

# Simulering av ventetid og effektivitet i sykehus

## Sammendrag

**Bakgrunn.** Mange sykehus må utsette elektive operasjoner fordi pasienter som trenger øyeblikkelig hjelp må prioriteres. I denne artikkelen diskuterer vi fordeler og ulemper med skjerming av elektiv virksomhet med utgangspunkt i resultater fra en simuleringsmodell.

**Materiale og metode.** Simuleringene er gjort med dataprogrammet Powersim Constructor 2.5.

**Resultater.** Kombinerte avdelinger forventes å ha kortere ventetider og mindre overtidsbruk enn separate akutte og elektive avdelinger. Dette skyldes større fleksibilitet i ressursbruk som gir høy gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse. Elektive pasienter på den kombinerte avdelingen står i fare for å bli strøket på operasjonsdagen siden de konkurrerer med akutte pasienter om kapasitet. En kompensasjon for ulempen er at de får kortere ventetid i ordinær kø før behandling.

**Fortolkning.** Resultatene tyder på at skjerming av elektiv virksomhet i seg selv ikke er så gunstig siden den samlede kapasitetsutnyttelsen for begge avdelinger blir mindre enn ved en kombinert avdeling. Imidlertid kan separate avdelinger muliggjøre effektivisering av elektiv virksomhet, noe som vil bidra til kortere ventetider.

Engelsk sammendrag finnes i artikkelen på [www.tidsskriftet.no](http://www.tidsskriftet.no)

Oppgitte interessekonflikter: Ingen

### Gunn Kristin Tjoflot

[gtjoflot@medisin.uio.no](mailto:gtjoflot@medisin.uio.no)  
 Institutt for helseledelse og helseøkonomi  
 Universitetet i Oslo  
 Postboks 1089  
 0317 Oslo

### Hans Th. Waaler

Nasjonalt kunnskapssenter for helsetjenesten

### Tor Iversen

Institutt for helseledelse og helseøkonomi

En diagnose er klar, innleggelsesdato fastsettes, pasienten legges inn til operasjon, men får så beskjed om utsettelse og blir kanskje hjemsendt. Grunnen er kapasitetsmangel fordi andre pasienter som trenger øyeblikkelig hjelp, må prioriteres. Dette er frustrerende for den elektive pasienten. En umiddelbar løsning er å foreslå separate avdelinger for elektive og akutte pasienter. Frustrasjonsproblemet kan synes løst.

Problemet er trolig mer sammensatt. Mens noen momenter trekker i retning av separate avdelinger, trekker andre i motsatt retning. Formålet med denne artikkelen er å diskutere disse momentene på basis av resultater fra en simuleringsmodell. Vårt utgangspunkt er at det ikke er aktuelt å bygge ut kapasitet stor nok til å unngå kø uansett organisasjonsform.

En separat akuttavdeling må ha ledig kapasitet til å ta imot et antall pasienter som er delvis uforutsigbart. Kravet til kapasitet vil nødvendigvis medføre at avdelingen i perioder har ubrukt kapasitet. En følge av dette er lengre gjennomsnittlig ventetid for de elektive pasientene enn om ledig akuttkapasitet kunne vært brukt til å behandle elektive pasienter. En times ledig kapasitet kan ikke lagres til senere benyttelse. En smidig og problemfri behandling av elektive pasienter etter ankomst kan med andre ord måtte betales med lengre ventetid for de elektive pasientene før ankomst.

Slike kvalitative sammenhenger kan man resonnerer seg frem til ad logisk vei. Verre blir det å kvantifisere sammenhengene. I hvilken grad påvirkes de av sykehusets størrelse og kapasitet, av størrelsesforholdet mellom de to avdelingene, av ankomstmønsteret for de to pasientkategoriene? I denne artikkelen forsøker vi å simulere sammenhengene i matematiske modeller. Problemstillingen er sammenlikning av kapasitetsutnyttelse og ventetider i separate versus kombinerte avdelinger.

