

Prognoser for brudd på vannledningsnett

Av Jon Røstum

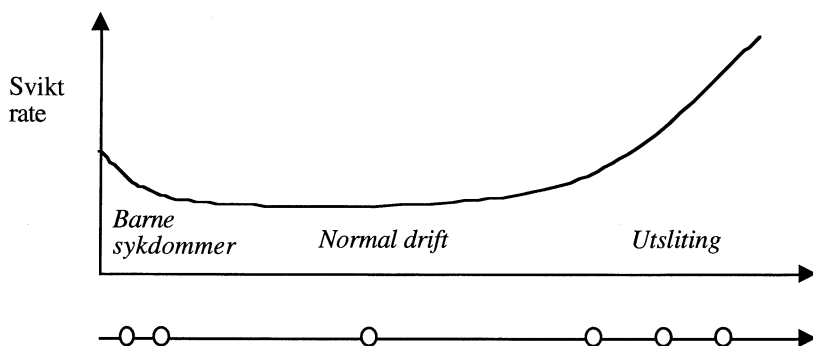
Jon Røstum er forsker ved SINTEF i Trondheim

Det er bare å innse det. Vi vil alle sammen tape oss litt etter som årene går. Slik er det også med vannledninger. Det er bare unntaksvis, slik som med de fine franske vinene, at en oppnår en forbedring i kvaliteten ettersom tiden går som en følge av en modningsprosess. Det renner dessverre altfor lite av denne type væske i vannledninger, så vi må nok også i fremtiden slite med vannledninger som svikter. Det er lite aktuelt å lage modeller for å forutsi hvordan kvaliteten på vinen endrer seg, men for vannledninger er det av stor interesse å vite hvordan denne nedbrytingen finner sted og hvor fort det skjer. I det følgende vil en slik metode beskrives.

Hvordan er livet til en vannledning?

For å illustrere hvordan svikt på vannledningsnettet utvikler seg over

tid er det nyttig å ta utgangspunkt i den såkalte *badekarskurven* (se Figur 1). Dette navnet har den fått på grunn av sin karakteristiske form. Tidspunkt for svikt er markert med en "o". Figuren kan deles inn i tre ulike faser; *barnesykdommer*, *normal drift* og *utslitning*. Barnesykdommer oppstår straks etter at ledninger er anlagt. Feil i denne perioden kan skyldes materialfeil, feil anleggsutførelse etc. Etter dette kommer en periode med normal drift. I denne fasen oppstår det også svikt, men disse er av mer tilfeldig karakter og kan skyldes ekstreme last-situasjoner (f.eks trykkstøt). Det er ønskelig at denne perioden er så lang som mulig. Til slutt vil ledningen begynne å slites ut. Sviktene oppstår oftere og oftere og ved et eller annet tidspunkt vil en ikke se seg tjent med å fortsette å reparere ledningen. Ledningen må skiftes ut.



Figur 1. Badekarskurven som viser sviktraten som funksjon av tid. Tid

Formen på badekarskurven vil avhenge av ulike faktorer, såkalte forklaringsvariable. Eksempler på slike faktorer kan være diameter anleggsår, materialtype, skjøtemetode, grunnforhold, trafikklast, tidligere brudd historie etc.

I Skandinavia har en vært flink med å registrere svikt som har oppstått på ledningsnett. I forhold til andre europeiske land er datagrunnlaget i Skandinavia svært godt. I Norge benyttes for det meste ledningsregisteret Gemini VA. Gemini VA inneholder foruten fysiske data om den enkelte ledning også en oversikt over sviktene som har oppstått, tidspunkt for svikt, skadetype etc.

