

# Regularitetsmodel for jernbaner

Af:

Civilingeniør, Ph.D. Anders Hunæus Kaas, Banestyrelsen rådgivning<sup>1</sup>

## 1. Baggrund

I 1998 gennemførte Banestyrelsen en række analyser af København-Ringsted projektets samfundsøkonomiske konsekvenser. Disse indgik i linieføringsrapporten, og dannede således grundlag for den efterfølgende offentlige høring. I forlængelse af dette arbejde har Banestyrelsen opbygget et stort modelkompleks, der kan opfylde de krav til mere detaljerede analyser, der stilles i forbindelse med projektets VVM-redegørelse [1].

Regularitetsproblematikken er generelt set et næsten uberørt tema i forbindelse med trafikmodeller, selvom begrebet er meget væsentligt i forbindelse med befolkningens transportmiddelvalg og rejserute. En ikke planlagt rejsetidsforlængelse vil normalt være forbundet med større gene end den planlagte. Det er derfor blevet besluttet at inddrage regularitetsproblematikken i København-Ringsted trafikmodellen [1].

Nærværende artikel beskriver således, hvordan at regularitetsforhold er blevet inddraget i det samlede København-Ringsted modelkompleks. Andre artikler til Trafikdage '99 beskriver mere detaljeret enkeltkomponenter af andre dele af modelkomplekset [1], [2], [3].

## 2. Metoder, analyser og fremgangsmåde

Arbejdet med regularitetsmodellen har i kort træk omfattet følgende forløb:

- Indsamling af data
- Opbygning af model
- Kalibrering af model
- Beregninger på model

Denne artikel beskriver primært punkterne 2 og 3, da disse især har været medvirkende årsag til de fornyende elementer i trafikmodelsammenhænge.

### 2.1 Busser, S-tog og privatbaner

Eftersom bustrafikken er sekundær i forbindelse med København - Ringsted projektet, udgør

