

# Benefitmodel – togpassagerers tidsgevinster ved regularitetsforbedringer

Trafikplanlægger Jane Ildensborg-Hansen,  
TetraPlan A/S, København ([jih@tetraplan.dk](mailto:jih@tetraplan.dk))

## Indledning

Banedanmark arbejder pt. på at tilvejebringe et beslutningsgrundlag med hensyn til fastlæggelse af en strategi inden for signalområdet. I den forbindelse har TetraPlan for Banedanmark udviklet en benefitmodel, der beregner den samfundsøkonomiske værdi af passagerernes forventede tidsgevinster ved regularitetsforbedringer, eksempelvis opnået ved en indsats på signalområdet. De samfundsøkonomiske gevinster beregnes som værdien af den sparede tid, passagererne oplever som følge af den forbedrede regularitet.

Benefitmodellen skal benyttes af Banedanmark i deres løbende behov for at kunne foretage en prioritering mellem forskellige indsatser eller projekter i eksisterende infrastruktur til forbedring af regulariteten for togtrafikken.

I denne artikel er der fokuseret på beskrivelse af Benefitmodellens datagrundlag samt modelsammenhænge. På indlægget ved konferencen vil der endvidere blive præsenteret eksempler på anvendelse af modellen.

## Overordnet beskrivelse af Benefitmodellen

Når togrejsende oplever forsinkelser på en rejse forøges deres rejsetid og de påføres et tidstab i forhold til den planlagte rejse (ifølge køreplanen).

Benefitmodellen beregner den samfundsøkonomiske værdi af passagerernes forventede årlige tidsgevinster ved gennemførelse af et regularitetsforbedrende tiltag, der mindsker forsinkelserne. Benefitmodellen opererer på strækningsniveau forstået på den måde, at modellen beregner passagergevinsterne opgjort på strækninger på baggrund af en given forbedring af regulariteten på en eller flere strækninger. På denne måde kan modellens resultater benyttes som et led i en prioritering mellem indsatser på forskellige strækninger.

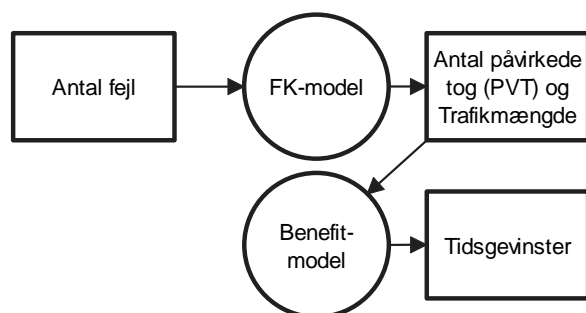
Benefitmodellen er udviklet således, at den kan benyttes i sammenhæng med Banedanmarks fejlkonsekvensmodel (FK-model). Et typisk procesforløb er angivet i figur 1. Et regularitetsforbedrende tiltag har i første omgang en effekt på antallet af fejl på de relevante strækninger. I FK-modellen beregnes hvor mange påvirkede tog<sup>1</sup> (PVT), disse fejl har som konsekvens på de enkelte strækninger. Disse resultater udgør derefter input i

---

<sup>1</sup> Et påvirket tog er enten akut aflyst eller forsinket mere en 5.59 min. på fjernbanen eller 2.29 min på S-banen.

Benefitmodellen, der beregner de samfundsøkonomiske gevinster ved en forbedring af regulariteten i form af reduktion i det tidstab, som passagererne påføres som følge af togforsinkelserne.

