

# Infiltret overflatevann til vannforsyning

## Oppholdstid fra infiltrasjon til inntak.

Av Åsmund Bøyum

Åsmund Bøyum er professor emeritus ved Institutt for vassbygging, NTNU.

### Extract

When the capacity of a groundwater source for water supply is increased by infiltration of surface water, the detention time from infiltration to intake at wells is not a constant. A method for calculation of the detention time based on records of temperature and electrical conductivity in the infiltrated water and the intake water from wells is described, using artificial infiltration of river water at Tynset municipal water works as a case. Temperature and electrical conductivity have been recorded in infiltration basin and wells every seven days from the beginning of the infiltration. A period of 15 months from 27 February 1995 is analysed in order to calculate the partial detention times. The reliability, limitations and usefulness of the method are discussed.

### Sammendrag

Når grunnvann dannes ved infiltrasjon av overflatevann, enten på naturlig eller kunstig måte, er det viktig at

oppholdstiden i grunnen blir tilstrekkelig lang for at det infiltrerte vannet skal kunne renses så godt som mulig. Når dette vannet skal brukes til vannforsyning, regner helsemyndighetene i Norge 60 døgn som et optimalt mål. I praksis er mulighetene for så lang oppholdstid ofte begrenset, og kortere oppholdstider må aksepteres. Også andre land som det er naturlig å sammenlikne med har liknende normer, eksempelvis Tyskland 50 døgn. Ett tall for oppholdstiden er imidlertid kun retningsgivende. Et bestemt vannkvantum som infiltreres, får partielle oppholdstider som strekker seg eksempelvis fra 10 til 100 døgn. Beregning av de partielle oppholdstider krever et omfattende måle- og beregningsprogram. Av slike beregningsprogram har vi flere, med sine begrensninger og uøyaktigheter. Som så ofte i slike tilfeller er det av interesse å undersøke om direkte målinger kan gi et tilfredsstillende resultat.

En metode som gjør bruk av naturens egne tracere blir gjennomgått. Den byg-

ger i dette tilfelle på målinger av temperatur og elektrisk ledningsevne i vann ved Tynset vannverk. Dette vannverket benytter kunstig infiltrajon. Oppholdstiden er beregnet til 20 - 110 døgn.

Metodens begrensninger og unøyaktigheter med tanke på mer generell anvendelse diskuteres. Det konkluderes med at metoden i alle fall gir størrelsesordenen på oppholdstidene - på en måte som krever relativt lite tid og kostnad, og er økologisk sett gunstig når det gjelder å bevare vannkvaliteten.

## Begrepet oppholdstid

Grunnvann kan dannes ved infiltrasjon av overflatevann, enten på naturlig eller kunstig måte. Når dette vannet skal brukes til vannforsyning, anbefaler helsemyndighetene en oppholdstid på inntil 60 døgn. Av andre land kan nevnes Tyskland med krav om 50 døgn. Slike tall er mer eller mindre illusoriske. Alt vann som infiltrerer på ett tidspunkt kommer ikke samlet fram til brønnene på et annet tidspunkt. Når en beregningsmessig, f.eks. med matematisk modell, kommer fram til ett tall for oppholdstiden, vil dette være et omtrentlig uttrykk for midlere oppholdstid. Det er meget sjelden snakk om stempelstrømning i grunnen. Vannet kommer fram fordelt over tid, uttrykt matematisk ved en mer eller mindre skjev Gauss-kurve. Dette har sin årsak i at løsmasseforekomstene alltid er lagdelt. Lagene har forskjellig porøsitet, og den hydrauliske konduktivitet kan variere meget sterkt. Massene har også varierende sammensetning i horisontalplanet slik at konduktiviteten kan være

forskjellig når en tar prøver med noen ti-talls meter mellomrom.

Tilstrekkelig kjennskap til oppholdstiden er viktig for å sikre god og stabil vannkvalitet. Når det gjelder brønninntak i elveavsetninger er ikke infiltrasjonsdistansen alltid konstant. Ved storflom kan infiltrasjon av relativt sterkt forurenset vann rykke nærmere brønnene. Forurensninger kan ellers tilføres grunnvannet på mange måter. Det hjelper lite å vise til beregninger som sier at forurensningene når brønnen etter 40 døgn dersom de alt begynner å vise seg etter 10 døgn.