---

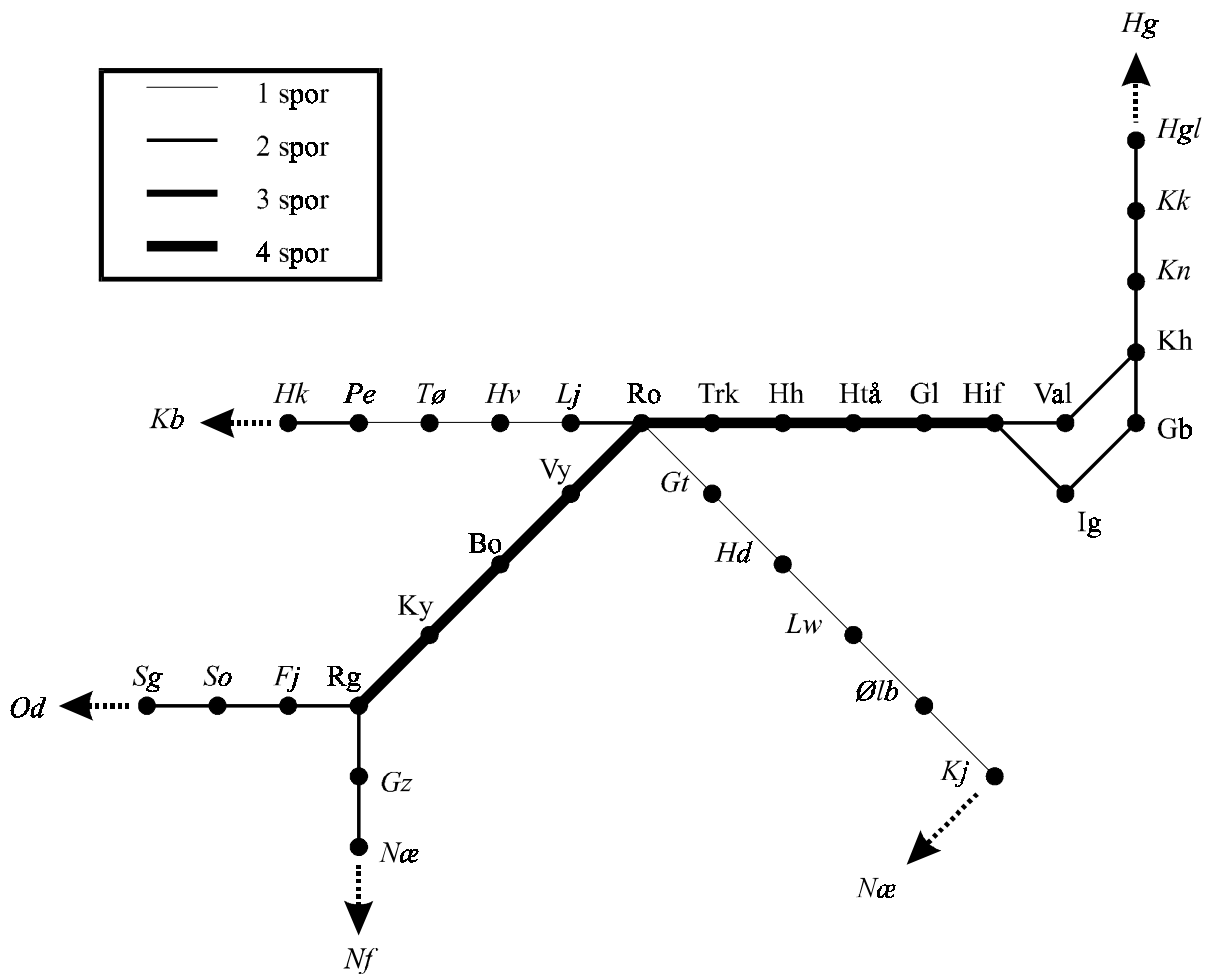
<sup>1</sup> Pilestræde 58, DK-1112 København K, E-mail: AHK@rdg.bane.dk

## Regularitetsmodel for jernbaner

disse analyser kun en lille del af regularitetsmodellen. Således er der på et meget overordnet niveau blevet indsamlet regularitetsdata vedrørende busdrift ved at rette henvendelse til HT samt udvalg af de amtskommunale trafikselskaber øst for Lillebælt. De indsamlede data har til formål at beskrive alle andre kilder til forsinkelser på en rejse end dem, som umiddelbart findes ved at analysere togtrafikken. Der har således indgået busregularitet i forbindelse med opbygning af et basisscenario, men i forbindelse med undersøgelse af egentlige løsnings-scenarier udregnes bussernes regularitet ikke på ny, da det antages, da denne vil være uafhængig af ændringer i jernbaneinfrastrukturen og togkøreplanen. Tilsvarende antagelser er ligeledes gjort for S-baner og privatbaner.

### 2.2 Modelopbygning

Regularitetsmodellen er således rettet imod analyser, hvor infrastrukturen eller driftsomfanget på regional-/hovedbaner øst for Lillebælt ændres. Et eksempel på dette er vist i nedenstående figur, hvor infrastrukturen mellem København H (Kh) og Ringsted (Rg) er udbygget til 4 fjernspor:



Figur 1 Evt. fremtidigt fjernbanenet omkring strækningen København - Ringsted [4]

Som det fremgår af ovenstående figur, så omfatter infrastrukturen mere end blot strækningen mellem København H (Kh) og Ringsted (Rg), hvor de infrastrukturmæssige ændringer forudsættes gennemført. Dette skyldes, at flaskehalse udenfor det egentlige analyseområde (København H – Ringsted) har indvirkning på regularitetsforholdene langt fra hvor forsinkelserne opstår. Eftersom infrastrukturen i regularitetsmodellen skal dække hele det område, som København-Ringsted trafikmodellen omfatter, er jernbanenettet i regularitetsmodellen mere omfangsrigt end angivet i figur 1. Jernbanenettet i regularitetsmodellen omfatter således strækningerne:

