

## Effektberegning af jernbaneprojekter - hvordan beregnes de trafikafhængige effekter ?

Ph.d. studerende Sten Hansen  
Center for Trafik & Transport, DTU<sup>1</sup>  
Bygning 115, 2800 Lyngby  
Tlf. direkte 45 25 15 38 Telefax 45 93 64 12  
E-post: shansen@ivtb.dtu.dk

### 0 Indledning

I de senere år er samfundsøkonomiske vurderingsmetoder anvendt mere og mere til at understøtte beslutninger om jernbaneinfrastrukturprojekter i Danmark. Debatten om disse metoder drejer sig ofte om selve værdisætningsspørgsmålet, f.eks. den monetære værdi af tid. Dette indlæg vil fokusere på det beregningstrin, der går forud: Kvantificeringen af effekterne i fysiske termer, der er et nødvendigt input til de samfundsøkonomiske beregninger (og andre typer beslutningsstøtte).

Generelt kan værdisætningsspørgsmålet bedre håndteres på tværs af trafikmidler (f.eks. værdien af støj), mens effektberegningen – særlig de trafikafhængige effekter – er trafikmiddelspecifik. Jernbanetraffic har helt andre karakteristika mht. kapacitet, sikkerhedsregler, afvikling osv. end f.eks. vejtrafik. Ligeledes er der ved jernbaneprojekter ofte tale om net- eller systemeffekter, hvilket betyder at en lokal analyse ikke altid er tilstrækkelig. Endelig er jernbanetraffic planlagt, dvs. resultatet af en lille mængde individers beslutning, hvor trafikken på en vej er resultatet af en meget stor mængde individers beslutning. Dette giver en forskellig måde at skulle kvantificere effekter på i praksis.

Dette indlæg sætter særlig fokus på de effekter/konsekvenser, der er relateret til den fremtidige trafik, hvorimod anlægsomkostninger og de fleste miljøeffekter ikke behandles.

En central indgang til vurdering af jernbaneprojekter er fremskrivning af den fremtidige trafik, dvs. trafikeringen med tog.

### 1 Projektvurdering

Projektvurdering omfatter vurdering af et enkelt projekt, valg mellem alternativer eller rangordning af (ensartede) projekter, dvs. puljeprioritering. Nogle af de aktuelle jernbaneprojekter har bør rettelig betegnes mega-projekter, fordi investeringens størrelse giver et særligt beslutningsforløb.

Generelt inddeles vurderingen af et infrastrukturprojekt i 3 trin:

1. Opstilling af alternativer (herunder basisalternativ)
2. Beregning af effekter/konsekvenser (her med fokus på de trafikafhængige)
3. Beslutningsstøtte (f.eks. samfundsøkonomi)

Afhængig af projektets type og formål kan beslutningsstøtte f.eks. være en driftsøkonomisk vurdering, en samfundsøkonomisk vurdering (cost-benefit), en multikriteriemetode eller en rangordning efter projektets hovedeffekt pr. investeret krone. Valget af beslutningsstøttemetode styres i et vist omfang efter hvilken, der med mindst indsats giver beslutningstageren tilstrækkelig information til at træffe

---

<sup>1</sup> CTT, tidligere: Inst. for Planlægning-trafikstudier  
samt Banestyrelsen rådgivning (ScanRail Consult), E-post: sh@rdg.bane.dk

beslutning. Eksempelvis vil etablering af fjernstyringsanlæg, der sparer mandskab til trafikstyring, kunne vurderes driftsøkonomisk, og et program for nedlæggelse af et stort antal overkørsler kan bestå af en rangordning efter de sparede ulykker pr. investeret krone. Den samfundsøkonomiske vurdering er f.eks. oplagt ved etablering af en større ombygning, hvor vurdering af virkning på trafikanterne er væsentligt for at beskrive projektets fordele.