Figur 1: Overordnet sammenhæng mellem FK-modellen og Benefitmodellen



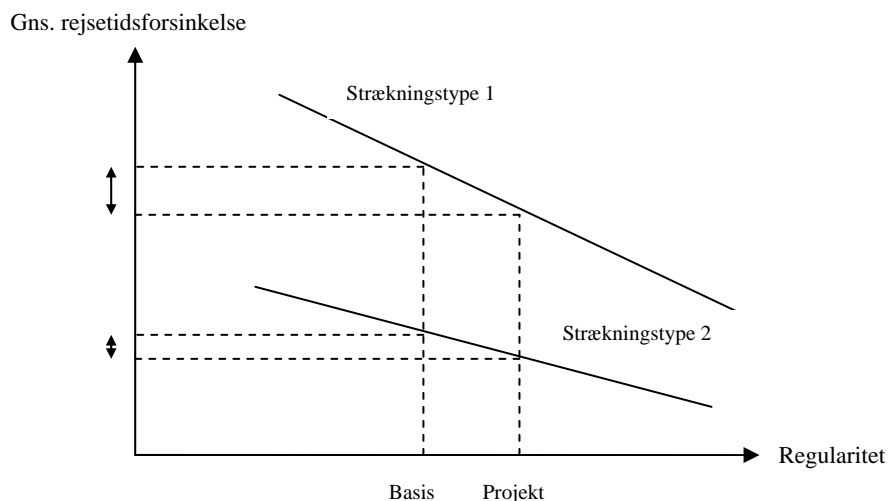
Benefitmodellen kan anvendes til beregninger for tidsperioden 2007-2050. Tidsgevinsterne beregnes for hele det danske banenet opdelt på 32 delstrækninger. Modellen tager udgangspunkt i regulariteten opgjort strækningsvis i en basissituation og en projektsituation og beregner tidsgevinsterne som følge af forskelle i regulariteterne mellem de to situationer.

Benefitmodellen er baseret på en estimeret sammenhæng mellem den observerede regularitet og gennemsnitlig rejsetidsforsinkelse. Datagrundlaget for beregning af den gennemsnitlige rejsetidsforsinkelse er den realiserede køreplan for 25 hverdage i 2004 som er holdt op mod den planlagte køreplan. For både den planlagte køreplan og den realiserede køreplan er for hver dag beregnet, hvordan passagererne vælger at gennemføre deres rejse. Beregningerne er foretaget med den køreplanbaserede assignmentmodel TPSchedule. Resultatet af disse beregninger er de enkelte passagerers tidsforbrug opgjort på forskellige tidssegmenter. Den gennemsnitlige rejsetidsforsinkelse fås derved som forskellen mellem tidsforbruget i den planlagte køreplan og i den realiserede køreplan.

Der er estimeret en række lineære sammenhænge mellem den observerede regularitet og den gennemsnitlige rejsetidsforsinkelse for fire grupper af strækninger. På baggrund af de estimerede sammenhænge og inputtet til modellen i form af regularitet i en basissituation og i en projektsituation beregnes gevinsterne i form af sparet forsinkelsestid i modellen. Princippet er illustreret i figur 2.

Beregningen af passagerforsinkelser og estimationen af sammenhænge mellem regularitet og gennemsnitlig rejsetidsforsinkelse beskrives nærmere i det følgende afsnit.

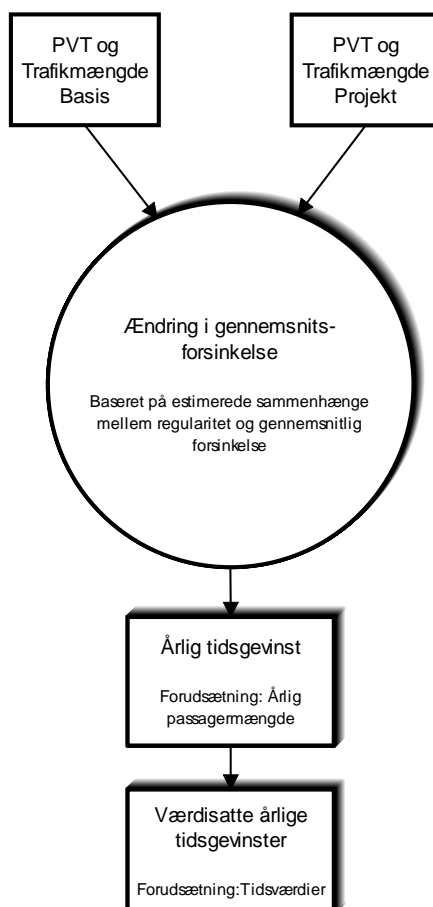
Figur 2: Sammenhæng mellem regularitet og gennemsnitlig rejsetidsforsinkelse.



Som det fremgår af figuren tager Benefitmodellen hensyn til at regularitetsforbedringer har forskellige effekter i form af færre rejsetidsforsinkelser for forskellige strækninger.

Den overordnede beregningsgang i Benefitmodellen er illustreret i figur 3.

Figur 3: Beregningsgangen i Benefitmodellen.



Input til Benefitmodellen består af antallet af påvirkede tog (PVT) og trafikmængder (antal ankomster til udvalgte centrale stationer) for hver af de 32 strækninger for en basissituation og en projektsituation. På baggrund af PVT og trafikmængder kan regulariteten beregnes for hver strækning.