- København H (Kh) – Middelfart (Md)
- Ringsted (Rg) – Rødby Færge (Rf)
- Roskilde (Ro) – Køge (Kj) – Næstved (Næ)
- Roskilde (Ro) – Kalundborg (Kb)
- København H (Kh) – Helsingør (Hg)
- København H (Kh) – Kastrup (Cph)
- Hvidovre fjern (Hif) – Kalvebod (Klv)

Ovenstående infrastrukturnet danner således grundlag for opbygningen af simuleringsmodellen.

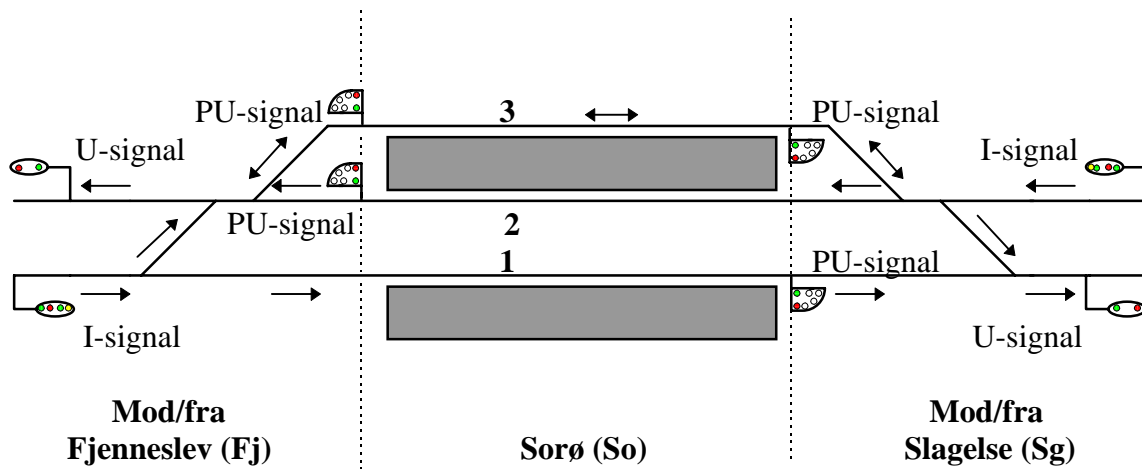
For at lette indtastningsarbejdet er der blevet konstrueret en række oversættere mellem de forskellige datamiljøer. Oversætterne er blevet udviklet på baggrund af datastrukturen i ASCII-filerne, som benyttes i de enkelte datamedier [1].

Det har således været muligt at indlæse dagens køreplan (vinter 98/99) ved hjælp af en oversætter, som har hentet oplysninger direkte fra en elektronisk køreplan (TKØ 98). Denne køreplan har udelukkende været benyttet i forbindelse med kalibrering af regularitetsmodellen (jf. afsnit 2.3), mens der til de egentlige modelkørsler har været benyttet principkøreplaner. Disse principkøreplaner, som anvendes i hovedparten af modulerne i København - Ringsted trafikmodellen, er det ligeledes muligt at indlæse automatisk vha. en oversætter.

Eftersom irregularitet i høj grad afhænger af belastningsgraden, er det oplagt at beskrive regulariteten ved hjælp af et simuleringsværktøj, som ligeledes benyttes til kapacitetsvurderinger. I et sådant værktøj er det nemlig muligt at beskrive regulariteten som funktion af belastningsgraden ved en given kombination af infrastruktur og køreplan. I regularitetsmodellen som er blevet udviklet i forbindelse med København-Ringsted trafikmodellen er simulationsprogrammet UX-SIMU således blevet anvendt.