## Materiale og metode

Til modelleringen av de to alternative organisasjonsmåtene for kirurgisk virksomhet har vi brukt det norskutviklede dataprogrammet Powersim Constructor 2.5, som gir numeriske simuleringer (1, 2). Modellen beskriver strømmen av personer mellom ulike faser i sykdomsbehandlingen – her kalt forskjellige tilstander. Den har med andre ord to elementer: *Bestanden* av personer i gitte tilstander og *strømmen* av personer mellom tilstander (2–4). Modellen har inputverdier, enten eksternt definert eller internt generert, som definerer og styrer strømmen av personer. Ved å studere pasientstrømmer kan vi fokusere på behandlingsprosess og statistikk på et overordnet plan. Dette innebærer samtidig at en simuleringsmodell er en forenkling av virkeligheten. Vi modellerer bare det vi oppfatter som de mest sentrale sammenhengene i pasientforløpet. Jo flere sammenhenger modellen har, jo mer kompleks og vanskelig å gjennomskue blir analysen. Ulempene med forenklinger bør vurderes mot de fordeler man oppnår ved å skape et rammeverk med de faktorer som påvirker den prosessen man ønsker å analysere.

Vårt eksempel tar utgangspunkt i insidens av en sykdomstilstand som krever operasjon i sykehus. Pasientene strømmer fra en tilstand til en annen: diagnostisert, under behandling, og utskrevet. Tilgang på pasienter defineres stokastisk dvs. utsatt for tilfeldigheter. Prosessen kan defineres som en normalfordeling, poissonfordeling eller andre relevante fordelinger.

## Hovedbudskap

- En simuleringsmodell er utviklet for å belyse kapasitetsutnyttelse og pasientgjennomstrømming ved to ulikt organiserte sykehusavdelinger
- En kombinert akutt/elektiv avdeling har god kapasitetsutnyttelse og køavvikling, men pasienter strykes fra operasjonsprogrammet
- Separate elektive og akutte avdelinger gir forutsigbarhet for elektiv virksomhet, men mindre effektiv kapasitetsutnyttelse og mye overtid på akuttavdelingen. Det blir færre strykninger, men lengre ventetider enn i den kombinerte avdelingen

Tall fra SAMDATA 2003 viser at liggetider og forbruk av helsetjenester varierer fra helseregion til helseregion, og fra sykehus til sykehus (5). Simuleringene i denne artikkelen er ikke tilordnet rammebetingelsene til noe spesielt sykehus, og vi anslår statistiske fordelinger av ankomst og liggetid. Dette er gjort dels etter skjønn og dels på grunnlag av erfaring vi har tilegnet oss ved simulering av modellen. Parametrene for pasientankomst, liggetider, og kapasitet kan selvsagt tilpasses verdier for et virkelig sykehus, men foreløpig er våre analyser kun simuleringer av generelle mekanismer og funksjoner i pasienttilstrømning og kapasitetsutnyttelse.

Modellen er sammensatt av to deler (submodeller) som her blir beskrevet i en forenklet form.

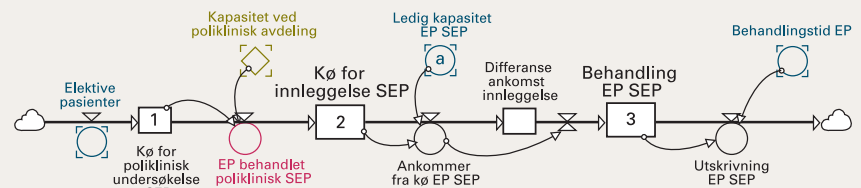
### Separate avdelinger

Den ene submodellen beskriver et sykehus der akutte og elektive pasienter behandles i to separate avdelinger. Behandlingen av elektive pasienter følger et program som ikke forstyrres av ankomst av akutt pasienter, og den akutte avdelingen behandler sine pasienter uten å ta kapasitet fra separat (skjermet) elektiv avdeling.

Den separate elektive avdelingen er vist i figur 1. Figuren leses fra venstre, og viser strømmen av elektive pasienter henvist av sin allmennlege til poliklinisk undersøkelse i sykehuset. Ankommer det flere pasienter enn det er kapasitet (20 undersøkelser daglig) blir de ordnet i en kø, firkant 1. Etter undersøkelsen settes pasienten opp i kø for innleggelse, firkant 2. Når det er ledig kapasitet, legges pasienten inn til operasjon, firkant 3. Pasientene behandles i tur og orden etter hvert som det blir ledig kapasitet, beskrevet i modellen i form av ledige senger. Ledig kapasitet (a) regnes ut fra totalt antall senger minus senger brukt til dagens inneliggende pasienter samt senger frigjort ved utskriving av pasienter. Kapasiteten er et fast antall senger, men det er modellert inn en funksjon som utløser en overtidskapasitet (b). Overtidskapasitet utløses i tilfeller der det ankommer flere pasienter enn det er tilgjengelig behandlingsskapasitet/sengeplasser til. Dette medfører at avdelingens reelle kapasitetsutnyttelse overstiger 100 % ved stor pågang av pasienter, og er under 100 % ved liten pågang.

