

# Enkeltsporede baners trafikale begrænsninger

Alex Landex, [al@transport.dtu.dk](mailto:al@transport.dtu.dk)  
Institut for transport, Danmarks Tekniske Universitet

## 1 Resumé

Enkeltsporede jernbaner har en række trafikale begrænsninger, som dobbeltsporede baner ikke har. Køreplanerne for enkeltsprede baner er bundet af, at tog i hver sin retning kun kan passere hinanden ved krydsningsstationerne samtidig med, at der er risiko for deadlock-situationer, hvor togene spærrer for hinandens videre fremførsel.

De fleste kapacitetsbegrænsninger for enkeltsporede baner, og dermed deres trafikale begrænsninger, er i forbindelse med krydsnings- og forgreningsstationer samt korrespondancer eventuelt til andre tog og tilpasning til eksempelvis skolernes ringetider. Der kan være store kapacitetsgevinster at hente ved velplanlagte krydsnings- og forgreningsstationer. Disse kapacitetsgevinster kan benyttes til en mere stabil drift, eller i enkelte tilfælde til at køre flere tog. Den ekstra kapacitet kan der være brug for i tilfælde af driftsforstyrrelser, hvor forsinkelser ellers kan sprede sig og/eller det kan være nødvendigt at aflyse tog.

*Keywords:* Enkeltspor, Kapacitet, Trafikale begrænsninger, Køreplan

## 2 Introduktion

Lokalbanerne og en del regionale baner (fx i Vestjylland) har en begrænset trafikmængde, hvorfor de (hovedsageligt) er enkeltsporede. De enkeltsporede strækninger har større trafikale begrænsninger end dobbeltspor, da de både er begrænsende for frekvensen af tog, rejsetiden og mulige afgangstider. Artiklen beskriver først forskellene på dobbeltspor og enkeltspor (afsnit 3), og derved lokalbanernes trafikale begrænsninger i forhold til dobbeltsporede strækninger.

I afsnit 4 beskrives kapacitetsbegrænsningerne på enkeltsporede baner. Disse kapacitetsbegrænsninger kan hovedsageligt henføres til krydsningsstationerne (afsnit 4.1) og forgreningsstationerne (afsnit 4.2). Selvom der er ”ledig” kapacitet på en enkeltsporet bane, er det dog ikke altid muligt at udnytte denne ”ledige” kapacitet til at køre flere tog, hvilket beskrives nærmere i afsnit 4.3.

Afsnit 5 beskriver de enkeltsporede strækningers trafikale begrænsninger, når der er driftsproblemer. Disse problemer kan både opstå som følge af reduceret hastighed og som følge af forsinkelser andre steder i nettet – evt. på helt andre baner. Sidst i artiklen, i afsnit 6, samles der op på de trafikale begrænsninger for enkeltsporede baner.

### 3 Forskelle på dobbeltspor og enkeltspor

Der er mange forskelle på dobbeltsporede og enkeltsporede jernbanelinier – specielt med hensyn til kapaciteten. Dobbeltsporede jernbanelinier kan normalt afvikle mere end dobbelt så mange tog pr. spor som enkeltsporede jernbanelinier. Forskellen i antallet af tog, som det er muligt at afvikle er, at togene på enkeltsporede strækninger er nødt til at dele det samme spor for kørsel i begge retninger, hvorfor togene er nødt til at vente på hinanden på krydsningsstationerne.

Eftersom togene er nødt til at mødes på krydsningsstationerne, er det krydsningsstationerne og køretiden mellem krydsningsstationerne (inklusive holdetider samt den tid det tager at sætte og frigøre togveje m.v.), der er den største trafikale begrænsning for de enkeltsporede baner. At krydsningsstationerne og køretiden mellem dem er den begrænsende faktor skyldes, at køretiden mellem krydsningsstationerne er bestemmende for frekvensen på linien og muligheden for at kunne køre et mix af gennemkørende tog og stoptog, som det fx kendes fra Svendborgbanen.

De fleste enkeltsporede baner har en homogen drift (dvs. alle tog har samme standsningsmønster) I disse tilfælde er det muligt at bestemme den højst mulige frekvens af togene ved hjælp af formel 1 [6][7].

Formel 1: 
$$f \leq \frac{1}{t_{x,AB} + t_{x,BA}}$$

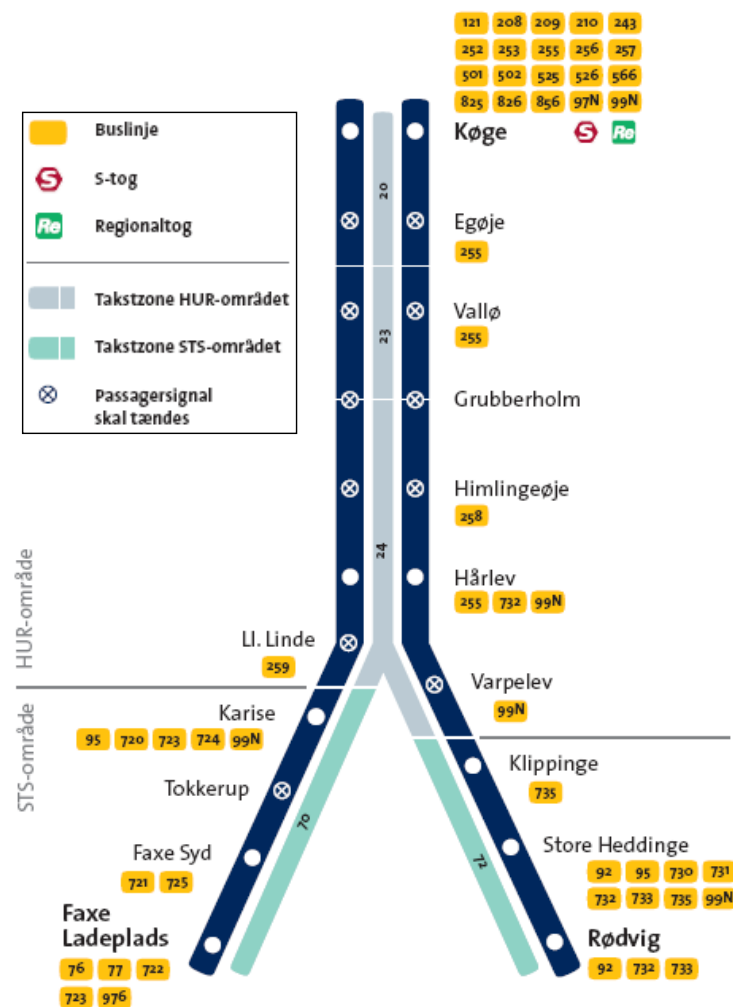
Hvor: f er frekvensen

$t_{x,AB}$  er køretiden fra krydsningsstation A til krydsningsstation B

$t_{x,BA}$  er køretiden fra krydsningsstation B til krydsningsstation A

Hvis ikke der er lige lang køretid mellem de forskellige krydsningsstationer bestemmes frekvensen af den “dårligste” frekvens mellem to krydsningsstationer.

For at få togene hurtigere frem mellem krydsningsstationerne, så det er muligt at køre med en højere frekvens, benytter lokalbanerne sig ofte af behovsstandsninger ved de mindre stationer. Behovsstandsninger er, når passagererne aktivt skal give besked om at toget skal standse ved at trykke på en stopknap i toget eller aktivere et passagersignal på perronen.