At et simuleringsværktøj er så velegnet til at beskrive irregulariteten, skyldes de meget komplekse forhold, som gør sig gældende, når et tog forsinkes. Alt afhængig af forsinkelsens størrelse, hvor den optræder og belastningsgraden i systemet, vil denne forsinkelse nemlig kunne sprede sig til også at forstyrre andre tog i systemet [4].

I UX-SIMU er det muligt at beskrive infrastrukturen meget detaljeret med f.eks. placering af signaler, sporskifter o.lign., som det fremgår er figuren øverst på næste side.



Figur 2 Skematisk spor- og signalplan for Sorø (So) [4], [7]

Udover opbygningen af de fysiske infrastrukturelementer er togenes køreegenskaber og forskellige trafikdisponeringsregler indlæst i UX-SIMU, således at en simulering på bedste vis kan afspejle togtrafikken i den virkelige verden. For at gøre dette muligt, er det ligeledes nødvendigt at definere, hvorledes at togene forsinkes, hvilket beskrives i det følgende afsnit.

### 2.3 Modelkalibrering

At beskrive hvorledes at togene grundlæggende forsinkes, er i sig selv en vanskelig opgave, da der dels optræder systematiske fejl i infrastrukturen og på materiellet. Disse fejl vil ligeledes kunne optræde mere eller mindre tilfældigt. Endvidere vil jernbanedriften kunne påvirkes af udefrakommende forstyrrelser (f.eks. i forbindelse med personpåkørsler o.lign.).

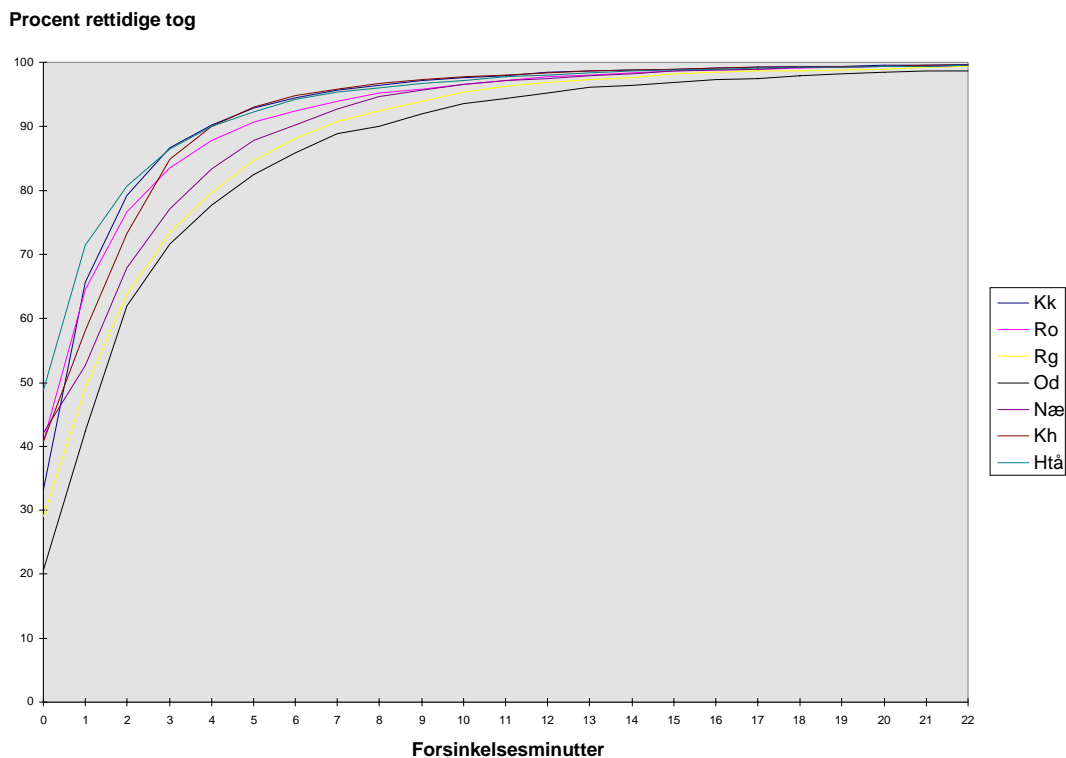
Det er derfor nødvendigt at analysere et statistisk datamateriale, som beskriver disse forhold ud fra nogle observerede driftserfaringer. Til dette formål er regularitetsdatabasen (RDS), som registrerer stort set alle togforsinkelser på Banestyrelsens jernbaner, blevet benyttet til udtræk af relevante data, som er blevet registreret i oktober 1998.