## Metoder for å bestemme oppholdstiden

Beregninger basert på den klassiske brønn teori er nødvendig på planleggingsstadiet. Men brønn teorien bygger på idealiserte forhold og opererer med bare ett tall for oppholdstiden. Med 3-dimensjonal modell kommer en kanskje nærmere den sanne sammenhengen mellom vannmengden som passerer et punkt i grunnen og tiden. Til dette trengs det et nettverk av målepunkter i begge plan for å beregne hydrogeologiske parametre i begge plan og for å kalibrere modellen. Termiske modeller kan benyttes når det foreligger tilstrekkelig med data om middeltemperatur og sesongvise temperatursvingninger, og det er opprettet et nettverk av målesteder der prøver tas fra ulike dybder slik at bl.a. kornstørrelse og massenes mineralske sammensetning kan finnes. Vi må kjenne den gjen-

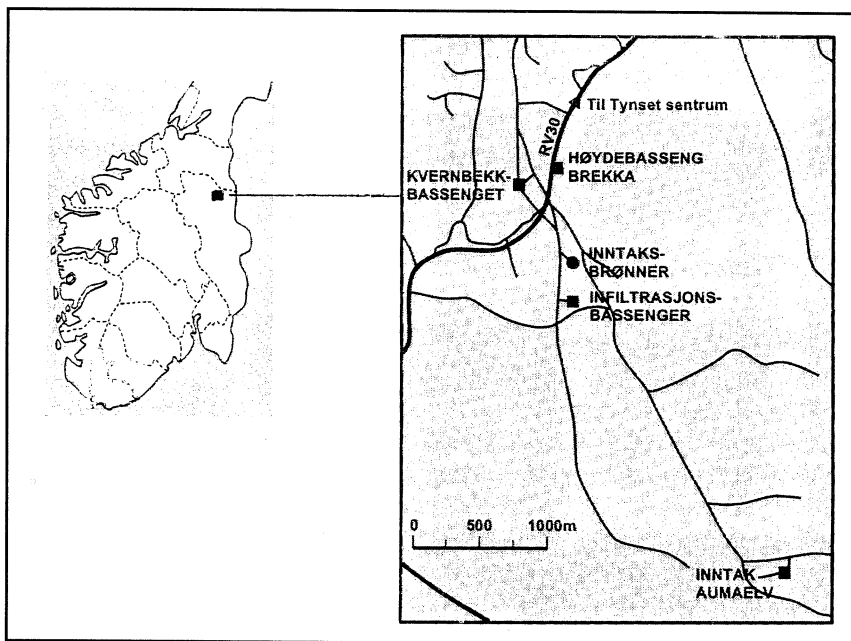


Fig. 1. Kartskisse over Tynset vannverk (tegnet av brosjyre)

nomsnittlige varmeledningsevnen til massene for å kunne beregne varmetransporten i grunnen, ref. /3/, analogt med hydraulisk konduktivitet for hydrauliske strømningsberegninger.

Måling av oppholdstiden v.h.j.a. tracere er en mer direkte metode. Dersom vi kan bruke naturens egne tracere, slipper vi for det første å tilsette stoffer som ikke er i grunnen fra før eller øke konsentrasjonen av stoffer som er der fra før. Fordelen er rett nok marginal. Naturen innstiller seg etter hvert på det normale når målingene er avsluttet, men metoden har likevel en viss økologisk betydning. Den største fordelen ligger i at vi får målt oppholdstiden samlet for hele bredden av infiltrasjonsstrømmen samtidig. En kombinasjon av den van-

lige tracertest- metoden og bruk av naturens egne tracere vil gi et fyldig svar. I det følgende skal det vises om sistnevnte metode kan brukes og om den kan gi mer informasjon om strømmingen i grunnen enn de kjente metodene gjør. Det vil bli benyttet data fra Tynset vannverk.

## Bruk av naturens egne tracere

Tynset vannverk er basert på kunstig infiltrasjon. Anlegget skal her presenteres bare i den grad det er nødvendig for å belyse metoden. Tynset vannverk er vist på fig. 1. Det vises ellers til ref. /1/ og /2/.