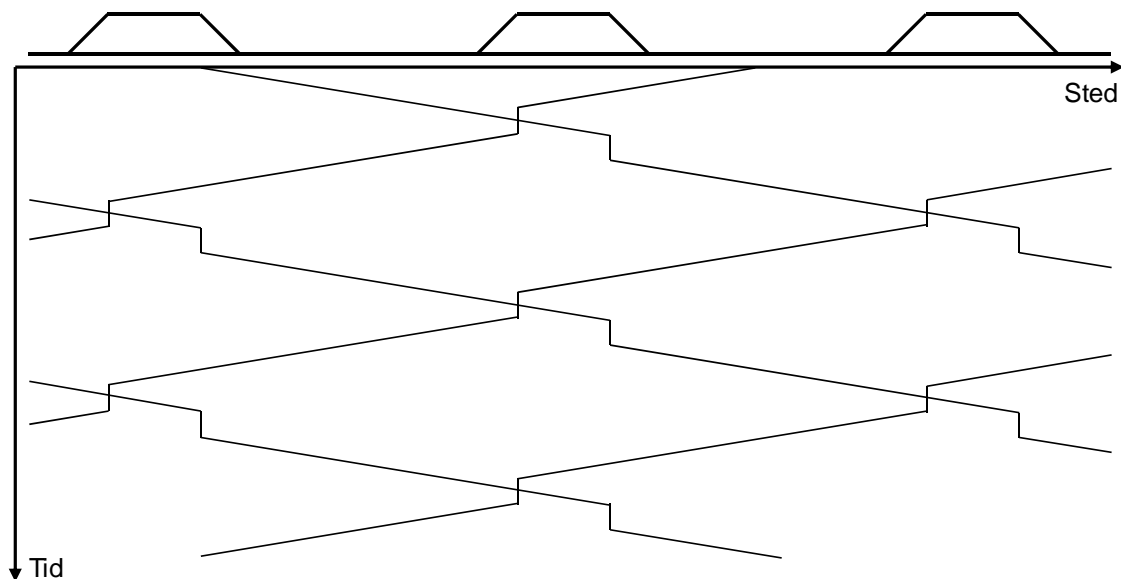
Figur 1: Enkeltsporetjernbane (Østbanen) med behovsstandsninger.

Køreplaner med behovsstandsninger er ofte planlagt således, at togene har mulighed for at standse ved stationerne, men at der, hvis togene skal standse, ikke er tilstrækkeligt "luft" (eller køretidstillæg) i køreplanen til at indhente eventuelle forsinkelser. I de tidsrum hvor der kan forventes passagerer ved alle stationer vil den manglende "luft" i køreplanerne bevirke, at driften kan blive ustabil. Derfor er der nogle jernbaner, der ikke betjener alle stationer i myldretiderne (heller ikke med behovsstandsning) – fx Gribskovbanen mellem Hillerød og Gilleleje der ikke betjener Gribssø i myldretider og dagtimer på hverdage.

Som følge af krydsningsstationernes vigtighed er både infrastrukturen og køreplanerne omhyggeligt planlagt. Oftest har enkeltsporede strækninger en meget homogen drift med samme standsningsmønster for alle tog, som eksemplet i figur 2<sup>1</sup>. Dette skyldes, at det er

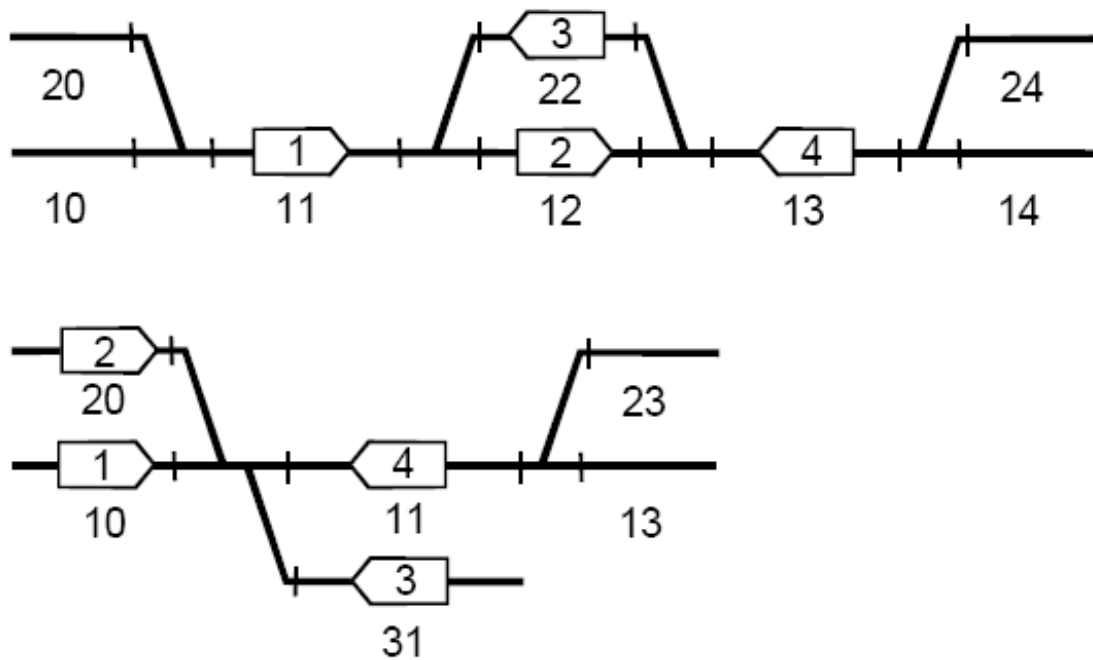
<sup>1</sup> Undtagelsen er dog enkeltsporede strækninger der udover lokal-/regionaltrafik også har IC-trafik. Derudover har enkelte andre enkeltsporede baner såsom Svendborgbanen en drift bestående af en blanding af hurtige tog og tog der standser ved alle stationer.

nødvendigt med flere krydsningsstationer, hvis togene har forskelligt standsningsmønster. Det er endvidere forholdsvis sjældent, at enkeltsporede strækninger benyttes til at køre flere tog i den ene retning end den anden i myldretiderne. Det skyldes dels behovet for flere krydsningsstationer hvis ikke den modsatte retning nedprioriteres og dels den dårligere udnyttelse af materiellet, der kun har mulighed for at køre i den ene retning.



Figur 2: Typisk køreplansmønster for en enkeltsporet jernbane.

Når togene kører på samme spor i begge retninger, er der risiko for, at der kan opstå en fastlåst situation, hvor togene ikke længere kan fortsætte fremad – en såkaldt deadlock-situation, se figur 3 for eksempler på deadlock-situationer. Sådanne deadlock-situationer vil ikke forekomme, hvis togene følger køreplanen, men kan opstå, hvis der opstår driftsforstyrrelser på en højt kapacitetsudnyttet enkeltsporet bane.



Figur 3: Eksempler på "simple" deadlock-situationer [13].

Ved planlægning af infrastruktur og køreplaner er det muligt at undersøge risikoen for deadlock-situationer ved hjælp af simulering. På denne måde kan planlagt infrastruktur og køreplaner simuleres i situationer med driftsforstyrrelser med henblik på at undersøge, hvor risikoen for deadlock-situationer er størst, og hvilke ændringer der kan foretages for at reducere risikoen for deadlock-situationer. Ved simuleringen skal man dog være opmærksom på, at det er svært at opstille præcis de samme driftsbetingelser som i virkeligheden, hvorfor det er nødvendigt "manuelt" at vurdere de enkelte deadlock-situationer.