I figuren øverst på næste side er givet et eksempel på et bearbejdet datasæt fra RDS, hvor rettidigheden i oktober 1998 for regionaltog på en række større stationer er blevet opgjort.

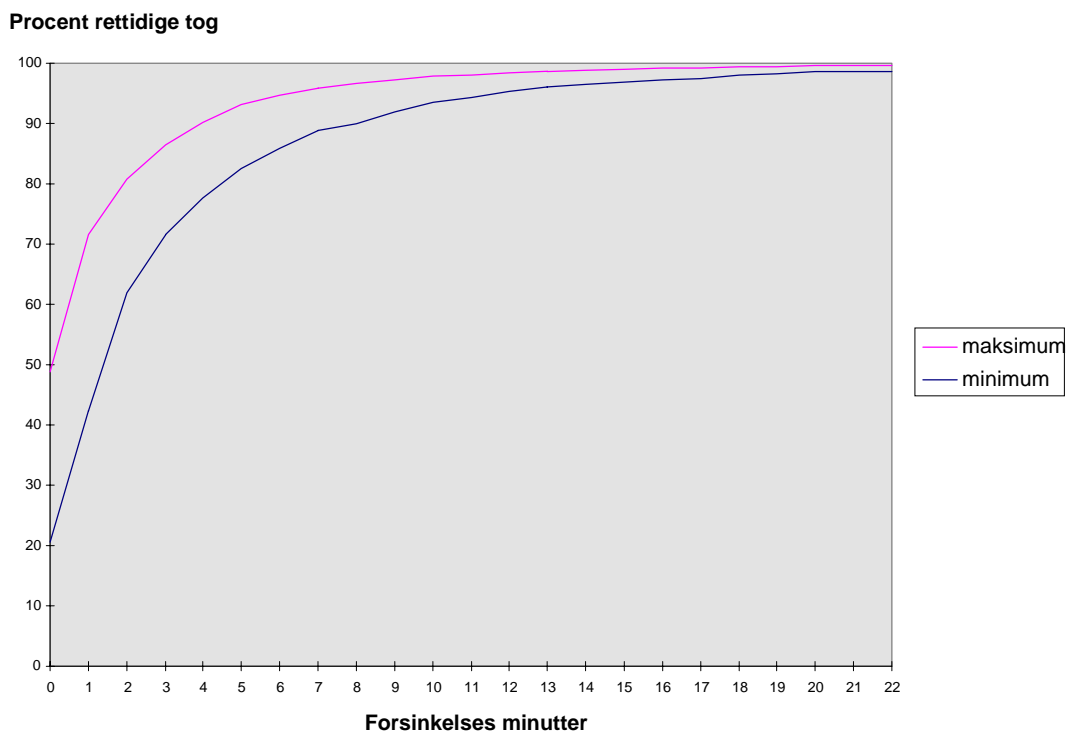
Kurverne er således udtryk for den forsinkelsesfordeling, som beskriver toggangen på de enkelte stationer. Målet er at opnå de samme resultater i UX-SIMU, når der benyttes de forudsætninger mht. infrastruktur og køreplan, som var gældende i oktober 1998. Det vil være yderst tidskrævende (praktisk taget umuligt) at opnå præcis de samme fordelinger, hvorfor der i forbindelse med kalibreringen er blevet accepteret, at den trafik som simuleres i UX-SIMU ”bare” skal have en regularitet på niveau med trafikken i oktober 1998.

