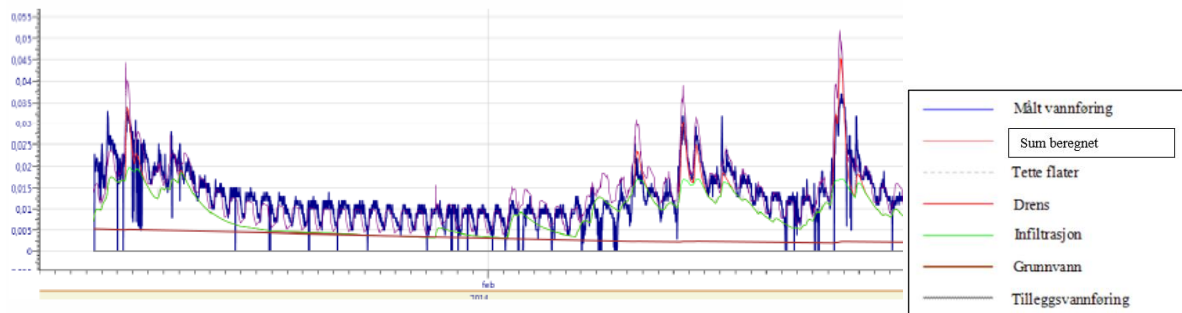
Videre trinn for tolking, eksempler:



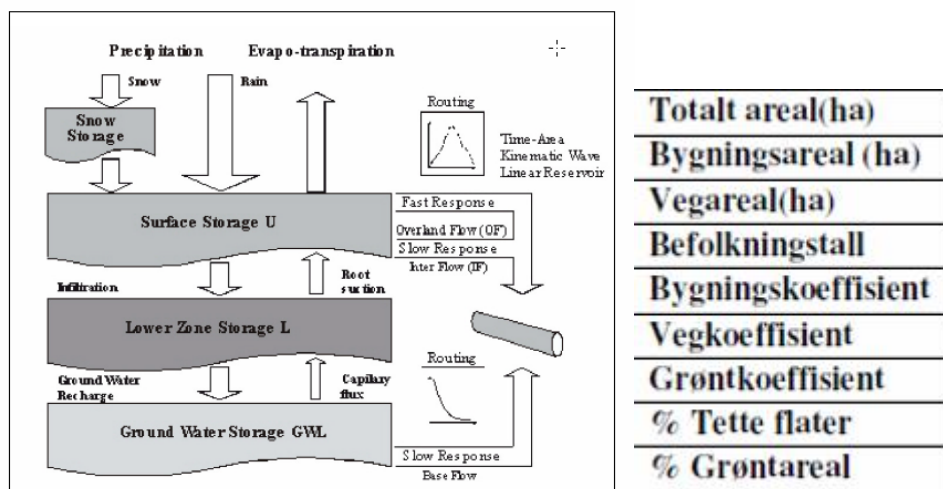
Figur 10: (Figur: Remi A. Stople, Bergen Vann)

Figuren ovenfor fra Knappen RA i Bergen; Tilrenning til renseanlegget illustreres sammen med nedbøravhengig andel, dvs. tilrenning fratrasket forventet spillvannsproduksjon.

For å kunne beregne mer i detalj hvordan fremmedvann er fordelt i ulike fraksjoner – for utvelgelse av mest aktuelle tiltak – kan det benyttes en hydrologisk modell der man ved å registrere feltkarakteristika og justere ulike parametere kan tilpasse en kurve for vannføring til å passe med måledataene.



Figur 11: Eksempel på tilpasning av måledata og beregnet vannføring oppdelt i ulike fraksjoner (spillvann, drensvann, infiltrasjon, overvann og grunnvann)



Figur 12: Hydrologisk modell som beregner avrenning på overflaten, grunnvannsnivåer, relativ markfuktighet og grunnvannrenning som en funksjon av vannlagring i flere sammenhengende lineære reservoarer -med nødvendige inndata. (Figur: DH1)