Opstilling af alternativer afhænger af beslutningssituationen (f.eks. valg mellem 4 linieføringer eller om et dobbeltsporsprojekt skal gennemføres eller ej. I ekstreme tilfælde valg mellem investering i infrastruktur vs. rullende materiel). For jernbaneprojekter udgør opstilling af basisalternativ ofte en særlig problemstilling. Basisalternativet er som regel *ikke* den nuværende situation, og der skal tages særskilt stilling til, hvilke forudsætninger, der skal henregnes til basis og hvilke til udredningsalternativerne. Eksempelvis kan etablering af dobbeltspor betyde, at det nye (2.) spor muliggør en højere hastighed end det oprindelige, hvorfor dette reinvesteres (sporombygges) sammen med projektet. Denne, ofte betydelige investering, skal håndteres i projektvurderingen. Også teknologisk afhængighed (og forældelse) mellem de forskellige systemer, der udgør baneinfrastruktur spiller ind. Elektrificering af en strækning kan f.eks. forudsætte at sikringstekniske reinvesteringer fremrykkes pga. forældet teknologi.

Trin 2 i projektvurdering: *Beregning af effekter/konsekvenser* opdeles på 3 forskellige typer efter deres natur og rolle i beslutningsprocessen:

- a. anlægsomkostninger
- b. de ikke-trafikafhængige effekter (dvs. de fleste såkaldte miljøeffekter)
- c. de trafikafhængige effekter

De er nævnt i den rækkefølge, der traditionelt har været fokus på kvantificeringsmæssigt.

Anlægsomkostninger har altid spillet en central rolle fordi selve finansieringen via statsbudgettet er en selvstændig beslutning. Naturligvis er anlægsomkostningerne i et vist omfang afhængig af togtrafikken og af visse miljøkrav, men anlægsomkostning er en selvstændig beregning i hovedtræk. Den trafikale dimensionering er en selvstændig problemstilling ift. konsekvensberegning (ofte vil anlæg være dimensioneret til en større trafik end den, der antages i åbningsåret. København-Ringsted projektet er dog en af undtagelserne herfra).

Den anden type kvantificering er VVM-redegørelser, der det seneste årti er gennemført for større projekter. Heri registreres/vurderes miljøpåvirkninger, bl.a. planforhold, landskabsforhold, æstetiske forhold, kulturminde, flora & fauna, lokal støj og luftforurening etc. etc. Alle disse konsekvenser er karakteriseret ved at være knyttet til jernbaneanlæggets *placering*, dvs. knyttet til arealet og ikke til den forventede trafik. VVM-vurderinger er en omfattende, men vurdering af de fleste miljøeffekter kræver ikke kendskab til togtrafikken og denne effektvurdering er derfor af en anden natur. Undtaget er dog støj og lokal luftforurening, som er afhængige af den fremtidige/forudsatte trafik.

De væsentlige trafikafhængige effekter er

- efterspørgsel (og indtægter)
- rejsetid (-sgevinster)
- regularitet
- togdriftsomkostninger
- togmateriel behov
- sikkerhedseffekter
- støj
- luftforurening (lokal/global)
- banevedligeholdelse (delvist trafikafhængig)

Kvantificeringen af de trafikafhængige effekter har en kortere tradition end beregning af anlægsomkostninger, selvom de repræsenterer projektets formål. Det betyder dog ikke, at der ikke har været tale om en vurdering, men denne har blot været kvalitativ i stedet for kvantitativ.

Eksempler er ”bedre regularitet” (om mindre spor- og signalændringer), ”bedre miljø” (om elektrificering), ”bedre sikkerhed” (om sikring af overkørsler), ”færre dræbte” (om indførelse af ATC systemet) ”færre uheld og mindre barrierer for vejtrafikken” (om nedlæggelser af overkørsler på hovedstrækninger), ”kortere rejsetider” (om forøgelse af strækningshastighed), ”mere kapacitet” (der egentlig ikke er en effekt, men konkretiserer sig i øget frekvens, kortere rejsetid, bedre regularitet). Togdriftsøkonomi og billetindtægter har i sagens natur været kvantificeret hos DSB og privatbanerne (også ved andre tiltag end infrastrukturændringer). Beregningen af disse vil fremover udgøre en udfordring, da oplysningerne om togdriftsøkonomi ikke vil være offentlige tilgængelige.

Rejsetidseffekterne er der dog ofte blevet kvantificeret. Enten i form af tidsbesparelser for en udvalgte togmaterieltype eller i form af en ny køreplan, hvor de ændrede (kortere) rejsetider aflæses. Der findes eksempler på infrastruktur for at realisere en ny køreplansstruktur.