Anleggets hoveddeler fremgår av fig. 2 og 3. Vann fra elven Auma ble tidli-

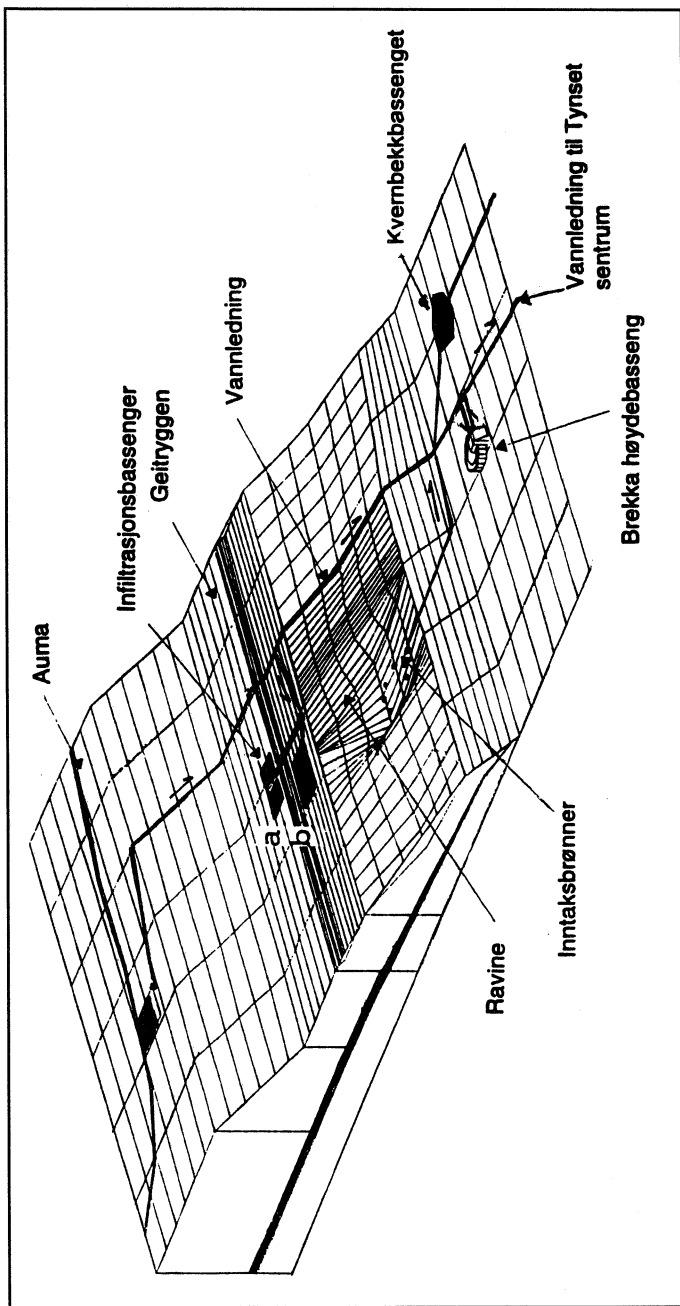


Fig. 2. Modell av Tynset vannverk (fig. fra ref. 12/, med mer tekst).

gere ledet til et åpent basseng, Kvernbekkbassenget. For å forbedre kvaliteten på vann fra elven ble det bestemt å bygge et anlegg med kunstig infiltrasjon da forholdene lå vel til rette for slikt anlegg. Fra februar 1995 ledes vann fra Auma til to infiltrasjonsbasseng, merket a på Geitryggen, fig. 2. Infiltrert vann passerer gjennom grunnen og tas ut i filterrør og brønner i bunnen av ravinen. Inntaksarrangementet er vist på fig. 3. Det er lagt horisontale filterrør ved brønnene K1, K2 og K4. K3 er en kum med perforert bunnring. K4 fungerer også som samle-kum for hele inntaket. KØ og KV er vanlige rørbrønner som ble anlagt i nov. 1995. Når hele grunnvanns-strømmen i ravinen kan fanges opp.

Avstanden fra infiltrasjonsbassengene til nærmeste brønn er 175 m, til den fjerneste ca 275 m. Mellom nærmeste og fjerneste filterrør i forhold til infiltrasjonsbassengene er horisontal-avstanden noe mindre enn 50 m. Fra bassengbunn til det vannførende lag er det ca 15 m. Det er verdt å bemerke at basseng merket b ble anlagt først, men det måtte forlates da oppholdstiden ble for kort.