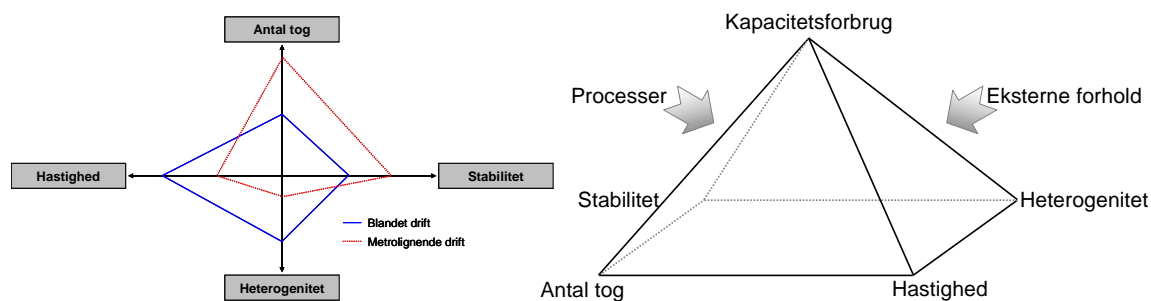
#### 4 Kapacitetsbegrænsninger på enkeltsporede baner

Kapaciteten på enkeltsporede baner er normalt så lav, at der kun kan køre mindre end halvdelen af de tog, der kan køre på en dobbeltsporet strækning. Enkeltsporede baners begrænsede kapacitet sammen med det faktum, at togene skal vente på hinanden ved krydsningsstationerne. Dette vanskeliggøres yderligere af, at trafikken på enkeltsporede baner med lav trafikintensitet (eksempelvis flere lokalbaner) i videst muligt omfang planlægger deres drift efter kunderne, således at køreplanerne forsøges tilpasset til eksemplvis nærliggende skolars ringetider.

Gennem tiden har der været mange forskellige definitioner af jernbanekapacitet, men i 2004 offentliggjorde Den Internationale Jernbaneunion (UIC) en ny definition af jernbanekapacitet, og en metode til at bestemme kapacitetsforbruget – den såkaldte UIC 406 kapacitetsmetode. Den største forskel fra tidligere definitioner af jernbanekapacitet var, at UIC havde en "omvendt" definition af jernbanekapacitet [16]:

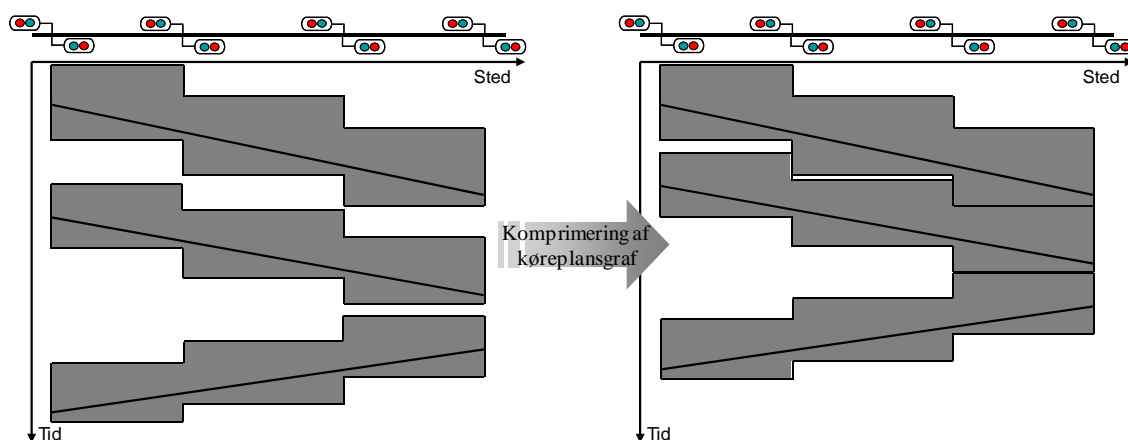
*Capacity as such does not exist. Railway infrastructure capacity depends on the way it is utilized.*

Årsagen til at det er svært at definere jernbanekapacitet er, at der er flere parametre, der kan måles på, se figur 4. Disse parametre er ifølge UIC antallet af tog, stabiliteten (eller regulariteten), heterogeniteten (blanding af gennemkørende tog og tog der standser ved alle stationer) og togenes hastighed [16]. Disse parametre er imidlertid ikke universale og afhænger af den jernbanestrækning, der undersøges. Endvidere påvirkes kapaciteten af operatørernes og infrastrukturforvalterens arbejdsprocesser samt eksterne faktorer såsom ekstremt vejr.



Figur 4: Definition af jernbanekapacitet. Baseret på [16] (til venstre) og [7] (til højre).

Som nævnt ovenfor kom UIC i 2004 ikke blot med en definition af jernbanekapacitet, men også en metode til at bestemme kapacitetsforbruget – den såkaldte UIC 406 kapacitetsmetode. Kapacitetsforbruget bestemmes ved at komprimere køreplansgraferne så meget som muligt uden ændring af togrækkefølgen, og uden at der opstår konflikter mellem togene, se figur 5. Ved at komprimere køreplanerne er det muligt at bestemme hvor stor en del af kapaciteten, der er udnyttet (kapacitetsforbruget), hvorved det er muligt at beskrive kapaciteten for de enkeltsporede baner.

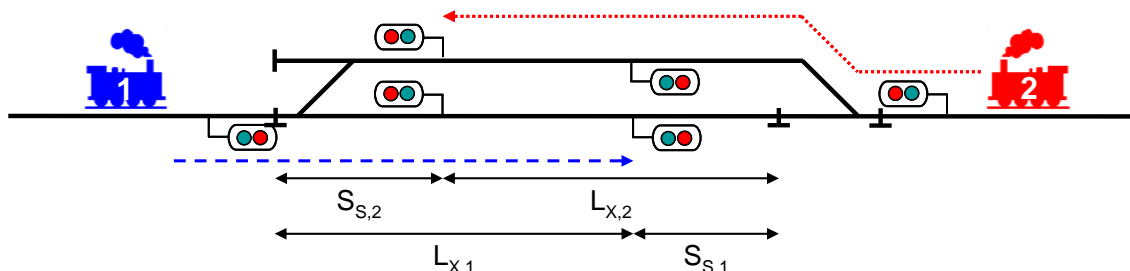


Figur 5: Komprimering af grafiske køreplaner for en enkeltsporet strækning ifølge UIC 406 kapacitetsmetoden. Baseret på [6][7] [8].