Som illustreret i figur 2 findes nu med udgangspunkt i regulariteten for hver af de 32 strækninger i basis- og projektsituationen gevinsterne i form af mindre gennemsnitlige rejsetidsforsinkelser.

Med udgangspunkt i en årlig passagermængde per strækning og den beregnede gennemsnitlige tidsgevinst beregnes den årlige tidsgevinst. Passagermængden er opgjort på forskellige turformål og den gennemsnitlige tidsgevinst er opgjort på tidssegmenter.

Det sidste skridt i beregningen er værdisætningen af tidsgevinsterne. Til dette benyttes tidsværdier opgjort på tidssegmenter og turformål.

I beregning med modellen er det muligt at vælge mellem at regne med tidsværdier og passagermængder som i udgangsåret eller fremskrevet over beregningsårene.

## **Sammenhænge mellem regularitet og forsinkelser i modellen**

### **Beregning af passagerforsinkelser**

Beregningen af passagerernes forsinkelser tager udgangspunkt i en beregning med den køreplanbaserede assignmentmodel TPSchedule. I 2004 blev der til Trafikministeriet udviklet en TPSchedule-model til beregning af tidstab som følge af forsinkelser i passagertogs-systemet, og det er denne model, der benyttes.

Modellen beregner for både den planlagte og den realiserede køreplan per dag, hvordan passagererne vælger at gennemføre deres rejse. Resultatet af disse beregninger er de enkelte passagerers tidsforbrug opgjort på forskellige tidssegmenter og på baggrund heraf kan passagerernes tidstab ved en realiseret køreplan i forhold til en planlagt køreplan opgøres. I modellen sikres, at passagererne i situationen med den realiserede køreplan vil forsøge at komme med et tog, der afgår på det samme tidspunkt som anført i den planlagte køreplan.

Datagrundlaget for beregningerne er den realiserede køreplan for 25 hverdage fordelt over hele år 2004 uden for ferie- og helligdagsperioder. Beregningerne er endvidere gennemført for den planlagte tjenestekøreplan for uge 11. Det antages at den planlagte køreplan for efteråret er identisk med den planlagte køreplan for foråret.

For hver af de beregnede dage opgøres passagerernes tidsforbrug på 32 banestrækninger. Tidsforbruget opgøres på følgende segmenter: Skjult ventetid, første ventetid, køretid og skiftetid.

Ved gennemførelse af beregningerne udskrives rutefiler, som indeholder detaljerede oplysninger om de enkelte passagerers rejse, herunder rutevalget samt hvor passageren skifter undervejs etc. Herudfra kan beregnes passagerens tidsforbrug opdelt på de enkelte tidssegmenter, og endvidere kan det opgjorte tidsforbrug tillægges de korrekte strækninger.

For hvert af tidssegmenterne beregnes det samlede tidsforbrug for hver af de 32 strækninger for både den planlagte og den gennemførte køreplan. Endvidere opgøres antallet af tilbagelagte passagerkilometer samt antallet af passagerer for hver strækning. På baggrund heraf beregnes et gennemsnitligt tidsforbrug per passager/passagerkilometer for begge situationer og forskellen mellem de to opgøres som tidstab (i nogle tilfælde en tidsgevinst) per passager/tilbagelagt passagerkm for hver strækning.

For hver strækning findes dermed for hver dag en opgørelse af tidstab fordelt på de enkelte tidssegmenter.

Ved beregningen af den realiserede køreplan antages det, at passagererne ikke har kendskab til eventuelle forsinkelser og derfor ankommer til stationen som om alle tog kører i henhold til den planlagte køreplan. Men fra det tidspunkt, passagererne er på afrejsestationen antages at de er fuldt oplyst om alle forsinkelser, også fremtidige.

### **Estimation af sammenhænge mellem regularitet og forsinkelser**

På basis af de beregnede passagerforsinkelser og den observerede regularitet for de 25 hverdage er estimeret en generel sammenhæng til beskrivelse af ændringer i forsinkelser som følge af ændringer i regularitet.

Den estimerede sammenhæng tager udgangspunkt i de beregnede passagerforsinkelser, som er forsinkelser som følge af alle forsinkede tog. Ligeledes er den observerede regularitet opgjort ud fra alle påvirkede tog (PVT), det vil sige alle PVT som følge af fejl genereret af Banedanmark, operatører eller eksterne forhold.