Massene i Geitryggen er inhomogene. Øverst består de av steinblandet grus og sand. Massene blir lagvis finere ned til det tette morenelaget, 20 m under platået. Lagenes sammensetning varierer også nedover mot ravinen. Sammensetningen i de vannførende lagene er lite kjent. Den naturlige grunnvanns-strømmen har en mektighet på ca 5 m, og vannstrømmen som kan tas ut er normalt på 18 m<sup>3</sup>/t.

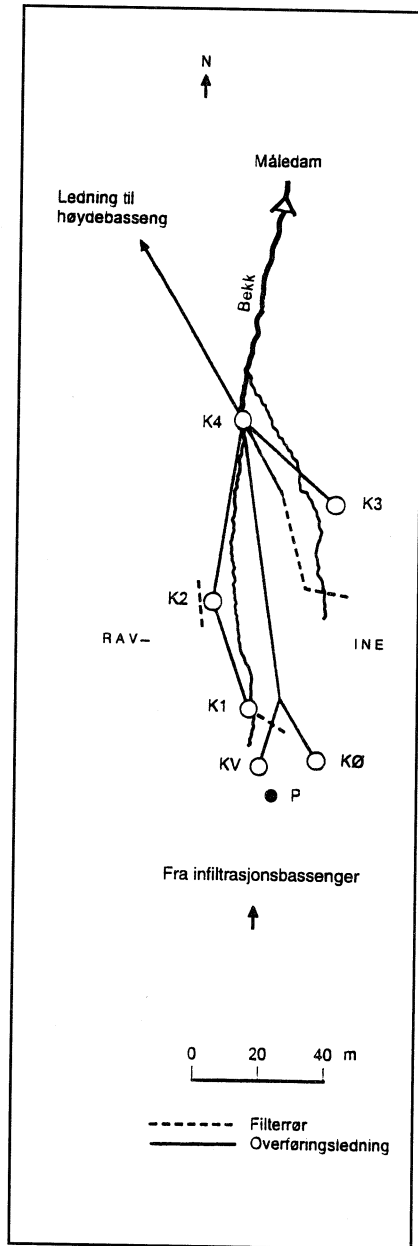


Fig. 3  
Planskisse av inntaksarrangementet

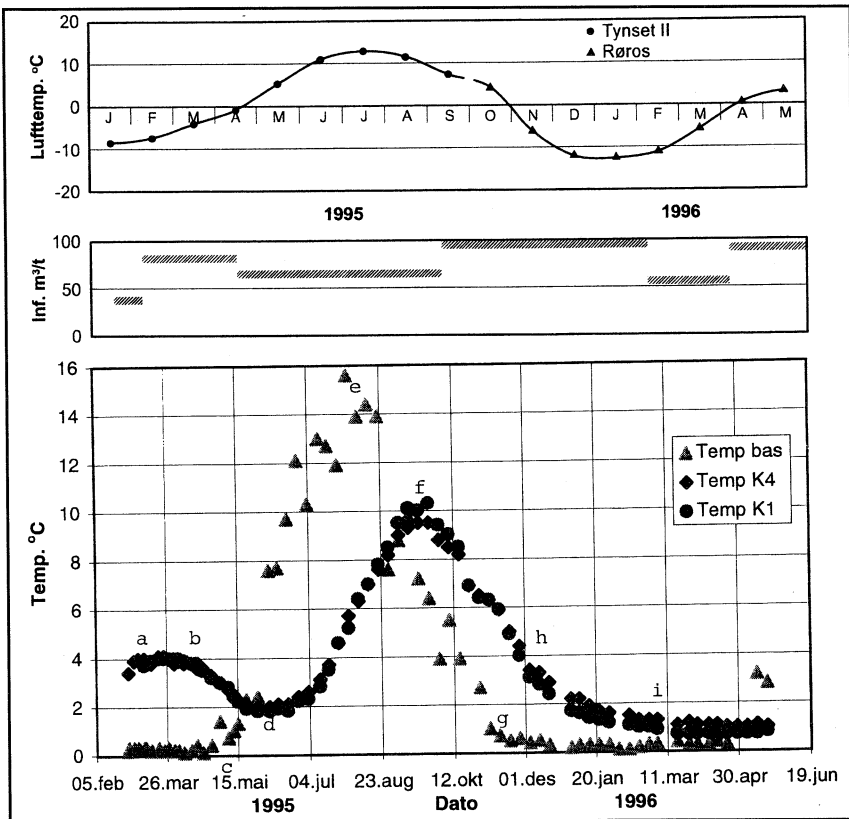


Fig. 4. Måling av temperatur i infiltrasjonsvann og brønnvann, med lufttemperatur og infiltrasjonsvannmengde innlagt.