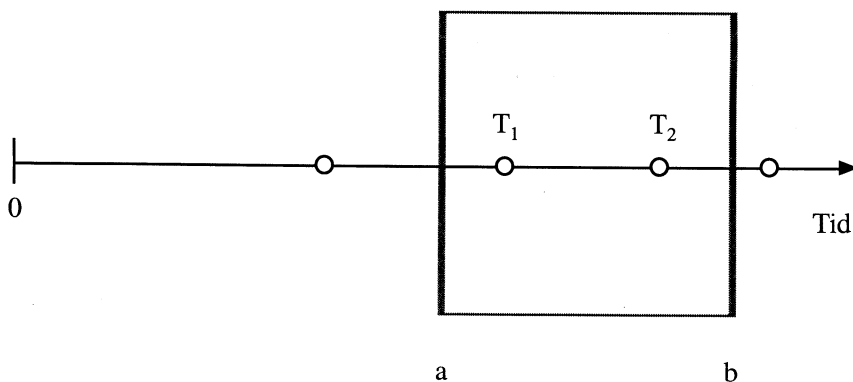
Den videre tankegang for å lage prognoser for fremtidig skadeutvikling er å ta utgangspunkt i de historiske sviktene, analysere dem statistisk for å finne de bakenforliggende

årsaker til svikt. I følgende vil jeg kort beskrive en statistisk metode, kalt "ikke- homogen Poisson prosess" som har vist seg velegnet til å analysere svikt i vannforsyningssystemer.

Statistisk modell

I en ikke- homogen Poisson prosess [engelsk: non homogeneous Poisson process (NHPP)] ser en på hver enkelt ledning innenfor et tidsrom (a_i, b_i) , dvs tidsrom hvor sviktdata er tilgjengelig. Tidspunktet "0" tilsvarer tidspunktet ledningen ble lagt. For hver enkelt ledning er svikthistorien tilgjengelig: $T_1 < T_2 < \dots < T_n$ (se Figur 2). I tillegg har en informasjon om forklaringsvariable som kan ha innvirkning på svikthistorien. For å si noen om sammenhengen mellom svikt historien og de ulike forklaringsvariablene ser en på flere ledninger med tilsvarende egenskaper.

Tidsvindu hvor sviktdata er tilgjengelig



Figur 2. Definisjoner av uttrykk brukt i NHPP.

Når en modellerer svikt i ledningsnettet som en NHPP, kan sviktintensiteten, λ skrives på følgende form når en også tar hensyn til forklaringsvariable:

$$\lambda(t, \mathbf{z}, \mathbf{z}_i) = \lambda \delta^{\delta-1} \exp(\mathbf{z}_i' \boldsymbol{\beta}) \quad (1)$$

hvor

t er tiden, \mathbf{z} er en vektor med forklaringsvariable (f.eks. lengde, diameter), $\boldsymbol{\beta}$ er koeffisientene til forklaringsvariablene, δ er en "form" parameter som gir oss tidsavhengigheten og λ er en "skala" parameter som sier noe om startverdien på det tidsavhengige ledet.

Med denne modellen er det mulig å analysere systemer hvor det er en *trend* i sviktdataene (eks. sviktene kommer oftere og oftere).

Parametrene og koeffisientene i ligning (1) blir estimert ved hjelp av programmet WINROC utviklet ved Norges Teknisk- Naturvitenskapelig Universitet (NTNU) i Trondheim (Røstum, 2000). Når modellen er etablert kan en så bruke denne ligningen til å predikere fremtidige brudd. Det gjøres ved å beregne den kumulative funksjonen til ligning (1).

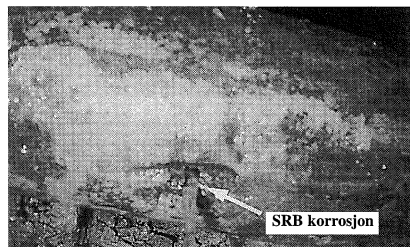
Det forventede antall svikt i perioden (a_i, b_i) kan en beregne ut i fra følgende uttrykk:

$$E(N(b_i) - N(a_i)) = \int_{a_i}^{b_i} \lambda(u, \mathbf{z}, \mathbf{z}_i) du = \lambda (b_i^{\delta} - a_i^{\delta}) \exp(\mathbf{z}' \boldsymbol{\beta}) \quad (2)$$

For mer detaljer vedrørende NHPP se Røstum (2000).