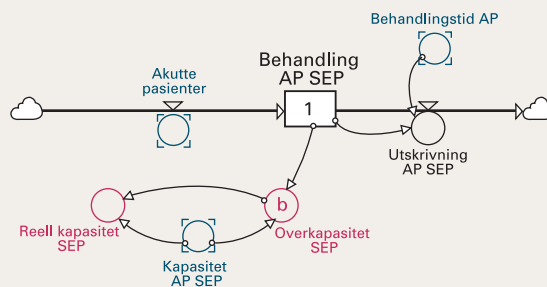
Figur 2 viser pasientstrømmen ved separat akuttavdeling. Akutt pasienten ankommer sykehuset. Pasienten undersøkes og opereres, firkant 1. Etter en viss behandlingstid skrives pasienten ut. Kapasiteten for separat akuttavdeling er definert som et gitt antall sengeplasser, men det er modellert inn en funksjon som utløser en overtidskapasitet (b). Overtidskapasitet utløses i tilfeller der det ankommer flere pasienter enn det er tilgjengelig behandlingsskapasitet/sengeplasser til. Dette medfører at avdelingens reelle kapasitetsutnyttelse overstiger 100 % ved stor pågang av pasienter, og er under 100 % ved liten pågang.

Figur 1



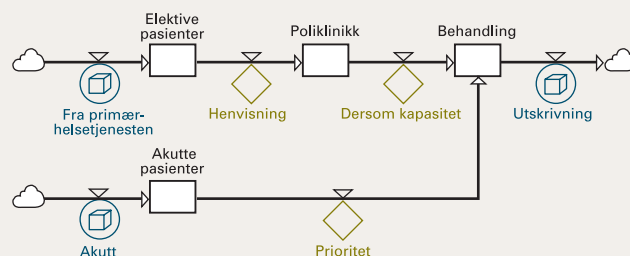
Pasientstrømmen ankommer sykehuset til separat elektiv avdeling først til poliklinisk undersøkelse, deretter kø for behandling, behandling og utskriving. EP = elektive pasienter, SEP = separat avdeling

Figur 2



Pasientstrømmen ankommer sykehuset til separat akuttavdeling til behandling og utskriving. AP = akutte pasienter, SEP = separat avdeling

Figur 3



Pasientstrømmene av akutte og elektive pasienter ankommer sykehuset til kombinert avdeling. Akutte pasienter behandles med en gang, mens elektive pasienter undersøkes poliklinisk, venter i kø for behandling, behandles og utskrives

### Kombinert avdeling

Den andre submodellen beskriver et sykehus der de to pasientgruppene behandles i en felles kombinert avdeling. Strømmen av elektive pasienter gis preferanse. Dette innebærer på den ene side at en elektiv pasient klargjort til operasjon, får utsatt sin operasjon dersom en akutt pasient ankommer og det ikke er ledig kapasitet. På den annen side vil samlet kapasitetsutnyttelse bli høy siden det ikke er ledig kapasitet som venter på akutte pasienter samtidig som det er elektive pasienter i kø for behandling.

Den kombinerte avdelingen samordner både de akutte og de elektive pasientstrømmene som presentert i de to forrige figurene. Som for den separate elektive avdelingen (fig 1) kommer den elektive pasienten til

undersøkelse i poliklinisk avdeling der det undersøkes 20 pasienter daglig. Deretter overføres pasienten til kø for innleggelse, og behandles når det er ledig kapasitet. Samtidig som elektive pasienter behandles, ankommer pasientstrømmen av akutt pasienter (fig 3). Akutt pasientene behandles med en gang. For å ivareta samordningen av pasientstrømmene innenfor felles kapasitetsramme er det modellert en fordelingsfunksjon. Kort forklart virker den slik at akutt pasientene legges inn med prioritet for behandling ved simuleringens første tidsintervall. Behandlingen av akutt pasientene trekkes fra avdelingens samlede sengekapasitet ved at stor tilstrømning av akutt pasienter forskyver et tilsvarende antall elektive pasienter klargjort for operasjon. Elektive pasienter med utsatt operasjon settes opp i en prioritert behand-