I opstillingen af sammenhænge mellem forsinkelser og regularitet er der fokuseret på at opstille de bedst mulige sammenhænge både med hensyn til forklaringsgrad og i forhold til at vælge de mest logiske sammenhænge. Regulariteten kan opgøres på forskellige måder, og i analysearbejdet er undersøgt, hvilket regularitetsbegreb der giver de bedste sammenhænge til forsinkelserne. Ligeledes kan de gennemsnitlige forsinkelser opgøres forskelligt (per passager, per passagerkm.).

De bedste sammenhænge er fundet med udgangspunkt i forsinkelser opgjort pr. passagerkm. og regularitet opgjort som togregularitet, hvor sidstnævnte er beregnet som:

Togregularitet = (Antal realiserede tog – PVT) / Antal realiserede tog.

Forsinkelserne er opgjort pr passagerkm. da der herved tages hensyn til, at strækningerne ikke har samme længde. Der er større sandsynlighed for at blive forsinket, jo længere man rejser.

Sammenhængen mellem regularitet og forsinkelse kan overordnet tilgås fra to perspektiver: En disaggregeret strækingsvis opgørelse eller en aggregeret opgørelse på det samlede banenet. Begge tilgange er undersøgt. Da den disaggregerede opgørelse giver det bedste resultat og da Benefitmodellen skal benyttes til at konsekvensvurdere regularitetsforbedringer på enkelte strækninger er det valgt at benytte resultaterne fra den strækingsvise estimation i Benefitmodellen.

For at sikre at estimationen er baseret på et "robust/tilstrækkeligt" datagrundlag er estimationen af sammenhænge foretaget for grupper af strækninger i stedet for at estimere en sammenhæng for hver af de 32 strækninger.

Inddelingen af strækningerne i grupper er baseret på dels frekvensen på strækningerne og dels efter hvordan strækningerne indbyrdes er afhængige, ud fra hvordan konsekvenserne af fejl på en strækning spredes på hele nettet. For fjernbanen og S-banen er definitionen af om et tog er påvirket forskellig, og disse to strækningstyper er derfor grupperet hver for sig.

Den endelige gruppering er:

- Hovedstrækninger på Sjælland og Fyn
- Hovedstrækninger i Jylland
- Øvrige fjernbaner
- S-togslinier

På baggrund af dataanalyserne vurderes det, at der ikke er grundlag for at estimere andet end lineære sammenhænge mellem regulariteten og tidsforsinkelserne.

Da resultaterne af sammenhængen skal benyttes til at vurdere ændringer i regulariteten er niveauet for de forskellige strækningssammenhænge irrelevant. Derfor er der i estimationen indført en strækningsspecifik konstant for hver strækning, således at niveauforskellene mellem de enkelte strækninger elimineres.

I tabel 1 er vist de estimerede sammenhænge mellem en forbedring i togregulariteten på 10% og reduktion i forsinkelse (dvs. tidsgevinst). Tabellen præsenterer også korrelationskoefficienterne fra de gennemførte estimationer.

Tabel 1: De estimerede sammenhænge mellem togregularitet og forsinkelse

Reduktion i forsinkelse ved en 10% forbedring af Togregulariteten		
Strækningsgruppe	Minutter per 10 passagerkm	R <sup>2</sup>
Hovedstrækninger Sjælland/Fyn	0.3969	0.837
Hovedstrækninger i Jylland	0.442	0.640
Øvrige fjernbaner	0.4799	0.407
S-baner	0.6969	0.856

## Validering af de estimerede sammenhænge

På basis af de etablerede sammenhænge er for hver af de 25 dage beregnet hvad der måtte forventes af samlede forsinkelser som følge af regulariteten de pågældende dage.

En sammenligning af det gennemsnitlige resultat per dag baseret på de 25 dage med den observerede forsinkelse viser, at estimationen er god til at reproducere den samlede forsinkelse på banenettet (0% afvigelse). Endvidere opnås der generelt en ret præcis reproduktion af forsinkelsen på de enkelte strækninger (afvigelsen ligger på mellem -2% til 5%).

## Konklusion

Det har vist sig at være muligt at etablere en valid og anvendelig benefitmodel til brug for konsekvensvurderinger af regularitetstiltag i eksisterende infrastruktur.