Et centralt element i projektvurdering (særlig samfundsøkonomisk) er derfor en beskrivelse af den *fremtidige (tog)trafik*; dvs. efter at anlægget er taget i brug og i resten af kalkulationsperioden (ofte antaget konstant).

Da jernbane er et kollektivt trafikmiddel er det trafikudbudet, der bestemmer de rejsendes valgmuligheder, mere end selve infrastrukturen. Beskrivelsen af den fremtidige trafiksituation omfatter derfor den fremtidige togbetjening i form af frekvens, standsningsmønstre og rejsetider. Dette benævnes driftsoplægget, togudbudet eller trafikeringen.

Konsekvensberegningmæssigt ligger her en af de væsentlige forskelle til beregning af et vejprojekt. For togtrafik er der ikke nogen simpel endside entydig sammenhæng mellem antallet af rejsende og antallet af ”køretøjer”, som tilfældet er for vejtrafik. I vejtrafik kan man ofte vha. en eller flere belægningsfaktorer etablere en lineær sammenhæng mellem rejsende og køretøjer og de tilhørende effekter. For togtrafik er der derimod kun en meget grov (og strækningsspecifik) sammenhæng mellem antal togafgange og antal rejsende. Der er dog en vis lineær sammenhæng mellem antal rejsende og det udbudte siddeplads antal. Der er til gengæld kun en meget grov sammenhæng mellem siddeplads antal og antallet af afgange.

Modsat fly og bus, kan en togafgang bestå af et variabelt antal siddepladser, afhængig af det valgte rullende materiel, vogne eller togsæt (IC3; ER, MR; TGV etc). I Danmark kan mindsteudbudet af pladser (med 1 enhed i hver) varierer mellem 80 og 250 pladser. F.eks. kan antallet af siddepladser pr. afgang variere mellem 250, 500, 750 og 1000 siddepladser, altså et udbud, der ændres i store ”spring” (det nævnte eksempel er elektriske regionaltog til Odense/Sønderborg). Modellering af konsekvenser, her beregning af togdriftsomkostninger (kørselsomkostninger), er derfor mere kompliceret end ved vejtrafik.

## 2 Trafikafhængige effekter

De trafikafhængige effekters størrelse er en funktion af forskellige beskrivelser af den fremtidige trafik, grupperet som følger:

- køreplansafhængige (dvs. tidsafhængige)
- trafikarbejdet opgjort ved togafgange (togkm)
- trafikarbejde opgjort ved pladsudbud (materielkm)

Togtrafik planlægges og afvikles efter en køreplan. Køreplanen determinerer direkte rejsetiderne, samt den køreplansafhængige del af togdriftsomkostningerne og togmaterielbehovet.

Endvidere indgår rejsetider (og frekvens) i *efterspørgselsberegningen* og dermed i beregning af *billetindtægter*. Når der benyttes en trafikmodel opgøres *rejsetidsgevinsterne* (i minutter) i denne. Hvis efterspørgslen beregnes vha. elasticiteter, f.eks. når der er kun er tale om en mindre rejsetidsforkortelse, kan tidsgevinsterne findes ud fra togenes tidsgevinst.

*Regularitet* måles også i forhold til en køreplan (nemlig forsinkelse i forhold til planlagt ankomsttid). Regularitetseffekten kan findes ved at gennemføre en simulation af almindeligt forekommende forstyrrelser af togdriften. Regulariteten afhænger ikke blot af infrastrukturen, men også af den aktuelle køreplan. I et vist omfang kan regulariteten forbedres ved at forlænge rejsetiden, så man i et vist omfang kan substituere disse med hinanden. Der er tale en generel betragtning, da årsag-virknings sammenhængende er komplicerede; selv ved en køreplan med et begrænset antal tog.