De forsinkelsesfordelingerne som er fundet på flere forskellige større stationer forenkles der-

# Regularitetsmodel for jernbaner



Figur 3 Ankomstfordeling for regionaltog



Figur 4 "Bånd" for ankomstfordeling for regionaltog

## Regularitetsmodel for jernbaner

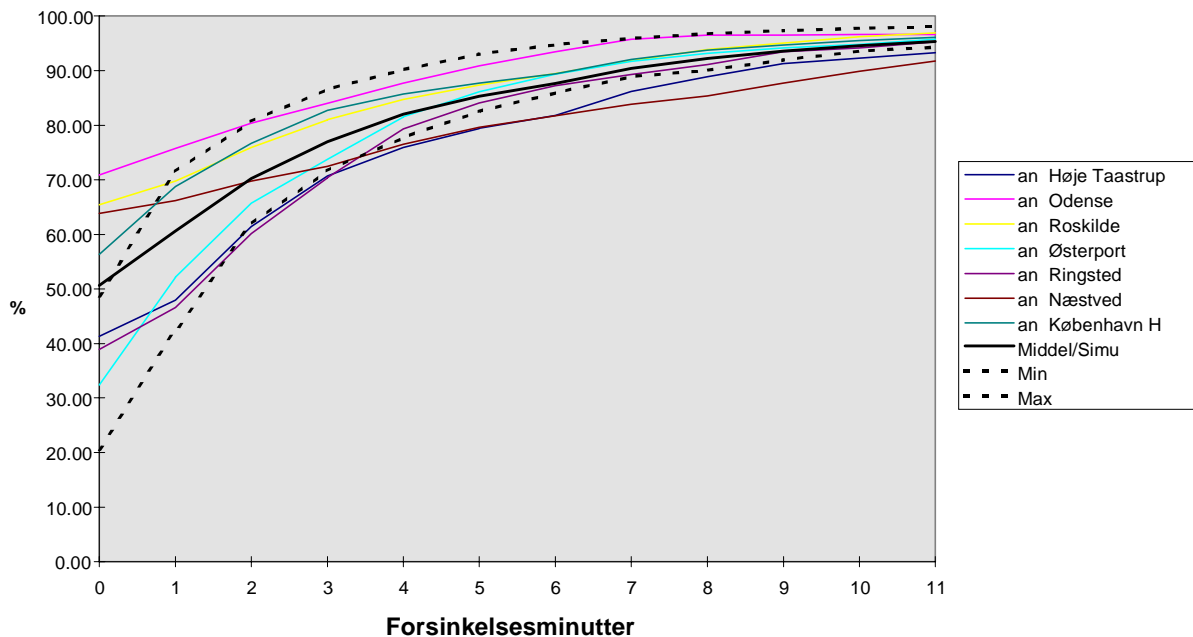
for til være en fælles forsinkelsesfordeling, der er repræsenteret ved en max. og en min. forsinkelsesfordeling, som vist i figur 4. De 2 forsinkelsesfordelinger udspænder herefter et ”bånd”, som vil kunne sammenlignes med forsinkelsesfordelinger, som opnås ved at benytte UX-SIMU.

I UX-SIMU er det muligt at påføre den planlagte trafik (Vinterkøreplan 1998-1999) en række forsinkelser på udvalgte stationer. Disse angives som stokastiske parametre i henhold til de forsinkelsesfordelinger, som er observeret i den faktiske driftsafvikling (RDS).

Således beskrives nogle realistiske driftsforløb for dagens drift, som derefter kan videreudvikles til også at omfatte andre trafikmængder/-sammensætninger.