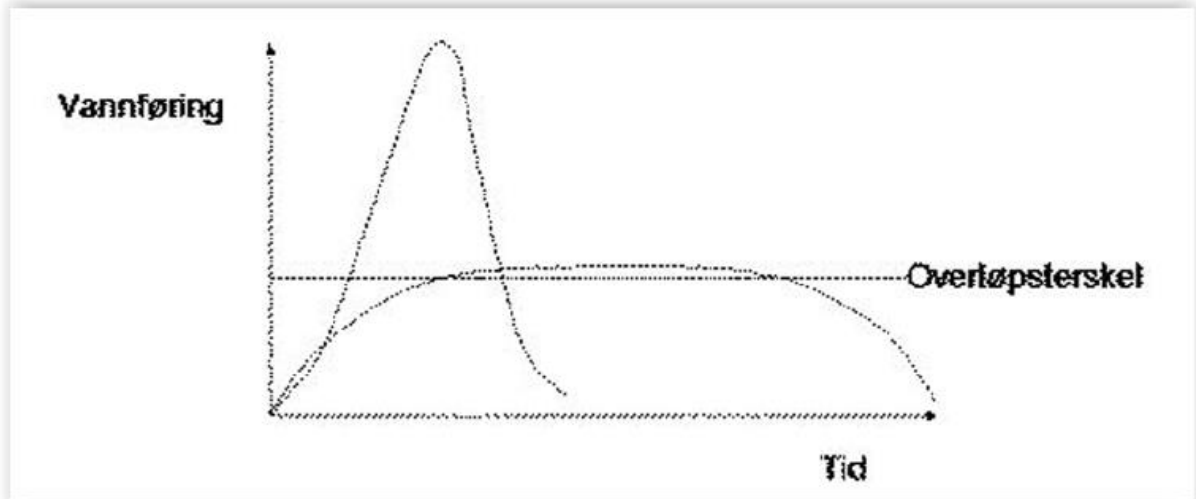
På grunnlag av disse beregningen utarbeides resultatdiagrammer (kakediagrammer) med ulike avløpsfraksjoner basert på mengde større enn forventet spillvannsproduksjon og responstid etter nedbør:



Figur 13: Analyse av vannføringsmålinger – estimat av avløpsvannets sammensetning og fremmedvann.

Overløp:

I overløp registreres gjerne driftstid. I viktige overløp bør også overløpsmengde registreres. Figuren nedenfor illustrerer dette; Et overløp med relativt kort driftstid (kort, bratt kurve) kan likevel føre til stort forurensningstap. Måles kun driftstid, blir kanskje ikke tiltak for å oppnå utslippsreduksjon ved dette overløpet prioritert høyest.



Figur 14: Driftstid gir ikke nødvendigvis mye informasjon om hvor mye som slippes ut.



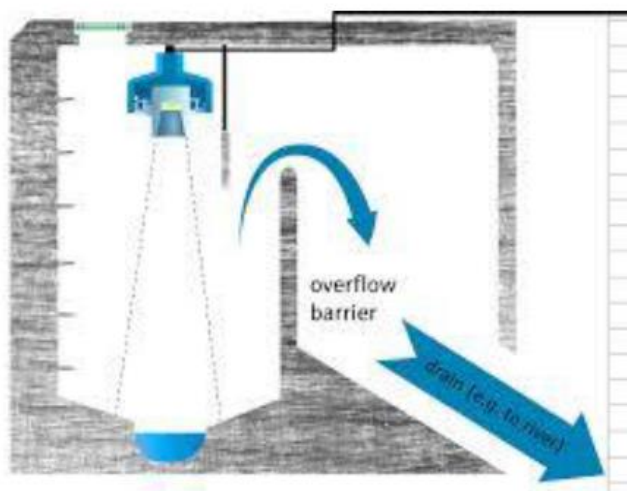
Figur 15: V-overløp (Foto: Norconsult)

$$Q = C_{ev} \frac{1}{15} \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} h_{ev}^{2.5}$$

Ulike typer skarpkantede overløp benyttes til å beregne overløpsmengder, da man for en definert overløpsgeometri bare behøver å registrere vannstand for å kunne beregne vannføringen. Vanndybde registreres med ekkolodd, og vannføring beregnes med formel for v-overløp fra litteraturen, f.eks. «håndbok for vannføringsmålinger i vann- og avløpsanlegg» (1985). En ulempe er begrenset måleområde; et v-overløp har relativt lav kapasitet, og et rektangulært overløp har dårligere nøyaktighet ved lave vannføringer.