## 4.1 Krydsningsstationer

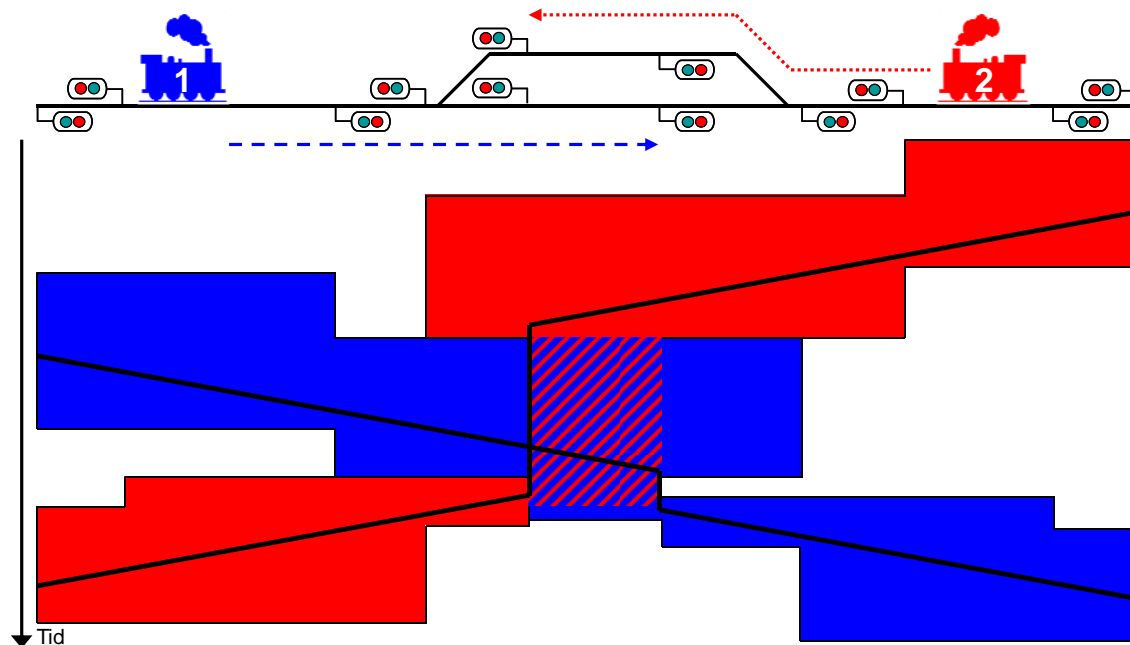
For enkeltsporede jernbanelinier skal der tages specielt hensyn til krydsningsstationerne. Nogle krydsningsstationer kan håndtere samtidig indkørsel af to tog på samme tid, hvilket sparer tid og derved sikrer en bedre regularitet eller evt. muliggør en højre frekvens.

For at krydsningsstationer skal kunne håndtere samtidig indkørsel af to tog på samme tid er det nødvendigt med en tilstrækkelig sikkerhedsafstand ( $S_S$ ) efter (perron)udkørselssignalet. Den nødvendige sikkerhedsafstand kan opnås ved enten at have en sporphale (se venstre side af krydsningsstationen på figur 6) eller ved at placere (perron)udkørselssignalet i den nødvendige sikkerhedsafstand ( $S_S$ ) fra frispormærket (se højre side af krydsningsstationen på figur 6) [3][8][9].



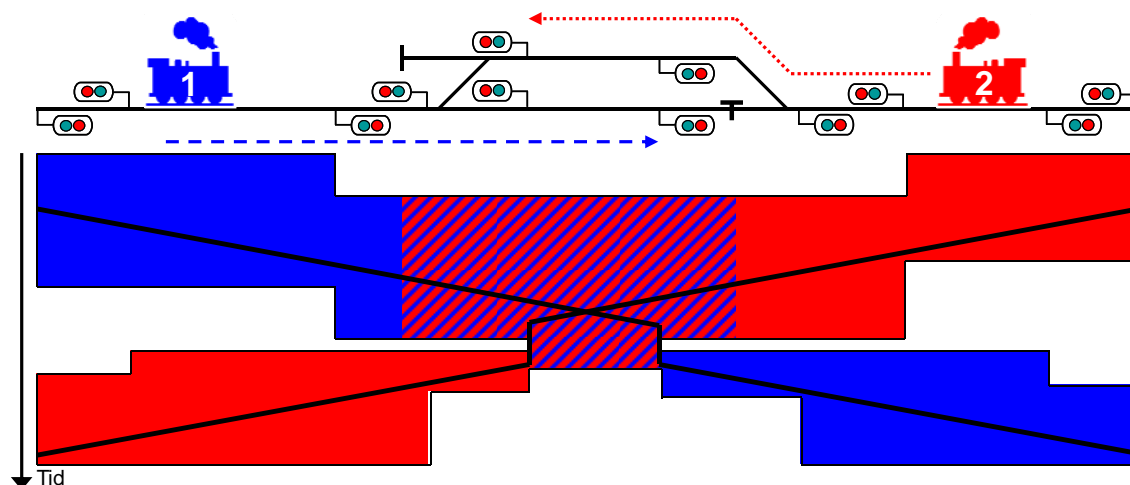
Figur 6: Station med mulighed for samtidig indkørsel [8].

Hvis en krydsningsstation ikke tillader samtidig indkørsel, er det nødvendigt, at det ene tog bringes til standsning ved krydsningsstationen før det næste tog får lov til at køre ind på stationen, se figur 7.



Figur 7: Krydsningsstation uden mulighed for samtidig indkørsel. Baseret på [6][7].

Når krydsningsstationen kan håndtere samtidig indkørsel fra begge retninger, spares der kapacitet. Af figur 8 ses det, at holdetiden for (det røde) tog 2 er blevet reduceret – det svarer til den kapacitetsgevinst, der opnås ved at begge tog kan ankomme til stationen samtidig.



Figur 8: Krydsningsstation med samtidig indkørsel. Baseret på [6][7].

Eftersom der er forskel på kapacitetsforbruget afhængigt af om en krydsningsstation kan håndtere samtidig indkørsel eller ej, er det nødvendigt at overveje, hvornår en jernbanelinie skal opdeles i strækningsafsnit til kapacitetsberegning ved hjælp af UIC 406 kapacitetsmetoden. Enkeltsporede strækninger skal ifølge UIC 406 kapacitetsmetoden [16] inddeles i strækningsafsnit ved krydsningsstationerne, men for at sikre at kapacitetsforbruget beregnes korrekt er det nødvendigt at have et overlap mellem strækningsafsnittene. På denne måde er det muligt at identificere konflikter i den anden ende af stationen også når køreplansgraferne komprimeres.

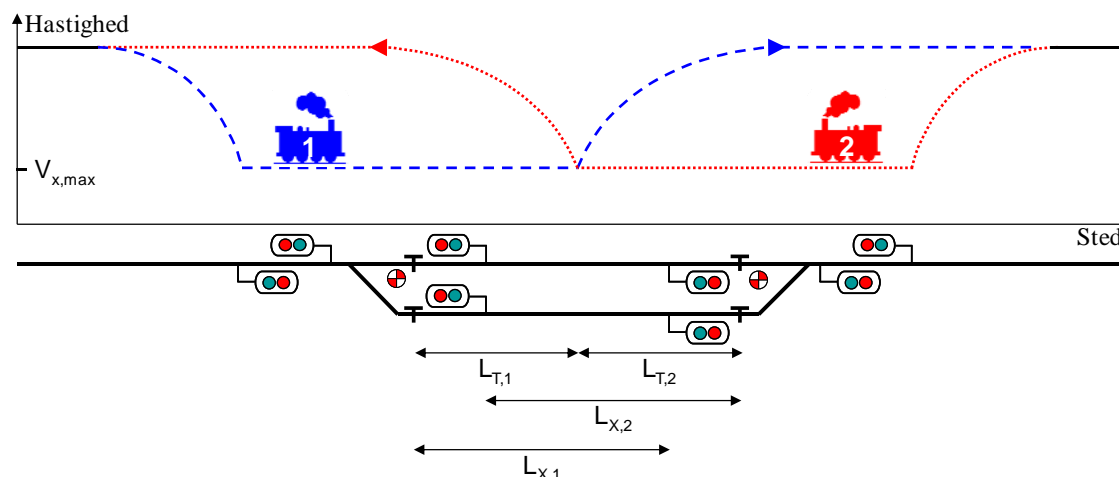
Den kapacitet som opnås ved at en station kan håndtere samtidig indkørsel i forhold til stationer der ikke kan håndtere samtidig indkørsel er hovedsagelig som følge af reducerede holdetider. Det kan diskuteres om det er tilladt at ændre holdetiderne, da det normalt ikke er tilladt ifølge UIC 406 kapacitetsmetoden. Det er imidlertid meget sammenligneligt med overhalingsstationer for dobbeltsporede strækninger, hvor det i Danmark er almen praksis at ændre holdetiden for det tog der overhales [10], hvorfor det er besluttet, at det er tilladt at ændre holdetiderne ved krydsningsstationerne. Ved at reducere holdetiderne ved krydsningsstationerne er det nødvendigt at sikre, at der er tilstrækkelig tid til, at passagerer kan stige ind og ud af toget samt de tekniske procedurer ved afgang<sup>2</sup>, og at det kan tage et stykke tid før et godstog kan starte efter at det holder helt stille.