**Tabell 1** Forutsetninger for simuleringen av separat akutt og separat elektiv avdeling samt kombinert avdeling

Befolkning	100 000
Tilstrømning elektive pasienter per dag	20
Tilstrømning akuttpasienter per dag	Normalfordelt med forventning 30 og standardavvik lik 5,5
Sykehusets kapasitet	140 senger
Kapasitet separate avdelinger	Elektiv 40 %/akutt 60 %
Kapasitet poliklinikk	20 pasienter per dag
Behandlingstid elektive pasienter	Fast verdi 2,7 dager
Behandlingstid akuttpasienter	Normalfordelt med forventning 2,7 dager og standardavvik 0,5 dager
<i>Startverdier</i>	
Pasienter i poliklinisk kø	500
Pasienter i kø for behandling	1 000
Under behandling	20 elektive + 30 akutte pasienter

**Tabell 2** Sammendrag av resultater fra 10 simuleringer

10 simuleringer/180 dager	Separate avdelinger	Kombinert avdeling
Ventetid (dager)	Stabil på 73,6	61–69
Total kapasitetsutnyttelse (%)	96,4–98,5 <sup>1</sup>	Stabil på 100
Prioritert kø (pasienter)	Finnes ikke	29,4–30,6
Ventetid i prioritert kø (dager)	Finnes ikke	0,7
Ekstra kapasitet brukt på separat akutt avdeling	Overtid tilsvarende 3 faste sengeplasser	–
Ventetid når kombinert avdeling fikk ekstra kapasitet på 3 senger (dager)	–	52,7–63. Tatt over alle simuleringene vil gjennomsnittlig ventetid reduseres med 7

<sup>1</sup> Kapasitetsutnyttelsen ved separat akutt avdeling svinger mye. I simulering 2 varierer den mellom maksimumsverdi på 130 % og minimumsverdi på 50 %

lingskø, og de tas inn fortløpende til behandling. Når både akuttpasienter og den prioriterte køen er tatt unna, går resterende kapasitet til å behandle elektive pasienter fra ordinær kø. Ledig kapasitet regnes ut ved at dagens pasientbelegg minus utskrevne pasienter trekkes fra total sengekapasitet. En overtidskapasitet utløses når det blir så mange akuttpasienter at det ikke lenger er elektive pasienter å forskyve fra behandling.

Prioritering av akuttpasienter medfører noe usikkerhet for elektive pasienter ved innleggelse. Noen forskyves fra behandling og må vente i kort tid i prioritert kø til det er ledig kapasitet. Strykning på operasjonsprogrammet kan oppleves som en belastning for den enkelte pasient (6). På den annen side vil avdelingen ha en god kapasitetsutnyttelse. Når det ankommer få akuttpasienter og de har kort liggetid, vil avdelingen utnytte ledig kapasitet til å behandle elektive pasienter.

#### Antakelser i simuleringen

I simuleringene antar vi at det ankommer så mange pasienter at kapasitetsutnyttelsen blir 100 % dersom det er full forutsigbarhet (ingen stokastikk) om pasienttilstrømning og behandlingstid. Ventetider og overtidsbruk oppstår først når det introduseres usikkerhet om tilstrømning og behandlingstid. For å forenkle analysen har vi antatt at antall elek-

tive pasienter som ankommer avdelingene er konstant, og at antall akuttpasienter som ankommer er normalfordelt med forventning 30 og standardavvik på 5,5. Normalfordelingen for ankomst av akutte pasienter er trukket ved at bare positive verdier er tillatt.

Behandlingstid for elektive pasienter er gitt en fast verdi lik 2,7 dager. Behandlingstid for akuttpasienter er definert som en normalfordeling med en forventning på 2,7 dager og standardavvik lik 0,5 dager. Ifølge SAMDATA 2003 (5) er gjennomsnittlig liggetid for alle opphold (inkludert dagopphold) 3,91 dager, uten at dette avviker har noen prinsipiell betydning for selve bruken av vår modell.

Ved simuleringstart er det 500 mennesker i kø for poliklinisk undersøkelse og 1 000 mennesker i innleggelseskø. En kø sikrer at det hele tiden er tilsig av pasienter til behandling og avdelingen unngår ubenyttet kapasitet (4). Tidsenheten er satt til dager, og vi simulerer for en periode på et halvt år. Parameterverdiene i modellen er oppsummert i tabell 1.

#### Resultater

Resultater fra simuleringene fremstilles i form av ventetid og kapasitetsutnyttelse. En pasients samlede ventetid er beregnet som forventet tid den sist ankomne må vente til

behandling starter gitt behandlingsskapasitet og antall allerede i kø. Samlet ventetid er sum av ventetid til poliklinikk, behandlingsskapasitet og prioritert kø. Kapasitetsutnyttelse en dag beregnes som andel senger belagt med pasienter. Resultatet av simuleringene fremstilles som tidsserier. Tabell 2 oppsummerer resultatene fra ti simuleringer à 180 dager.