*Togdriftsomkostninger* opgøres på lidt forskellig måde afhængig af, om der til anvendes lokomotivtrukne personvognstammer (dvs. et lokomotiv + et antal vogne ) eller der anvendes togsæt, der er selvkørende (et togsæt består rent teknisk af flere vogne men disse er altid i drift samlet, så omkostningen knyttes til togsættet). For hver afgang opregnes antallet af km mellem udgangs- og endestation, togkm. De tilhørende antal materielkm udregnes ved at betragte antallet af enheder i den pågældende afgang, der er bestemt af togets pladsdimensionering. En afgang med et trafikarbejde på 100 togkm giver f.eks 200 togsætkm med 2 togsæt indsat. Samme afgang med lokomotiv og 5 vogne giver 100 lokomotivkm+500 vognkm.

Togdriftsomkostninger består af:

- personaleomkostninger lokomotiverfører (togminutter)
- personaleomkostninger togpersonale (togminutter)
- vedligeholdelsesomkostninger (materiel km)
- energi (materielkm)

Ved togminutter forstås den effektive kørsel, dvs. uden pauser for personale (og materiel) i endestationer. Dette er indregnet som et gennemsnit i enhedsprisen. Antallet af togminutter kan direkte aflæses i den forudsatte køreplan. Til beregning af energi- og vedligeholdelsesomkostninger kræves opgørelse af den samlede produktion, hertil er informationen om køreplanstider ikke nødvendig. Antallet af enheder i omløb er forinden bestemt ud fra køreplanen og ved dimensionering af de enkelte togs pladsudbud. Det køreplansafhængige materielbehov er bestemt af, at der skal være én enhed i hver afgang (togsæt eller vogn). Efterspørgslen fordeling på timebasis/afgang bestemmer antallet af ekstra vogne eller togsæt pr afgang. Ved mange projekter, hvor frekvensen er uændret, kan man benytte den eksisterende materielindsats som udgangspunkt.

Når togenens siddepladsantal er dimensioneret er både det køreplansafhængige og det efterspørgselsafhængige materielbehov udregnet. Hertil skal lægges evt. reserver. Rullende materiel har tidligere været en investering på linie med infrastruktur, men som fremover må antages lånefinansieret og håndteret som en driftsomkostning.

*Uheldseffekter* kan beregnes som en funktion af antallet af togkm. Ved projekter, der retter sig specifikt mod sikkerhedsforbedringer, kan det være nødvendigt at analysere den type ulykker, som projektet skal forebygge.

*Støj* udregnes på baggrund af det gennemsnitlige antal togmeter pr døgn fordelt på hver materieltype (materielkm omregnes til togmeter for hver materieltype).

*Luftforurening* udregnes på baggrund af materielkm fordelt på materieltype (især diesel og elektrisk).

*Banevedligeholdelse* antages nogen gange uafhængig af trafikarbejdet pga. mangel på valide data. Slid på spor udgør den største enkeltpost og denne kan udtrykkes ved antallet af bruttotons (trafikarbejdet i materielkm omregnet til tons for hver materieltype). På strækninger med megen godstrafik er den gennemsnitlige udnyttelse af et godstog (antal tons pr afgang) en væsentlig faktor. Prognosticeringen af udnyttelsesfaktor er forbundet med større usikkerhed end ved persontog.

Som nævnt er en del af effekterne køreplansafhængige. Det kan dog godt lade sig gøre at beregne effekter uden en egentlig køreplan, men udfra nogle gennemsnitsantagelser om rejsetider. Ulempen er, at effekter ikke beregnes præcist (og pga. de ”springvise” konsekvenser, kan beregningerne for visse projekter være misvisende). Omvendt er det også klart at beregningsresultaterne ikke er så følsomme for ændringer i den forudsatte køreplan.

(som nævnt tidligere er dimensionering af infrastruktur en anden problemstilling og her anvender man i større stil køreplansafhængige metoder).

### **3 Beskrivelse af fremtidig trafik og alternativer**

Som det fremgår skal den fremtidige trafik være beskrevet ved nogle forskellige variable for at kunne beregne de trafikafhængige effekter. Samtidigt er der også tale om forskellige *detaljeringsniveauer* i beskrivelsen. En stigende detaljering er nødvendig for at beregne visse effekter præcist, ulempen er at resultatet er følsomt overfor de enkelte valg til det respektive detaljeringsniveau.