<sup>2</sup> Se [5] for en oversigt over de tekniske tider og procedurer ved stationer.



### 4.1.1 "Flyvende" krydsning

Hvis to tog i nogenlunde samme afstand nærmer sig en krydsningsstation (uden passager-/godsudveksling) fra hver sin side vil det være muligt at togene krydser hinanden uden at skulle standse helt, hvis længden af krydsningssporet ( $L_X$ ) er tilstrækkelig langt. Det skyldes, at togene vil blive fremført med den maksimalt tilladte indkørselshastighed og påbegynde deres nedbremsning således at de kan standse ved (perron)udkørselssignalet. Når tog 1's indkørselstogvej er opløst vil tog 2 få tilladelse til køre forbi (perron)udkørselssignalet – og omvendt – hvorved toget kan accelerere uden at være stoppet helt<sup>3</sup> – en såkaldt "flyvende" krydsning, se figur 9.



Figur 9: "Flyvende" krydsning med samtidig indkørsel. Baseret på [6][7][8].

Den maksimale hastighed for en "flyvende" krydsning afhænger af bremseafstanden som (ved at reducere hastigheden) tilpasses således at den er mindre end eller lig længden af krydsningssporet minus togets længde, se formel 2 [3][8][9].

Formel 2:  $S_b \leq L_X - L$

Hvor:  $S_b$  er bremseafstanden  
 $L_X$  er krydsningssporets længde  
 $L$  er togets længde

Den tilladte hastighed afhænger ud over bremseafstanden af lokoførerens og togets reaktionstid samt bremseretardationen<sup>4</sup>. Formel 3 [12] viser hvordan den tilladte hastighed kan beregnes.

<sup>3</sup> Under forudsætning af at togene ankommer til krydsningsstationen nogenlunde samtidigt

<sup>4</sup> Bremseretardationen kan beregnes/bestemmes på forskellig vis – se [1] og [14] for en kort oversigt

Formel 3: 
$$v \leq a_r \cdot \left( -t_R \pm \sqrt{t_R^2 + \frac{2 \cdot S_b}{a_r}} \right)$$

Hvor:  $v$  er den tilladte hastighed  
 $a_r$  er bremseretardationen  
 $t_R$  er Reaktions tiden for lokoføreren og toget  
 $S_b$  er bremseafstanden

Når beregningen af den tilladte hastighed i formel 3 bestemmes er det kun den positive værdi af kvadratroden der benyttes. Ved at kombinere formel 2 og formel 3 er det muligt at bestemme den maksimalt tilladte hastighed under den ”flyvende” krydsning, som opnås i den ideelle situation hvor  $S_b = L_X - L$ , se formel 4.

Formel 4: 
$$v_{x,max} = a_r \cdot \left( -t_R \pm \sqrt{t_R^2 + \frac{2 \cdot (L_X - L)}{a_r}} \right)$$

Hvor:  $v_{x,max}$  er den maksimalt tilladte hastighed under den ”flyvende” krydsning  
 $a_r$  er bremseretardationen  
 $t_R$  er Reaktions tiden for lokoføreren og toget  
 $L_X$  er krydsningssporets længde  
 $L$  er togets længde

Ud fra formel 4 er det muligt at bestemme den minimumslængde for krydsningssporet, der er nødvendig for en given maksimalhastighed. På denne måde er det muligt at minimere kapacitetsforbruget for krydsningsstationer, hvor der hverken udveksles passagerer eller gods.

#### 4.1.2 Partielt dobbeltspor

Bliver længden af et krydsningsspor meget langt, kan krydsningsstationen blive anset som et partielt dobbeltspor. Er krydsningsstationen anset for at være et partielt dobbeltspor skal jernbanelinien ifølge UIC 406 kapacitetsmetoden deles i et ekstra strækingsafsnit [8][16]. Det er imidlertid vanskeligt at bestemme, hvornår et langt krydsningsspor skal anses for at være et partielt dobbeltspor.

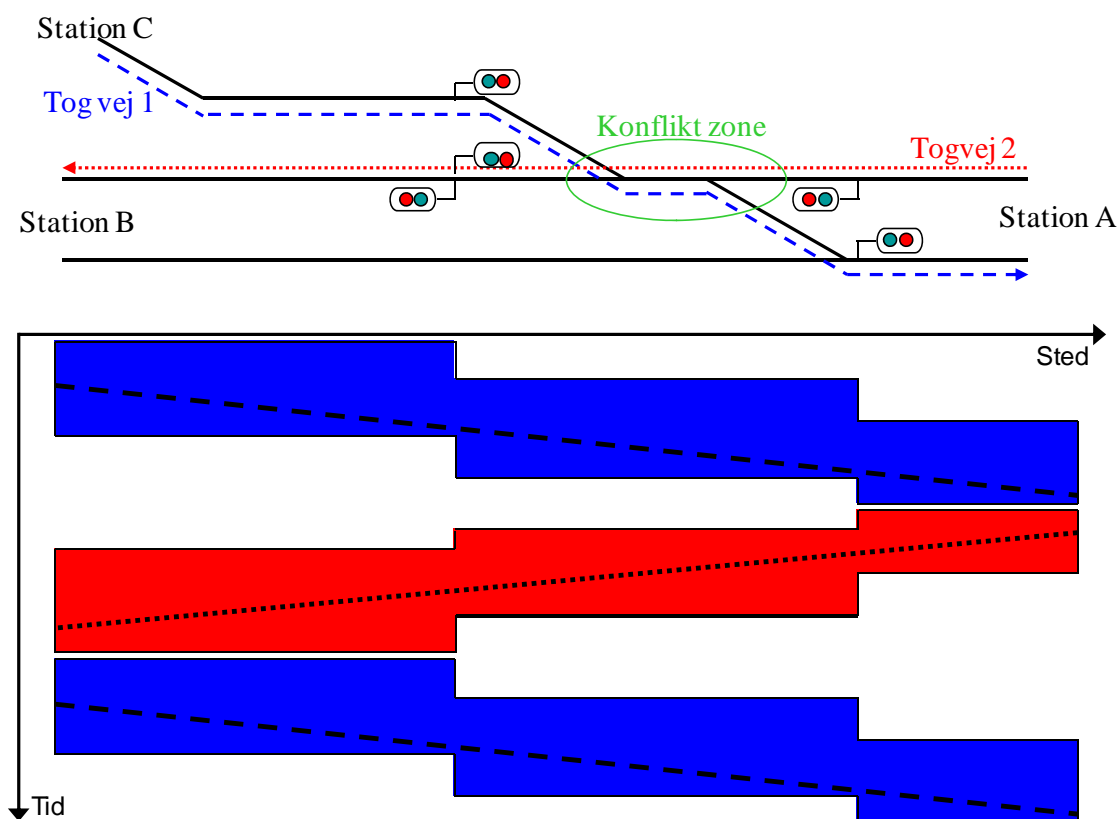
En krydsningsstation og et partielt dobbeltspor har mange ligheder. Jo kortere strækingsafsnit, desto mere minder det partielle dobbeltspor om en almindelig krydsningsstation. Derfor foreslår artiklen at definere en krydsningsstation som et partielt dobbeltspor, hvis krydsningsstationen er inddelt i blokafsnit [6][8].