Figur 16: Vannføringsmålinger i rør med v-overløp og ekkolodd for registrering av nivå. (Figur: Norconsult).



Vurdering av vannføringsdataenes kvalitet:

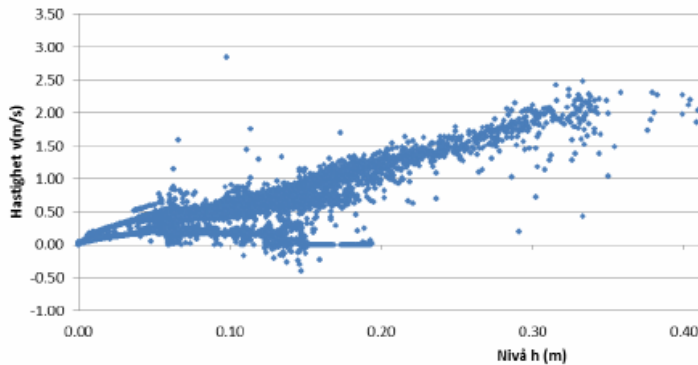
En «scattergraf» kan være nyttig for å vurdere kvaliteten for måledata fra mengdemåler med hastighets- og trykksensor (v/h-måler). Alle måleverdiene plottes i en graf med nivå på x-aksen og hastighet på y-aksen. En «scattergraf» fra et målepunkt med gode måledata vil danne en tilnærmet rett linje. Det betyr at nivå og hastighet i et målepunkt varierer avhengig av hverandre. Når nivå øker vil også hastighet øke.

Annet man kan se ut fra slike grafer:

- Der det er stor spredning i dataene og det er vanskelig å trekke en linje gjennom dem, indikerer det at måleverdiene er mindre pålitelige. Man må kanskje se på en kortere periode av måletiden.
- Hvis nivå øker, øker også hastighet – eller hvis en har oppstuvning blir det et knekkpunkt på kurven (bare nivå øker, hastighet synker).
- Spredning ved lave verdier er ofte stor og avtar ved høyere verdier. Det skyldes at usikkerhet i data reduseres ved noe høyere nivå/vannføring. Lave vannføringer er vanskeligere å måle nøyaktig, grunnet måleutstyrets måleområde og at unøyaktigheter utgjør mer ved lavt nivå. Eksempler: En hastighetssensor i bunn rør som bygger 3 cm trenger kanskje 5 cm vanddybde for å registrere hastighet ordentlig. Målefeil – i utstyret eller grunnet hydraulisk ugunstig målepunkt – på 5 mm utgjør mer ved et nivå på 5 cm enn nivå på 50 cm.

Eksempel på «scattergrafer»:

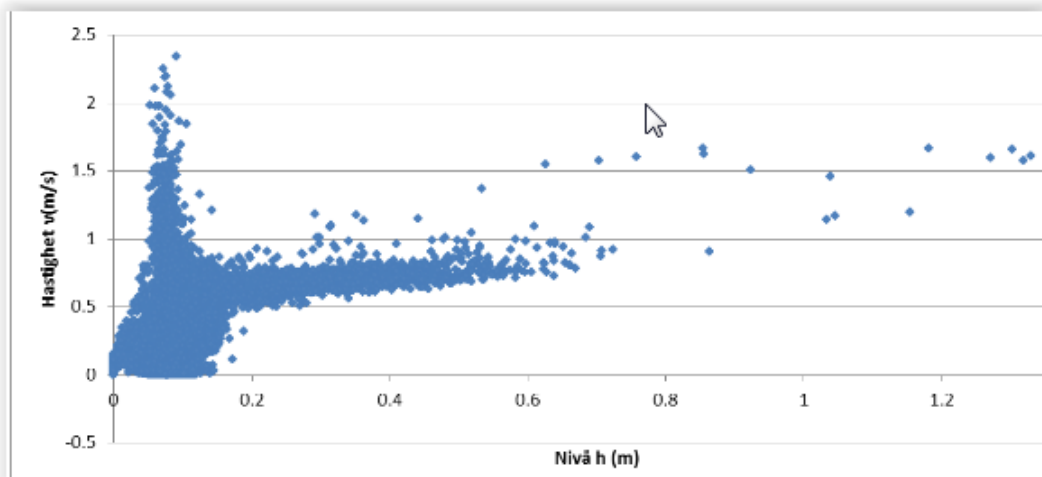
Målepunktet som figuren nedenfor er hentet fra hadde gode måledata store deler av måleperioden (lineær sammenheng mellom hastighet og nivå), bortsett fra en «kvist» der hastighet er nær 0 fra nivå 0-20 cm. Dette skyldtes et driftsproblem – ved tilsyn ble det avdekket at deler av en gipsplate dekket over hastighetssensoren. Den aktuelle måleperioden (mellom to tilsyn) med for lav hastighet, måtte man da se bort fra.