Anlegget var ferdig til å tas i bruk i februar 1995. Tynset kommune startet infiltrasjonen den 27.02.95. Fra 25.02.95 er temperatur og elektrisk ledningsevne målt i bassengene og de 4 brønnene K1 - K4, fra des. 1995 også i brønn KV og KØ. Målingene er tatt en gang hver dag de tre første månedene, etterpå en gang hver uke. Måleprogrammet ble tilrettelagt av Geofuturum. Tynset kommune utførte målingene og stilte materialet til disposisjon.

Måledata fra 25.02.95 til 20.05.96 er framstilt på fig. 4 og 5. Kurvene for brønn K1 og K4 viser temperatur og elektrisk ledningsevne når de to vanntypene er blandet. K1 ligger ca 50 m nærmere bassengene enn filterrørene for K4, og kurvene for K1 er lagt inn for kontroll. Det er bare ved temperatur- og overgangene at forskjellen mellom kurvene for K1 og K4 er merkbar.

Infiltrasjonsvannmengdene varierte som vist på fig.4 og 5.

Kurvene for elektrisk ledningsevne er

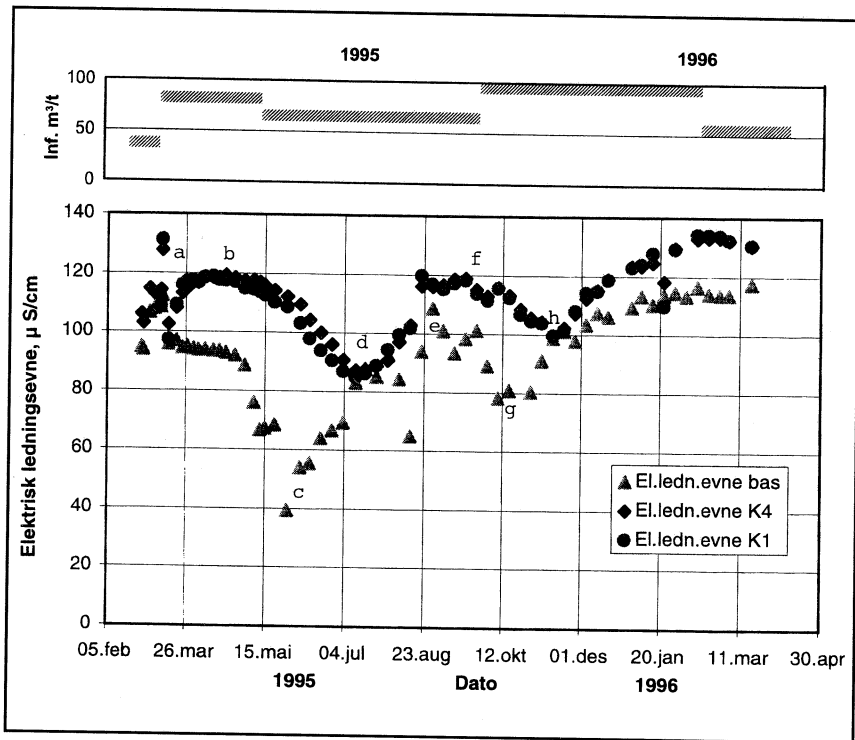


Fig. 5- Måling av elektrisk ledningsevne i infiltrasjonsvann og brønnvann, med infiltrasjonsvannmengde innlagt.

noe uryddig i starten. Det er ikke funnet noen forklaring på det, og det er sett bort fra disse målingene.

Forutsatt at infiltrasjonsvannet og det opprinnelige grunnvannet blander seg godt og at grunnvannsstrømmen er noenlunde jevn, utgjør infiltrasjonsvann omkring 60 til 85 % av det vannet som tas inn til forbruk.

## Tolking av måledata

Temperatur, fig 4.