Eksempel fra Trondheim kommune

For å illustrere bruken av modellen er data fra vannledningsnettet i Trondheim kommune benyttet. Flere ulike materialtyper er blitt analysert. I det følgende vil resultatene for ubeskyttede duktile støpejernsledninger vises. Ledningene er lagt i perioden 1963-1975. I Trondheim kommune har en for denne typer ledninger vært sterkt plaget med lekkasjer som skyldes sulfat reduserende bakterier (SRB). Problemet er observert i områder med marin leire, som gir gode forhold for denne typen korrosjon. Modellen er kalibrert ved å ta utgangspunkt i 9 år med observerte feildata. Resultatene er vist i Tabell 1.



Figur 3. Korrosjon forårsaket av sulfat reduserende bakterier (SRB). Foto: Finn Bjørgum Trondheim kommune

Tabell 1. Resultater for NHPP for ubeskyttede duktile støpejernsledninger i Trondheim.

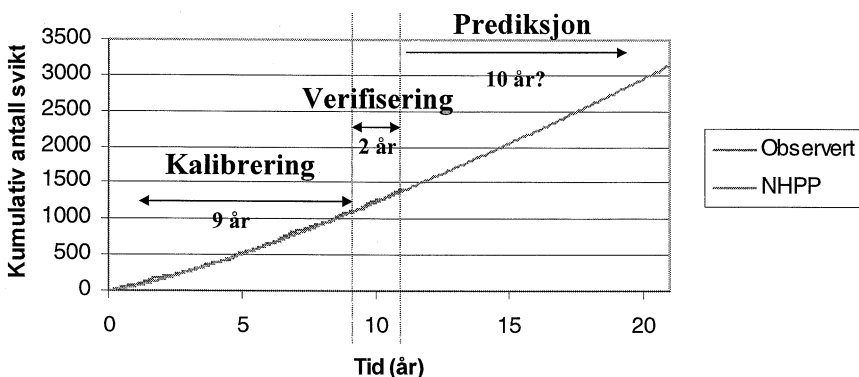
	Estimerte parametre og koeffisienter
λ ("skala")	0.02719
δ ("form")	1.28145
Lednings lengde (m)	0.00423
Diameter (mm)	-0.00364
Leire (indikasjon på om ledningen er lagt i leire eller ikke)	0.41176
Alder på ledning når observasjonen starter	-0.0083

En ser at økende ledningslengde øker sviktintensiteten, dvs en lang ledning har høyere sviktintensitet enn en kort ledning under ellers like betingelser. Ledninger med liten diameter er mer utsatt enn ledninger med stor diameter. Det er grunn til å merke seg at modellen påviser leire som en svært viktig faktor for svikt. Alderen på ledningen når observasjonene starter har også betydning.

En skal særlig legge merke til δ , "form"-parameteren. Det er denne

parameteren som bestemmer hvordan *trenden* er. Når $\delta > 1$ er ledningene i utslitningsfasen, dvs. sviktene oppstår oftere og oftere. Dette er tilfellet for ubeskyttede duktile støpejernsledninger i Trondheim.

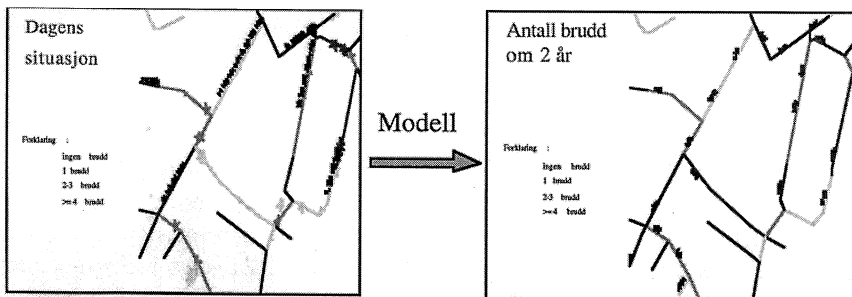
Den kalibrerte modellen er blitt verifisert på 2 år med nye data. Den verifiserte modellen kan en så bruke til prediksjon av fremtidige svikt på ledningsnettet. Prediksjonen er utført ved å benytte (ligning 2). Resultatet av dette er vist i Figur 4.



Figur 4. Prognose for svikt på ledninger av ubeskyttede duktile støpejernsledninger i Trondheim kommune.