Figur 17: «Scattergraf»-illustrasjon av driftsproblemer knyttet til hastighetsmålingene

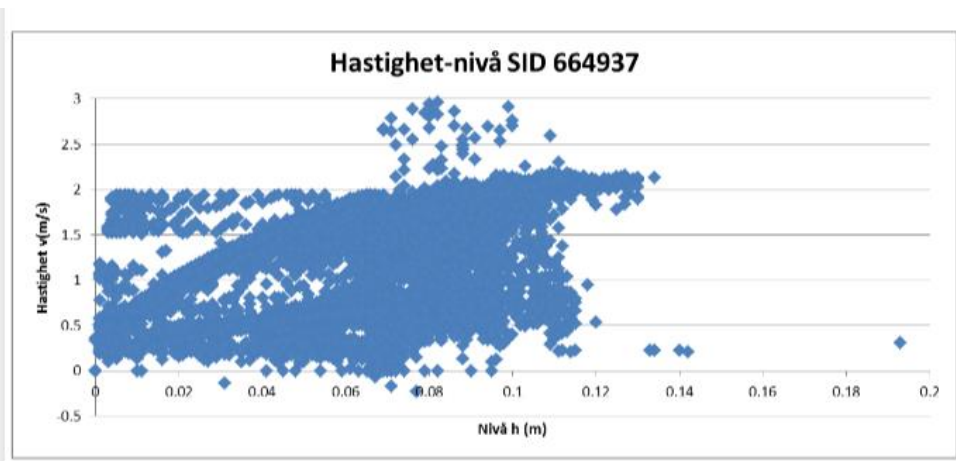
Figur 18: Driftsproblem – hastighetssensor tildekket av avløpssøppel (her: gipsplate. mer vanlig er filler og papir)

Nedenfor er et annet eksempel på «scattergraf», fra vannføringsmålinger i et rør med liten dimensjon (160 mm), med knekkpunkt der røret går fullt – her var det kapasitetsproblemer og oppstuvning. Grafen har i tillegg en utstikker (høye hastigheter), noe som tyder på bølger/støtvis belastning (pumpepåvirkning).



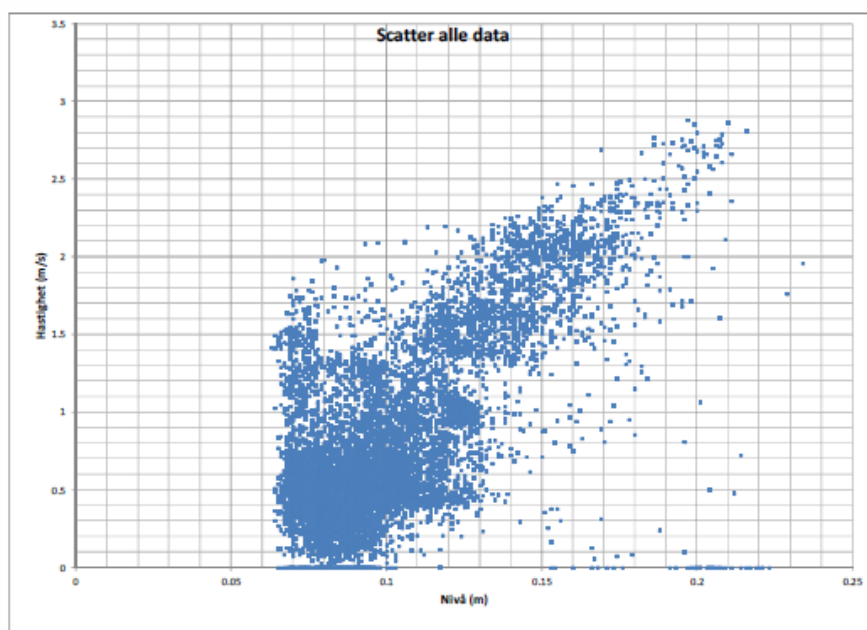
Figur 19: Scattergraf- illustrasjon av målepunkt med oppstuvning og pumpepåvirkning