#### 4.2 Forgreningsstationer

Det er ikke kun ved krydsningsstationer, at det kan være nødvendigt at ”forlænge” strækingsafsnittet således, at der ses længere frem. Ved forgreninger (fx Vestsjællands Lokalbanners indfletninger på Nordvestbanen ved Holbæk og Tølløse) er det nødvendigt at

inkludere hele forgreningsstationen og derved alle konfliktende togveje. Denne udvidelse af strækningsafsnittene skyldes, at flere konfliktende togveje kan reducere kapaciteten.

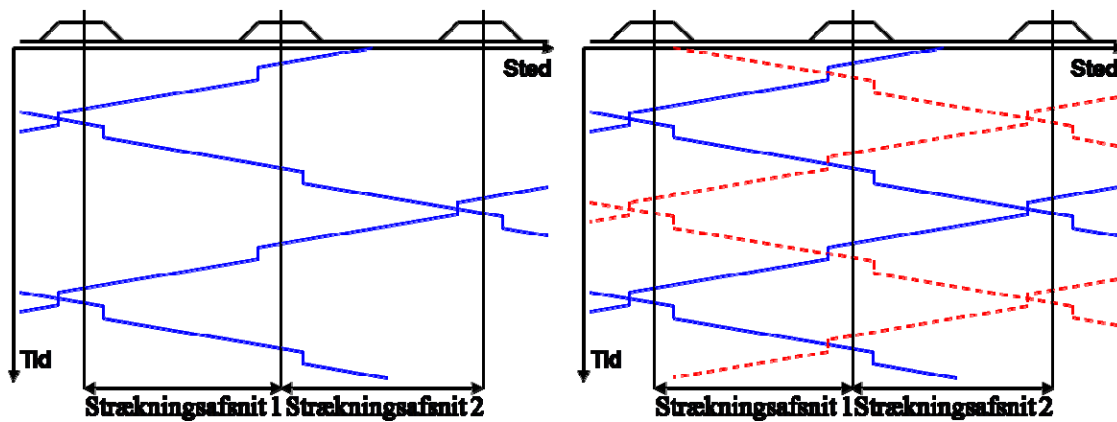
Ved forgreningsstationer kan togvej 2 begrænse kapaciteten for de to tog, der kører lige efter hinanden ad togvej 1, se figur 10. Årsagen til den "mistede" kapacitet er, at rækkefølgen af togene ifølge UIC 406 kapacitetsmetoden skal bibeholdes [16].



Figur 10: Reduceret kapacitet ved forgreningsstation for de to (blå) tog der kører lige efter hinanden. Baseret på [6].

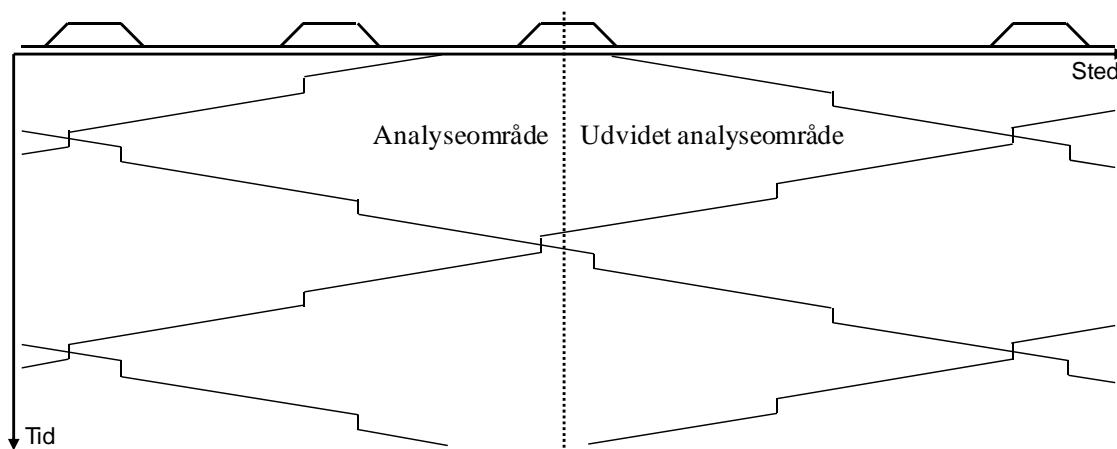
### 4.3 Muligheden for at udnytte "ledig" kapacitet

Ifølge UIC 406 kapacitetsmetoden skal jernbanelinier inddeles i strækningsafsnit ved krydsningsstationer, overgangsstationer og endestationer [8][10][11][16]. Ved at anvende UIC 406 kapacitetsmetoden slavisk og dele enkeltsporede jernbanelinier i strækningsafsnit for hver krydsningsstation kan det ske, at det er muligt at køre flere tog på strækningsafsnittene, se figur 11.



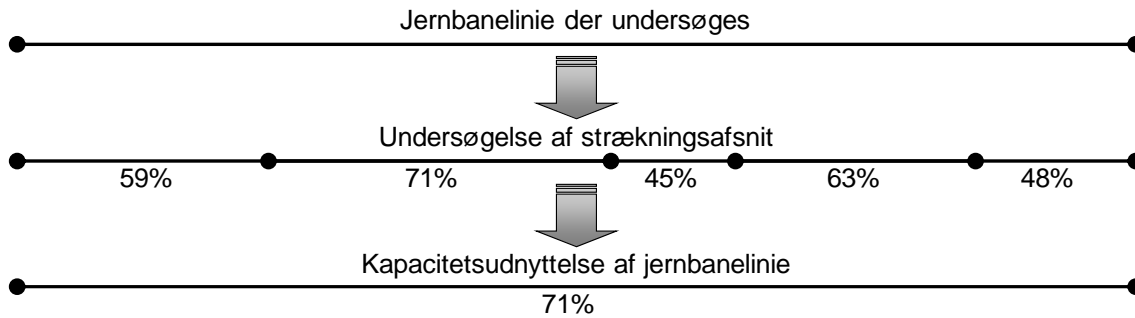
Figur 11: Forskellige køreplaner på samme infrastruktur. Inspireret af [6].

Det er imidlertid ikke altid muligt at udnytte den ledige kapacitet eller buffertid til at køre flere tog. Hvis eksempelvis der er et langt strækningssafnit udenfor analyseområdet, er det ikke altid muligt at køre flere tog (som det var tilfældet i figur 11), da der er mangel på kapacitet udenfor analyseområdet, se figur 12.



Figur 12: Begrænsede muligheder for at køre flere tog [6][7][8].