Fra tabell 2 ser vi at gjennomsnittlig ventetid på separat elektiv avdeling er konstant 73,6 dager for alle ti simuleringene (ingen stokastikk). I kombinert avdeling introduseres stokastikk for ankomst og liggetid for akuttpasienter, og gjennomsnittlig elektiv ventetid vil variere mellom 61 til 69 dager. Gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse i kombinert avdeling er tilnærmet 100 % for alle simuleringene, mens tilsvarende størrelse i systemet med separate avdelinger er mindre og varierer fra simulering til simulering. Ved få akuttpasienter vil kapasitet i kombinert avdeling nyttes til å behandle elektive pasienter. I separate avdelinger vil derimot kapasiteten stå ubrukt. Gjennomsnittlige overtidskapasitet i separat akuttavdeling er tre senger, mens det ikke ble brukt overtid i kombinert avdeling.

For pasientene er fordelene med separate avdelinger at risikoen for hjemsendelse og dermed å havne i prioritert kø faller bort. For kombinert avdeling vil antall pasienter i prioritert kø variere mellom 29,4 og 30,6. I gjennomsnitt må de vente 0,7 dager i prioritert kø for behandling.

Separat akuttavdeling generer overtid. Dette innebærer at den samlede ressurstilgangen for separat system blir større enn for kombinert avdeling. Vi korrigerer for dette ved å legge gjennomsnittlig overtidsbruk ved separat akuttavdeling (tre senger) til fast kapasitet i kombinert avdeling. Ved nye ti simuleringer finner vi at gjennomsnittlig ventetid i kombinert avdeling da reduseres med sju dager i forhold til ventetid før kapasiteten ble økt.

#### Diskusjon

Resultatene fra simuleringmodellen medfører følgende avveining: Overgang fra kombinert avdeling til skjermet avdeling for elektiv virksomhet medfører at strykninger og hjemsendelse av de elektive pasientene unngås. Samtidig medfører en mindre fleksibel bruk av total kapasitet at ventetiden for elektive pasienter øker, at den samlede kapasitetsutnyttelsen reduseres og overtidsbruken øker. I valg av organisasjon blir det dermed sentralt å kjenne den verdimesse avveining av behovene for kort ventetid i kø, og behovet for ikke å bli strøket av operasjonsprogrammet. Vi er ikke kjent med systematiske undersøkelser av denne avveiningen.

Egenskapene ved separate avdelinger, slik de simuleres i vår modell, er mindre gunstige enn det som av og til fremstilles i debatten om organisering av sykehusene. Samtidig kan aldri en modell bli bedre enn

de antakelsene den bygger på. I denne forbindelse ser vi to svakheter ved vår modell: Den ser bort fra mulige stordriftsfordeler og spesialiseringsgevinster i produksjonen av elektive behandlinger, og den ser bort fra mulige organisasjonsproblemer i ressurskoordineringen mellom akutt og elektiv virksomhet i den kombinerte avdelingen.

Det første argumentet har å gjøre med mulighet til å strømlinjeforme produksjon i planlagt virksomhet. Parallellen til samlebandsproduksjon er nærliggende. Hele dager settes av til samme type operasjon, noe som gir spesialiseringsgevinster i form av lite dødtid og raske operasjoner med få komplikasjoner. I samme retning trekker mulige organisasjonsproblemer i kombinerte avdelinger. Dette har sammenheng både med at store enheter har vanskeligere for å koordinere ressursbruk enn små enheter, og med at en kombinert avdeling skal koordinere flere typer aktiviteter enn en separat avdeling.

I modellen, hvor kapasitet måles i form av senger, undersøker vi hvor mye liggetiden må reduseres i separate avdelinger for at ventetiden skal bli tilsvarende som i den kombinerte avdelingen. Ved å redusere liggetid for elektive pasienter fra 2,7 til 2,5 dager oppnår vi en ventetid for separat elektiv avdeling som er lik ventetid ved kombinert avdeling. Dette innebærer at effektiviseringsgevinsten ved separat elektiv avdeling må være minst 7% for at gjennomsnittlig ventetid før behandling i separat avdeling skal være lik ventetid i kombinert avdeling.