Figuren nedenfor har så stor spredning at det ikke har særlig verdi når man ser på hele måleperioden under ett. Dette tyder på at det er et dårlig målepunkt hydraulisk sett. I det aktuelle tilfellet kan spredningen også delvis forklares med sensorfeil i deler av måleperioden. I denne grafen «skjuler» det seg kortere perioder med gode måledata. Måleserien kan deles inn f.eks. i døgn. «Scattergrafer» på døgnnivå kan da gi et bilde på hvilke måledøgn som gir de beste måledata. Måledata fra disse døgnene vektlegges mest i den videre vurderingen av fremmedvannsmengder i målesonen.



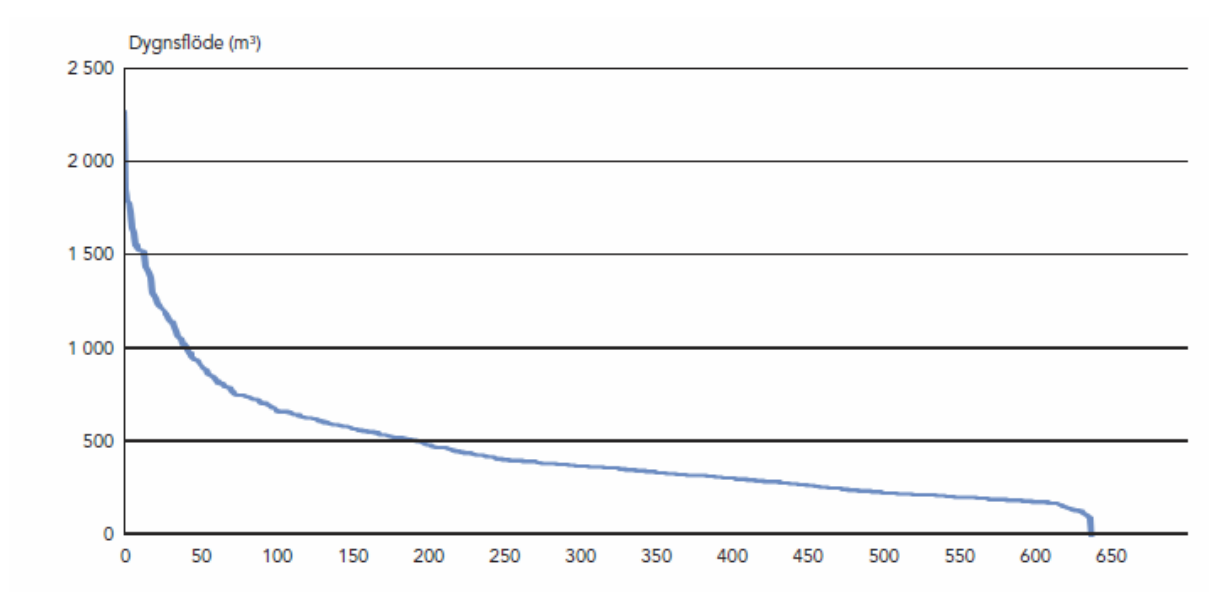
Figur 20: «Scattergraf»-måleserie med liten verdi

Til slutt; en «scattergraf» som viser lineær sammenheng mellom hastighet og nivå for de høyere måleverdiene. De aller laveste verdiene for hastighet (de som ligger langs x-aksen) kan forklares med at det var oppstuvning i perioder med mye nedbør, grunnet kapasitetsproblemer nedstrøms.



Figur 21: «Scattergraf» -relativt godt målepunkt

En annen måte å tolke måledata på er å utarbeide en varighetskurve, da ser man hvor stor andel av måleperioden der vannføring har vært høyere enn forventet (forventet = beregnet spillvannsproduksjon). Figuren nedenfor er en varighetskurve for døgnmiddel til et renseanlegg over 640 døgn.



Figur 22: Eksempel på varighetskurve for en periode på 640 døgner. Døgnmiddel i m³ til renseanlegg. (Figur: Svenskt Vatten)