Fra a - c er temperaturen i infiltrasjonsvannet stabil. Ved b begynner tempe-

raturen i K1 og K4 å synke. Tid a - b = 22 døgn. Det er den tid det tar inntil første del av infiltrasjonsvannet, uttrykt her med 0 - 10 %, har nådd fram til K4. Hadde alt vannet som ble infiltrert første dagen kommet som et pulsslag, skulle kurven mellom b og d hatt en avtrappet form. Infiltrasjonsvannet fra 27.02. fortsetter å strømme til K4 til et stykke forbi tidspunkt d. Men dagene før tidspunkt d har noe varmere infiltrasjonsvann alt nådd fram, og dette "forstyrrer" beregningen av oppholdstiden for de siste 10 - 0 % av vannet fra 27.02. Tid a - d = 90 døgn kan tol-

Tabell 1. Oppholdstider										
Andel infiltrasjonsvann som er kommet fram %	Oppholdstid beregnet av temperaturmålinger						Oppholdstid beregnet av el. ledningsevne			
	a-b <sup>1)</sup> , døgn	a-d <sup>2)</sup> , døgn	c-d <sup>1)</sup> , døgn	e-f <sup>2)</sup> , døgn	g-h <sup>2)</sup> , døgn	g-i <sup>1)</sup> , døgn	a-b <sup>1)</sup> , døgn	c-d <sup>1)</sup> , døgn	e-f <sup>1)</sup> , døgn	g-h <sup>1)</sup> , døgn
0-10	22				20		20			
50 ± p			40	45				35	35	30
90-100		90				110				

1) Bra nøyaktig 2) Mindre nøyaktig. (Nøyaktighet mht hvor tydelig knekkpunktene kan tas ut)

kes som en noe forkortet tid til 90 - 100 % av infiltrert vann er nådd fram.

Tid c - d = 40 døgn og e - f = 45 døgn er et mål for den tiden en stor del, uttrykt her med  $50 \pm p$  %, av infiltrasjonsvannet har passert K4. Prosentangivelsen er avhengig av mengdeforholdet mellom infiltrasjonsvann og naturlig grunnvann og temperaturforskjellen mellom de to vanntypene.

Fra tidspunkt g synker temperaturen i infiltrasjonsvannet betydelig mindre enn dagene før. Det samme gjør temperaturen i K1 og K4 ved tidspunkt h. Tid g - h = 20 døgn er tid mellom forandring i kurven for infiltrasjonsvannet og tilsvarende forandring i kurven for K1 og K4. Dette er virkningen av de første 0 - 10 % av det mer temperaturstabile infiltrasjonsvannet. Temperaturen i K1 og K4 synker til tidspunkt i mens infiltrasjonsvannet har konstant temperatur. Fra tidspunkt i har også brønnvannet konstant temperatur. Ved tidspunkt i har derfor 90 - 100 % av det temperaturstabile infiltrasjonsvannet nådd fram til K4. Tid h - i = 110 døgn.



Resultatet er samlet i tabell 1.  
El. ledningsevne, fig. 5.

Elektrisk ledningsevne er lite avhengig av temperaturen. Målinger av denne parameteren kan derfor nyttes som referanse, selvom kurven synes vanskeligere å tolke. Kurvene i fig. 5 er ellers analysert på tilsvarende måte som i fig. 4. Resultatet er gitt i tabell 1. Rimelig nøyaktig tid til 90 - 100 % av infiltrasjonsvannet når fram til K1 og K4 var det ikke mulig å finne.

## Nøyaktigheten av oppholdstidsberegningene

Oppholdstider for målingene  
Målingene er sammenfattet i tabell 1. Tabellens verdier er framstilt på fig. 6. Kurve a gjelder temperaturmålingene og b måling av el. ledningsevne. Kurvene viser hvordan prosent av infiltrert vannmengde fordeler seg over tid. Kurve a er trukket gjennom 3 punkter

og b gjennom 2 punkter. Fig. 5 kunne ikke tolkes lenger. Muligheten for at kurvene kan ha et noe annet forløp er illustrert med piler begge veier. På samme figur er målt vannstand i peilerør P, fig. 3, lagt inn med kurve c, fra ref. 121. Kurven viser vannstand-økning i prosent av total økning.