Ved at benytte UIC 406 kapacitetsmetoden stringent på enkeltsporede jernbanelinier er det nødvendigt at ignorere strækningssafnit udenfor analyseområdet, når køreplansgraferne komprimeres. Efterfølgende når alle strækningssafnittene er undersøgt og kapacitetsforbruget bestemmes er kapacitetsforbruget lig det strækningssafnit, der har det højeste kapacitetsforbrug [2][15][17], se figur 13.



Figur 13: Bestemmelse af kapacitetsforbrug for en hel jernbanelinie. Baseret på [7].

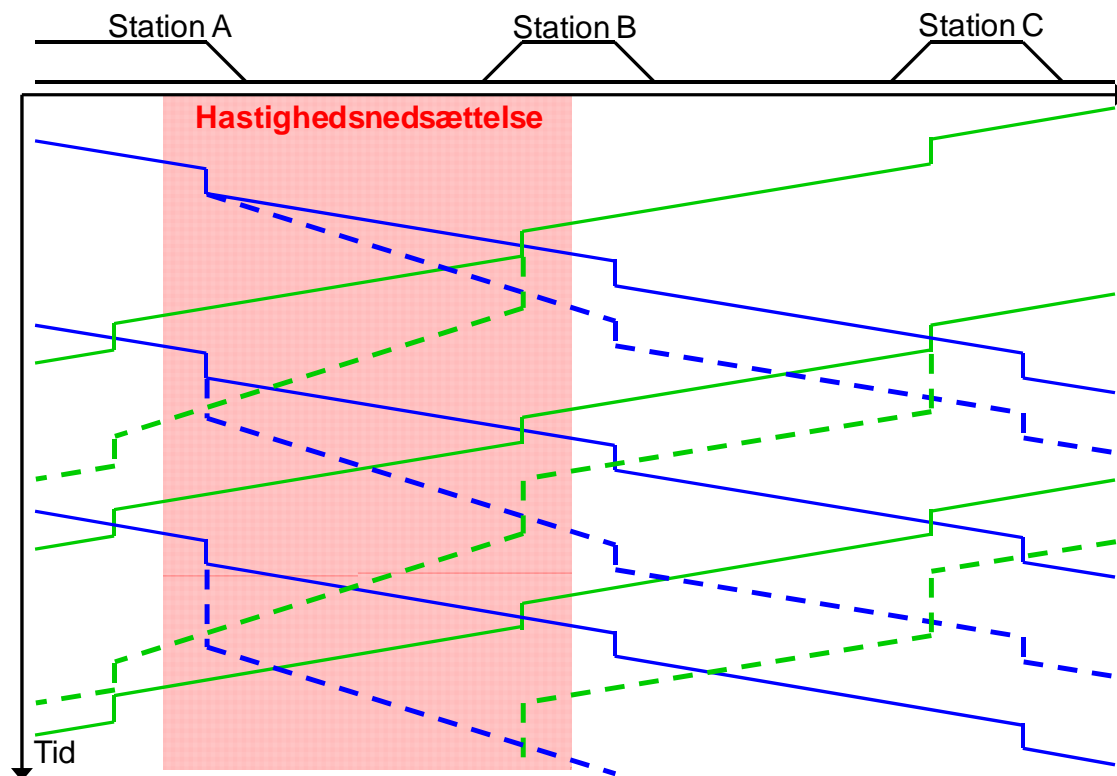
Selvom det er muligt at køre flere tog, er det ikke altid tilrådeligt at gøre det, da det vil reducere buffertiderne<sup>5</sup> [16]. Ved at reducere buffertiderne øges risikoen for sekundære forsinkelser [4][7][11]. Endvidere bliver disponeringen af togene besværliggjort som følge af de flere tog, hvilket kan føre til reduceret regularitet. Alt taget i betragtning er det ikke altid, at ledig kapacitet kan benyttes til at køre flere tog.

## 5 Når det går galt på enkeltsporede strækninger...

Hastighedsnedsættelser på enkeltsporede strækninger resulterer i reduceret kapacitet. Det skyldes, at togene kører langsommere mellem to krydsningsstationer, hvorved næste tog i den modsatte retning ikke kan afgang til tiden, og toget derved forsinkes det efterfølgende tog. Figur 14 viser den planlagte køreplan (ubrudte linier) og den realiserede køreplan (stiplede linier) i tilfælde af en hastighedsnedsættelse. Det ses, at forsinkelserne spredes på den enkeltsporede strækning og genererer sekundære forsinkelser. Det ses også, at togene bliver mere og mere forsinkede over tid – køreplanen degenererer som følge af mangel på kapacitet, hvorfor det er nødvendigt at aflyse tog for at kunne køre nogenlunde til tiden<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Den ledige "kapacitet" mellem togene.

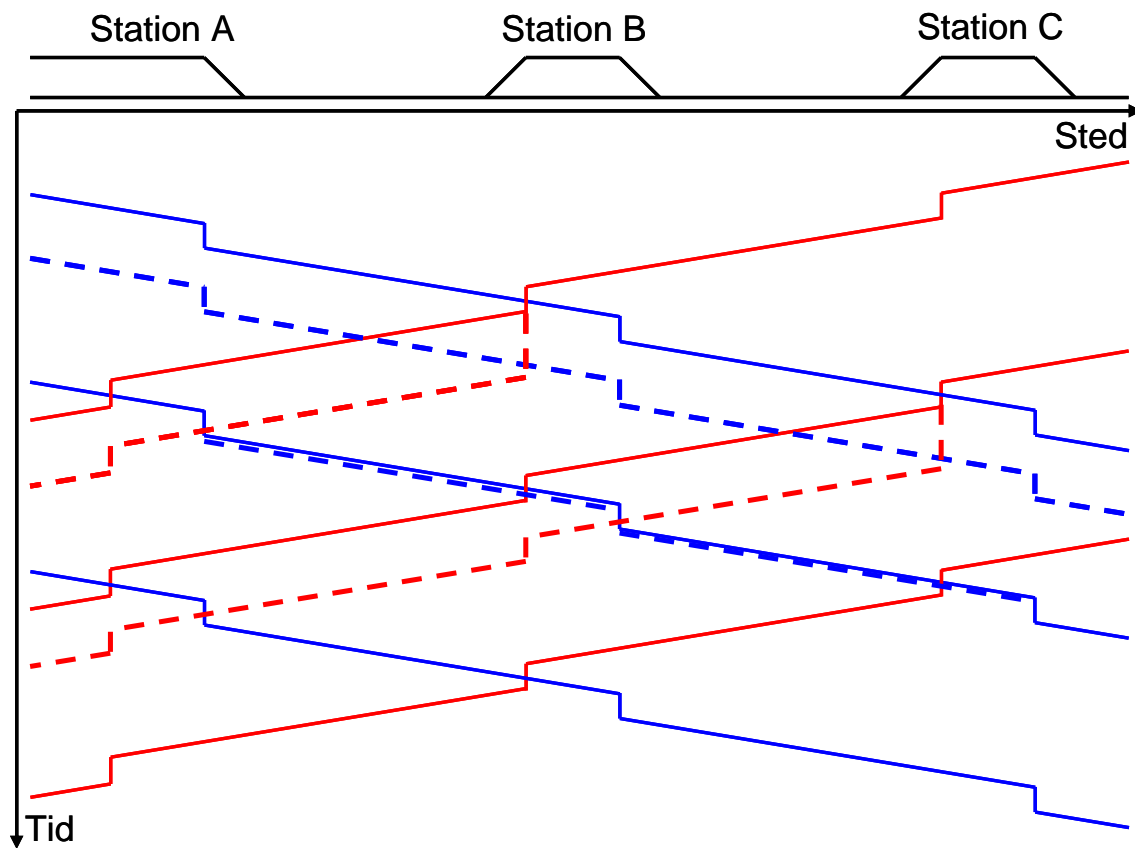
<sup>6</sup> Hvis der er tilstrækkeligt "luft" i køreplanen kan køreplanen afvikles uden at den degenererer, men risikoen for sekundære forsinkelser stiger.