I Figur 5 er antall observerte feil på ledningsnettet vist for dagens situasjon og ved hjelp av den statistiske

modellen NHPP er forventet antall brudd 2 år frem i tid beregnet.



Figur 5. Antall brudd for hver enkelt ledning. Dagens situasjon er hentet fra Gemini VA og fremtidig tilstand beregnet vha den statistiske modellen NHPP.

Konklusjon

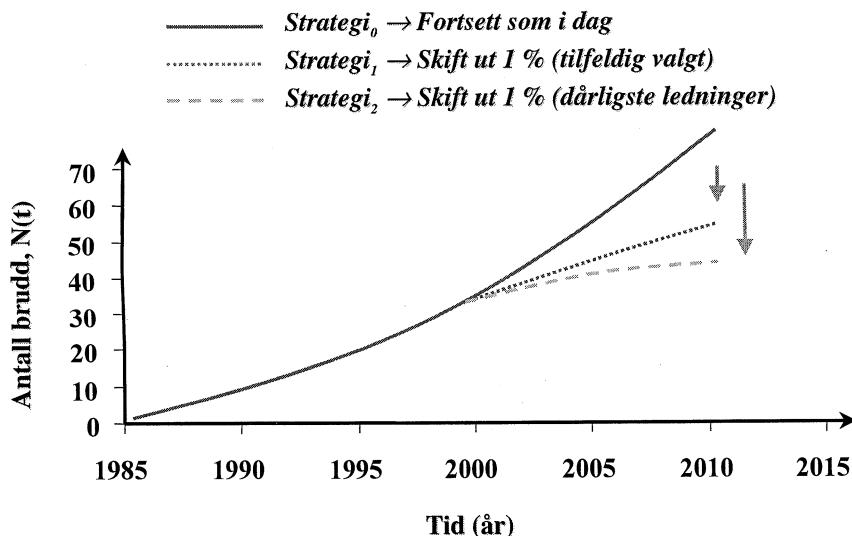
Bruk av en statistisk modell slik som NHPP for analyse av svikt på vannledningsnett gav gode resultater i Trondheim. Foruten å gi oss svar på den relative betydningen de forskjellige forklaringsvariable har på svikthistorien, kan modellen også brukes til prediksjon av fremtidige brudd. Dette kan være både for grupper av ledninger og for enkelte ledninger.

De kumulative plott angir budsjettert behovet med tanke på strukturell tilstand. Når en vet hvor mye penger en har er det om å gjøre å bestemme de aktuelle kandidatene for utskifting. I dette ligger den en stor utfordring, og

mange hensyn må tas (f.eks. strukturell tilstand, hydrauliske forhold, vannkvalitet, klager, forsyningssikkerhet). Den statistiske metoden gir oss informasjon om den strukturelle tilstanden på nettet for hver enkelt ledning.

For å kunne utføre analyser av leveringssikkerhet i vannforsyningssystemer er det også nødvendig med sviktdata for hver enkelt ledning.

Det kan også utarbeides prognoser for fremtidig brudd på vannledningsnett for ulike rehabiliteringsstrategier til bruk i budsjettarbeid. Dette gjøres ved å lage kumulative plott som viser feilutviklingen (Figur 6).



Figur 6. Prognoser for ulike rehabiliteringsstrategier.

Siden NHPP modellen beregner sviktintensiteten for hver enkelt ledning kan effekten av renovering/ utskifting av bestemte ledningsstrek tas hensyn til.

I dette delprosjektet er det bare analysert på svikt på ledninger og ikke

andre viktige komponenter i et forsyningssystem som; pumper, ventiler, tunneler. Slik informasjon er bare i liten grad tilgjengelig i eksisterende ledningsregister. En tilsvarende øvelse for andre komponenter i vannforsyningssystemet hadde vært nyttig å utføre.

Referanser

Røstum, J. (2000). Statistical modeling of pipe failures in water networks [Statistisk modellering av svikt på vannledningsnett]. Dr.ing avhandling,

2000:12, Institutt for vassbygging, Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU), Trondheim, Norge. ISBN 82-7984-033-8.



Nytt navn fra september 2000