Som nævnt er togtrafik et planlagt udbud, dvs. der er ikke nogen entydig sammenhæng mellem infrastruktur og togudbud. Til det samme togudbud på en strækning kan der designes flere køreplaner, bl.a. afhængig af trafikken på tilstødende strækninger. Der er således heller ingen entydig sammenhæng mellem infrastruktur og køreplan (den modsatte vej kan der være en meget stor sammenhæng, særligt på enkeltsporede strækninger).

Til beregning af trafikafhængige projekter forudsættes – afhængig af type og præcision – at trafikken kan beskrives i flg. niveauer:

- |                    |  |
|--------------------|--|
| 1. Driftsoplæg     | Frekvens, standsningsmønster, driftsperiode og materieltype  |
| 2. Principkøreplan | Giver rejsetider i et udvalgt tidsrum, f.eks. 15-18:00.  |
| 3. Døgnkøreplan    | Kan benyttes til præcis beregning af togproduktion pr dag og til situationer hvor kørsel til depot er afgørende. |

Hvis trafikken er beskrevet vha. et driftsoplæg og der er valgt materieltype til de enkelte toglinier, så er det muligt pba. infrastrukturdata at beregne en rejsetid for toget - isoleret set. Det antages normalt, at det er muligt at omdanne et driftsoplæg til en ”fornuftig” køreplan efterfølgende.

Skridtet fra driftsoplæg til principkøreplan medfører at togene er placeret tidsmæssigt i forhold til hinanden og ift. infrastrukturens begrænsning. Det betyder også, at rejsetiderne for de enkelte tog kan være forlænget under hensyn til andre tog og at det er eftervist, at de opstillede frekvenskrav kan opfyldes i den opstillede køreplan.

Som minimum skal principkøreplanen dække undersøgelsesområdet. Det er dog ingen garanti for at den pågældende køreplan kan gennemføres på de tilstødende strækninger. Dette bør som hovedregel være undersøgt og afhængig af projektet kan det altså være nødvendigt at medtage neteffekter.

For at kunne gennemføre en effektberegning er det altså ikke tilstrækkeligt blot at alternativerne beskriver infrastrukturen.

Alternativet skal yderligere være beskrevet ved:

- en valgt trafikering (driftsoplæg)
- valgte materieltyper
- en principkøreplan

for at effektberegningen kan gennemføres. Som nævnt er der ingen entydig sammenhæng mellem infrastruktur og trafik, så en egentlig prognose af den fremtidige (tog)trafik er ikke mulig. Der vil i stedet være tale om *valgte* trafikforudsætninger, f.eks. ud fra analogier til lignende strækninger eller en driftsøkonomisk analyse af, hvilken trafik er optimal.

#### 4 Konklusioner

Konsekvensberegning af de trafikafhængige effekter forudsætter at alternativene er beskrevet nogle trafikeringsforudsætninger. Disse kan være beskrevet i stigende detaljeringsgrad og for hvert trin gøres et nyt sæt antagelser, som beregningsresultatet er afhængigt af. Disse valg – og følsomheden herfor – fremgår ikke altid lige tydeligt og en række projekters vurdering bør indeholde følsomhedsvurdering af trafikeringen. Der findes ikke nogen formaliseret metode til at udvælge trafikeringen og heller ikke den bedste køreplan hertil.

Vurderingen af et infrastruktur projekt er i realiteten en vurdering af et *valgt* driftsoplæg og endda af en valgt køreplan, der benyttes som indikator for det pågældende infrastrukturalternativ. Infrastrukturen er i denne henseende en nødvendig ”ressource” på linie med rullende materiel, idet der egentlig vurderes, er trafikudbudet (i et vist omfang svarende til vurderinger ved almindelige køreplansskift). Da togudbud, togantal og evt. køreplan normerer kravene til infrastrukturen kraftigt, vil det for nogle problemstillinger være relevant, at anvende scenarier for den fremtidige togbetjening

#### 5 Referencer

”København-Ringsted, Linieføringsrapport Fagnotat 1, samfundsøkonomi”  
Banestyrelsen sept. 1998

”Vurdering af alternativer for højhastighedsbaner”  
Jens W. Brix & Uffe Kousgaard, Eks.proj. IVTB, DTU 1994

”Decision Aid Methods in Rail Infrastructure Planning”  
Stine Gissel, Ph.d afhandling IFP, DTU 1999 (*under udgivelse*)