Figur 14: Eksempel på mangel på kapacitet som følge af reduceret hastighed på en enkeltsporet jernbane (stiplede tog illustrerer den realiserede køreplan).

Ved at benytte UIC 406 kapacitetsmetoden på den realiserede køreplan i figur 14 er det muligt at bestemme hvor mange tog, det er nødvendigt at aflyse for at få en stabil drift.

Det er ikke kun i tilfælde af hastighedsnedsættelser, at enkeltsporede baner kan opleve ustabil drift med mange forsinkelser. Hvis togene på en enkeltsporet bane kommer fra en hoved-/regionalbanerne, som det eksempelvis er tilfældet for IC-togene mellem Aalborg og Frederikshavn, kan en forsinkelse på før Aalborg sprede sig til den enkeltsporede strækning og generere forsinkelser der, se figur 15.



Figur 15: Eksempel på følgeforsinkelser som følge af forsinket tog på en enkeltsporet jernbane.

Situationen i figur 15 kan også opstå som følge af, at et tog afventer et forsinket korresponderende tog. For at undgå disse forsinkelser, som spreder sig på de enkeltsporede baner, kan det være nødvendigt at indlægge lange ophold, hvor togene skifter fra hoved-/regionalbanerne til lokalbanernes strækninger og undlade at afvente eventuelt forsinkede korresponderende tog.

## 6 Opsummering

Artiklen har beskrevet kapaciteten på enkeltsporede jernbaner og de deraf følgende trafikale begrænsninger. Kapacitetsbegrænsningerne kan evalueres ved hjælp UIC 406 kapacitetsmetoden, hvor jernbanelinierne opdeles i strækningsafsnit, hvor køreplansgraferne komprimeres, hvorved kapacitetsforbruget kan bestemmes.

Ved brug af UIC 406 kapacitetsmetoden på enkeltsporede jernbanestrækninger er det vigtigt at benytte den korrekte længde af strækningsafsnittene og sikre et vist overlap således at både krydsningsstationer og forgretningsstationer analyseres korrekt. Kapacitetsforbruget for de analyserede strækningsafsnit samles sammen, og liniens samlede kapacitet bestemmes som det mest belastede strækningsafsnit.

Selvom kapacitetsanalysen viser, at det er muligt at køre flere tog på den analyserede strækning, er det ikke altid muligt. Det skyldes, at de analyserede strækningsafsnit kan være for korte til at synliggøre at der er mangel på krydsningsstationer andre steder på jernbanelinien. Derudover kan kørsel af flere tog betyde, at regulariteten falder, hvorved også servicen overfor passagererne forringes.

Udover den egentlige kapacitet på de enkeltsporede strækninger kan der også være trafikale begrænsninger, som følge af risikoen for at der opstår deadlock-situationer, hvor togene ikke længere kan fortsætte almindelig drift. Disse deadlock-situationer kan dog kun opstå på trafikerede baner i tilfælde af forsinkelser i driften. Selvom deadlock-situationer er sjældne, kan en forstyrret drift i form af hastighedsnedsættelser og/eller forsinkelser resultere i, at forsinkelserne spreder sig i begge retninger, og i værste fald i at køreplanen degenererer. I sådanne tilfælde kan det være nødvendigt at aflyse tog for at opnå en tilstrækkelig stabil drift.

## 7 Referencer

- [1] Barney, D., Haley, D. & Nikandros, G., *Calculating Train Braking Distance*, Conferences in Research and Practice in Information Technology, vol. 3, 2001
- [2] Höllmüller, J. & Klahn, V., Implementation of the UIC 406 capacity calculation at Austrian railways (ÖBB). *Artikel fra 1<sup>st</sup> International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, eds. I.A. Hansen, F.M. Dekking, R.M.P. Goverde, B. Hindergott, L.E. Meester, The Netherlands, 2005
- [3] Kaas, A. H., Metoder til beregning af jernbanekapacitet, *Ph.D.-afhandling ved Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet*, 1998
- [4] Kaas, A. H., Punctuality model for railways. *Artikel fra 7<sup>th</sup> International conference on Computers in Railways*, eds. J. Allan, R.J. Hill, C.A. Brebbia, G. Sciotto & S. Sone, pp. 853-860, 2000
- [5] Kirchoff, C. K., Holdetid på togstationer, *Artikel fra Trafikdage på Aalborg Universitet*, 2003
- [6] Landex, A., Evaluation of railway networks with single track operation, *Networks and Spatial Economics*, Accepteret for publikation marts 2009
- [7] Landex, A., *Methods to estimate railway capacity and passenger delays*, Forventet primo 2009
- [8] Landex, A., Kaas, A. H., Jacobsen, E. M. & Schneider-Tilli, J., The UIC 406 capacity method used on single track sections, *Artikel fra 2<sup>nd</sup> International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, eds. I.A. Hansen, A. Radtke, J.P. Pachl, E. Wendler, Germany, 2007
- [9] Landex, A., Kaas, A. H. & Hansen, S., Railway Operation, *Teknisk rapport fra Center for Trafik og Transport, Danmarks Tekniske Universitet*, 2006
- [10] Landex, A., Kaas, A. H., Schittenhelm, B. & Schneider-Tilli, J., Evaluation of railway capacity, *Artikel fra Trafikdage på Aalborg Universitet*, 2006
- [11] Landex, A., Kaas, A. H., Schittenhelm, B. & Schneider-Tilli, J., Practical use of the UIC 406 capacity leaflet by including timetable tools in the investigations, *Artikel fra 10<sup>th</sup> International conference on Computers in Railways*, eds. J. Allan, C.A. Brebbia, A. F., Rumsey, G. Sciotto, S. Sone & C.J. Goodman, 2006
- [12] Landex, A. & Kaas, A. H., Planning the most suitable travel speed for high frequency railway lines. *Artikel fra 1<sup>st</sup> International Seminar on Railway Operations Modelling*



- and Analysis*, eds. I.A. Hansen, F.M. Dekking, R.M.P. Goverde, B. Hindergott, L.E. Meester, The Netherlands, 2005
- [13] Pahl, J., Avoiding Deadlocks in Synchronous Railway Simulations. *Artikel fra 2<sup>nd</sup> International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, eds. I.A. Hansen, A. Radtke, J.P. Pahl, E. Wendler, Germany, 2007
- [14] Profillidis, V.A., *Railway Engineering*, pp. 231-234, Section of Transportation Democritus Thrace University Greece, Avebury Technical, Aldershot, 1995
- [15] Skartsæterhagen, S., *Kapacitet på jernbanestrekninger*, Institut for Energiteknologi, Norge, 1993
- [16] UIC leaflet 406, Capacity, UIC International Union of Railways, France, 2004
- [17] Yuan, J., *Stochastic Modelling of Train Delays and Delay Propagation in Stations*, Netherlands, TRAIL Research School, 2006