Ved at justere på de normalt anvendte forsinkelsesfordelinger i UX-SIMU, skabes regularitetsforhold, som stemmer overens med dem, der fremkommer ved udtræk fra regularitetsdatabasen RDS, hvilket fremgår af nedenstående figur.

**Procent rettidige tog**



Figur 5 Forsinkelsesfordeling for regionaltog i UX-SIMU på forskellige stationer.

Kurven ”Middel/Simu” er en vægtet middelværdi af ankomsterne på de respektive stationer. Denne viser, sig at ligge inden for det bånd, der er udspændt af minimums- og maksimumsværdierne fra RDS. Hermed betragtes modellen som tilfredsstillende kalibreret mht. regionaltogstrafikken.

På lignende vis er lyntogene ligeledes blevet bearbejdet, således at hele regularitetsmodellen kan betragtes som tilfredsstillende kalibreret ud fra regularitetsforholdene i oktober 1998.

Ovenstående kalibrering danner grundlag for de modelkørsler, som efterfølgende er blevet

gennemført på de scenarier, som behandles i København-Ringsted trafikmodellen. Der er således ved alle<sup>2</sup> modelkørsler blevet benyttet forsinkelsesfordelinger i UX-SIMU, som svarer til dem kalibreringen har resulteret i.

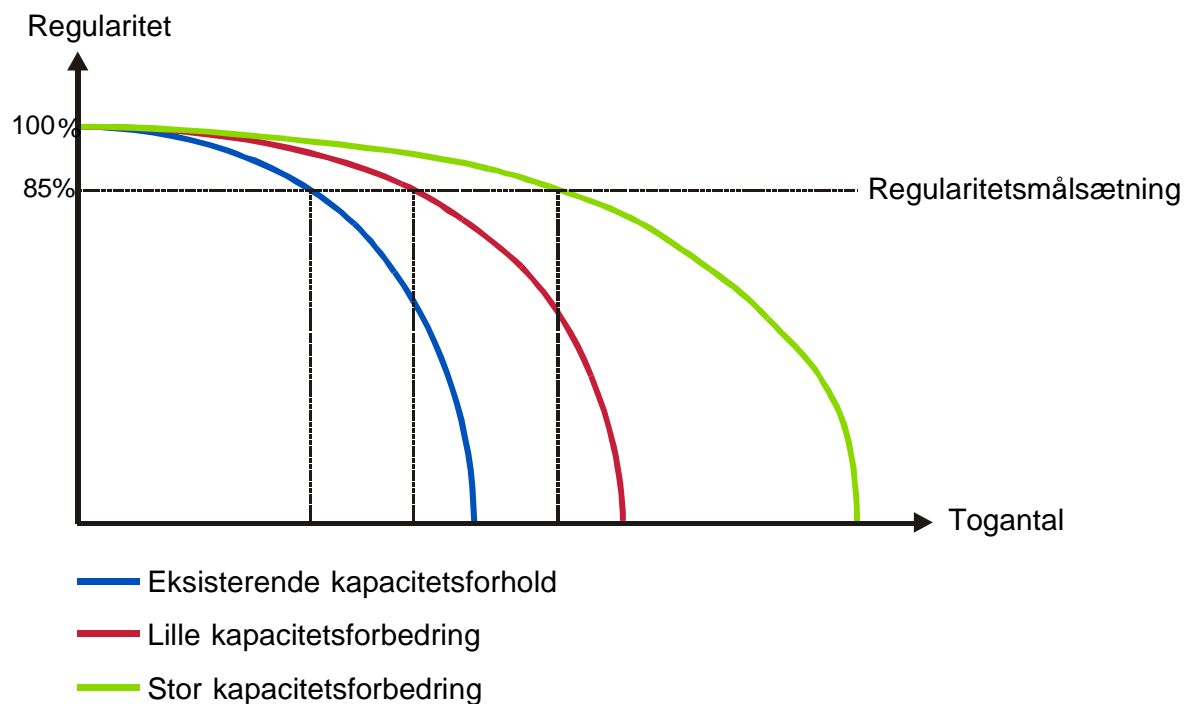
### 3. Konklusion

Det primære formål med regularitetsmodellen har været at levere elektroniske data til København-Ringsted trafikmodellen vedr. regularitetsforhold. Sekundært har hele arbejdet dog også givet vigtige input til Miljøredegørelsens fagnotat i København-Ringsted projektet vedrørende kapacitets-/regularitetsforhold.