Dersom vannstrømmen bare var drevet fram av gravitasjonen, ville det i dette tilfelle være tilnærmet proporsjonalitet mellom vannstand og vannføring. Men pga den støteffekten som vannfronten fra infiltrasjonsbassengene skaper når infiltrasjonen settes i gang, stiger vannstanden tidligere og raskere enn vannføringen. Som det fremgår av figuren begynner den alt å stige etter 8 døgn. Støteffekten antas å opphøre når stasjonær tilstand inntreffer. Dersom denne effekten får innvirkning på vannføringen i den første tiden av infiltrasjonen, blir den målte oppholdstiden i startfasen kortere enn oppholdstiden

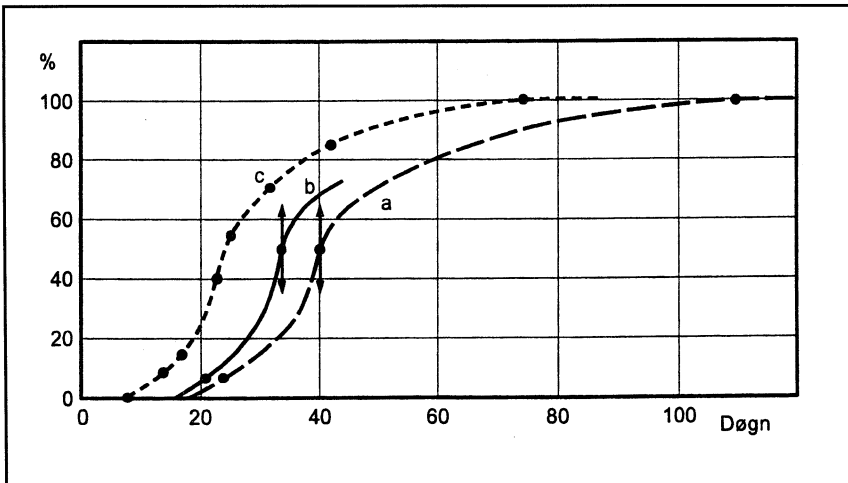


Fig. 6. Oppholdstidfordeling

under stasjonære forhold. Dette er ikke undersøkt nærmere her. Vannstands-målinger ville ha vært en enklere metode å bruke, men det må konkluderes med at vannstandskurven "lyver" om oppholdstiden. Den sier med større sikkerhet når alt infiltrasjonsvann er nådd fram til brønnene. Tracermålinger gir et fyldigere svar.

Forskjellen mellom kurvene for brønn K1 og K4 skapte ikke noen spesielle problemer med å ta ut de karakteristiske tidspunktene.

### Feilkilder

Analysen bygger på at vi kun har å gjøre med en blanding av to vann typer. Hva som skjer i grunnen pga massene som vannet beveger seg i både med hensyn til temperatur og ionekonsentrasjon er det ikke tatt hensyn til. Det forutsettes videre at temperaturen og ionekonsentrasjonen i det naturlige grunnvannet endrer seg lite. Sett i forhold til infiltrasjonsvannet er den forutsetningen til stede. Temperaturkurvene er ikke korrigert for varmetransport i grunnen. Det vil alltid oppstå temperaturgradienter mellom vannet og massene omkring. En korrigering ville kreve tilgang på de tidligere nevnte data som er forutsetningen for bruk av termisk modell.

Lufttemperaturen er lagt inn med

månedsmiddel på fig.4 etter data fra Det norske meteorologiske institutt. Målinger for Tynset mangler fra okt.95 til mai 96. Fra da av er målinger fra Røros benyttet. Lufttemperaturen kan ha hatt en viss innflytelse på kurvenes knekkpunkter, men det er ikke undersøkt nærmere. Det er heller ikke tatt hensyn til at infiltrasjonsvannmengden varierer, som vist på fig. 4 og 5. En større infiltrasjon vil gi noe større hydraulisk gradient og dermed noe større strømningshastighet, men effekten reduseres ved at mer vann flyter ut til sidene. Periodene med jevn infiltrasjon var ellers gunstig i forhold til knekkpunktene mht minst mulig virkning på disse. Nedbøren falt som snø i tiden 1.feb.-1.mai 1995 og 1.nov. 1995 - 1.apr. 1996. Nedbør i tiden 1.mai-1.nov. 1995 er vist i tabell 2.

Dersom all nedbør minus evapotranspirasjon i juli måned infiltrerer, utgjør nedbøren en midlere infiltrasjon som ikke overstiger 0.5 m<sup>3</sup>/t pr hektar. Vi må kunne slutte av dette at nedbørinfiltrasjon har hatt minimal effekt på tidspunkt f, fig.4, og d og f, fig.5.