I modellen er liggetiden for elektive pasienter konstant, mens den for akutte er antatt å være normalfordelt. Det å introdusere mer uforutsigbarhet i liggetiden (større varians i forhold til forventning) vil redusere mulighetene for planlegging av elektive operasjoner i kombinert avdeling, og dermed trekke i retning av flere strykninger. På den annen side vil kortere liggetid enn planlagt kunne

åpne for at pasienter kan «tas innimellom». For separate avdelinger vil mindre forutsigbarhet i liggetid trolig innebære mer bruk av overtidskapasitet på akuttavdelingen. Dette vil være kapasitet som alternativt kan overføres til en kombinert avdeling. Det er derfor ikke åpenbart hva nettovirkningen av å innføre stokastisk liggetid blir på ventetidene for de elektive i de to systemene. Men nettopp dette er jo en begrunnelse for å bruke simuleringer og åpner dermed spennende perspektiver for utvidelse av modellen.

Kapasitet målt i form av senger kan være en begrensning som vår modell ikke tar opp i tilstrekkelig grad. Separat akuttavdeling får tilført ekstra senger fra en pool som er ubegrenset. En engelsk studie viser derimot at en akuttavdeling bør ha maksimum 85% belegg. Sykehus med en buffer på 10% eller mindre løper stor risiko for sengekriser (7). Våre simuleringer er gjort uten bufferkapasitet, og viser slik sårbarhet overfor ankomst av pasienter for øyeblikkelig hjelp. Daglig kapasitetsbruk viser to tilfeller i løpet av et halvt år at avdelingene har så mange pasienter at behovet for sengeplasser øker med en tredel. Sengeplasser er ikke en begrensning i samme grad for kombinert avdeling, der mulighetene for hjemsendelse og lengre ventetid i ordinær kø er til stede.

Flaskehalsen kan skyldes mangel på personell eller operasjonsstuer. Også her tar vår simuleringmodell det for gitt at avdelingen fyller opp sine vaktlister fra en personellpool. I virkeligheten kan kanskje avdelingsleder ha problemer med å fylle opp vaktlistene? Men tidligere studier har ikke påvist noen sammenheng mellom ventetider for behandling og ressurs og pressfaktorer på sykehusene (8), så vi antar at problemet er mer komplekst enn den forklaringsvariabelen som det åpenbart er lettest å gripe til, f.eks. mangel på personell. Ut fra våre simu-

leringsresultater er den separate akuttavdelingen mest sårbar for personellmangel siden den bruker mye overtidskapasitet.

I kombinert avdeling står de elektive pasientene overfor usikkerhet på operasjonsdagen siden de «konkurrerer» med akutte pasienter om kapasitet. Erfaringer ved norske sykehus viser at det ankommer flest akuttpasienter i tidsrommet kl 12–20, med mest press på mandag, torsdag og fredag (9). Med god planlegging kan man muligens koordinere ressursbruk slik at strykninger av elektive operasjoner reduseres og elektive operasjoner passer inn med forventet ankomst av pasienter for øyeblikkelig hjelp. Som en kompensasjon for usikkerhet på operasjonsdagen får den elektive pasienten kortere tid i ordinær kø for behandling.

*Modellen er utviklet i samarbeid med Hilde Martinussen og Steinar Moen i Bergensfirmaet Powersim AS.*

#### Litteratur

1. Powersim 2.5 Reference Manual. Isdalstø: Powersim, 1996.
2. Powersim 2.5 Introduction to system dynamics. Isdalstø: Powersim, 1996.
3. Byrknes AH. Modellering og systemdynamikk. Oslo: Gyldendal, 2000.
4. Waaler HT, Iversen T. Køer som resultat av statistiske tilfældigheter. Tidsskr Nor Lægeforen, 1998; 118: 4742–5.
5. Huseby BM, red. SAMDATA somatikk 2003 – sammenligningsdata for den somatiske spesialisthelsetjenesten 2003. Rapport 1/04. Trondheim: SINTEF Unimed Helse, 2004.
6. Hauge HN. Strøket av programmet. Spesialoppgave. Oslo: Senter for helseadministrasjon, Universitetet i Oslo, 1999.
7. Bagust A, Place M, Posnett JW. Dynamics of bed use in accommodating emergency admission: stochastic simulation model. BMJ 1999; 319: 155–8.
8. Piene H, Loeb M, Hem K-G. Sykehuskapasitet og ventetid for behandling – er det noen sammenheng? Tidsskr Nor Lægeforen 2000; 120: 2988–92.
9. Norges offentlige utredninger. Hvis det haster... Faglige krav til akuttmedisinsk beredskap. NOU 1998: 9.