Endelig har arbejdet med regularitetsmodellen været en vigtig brik i hele den diskussion som i øjeblikket er højaktuel - Nemlig at kunne tilpasse en infrastruktur og køreplan, således at der opnås en god regularitet. Denne problematik kan dog ikke alene løses ved hjælp af regularitetsmodellen, men skal således ligeledes understøttes af detaljerede årsagsforklaringer, som observeres i den daglige drift.

Her vil regularitetsdatabasen RDS være til stor hjælp, da der i denne stort set er oplysninger om forsinkelsesårsagen på alle de tog, som ikke kører rettidigt.

Det må således forventes, at der også i fremtiden ligger en stor opgave i at få styr på regularitetsbegrebet, eftersom der stadig er mange uafklarede spørgsmål.



Figur 6 Regularitet som funktion af togantal og kapacitet

<sup>2</sup> I de fremtidsscenarier hvor der bygges ny infrastruktur eller forudsættes nyt materiel, er middelforsinkelserne blevet reduceret med 5% - 10%, da graden af nedslidt materiel og infrastruktur vil være mindre, hvilket giver anledning til færre forsinkelsesårsager, som direkte kan relateres til fejl i infrastruktur eller materiel.

Figur 6 er således et udtryk for nogle af de mere detaljerede undersøgelser, som man med god grund i fremtiden kunne kigge nærmere på, da sammenhængen mellem regularitet og kapacitet er en størrelse, som er meget vanskelig at fastslå. Ved at gennemføre den slags analyser på en lang række projekter, vil det dog være muligt at få en klarere fornemmelse af nogle generelle sammenhænge mellem regularitet, trafikmængde og kapacitet.

### 4. Referencer

- [1] København-Ringsted modelkomplekset – Fra togsimulering til samfundsøkonomi  
Otto Anker Nielsen m.fl.  
Trafikdage'99 på AUC (Bind 1, side 51-66)
- [2] En model for passagerers rutevalg under hensyntagen til kapacitets og regularitetsproblemer  
Otto Anker Nielsen, Goran Jovicic & Jens Møller-Pedersen  
Trafikdage'99 på AUC (Bind 2, side 461-476)
- [3] En stokastisk flerklasse vejvalgsmode med fordelte koefficienter for omkostninger og tid  
Otto Anker Nielsen & Rasmus Frederiksen  
Trafikdage '99 på AUC (Bind 2, side 483-494)
- [4] Metoder til beregning af jernbanekapacitet  
Anders Hunæus Kaas  
Ph.D.-afhandling - Rapport nr. 6 på Institut for Planlægning (DTU), juni 1998
- [5] Kapacitetsfremmende tiltag for jernbanesystemer  
Anders Hunæus Kaas  
Trafikdage'98 på AUC (Bind 2, side 711-720)
- [6] EDB-simuleringsmodeller til brug ved jernbaneplanlægning  
Anders Hunæus Kaas & Volker Klahn  
Trafikdage'97 på AUC (Bind 2, side 391-401)
- [7] Udvikling og praktisk anvendelse af kapacitetsmodel for jernbaner  
Anders Hunæus Kaas, Dorte Filges & Mogens Nielsen  
Trafikdage'96 på AUC (Bind 2, side 835-845)
- [8] Optimering af jernbaneblokaftande ved ATC anlæg  
Anders Hunæus Kaas  
Trafikdage'95 på AUC (Bind 1, side 185-192)