Når det gjelder elektrisk ledningsevne, ville kjennskap til den mineralske sammensetning være nødvendig for å si noe om ioneutløsningspotensialet. Det antas at grunnforholdene har mindre

**Tabell 2. Nedbør på Tynset, mm pr måned, mai-okt. 1995, (fra DNMI).**

Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt
34.1	42 1	46.5	24.8	12 1	-

innvirkning på ione-konsentrasjonen enn på temperaturen. Kurven for el. ledningsevne gjengir derfor de faktiske forhold bedre enn temperaturkurven. Imidlertid er det ikke absoluttverdiene vi er ute etter men tidspunkt for **endringer** av disse. Skulle tidspunktene være tatt ut med feil på  $\pm 5$  døgn, blir oppholdstiden i beste fall 10 døgn lenger, uendret eller i verste fall 10 døgn kortere.

**Denne metoden kan gi størrelsesorden på oppholdstiden og vise trenden i oppholdstidfordelingen.**

### **Konklusjon med hensyn på generell bruk av naturens egne tracere.**

Når naturens egne tracere kan anvendes, har vi en praktisk og lett gjennomførbar metode til å bestemme oppholdstiden. Metoden gir oss både størrelsen på oppholdstiden og fordelingen over tid, og det gjelder hele vannstrømmen som infiltreres.

Metoden som her er beskrevet har også sine begrensninger og unøyaktigheter. Men grundige forarbeider er en naturlig del av et grunnvannsprosjekt. Når det f.eks. gjelder brønner i elveavsetninger så skal de prøvepumpes over flere måneder til ett år, alt etter hvor uoversiktlig forurensingssituasjonen er. Det ligger meget liten merkostnad i å ta med målinger av temperatur og elektrisk ledningsevne.

Tolkingen av kurvene fra infiltrasjonsanlegget på Tynset går her langt. I andre tilfeller får en ofte mindre ut av

målematerialet. For å få best mulig informasjon før anlegget tas i bruk bør

- vintermåned med noenlunde stabil temperatur både på det naturlige grunnvannet og infiltrasjonsvannet inngå i måleprogrammet,
- målingene starte i god tid før infiltrasjonen/ prøvepumpingen starter,
- målingene foregå over minst 1/2 år,
- det måles kontinuerlig eller med ikke mer enn 5-10 dagers mellomrom.
- infiltrasjonen/ pumpingen variere så lite som mulig
- lufttemperatur og nedbør tas med i analysen.

Jo lenger tid målinger av temperatur og el. ledningsevne kan gjennomføres på før infiltrasjon starter, jo sikrere blir metoden. V.h.j.a. det geologiske materialet som alltid foreligger i større eller mindre omfang i forbindelse med grunnvannsanlegg, vil en kunne finne forklaring på kurvenes forløp.

Tracertest med tilsetning av tracer før vannet tas i bruk vil som regel være aktuell selv om en slik test til sammenlikning ofte blir en punkt-undersøkelse i tid og sted. Bruk av naturens egne tracere kan gi bredere informasjon, og målinger kan foregå både før og så lenge som ønskelig, og forøvrig starte når som helst, etter at vannet er tatt i bruk. Godt samsvar mellom oppholdstid bestemt på denne måten og den som måtte være beregnet og funnet med tracertest på planleggingsstadiet er betryggende. Dårlig samsvar vil måtte få konsekvenser for bl.a. utvidelse av anlegget.

## Referanser.

1) Tynset kommune:

RENT VANN - ETTER NATUR-  
METODEN Folder.

2) Bøyum, Åsmund / Aunaas, Børge:  
TYNSET VANNVERK - KUNSTIG  
INFILTRASJON. VAR'96. NTNU,  
Tapir 1996.

3) Haarstad, Ketil:

ELVEINFILTRERT GRUNNVANN.  
ANDEL OG OPPHOLDSTID.

Undersøkelser på Storøra, Selbu kom-  
mune. Termiske analyser. Institutt for  
vassbygging, NTH, 1991

4) Bøyum, Åsmund: D.s.s. 3) Hydrauliske analyser.

## Spesialkompetanse innen:

- Vannbehandling
- Slambehandling
- Avløpsrensing
- Avfallshåndtering
- Ledningsfornyelse - MOUSE ansv. i Norge



### **VBB Samfunnsteknikk**

Rådgivende ingeniører

OSLO  
Sandakervn. 74  
Tlf. 22 22 09 90

HAMAR  
Grønnegt. 83  
Tlf. 62 53 34 20

GOL  
DBC-sentret  
Tlf. 32 07 45 44